

第1章 細胞

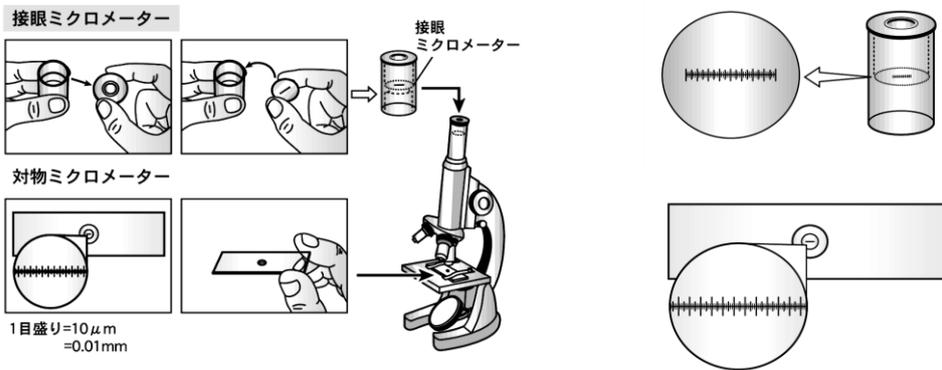
1 細胞の研究と大きさ

(1) 細胞の発見と細胞説

「細胞が生物の基本単位である」という考えを細胞説という。

- **フック**：細胞の発見…コルク片を観察 → 死細胞なので、細胞壁が残っていた
- **ブラウン**：核の発見
- **シュライデン**：植物の細胞説
- **シュワン**：動物の細胞説

(2) ミクロメーターによる大きさの測定



<p>接眼マイクロメーター1目盛りの長さ(μm)</p> $= \frac{\text{対物マイクロメーターの目盛り数} \times 10}{\text{接眼マイクロメーターの目盛り数}}$	<p>(60倍)</p> $\frac{30 \times 10}{12} = 25 \text{ 目盛り } 25 \mu\text{m}$
<p>(150倍)</p> $\frac{10 \times 10}{10} = 10 \text{ 目盛り } 10 \mu\text{m}$	<p>(600倍)</p> $\frac{2 \times 10}{8} = 2.5 \text{ 目盛り } 2.5 \mu\text{m}$

細胞の大きさ
= 細胞の長さ × その同じ倍率での接眼マイクロメーター1目盛りの長さ

この場合、細胞の長さは20目盛りだから、 $20 \times 2.5 \mu\text{m}$ で細胞の大きさは $50 \mu\text{m}$ 。

(3) 細胞の大きさ

細胞の多くは、 $1\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ の大きさである

分解能	長さ(単位)	細胞などの大きさ
ヒトの目 0.2mm	10mm (1cm)	(大きな細胞) ・ヒトの座骨神経(長さ1m以上) ・ヒトの横紋筋繊維(100mm) ・ニワトリの卵黄(35mm)
	1mm (1000 μm)	・カエルの卵(1.2~1.5mm)
光学顕微鏡 0.2 μm	100 μm	(普通の細胞) ・アオミドロの細胞(400 μm) ・ゾウリムシ(200~300 μm) ・ヒトの卵(140 μm) ・ミドリムシ(100 μm) ・ヒトの精子(60 μm)
	10 μm	・ヒトの肝細胞(20~35 μm)
電子顕微鏡 0.2nm	1 μm (1000nm)	(細菌) ・酵母菌(10 μm) ・ヒトの赤血球(7~8 μm) ・葉緑体(4~6 μm) ・ミトコンドリア(3~8 μm) ・大腸菌(2~5 μm)
	100nm	(ウイルス) ・タバコモザイクウイルス(300nm) ・T ₂ ファージ(200nm) ・インフルエンザウイルス(100nm)
	10nm	(分子) ・リボソーム(30nm) ・細胞膜の厚さ(10nm)
	1nm (10Å)	・ヘモグロビン分子(6nm) ・ATP分子(2.5nm) ・アミノ酸分子(1nm)
	1Å	(原子) ・原子(0.1nm)

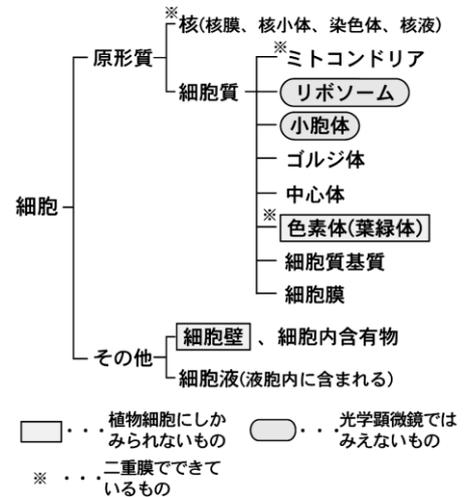
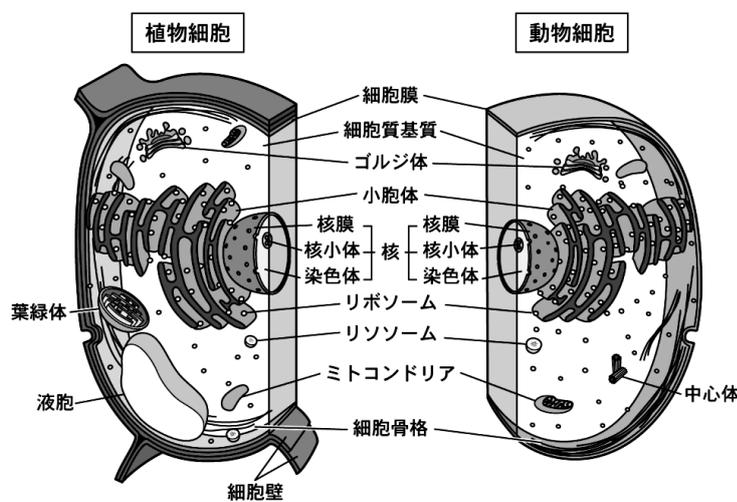
mm・・・ミリメートル μm ・・・マイクロメートル nm・・・ナノメートル

○一般的な大きさの比較

細胞小器官 < ウイルス < 原核細胞 < 真核細胞 < 卵細胞

2 細胞の構造と機能

(1) 真核細胞の基本構造



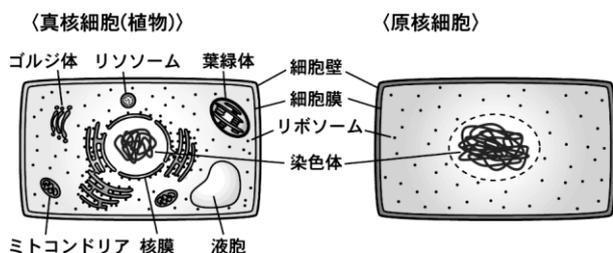
- 核：二重膜でDNAを含む
- リボソーム：タンパク質合成の場
- 小胞体：リボソームで合成されたタンパク質などの物質を運搬
- ゴルジ体：物質の細胞外への分泌に関与
- ミトコンドリア：二重膜で呼吸によりATPを合成
- 葉緑体：二重膜で光合成により有機物を合成
- 液胞：内部は細胞液で満たされていて、アントシアニンなどの色素を含む
→ 植物細胞で発達し、細胞が成長すると液胞も大きくなる

※二重膜からなるのは核、ミトコンドリア、葉緑体
→ ミトコンドリアと葉緑体にも独自のDNAがあり、自律的に増殖する

※細胞内の液体部分は細胞質基質で、液胞の中は細胞液

※細胞膜は半透膜、細胞壁は全透膜

(2) 原核細胞と真核細胞



- 原核細胞：核や細胞小器官がない
→ DNAはある
- 真核細胞：核や細胞小器官をもつ

※大腸菌は原核細胞，酵母菌は真核細胞

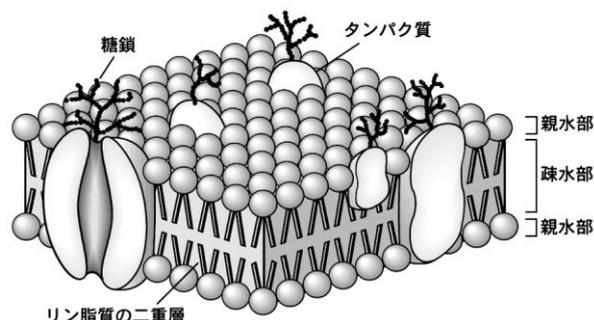
原核細胞		真核細胞	
		植物細胞	動物細胞
○	細胞膜	○	○
	核膜	○	○
	ミトコンドリア	○	○
	小胞体	○	○
	葉緑体	○	
○	リボソーム	○	○
	中心体	○	○
	液胞	○	○
	ゴルジ体	○	○
核膜で囲まれた核をもたない。核様体が見られる。		特徴	
<ul style="list-style-type: none"> ・細菌類 (大腸菌、乳酸菌など) ・ラン藻類 (ネンジュモ、ユレモなど) 		核膜で囲まれた核をもつ。膜構造が発達している。 例 <ul style="list-style-type: none"> ・原生生物 (アメーバ、ゾウリムシなど) ・菌類 (アオカビ、シイタケなど) ・植物 (サクラ、アオミドロなど) ・動物 (ウニ、ヒトなど) 	

3 細胞膜の構造と性質

(1) 細胞膜の構造

リン脂質の二層の膜(二層で一重の膜)にタンパク質が埋め込まれた構造をしている。埋め込まれたタンパク質はある程度移動できる。

→ 流動モザイクモデル



(2) 細胞膜の性質

分子量の小さな物質や、脂質に溶けやすい物質は通過しやすい。

- O₂, CO₂などの小さい分子や、アルコール、エーテルなどの脂溶性の物質は通過する
- イオン(H⁺など)やタンパク質、スクロースなどの大きい分子はほとんど通過しない

※水(H₂O)は極性があるため、膜を通過しにくい → アクアポリンを通過する

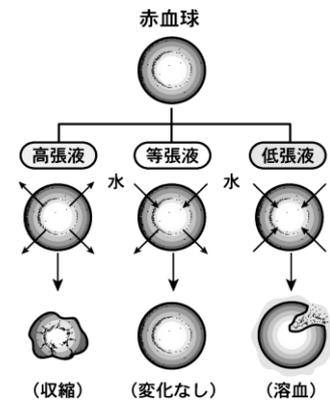
○選択的透過性

- 受動輸送：濃度勾配にしたがって物質が移動する。エネルギーは消費しない。
- 能動輸送：エネルギーを消費し、濃度勾配に逆らって物質を移動させる。

(3) 動物細胞と浸透

細胞と浸透圧の等しい溶液を等張液, 細胞より浸透圧の高い溶液を高張液, 細胞より浸透圧の低い溶液を低張液という。

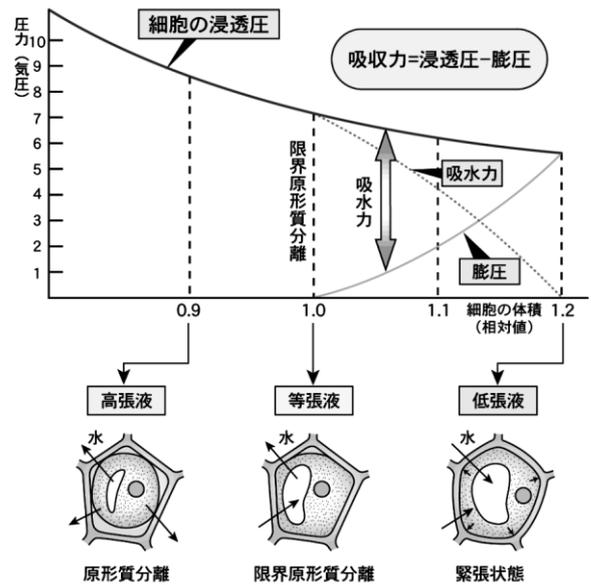
※ヒトの赤血球は低張液中では溶血することがある



(4) 植物細胞と浸透

高張液中の植物細胞では細胞膜が細胞壁から離れる**原形質分離**が起こり, 低張液中では細胞質が細胞壁を押し出す圧力(膨圧)が生じる。原形質分離した細胞を低張液に浸すと体積が回復する現象を原形質復帰という。細胞壁は全透膜。

吸水力 = 細胞の浸透圧 - 膨圧

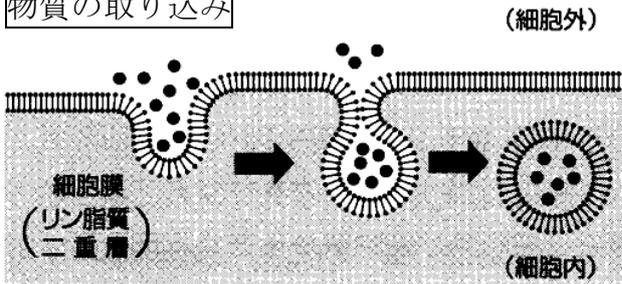


(5) 細胞膜の変形による輸送

大きな物質の輸送の際には細胞質が変形する。細胞膜が陥入して物質を取り込む現象を**エンドサイトーシス**, 細胞内の物質を包んだ小胞が細胞膜と融合して放出(分泌)される現象を**エキソサイトーシス**という。

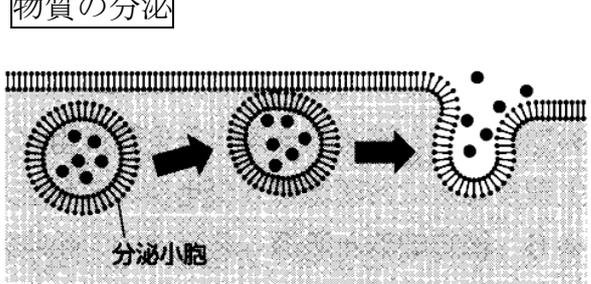
エンドサイトーシス

物質の取り込み



エキソサイトーシス

物質の分泌

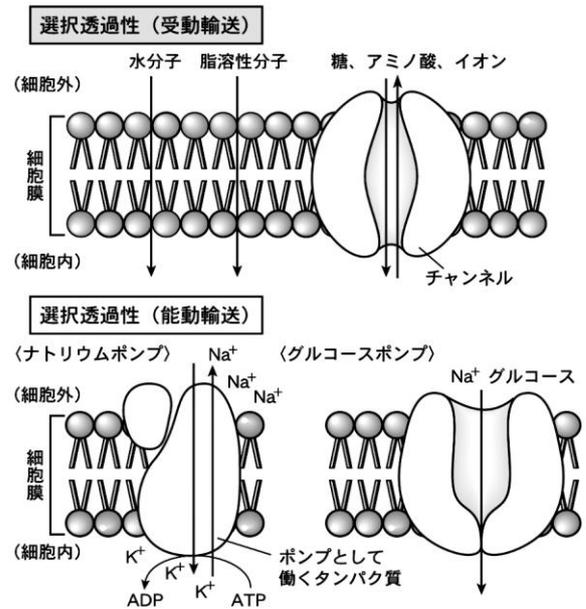


(6) 輸送タンパク質

細胞膜に埋め込まれたタンパク質の一部は選択的透過性にかかわる。受動輸送にかかわるものと能動輸送にかかわるものがある。

○チャンネル：受動輸送

○ポンプ：能動輸送



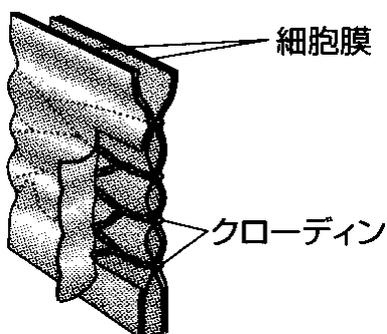
(7) 細胞接着とタンパク質

多細胞生物の細胞は、他の細胞や細胞外の構造と結合している。これを細胞接着といい、細胞膜タンパク質によって接着(結合)している。

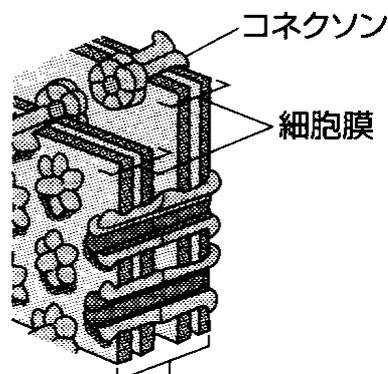
細胞接着の種類		関与するタンパク質	おもな役割
密着結合		クローディン	隣接する細胞の細胞膜を密着させる
ギャップ結合		コネクソン	細胞の形態保持, 物質の通過
固定結合	接着結合	カドヘリン	細胞の形態保持
	デスモソーム	カドヘリン	細胞の形態保持(ボタン状の結合)
	ヘミデスモソーム	インテグリン	細胞運動, 情報伝達

※ヘミデスモソームは細胞外のタンパク質との接着。その他は細胞間の接着。

密着結合



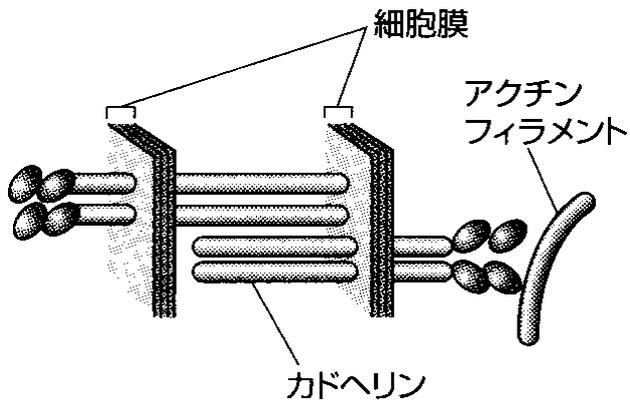
ギャップ結合



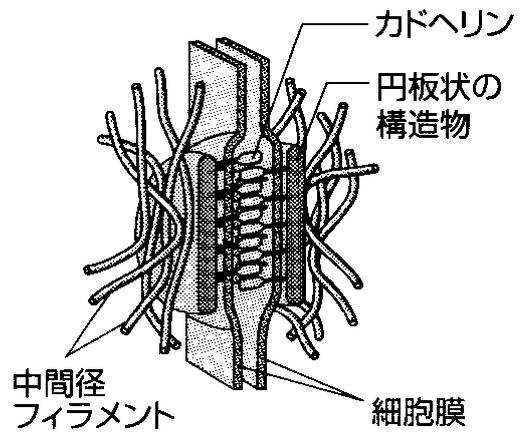
二つのコネクソンからなるチャンネル

固定結合

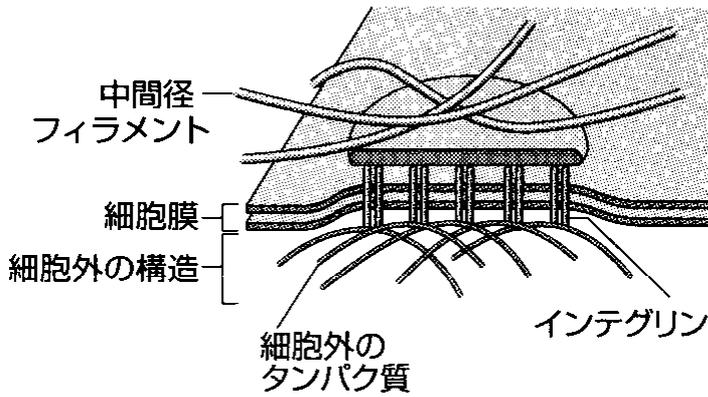
接着結合



デスモソーム

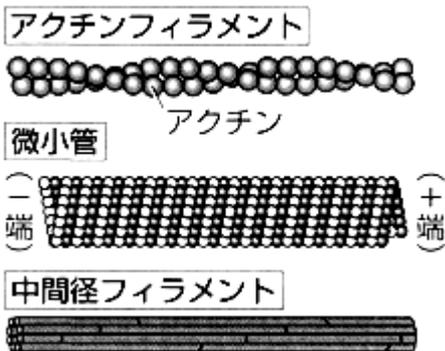


ヘミデスモソーム



○細胞骨格と細胞運動

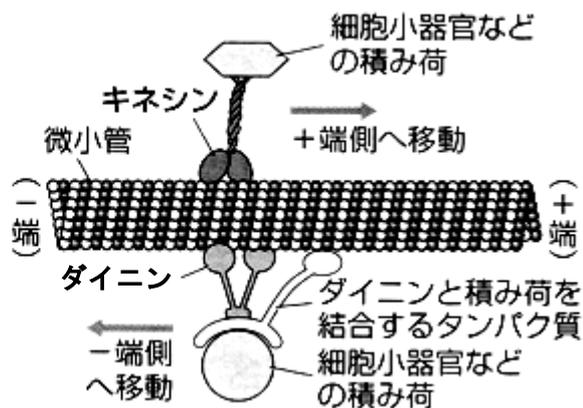
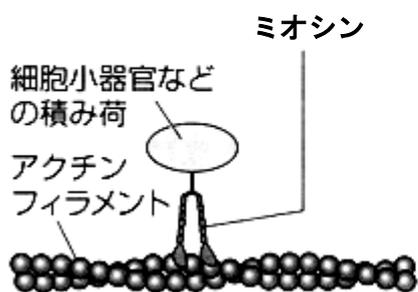
細胞骨格



※細胞骨格の太さは **アクチンフィラメント < 中間径フィラメント < 微小管**

細胞運動

モータータンパク質

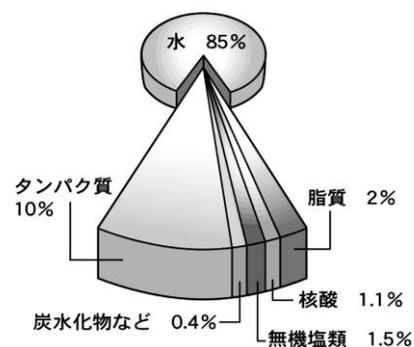


4 生体を構成する物質

(1) 細胞の構成成分

一般に、生体の70~80%は水である。

※動物は2番目がタンパク質で、植物は炭水化物
→ 植物は細胞壁の割合が高い



(2) 細胞構成成分のおもな働き

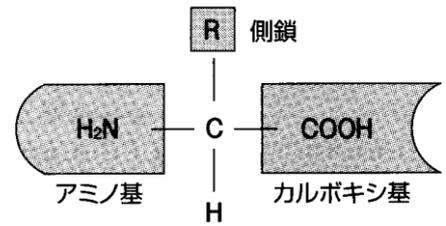
細胞構成成分	構成元素	構造	おもな働き	
水	H, O	H ₂ O	物質の溶媒, 化学反応の場, 物質の移動, 温度変化の緩和	
有機化合物	タンパク質	C, H, O, N, S	多数のアミノ酸がペプチド結合し, 立体構造を形成 生体膜・細胞小器官・細胞質基質の主成分, 酵素・抗体・ホルモンの主成分, 染色体の成分	
	脂質	C, H, O, P	脂肪酸, グリセリン, リン酸化合物 エネルギー源, 貯蔵物質, 生体膜の成分	
	核酸	DNA	塩基・五炭糖・リン酸からなるヌクレオチドが多数結合	遺伝子の本体, 染色体の主成分
		RNA		タンパク質合成に関与, 核小体・リボソーム・細胞質に含まれる。
炭水化物	C, H, O	単糖類, 二糖類, 多糖類	エネルギー源, 貯蔵物質	
無機塩類	K ⁺ , Cl ⁻ , Na ⁺ など	イオンとして存在	浸透圧・pH調節, 補助因子	

※タンパク質にはSが, DNAにはPが含まれる。

5 タンパク質

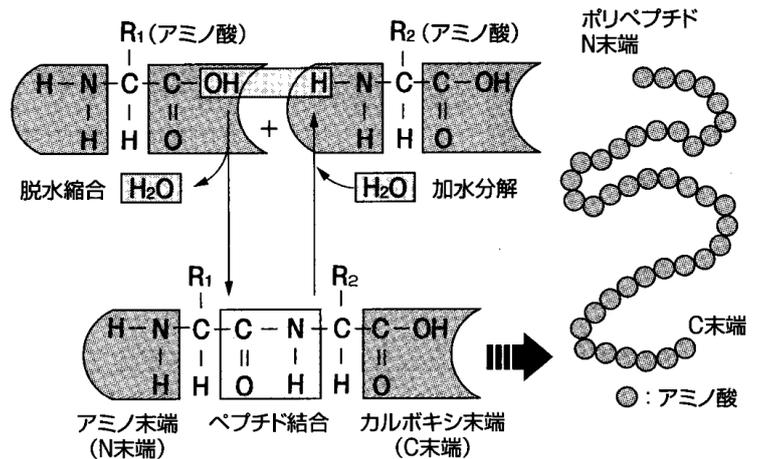
(1) アミノ酸

アミノ酸はタンパク質の基本単位であり、1個の炭素原子に、アミノ基、カルボキシ基、水素原子、側鎖が結合したものである。アミノ酸は、側鎖の構造の違いによって種類が決まる。タンパク質を構成するアミノ酸は20種類、ヒト(成人)の必須アミノ酸は9種類。



(2) ペプチド結合

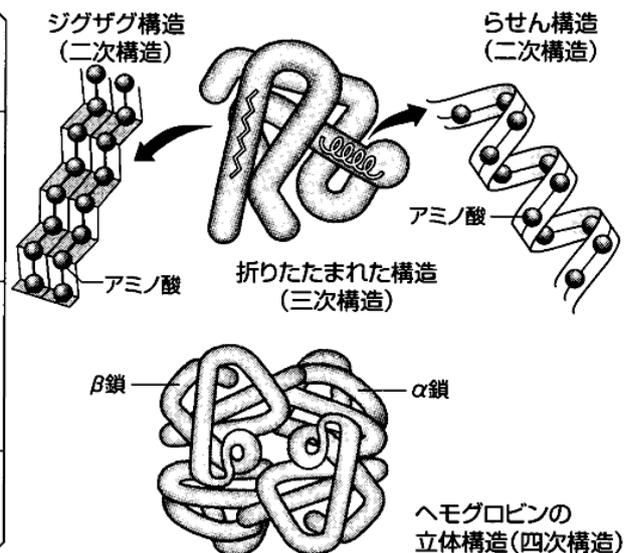
アミノ酸どうしの結合をペプチド結合という。アミノ酸どうしが結合した分子をペプチド、多数のアミノ酸が結合した分子をポリペプチドという。タンパク質はポリペプチドが二次から四次の立体構造をとったものである。



(3) タンパク質の立体構造

タンパク質は、一次から四次までの構造をとる。

一次構造	ポリペプチドを形成する20種類のアミノ酸の配列順序。
二次構造	水素結合によって部分的に形成される規則的な立体構造。らせん(αらせん)構造とジグザグ(βシート)構造がある。
三次構造	ポリペプチドが折りたたまれてできる立体構造。アミノ酸のシステインどうしの結合(S-S結合：ジスルフィド結合)などによって形成される。
四次構造	三次構造をとるポリペプチド(サブユニット)が集合してできた全体の立体構造。



※タンパク質の立体構造は二次構造から

→ 二次構造は水素結合、三次構造はS-S結合

(4) タンパク質の変性

熱・酸・アルカリ・化学物質などによって、タンパク質の立体構造が変化し、機能が低下または失われることをタンパク質の変性という。タンパク質が変性して立体構造が変化しても、一次構造は変化しない。

(5) タンパク質と生命現象

タンパク質の生体における機能は多種多様である。

働き	タンパク質と関連する構造などの例
触媒	酵素(アミラーゼ, ペプシン, リゾチーム)
物質輸送	膜タンパク質(チャネル, ポンプ), ヘモグロビン(赤血球)
細胞運動	モータータンパク質(ミオシン, ダイニン, キネシン)
細胞形態の維持 (細胞骨格)	アクチンフィラメント(アクチン), 微小管(チューブリン), 中間径フィラメント(ケラチンなど)
情報伝達	受容体, ペプチドホルモン(成長ホルモン, インスリン), オブシン(桿体細胞)
生体防御 (免疫)	抗体: 免疫グロブリン, トル様受容体(TLR), T細胞受容体(TCR), 主要組織適合性抗原(MHC分子, ヒト: HLA), サイトカイン
細胞接着	カドヘリン(接着結合・デスモソーム), インテグリン(ヘミデスモソーム・接着斑)
生体構造	コラーゲン(軟骨など), ケラチン(つめ・毛髪), ヒストン(染色体), クリスタリン(水晶体)
血しょうタンパク質	フィブリノーゲン, アルブミン, グロブリン, プロトロンビン
その他	リボソームタンパク質, アクチビン(中胚葉誘導), シトクロム(電子伝達系), 緑色蛍光タンパク質(GFP)

※ペプチドホルモンはタンパク質なので細胞膜を通過しないが、ステロイド系ホルモンは細胞膜を通過することができる。

第2章 代謝

1 代謝とエネルギー

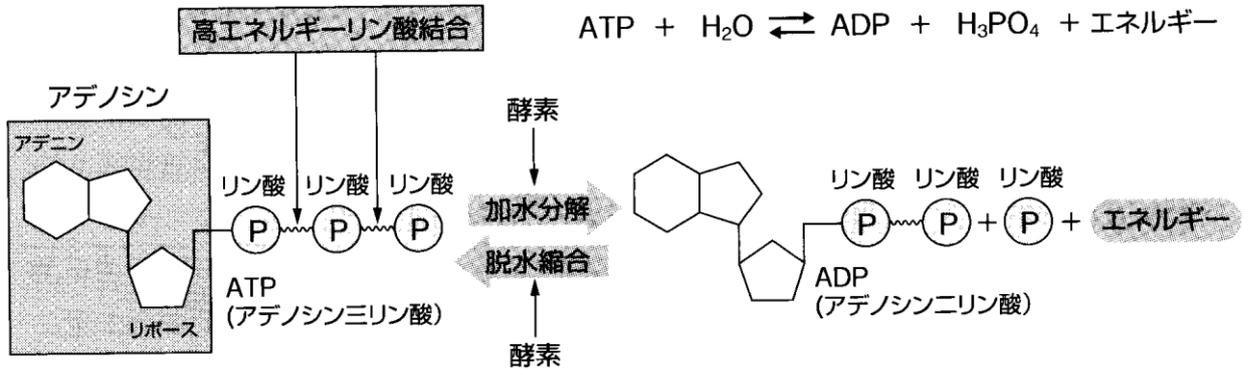
(1) 代謝

生体内で行われる物質の合成や分解などの化学反応全体。代謝の過程におけるエネルギーの出入りや変換をエネルギー代謝という。

- 同化：エネルギーを使って簡単な物質から複雑な物質を合成する過程。光合成など
- 異化：複雑な物質を簡単な物質に分解してエネルギーを取り出す過程。呼吸など

(2) ATP

代謝においてエネルギーの受け渡しを担う物質。すべての生物が共通にもつ「エネルギーの通過」。



2 代謝と酵素

(1) 酵素

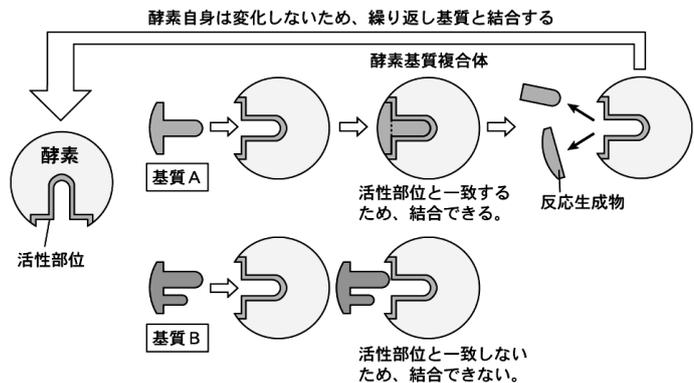
生体内の化学反応を促進する物質(生体触媒)。タンパク質が主成分。

- 基質：酵素の作用対象となる物質
- 活性化エネルギー：基質が化学変化を起こすために最低限必要なエネルギー
- 触媒：自身は変化せずに、活性化エネルギーを減少させて化学反応を促進する物質

(2) 酵素反応のしくみ

基質と結合する部分を **活性部位** という。

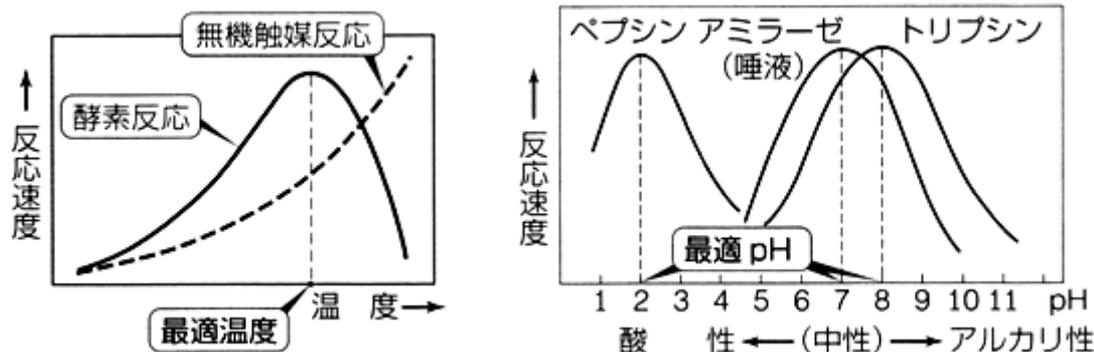
※**酵素は再利用される**



(3) 酵素の性質

無機触媒にはない三つの性質

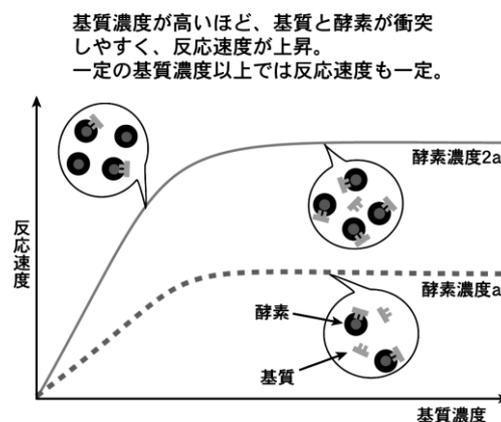
- **基質特異性**: 酵素タンパク質の立体構造によって、活性部位が特定の基質にのみ結合し、他の基質には作用しない性質。
- **最適温度**: 酵素活性が最も高くなる温度。60℃以上では酵素タンパク質が変性し、活性を失う(失活)。
- **最適 pH**: 酵素活性が最も高くなる pH。酵素ごとに決まっていて、作用する場所の pH に近い。



※ペプシンは酸性で、トリプシンは弱アルカリ性でよくはたらく

(4) 酵素の反応速度

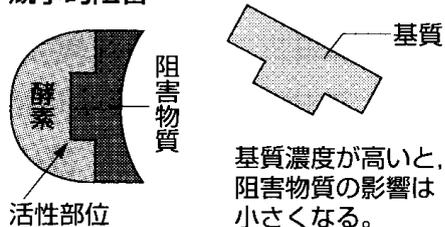
酵素濃度を一定にし、基質濃度を高めていくと、やがて最大反応速度に達する。



(5) 酵素反応の阻害

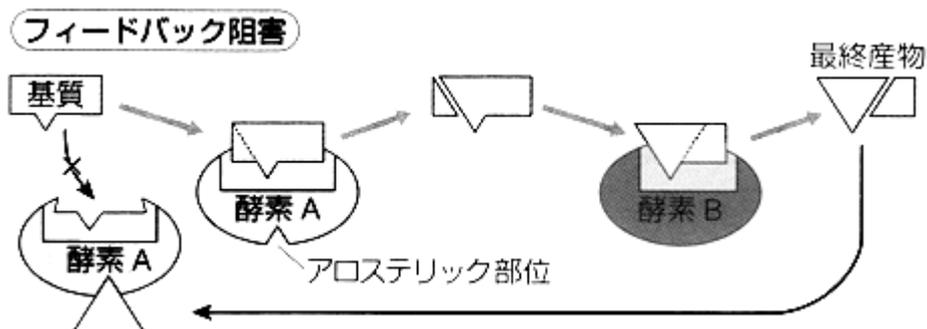
- **競争的阻害**: 基質と立体構造が似た阻害物質が酵素の活性部位に結合して阻害する。
- **非競争的阻害**: 酵素の活性部位以外に阻害物質が結合し、酵素の立体構造を変化させる。

競争的阻害



(6) 酵素反応の調節

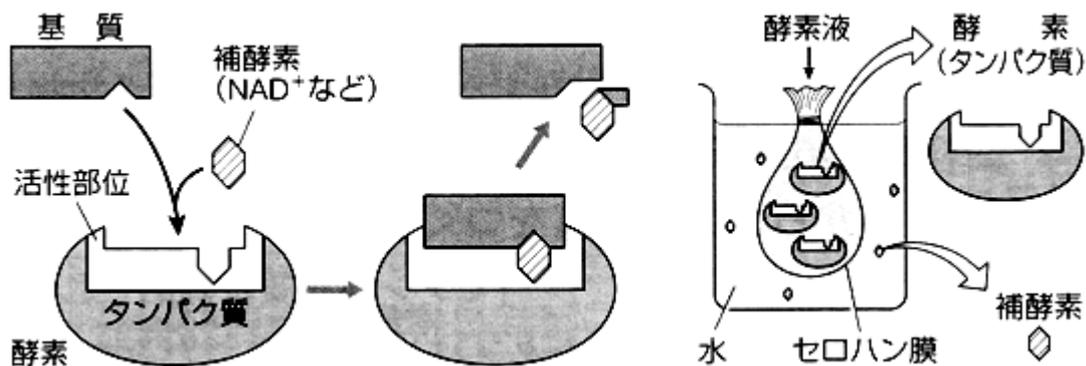
- アロステリック酵素：活性部位とは異なる結合部(アロステリック部位)をもつ酵素。
- アロステリック効果：アロステリック部位に特定の分子が結合し、反応を調節する。
- フィードバック調節：一連の酵素反応系の最終生成物が、初期の酵素反応を抑制し、反応系全体を調節すること。



(7) 補酵素

半透膜(透析膜)を透過する低分子の有機化合物。

例 NAD^+ , NADP^+



3 異化

(1) 異化

異化の過程で分解される有機物を呼吸基質という。

○呼吸：酸素を使って有機物を分解し、取り出したエネルギーを ATP に蓄える過程。ATP を大量に生成することができる。

○発酵：酸素を使わずに有機物を分解し、取り出したエネルギーを ATP に蓄える過程。ATP を少量生成する。

(2) 呼吸の反応式(グルコースを呼吸基質とする場合)

	$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 12H_2O + 38ATP$ (最大)					
質量関係	180 g	6×18 g	6×32 g	6×44 g	12×18 g	2870 kJ ^{キロジュール}
物質量関係	1 mol	6 mol	6 mol	6 mol	12 mol	686 kcal

(3) 呼吸の場

○原核生物：すべて細胞質基質で行われる。

○真核生物：解糖系は細胞質基質で、クエン酸回路・電子伝達系はミトコンドリアで行われる。



(4) 呼吸の過程

解糖系、クエン酸回路、電子伝達系の3過程からなる。

① 解糖系

細胞質基質で1分子のグルコースが2分子のピルビン酸に分解される反応。

2分子のATPが生じる。→ 実際は2分子のATPを使い、4分子のATPが生じる



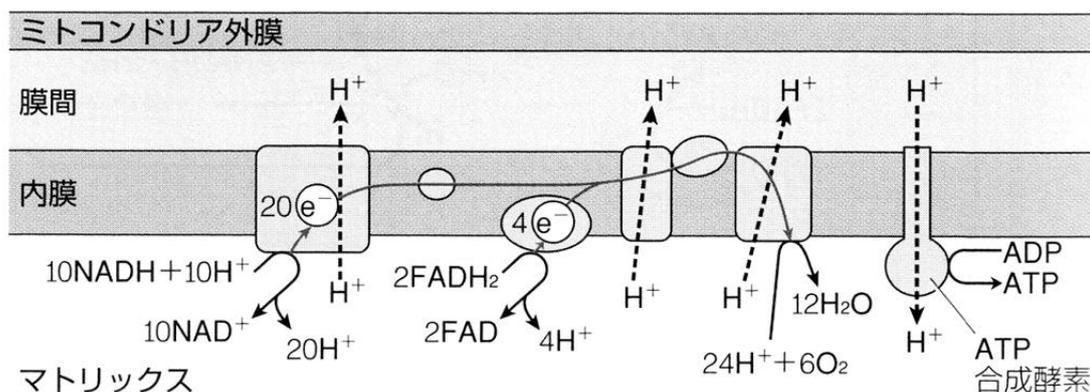
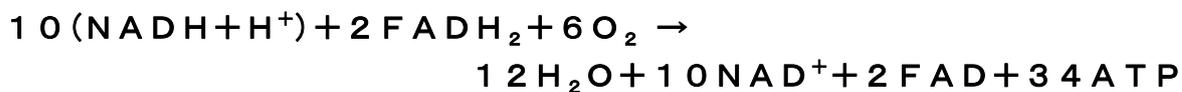
② クエン酸回路

ミトコンドリアのマトリックスでピルビン酸が二酸化炭素, H^+ , e^- に分解される反応。
 e^- は NAD^+ と FAD に受け渡される。1分子のグルコースから2分子のATPが生じる。



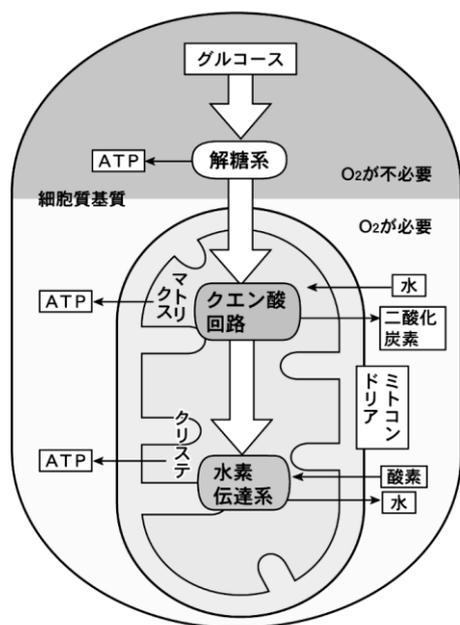
③電子伝達系

解糖系とクエン酸回路で生じた NADH と FADH₂ がミトコンドリアの内膜にある電子伝達系で H⁺ と e⁻ を放出し、水が生じる反応。e⁻ のもつエネルギーと ATP 分解酵素の働きで最大 3 4 分子の ATP が生じる。→ 酸化学的リン酸化



※電子伝達系を流れる電子のエネルギーで H⁺ を膜間に能動輸送し、H⁺ が濃度勾配によって移動するとき ATP 合成酵素が ATP を合成する。

【呼吸の過程】



(5)呼吸商

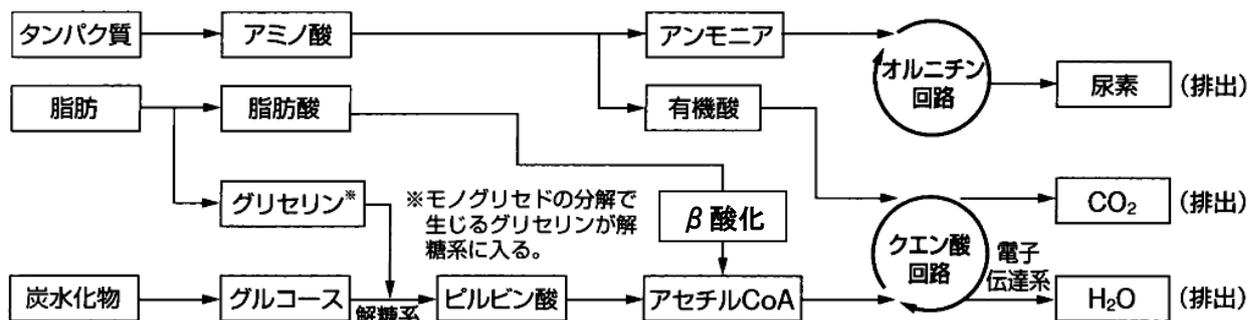
呼吸で放出した二酸化炭素(CO₂)と吸収した酸素(O₂)の体積比。

$$\text{呼吸商 (RQ)} = \frac{\text{放出した CO}_2 \text{ の体積 (物質質量)}}{\text{吸収した O}_2 \text{ の体積 (物質質量)}}$$

呼吸商から呼吸基質の種類を推定できる。

呼吸基質	呼吸の反応式	呼吸商
炭水化物 (糖質)	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 12H_2O$ グルコース 6 モル 6 モル	$\frac{6}{6} = 1.0$
脂肪 (脂肪酸)	$C_{16}H_{32}O_2 + 23O_2 \rightarrow 16CO_2 + 16H_2O$ パルミチン酸 23 モル 16 モル	$\frac{16}{23} \approx 0.7$
タンパク質 (アミノ酸)	$2C_6H_{13}O_2N + 15O_2 \rightarrow 12CO_2 + 10H_2O + 2NH_3$ ロイシン 15 モル 12 モル	$\frac{12}{15} = 0.8$

(6)呼吸基質の分解経路



(7)発酵の反応式と場

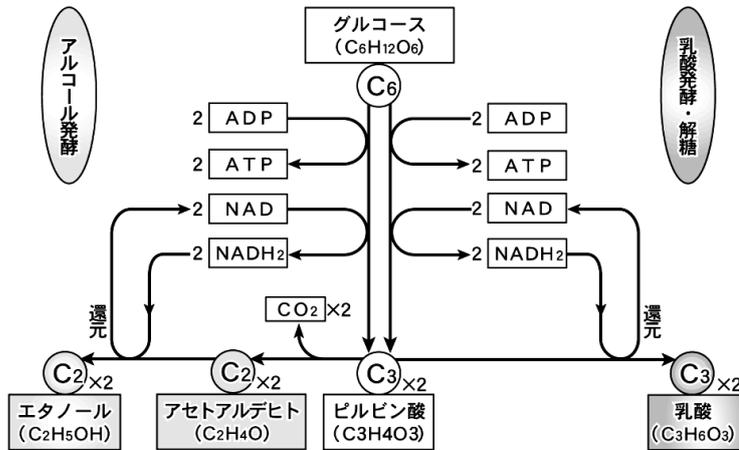
アルコール発酵	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$ グルコース エタノール	酵母(低酸素時)
乳酸発酵	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2ATP$ グルコース 乳酸	乳酸菌
解糖		動物の筋肉(低酸素時)

※酵母は酸素があるときは呼吸を、酸素が不足すると発酵を行う。

→ パスツール効果

(8) 発酵の過程

グルコースからピルビン酸までの過程は解糖系と共通。



4 同化

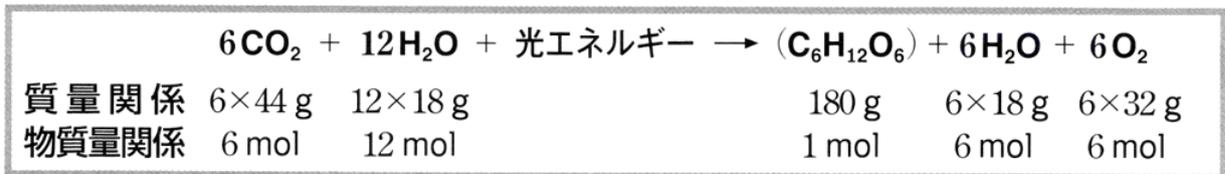
(1) 同化

○炭酸同化：二酸化炭素と水などから有機物を合成する過程

- ・光合成…光エネルギーを使う(緑色植物・シアノバクテリア・光合成細菌)
- ・化学合成…化学エネルギーを使う(化学合成細菌)

○窒素同化：無機窒素化合物と体内の有機物から有機窒素化合物を合成する過程

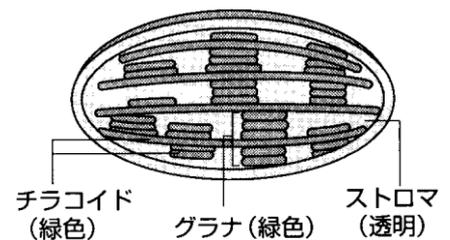
(2) 光合成の反応式(水を原料とする場合)



(3) 光合成の場

植物の光合成の場は、葉緑体。

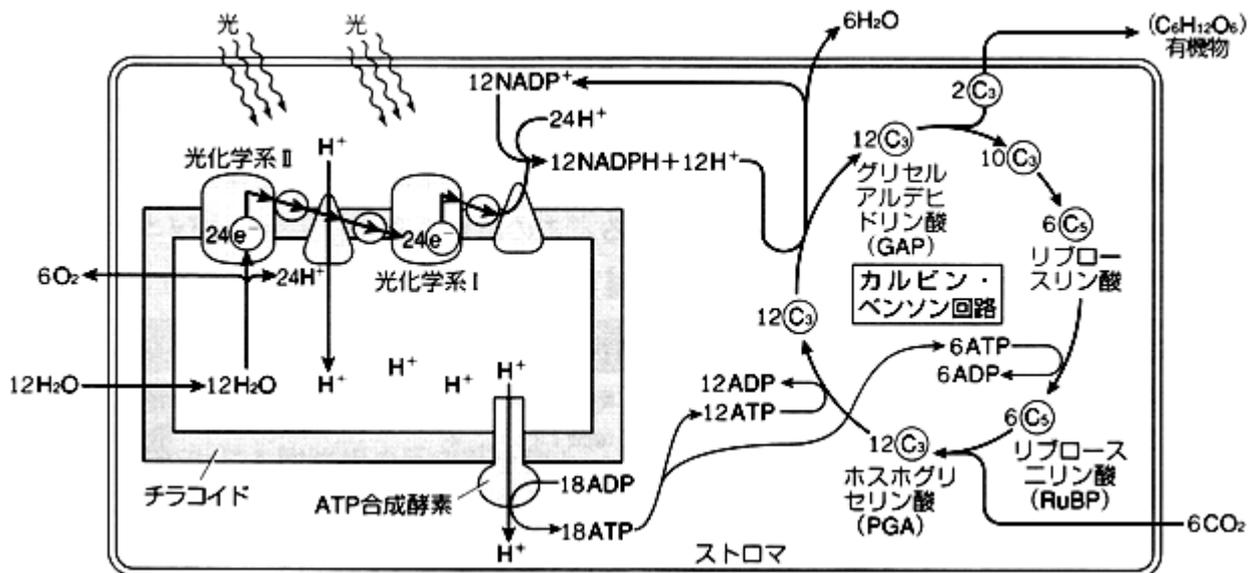
- チラコイド：扁平な袋状構造で光合成色素を含む(緑色)
- グラナ：チラコイドの層状部分(緑色)
- ストロマ：チラコイド以外の部分(透明)



(4) 光合成の過程

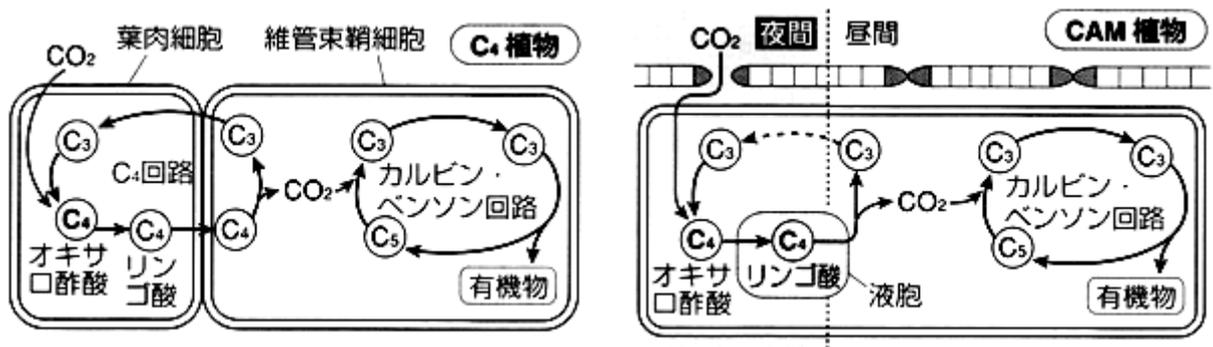
チラコイド膜	①クロロフィルの活性化(光化学反応) 光化学系Ⅱ, 光化学系Ⅰに含まれるクロロフィル(光合成色素)が, 光エネルギーを吸収し活性型クロロフィルとなって, 電子 e^- を放出する。
	②水の分解(ヒル反応) 光化学系Ⅱの活性型クロロフィルが, H_2O から電子 e^- を引き抜いて元に戻る。このとき, O_2 と H^+ が生じ, O_2 は気孔から放出され H^+ はチラコイド内にたまる。 $12H_2O \rightarrow 6O_2 + 24H^+ + 24e^-$
	③ NADPH の生成 光化学系Ⅱから放出された電子 e^- がエネルギーを放出しながら電子伝達系を移動して光化学系Ⅰに入る。このエネルギーを利用してストロマの H^+ がチラコイド内に移動する。光化学系Ⅰから放出された電子 e^- により NADPH が生じる。 $12NADP^+ + 24H^+ + 24e^- \rightarrow 12(NADPH + H^+)$
	④ ATP の合成(光リン酸化) チラコイドの H^+ が ATP 合成酵素を通してストロマに戻り ATP が合成される。
ストロマ	⑤二酸化炭素の固定(カルビン・ベンソン回路) 気孔から取り込まれた CO_2 がリブロービスリン酸(RuBP, C_5)と反応し, ホスホグリセリン酸(PGA, C_3) 2分子となる。PGA は ATP のエネルギーと NADPH による還元により, グリセルアルデヒドリン酸(GAP, C_3)となる。GAP が RuBP に戻る過程で有機物が合成される。また, この回路で H_2O も生じる。 $6CO_2 + 12(NADPH + H^+) \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 12NADP^+$

※光合成の過程④での ATP の合成は光リン酸化である。→ 呼吸では酸化的リン酸化



(5) C₃ 植物, C₄ 植物, CAM 植物

	CO ₂ 固定の最初の産物	特徴など
C ₃ 植物	C ₃ 化合物 (PGA)	通常の植物
C ₄ 植物	C ₄ 化合物 (リンゴ酸, オキサロ酢酸)	①光合成の適温が高い。②強光下で光合成速度が大。 ③光飽和点が高い。 強光, 高温下の環境で生育するのに適している。 例 トウモロコシ, サトウキビ, ヒエなど。
CAM 植物	夜間のうちに空気中の CO ₂ をリンゴ酸に固定して液胞に蓄える。	昼間, 気孔を閉じ, 夜間に蓄えた有機物から CO ₂ を取り出し光合成を行う。砂漠など, 乾燥した場所での生育に適している。 例 コダカラベンケイソウ, パイナップルなど。



(6) 細菌の炭酸同化

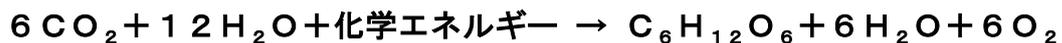
① 細菌の光合成

光合成細菌 紅色硫黄細菌, 緑色硫黄細菌など	光合成色素としてバクテリオクロフィルをもつ。 H ₂ O のかわりに H ₂ S (硫化水素) などを利用する。 $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{S} + \text{光エネルギー} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} + 12\text{S}$
シアノバクテリア ネンジュモ ユレモなど	光合成色素としてクロロフィル a などをもつ。 光化学系 I と II を使い, O ₂ を生成するなど, 植物とよく似る。 $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} + \text{光エネルギー} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{O}_2$

② 細菌の化学合成

無機物の酸化で生じる化学エネルギーを用いて炭酸同化を行う。

無機物 + O₂ → 酸化物 + 化学エネルギー (この化学エネルギーを利用)



化学合成細菌		化学エネルギーを取り出す酸化反応
硝化細菌	亜硝酸菌	$2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ + \text{化学エネルギー}$
	硝酸菌	$2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^- + \text{化学エネルギー}$
硫黄細菌		$2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{化学エネルギー}$

(7)窒素同化

①植物の窒素同化

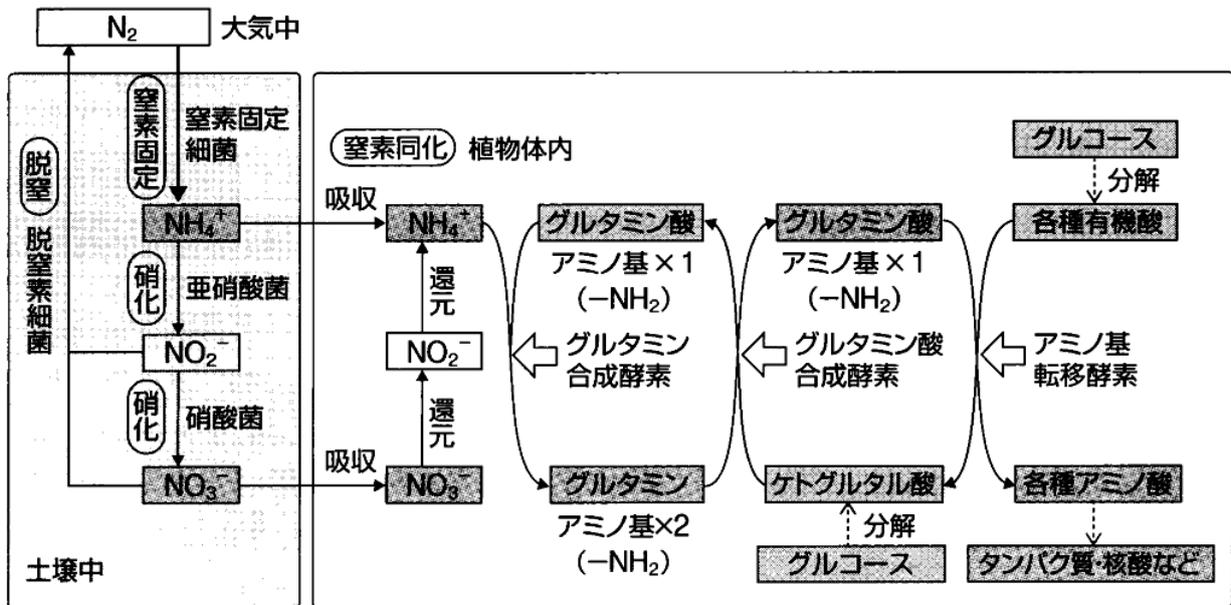
NO_3^- (硝酸イオン)や NH_4^+ (アンモニウムイオン)を吸収し、利用。

NO_3^-	葉で NO_2^- (亜硝酸イオン)に還元され、さらに NH_4^+ に還元される。
NH_4^+	呼吸で作られた様々な有機酸と反応し、いろいろなアミノ酸になる。

②窒素固定

一部の細菌が空気中の N_2 (窒素)を NH_4^+ に還元する過程。

窒素固定細菌	特徴など
根粒菌	マメ科植物の根に根粒を作って共生する。
アゾトバクター	通気性の高い土壌や酸素の多い水中に生息する好気性細菌。
クロストリジウム	酸素の乏しい土壌や水中に生息する嫌気性細菌。
シアノバクテリア	アナバナはアカウキクサなどに共生する。



第3章 遺伝情報の発現

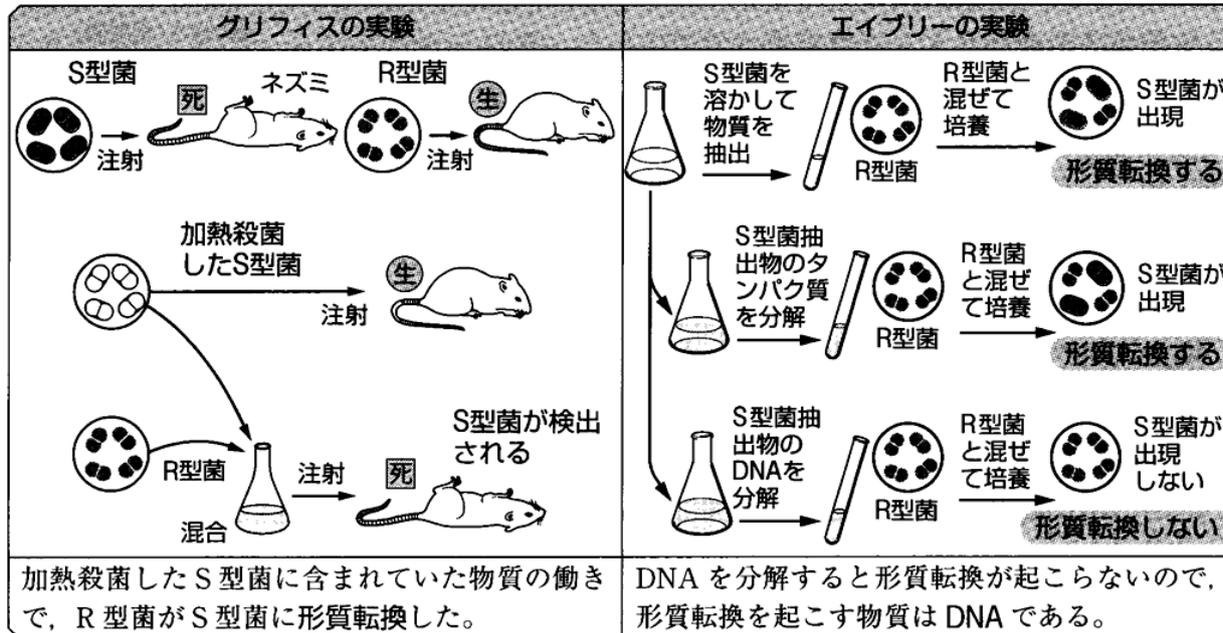
1 遺伝情報と DNA

(1) 遺伝子の本体

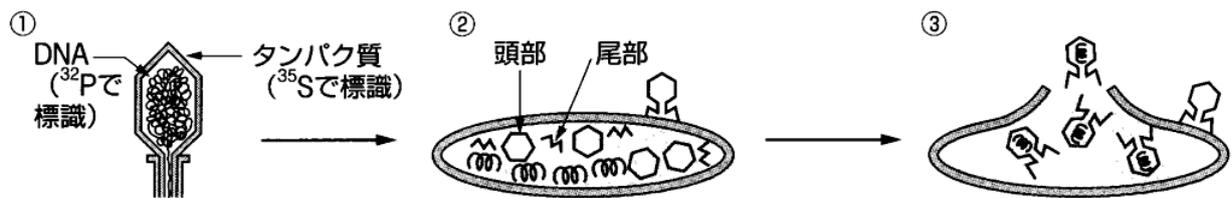
① DNA の研究史

西暦	研究者	業績
1869年	ミーシャー	膿から DNA に相当するヌクレインを発見
1928年	グリフィス	肺炎双球菌で形質転換を発見
1944年	エイブリー	肺炎双球菌で形質転換は DNA によると結論
1945年	ビードルとテータム	アカパンカビの研究で、一遺伝子一酵素説を提唱
1951年	シャルガフ	シャルガフの規則(A と T, G と C は 1 : 1)を発見
1952年	ハーシーとチェイス	ファージの研究で遺伝子の本体は DNA と確認
1953年	ワトソンとクリック	DNA が二重らせん構造であることを提唱
1958年	メセルソンとスタール	DNA の半保存的複製を証明
1983年	マリスら	ポリメラーゼ連鎖反応法(PCR法)を考案
2003年	国際協力研究	ヒトゲノム計画でヒトゲノムの全塩基配列を解析

② グリフィスの実験とエイブリーの実験



③ハーシーとチェイスの実験(放射性同位体 ^{32}P と ^{35}S を標識として用いた実験)



- ①標識したファージを大腸菌に感染させると、ファージの DNA (^{32}P) だけが大腸菌内に入る。
- ②大腸菌の DNA が分解され、ファージの DNA とタンパク質(外殻)が合成される。
- ③ファージの DNA が外殻に包まれ、大腸菌の細胞壁を溶かして増殖したファージが外に出る。

※硫黄(S)はタンパク質にあり DNA にはない。リン酸(P)は DNA にありタンパク質にはない。

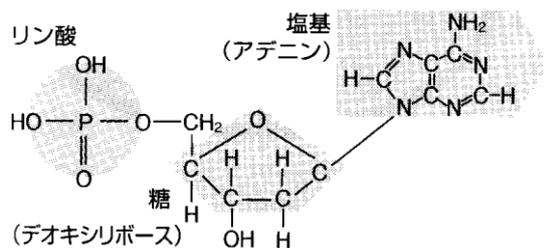
(2)核酸の種類と構造

①DNA と RNA

核酸	糖	塩基	構造
DNA	デオキシリボース	A・T・G・C	二重らせん構造(2本鎖)・非常に長い
RNA	リボース	A・U・G・C	1本鎖(DNAよりずっと短い)

※ A(アデニン), T(チミン), G(グアニン), C(シトシン), U(ウラシル)

②DNA のヌクレオチド



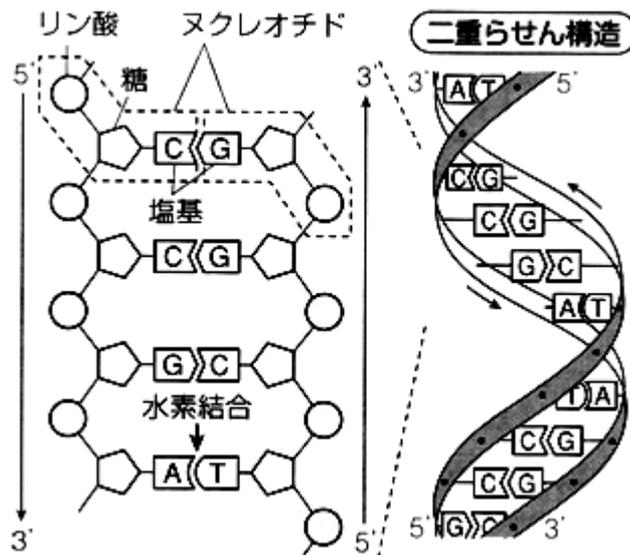
※核酸の構成単位は、リン酸+糖+塩基のヌクレオチドである。

③二重らせん構造

相補的塩基対(AとT, GとC)が結合してできる「はしご状構造」が、ねじれた構造を二重らせん構造という。DNAの塩基配列(塩基の並び方)が遺伝情報となる。

※塩基の相補性により A=T, G=C となる。→ シャルガフの法則

※2本のヌクレオチド鎖は互いに逆向きに結合している。



④RNAの種類

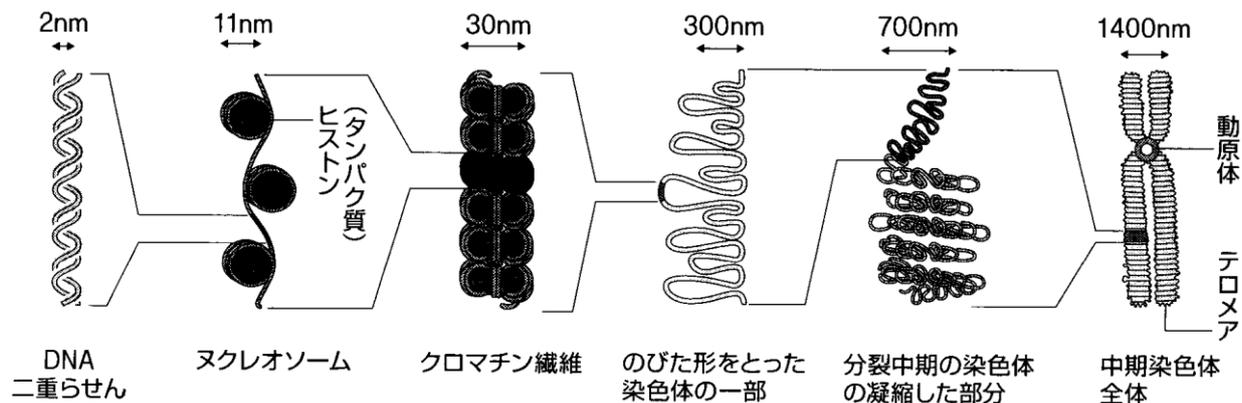
○mRNA(伝令 RNA) : DNAの遺伝情報をリボソームに伝え、タンパク質のアミノ酸配列を決める。

○tRNA(転移 RNA) : リボソームにアミノ酸を運搬する。

○rRNA(リボソーム RNA) : タンパク質とともにリボソームを形成する。

(3)染色体とゲノム

①真核生物のDNAと染色体



※原核生物はヒストンをもたず、DNAは1本の環状分子である。

②ゲノムと遺伝子

○ゲノム : 核相 n の細胞にあるDNAの全情報。核内のDNAのほか、ミトコンドリアや葉緑体のDNAも含む。ヒトゲノムは約30億塩基対、遺伝子数は約22000。

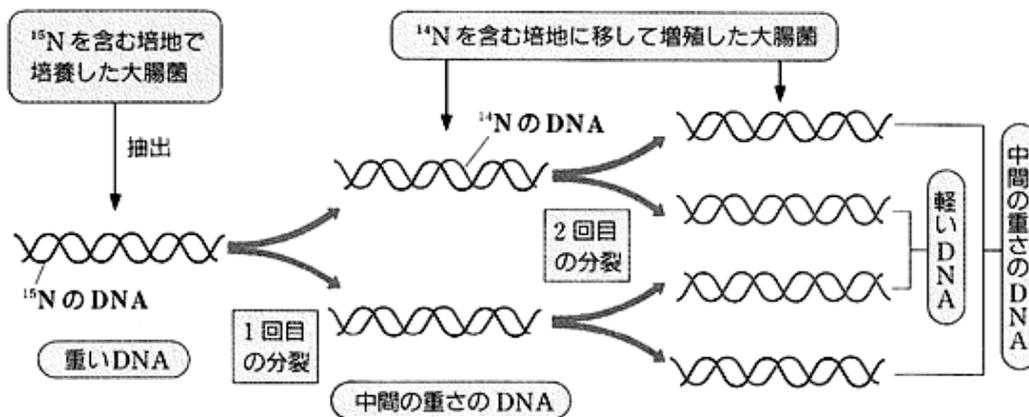
2 遺伝情報の複製

(1) DNA の複製

①メセルソンとスタールの実験

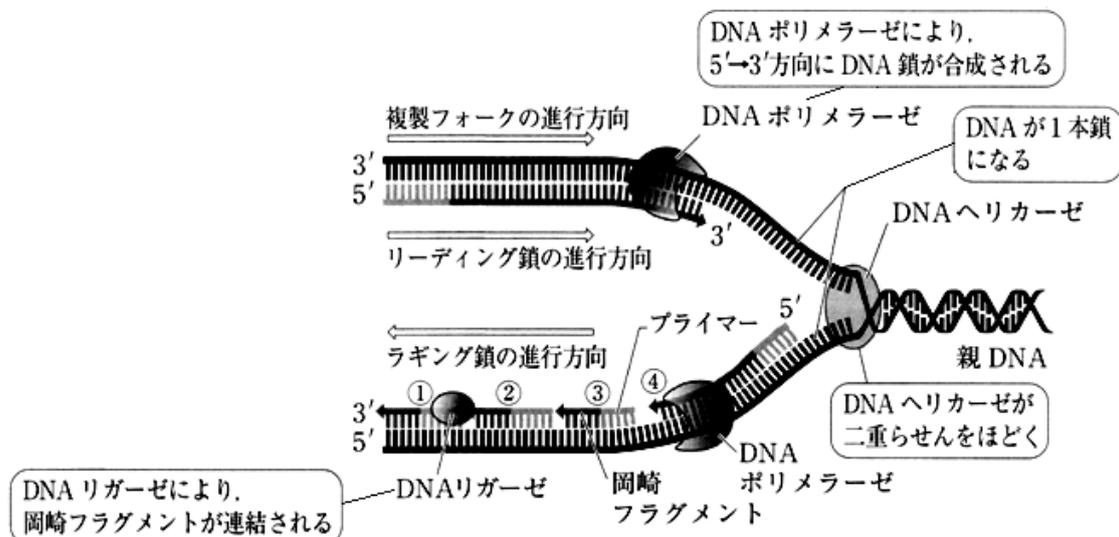
1. ^{15}N からなる重い DNA をもつ大腸菌を用意して ^{14}N の培地に移して培養した。
2. 1 世代目の大腸菌から ^{15}N と ^{14}N の鎖からなる中間の重さの DNA が得られた。
3. 2 世代目の大腸菌からは ^{15}N の鎖と ^{14}N の鎖からなる中間の重さの DNA と ^{14}N の鎖を 2 本もつ軽い DNA が同数得られた。

〈結論〉もとの 2 本鎖 DNA は 1 本鎖に分かれ、それぞれの鎖を鋳型として新しい DNA 鎖が合成され、2 本鎖 DNA が複製される。これを **半保存的複製** という。



②複製の過程

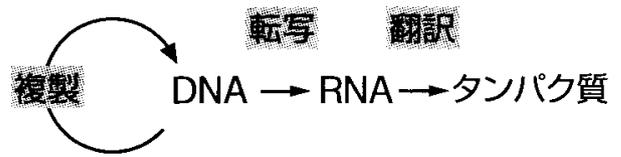
1. DNA の複製起点で **DNA ヘリカーゼ** が二重らせんをほどき、1 本鎖に分ける。
2. **プライマー** (短い RNA) に **DNA ポリメラーゼ** が結合する。
3. DNA ポリメラーゼにより、それぞれのもとの鎖に相補的塩基をもつヌクレオチドが結合し複製される。新しく合成される DNA 鎖の一方が **リーディング鎖**、他方が **ラギング鎖** となる。
4. ラギング鎖での DNA 合成では、**岡崎フラグメント** と呼ばれる短い DNA の断片が合成され、岡崎フラグメントどうしは **DNA リガーゼ** によって連結される。



3 遺伝情報の発現

(1) 遺伝情報の流れ

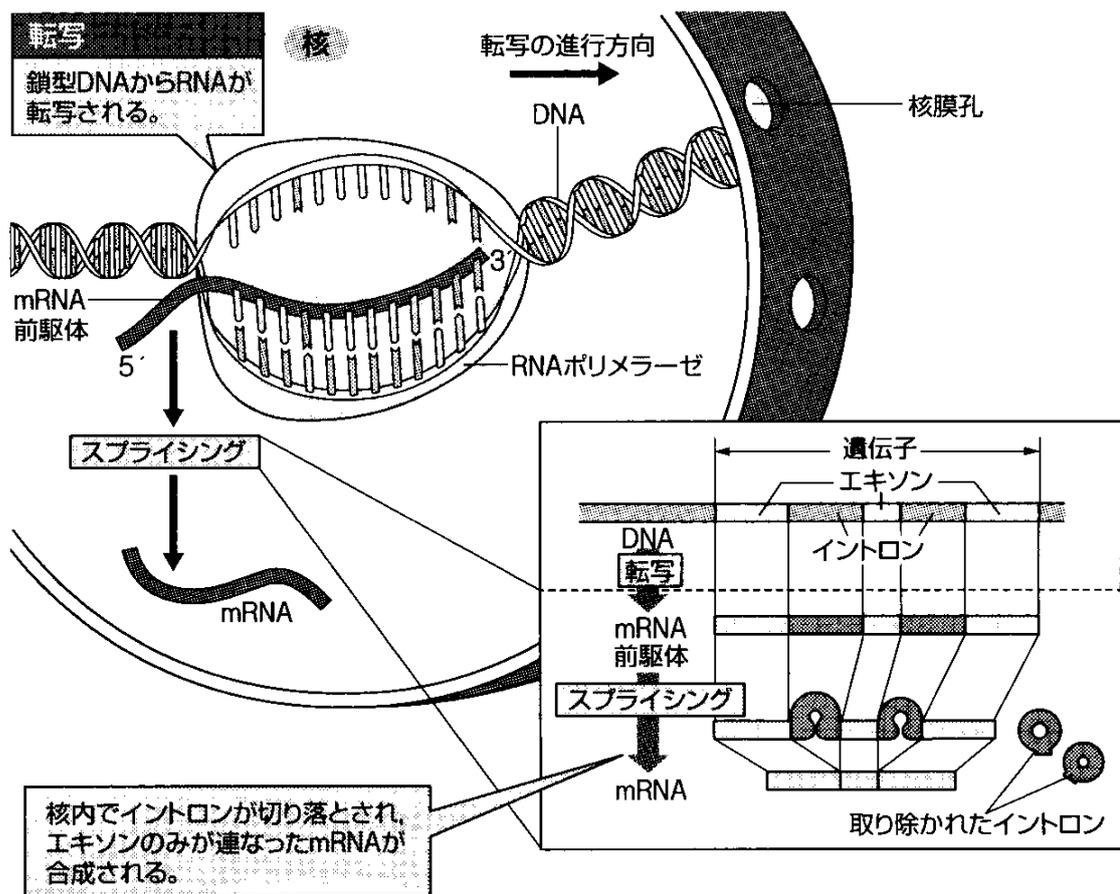
遺伝情報が DNA から RNA へ転写され、翻訳を経てタンパク質へと一方向に流れることを セントラルドグマ という。



(2) タンパク質の合成

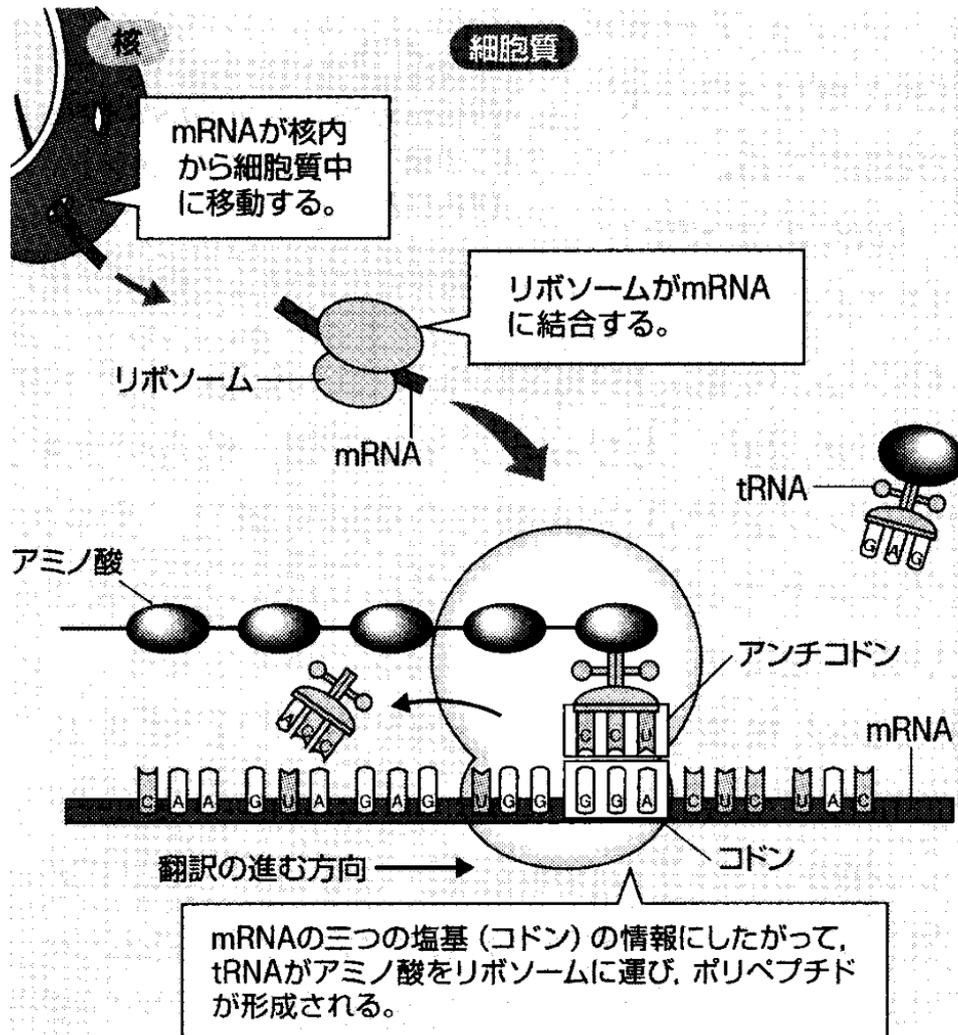
① 真核生物の転写(核内)

1. RNA ポリメラーゼがプロモーターに結合する。
2. DNA を開きながら mRNA 前駆体(原核生物では mRNA)を合成する。
3. DNA 上の転写終了位置で転写終了し、DNA から離れる。
4. 転写した mRNA 前駆体からイントロンを切り落とし、エキソンだけの mRNA を合成させる。これを スプライシング という。原核生物ではスプライシングは行われない。



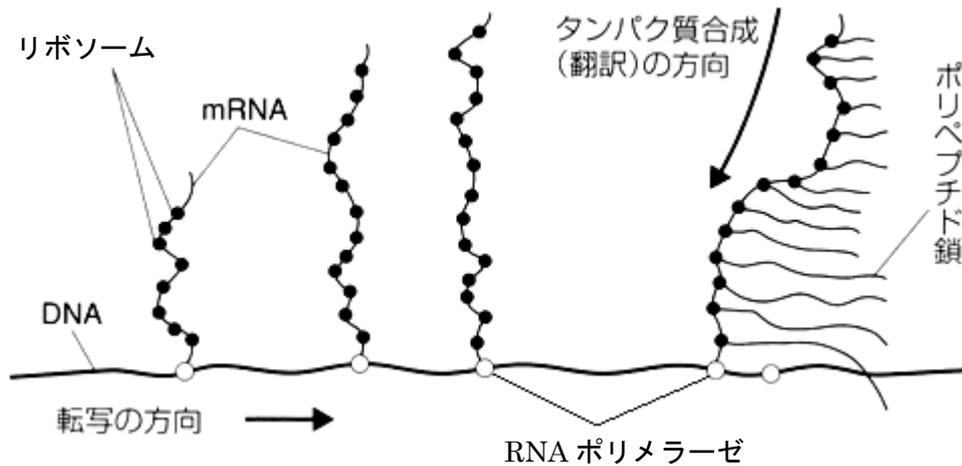
②翻訳(リボソーム)

1. リボソームが mRNA に結合し、mRNA 上を移動する。
2. リボソームは開始コドン(AUG)の位置から翻訳を始める。
3. mRNA のコドンと相補的なアンチコドンをもつ tRNA と次々に結合し、運搬されたアミノ酸を連結(ペプチド結合)してポリペプチドの鎖を伸長させる。
4. 終止コドンに到達したら翻訳を終了し、リボソームが mRNA から離れる。翻訳されたポリペプチドは、加工を受けてタンパク質になる。



③原核生物の転写・翻訳

真核細胞では核膜があり，転写の場と翻訳の場が核膜で分けられているが，核膜のない原核細胞では，転写と翻訳は細胞質で同時に行われる。また，原核細胞の DNA は小さく環状であり，スプライシングは行われない。



(3) 遺伝暗号表

ニーレンバーグによって，人工合成した mRNA によるポリペプチド合成の実験系が開発され，コラナらによって，64 種のコドンとそれに対応するアミノ酸をまとめたコドン表が完成された。

		2番目の塩基					
		U	C	A	G		
1番目の塩基	U	UUU } フェニルアラニン	UCU } セリン	UAU } チロシン	UGU } システイン	3番目の塩基	U
		UUC } フェニルアラニン	UCC } セリン	UAC } チロシン	UGC } システイン		C
		UUA } ロイシン	UCA } セリン	UAA } 終止コドン	UGA } 終止コドン		A
		UUG } ロイシン	UCG } セリン	UAG } 終止コドン	UGG } トリプトファン		G
	C	CUU } ロイシン	CCU } プロリン	CAU } ヒスチジン	CGU } アルギニン		U
		CUC } ロイシン	CCC } プロリン	CAC } ヒスチジン	CGC } アルギニン		C
		CUA } ロイシン	CCA } プロリン	CAA } グルタミン	CGA } アルギニン		A
		CUG } ロイシン	CCG } プロリン	CAG } グルタミン	CGG } アルギニン		G
	A	AUU } イソロイシン	ACU } トレオニン	AAU } アスパラギン	AGU } セリン		U
		AUC } イソロイシン	ACC } トレオニン	AAC } アスパラギン	AGC } セリン		C
		AUA } (開始コドン)	ACA } トレオニン	AAA } リシン	AGA } アルギニン		A
		AUG } メチオニン	ACG } トレオニン	AAG } リシン	AGG } アルギニン		G
G	GUU } バリン	GCU } アラニン	GAU } アスパラギン酸	GGU } グリシン	U		
	GUC } バリン	GCC } アラニン	GAC } アスパラギン酸	GGC } グリシン	C		
	GUA } バリン	GCA } アラニン	GAA } グルタミン酸	GGA } グリシン	A		
	GUG } バリン	GCG } アラニン	GAG } グルタミン酸	GGG } グリシン	G		

(4) 遺伝情報の変化

① 突然変異

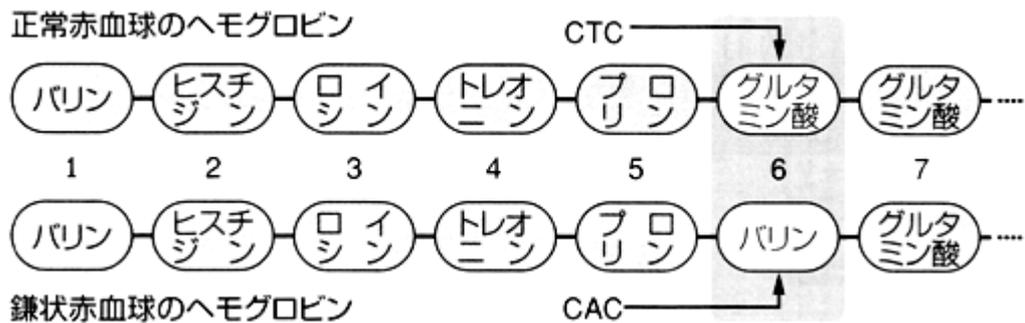
DNA の塩基配列が変化することを突然変異といい、置換・欠失・挿入などがある。

1. 置換

1つの塩基が別の塩基におきかわると、指定するアミノ酸が変化する。1つの塩基の置換によってアミノ酸を指定するコドンが終止コドンに変わる場合は、正常なタンパク質ができなくなる。一方で、コドンが変化しても同じアミノ酸を指定している場合は形質には影響しない。

〔例〕 鎌状赤血球貧血症

赤血球が鎌状になり、酸素運搬能力が低下する遺伝病。正常のヘモグロビン遺伝子に対し、塩基が1つ置換しているために構成アミノ酸の1つがグルタミン酸からバリンに変わり、ヘモグロビンの立体構造が変化して起こる。



2. 挿入・欠失

挿入や欠失が起こると、コドンの読みわくが変わってしまう(これをフレームシフトという)ため、正常なタンパク質が作られなくなり、形質に大きな影響を与える場合が多い。

突然変異の形態	野生型 (正常)	DNAの塩基配列	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15	A G G A C C T G T A G G A	アミノ酸	セリン トリプトファン トレオニン ヒスチジン プロリン
	置換	DNAの塩基配列	1 2 3 4 5 6 7 8 9 ↓ 11 12 13 14 15	A G G A C C T G T C T A G G A	アミノ酸	セリン トリプトファン トレオニン アスパギン プロリン
		DNAの塩基配列	1 2 3 4 5 6 7 8 9 ↓ 10 11 12 13 14 15	A G G A C C T G T A G T A G G A	アミノ酸	セリン トリプトファン トレオニン セリン セリン
	欠失	DNAの塩基配列	1 2 3 4 5 6 7 8 9 ↓ 11 12 13 14 15	A G G A C C T G T T A G G A	アミノ酸	セリン トリプトファン トレオニン イロイシン ロイシン
		逆位	DNAの塩基配列	1 2 3 4 5 7 6 8 9 10 11 12 13 14 15	A G G A C T C G T G T A G G A	アミノ酸

②ゲノムの多様性

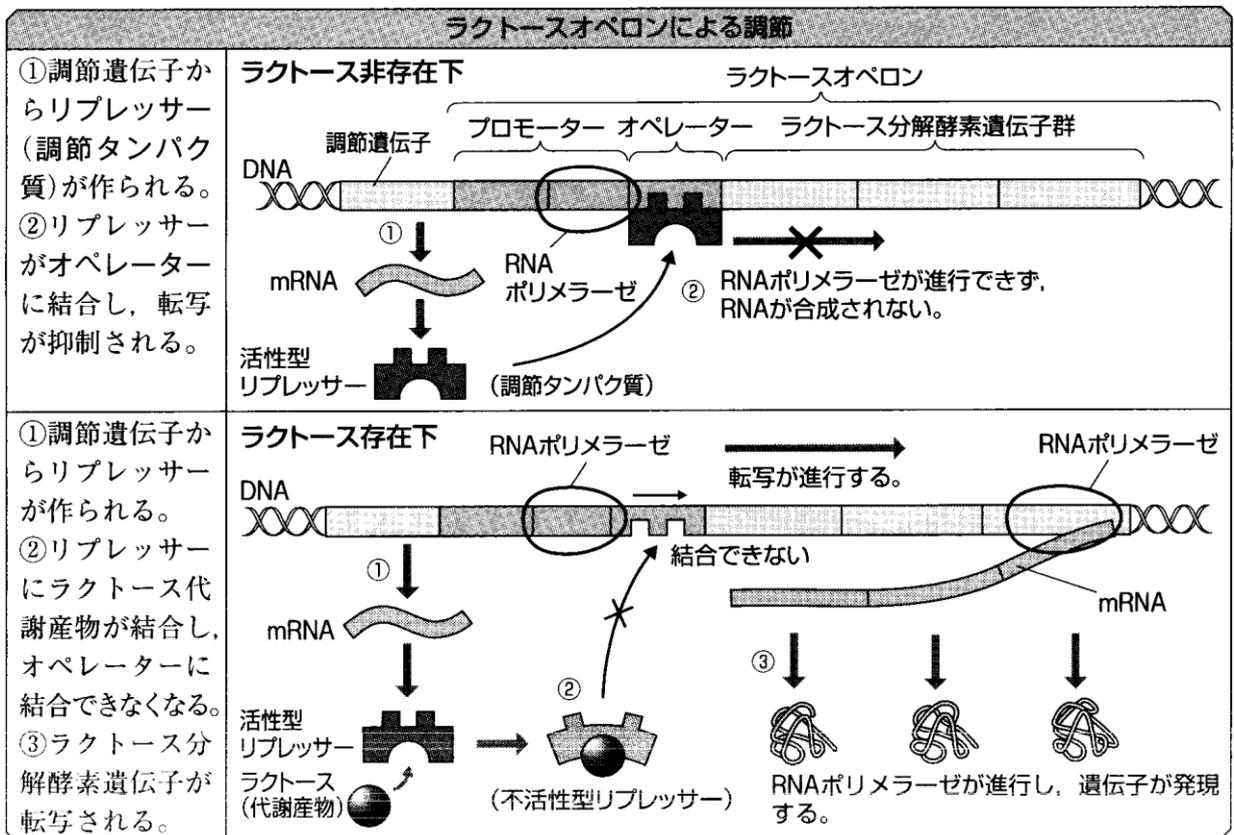
同一種の中でも、異なった塩基配列をもつ個体が多数存在する。個体間で見られる1塩基単位での塩基配列の違いを一塩基多型(SNP)という。1塩基の違いは、形質に影響を与えない場合や、影響を与えても小さい場合があり、ゲノムの多様性の要因となっている。

4 遺伝子の発現調節

(1)原核生物の転写調節

発現調節を受ける遺伝子群と、発現を調節する DNA 塩基配列のまとまりをオペロンという。

- プロモーター：RNA ポリメラーゼが結合する領域
- オペレーター：調節タンパク質が結合する領域



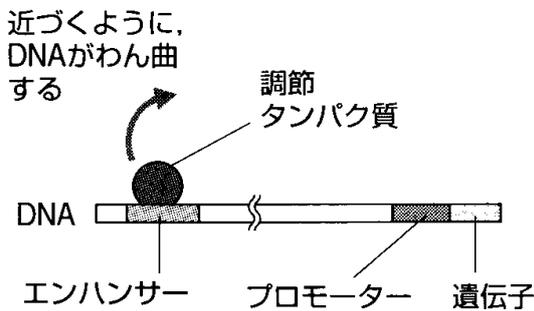
(2) 真核生物の転写調節

転写調節領域(エンハンサー)に調節タンパク質(転写調節因子)の結合の有無で転写を調節する。

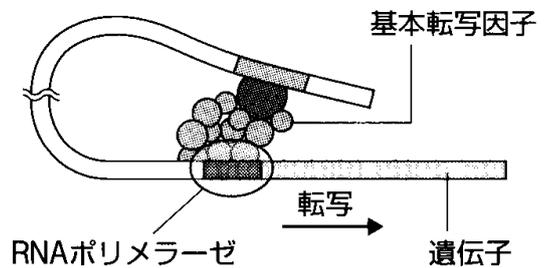
- 転写調節領域：調節タンパク質が結合する領域で、調節タンパク質の結合により転写の促進や抑制が行われる。
- 基本転写因子：真核生物の転写に必要なタンパク質。

[真核生物の転写調節の例]

①調節タンパク質が転写調節領域(エンハンサー)に結合する



②調節タンパク質, 基本転写因子, RNAポリメラーゼなどが複合体を形成し, 転写が開始される。

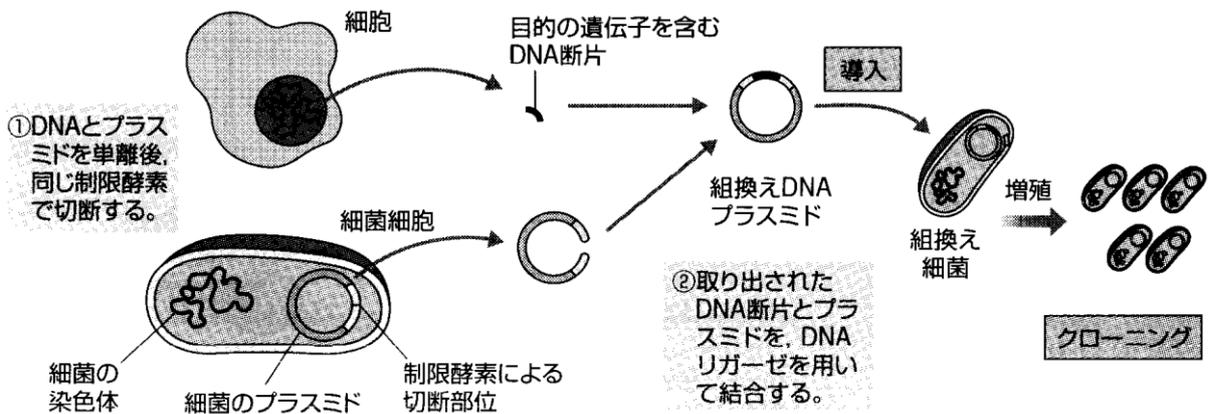


5 バイオテクノロジー

(1) 遺伝子組み換え技術

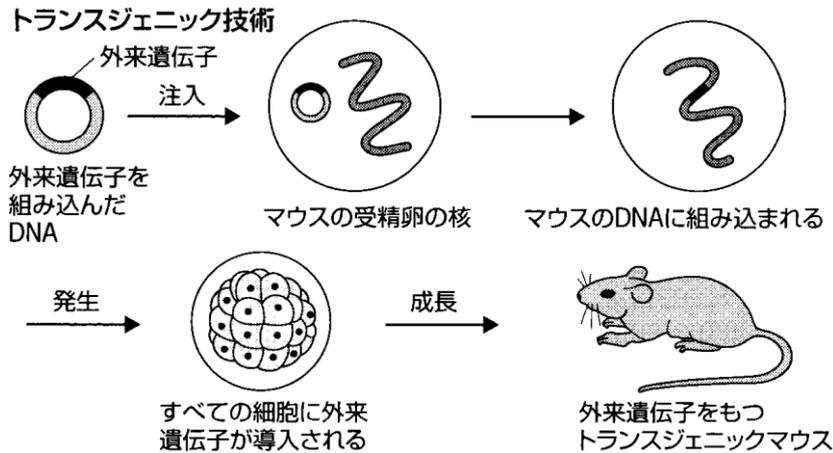
ある個体の遺伝子を他個体の遺伝子に組み込むことを遺伝子組み換えという。遺伝子組み換えには、制限酵素・DNAリガーゼ・ベクターが必要である。

制限酵素	特定の塩基配列を認識して切断する酵素。
DNAリガーゼ	切断されたDNAの断片を再び連結させる酵素。
ベクター	DNA断片を組み込み、他の細胞へ運ぶためのDNA。環状DNA(プラスミド)が用いられる。



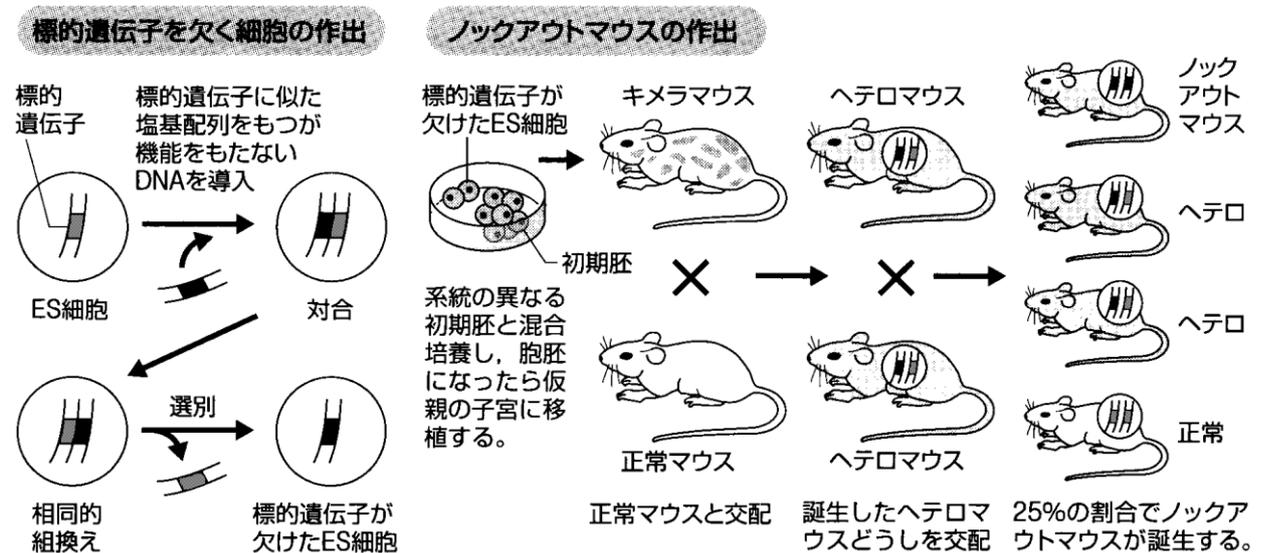
(2) 遺伝子導入

ベクターで細菌などに遺伝子導入すると、目的の遺伝子が発現して形質転換を起こす。多細胞生物で遺伝子導入された生物をトランスジェニック生物という。目的の遺伝子と一緒に緑色蛍光タンパク質(GFP)の遺伝子を導入すると目的の遺伝子が導入されたことが発光により確認できる。



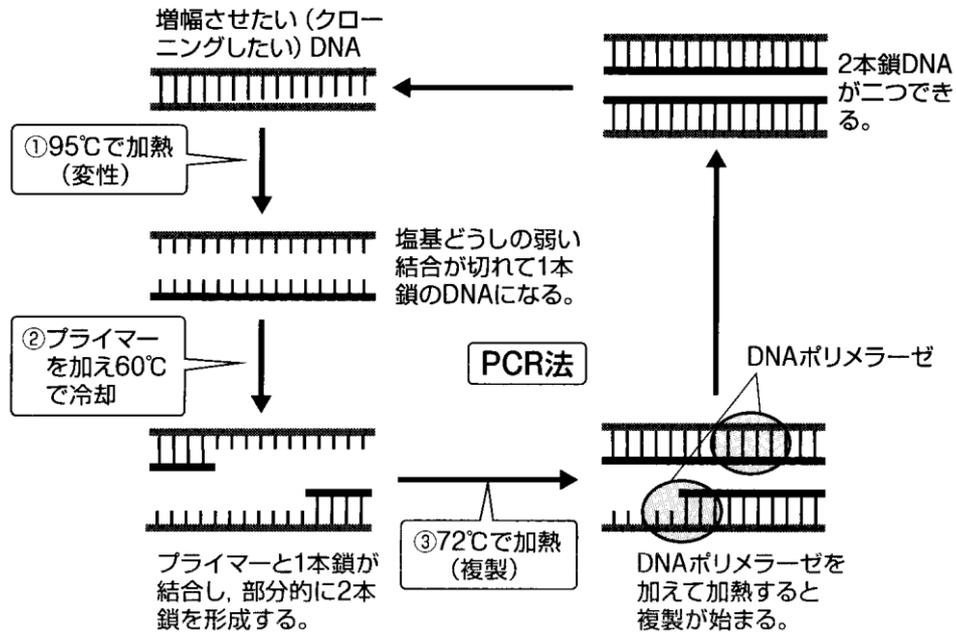
(3) ノックアウトマウス

特定の遺伝子を人為的に欠損させた突然変異マウスをノックアウトマウスという。特定の遺伝子を欠く個体の形質から、その遺伝子の機能を明らかにすることができる。



(4) クローニング

目的の遺伝子を増殖させる方法をクローニングといい、その代表が PCR 法(ポリメラーゼ連鎖反応法)である。PCR 法では 95℃の高温でも変性せず、72℃でよく働く DNA ポリメラーゼを用いる。



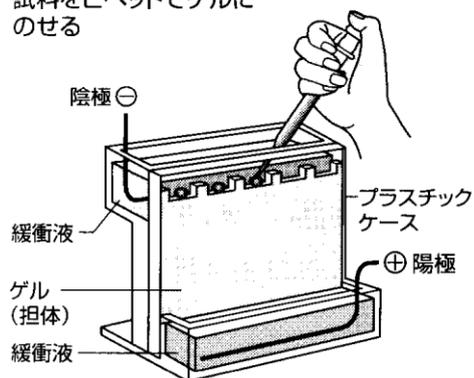
(5) 電気泳動法

電気を帯びた分子は電圧をかけると移動する性質がある。この性質とゲル中を小さい分子ほど移動することを利用して物質を分離する。DNA はマイナスに荷電しているので、陰極から陽極に移動する。

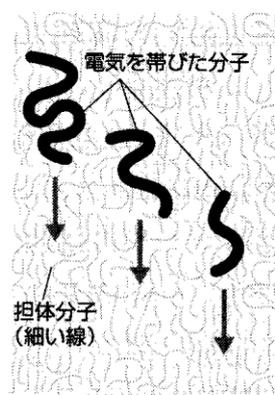
電気泳動

電気泳動装置

試料をピペットでゲルにのせる

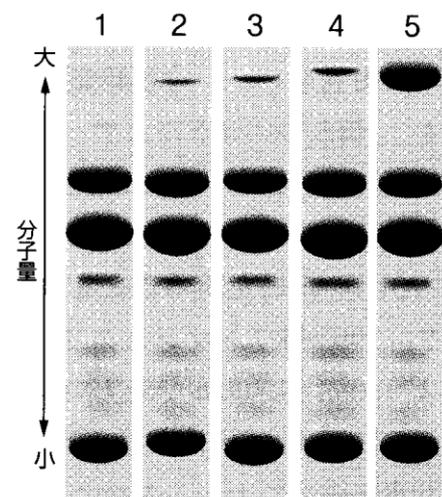


担体(アガロースやポリアクリルアミドなど)の端に試料を入れて電圧をかけると電気を帯びた分子(DNAやタンパク質など)は移動する。



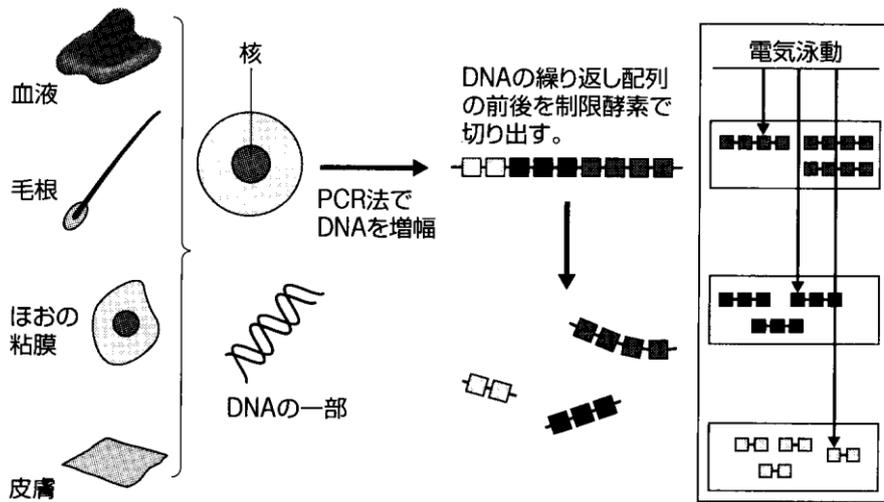
担体分子が電気を帯びた分子をさえぎるので、小さい分子ほど移動しやすく、移動距離が長くなる。

電気泳動の実験例



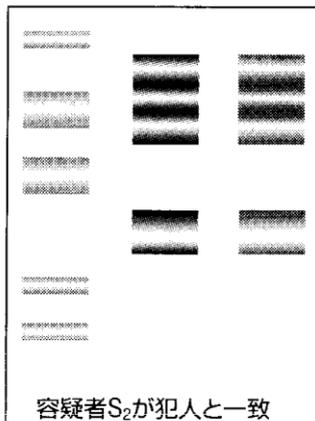
(6) DNA 鑑定

DNA の塩基配列のうち、同じ塩基配列が繰り返して存在する特殊な反復縦列配列 (STR) とよばれる部分がある。この繰り返し回数は人によって異なるので、これを利用して個人識別を行う。DNA 鑑定で電気泳動結果の帯状の模様 (バンドのパターン) が完全に一致する確率は 4.7 兆分の 1 とされる。子は父由来のバンドと母由来のバンドを半分ずつ受け継ぎ、両親にないバンドはもたない。

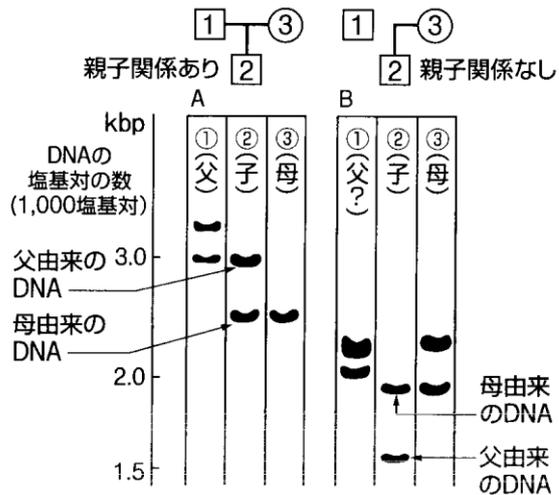


容疑者の鑑定

容疑者 S₁ 犯人の血液 E 容疑者 S₂



親子の鑑定



第4章 生殖と発生

1 生殖法と減数分裂

(1) 生殖法

親個体のからだの一部が新個体になる無性生殖と、親個体を作る配偶子どうしの接合による有性生殖がある。

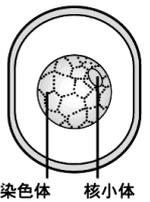
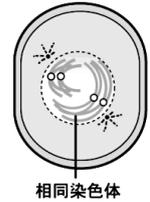
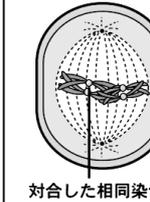
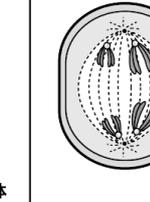
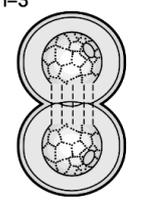
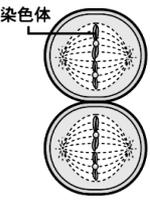
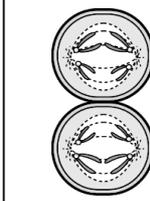
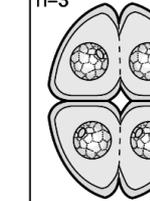
無性生殖	分裂	親個体が同形同大の二つ以上に分かれる。例ゾウリムシ、イソギンチャク
	出芽	親個体から芽を出すように新個体が生じる。例酵母、ヒドラ
	栄養生殖	栄養器官(根・茎・葉)から新個体が生じる。 例ジャガイモ(塊茎)、サツマイモ(塊状根)、オランダイチョゴ(走出枝)
有性生殖	接合	2個の配偶子が合体(接合)して接合子となり、それが成長して新個体となる。個体間の接合(アオミドロ)、同形配偶子接合(クラミドモナス)、異形配偶子接合(アオサ)がある。
	受精	異形配偶子接合のうち卵(雌性配偶子、大きくて運動性はない)と精子(雄性配偶子、小さくて運動性がある)の合体を特に受精という。例多細胞動物

(2) 生殖法の比較

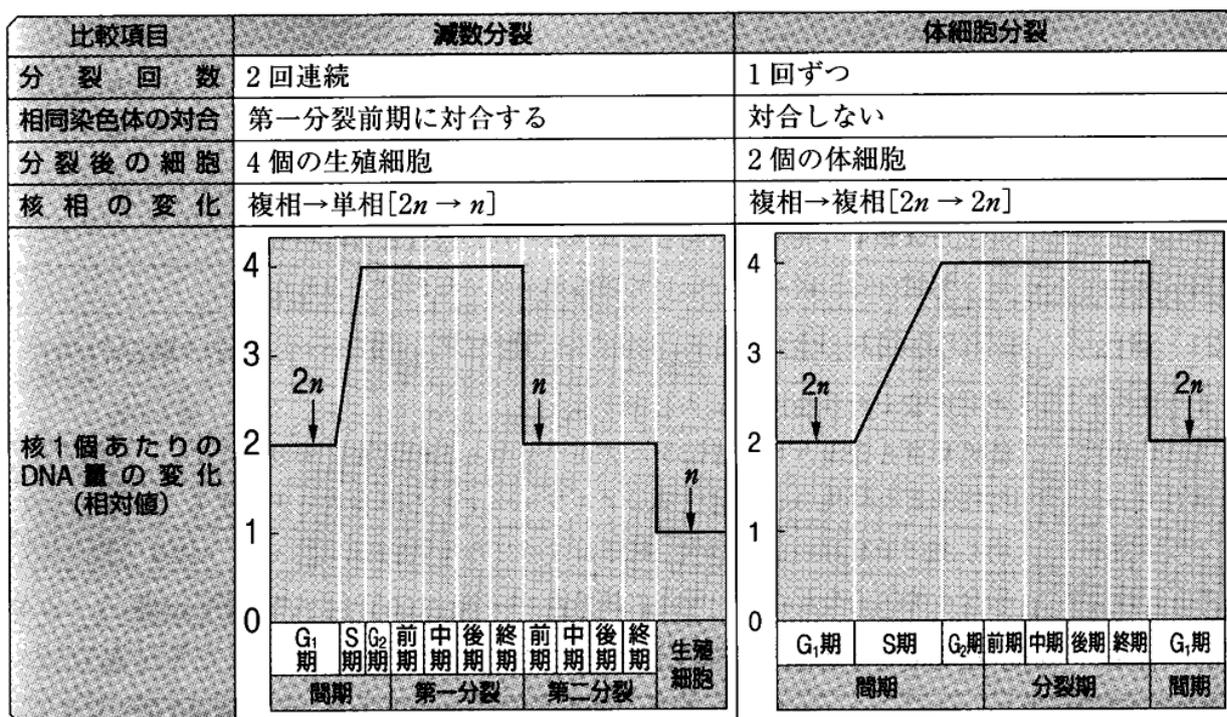
生殖法	増殖の効率	新個体の遺伝子構成	環境変化への適応力
無性生殖	単独で増殖するので効率がよい。	親個体の遺伝子構成と同じ(クローン)。	遺伝的に同じであり多様性がないため適応力は低い。
有性生殖	2個体ないと増殖できず効率が悪い。	両親の遺伝子が組み合わせるため多様。	遺伝的に多様なため、適応力が高い個体が生じる。

(3) 減数分裂

配偶子を形成するときに行われる細胞分裂。

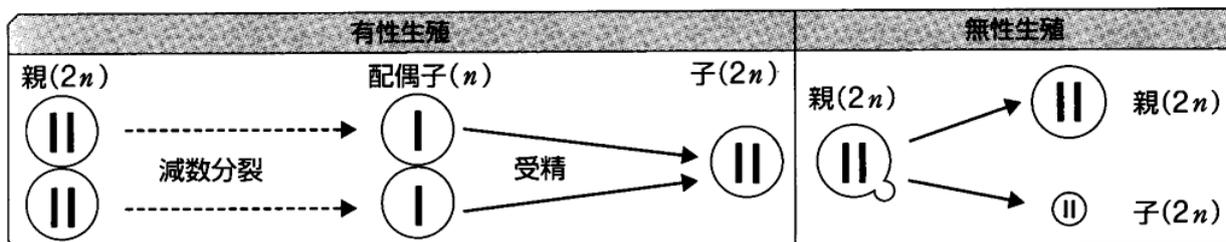
間期		減数分裂第一分裂			
$2n=6$		前期	中期	後期	
	染色体 核小体				
DNAはS期に複製され、二倍の量になる。		二本の相同染色体が対合、二価染色体を形成する。	赤道面に対合した染色体(二価染色体)が並ぶ。	それぞれの相同染色体が分離し、両極へ移動する。	
		減数分裂第二分裂			
$n=3$ 終期	前期・中期	後期	$n=3$ 終期		
					
細胞分裂が起こる。相同染色体が一本の細胞が二つできる。	間期はなく、すぐ第二分裂に入る。染色体は再び赤道面に並ぶ。	染色体は縦の裂け目から分離する。それぞれ、両極へ移動する。	生殖細胞が四個できる。それぞれ相同染色体を1つ含む。		

(4) 減数分裂と体細胞分裂の比較



(5) 生殖法と染色体

有性生殖では生殖過程で染色体数・染色体構成が変化していく。



(6) 性の決定様式

染色体のうち、雌雄に共通するものを常染色体、雌雄で異なるものを性染色体という。性染色体(X, Y, Z, W)の組合せによって性が決定する。

性決定の型	親			受精	子		例	
	性	体細胞(2n)	配偶子(n)		体細胞(2n)	性		
♂がヘテロ接合型	XY型	♀	2A+XX	A+X		2A+XX	♀	ヒト,ネコ,アサ,クワ,キイロショウジョウバエ,
		♂	2A+XY	A+X A+Y		2A+XY	♂	
	XO型	♀	2A+XX	A+X		2A+XX	♀	
		♂	2A+X	A+X A		2A+X	♂	
♀がヘテロ接合型	ZW型	♀	2A+ZW	A+Z A+W		2A+ZW	♀	ニワトリ,アヒル,カイコガ,タカイチゴ
		♂	2A+ZZ	A+Z		2A+ZZ	♂	
	ZO型	♀	2A+Z	A+Z A		2A+Z	♀	
		♂	2A+ZZ	A+Z		2A+ZZ	♂	

2 遺伝の法則

(1) 遺伝の基礎用語

①形質：個体のもつ形や性質のこと。

対立形質	1 個体に同時に現れることのない形質。例エンドウの種子の丸形としわ形
優性形質	対立形質をもつ純系を交配して雑種第一代に現れる方の形質。
劣性形質	対立形質をもつ純系を交配して雑種第一代に現れない方の形質。

②遺伝子：個体の形質を決める因子。染色体に含まれ、親から子に受け継がれる。

対立遺伝子	対立形質を担う優性遺伝子と劣性遺伝子。
優性遺伝子	優性形質を発現させる遺伝子。アルファベットの <big>大</big> 文字で表記する。
劣性遺伝子	劣性形質を発現させる遺伝子。アルファベットの <big>小</big> 文字で表記する。
ホモ接合体	同じ遺伝子を対にもつ個体。純系はすべてホモ接合体。例 AA, aaBB
ヘテロ接合体	異なる遺伝子を対にもつ個体。例 Aa, AaBb

③系統：祖先を共通とする個体のまとまり。

純系	同一系統の個体間で繰り返し交配しても同じ形質しか現れない系統。
雑種第一代	異なる形質の純系を交配して生じた一代目の雑種。F ₁ と略記する。
雑種第二代	雑種第一代どうしの交配で生じた二代目の雑種。F ₂ と略記する。

④交配：遺伝子型の同異に関わらず、2 個体間で受粉あるいは受精を行うこと。

交雑	遺伝子型の異なる個体間で行われる受粉・受精。
自家受精	同一個体の雌雄配偶子間で行われる交配。
一遺伝子雑種	1 対の対立形質だけに注目し、異なる形質の純系どうしを交雑して生じた雑種。
二遺伝子雑種	2 対の対立形質だけに注目し、異なる形質の純系どうしを交雑して生じた雑種。

⑤書き方：遺伝の法則は記号で表記して考える。

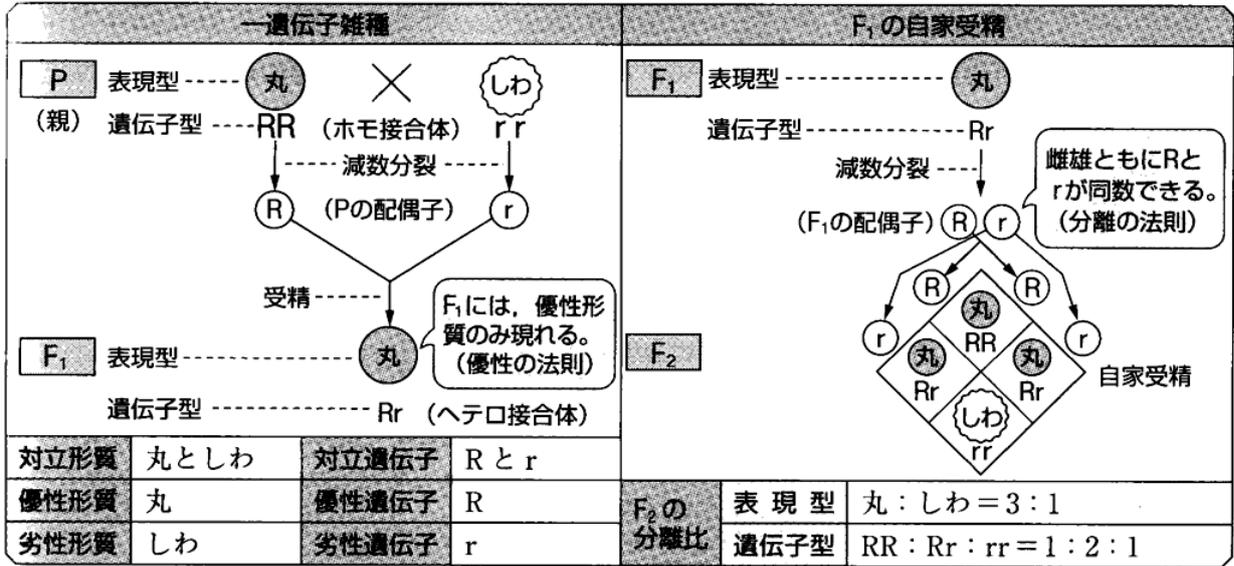
系統	親は P, 雑種第一代は F ₁ , 雑種第二代は F ₂ と略記する。
遺伝子記号	遺伝子を表す記号。アルファベットを用い、優性遺伝子は <big>大</big> 文字、劣性遺伝子は <big>小</big> 文字で表記する。
遺伝子型	個体の遺伝子構成を遺伝子記号で表したもの。A(a)から、 <big>大</big> 文字から順に表記する。例 Aa, AaBb, aaBb
表現型	遺伝子の働きで実際に現れた形質。文字で表記する。具体的な形質が示されていない場合は [] と最小限の遺伝子記号で表す。例丸形：[A], [Ab]

⑥メンデルの遺伝の法則：メンデルはエンドウを用いて遺伝の法則を発見した(1865 年)。

優性の法則	純系の優性形質の親と純系の劣性形質の親を交配して生じる雑種第一代に優性形質だけが現れること。
分離の法則	対立遺伝子が減数分裂によって別々の配偶子に分配されること。
独立の法則	異なる染色体上の複数の対立遺伝子が、それぞれ独立に遺伝すること。

(2) 一遺伝子雑種と優性の法則・分離の法則

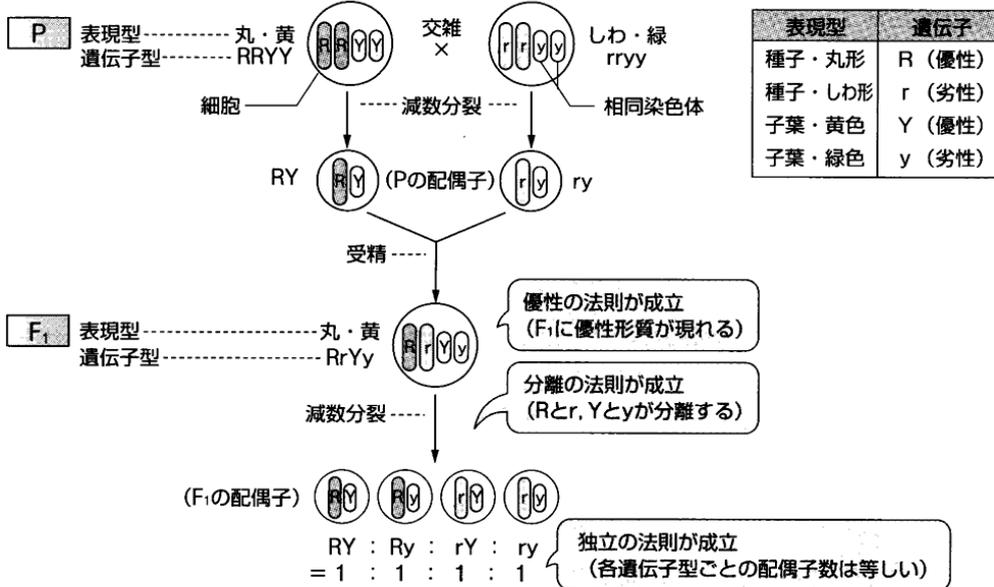
エンドウの種子の形(丸, しわ)の遺伝



(3) 二遺伝子雑種と独立の法則

二遺伝子雑種で独立の法則が成立するとき、2対の対立遺伝子は異なる相同染色体上に存在する。

エンドウの種子の形(丸形, しわ形)と子葉の色(黄色, 緑色)の遺伝



F₂ F₁の自家受精

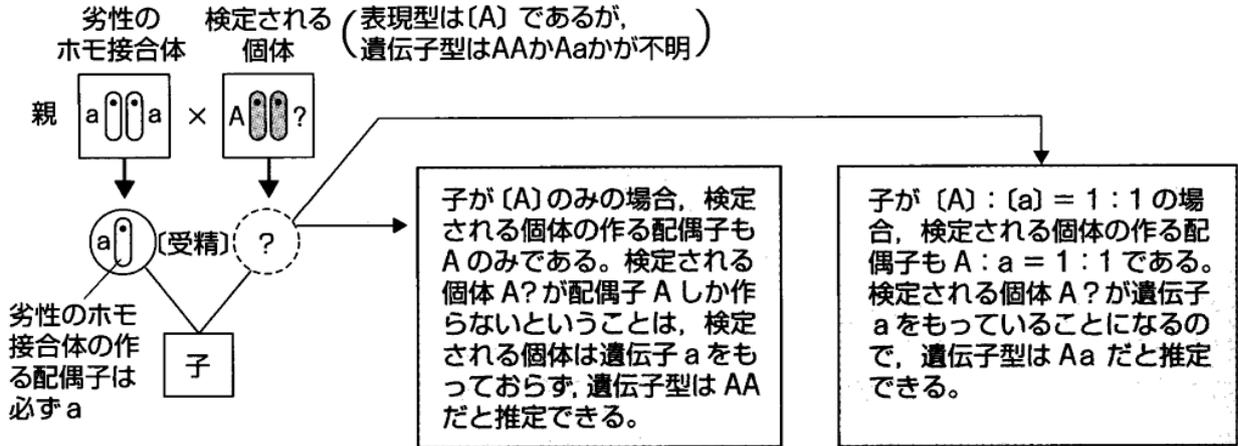
F₁の配偶子の遺伝子型を表の上と左に並べ、F₂の遺伝子型を求める。次に、Rがあれば(丸)、なければ(しわ)、Yがあれば(黄)、なければ(緑)というように表現型を求める。このように表を作成して分離比を求める方法を基盤法という。

	♀	RY	Ry	rY	ry	
♂	RY	RRYY (丸・黄)	RRYy (丸・黄)	RrYY (丸・黄)	RrYy (丸・黄)	ホモ接合体
	Ry	RRYy (丸・黄)	RRyy (丸・緑)	RrYy (丸・黄)	Rryy (丸・緑)	
	rY	RrYY (丸・黄)	RrYy (丸・黄)	rrYY (しわ・黄)	rrYy (しわ・黄)	
	ry	RrYy (丸・黄)	Rryy (丸・緑)	rrYy (しわ・黄)	rryy (しわ・緑)	

(丸・黄)：(丸・緑)：(しわ・黄)：(しわ・緑)=9：3：3：1

(4) 検定交雑

遺伝子型を推定するための交配を検定交雑という。検定される個体に劣性のホモ接合体を交配する。生じた子の表現型の分離比が、検定される個体の作る配偶子の遺伝子型の分離比と一致する。ここから検定される個体の遺伝子型を推定する。



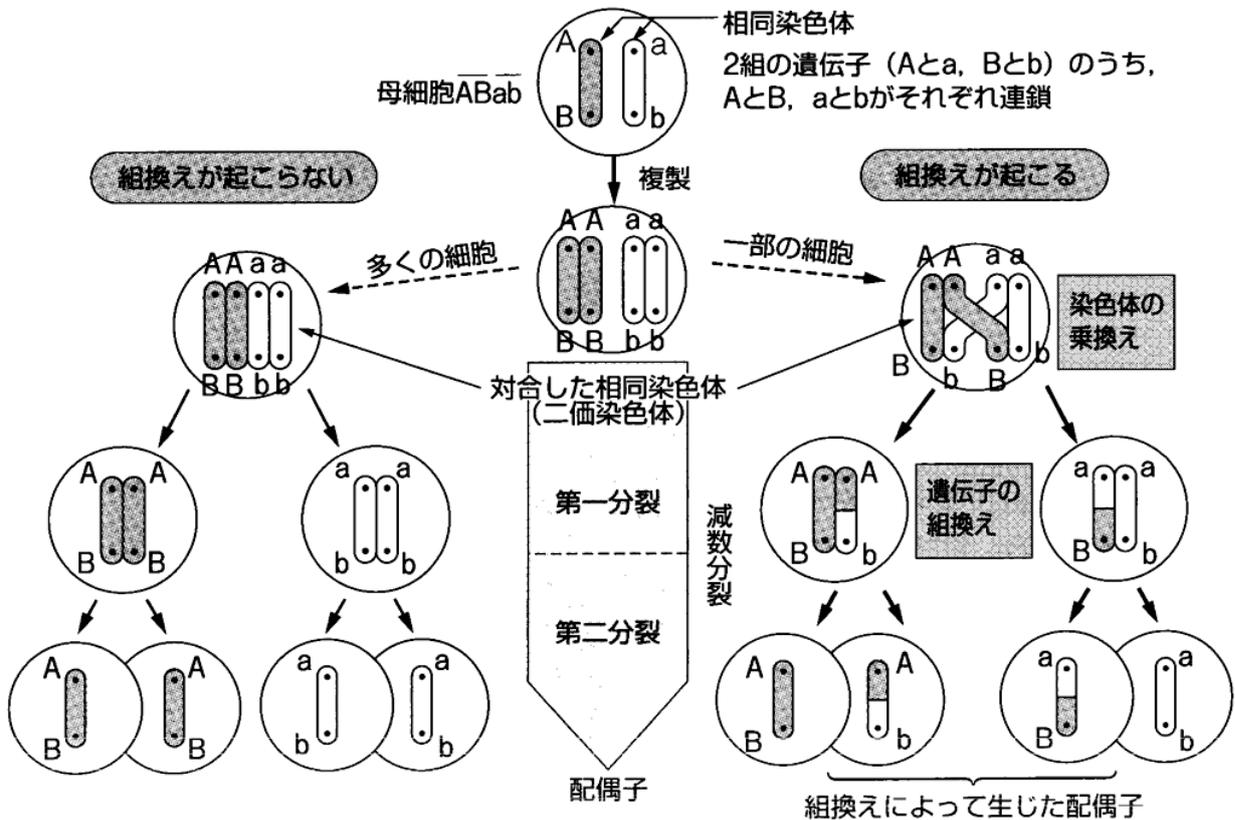
(5) 連鎖と組換え

① 独立と連鎖

2対の対立遺伝子が、異なる相同染色体上に存在する場合は独立、同じ相同染色体上に存在する場合は連鎖という。

② 連鎖における配偶子形成

減数分裂第一分裂前期において相同染色体が対合する。このとき、染色体の乗換が起こると、新たな遺伝子の組合せができる(遺伝子の組換え)。



③検定交雑と連鎖

ヘテロ接合体 (AaBb) の検定交雑によって、連鎖の有無や、連鎖する遺伝子の組などを調べることができる。

二遺伝子雑種(遺伝子型 AaBb)の検定								
検定 固体	配偶子の分離比				連鎖・組換えの 有無	遺伝子型 の表記	細胞の 模式図	
	AB	Ab	aB	ab				
例①	1 : 1 : 1 : 1				独立	AaBb		
例②	1 : 0 : 0 : 1				連鎖	$\overline{AB} \overline{ab}$		
例③	$n : 1 : 1 : n$					組換えあり		(AB/ab)
例④	0 : 1 : 1 : 0					組換えなし	$\overline{Ab} \overline{aB}$	
例⑤	$1 : n : n : 1$					組換えあり	(Ab/aB)	

④組換え価

組換え価が大きいほど二つの遺伝子は離れた距離にある。

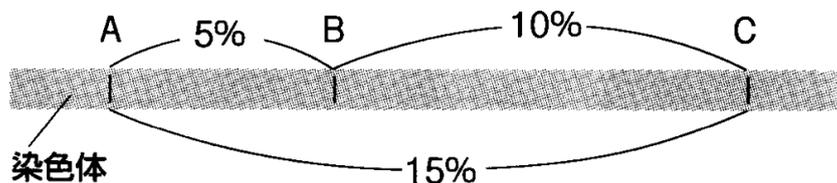
$$\text{組換え価 (\%)} = \frac{\text{組換えを起こした配偶子の数}}{\text{全配偶子の数}} \times 100$$

(6) 三点交雑

連鎖している三つの遺伝子に対して検定交雑を行い、それぞれ組換え価から各遺伝子の相対的位置を求める方法を三点交雑という。

遺伝子 : A · B · C

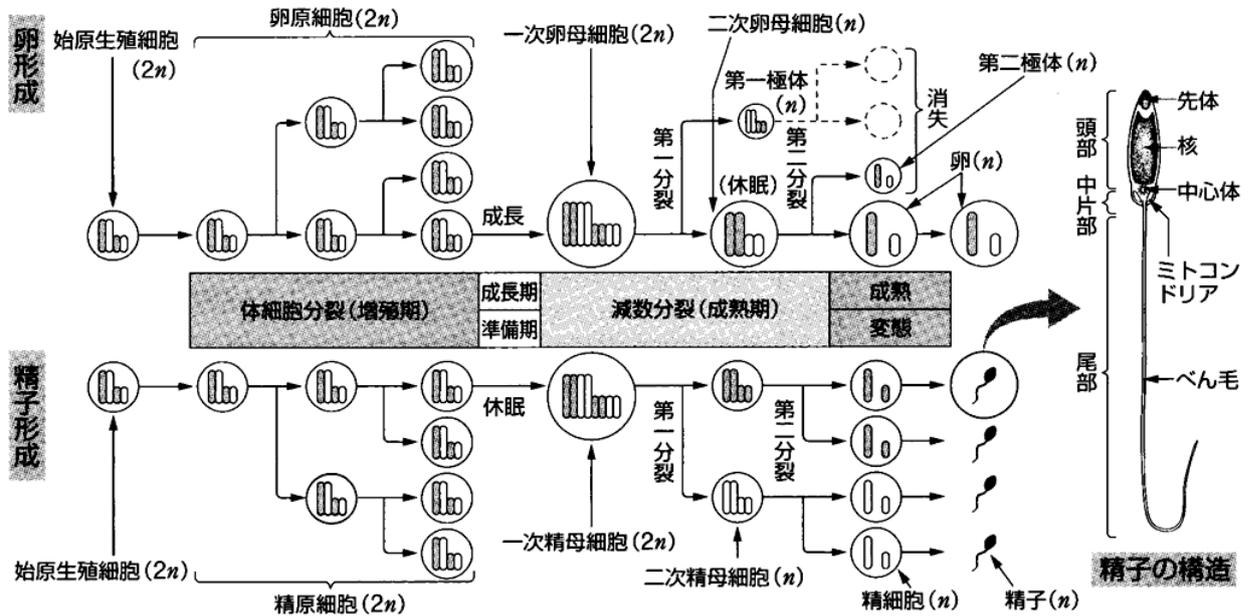
組換え価 : AB間5%, AC間15%, BC間10%



3 動物の生殖

(1) 動物の配偶子形成

1個の一次細胞から、卵は1個、精子は4個できる。

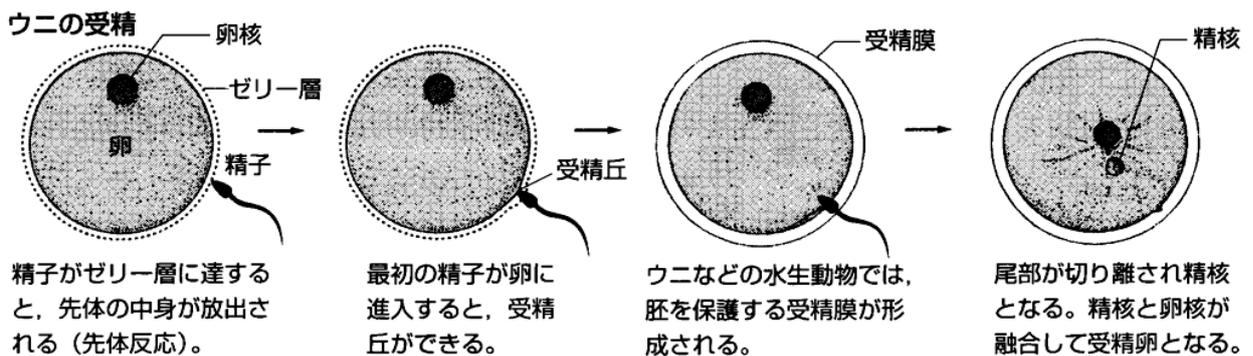


※減数分裂のタイミング…一次卵(精)母細胞で減数分裂

※精子の頭部はゴルジ体から形成された**先体**と核，中片部には**ミトコンドリア**，尾部には微小管(中心粒)から形成された**べん毛**がある。

(2) 動物の受精

一般に、水生生物は体外受精，陸上生物は体内受精を行う。



※卵の細胞膜の外側に卵黄膜があり，受精後に卵黄膜が細胞膜から分離して受精膜になる。

→ 受精膜は細胞膜ではない！

補足 多精拒否

受精後，卵細胞内に Na^+ が流入し卵の膜電位が変化することで他の精子の侵入を防ぐ。その後 Ca^{2+} が放出され，受精膜が形成されて他の精子の侵入を防ぐ。

4 動物の発生過程

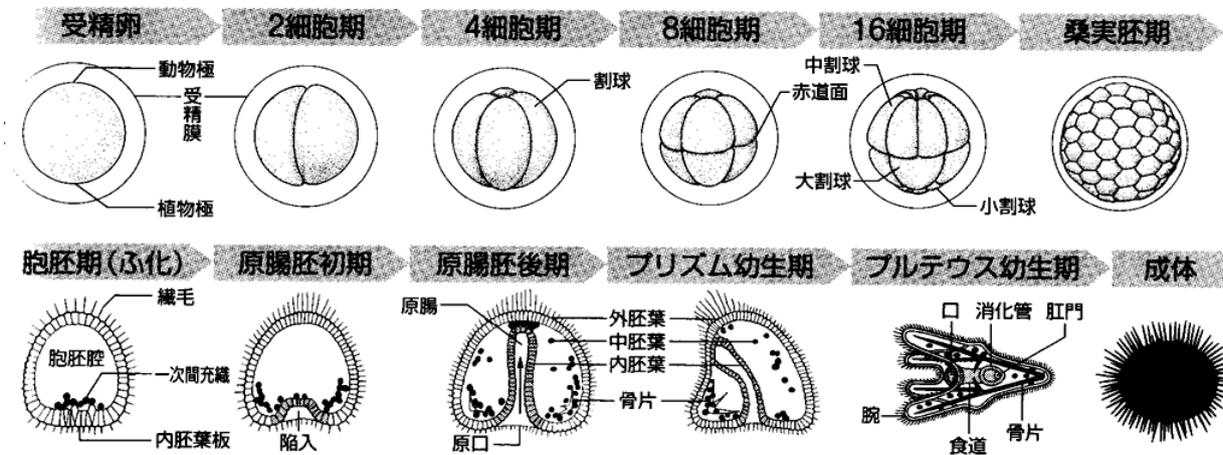
(1) 卵割

卵割は分裂速度が速いので、卵全体の大きさは変わらず、割球が次第に小さくなる。卵割の様式は、卵割を妨げる卵黄の量と分布によって異なる。

種類	卵黄		卵割様式	初期発生の過程(動物極を上方に図示)					生物例	
	量	分布		受精卵	2細胞期	4細胞期	8細胞期	胞胚期		
等黄卵	少ない	均一	全割						ウニ類 哺乳類	
端黄卵	多い	植物極側		不等割						軟体動物 両生類
	極めて多い	植物極側	部分割	盤割						魚類・鳥類 は虫類
心黄卵	多い	中心部		表割						昆虫類 甲殻類

(2) ウニの発生

原腸胚のあとプリズム幼生、プルテウス幼生になる。最後に変態して成体になる。



※ウニは胞胚期にふ化する。

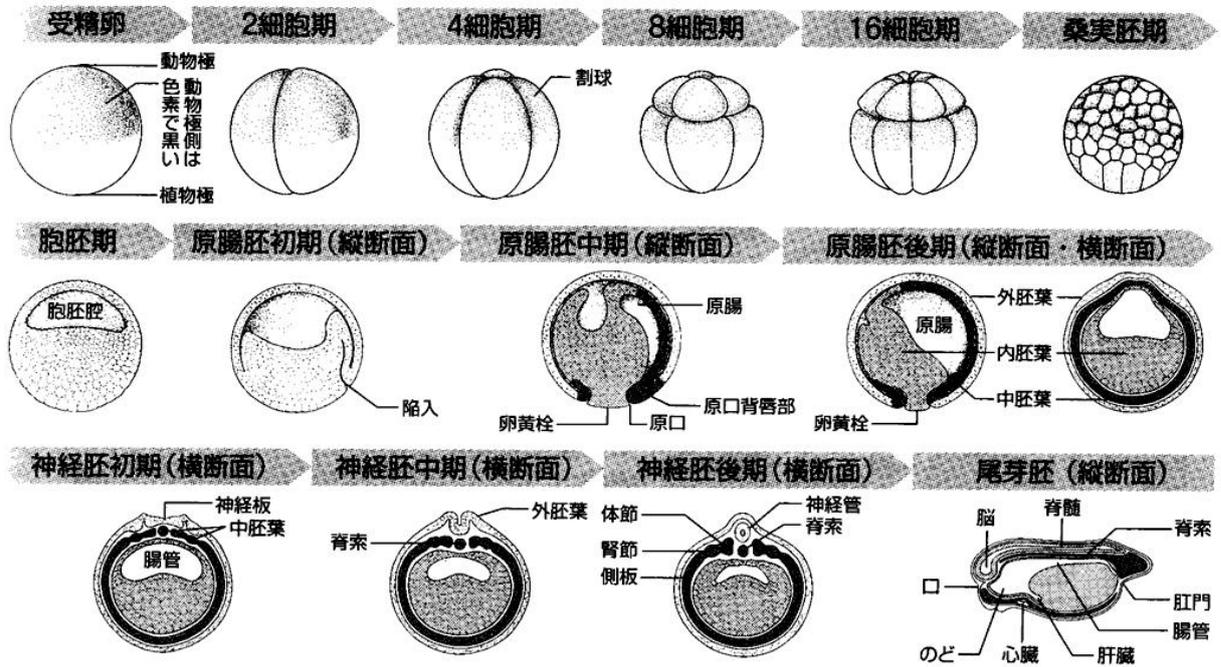
※原口の陥入とともに、胞胚腔に細胞が落ち込み、中胚葉に分化する。一次間充織は骨片に、二次間充織は筋肉になる。

※卵割は経割、経割、緯割の順で、8細胞期までは等割。

(3) カエルの発生

①カエルの発生過程

原腸胚のあと神経胚, 尾芽胚を経て幼生になる。原腸の陥入に伴い胞胚腔は小さくなる。



※卵割は経割, 経割, 緯割の順で, 8細胞期から不等割。

②三胚葉の分化と器官形成

原腸の陥入をきっかけに, 胚を構成する細胞は外胚葉, 中胚葉, 内胚葉に分化する。その後, 各胚葉はそれぞれ特定の器官を形成する。

尾芽胚 (横断面図)

表皮	表皮 (つめ・毛など), 肛門, 感覚器 (水晶体・角膜など)	外胚葉	
	神経冠		色素細胞, 感覚神経, 交感神経
	神経管		脳, 脊髄, 神経, 網膜
脊索	のちに退化	中胚葉	
体節	骨格, 横紋筋, 真皮		
腎節	腎臓, 輸尿管		
側板	心臓, 血管, 血球, 平滑筋	内胚葉	
腸管	食道・胃・小腸・大腸などの上皮, 鰓, 肺, 肝臓, すい臓		

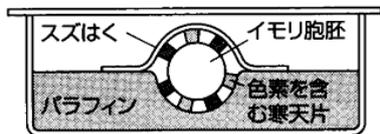
※心臓は中胚葉, 肺は内胚葉, 上皮は外胚葉だけではない。

5 動物の発生のしくみ

(1) 原基分布図

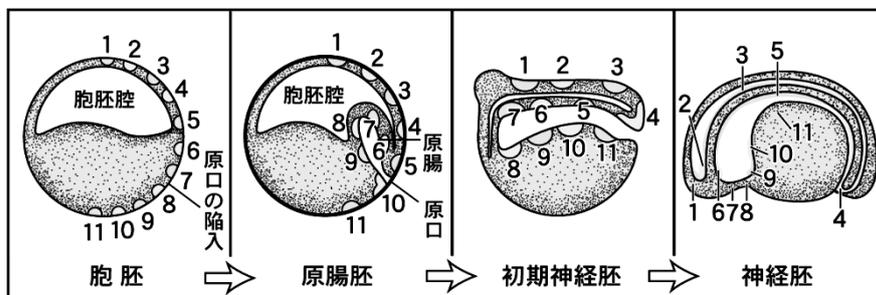
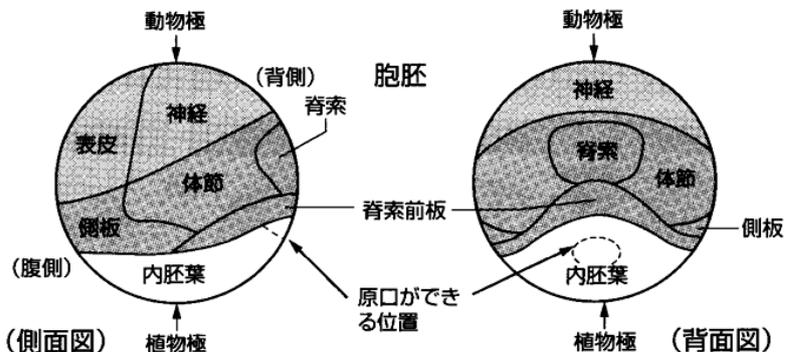
フォクトは局所成体染色法によって胚の予定運命を調べた。

局所成体染色法



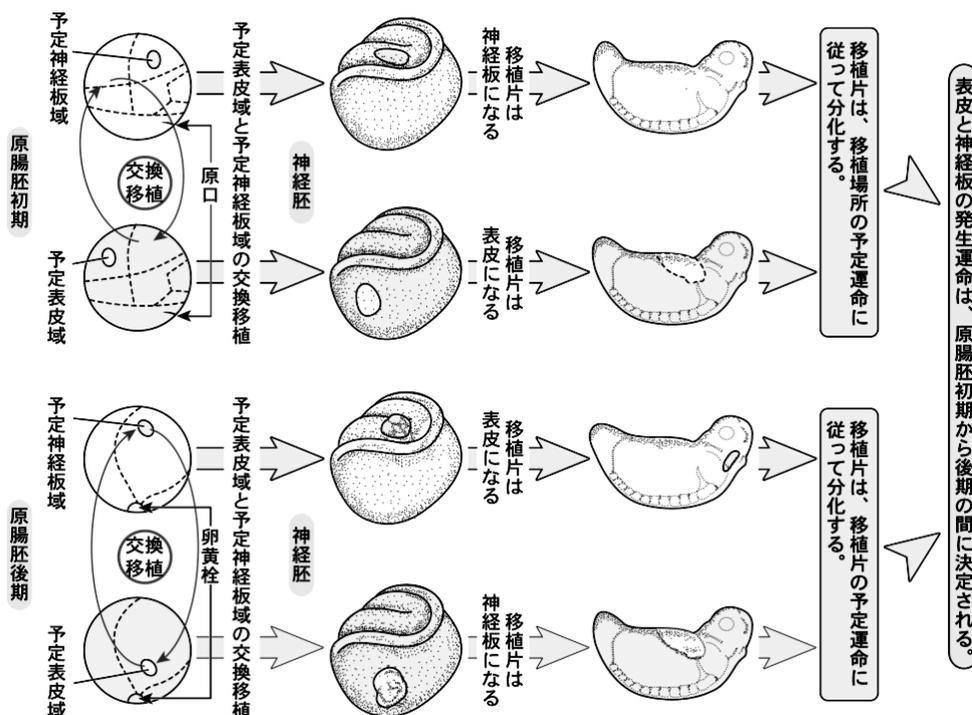
中性赤やナイル青などの色素でイモリ胞胚の表面を染め分け、発生に伴う細胞の移動を観察。

原基分布図(予定運命図)



(2) 予定運命の決定時期

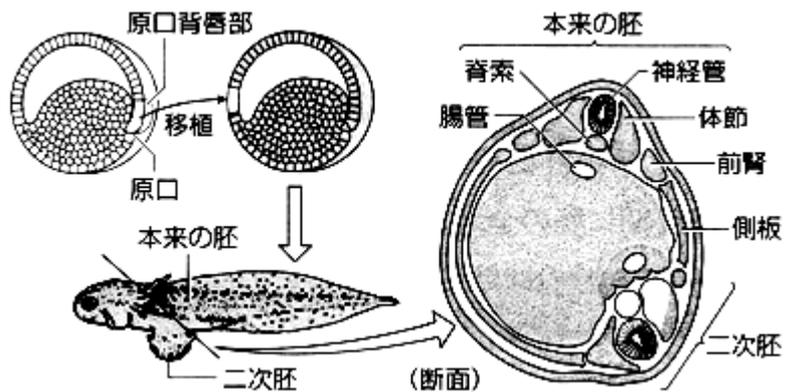
シュペーマンは色の異なる2種類のイモリの胚で交換移植実験を行い、予定運命が初期原腸胚から初期神経胚の間で決定されることを見出した。



(3) 形成体による誘導

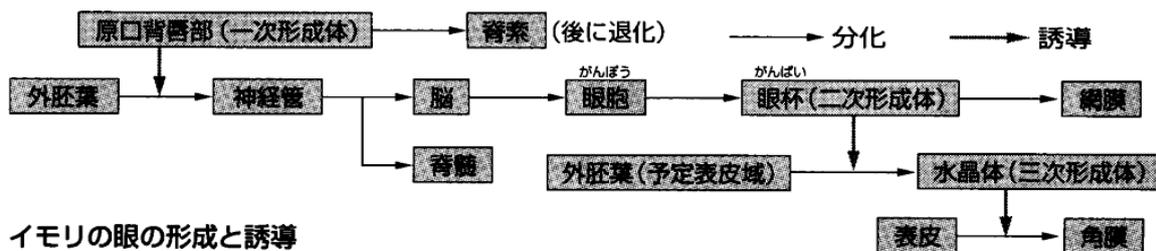
① 二次胚

原口背唇部を他の初期原腸胚の胞胚腔に移植すると、隣接する外胚葉を神経管に誘導する(神経誘導)。その結果、本来の胚(一次胚)とは別の胚(二次胚)が形成される。原口背唇部のような、誘導の働きをする部分を形成体(オーガナイザー)という。



② 誘導の連鎖

誘導された部分が形成体に分化して、次々に他の組織や器官の分化を誘導することで、しだいに複雑な器官が形成されていく。

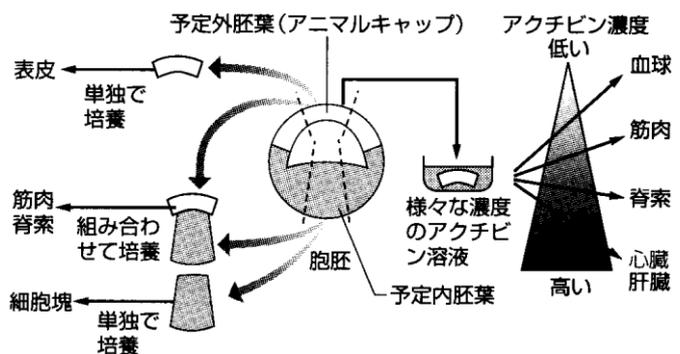


イモリの眼の形成と誘導

※脊索は退化・消失する。

③ 中胚葉誘導

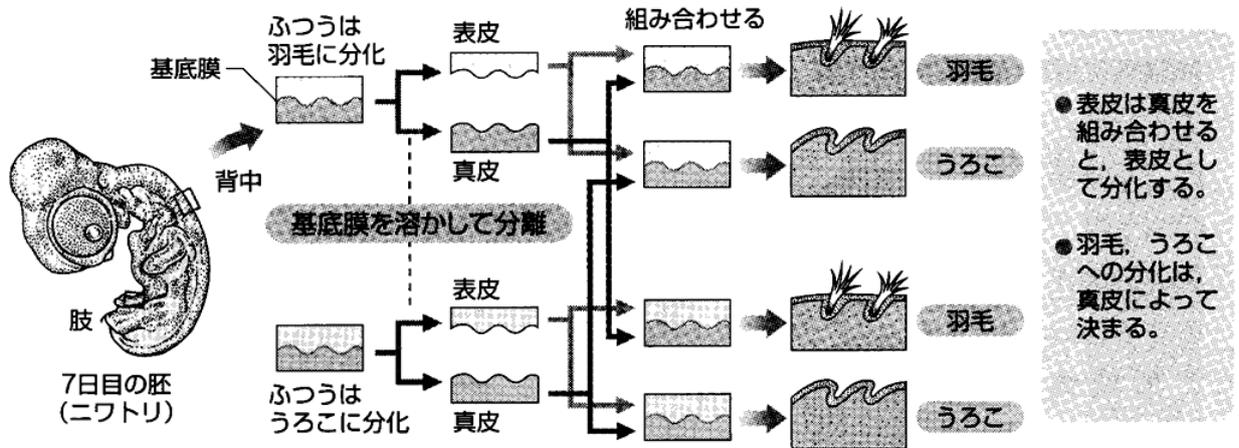
両生類の予定外胚葉(アニマルキャップ)と予定内胚葉をともに培養すると、予定内胚葉が形成体となり、予定外胚葉を誘導して中胚葉ができる。予定外胚葉をアクチビンというタンパク質で処理したときも同様に中胚葉ができる。



※中胚葉誘導は、内胚葉が形成体となり中胚葉に誘導すること。

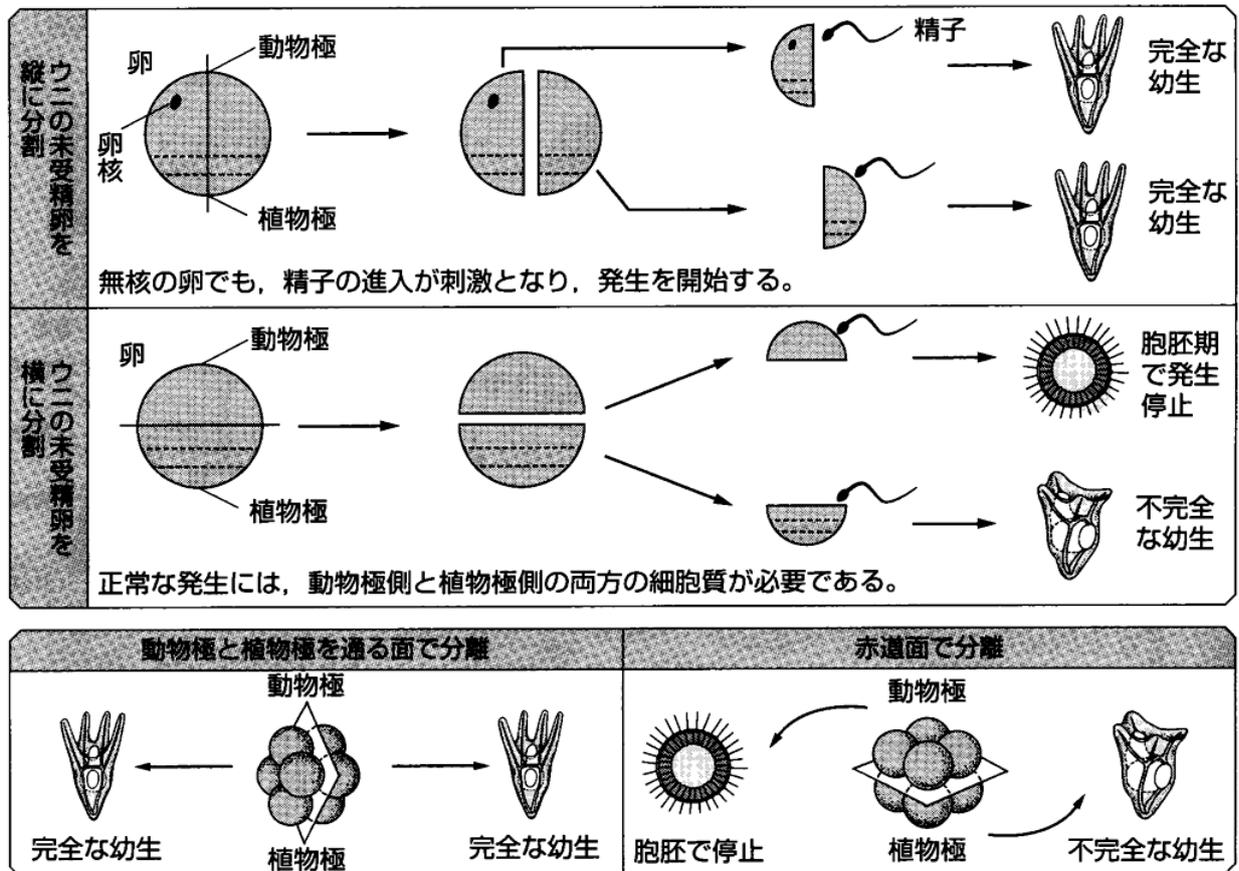
④ニワトリの表皮の誘導

ニワトリの表皮の分化は真皮によって決まる。



(4)卵の極性

卵に蓄えられた物質のうち、発生過程に影響を与える物質を母性因子という。ウニ卵に含まれる母性因子には極性があり、正常発生には動物極側と植物極側の両方の物質が必要である。

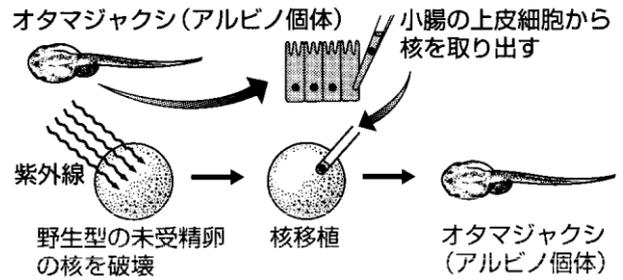


(5) 細胞の分化と細胞死

①核移植実験

カエルやヒツジなどの動物において、核を不活化・除去した未受精卵に体細胞の核を移植することで、体細胞クローンの作成が実現している。すべての種類の細胞に分化でき、完全な一個体を形成できる能力を全能性という。

アフリカツメガエルの核移植実験



②幹細胞

組織や器官に分化する能力をもち、自己複製能力をもつ未分化な細胞を幹細胞という。人工的な幹細胞として **ES細胞** や **iPS細胞** が作出されている。

ES細胞	胚性幹細胞。胚盤胞の内部細胞塊を培養して得られる人工的な幹細胞。発生過程の胚から得るため、倫理的問題がある。
iPS細胞	人工多能性幹細胞。分化した体細胞に特定の遺伝子を導入することで得られる。倫理的問題がなく、再生医療などへの応用が期待されている。

③プログラム細胞死

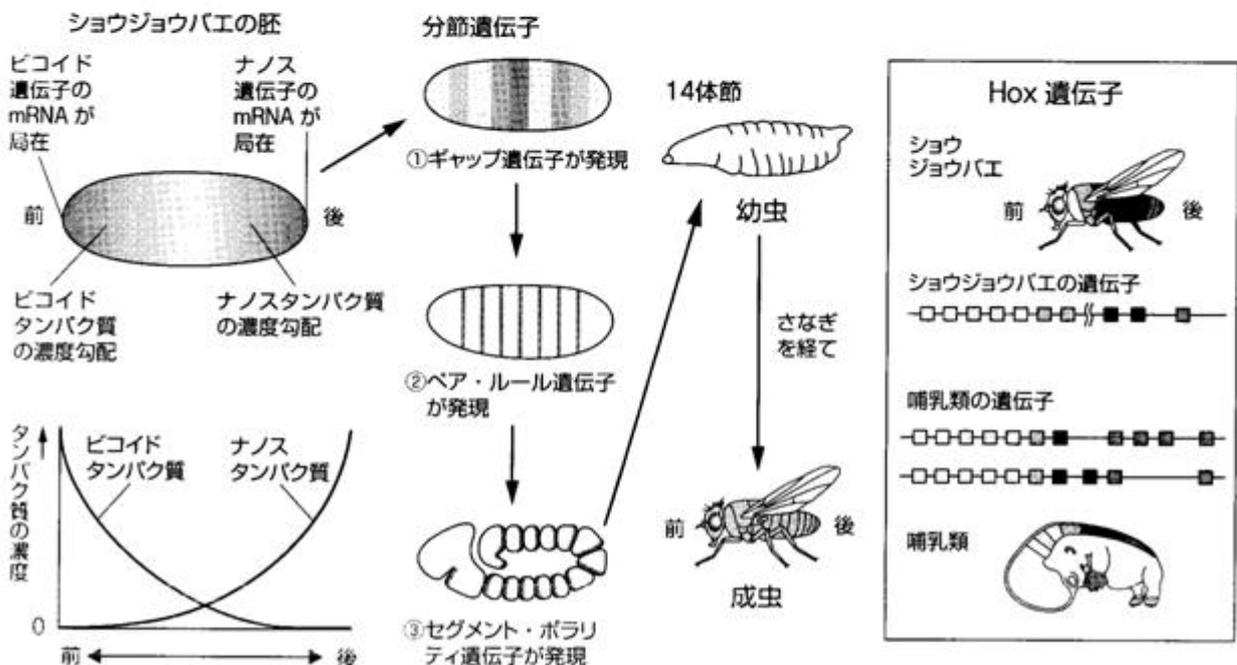
予定された細胞死を **アポトーシス** という。発生の特定の段階でアポトーシスが起ることは、形態形成において重要である。

ヒトの指の形成



(6) ショウジョウバエの発生に関わる遺伝子

母性効果遺伝子	ピコイド遺伝子	ショウジョウバエの未受精卵において、これらの遺伝子から転写された mRNA の分布により、胚の前後軸が決定される。
	ナノス遺伝子	
分節遺伝子	ギャップ遺伝子	からだの前後軸に沿って発現し、胚をおおまかに区分けする。
	ペア・ルール遺伝子	からだの前後軸に沿って7本の縞状に発現する。
	セグメント・ポラリティ遺伝子	体節の特定の位置で14本の縞状に発現し、体節の区分がほぼ決定する。
ホメオティック遺伝子	分節遺伝子によって14に区画された各体節は、ホメオティック遺伝子の発現によりそれぞれ特有の形態に変化する。	
Hox 遺伝子	ホメオティック遺伝子は複数種類存在し、いずれもホメオボックスとよばれるよく似た塩基配列を含んでいる。ホメオティック遺伝子に類似した遺伝子群はヒトやマウスなどの脊椎動物にも存在し、この遺伝子群を Hox 遺伝子という。Hox 遺伝子(ホメオティック遺伝子)の発現領域と染色体上の並び順は一致している。	



※母性効果遺伝子は、母親の DNA から転写された mRNA なので、子の DNA とは無関係である。

(7) ホメオティック突然変異

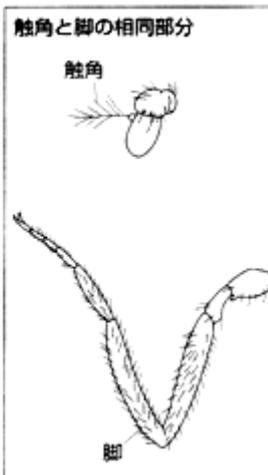
分節遺伝子の情報をもとに、体節ごとに異なる組み合わせのホメオティック遺伝子が発現し、各体節の性質を決める。ホメオティック遺伝子に変化が起これると、からだのある部分が別の部分におきかわった個体が出現する。このような突然変異をホメオティック突然変異という。

アンテナベディア突然変異体

ショウジョウバエ



触角(アンテナ)が形成される位置に脚(ペド)が形成された変異体。



〈変異体〉

〈正常体〉

バイソラックス突然変異体

ショウジョウバエ



平均棍(退化したはね)を形成する後胸が中胸に変わり、はねが形成された変異体。

※バイは二重、ソラックスは胸部の意味。



〈変異体〉

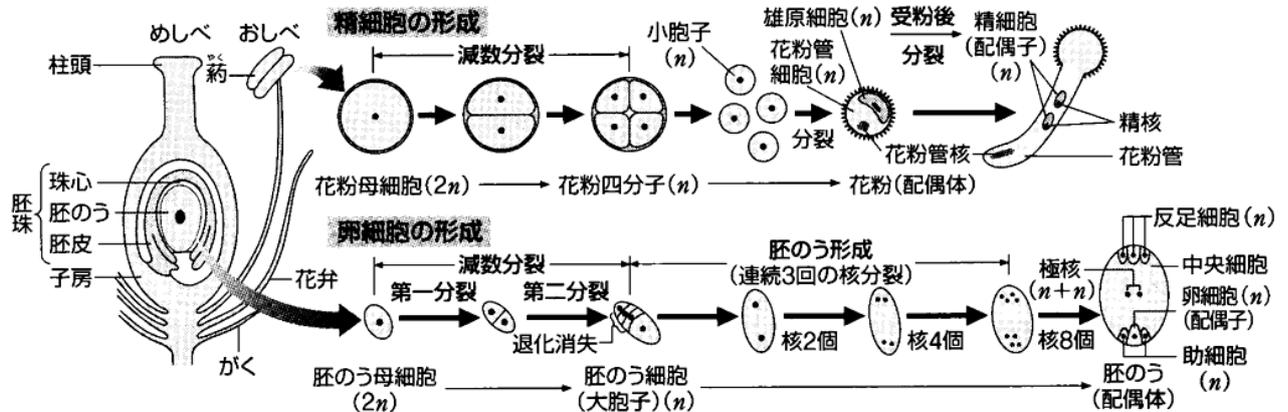


〈正常体〉

6 植物の生殖と発生

(1) 被子植物の配偶子形成

雌性配偶体が胚のう、雌性配偶子が卵細胞、雄性配偶体が発芽した花粉、雄性配偶子が精細胞である。

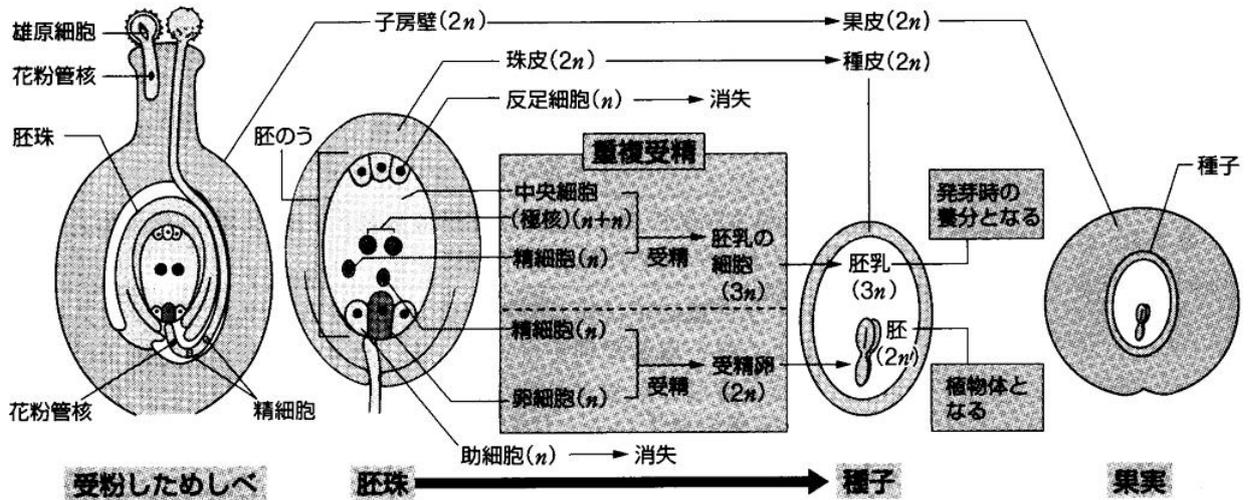


※花粉(胚のう)母細胞から減数分裂する。

※核分裂の回数にも注意しておくこと。

(2) 重複受精

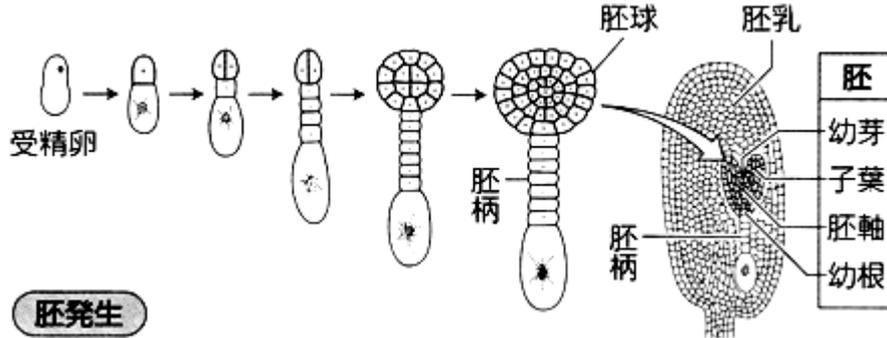
被子植物は2組の受精が同時に起こる重複受精を行う。助細胞はルーアとよばれるタンパク質を分泌することで花粉管を誘引する。



(3) 胚の発生と種子

① 胚の発生

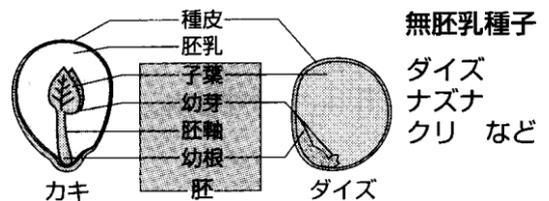
受精卵は体細胞分裂により細胞数を増やしながら胚球と胚柄になる。胚球はさらに幼芽、子葉、胚軸、幼根からなる胚になる。胚柄は退化・消失する。



※植物の本体になるのは胚球の部分で、胚柄は退化・消失する。

② 種子の種類

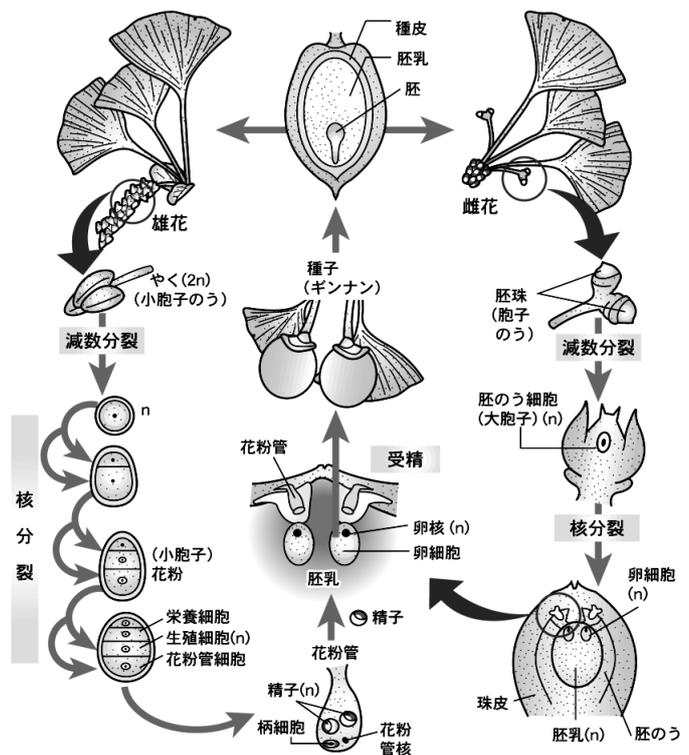
発芽に必要な栄養分を胚乳に蓄える有胚乳種子と、子葉に蓄える無胚乳種子がある。



※胚乳はどちらも形成されるが、無胚乳種子では胚乳が退化・消失する。

(4) 裸子植物の生殖

花粉管内でできた精細胞（イチョウなどでは精子）と胚のう内の卵細胞が受精して胚(2n)ができる。重複受精が起こらず、胚乳の核はnのみである。



(5) 植物の器官・組織

① 種子植物の器官

栄養器官	根, 茎, 葉
生殖器官	花

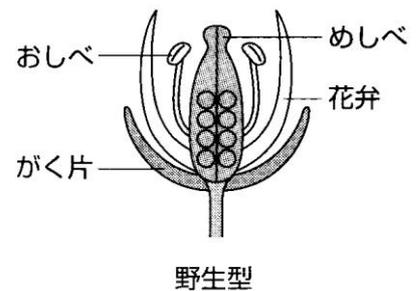
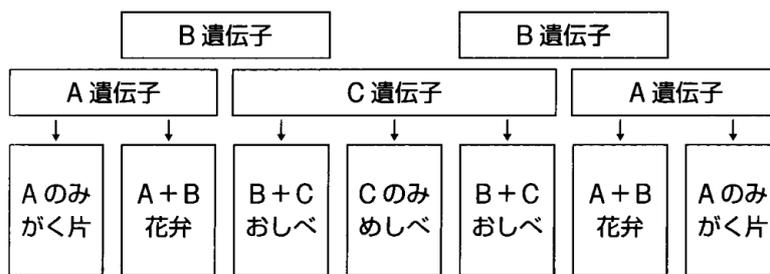
② 分裂組織

頂端分裂組織	茎頂分裂組織と根端分裂組織に分けられる。 茎や根を伸長成長させる。
形成層	茎や根を肥大成長させる。おもに双子葉類に 存在する。

(6) 花の構造形成と遺伝子発現

① ABC モデル

花の構造形成には A, B, C という三つの遺伝子が関与する。発現する遺伝子の組合せで構造が決まる(ABCモデル)。



② 遺伝子欠損型

A, B, C 遺伝子に突然変異が起きて欠損すると、正常な構造が作られなくなる。

