第二章　生殖と発生

©tomson@manavee

1 生殖…生物が自己と同種の子孫をつくる働き

	親の数	増殖効率	親子の遺伝子の組み合わせ	環境変化への適応
無性生殖	1 個体	良い	同じ	しにくい
有性生殖	2 個体	悪い	一般に異なる	しやすい

(1)無性生殖…親の体の一部又は無性生殖細胞(胞子)から新個体をつくる

①分裂

ア)単細胞生物は体細胞分裂によって増殖

a.二分裂…1 つが 2 つ

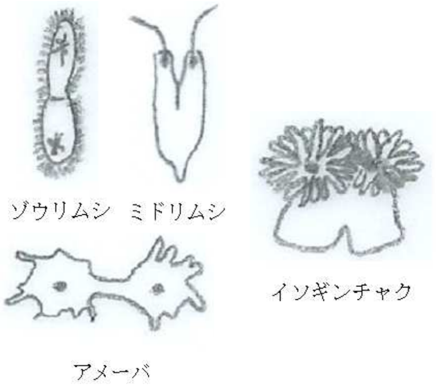
例)__________(横分裂)・ミドリムシ(縦分裂)・______

b.多分裂…1 つが 2 つ以上

例)トリパノゾーマ・マラリア原虫

イ)多細胞生物…二分裂・多分裂

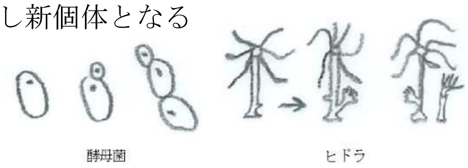
例)ミズクラゲ・イソギンチャク



②出芽…体に芽体を生じ,これが成長して親から分離し新個体となる

例)______(多細胞生物)・(出芽)______(単細胞)

cf.酵母菌には出芽酵母菌と分裂酵母菌が存在する

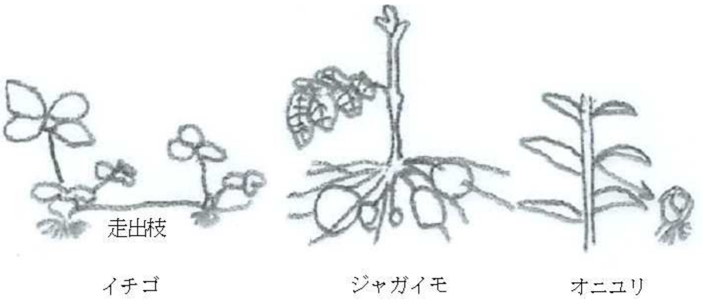


③栄養生殖…栄養器官(根・茎・葉)によって増える

例)不定芽(葉)(コモチシダ)・走出枝(=ほふく茎)(茎)(______________・ユキノシタ)・

むかご(=球茎)(茎)(オニユリ)・地下茎(茎)(タケ・スギナ)・塊茎(茎)(ジャガイモ)・

鱗茎(茎)(タマネギ)・塊根(根)(サツマイモ)・人為的栄養生殖(=さし木・つぎ木)(バラ)



※スギナは栄養生殖も胞子生殖もできる

④胞子生殖…無性生殖細胞(胞子)が発芽

例)菌類(カビ・キノコ)・藻類(テングサ)・コケ植物(ゼニゴケ)・シダ植物(ゼンマイ・スギナ)

↳減数分裂によって胞子をつくるため，有性生殖に含めることも

ア)栄養胞子(2n)…体細胞分裂によりできる

イ)真正胞子(n)…減数分裂によりできる

ウ)遊走子(2n,n)…水中で生活する藻類・ミズカビなどがつくる

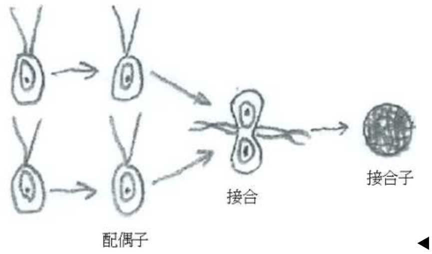
(2)有性生殖…多くの動物の生殖のように，卵と精子のような 2 種類の細胞の合体によって新個体をつくる

①生殖と配偶子

多くの生物では，生殖のための細胞である生殖細胞をつくる。生殖細胞のうち，精子や卵のように合体して新個体をつくるものを______という。また，配偶子の合体を一般に____と いい，接合によってできる細胞を______という。

②接合の種類

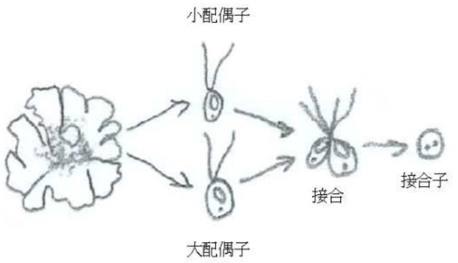
ア)同形配偶子の接合…大きさと形が一緒の配偶子の接合→______________など



◂クラミドモナスの例

イ)異形配偶子の接合…形や大きさの異なる配偶子の接合

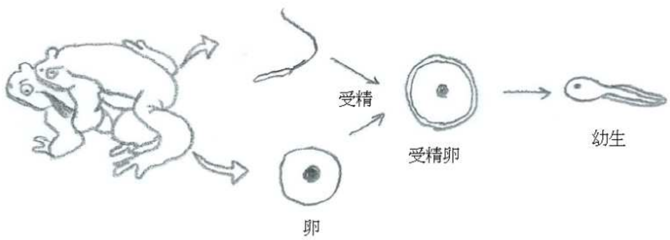
a.大小どちらの配偶子にも運動能力がある→アオサ・____など



◂アオサの例

b.運動能力のない大配偶子の卵と運動能力のある小配偶子の精子の接合を____という

→ヒト・ウニ・カエル・イチョウ・ソテツなど



◂カエルの例

c.イチョウやソテツ以外の種子植物では，大配偶子の卵細胞と小配偶子の精細胞が受精する。

→サクラ・ナズナなど

ウ)体細胞接合…栄養細胞どうしがそのまま接合して新個体を作る
例)アオミドロ・ミカヅキモ

エ)原始的な接合…通常は分裂で増える生物 2 個体が接合し，染色体や核の一部を交換し 2 個体に分かれる
例)ゾウリムシ・大腸菌
cf.単為生殖(単為発生)…卵が未受精のままで発生を始める

【ミツバチ】

♀女王バチ　→ 卵　　　　♂：n　(未受精卵から単為発生)

♂　　　　　→精子　　　　♀：2n　(受精卵から発生)；女王バチ・はたらきバチ

【アリマキ】

♀：夏季に単為発生により発生

♂：秋季に単為発生により発生

⇒冬季に受精

【ミジンコ】

2 動物の配偶子形成と受精

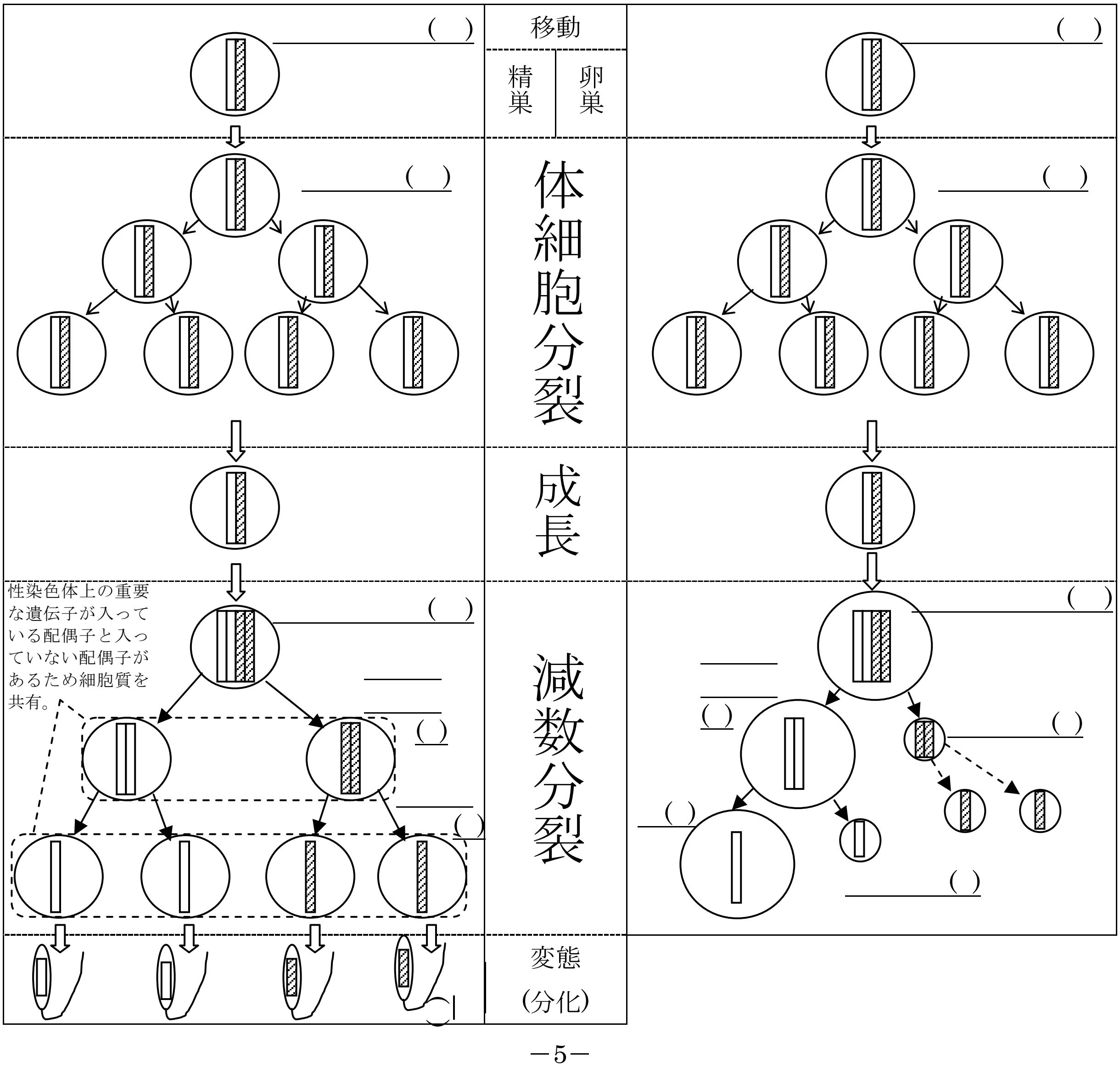
動物の配偶子は，____と____でつくられる。配偶子の元となる細胞の__________は，発生の比較的早い段階で現れる。始原生殖細胞は________を行い，分化して，雌では_______に，オスでは_______に分化する。

(1)精子の形成

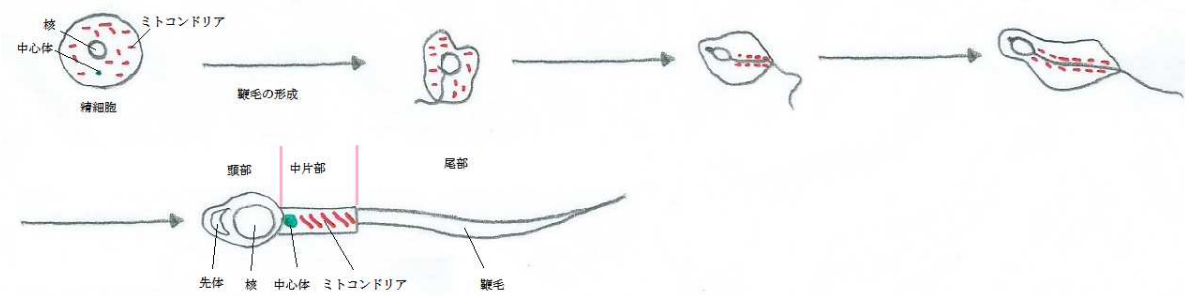
　雄の精巣では，_______(__)が________を繰り返して増殖する。その後，精原細胞の一部は成長して__________(__)となり，これが_______を行って，_____になり，_____(____)して精子になる。

(2)卵の形成

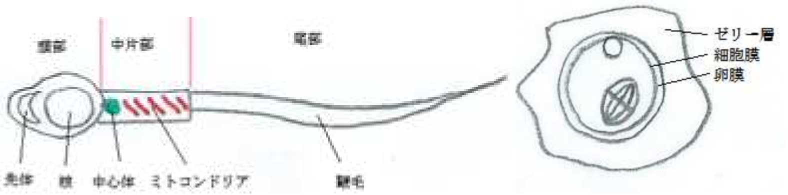
　雌の卵巣では，_______(__)が________を繰り返して増殖する。その後，卵原細胞の一部は成長して__________(__)となり，これが_______を行って，__ができる。また，減数分裂の過程で細胞質の極めて少ない_______と_______が放出され，これらはやがて消失する。



(3)ヒトの精子変態



(3)配偶子の構造(ヒト)



(4)受精とその様式

____(n)は__(n)に達すると卵内に侵入し，頭部の核(____；n)が____(n)と融合し，これによって受精が完了し，受精卵の核相は複相(__)になる。

①受精の場

ア)体外受精…水中に放出された卵が体外で精子と受精する

→______________・____・______など

イ)体内受精…交尾により雌の体内で卵と精子が合体する

→______________・______・______など

②受精の時期

ア)ヒト・カエル…____________(減数分裂第二分裂中期)に精子が進入する

イ)ウニ…______(減数分裂終了後)に精子が進入する

(5)受精卵の形成(ウニ)

①精子の____に含まれる先体胞内の化学物質の働きで，卵全体を覆うゼリー層(哺乳類では透明帯)が分解される(先体反応：図１)

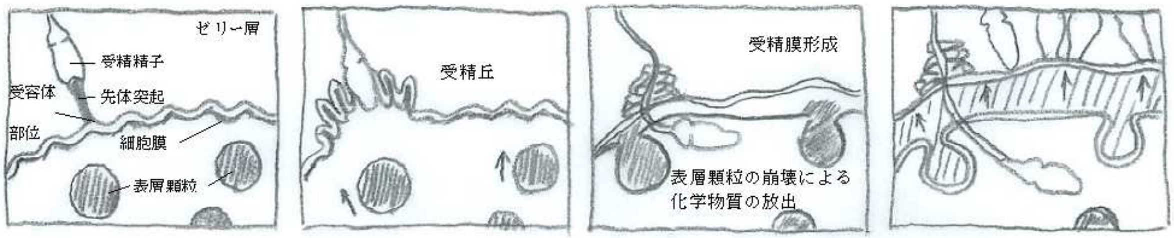
②最初の精子が進入した地点は卵膜が盛り上がり，______を形成する(図２)

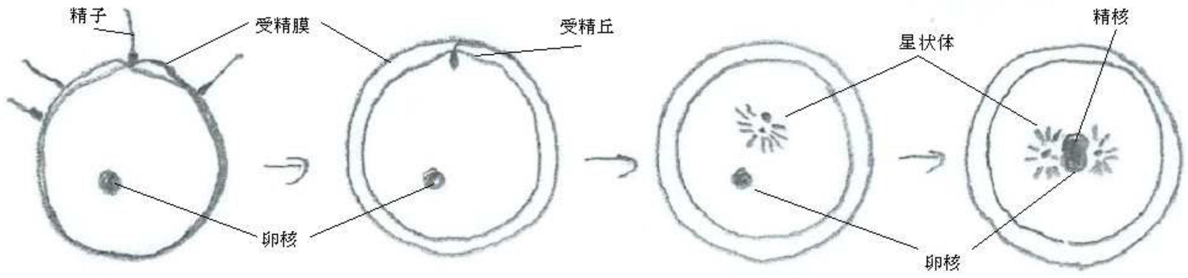
③卵細胞内にある表層顆粒が壊れて化学物質が放出される(図３)

④卵膜が徐々に持ち上がり，卵全体を包む硬い______へと変化する(図４)

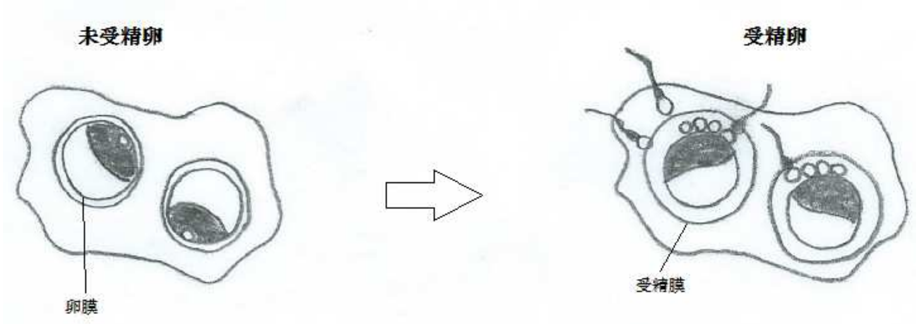
⑤精核(雄性前核)は卵内に侵入すると尾部を切り離して 180 度回転し，________________から星状体を形成して卵核(雌性前核)と核融合する

図1　　図2　　図3　　図4





(6)受精の確認(カエル)



(7)多精拒否の仕組み

	受精電位	受精膜
開始時期	早い	遅い(20〜40 秒後から)
機構	電気的(不完全)	物理的(完全)

(8)精子の役割

①卵形成や卵割開始の刺激を与える(付活化)

②染色体の導入により，受精卵を複相にする

③性染色体が雄ヘテロ型の場合，染色体の導入によって性を決定する

④胚の方向(背腹軸)を決定する

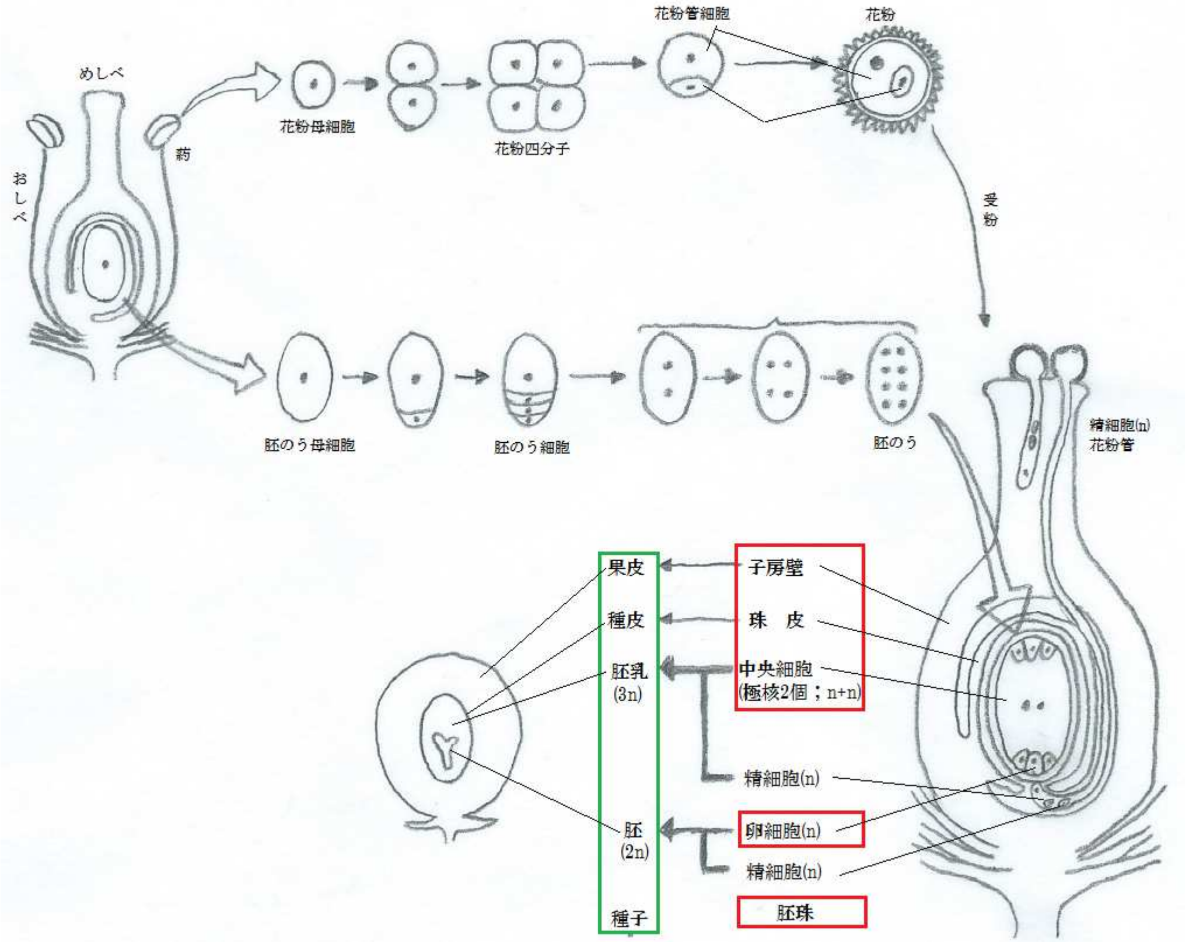
3 被子植物の配偶子形成と受精

(1)花粉と精細胞の形成

おしべの先端の葯の中では，__________(__)が________を行って，4 個の細胞(_)からなる__________ができる。花粉四分子の細胞はそれぞれ解離して，____になるがその過程で一回__________が起こる。成熟した花粉では，細胞質の少ない________が細胞質の多い花粉管細胞の中に取り込まれて，__________になっている。雄原細胞は受粉するとさらに一回__________して，2 個の精細胞(n)を形成する。

(2)胚のうと卵細胞の形成

めしべの子房内の胚珠では，____________(__)が________を行って，4 個の細胞(_)が生じる。このとき，2 回の分裂は動物の卵形成と同様に不等分裂で，4 個の娘細胞のうち 1 個だけが大きく，残り 3 個は小さい。この小さな 3 個は退化し，大きな 1 個の細胞が__________として残る。胚のう細胞は，その後 __回の核分裂を繰り返し，__個の核を持った______となる。成熟した胚のうでは, 8 個のうち 6 個のまわりに仕切りができて, ______(1 個), ______(2 個), ________(3 個)ができる。また，残り 2 個の核は____として________に残る。



※花柱には師管が通っており，ここから花粉管にグルコースなどの栄養を得て，花粉管は伸長成長する。

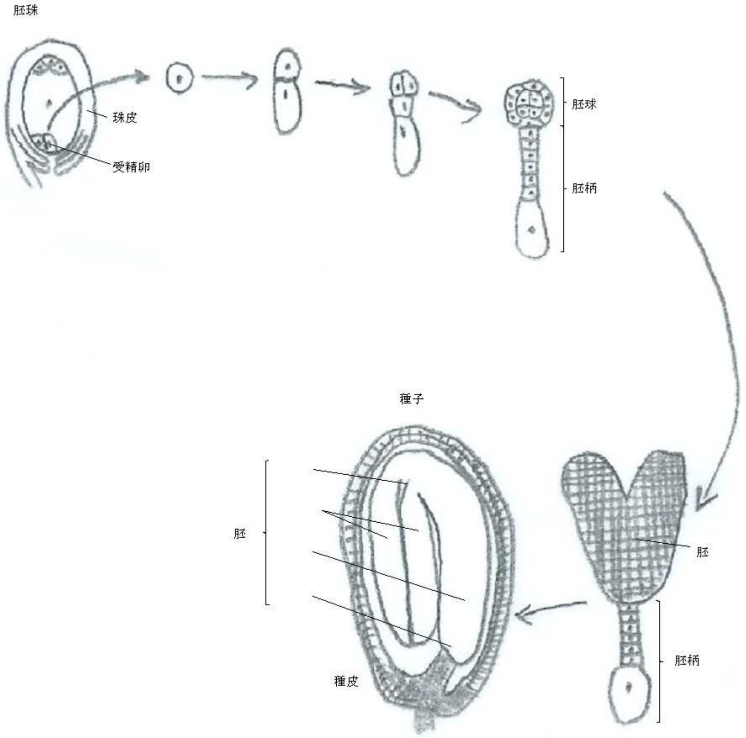
(3)受粉と重複受精

花粉は，めしべの柱頭につく(____)すると発芽して，花粉管を____に向かって伸ばす。その間に，花粉管内では________が__________して，2 個の______を生ずる。花粉管の先端が胚のうに達すると，先端が破れ，精細胞の 1 個は卵細胞と受精し，___の______となる。もう 1 個の精細胞は，________と融合し，将来，____(__)をつくる細胞となる(この細胞の核は胚乳核)。このような受精様式を________という。

(4)胚と種子の形成

重複受精が終わると，受精卵は体細胞分裂を繰り返して____と____になる。胚球は更に分裂して，____・____・____・__根からなる胚になる。また，受精した________は____になる。

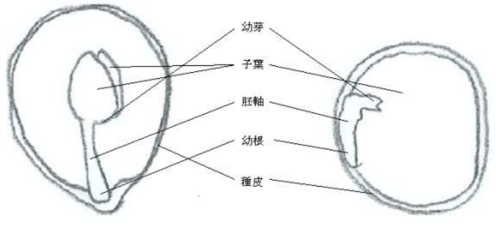
胚のうを包む____が変化して____になり，種子が形成されると，この段階でいったん発生が停止し，____に入る。



(5)有胚乳種子と無胚乳種子

①有胚乳種子…____に発芽のための栄養を蓄えている種子

②無胚乳種子…____に発芽のための栄養を蓄えている種子



有胚乳種子　　無胚乳種子

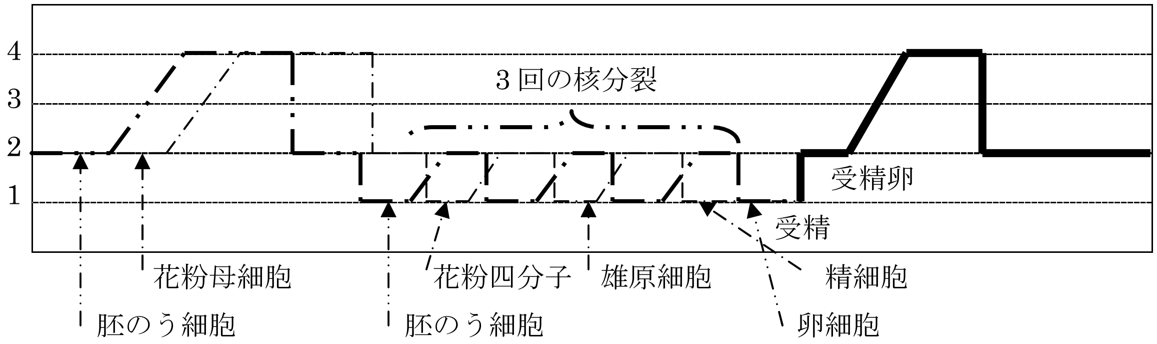
(6)胚発生と発芽

①脱水が起こり，胚発生を休止して休眠する(休眠胚＝種子)

②水・適温・酸素が揃うと発芽する

③子葉は発芽後，成体になるまでに脱落し，幼芽は本葉，胚軸は茎，幼根は根になる

◎種子植物の卵細胞・精細胞形成，受精後における核あたりの DNA 量の変化



4 裸子植物の配偶子形成と受精

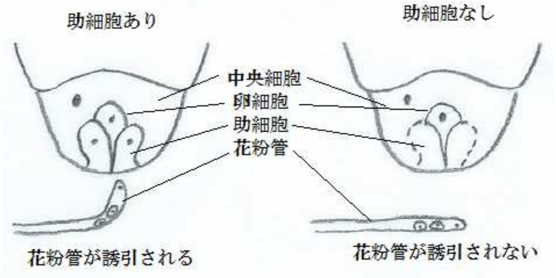
(1)精細胞(n)+9 卵細胞(n)→受精卵(2n)→胚(2n)

※イチョウとソテツは＿＿＿＿＿ではなく＿＿＿が卵と受精する

(2)重複受精は行わず，胚乳は＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿ため，単相(n)である

STEP UP　受精における助細胞の役割

トレニアは，胚のうが珠皮から外に露出している。このことを利用して，胚のうの特定の部分だけを破壊し，花粉管が細胞にどのように誘引されるかを調べたところ，助細胞を破壊した場合に花粉管が正しく誘引されなかった。また受精を終えた後の胚のうでは，この助細胞の花粉管誘引の作用は全く見られなかった。このことから，助細胞は，受精するまでの間何らかの物質を分泌することで，花粉管を誘引していると考えられる。



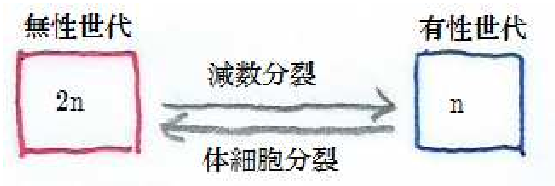
5 陸上生物の生活環

(1)生殖方法と核相の変化

①＿＿＿＿＿＿…有性世代(有性生殖を行う時期)と無性世代(無性生殖を行う時期)が入れ替わる

②＿＿＿＿＿＿…複相(2n)と単相(n)が入れ替わる

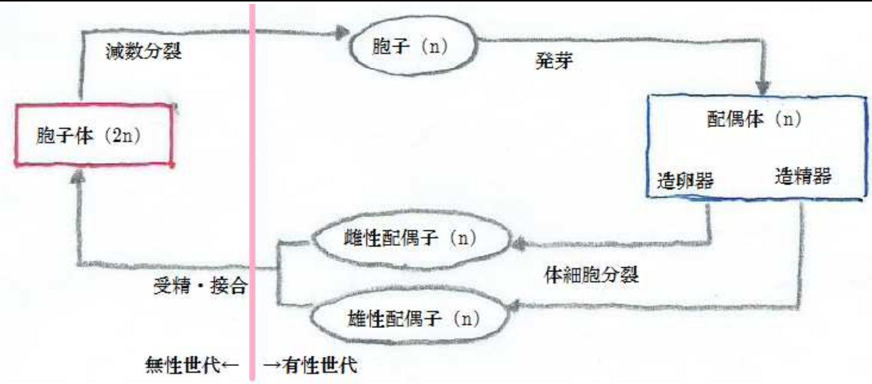
→植物ではこれらの時期が一致



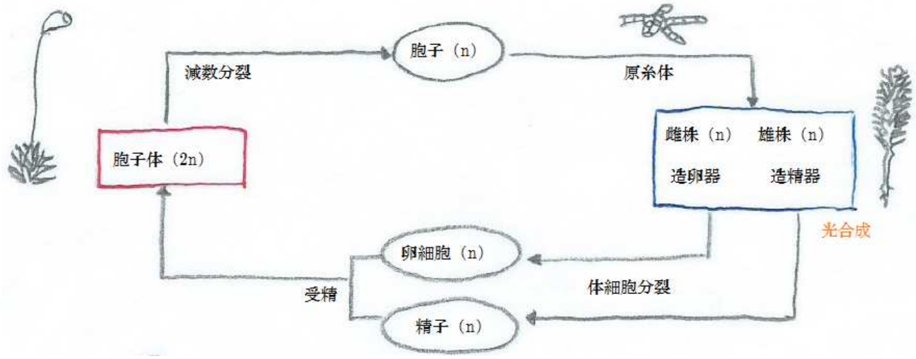
(2)植物の生活環

※植物の本体…大型で光合成による独立生活を営む体(時期が長く，通常よく目にする体)

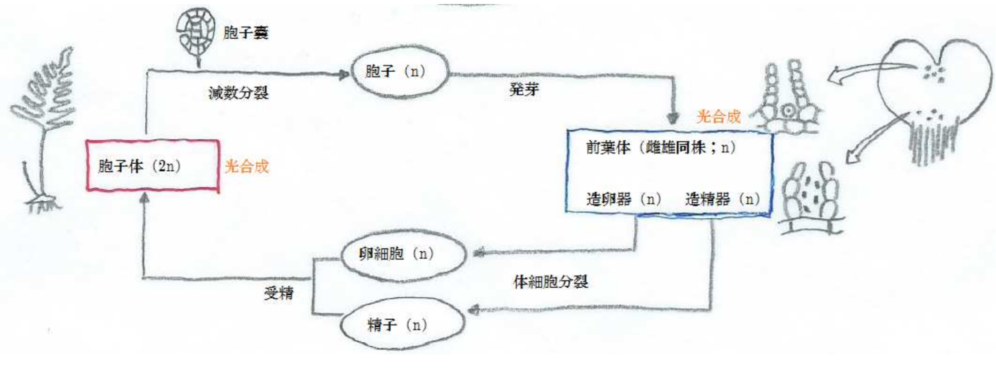
	胞子体(無性世代)：2n	大きさの比較	配偶体(有性世代)：n
コケ植物	配偶体に外部寄生	<	本体
シダ植物	本体	>	独立生活
被子植物	本体	≫	胞子体に内部寄生



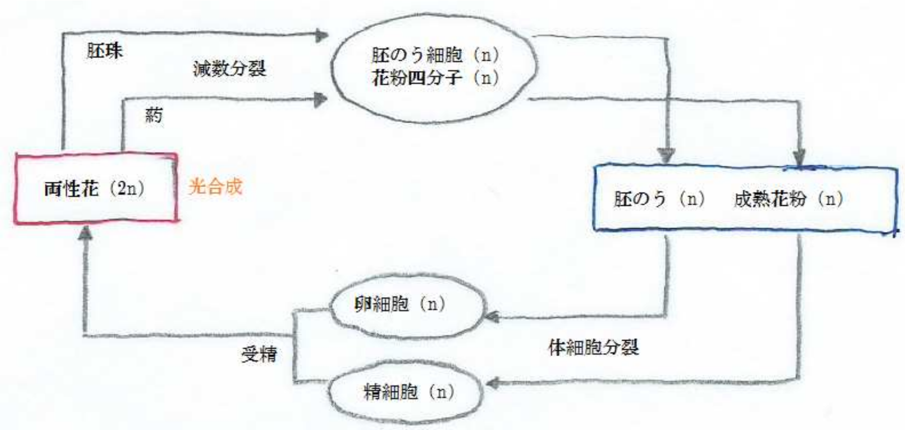
①コケ植物 … ゼニゴケ，スギゴケ，ミズゴケ，ヒカリゴケ



②シダ植物 … ゼンマイ，ワラビ，スギナ，トクサ，クラマゴケ，マツバラン，サンショウモ



③被子植物



ア)胞子相当…胚のう細胞，花粉四分子

イ)配偶体相当…胚のう，成熟花粉

(3)動物の生活環

　多くの動物では，卵や精子による有性生殖のみを行い，世代交代は見られない。しかしいくつかの動物では，異なる生殖法を交互に繰り返す世代交代が見られる。世代交代を行う動物の多くは，配偶体の細胞が複相で，核相交代と世代交代は一致しない。

6 卵割…動物の発生初期(胞胚期まで)の体細胞分裂。娘細胞を割球という

(1)一般的な体細胞分裂との比較

①割球の____が起こらない

→胚全体の大きさは____，割球自体の大きさは______。__________(G_1,G_2がなく)，分裂が____

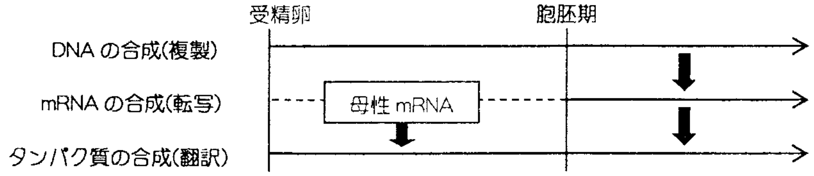
②各割球が____分裂する(生じた割球が同時に次の分裂を行う)

③割球の____が起こらない

④遺伝子の____が起こらない

→細胞質中に存在する___________を用いてタンパク質合成を行っている

◆ 発生初期の遺伝子発現：胞胚期から始まる



(2)卵割の様式…卵黄が妨げとなるため，その分量と分布によって異なる

卵の種類		卵割の様式		卵割の過程			
				2細胞期	4細胞期	8細胞期	16細胞期
等黄卵	卵黄は少なく一様に分布	全割					
弱端黄卵	卵黄は多く，植物極側に偏っている	全割					
強端黄卵	卵黄は極めて多く，極端に偏っている	部分割					
心黄卵	卵黄は多く，中心部に分布する	部分割		(断面)			

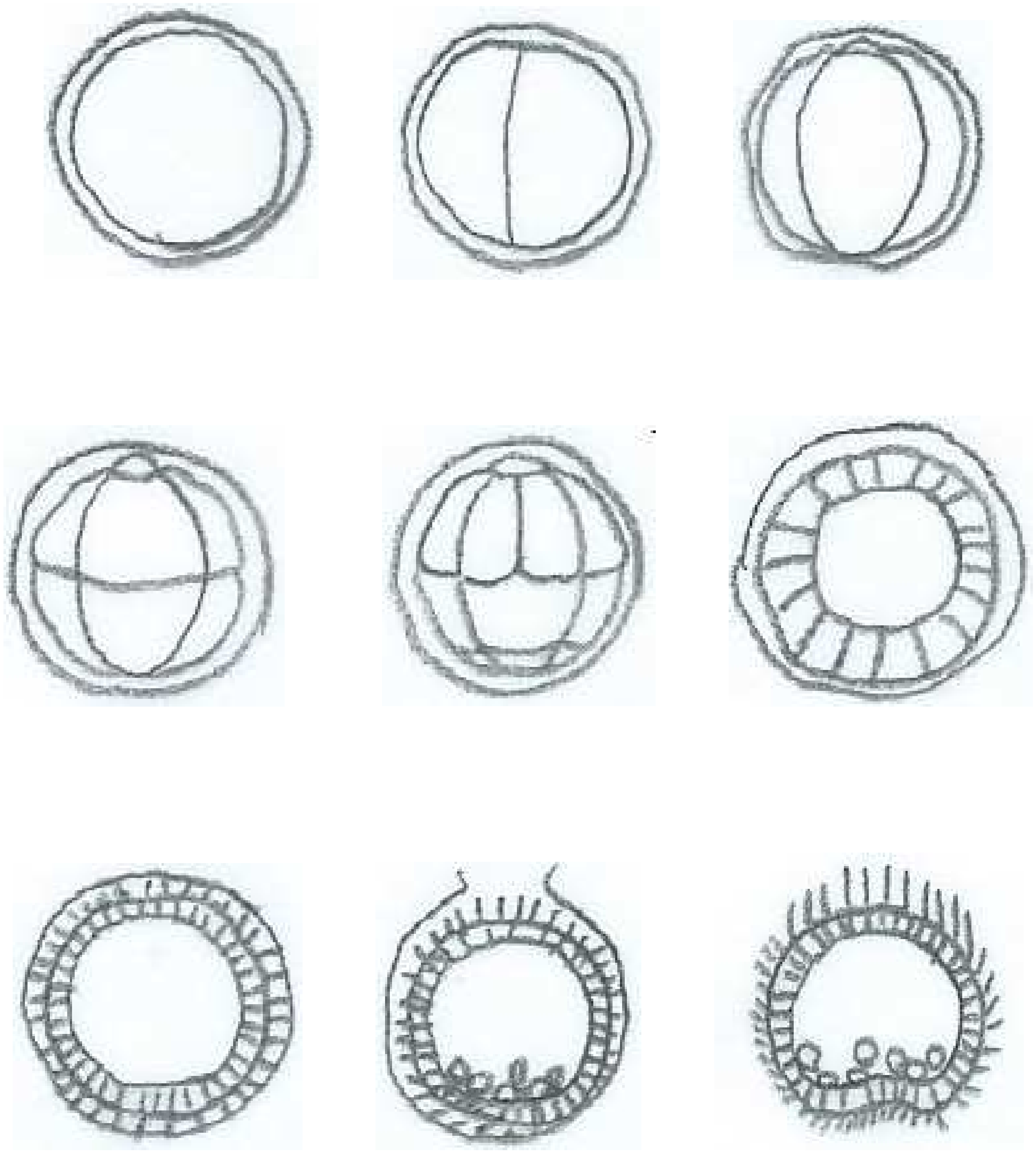
①等割…棘皮動物・原索動物・哺乳類

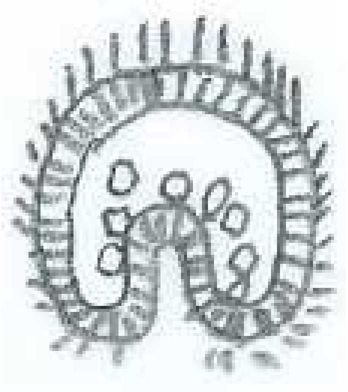
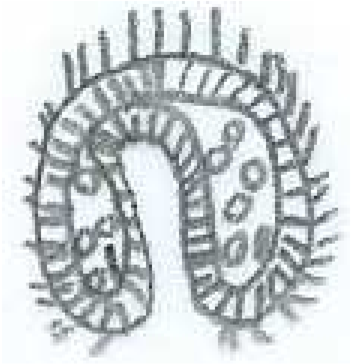
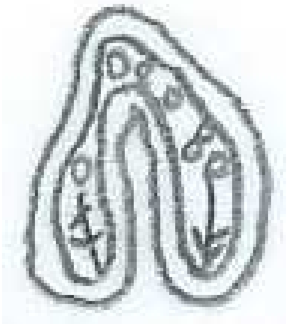
②不等割…環形動物・軟体動物・両生類

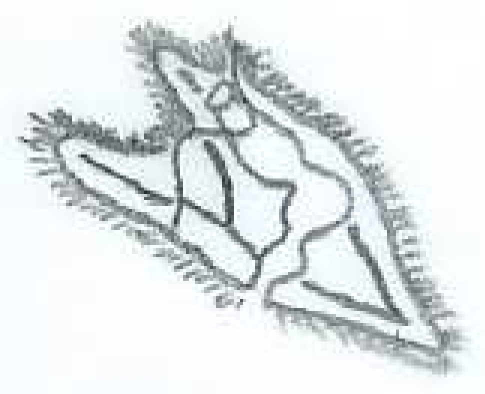
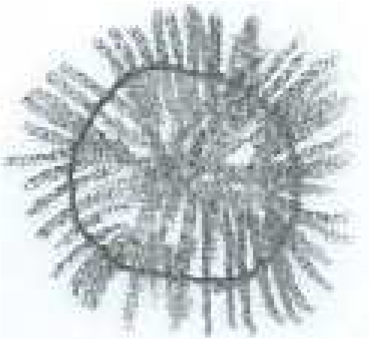
③盤割…魚類・爬虫類・鳥類

④表割…節足動物(昆虫類・甲殻類)

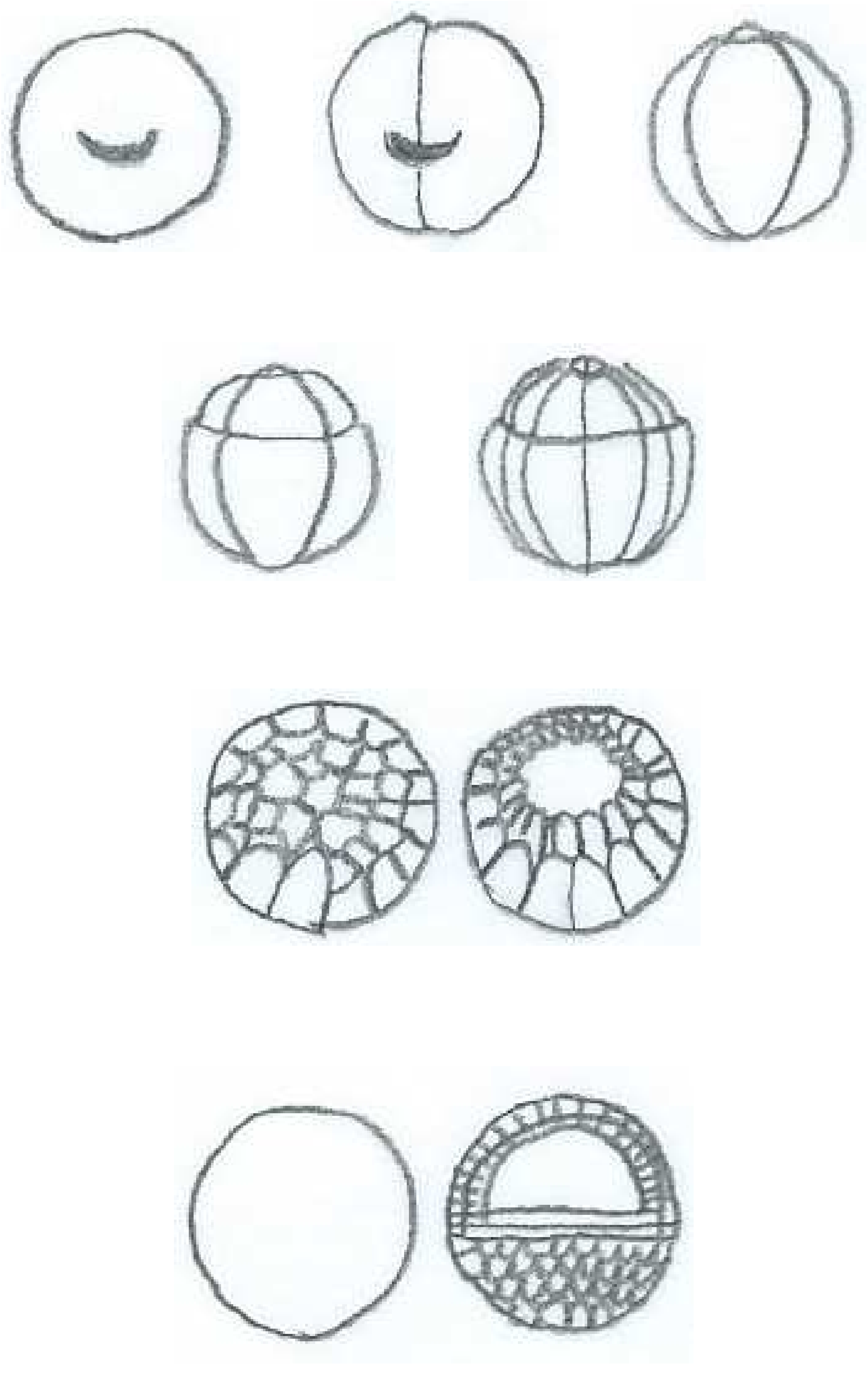
7 ウニの発生

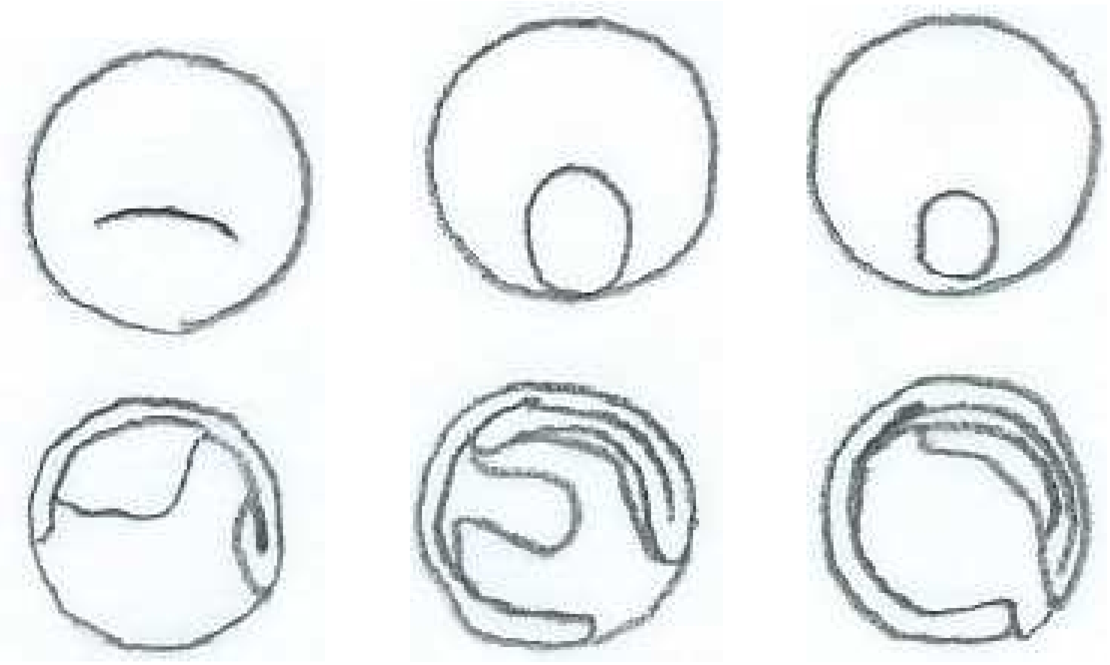


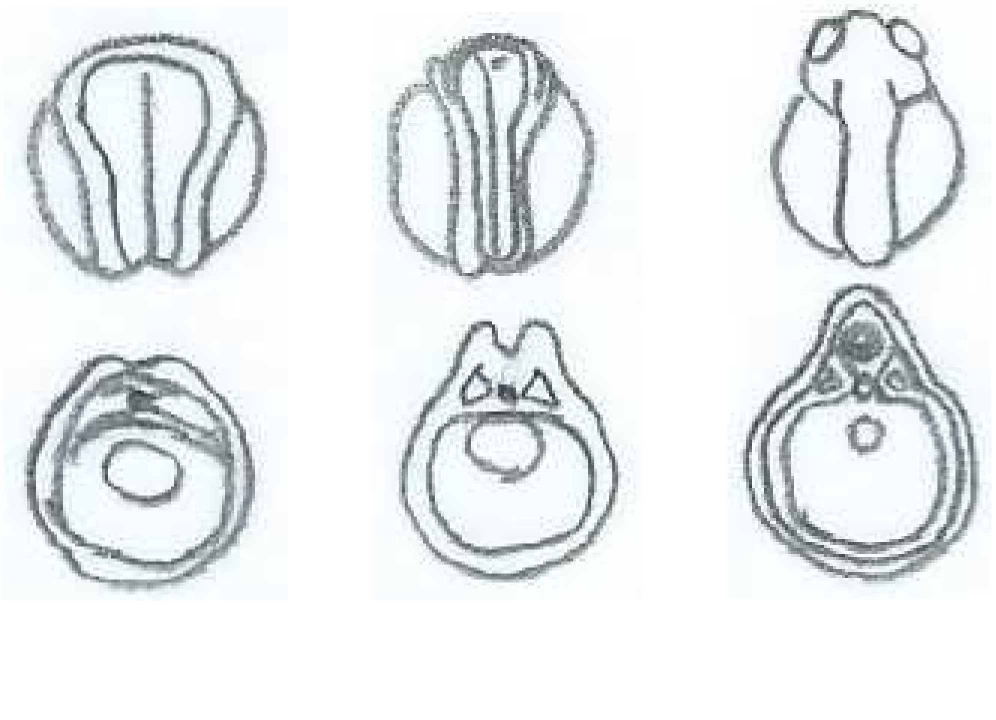




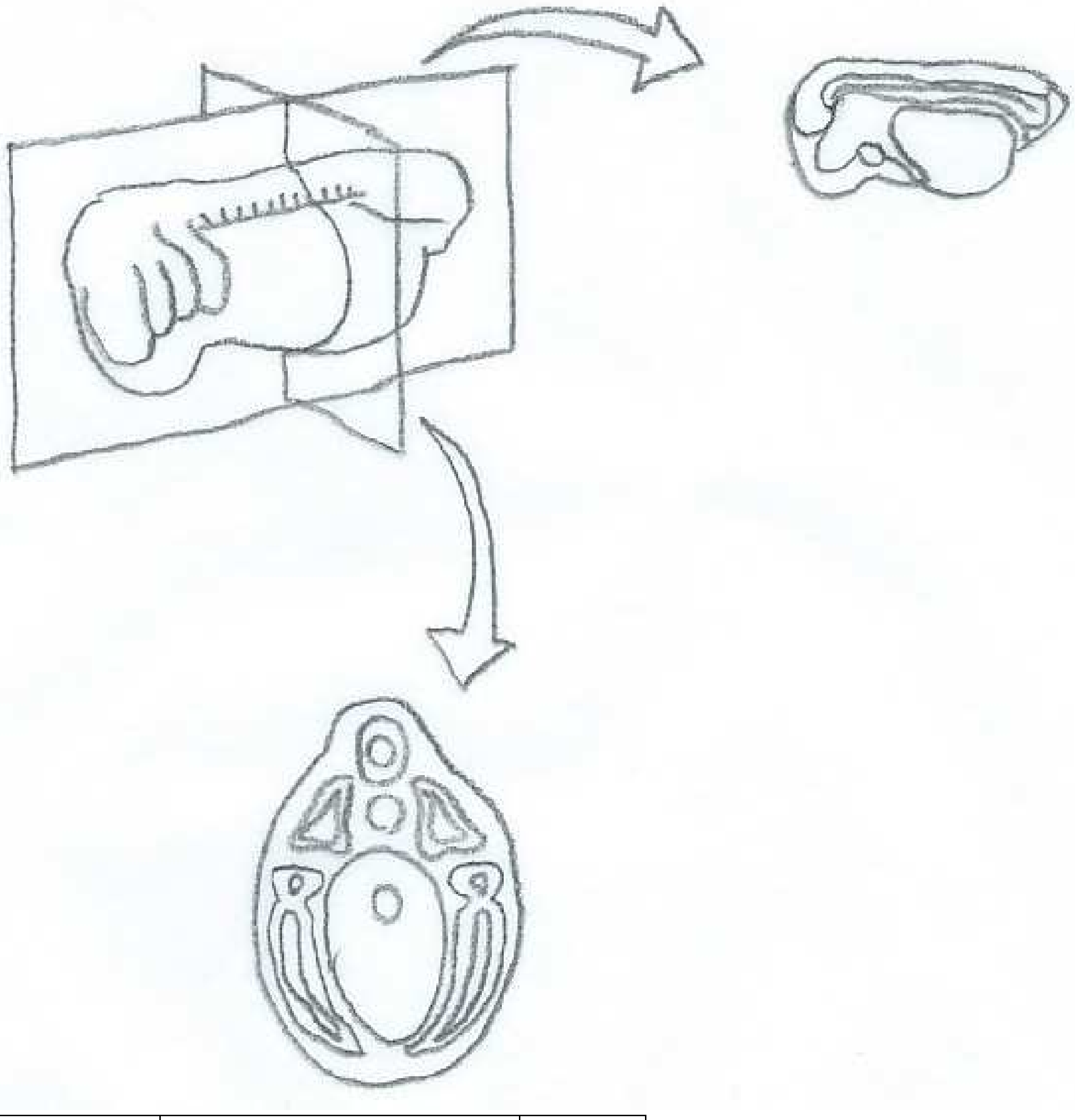



8 カエルの発生

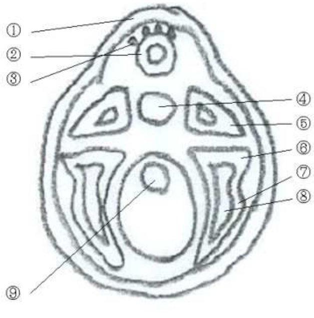








尾芽胚の構造	できる器官	胚葉
胚の表皮	表皮，感覚器官の一部	外胚葉
神経管	脳，脊髄，網膜	外胚葉
脊索	退化→消失(脊椎骨に置換)	中胚葉
体節	骨格筋，骨格(脊椎骨)，真皮	中胚葉
腎節	腎臓，生殖腺	中胚葉
側板	平滑筋，心筋，血球，血管	中胚葉
腸管	消化管上皮，肝臓，膵臓 肺や気管の上皮	内胚葉



(1)各部域の発生

①外表皮→皮膚の表皮，眼の＿＿＿＿・＿＿＿

②外神経管→脳，脊髄，運動神経，副交感神経，眼の網膜

③外＿＿＿＿＿＿→交感神経，感覚神経，黒色素細胞，副腎髄質

④中脊索→退化・消失し，のちに体節由来の＿＿＿＿に置換

⑤中体節→＿＿＿(＿＿＿＿)，＿＿＿＿，皮膚の真皮

⑤中腎節→＿＿＿，輸尿管，輸卵管，輸精管，子宮，生殖線(卵巣・精巣)の髄質

⑦中側板→＿＿＿・＿＿＿・＿＿＿・内臓筋・胸膜・腹膜・腸間膜・生殖腺の皮質

⑧中＿＿＿＿↔＿＿＿＿

⑨内腸管→消化管上皮・＿＿＿・＿＿＿・肺・気管・甲状腺・副甲状腺

(2)混同しやすい組織・器官

	由来	分類・種類
皮膚の表皮	外胚葉(表皮)	上皮組織・保護上皮
皮膚の真皮	中胚葉(体節)	結合組織・繊維性結合組織
血管内皮	中胚葉(側板)	上皮組織
消化管上皮	内胚葉(消化管)	上皮組織・吸収上皮・腺上皮
骨格筋	中胚葉(体節)	筋組織・横紋筋
心筋	中胚葉(側板)	筋組織・横紋筋
内臓筋	中胚葉(側板)	筋組織・平滑筋

STEP UP　神経冠細胞と皮膚や消化管のでき方

神経管の上部には神経管から部分的に分化した神経冠細胞が存在する。これは，交感神経，感覚神経，黒色素細胞，副腎髄質などに分化する。また，皮膚や消化管は複数の胚葉の組み合わせによって構成されている。皮膚ならば外胚葉(表皮)と中胚葉(真皮)，消化管ならば内胚葉と中胚葉(内蔵筋)である。

STEP UP　ヒトの発生

ヒトの卵は，等黄卵で，卵割は等割である。ヒトでは，減数分裂の第二分裂中期で止まった状態で排卵され，輸卵管の途中で精子が進入すると減数分裂が再開される。その後，卵核と精核が合体して受精卵になる。受精卵は卵割を繰り返しながら輸卵管を移動し，受精後約 7 日目の胞胚のころに子宮に達し，子宮内膜に潜り込んで着床する．約 8 週目で，手や足ができる。このころから胚は胎児と呼ばれ，羊水に浸った状態では発生を続け，胎盤を通じて母体から栄養分や酸素をもらう。

STEP UP　卵割と体細胞分裂の速さ

普通の体細胞分裂を行う細胞では，分裂に先立って核の染色体が複製され，その後分裂までしばらくの準備期間(染色体複製に必要なものを合成する期間)があり，分裂後も染色体の複製までしばらくの準備期間(体細胞分裂に必要なものを合成する期間)がある。ところが，動物の卵は，普通の体細胞よりも著しく大きく，細胞質には染色体の複製や細胞質分裂に必要なものがあらかじめ大量に用意されているので，受精卵は，染色体を複製するとすぐに分裂し，分裂するとすぐに染色体を複製するというように，速やかに分裂することができる。

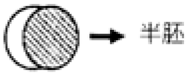
9 動物発生の仕組み

(1)発生に対する考え方

①前成説…「卵・精子の中に初めから生物のひな型がある」→ 現在では否定

ア)ルー…カエルの 2 細胞期に一方の割球を焼き殺すと，半胚が得られた

(焼けた割球を除去すると，正常発生することが後に確認された)



イ)マルピーギ…産卵後のニワトリの卵内に小さなからだが初めから存在する

(産卵前に胚発生が進んでいるのを知らなかっただけ)

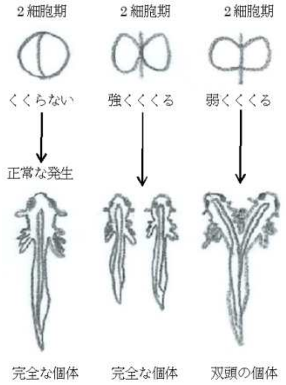
ウ)スワンメルダム…昆虫の蛹を見て，小さなからだが初めから存在する

(蛹を昆虫の卵だと誤解していただけ)

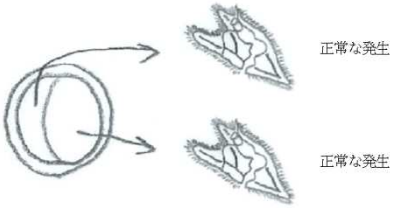
②後成説…「生物の形は発生につれて徐々につくられていく」→現在も支持

ア)シュペーマン…両生類の受精卵を髪の毛で二分すると，それぞれ正常発生する

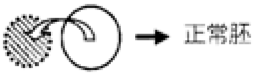
(ただし，灰色三日月環を含まない場合は正常発生できない)



イ)ドリーシュ…ウニ胚の 2 細胞期を卵割面で分離すると，1/2 サイズの正常胚ができた



ウ)モーガン…カエル胚の 2 細胞期の一方の割球を熱針で殺して分離すると，1/2 サイズの正常胚ができた。

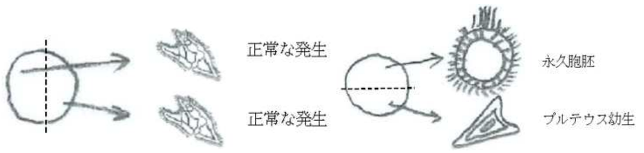


(2)卵の種類

	割球一部除去	予定運命の決定時期	発生初期に分離した場合の例
	不完全胚が生じる	比較的早い	クシクラゲ・ツノガイ・ホヤ
	正常発生を行う	比較的遅い	ウニ・カエル・ヒト(一卵性双生児)

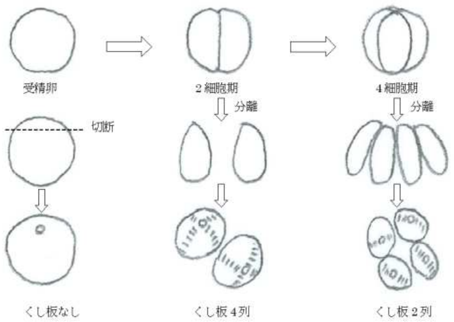
※卵の調節能は本質的なものではない

→調節卵も________や____によってモザイク卵的な結果になることもある

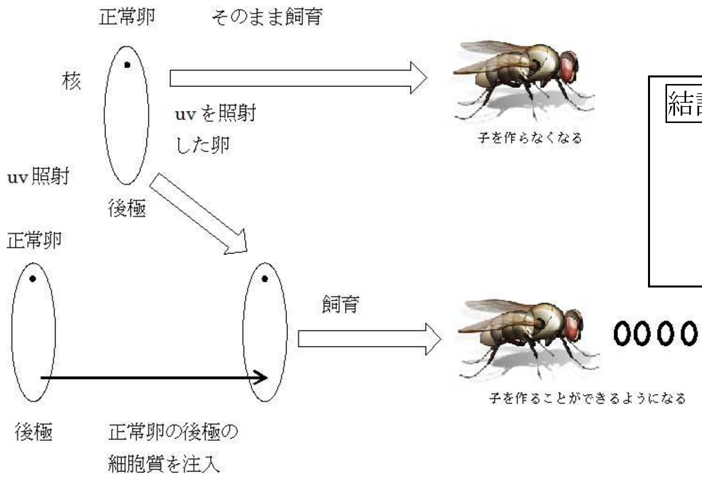


(3)発生における細胞質の役割

①クシクラゲの分割(フィッシェル)



②ショウジョウバエの uv による細胞質の破壊



結論

10 予定運命…発生において、将来どのような組織・器官になるか

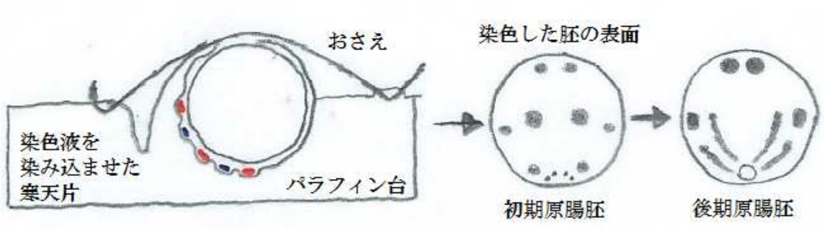
(1)材料…イモリの初期原腸胚→陥入直前の染色が容易

(2)研究者…__________

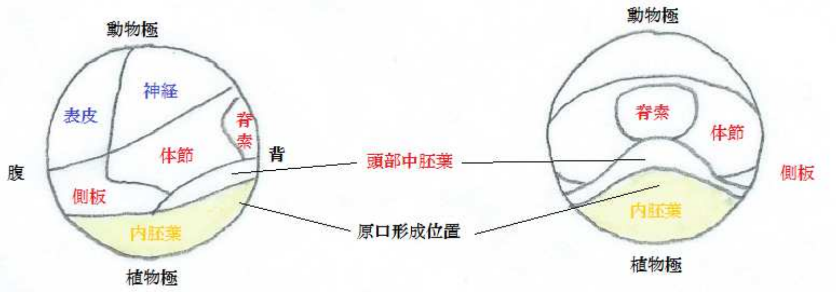
(3)目的…胚の各領域の予定運命の追跡

(4)実験…胚の各領域を染色液で染め分ける______________

↳生体に無害で発生に影響のない____________，______や________



(5)結論…予定運命を描いた胚の外観図を作成＝__________(__________)



11 予定運命の決定時期

(1)材料…スジイモリとクシイモリの初期原腸胚・初期神経胚→卵の色が違うので染色不要

(2)研究者…____________

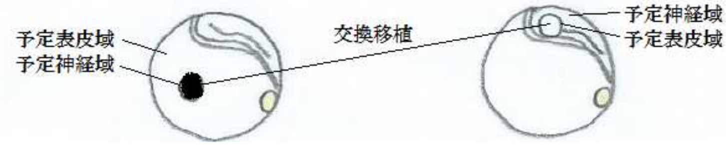
(3)目的…外胚葉域の予定運命(＝表皮になるか，神経になるか)の決定時期を調べる

(4)実験…予定表皮域の一部と予定神経域の一部を交換移植する

①初期原腸胚期…場の運命に従って分化

→移植片●は____になる。移植片○は____になる

②初期神経胚期



→移植片●は____になる。移植片○は____になる

(5)結論…予定外肥葉域の運命は，__________________________________に決定する

12 予定運命決定の仕組み

(1)材料…イモリの初期原腸胚

(2)研究者…＿＿＿＿＿＿

(3)目的…神経管形成の仕組みを調べる

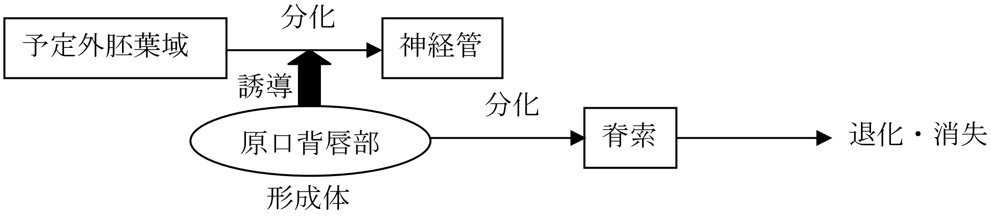
(4)実験…原口背唇部(予定脊索域)を胞胚腔内に移植する

移植片は＿＿＿＿＿＿＿＿に分化し，周囲に＿＿＿を含む二次胚が形成される

(5)結論

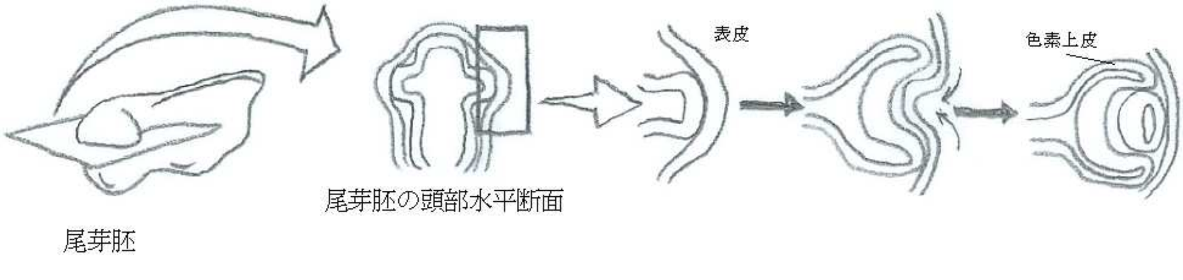
①原口背唇部の予定運命(将来，脊索になるという運命)は，初期原腸胚期に決定して＿＿

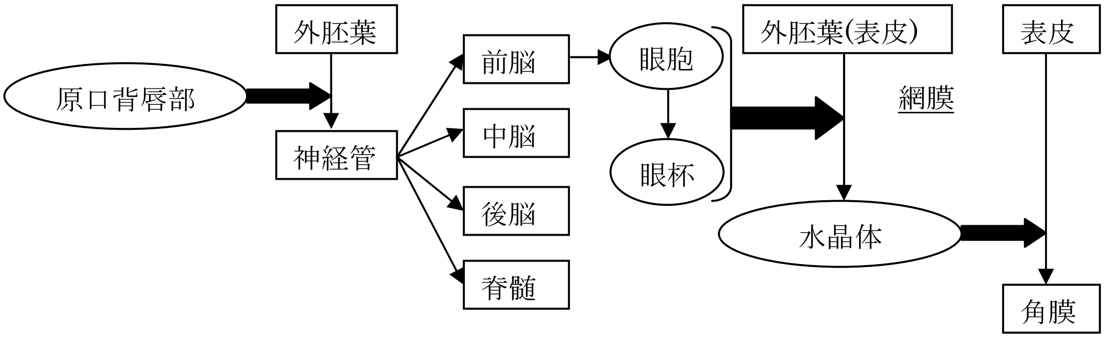
②原口背唇部が＿＿＿(オーガナイザー)として働き．表皮を神経管に＿＿する



13 誘導の連鎖による器官形成…複数の構造体が形成体として連続的に働き，複雑な器官を形成

例)眼の形成





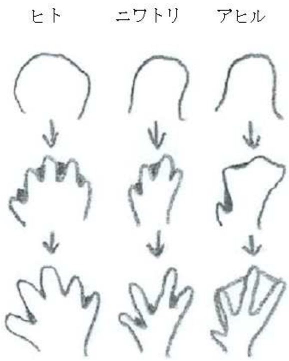
14 プログラム細胞死

(1)ある特定の時期・状態における遺伝子発現による細胞死

(2)細胞が自死に至る＿＿＿＿＿＿による

(3)この仕組みが上手く働かないと，細胞が＿＿＿し，異常増殖する

(4)アポトーシスの仕組み



①細胞表面の受容体に特異的な信号物質が結合する

ア)発生過程に周囲の細胞から分泌されるタンパク質

イ)薬物などの化学物質

ウ)ウイルスなどの外敵など

②DNA 分解酵素やタンパク質分解酵素が活性化される

③核内の染色体や細胞が凝縮・断片化する

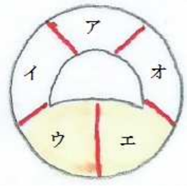
④残った小粒はマクロファージの食作用により分解される

(5)プログラム死の例

①発生段階…ヒトの＿＿＿＿の死滅，対自己の抗体リンパ球淘汰による免疫寛容

②変態段階…オタマジャクシの＿＿＿＿，昆虫の幼虫組織の崩壊

15 中胚葉誘導…ニューコープの実験



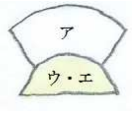
(1)実験１…サンショウウオの中期胞胚の胚域ア～オを単独培養

①ア→不整表皮が分化

②イ→筋肉・血球が分化

③オ→筋肉・脊索が分化

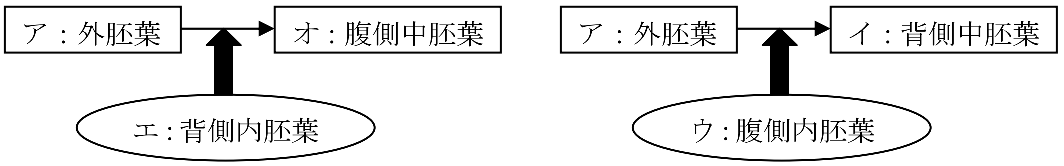
④ウ・オ→分化しない(まれに腸が分化)

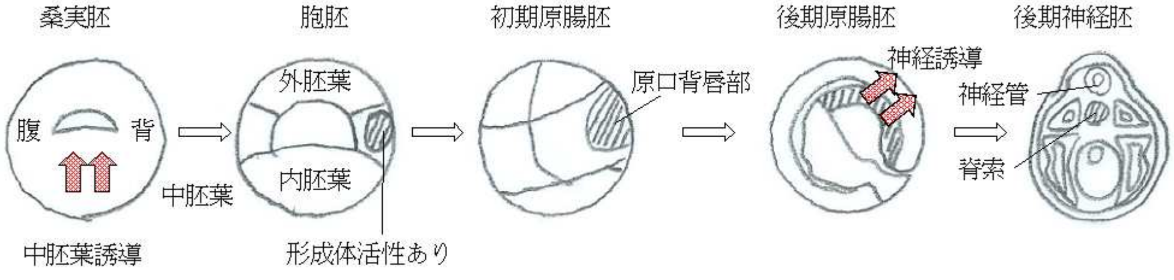


(2)実験２…同時期のアとウを接触培養→アの一部から筋肉・血球(＝イ)が分化

(3)実験３…同時期のアとエを接触培養→アの一部から筋肉・脊索(＝オ)が分化

(4)結論…胚域ウ・エの誘導により，胚域イ・オが分化する





16 細胞選別

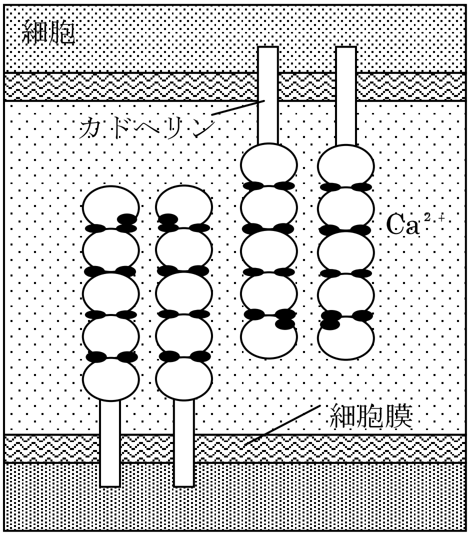
(1)同じ組織の細胞表面には，同じ細胞接着分子(　　　　　)がある

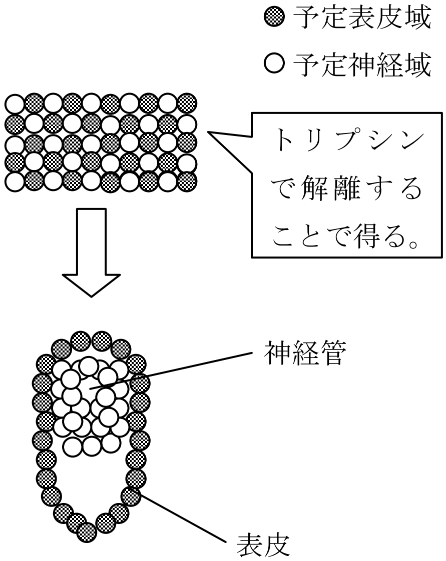
(2)それを識別することで，同種のどうしが接着集合する性質を　　　　(　　　　　)という

(3)実験

①イモリの神経胚の腹部上皮と神経板の細胞をそれぞれ　　　　　で解離し，混合培養する

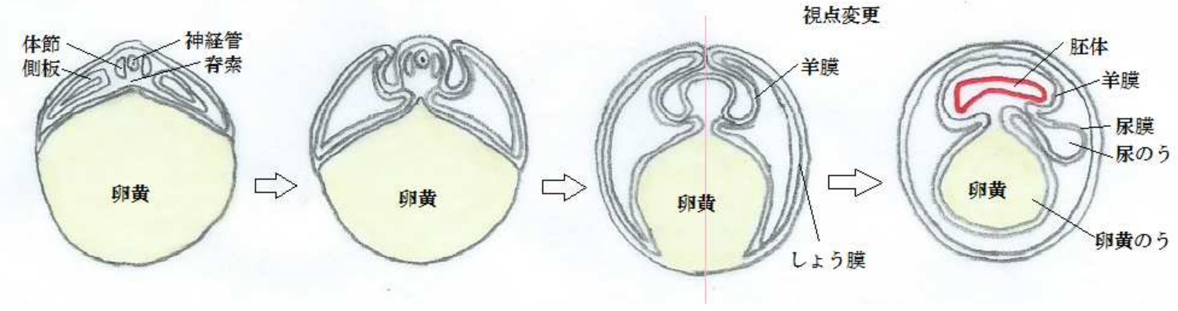
②本来の胚における位置関係と同じ(腹部上皮の細胞が外側，神経板の細胞が内側)になる

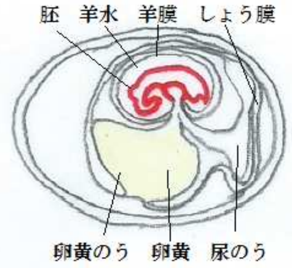




17 羊膜類の発生

(1)胚膜…陸生脊椎動物(爬虫類・鳥類・哺乳類)がもつ胚体外膜。神経胚の細胞層から形成





	働き	起源
しょう膜	胚の周囲を包み，胚を保護する	外胚葉＋中胚葉
羊膜	内側に羊水を満たして胚を浸す	中胚葉＋外胚葉
尿膜（尿のう）	胚の排出物を蓄える。しょう膜と合わさって血管を発達させ，ガス交換を行う。	中胚葉＋内胚葉
卵黄のう	卵黄を包み，血管が発達して胚へ養分を供給する	中胚葉＋内胚葉

①鳥類…尿のう・しょう膜からしょう尿膜を形成し，卵殻下でガス交換に働く

②哺乳類(単孔類以外)…尿のう・しょう膜と子宮壁から胎盤を形成し，母体と物質交換を行う

19 動物の再生

(1)プラナリア切断実験

①切断部に＿＿＿＿ができ，分化して極部となる

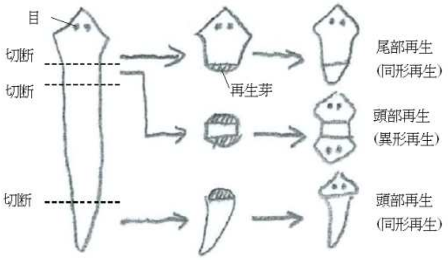
②切断面～極部が連続的になるように，体の位置情報が再編成される

→インターカレーションモデル

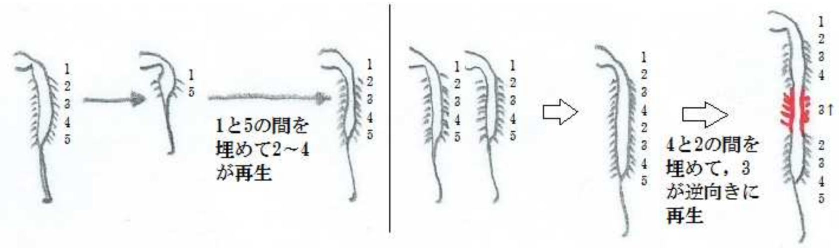
③全身に散在する未分化な＿＿＿＿が，位置情報に従って必要な構造を再生する

※断片が小さい場合，極性の差が現れず，正常に再生できない

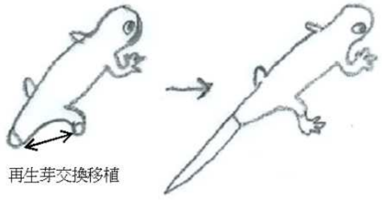
※ノウダラケ遺伝子(*nou-darake*)を抑制すると，頭尾軸に沿った位置情報が乱れ，体中に脳が形成される



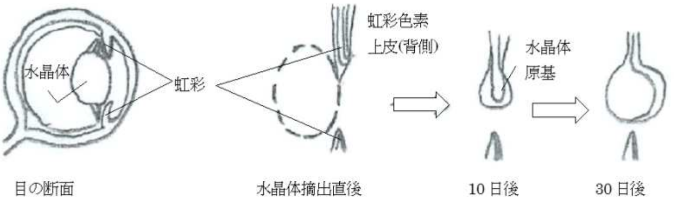
(2)ゴキブリの肢の再生…異なった位置の細胞を移植すると，位置情報に従ってその間を埋めるように必要な構造を再生する



(3)イモリの肢・尾の再生…再生の場からの情報(誘導)により，再生芽の分化の方向が決まる



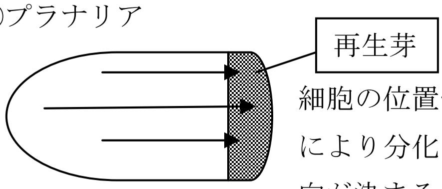
(4)イモリの水晶体の再生…水晶体を摘出すると，虹彩上縁部の細胞が脱分化し，水晶体に再分化する(分化転換)



STEP UP　再生芽のでき方の違い

動物の再生の初期にあらわれる未分化な細胞の集まりを再生芽という．

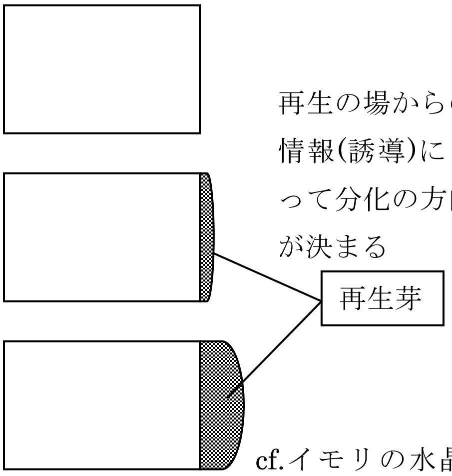
①プラナリア



細胞の位置情報により分化の方向が決まる

これまでからだ全体に分散していた未分化な細胞(幹細胞)が切断面に集まって塊をつくる．

②イモリ

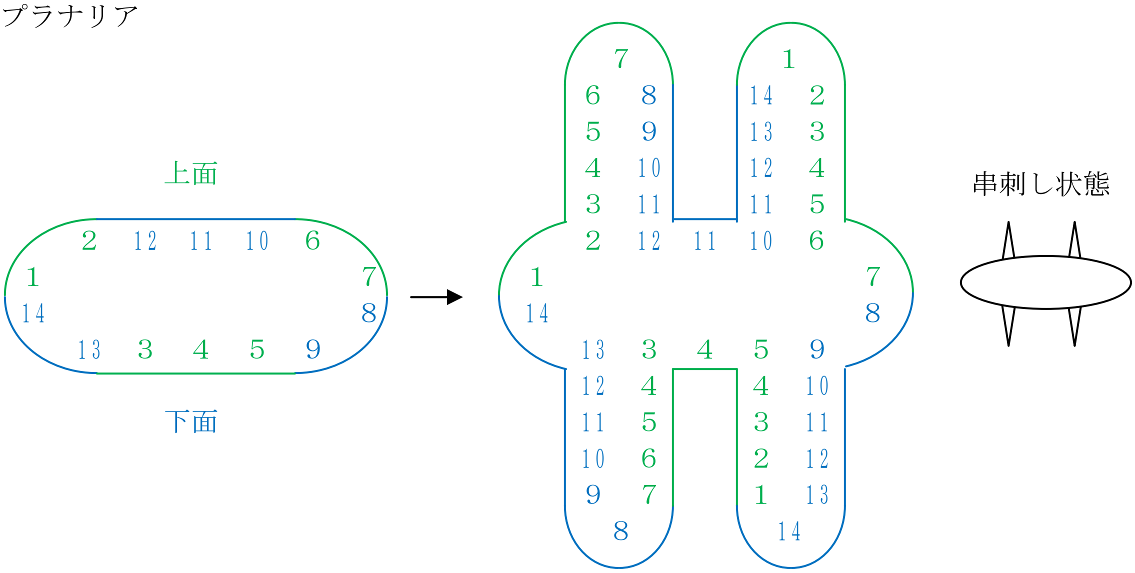


再生の場からの情報(誘導)によって分化の方向が決まる

切断面の各組織の細胞が脱分化してできる。

cf.イモリの水晶体を摘出すると，虹彩上縁部の細胞が脱分化して水晶体に再分化する。

STEP UP　インターカレーション

再生の考え方の一つにインターカレーションというものがある。これは失われた部分の間を補うようにして再生が進んでいくという考え方である。

例)プラナリア