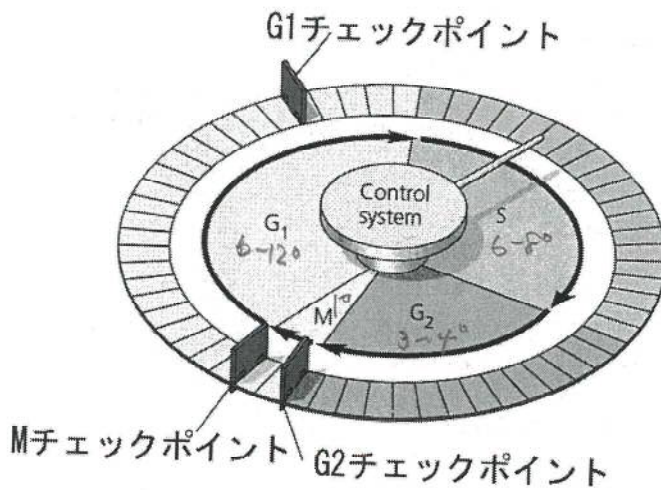


5. 細胞周期の調節

これまで述べてきたように、細胞周期の回転はきわめて重要なので、厳密に制御されている。たとえば、G₁ 期から S 期に移るときには、細胞の成長が十分であるか、複製に必要な原材料が十分あるか、などがチェックされる。また G₂ 期から M 期に移るときにも、DNA の複製は完了したか、複製の誤りはなかったか、などがチェックされる。もしもこれらの準備が十分でなければ、未熟な細胞を作ってしまったり、うまく分裂が進まない結果を生むからである。細胞周期内には、このようなチェックポイントが何ヶ所もあり、次の過程に進んでいかどうかのチェックがされている。



最初に見つかったチェックポイントは G₂ 期から M 期への移行に関するチェックポイントだった。ヒトでの受精卵で、受精後最初に起こる分裂に伴って特殊な因子が増加することが見付き、卵成熟促進因子と名づけられた。酵母を使った別な研究では、細胞周期に伴って細胞の中に M 期を促進する因子が増減すること

が見つかった。これらは同じもので、M 期促進因子 (M-Phase promoting factor、MPF) という名が定着する。

MPF は酵素とそれに結合するタンパク質の複合体で、両者が結合すると因子としての活性が生まれることも明らかになる。MPF が活性を持つと、直接的あるいは間接的に M 期のさまざまな現象、たとえば核膜の消滅などをひきおこす。

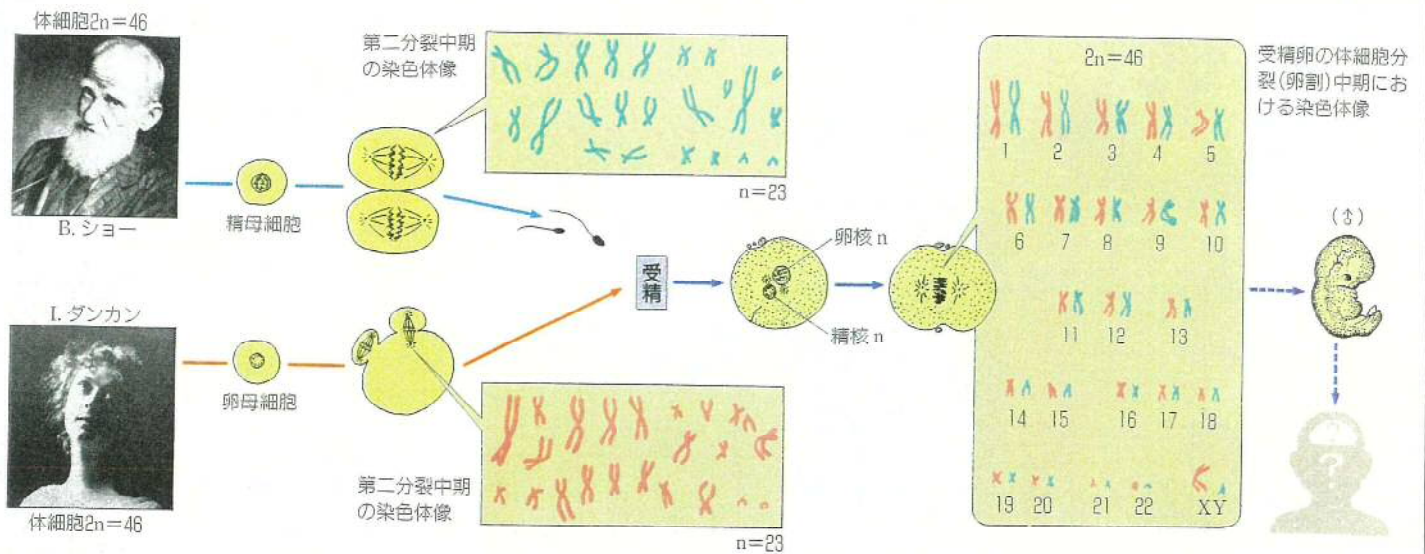
こうしてチェックポイントというのは、酵素の活性が上がることであるということがわかってきた。G₂ 期から M 期以外のチェックポイントでも、基本的にはこれと同じようなメカニズムがはたらいっている。ガン化した細胞では、これらの細胞周期チェックポイントの機能がうまくはたらかなくなっている。

<http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/C/CellCycle.html#steps>

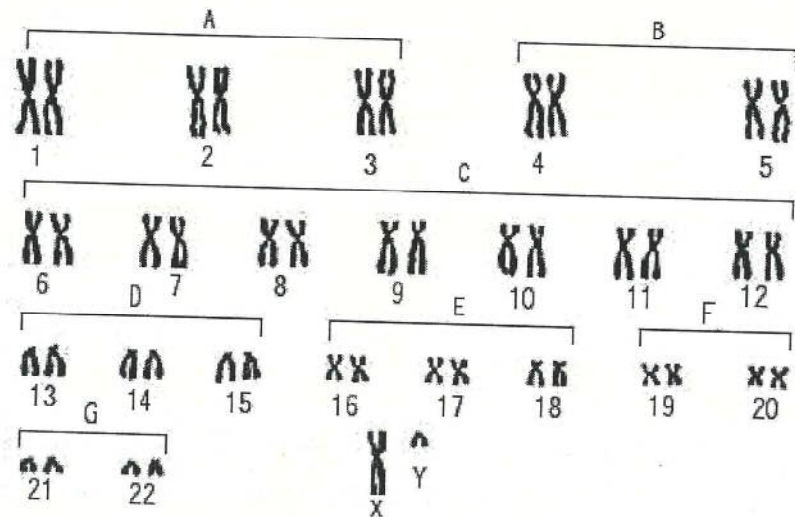
Mi	Pro- ^{phase}	期
	Meta	中
	Ana	後
	Telo	終

相同染色体の由来

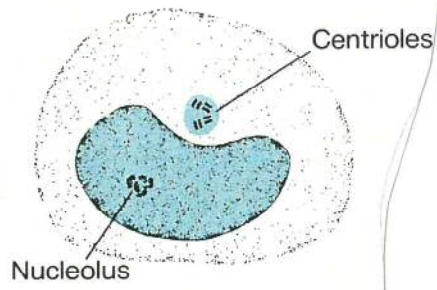
相同染色体の一方は父親から、他方は母親から受けついでたものである。



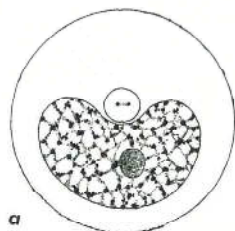
!! I. D. 「あなたの知性と私の美貌とを兼ね備えた子供ができれば、どんなにすてきでしょう」。B. S. 「あなたの知性と私の容貌をもつ子供ができると困るのでやめておきましょう」。というようなやりとりがあったとか……。 (イサドラ・ダンカン是有名な舞踊家。バーナード・ショーは高名なイギリスの作家)



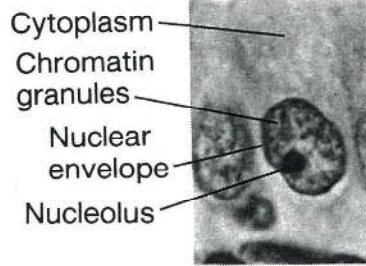
ヒト男性の染色体。女性では最後の段の性染色体がXXである。



INTERPHASE (G₂)



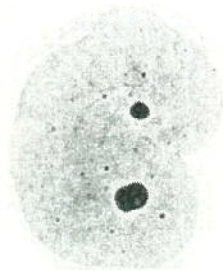
Interphase



Interphase



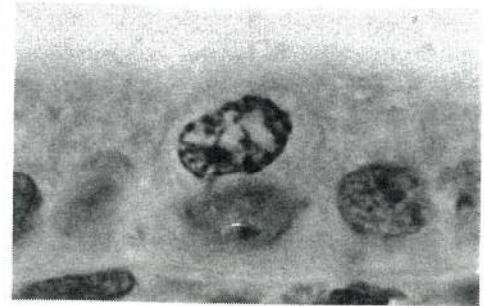
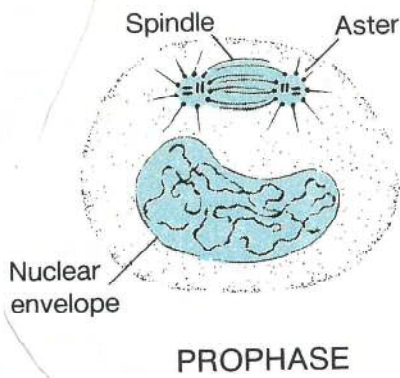
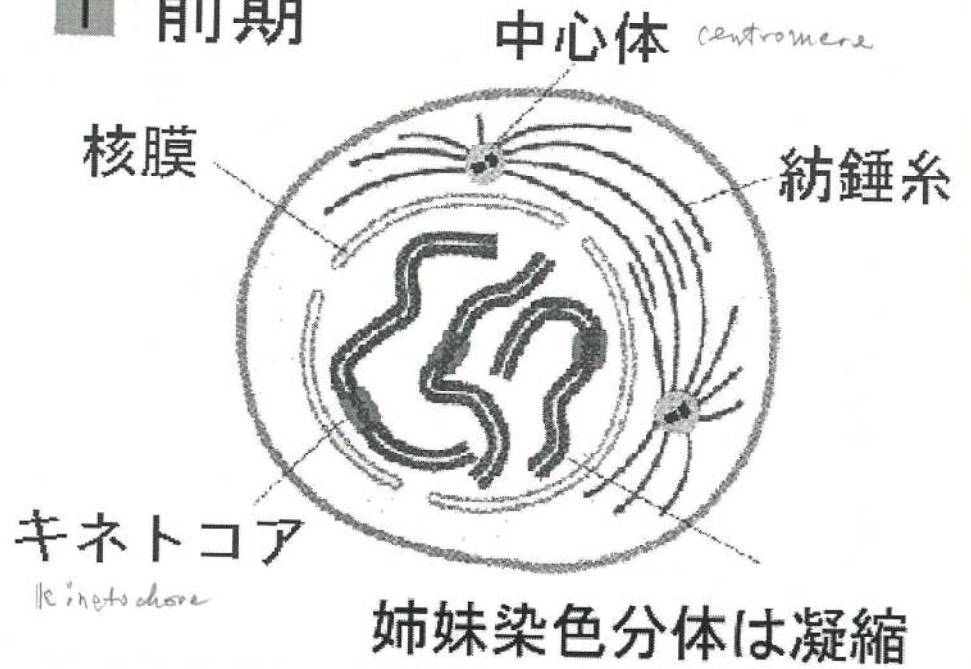
Late stages of nuclear reconstruction



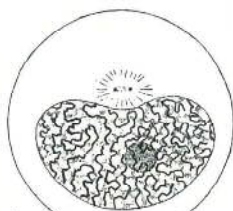
Interphase

●前期

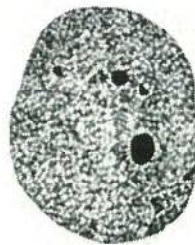
1 前期



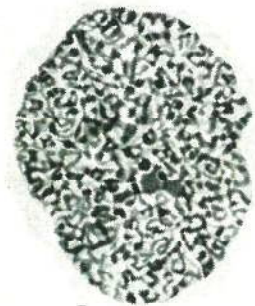
Prophase



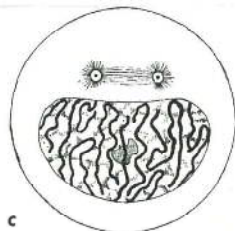
b Early prophase



D Early prophase



E End of prophase

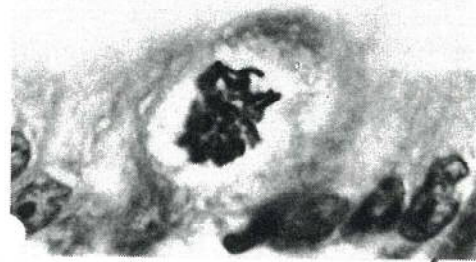
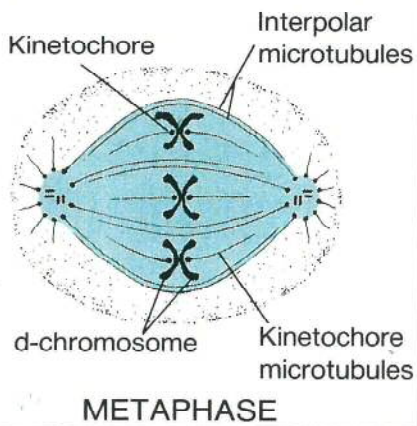
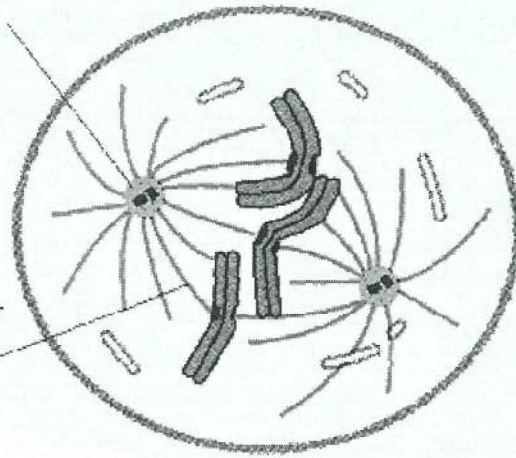


c Advancing prophase

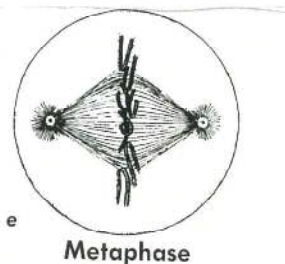
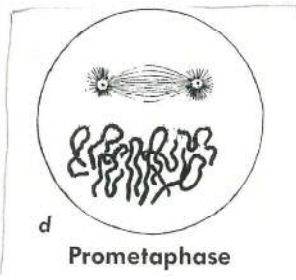
2 中期

紡錘体極
spindle

キネトコア
微小管
microtubule



Metaphase

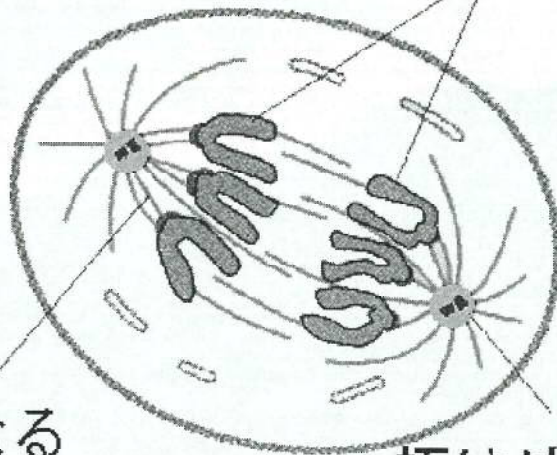


K - Kinetochore

*Pale stripes in chromosomes

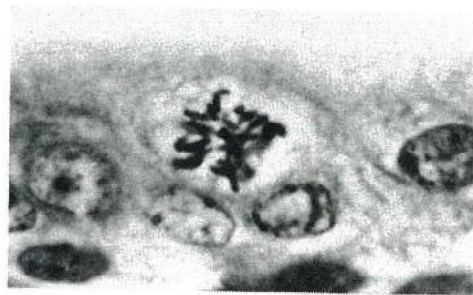
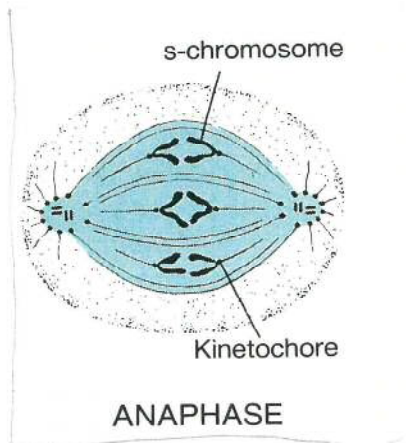
3 後期

娘染色体

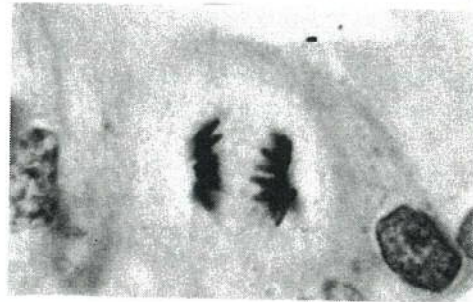


短くなる
キネトコア微小管

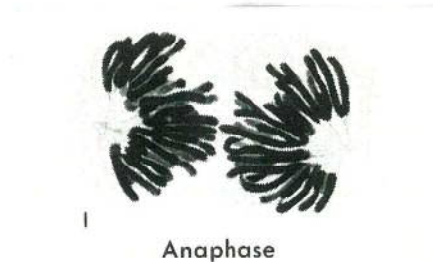
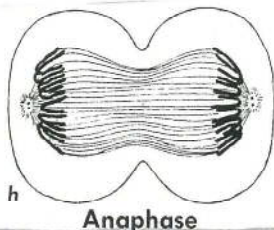
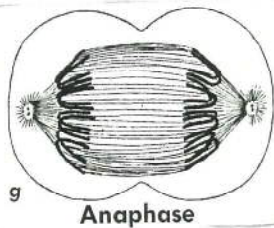
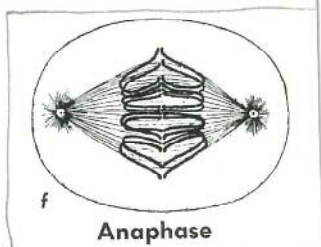
極は外に
向かって移動



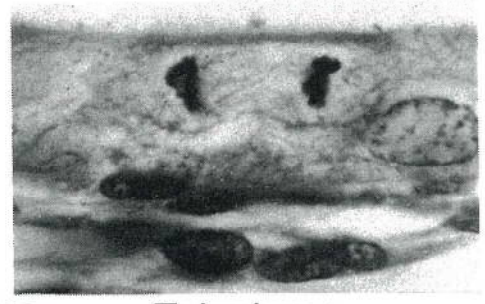
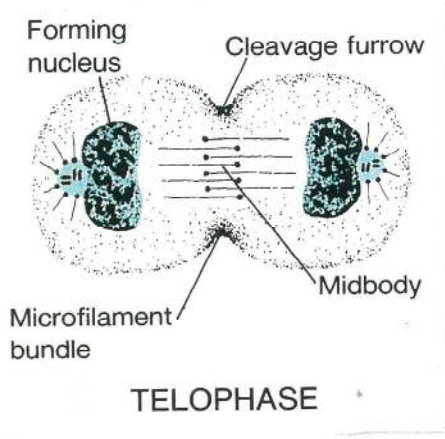
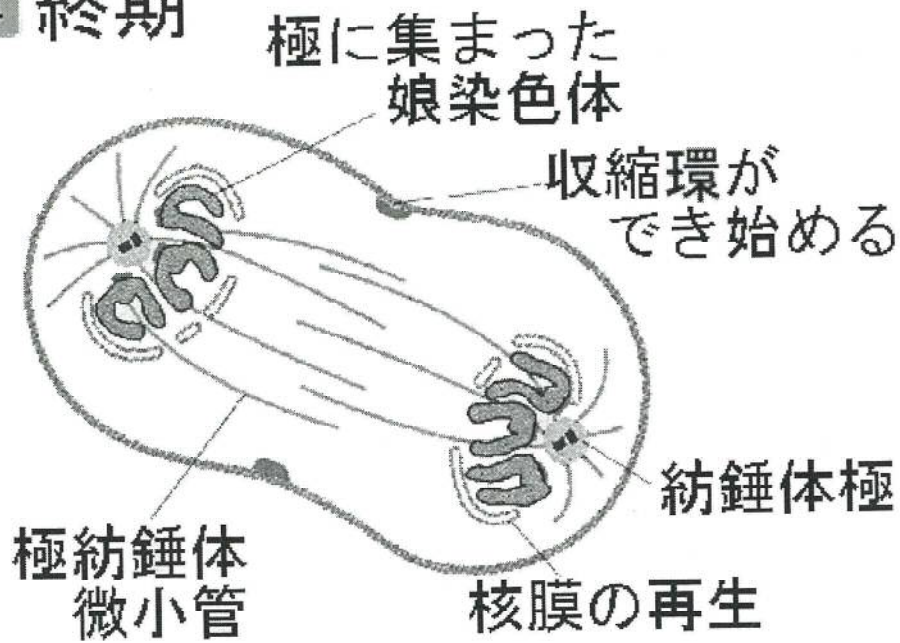
Metaphase-Anaphase



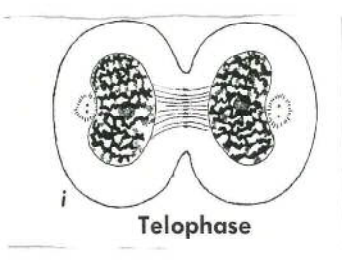
Anaphase



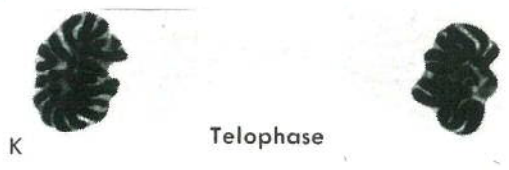
4 終期



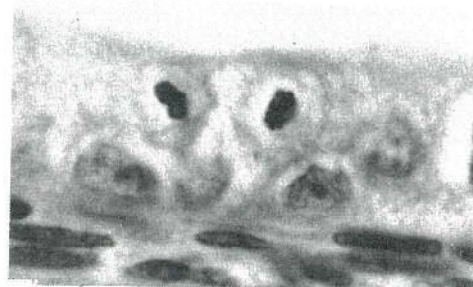
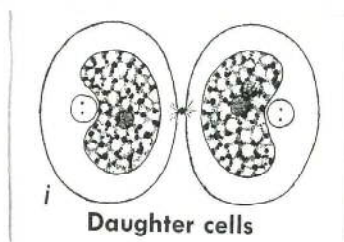
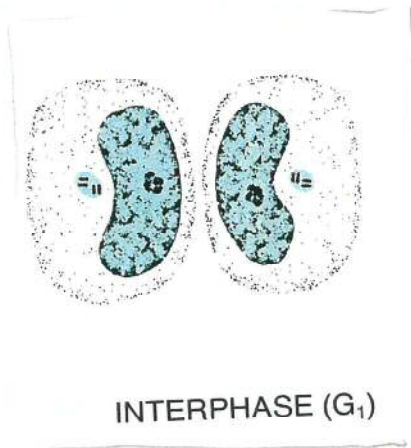
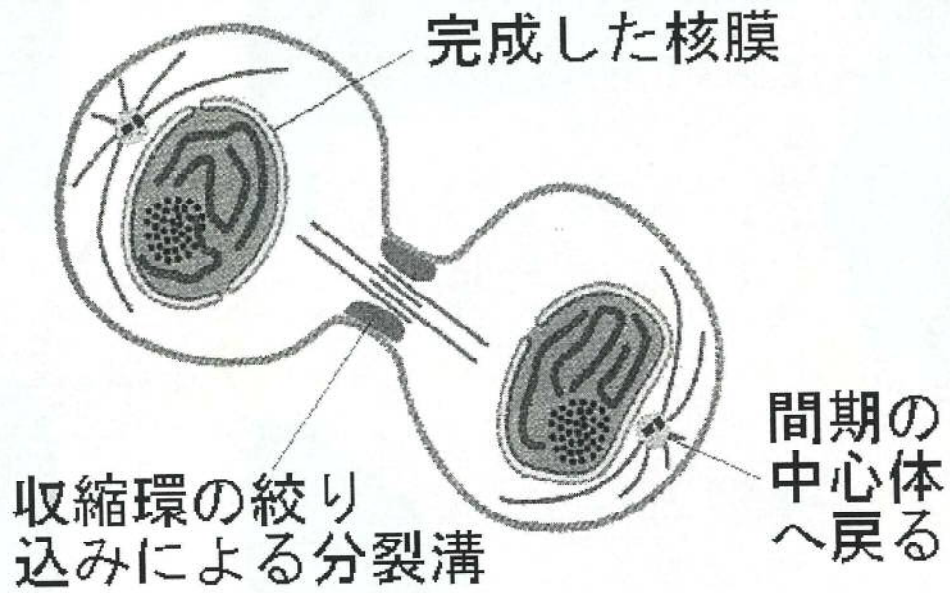
Telophase



Telophase

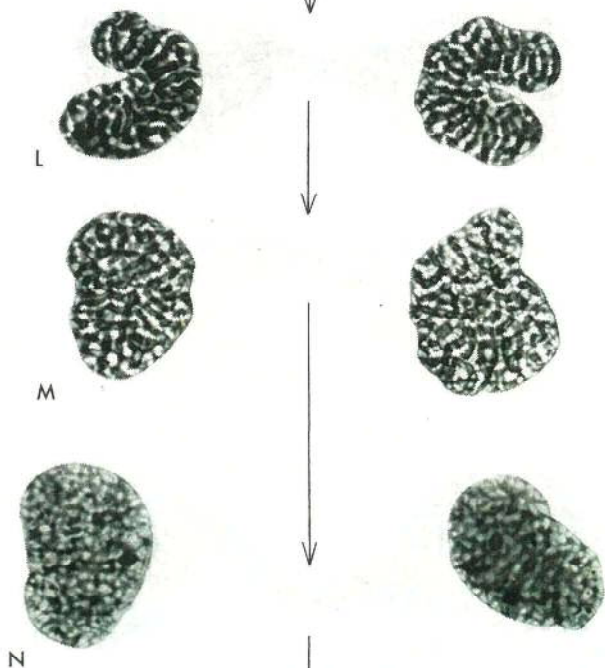


5 細胞質分裂



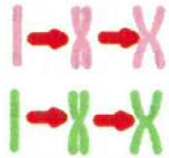
Two new cells

Advancing reconstruction



父親由来の染色体 母親由来の染色体

①



②

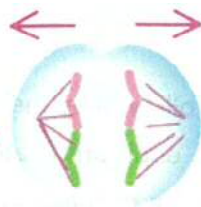


③

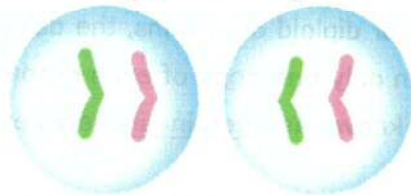


体細胞分裂

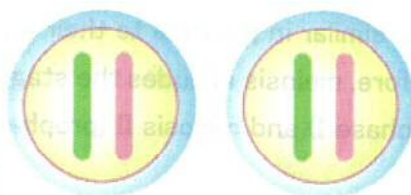
④



⑤

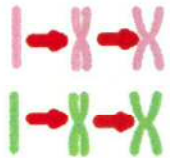


⑥

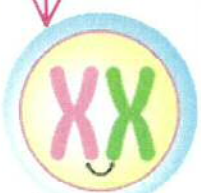


父親由来の染色体 母親由来の染色体

①



②

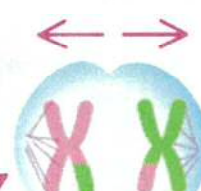


③



組み替え

④

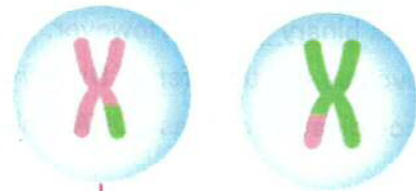


⑤

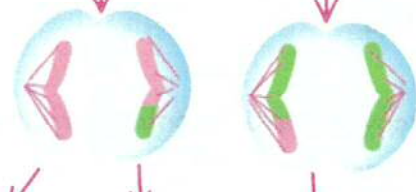


第一減数分裂

⑥



⑦



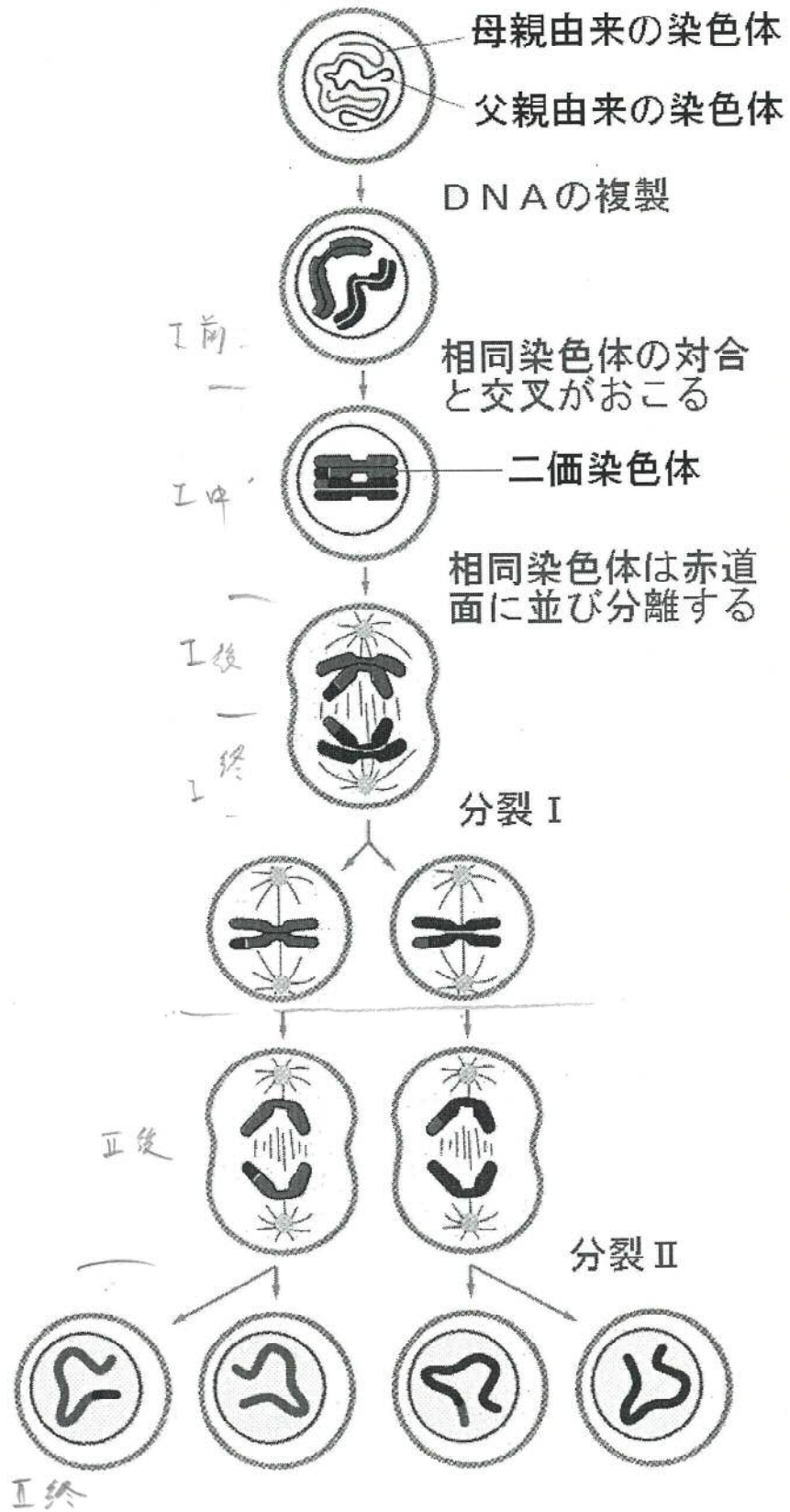
⑧



第二減数分裂

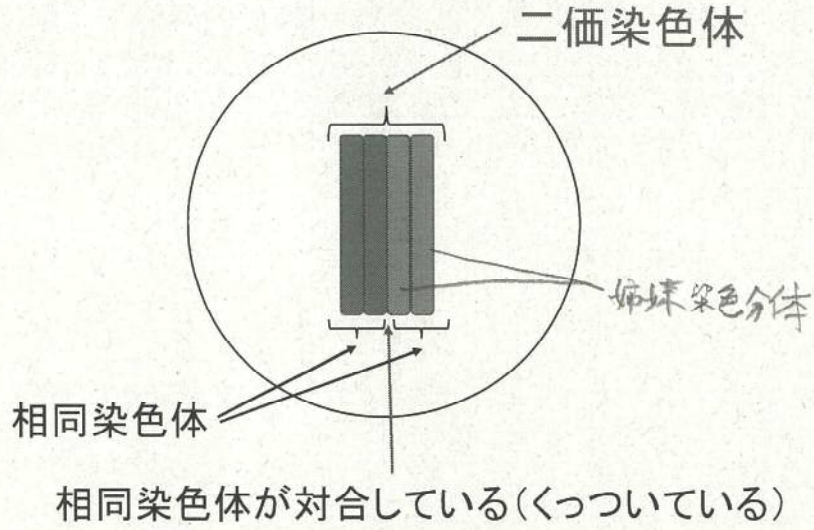
減数分裂 I

減数分裂 II



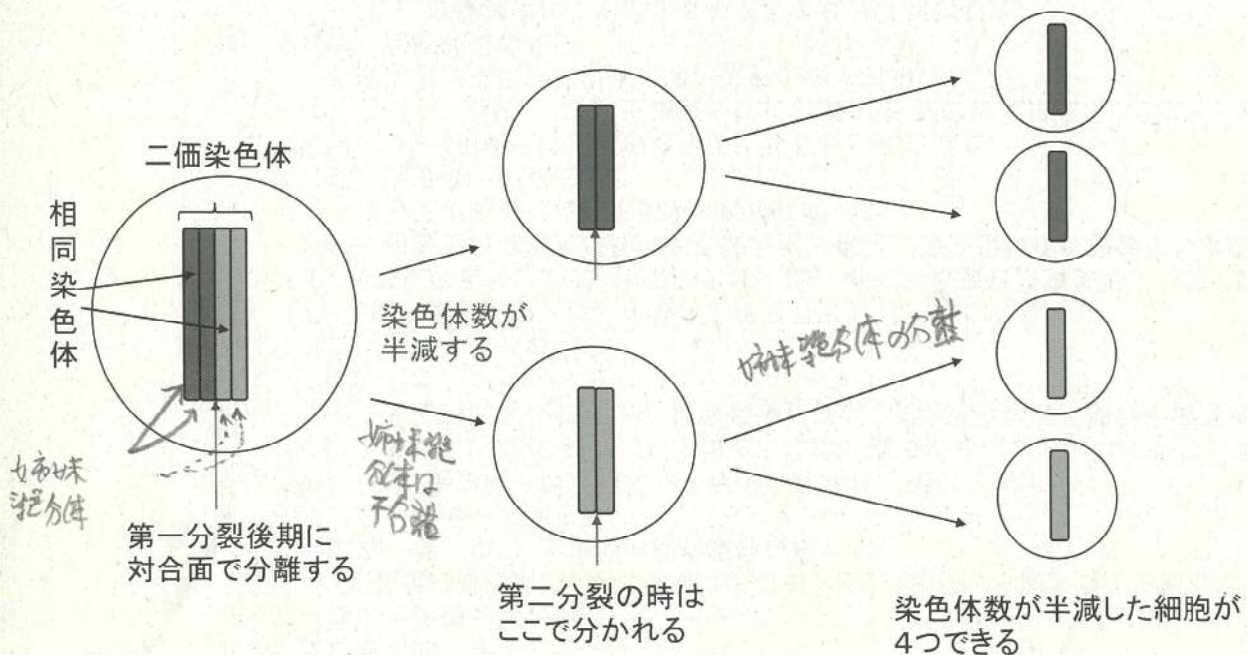
二価染色体

(減数分裂の第一分裂前期にできる)



7

染色体が半減する仕組み

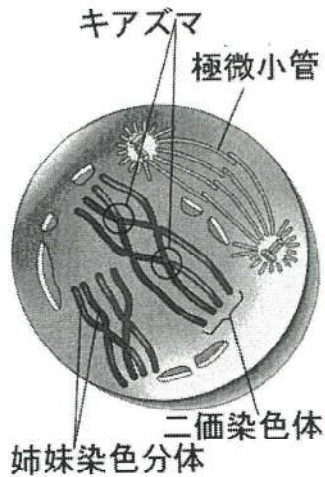


8

2) 減数分裂の過程

上に述べたように、減数分裂は、二度の核分裂と細胞質分裂からなるので、それぞれの過程を減数分裂Ⅰ、減数分裂Ⅱのように書いて区別する。

●前期Ⅰ



有糸分裂と同様に、減数分裂が始まる前のS期に、染色体は複製され、前期Ⅰにはセントロメアで融合した二本の染色分体からなる。

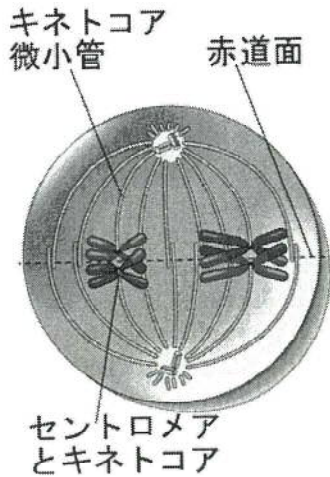
染色分体がまだ細長い間に、相同染色体同士が縦に並び始めて対合 (synapsis) し、4本の染色分体が一つになる。このときの染色体を、二価染色体 (bivalent or tetrad) と呼ぶ。

対合によってピッタリとくっつくので、姉妹染色分体の一方同士の間で交叉 (乗り換え、crossing over) がおこる (交叉点をキアズマという)。染色分体の乗り換えによって、遺伝子の組み換え (genetic recombination) がおこる。こうして次の代に伝えられる遺伝的な変異が増大することになる。

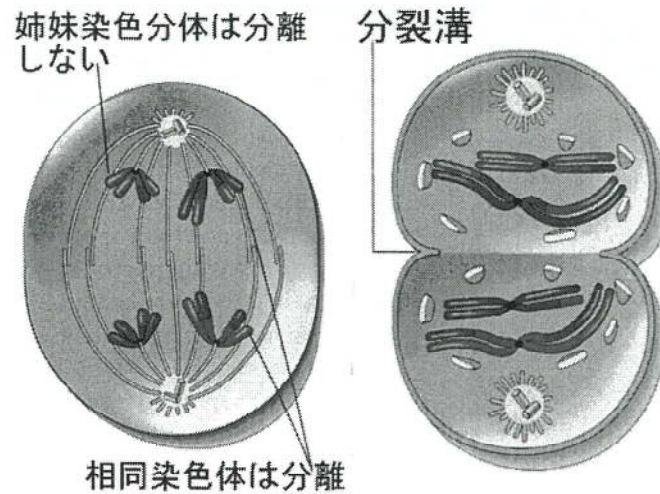
る。

対合や交叉のようなユニークな過程以外は、体細胞分裂前期の過程と同じである。

●中期Ⅰ



前期Ⅰは二価染色体が赤道面に並んだところで終わり、細胞は中期Ⅰに入っている。相同染色体のそれぞれのキネトコアは、紡錘糸によって一方の極だけに結び付けられているので、二本の相同染色体はそれぞれ別の極に結び付けられることになる (体細胞分裂ではこれとは対照的に、姉妹染色分体のキネトコアは両方の極に結び付けられている)。



●後期Ⅰ（上の左図）

後期Ⅰでは、相同染色体は分離し、別々の極へ移動していく。各極は、父親由来と母親由来の相同染色体のどちらか一本だけをランダムに組み合わせられたものを受け取る。ここでも組み合わせの違いによる変異が生じる。姉妹染色分体はまだセントロメアで結合している。

●終期Ⅰと細胞質分裂（上の右図）

終期Ⅰでは、染色分体はいくらか脱凝縮して核膜が形成され、細胞質分裂が起きる。インターキネシスと呼ばれる間期に似た期間には、染色体の複製は行われないのでS期は存在しない。

●前期Ⅱ（下の左図）

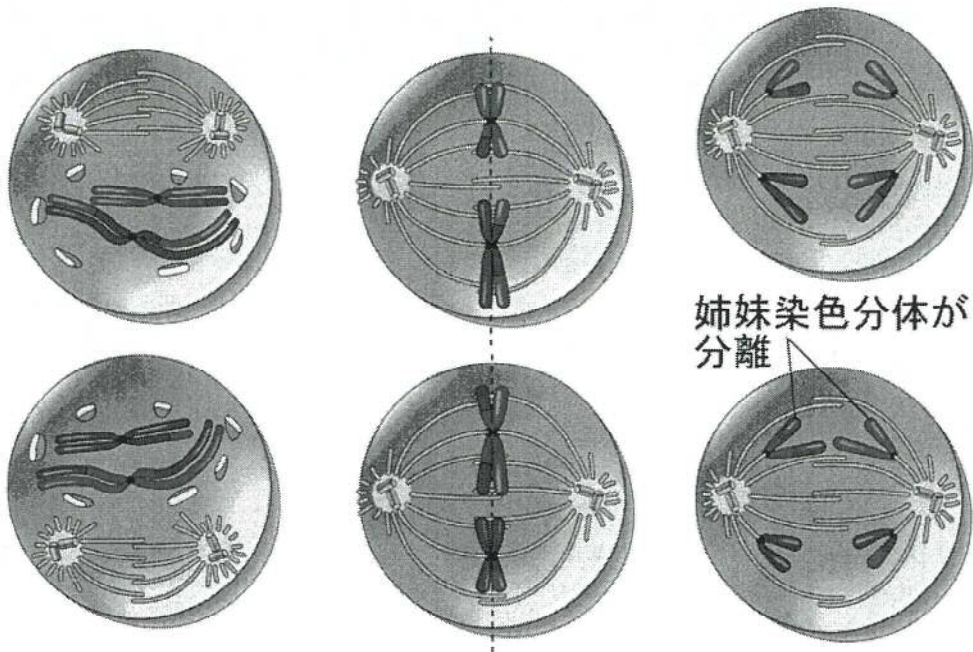
染色体は分裂の間も部分的に凝縮したままなので、二度目の減数分裂の前期もまた短い。前期Ⅱでは、多くの点で体細胞分裂の前期に似ている。相同染色体の対合は起こらず、交叉もない。

●中期Ⅱ（下の中図）

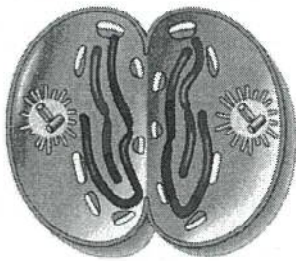
中期Ⅱでは、染色体は細胞の赤道面に並ぶ。最初の中期と二度目の中期とは簡単に区別することができる。中期Ⅰでは、染色分体は4本（二価染色体）に束ねられているが、中期Ⅱでは2本である。

●後期Ⅱ（下の右図）

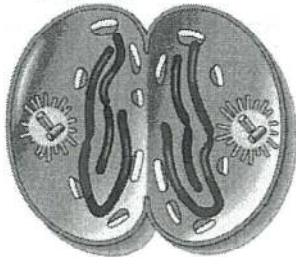
後期Ⅱでは、キネトコアで紡錘糸と結合している染色分体が、体細胞分裂の後期と同様に引き離され、反対の極へ移動していく。



●終期Ⅱと細胞質分裂



半数体の細胞ができる



終期Ⅱでは各極には各相同染色体の対の一方が存在している。いずれも複製されていない染色体である。それから核膜が形成され、染色体は次第に伸びて染色質を形成し、細胞質分裂が起きる。

3) 減数分裂による遺伝的多様性

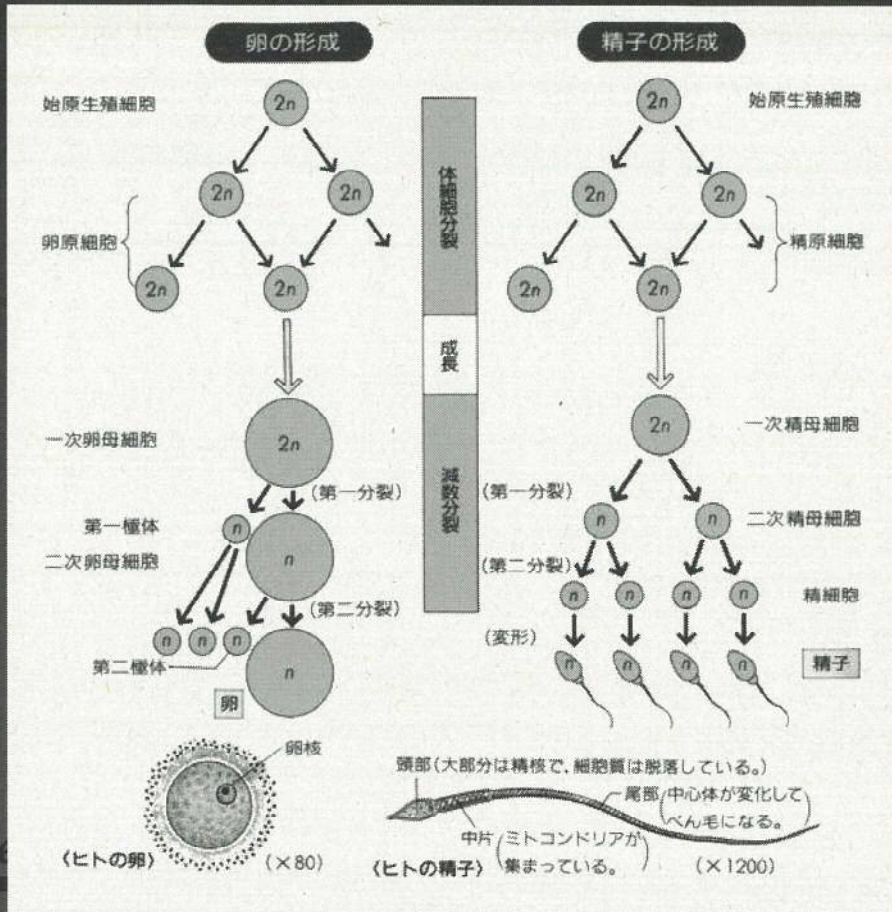
連続2回の分裂は4つの一倍体の核をつくり、それぞれが各染色体の1本を持ち、生じる一倍体の細胞はそれぞれ異なる遺伝子の組み合わせを持つ。

この遺伝的多様性は、次の二つの理由による。

- 1) 中期Ⅰで父方と母方の染色体が交叉によって混ぜ合わされ、まったく新しい組み合わせが生じる。
- 2) 後期Ⅰで各対の一方が独立してランダムに分配される。

上に述べた1)と2)はまったくランダムにおこる。こうして、両親からの染色体を混ぜ合わせて次の代に伝える生殖細胞が作られる。同じ個体を作る生殖細胞でも、100個あれば100通りの異なる遺伝的組成(違いの大小はあるが)を持つことになる。

配偶子形成



精子形成 (spermatogenesis)

始原生殖細胞 → 精原細胞

↓
第一次精母細胞

(減数分裂I)

↓
第二次精母細胞×2

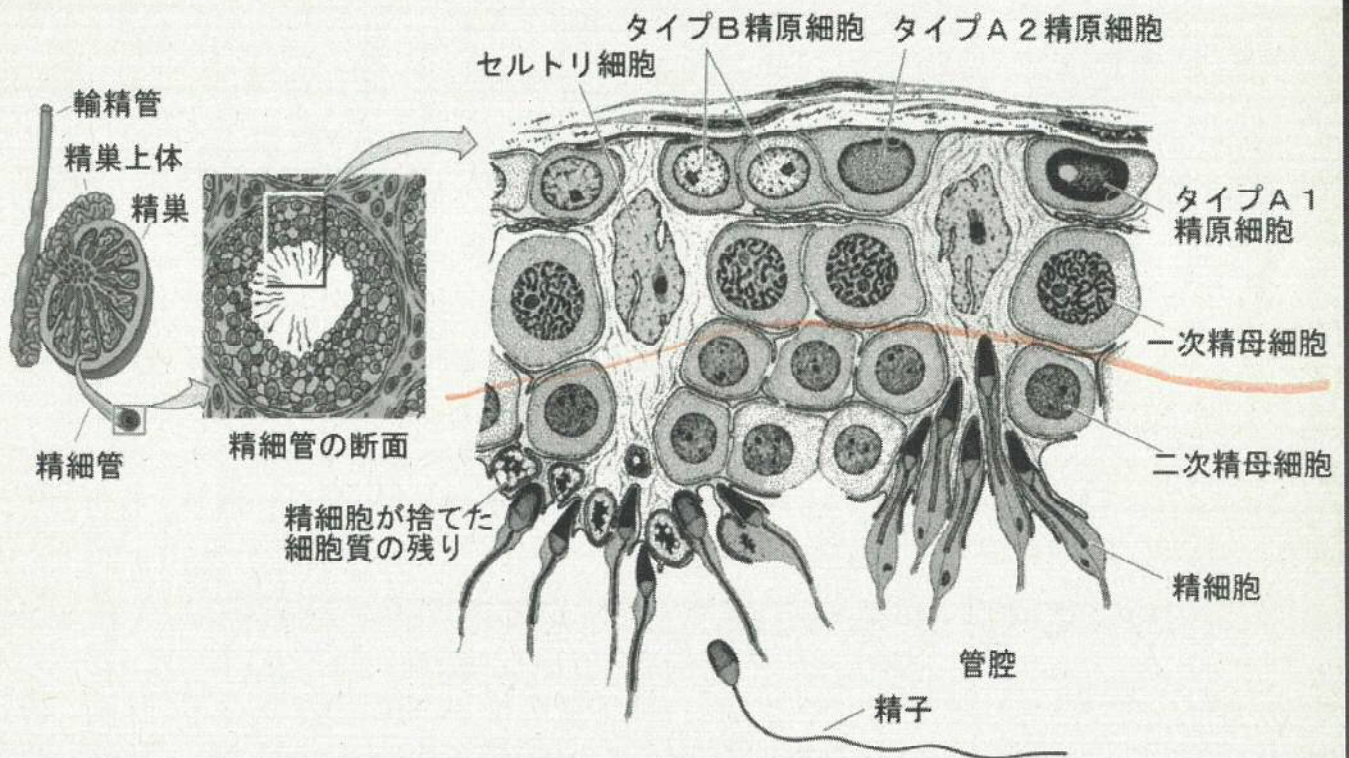
(減数分裂II)

↓
精細胞×2

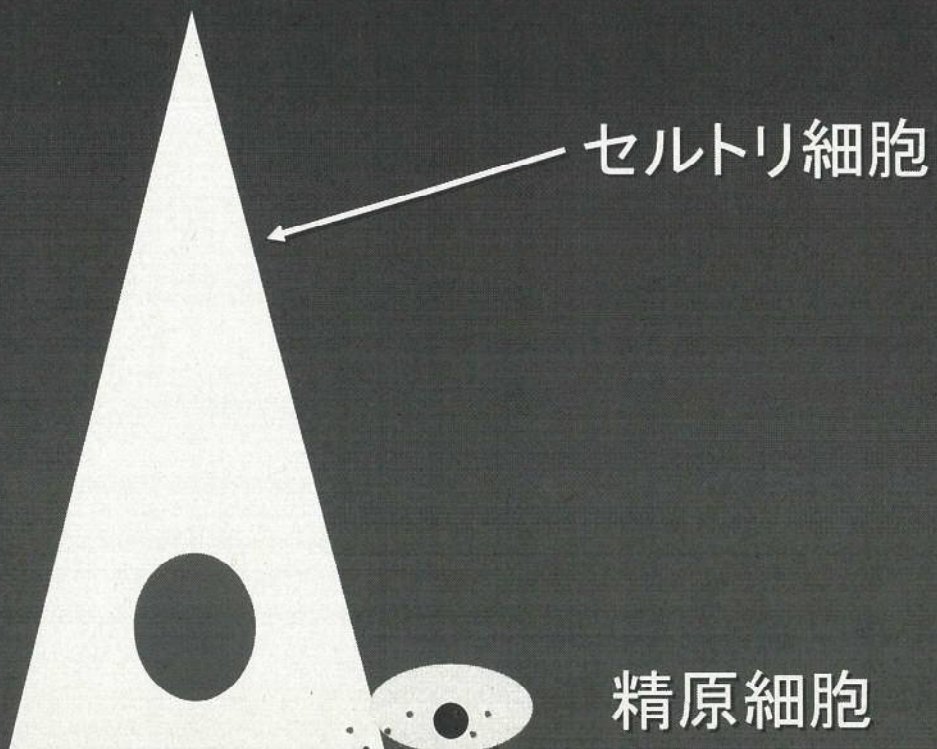
精子

(変態)

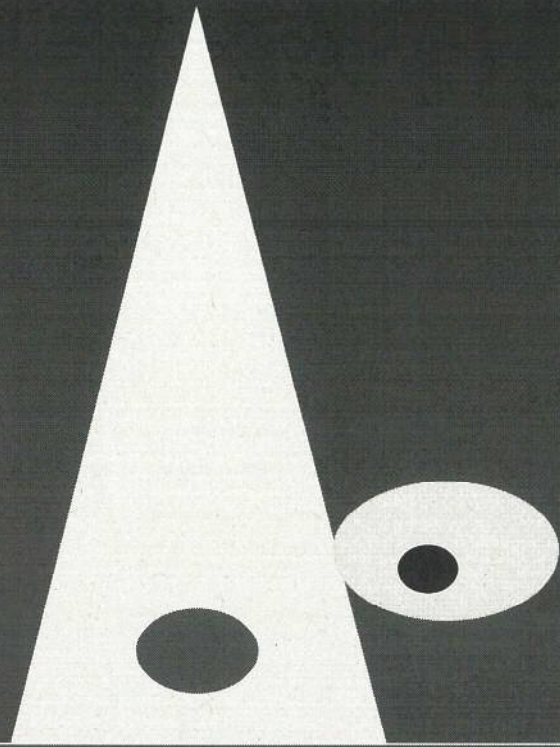
精子形成



精子形成

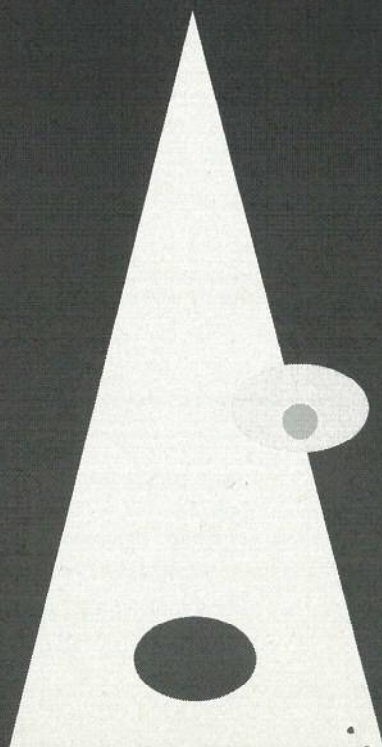


精子形成



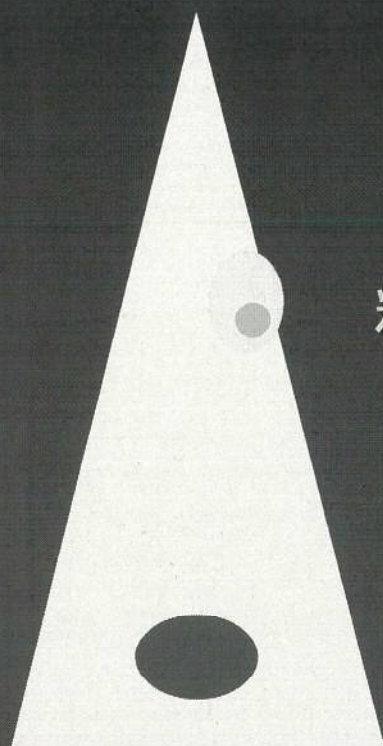
第一次精母細胞

精子形成



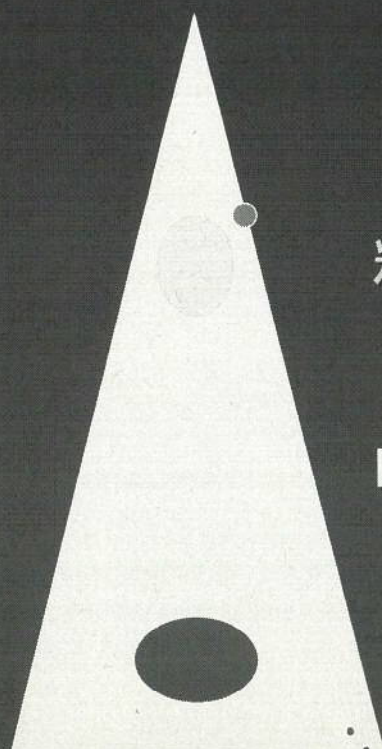
第二次精母細胞

精子形成



精細胞

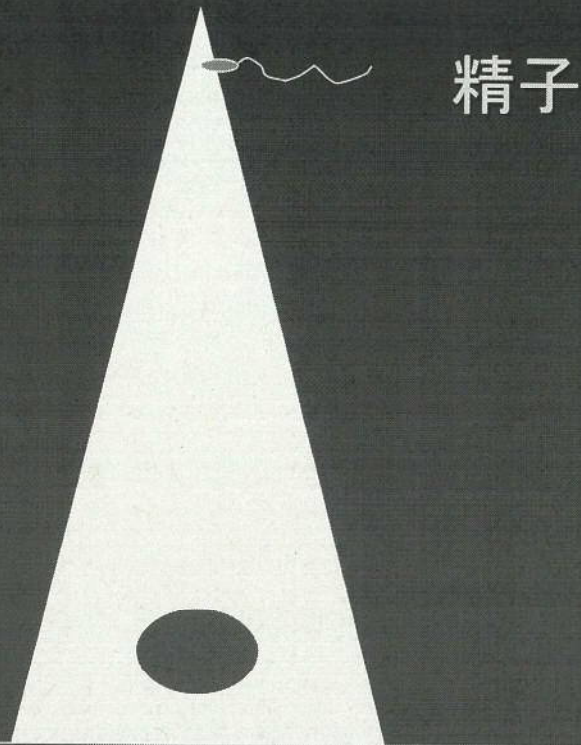
精子形成



精子へ変態

(細胞質はセルトリ細胞が
吸収)

精子形成

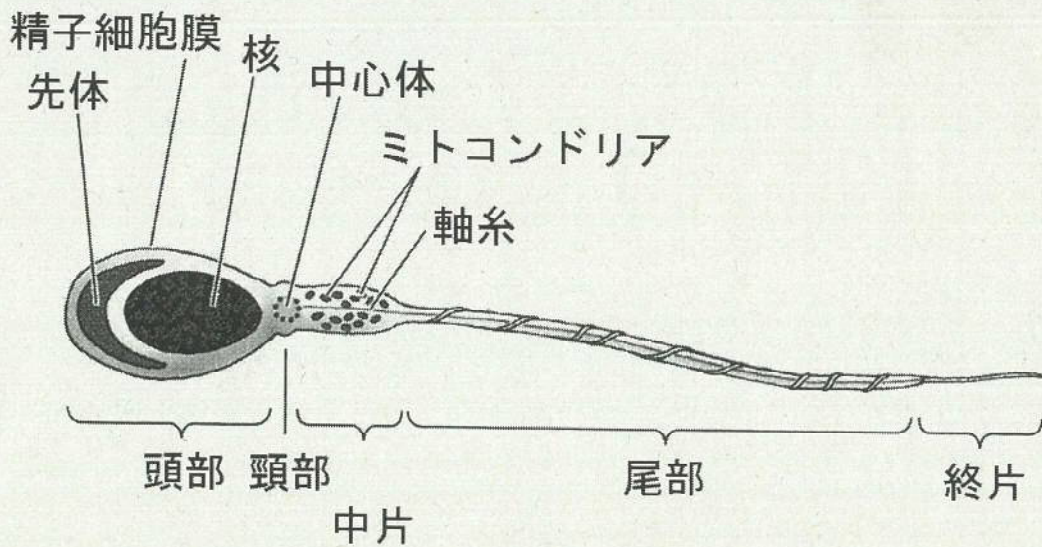


精子

Tokyo Med Dent Univ

M. Wada

精子の構造



精子細胞膜

先体

核

中心体

ミトコンドリア

軸糸

頭部

頸部

中片

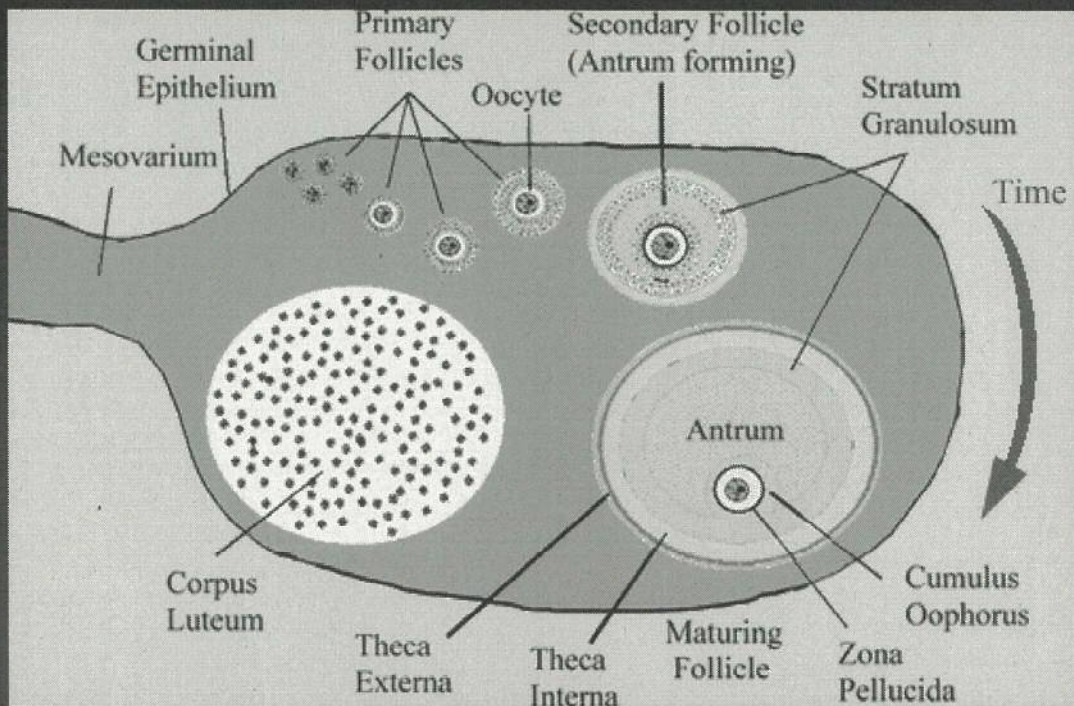
尾部

終片

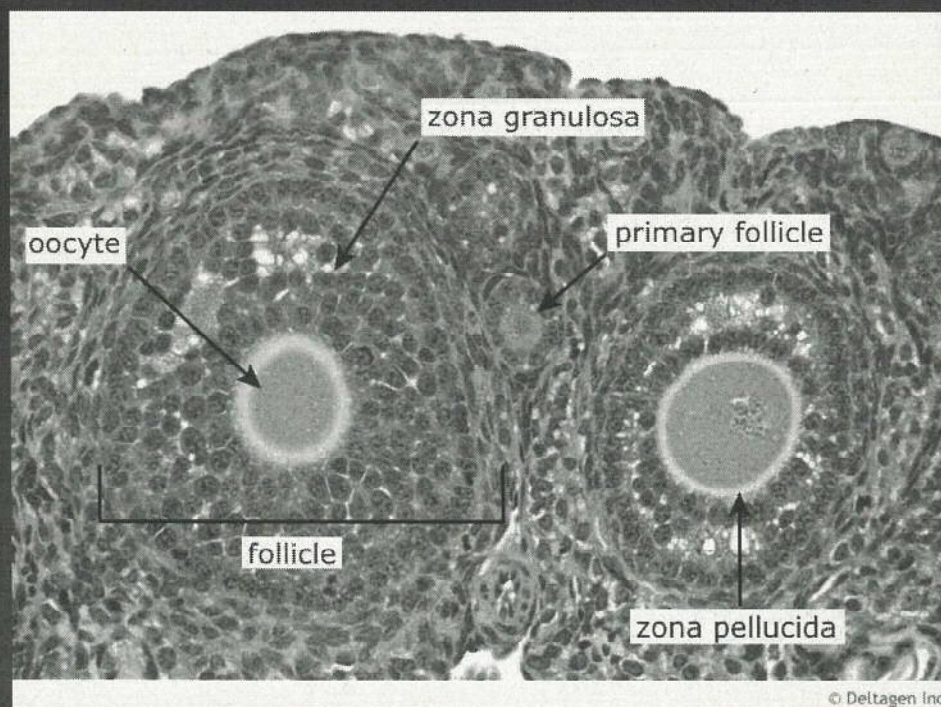
Tokyo Med Dent Univ

M. Wada

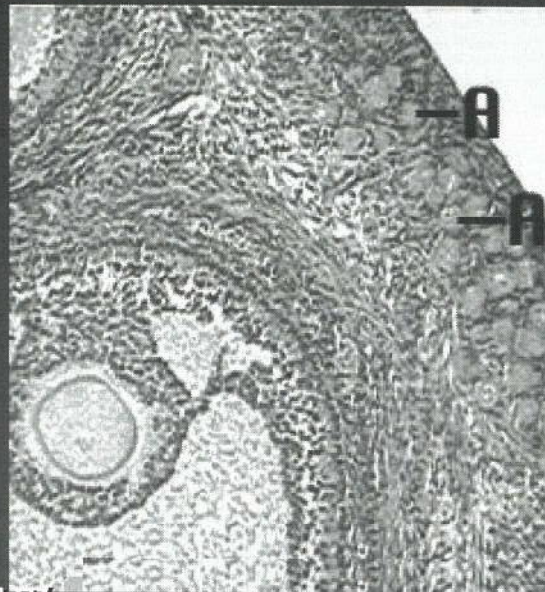
卵形成



原始卵胞と発達中の卵胞



原始卵胞とグラーフ卵胞



A:原始卵胞

グラーフ卵胞

Tokyo Med Dent Univ

M. Wada

卵形成 (oogenesis)

始原生殖細胞 → 卵原細胞



第一次卵母細胞

(減数分裂I)



第二次卵母細胞 + 極体

(減数分裂II)

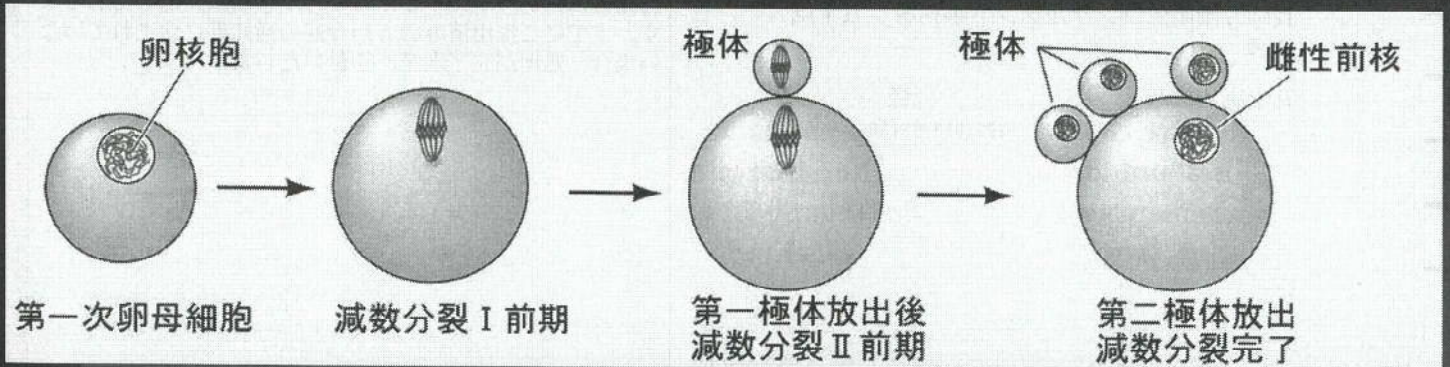


卵 + 極体 × 3

Tokyo Med Dent Univ

M. Wada

極体の放出



こうして、一つの卵細胞が資源を独占する
実際の卵形成の過程は、、、

卵形成 (oogenesis)

始原生殖細胞 → 卵原細胞



第一次卵母細胞

(減数分裂 I) — LHサーージで進行



第二次卵母細胞 + 極体



排卵

第二次卵母細胞

(減数分裂 II) — 受精によって進行



卵が受精卵に