

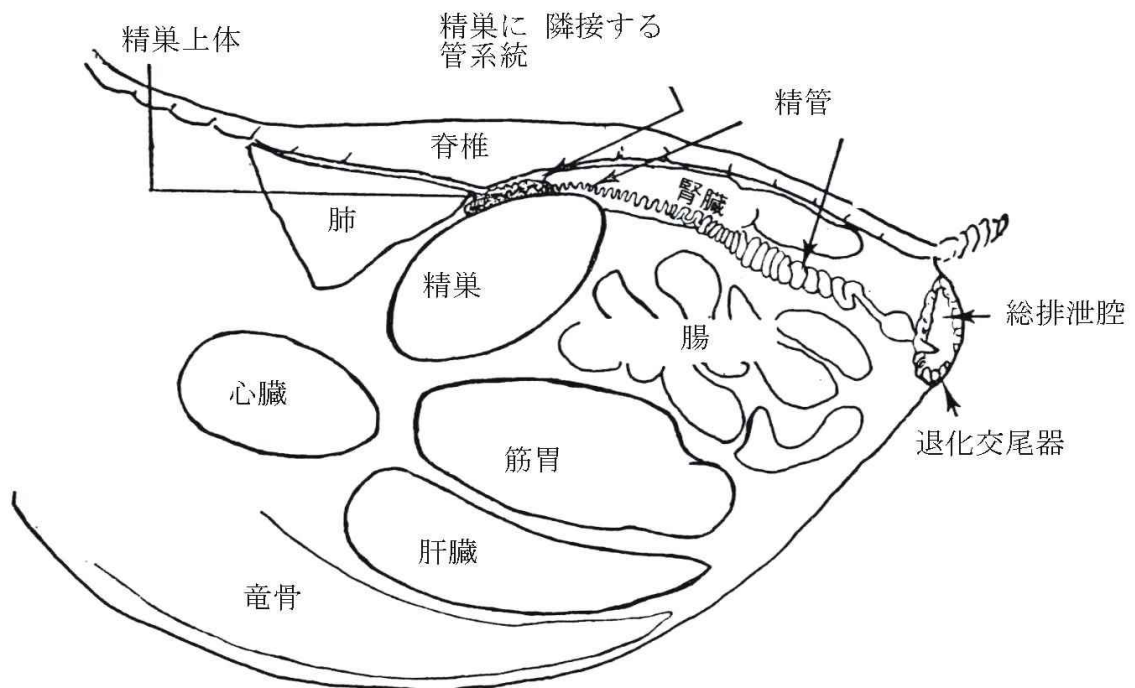
I. 生殖器官と生殖細胞

1. 雄の生殖器官

雄鶏における生殖器官は、精巢、精巢上部、精管、副生殖器官、退化交尾器からなる。哺乳類の雄に見られる前立腺、カウパー腺、精嚢腺、尿道球腺などの副生殖腺はなく、総排泄腔旁脈管体（脈管豊多体）から出るリンパ様液（透明液）によって精管を通ってきた精液は射精の際に希釈される。

（1）精巢

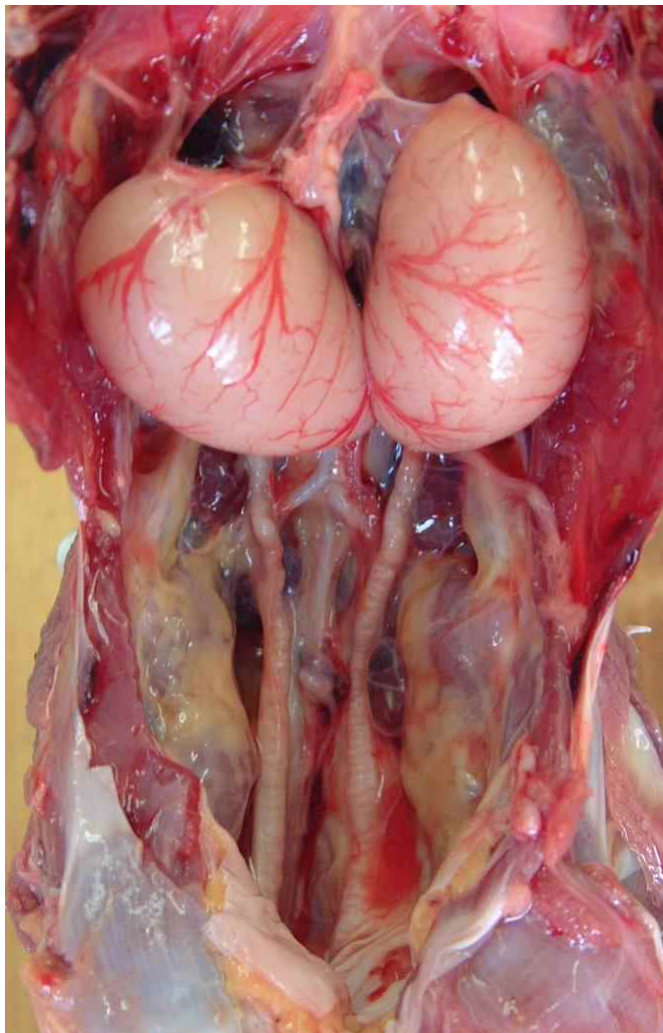
位置:ニワトリの精巢は、多くの哺乳類の精巢に見られる精巢下降がおこらないので、発生時の原位置すなわち腎臓の前縁に隣接し、背壁から吊り下がっている。精巢は腹腔内にあり、他の内臓に取り囲まれているので、43℃の深部平均体温に近い温度で機能を果たしている。



雄鶏の胸部と腹部の断面図による内臓の位置関係

(鶏の繁殖と産卵の生理、国立出版、1977. より)

形態：ニワトリの精巢は卵円形で、通常乳白色をしている。しかし、時には一部あるいは全部が黒色のことがある。重さは、14～60 g であって品種や個体によって変異が大きい。鳥類は元々季節繁殖動物であるため、育種改良の進んだ鶏の場合においても、通常の繁殖季節（1月～4月）では精巢の長さは25～60mm であるが、非繁殖季節（9～12月）では10～15mm まで減少し、それに伴って精液量も減少する。繁殖季節を持つ鳥類においては鶏以上に大きな変化を示す。この性機能の旺盛な時期における精巢の増大は間細胞の増加と精細管の太さおよび長さの増大であり、性機能の旺盛な時期では精巢重量は体重の6～8%である。換羽などで造成機能が中止され萎縮した精巢の色は、乳白色から黄白色へと変化する。



細部構造：哺乳類と同様に精巢は白膜に包まれているが、鶏の白膜は2層に分かれ、外層は薄く内層はやや厚い。内層の白膜は分岐し、精巢実質の支柱とはなるが、哺乳類のように実質を小葉に区分することはない。精細管も哺乳類と異なり、互いに吻合し網状を呈し、その末端は盲管とならず、白膜に接するだけで他の精細管と連絡している。精細管と精細管の間には、結合組織からなる間質組織が存在し、血管、神経繊維、間細胞（ライディッヒ細胞）などが含まれ、間細胞からはアンドロジェンが分泌される。成鶏では精細管が大きく発達しているため間質組織はあまり目立たない。

成鶏雄の精巢と精管

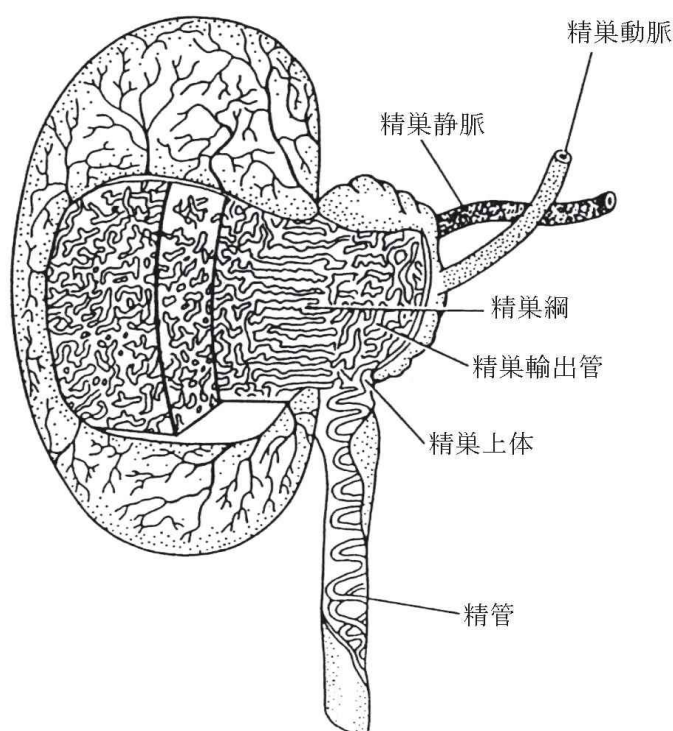
精細胞：未成熟あるいは非繁殖季節の鳥類の精細管は精祖細胞とセルトリ細胞からなる一層の上皮でおおわれている。性的活動期にはセルトリ細胞のほか、精祖細胞、精母細胞（一次精母細胞）、精娘細胞（二次精母細胞）、精子細胞および精子からなる数層の上皮になる。セルトリ細胞の微細構造は、他の脊椎動物と基本的に一致し、鳥類精巣にも血液精巣関門が存在する。これによって、血液由来の物質がセルトリ細胞、精祖細胞および精母細胞には直接的に輸送されるが、精娘細胞以後の精細胞にはセルトリ細胞の細胞質を介して運ばれる。精子形成において血液精巣関門は重要な役割を果たしており、この機構が障害を受けると精子形成は行われなくなる。

精子形成：精祖細胞は有糸分裂によって精母細胞に、精母細胞は減数分裂の第一分裂によって精娘細胞に、精娘細胞は減数分裂の第二分裂によって精子細胞となり、その後、変態過程を経過して精子がつくられる。精母細胞から精子になるまでに要する日数は約 12 日と推定されている。

（２）精巣上体

精巣上体は、哺乳類のものに比べると非常に小さく、頭、体、尾の区別ができない。その大部分は結合組織によっておおわれており、哺乳類の精巣網と精巣輸出管にあたる管系と精巣上体管からできている。精巣輸出管の内側に重層の上皮細胞からなる粘膜ヒダのあるのが特徴で、輸出管の数カ所が精巣上体管の側面に結合している。この短い精巣上体管は哺乳類の精巣上体頭に相当すると考えられている。

精巣上体は精巣において生産された精子を成熟させ、受精能力を与える機能をもつ。精巣で生産された精子は、形態的には完成した精子であるが、ほとんど受精能力をもたず、精巣上体と精管を通過する間に受精能力を獲得する。



ニワトリの精巣と精巣上体

（家畜繁殖、朝倉書店、1994. より）

（３）精管

精管は、哺乳類のように直線状ではなく、屈曲した長い管で、腎臓の腹側に沿って走り精管乳頭突起から総排泄腔に達している。精管は後部ほど太くなっており、末端では内腔が広がっている。この部分を精管膨大部とよんでいる。精管は哺乳類の精巣上体の体と尾に相当するものと考えられており、精子のほとんどは精管後部に貯留されている。精管内の精子は３～４週間生存できるといわれている。しかし、通常精子が精巣から出て射精されるまでの時間は、交尾が頻繁に行われている場合では約 24 時間である。

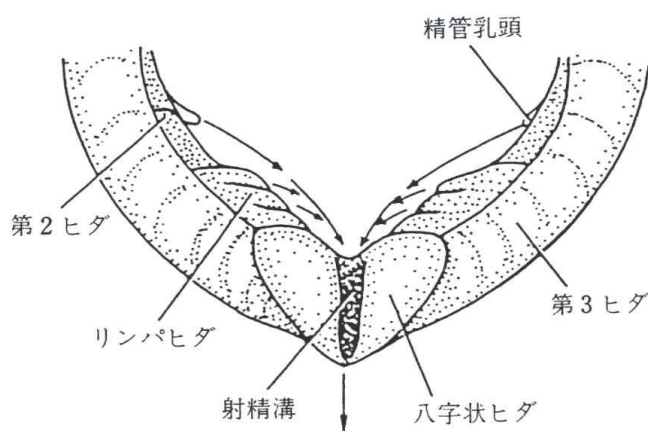
（４）副生殖器官

副生殖器官として総排泄腔旁脈管体（脈管豊多体）とリンパヒダがある。総排泄腔旁脈管体は、総排泄腔の両側にある精管乳頭の外側にある赤色の小体で、毛細血管の集合した組織小体である。この器官で生成されるリンパが交尾器の勃起を惹起する。このリンパは、総排泄腔旁脈管体に続くリンパヒダの粘膜上皮の細胞間隙から浸出して透明液となり、精管乳頭から射出される精液と混合して射出精液となる。

リンパヒダは八字状ヒダに隣接する 2～3 本のヒダで、少し盛り上がった外観をしており、粘膜表面は薄い桃色を呈している。リンパによって交尾器が勃起すると、リンパヒダが大きく膨大するため区別ができるようになる。さらに膨大した八字状ヒダによって、総排泄腔中央部に一時的に射精溝が形成される。

（５）交尾器

ニワトリの交尾器は、総排泄腔の腹壁中央に位置し、退化交尾器と呼ばれる小さな生殖突起と八字状ヒダからなる。常時は総排泄腔に隠れて見えないが、性的刺激を受けるとリンパの流入により勃起し、ハート状に突出する。鳥類は全てが退化交尾器ではなく、アヒルは 10cm 程度の陰茎を持ち、ホロホロチョウは大突起を、ウズラは小突起を、七面鳥は鶏と同様の退化交尾器を、ハトは退化交尾器さえ無いなど様々である。

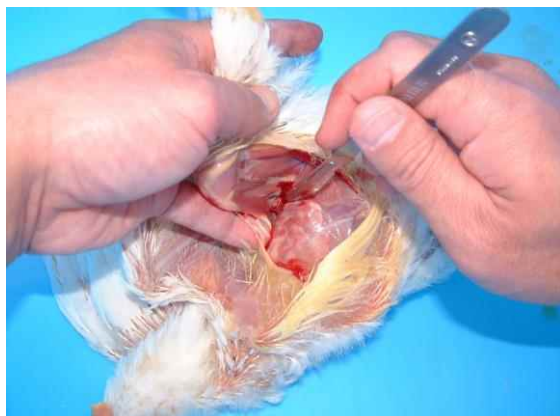


雄鶏の交尾器（性的刺激を受けた状態）

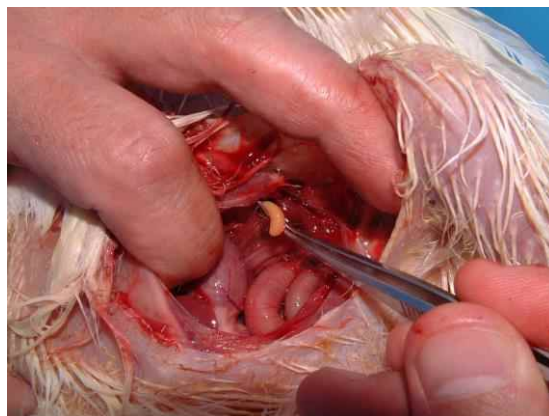
（家畜繁殖、朝倉書店、1994. より）

脇道コラム 去勢技術

鶏の去勢雄は、フランス語で **chapon** (シャポン)、英語で **capon** (ケーポン) と呼ばれ、半年程度飼育した去勢雄の鶏肉はフランスでは最高級の肉となります。去勢は、3～4週齢が行いやすく、精巣は腹腔内にあるため開腹手術で去勢します。去勢方法は色々あると思いますが、岡崎牧場での方法は、まず内腿の皮を切った後で、第7肋骨（肋骨のいちばん後ろ）に沿って太い血管を切らないように切開し、内臓を指でどかして精巣が見えるようにして、先の曲がったピンセットで精巣を摘んで取り出します。縫合は、**Dr.STICHs** 縫合器（C-29、夏目製作所）を用いています。



① メスで肋骨の一番後ろにそって切開。



② 内臓をどかして、精巣を先の曲がったピンセットで摘んで取り出す。



③ Dr.STICHs 縫合器（C-29）を用いて 2～3ヶ所縫合する。



④ 縫合完了。翌日には瘡蓋でふさがり、1週間後には完治している。

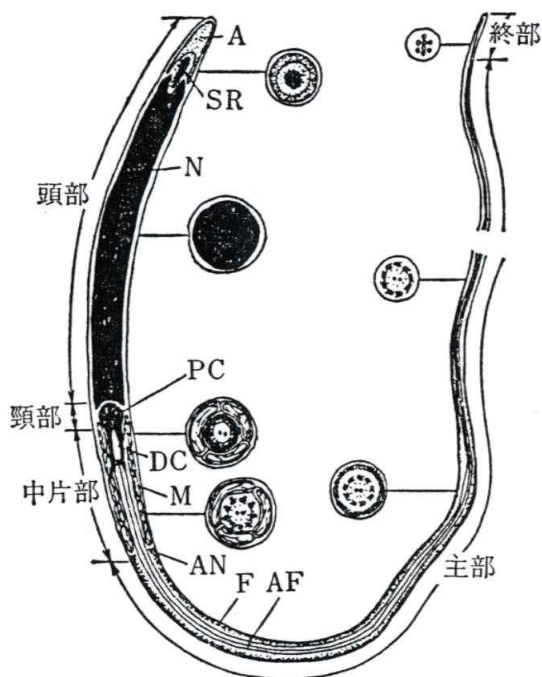
2. 精液と精子

(1) 精液の特性

精液の性状：精液は精子と精漿とからなっている。精漿は精巢、精巢上体、精管からの分泌液と透明液とが混合したものであり、精液の性状（精子濃度、活力、pH など）および量は透明液の混入割合によって大きく影響される。さらに、透明液の混入割合は品種、系統、個体、季節、年齢、飼養方法、精液採取方法、採取頻度などによって大きく異なる。

通常の射出精液は粘稠で乳白色であり、精液量は0.1～0.5ml、1ml当たりの精子数は30～50億で、pHは7.0～7.6の範囲である。

精液の化学的組成：鶏精液の大きな特徴は、家畜精液中に多く含まれる糖がフルクトースであるのに対し、鶏ではグルコースであることと、家畜ではクエン酸が多く含まれるのに対して、鶏ではグルタミン酸が多く含まれる点である。グルタミン酸は、精液の浸透圧やpH維持の役割を果たすとともに、代謝基質として精子に利用されATPを産生する。無機イオンとしては、Na、Cl、K、Ca、Mg、Cu、Zn、Feなどが存在し、pHや浸透圧の維持に関与している。その中で、NaとClの濃度は比較的高く、K、Ca、Mg、Cu濃度は低く、Zn、Fe濃度はきわめて微量である。Clイオンは鶏精子の呼吸および好氣的解糖を促進し、鳥類特有の頸曲がり精子を増加させる。また、鶏精液にはトリプシンインヒビターが多く含まれている。そのトリプシンインヒビターは、死滅精子や障害を受けた精子の先体から放出されたアクロシンの活性を失わせ、正常精子に害を及ぼすことを防ぐのに役立っていると考えられている。



ニワトリ精子の構造

A: 先体, AF: 軸糸, AN: 終輪, DC: 遠位中心体, F: 線維鞘, M: ミトコンドリア鞘, N: 核, PC: 近位中心体, SR: 先体桿

(新家畜繁殖学、朝倉書店、1988. より)

家畜精液の性状と精漿の化学組成

(参考：鶏の繁殖と産卵の生理、精子学 等)

	ウシ	ヒツジ	ヤギ	ウマ	ブタ	ニワトリ			
						全精液	精子	精漿	
								透明液を 含む	透明液を 含まない
精液量 (ml)	2～10	0.5～2	0.2～2.5	20～300	150～500	0.1～0.5	—	—	—
精子濃度 (億/ml)	3～20	15～50	10～50	0.3～8	0.3～3.5	30～50	—	—	—
pH	6.4～7.8	5.9～7.3	6.4～7.4	6.2～7.9	6.9～7.9	7.0～7.6	—	7.2～7.6	7.0
氷点降下度 (℃)	0.53～0.73	0.55～0.70	0.55～0.70	0.58～0.62	0.54～0.63	0.64～0.81	—	0.63	0.593
Na (mg/100ml)	140～370	110～250	60～183	70～275	290～850	350	335	340	270～380
K (mg/100ml)	50～387	50～190	76～255	60～103	80～410	60	166	30	50～188
Ca (mg/100ml)	24～60	6～15	5～15	20～26	2～6	10	18	17	4～10
Mg (mg/100ml)	7～12	2～13	1～4	3～9	5～14	14	40	—	12
Cl (mg/100ml)	110～430	86～180	82～215	80～448	260～430	150～200	—	190～220	130
グルコース (mg/100ml)	—	—	—	—	—	7.7～92	—	74～108	なし
フルクトース (mg/100ml)	26～981	40～980	10～1590	0～10	3～50	4	—	2	なし
ソルビトール (mg/100ml)	10～136	26～120	—	20～60	6～18	—	—	10	—
グルセロリン酸コリン (mg/100ml)	70～970	1101～2170	890～1970	38～240	40～200	—	—	—	—
イノシトール (mg/100ml)	25～90	7～41	—	11～47	380～750	—	16	20	10
クエン酸 (mg/100ml)	200～1700	110～800	60～710	8～53	36～325	なし	—	—	なし
エルゴチオネイン (mg/100ml)	痕跡	痕跡	0	4～16	6～30	—	—	—	2
アスコルビン酸 (mg/100ml)	3～24	2～8	—	5	2～5	—	—	—	3
乳酸 (mg/100ml)	15～50	35～40	12～90	9～25	20～27	13～40	—	77.4	34.0
ピルビン酸 (mg/100ml)	45	10	—	3	—	—	—	—	2.9
グルタミン酸 (mg/100ml)	35～41	76	—	—	—	—	—	407～1178	1300
タンパク質 (g/100ml)	3～8	5～6	—	1～2	4	1.82～2.8	—	0.7～0.93	0.8

(2) 精子の形態

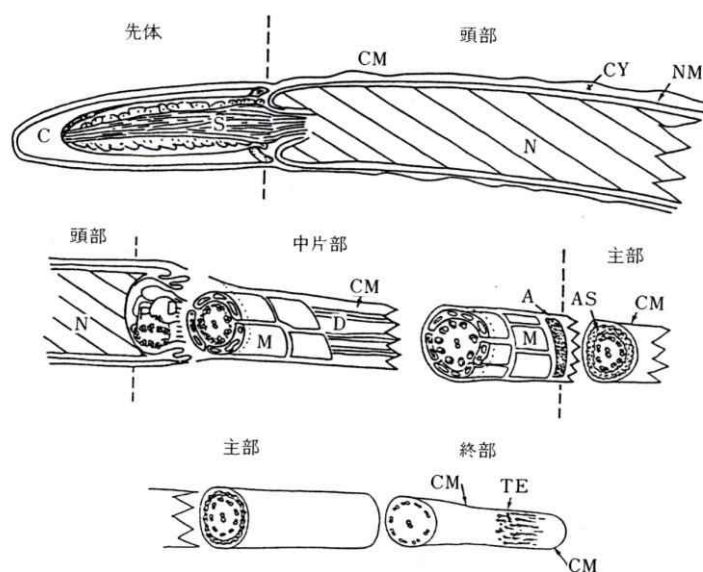
大きさ：ニワトリ精子は、細長い糸状の形をしており、わずかに屈曲した円柱状の頭部（長さ $12.5\mu\text{m}$ 、最大幅 $0.5\mu\text{m}$ ）と、その後方に比較的長い尾部（長さ $90\sim 100\mu\text{m}$ ）とからなり、精子の体積は約 $9\mu\text{m}^3$ である。頭部は長さ $2.5\mu\text{m}$ の先体（アクロソーム）の部分と長さ $10\mu\text{m}$ の核の部分からなり、尾部は頸部、中片部（長さ $4\mu\text{m}$ ）、主部（長さ $80\mu\text{m}$ ）、終部に分けられる。

家禽精子の大きさ (μm)

種類	頭部	尾部	全長
ニワトリ	13	87	100
シチメンチョウ	19	71	90
ウズラ	22	217	239
ホロホロチョウ	18	63	81
アヒル	16	81	97
ハト	21	112	133

(家禽学、朝倉書店、2000. より)

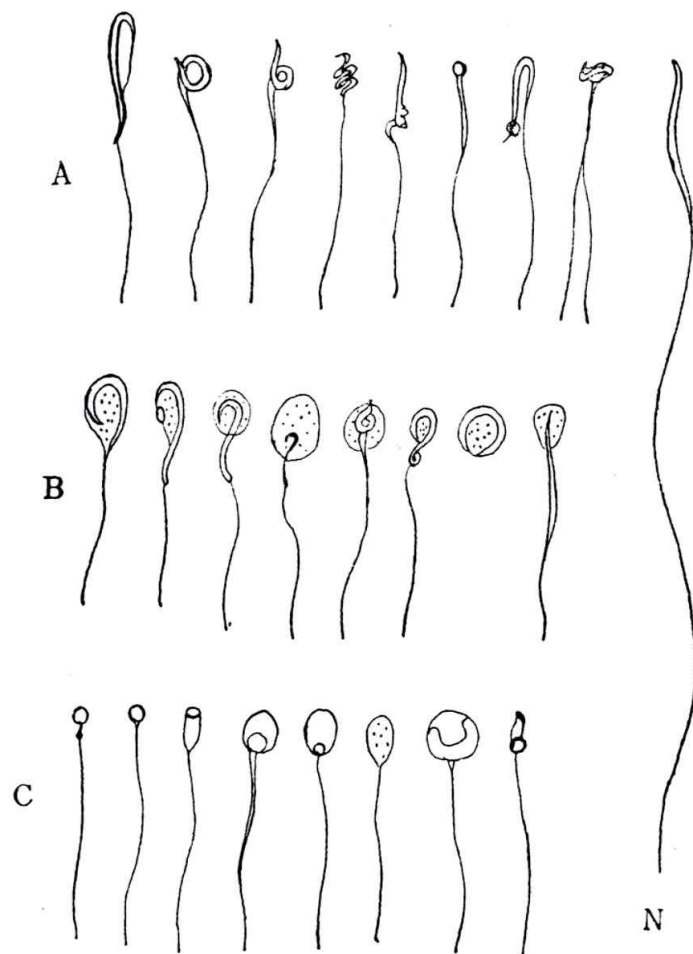
細部構造：先体は、円錐状で内部に刺状突起がある。中片部には遠位中心子と軸糸の周辺を板状のミトコンドリアが取り巻いており、その数は約 30 個で家畜精子よりかなり少ない。軸糸の $9+2$ 構造は家畜精子と同様であるが、その外側の粗大繊維はなく、主部においては無定形の鞘が軸糸を直接取り巻いている。



ニワトリ精子の細部構造

C：先体、S：先体刺状突起、N：核、CM：細胞膜、CY：細胞質遺残物、NM：核膜、P：近位中心子、D：遠位中心子、M：ミトコンドリア、A：終輪、AS：無定型鞘

奇形精子：ニワトリの奇形精子は 5～15%程度といわれており、奇形の種類としては頸の部分では 180 度折れ曲がった頸曲がり精子が最も多く、その他として、尾曲がり精子、尾切れ精子、未成熟精子などがある。頸曲がり精子は、低倍率の観察では正常精子と区別がつかないが受精能力を欠いている。



(3) 精子の運動性

精子は、内在する基質および精漿中に含まれる基質を解糖および呼吸によって代謝し、運動のためのエネルギー源として利用している。

精子の運動性は温度によって大きく影響される。鶏精子は 5℃以下の低温ではほとんど運動を停止し、20～35℃で活発な運動を行う。

しかし、体温付近の 40～41℃になると運動は停止する。この高温時の運動停止は可逆的で、温度を下げると再び活発になる。ただし、高温時の運動停止状態に数時間おくと精子は死滅する。

このほか、希釈液の pH、浸透圧、気相、無機イオンなども、精子の代謝や運動性に対して影響をおよぼしている。

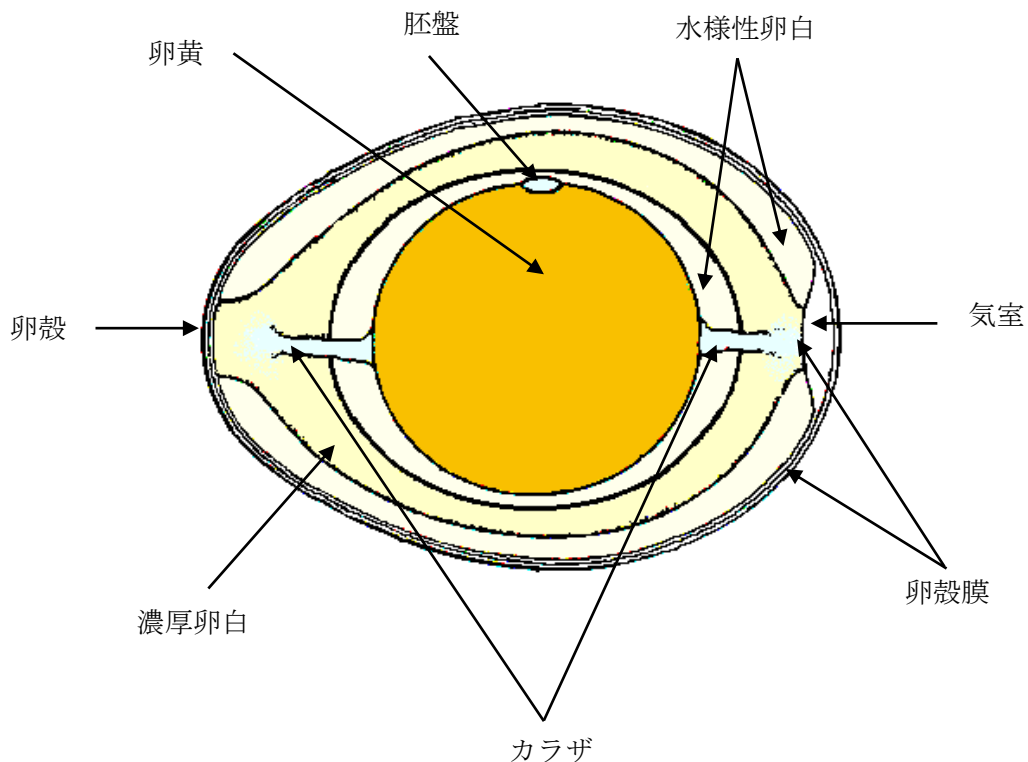
奇形精子

N：正常精子、A：頭部湾曲、B：成熟異常、
C：形成異常

(養鶏マニュアル、養賢堂、1966. より)

脇道コラム 体外受精

ニワトリでも哺乳類と同様に体外受精が行えます。ただし、有効な使い方はまだありません。哺乳類では受精能獲得や多精子進入の問題がありますが、ニワトリでは採精された時点で受精能が獲得されており、多精子進入が通常の受精なので、これらの問題はありません。卵子は放卵後の卵では受精しませんが、卵管子宮部に入ったばかりであればまだ受精可能です。腹部圧迫法と呼ばれる方法で、卵殻形成が出来ていない卵を取り出し、濃厚卵白を除去して、精液の入った BPSE に卵黄を浮かせてしばらく保温すると受精が完了します。濃厚卵白を除去してしまうため、体外培養法は利用できないので腹腔内に開腹手術で戻し雌鶏に卵として産ませます。雌鶏の左腹を切開し卵管部が見えるようにして受精した卵黄を入れると卵管漏斗部に吸い込まれるように入っていきます。この時、開腹場所に蒸気を当て続けながら行うのがポイントで、乾燥すると卵黄は吸い込まれなくなります。



卵の断面図

3. 雌の生殖器官

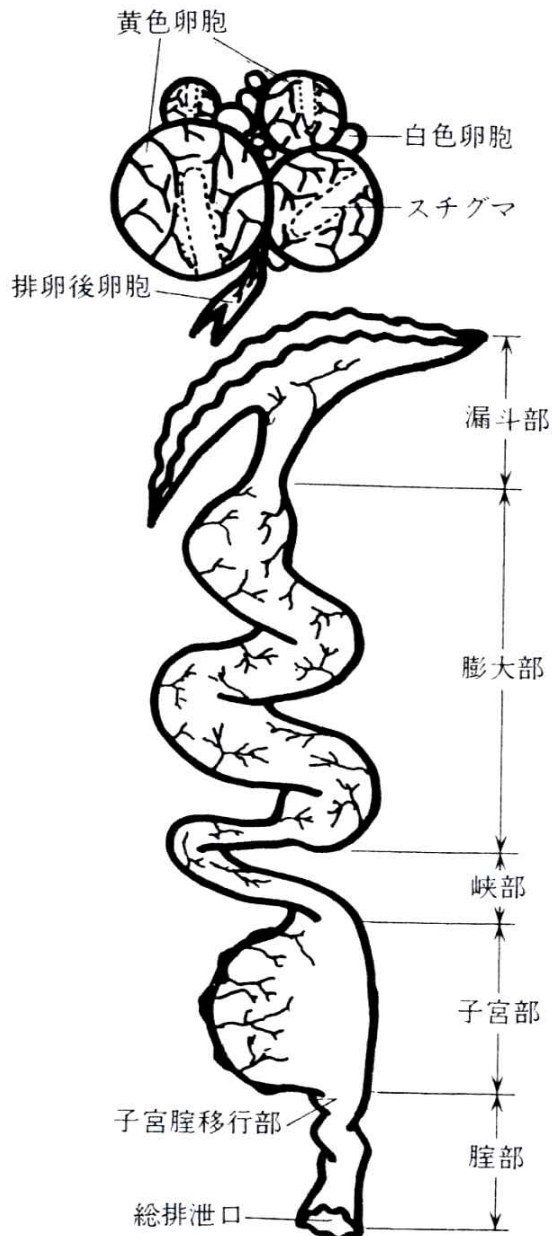
鳥類ではタカ類を除いて、卵巢と卵管は左側だけにある。発生の途中までは左右平等に発達するが、ふ化期が近づくと右側の発育は止まり、左側だけが発達する。

(1) 卵巢

形態：産卵鶏の卵巢には、直径 6～35mm 程度までの種々の大きさをした数個の黄色卵胞、直径 6mm 以下の多数の白色卵胞および 2～4 個の排卵後卵胞が存在し、卵巢の重量は 40～60g 程度である。

卵胞の成長：直径 1～2mm の小卵胞は蛋白含量の比較的高い白色卵黄をごく少量ずつ集積し、直径 6mm 程度の大きさになるまで成長する。排卵の時期が近づくと白色卵胞は急速に成長を始め、白色卵黄の周囲に同心円的に黄色卵黄を蓄積し直径 30～35mm にまで達する。急速成長の開始から排卵までの日数は 7～12 日で、8～9 日が最も多い。卵黄の前駆物質は肝臓で合成され、血流を通して卵胞へ運ばれ卵黄成分として蓄積する。

排卵：卵胞壁には血管がきわめて豊富に分布するが、一部帯状に血管分布を欠いている部分がある。この部位はスチグマと呼ばれ、排卵時にはここが破裂して卵が排出される。家畜の卵胞と異なり、家禽の卵胞には卵腔は存在せず、また黄体も形成されない。

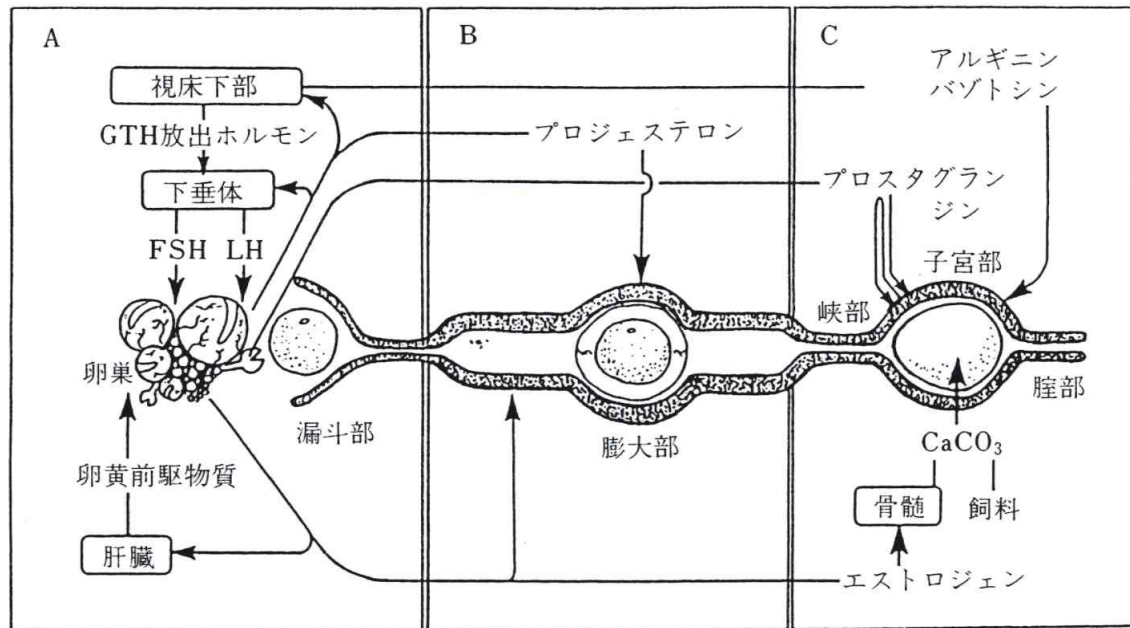


ニワトリの雌性生殖器官の構造

(家畜繁殖、朝倉書店、1994. より)

(2) 卵管

卵管は、漏斗部、膨大部、峡部、子宮部および膣部からなる。受精は漏斗部で行われ、膨大部では卵白形成が、峡部では卵殻膜の形成が、子宮部では卵殻形成が行われる。卵が子宮部に移行後各種イオンを含んだ液（plumping fluid）が分泌され卵殻膜を通して吸収され、卵白の容積は約2倍となる。



卵の形成と内分泌調節、A:卵胞発育・排卵、B:卵白形成、C:卵殻形成・放卵

(家畜繁殖、朝倉書店、1994. より)

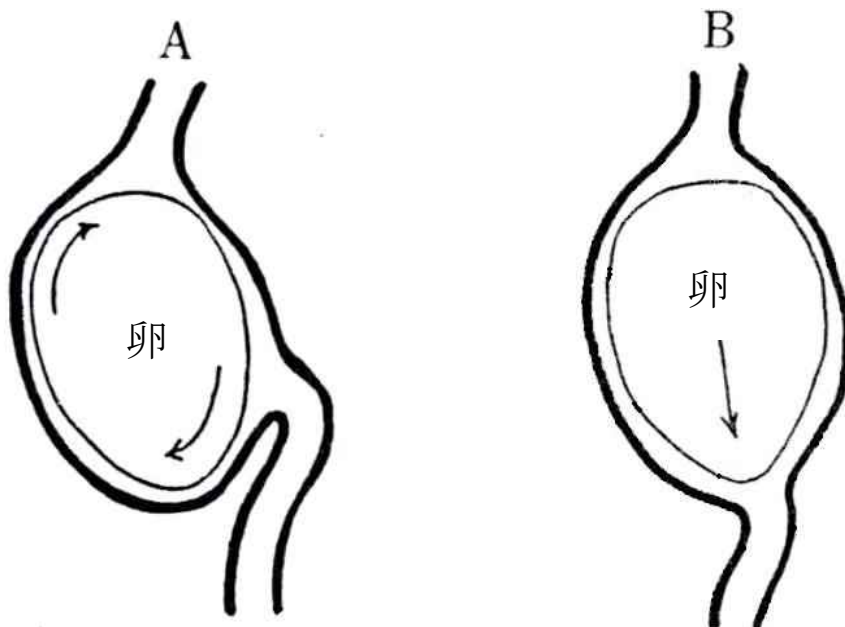
ニワトリの卵管各部における卵の滞留時間

卵管の部位	卵の滞留時間
漏斗部	約 15 分
膨大部	約 3 時間
峡部	約 1.5 時間
子宮部	約 20 時間
膣部	数分
合計	24～27 時間

(家畜繁殖、朝倉書店、1994. より)

脇道コラム**卵は鋭端と鈍端のどちらから産まれてくるか**

卵は、鋭端と鈍端のどちらから生まれてくるかですが、観察している限りでは普通の卵はほとんど鈍端から産まれており、二黄卵だけは鋭端から産まれている様です。卵形成の時には鋭端が排泄腔側を向いていますが、Aの状態の時は、クルッと回転して鈍端から産まれてくるのだそうです。二黄卵は、ほとんど鋭端から生まれてきますが、大きすぎて回転できないためと思われます。教科書を見ると70～80%が鋭端から生まれてくるとしていますが、観察した結果ではこれとは異なりました。日齢によっても異なるのかもしれませんが。野鳥などは鋭端から産まれてくるそうで、毎日の産卵によって卵管子宮部の形が変形してしまうためかもしれません。



放卵時の卵の回転

卵が卵管子宮部内でAの状態に入っている時に、卵管膣部に移行する時に回転して鈍端から産み落とされる。Bの状態では鋭端から産まれる。

(養鶏マニュアル、養賢堂、1966. より)

4. 受精と分割

(1) 精子の移動と貯留

卵管に入った精子は、精子自身の鞭毛運動で卵管腔部を上昇し、子宮腔移行部の精子貯留腺に達し、一部は貯留され一部は卵管を上昇して漏斗部に達する。卵が放卵されると貯留腺から一部の精子が放出し、産卵直後におこる卵管の逆蠕動運動によって10分程度で卵管漏斗部にあるもう一つの貯留腺へ運ばれる。この精子は、排卵直後に放出されて、卵胞から排卵後10～15分で受精する。受精に関与しなかった健全な精子は再び精子貯留腺に蓄えられる。

鳥類は1回の交尾や人工授精で長期間にわたって受精卵を産む。その期間は、ニワトリで2～3週間、ウズラやアヒルで10日前後、シチメンチョウでは50日間におよぶ。ただし、期間の経過に従い受精率は低下する。

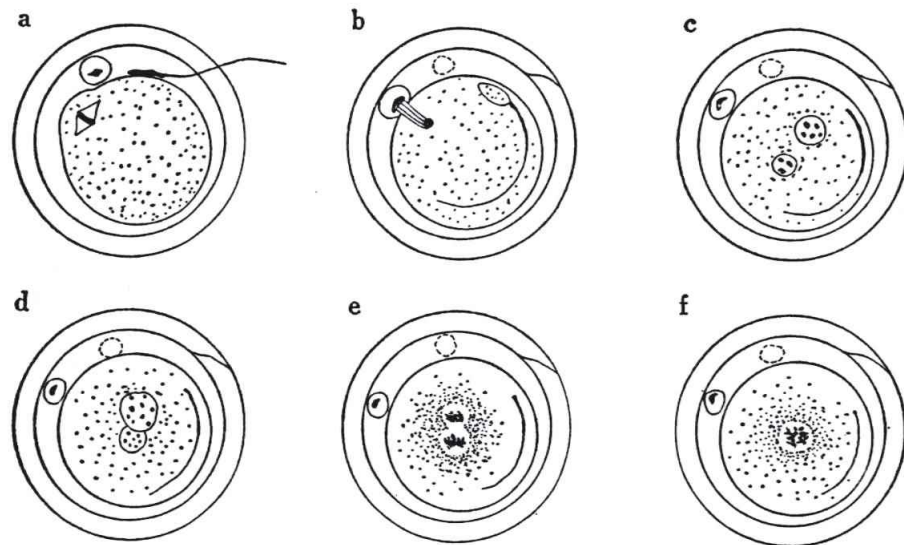
雌の卵管（精子貯留腺）内における受精能力保持期間	
種類	受精能力保持期間（日）
ニワトリ	10～14
シチメンチョウ	46～52
ウズラ	8
キジ	22
アヒル	7～10
ガチョウ	10
ハト	8

（家禽学、朝倉書店、2000. より）

(2) 受精

受精は、排卵直後の卵子を取り囲んでいる卵黄膜内層と精子が結合することから始まる。精子は卵黄膜内層に接近到達した時に、精子頭部のアクロソームからアクロシンと呼ばれるトリプシン様のタンパク質分解酵素が放出されて卵黄膜内層に直径0.02mm前後の穴が開けられる。精子はこの穴を通り抜け、卵原形質膜に達し精子の先端部分が融合し、原形質膜を欠いた精子が頭部から尾部まで卵子内に入る。卵子に入った精子の頭部は雄性前核へと変化していくが、尾部はこの間に分解消失する。一方、卵子では精子が進入すると第2成熟分裂が開始され第2極体を放出し、雌性前核の形成が行われる。受精は精子に由来する雄性前核と卵子に由来する雌性前核の融合

合体により完了する。鳥類の場合、卵子内に複数の精子が進入する多精子進入が通常行われており、ニワトリでは通常3～5個の精子が進入する。この時、受精に関与するのは1つの精子のみで、他の精子は胚盤の周辺へ移動し消失する。多精子進入は、正常発生に関与しており少ない場合や異常に多い場合は胚の初期の死亡率を高める。



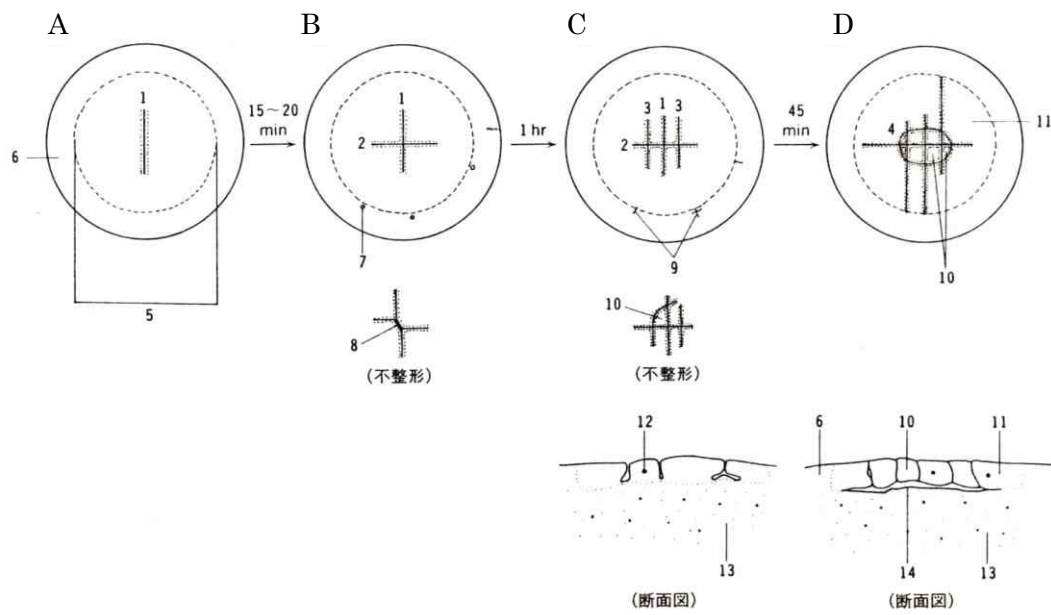
受精過程

a: 卵細胞質内への精子の侵入と第二成熟分裂の再開, b: 精子頭の膨大と第二極体の放出, c: 雌雄の前核の形成, d: 前核の成長と中央への移動, e: 染色体の出現, f: 核の合体（第一卵割前期）

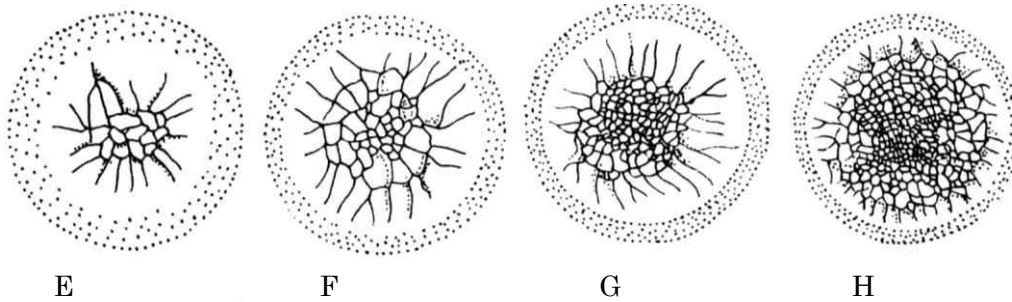
（新家畜繁殖学、朝倉書店、1988. より）

（3）受精卵の分割

一般に総排泄腔から卵が放卵されてから15分後に排卵が起こり、卵管に取り込まれた卵子は10～15分で受精する。鶏の卵割型は盤割であり胚盤部分でのみ細胞の分割が進む。最初の分割は、排卵後4時間30分頃の卵が卵管峡部に滞留している時に起こり、卵管狭部で4～8細胞期に達する。卵管子宮部に移行後は、4時間以内に256細胞期まで発生が進む。卵子は75分に1回の割合で放卵までに16回の分割が行われ、放卵されるときには細胞数約6万の胚盤葉期（ステージX）と呼ばれるステージに達している。ステージX胚盤葉はその形態から内側の明域と外側の暗域に分けられドーナツ状となっており、明域はさらに中心部と周辺部に分けられる。



a. 第一卵割, b. 第二卵割, c. 第三卵割, d. 第四卵割.
 1: 第一卵割溝, 2: 第二卵割溝, 3: 第三卵割溝, 4: 第四卵割溝, 5: 胚盤の領域, 6: 周縁質, 7: 副精子核,
 8: 交さ溝, 9: 副卵割, 10: 中心細胞, 11: 周縁細胞, 12: 核, 13: 卵黄, 14: 胚下腔.



胚の初期発生

(脊椎動物の発生 (上) 培風館、1989. と 最新家畜家禽繁殖学、養賢堂、1982. より)



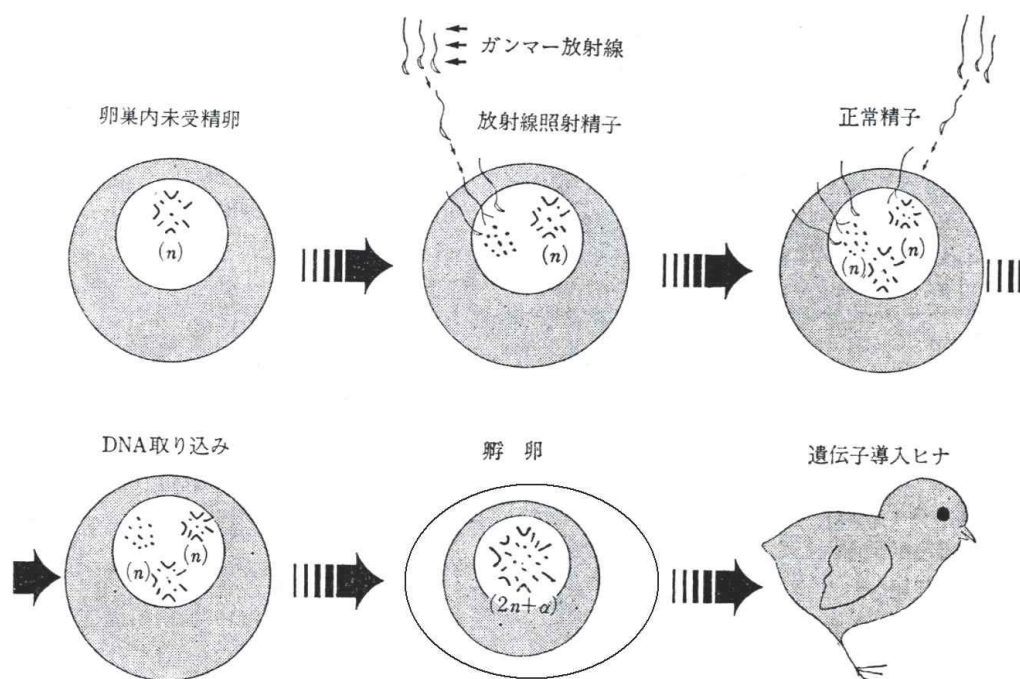
放卵直後の受精卵



無精卵

協道コラム 偽受精

遺伝子導入の一手法として行われたもので、精液に一定量の γ 線を照射すると精子は動いていて卵子内に入りはしますが雌性前核の融合合体は出来ないものとなり、このような精子の受精を偽受精と呼んでいます。白色レグホーン (WL) の雌に、 γ 線を 75kr 照射した褐色卵の Sykes 種の精液を人工授精し、翌日、WL の正常精子を授精することで、褐色卵を産む WL が発生した例があります。遺伝子導入率は 3.5% とのことでしたが、その後別の研究者が追試を行い血液型でも導入が確認されています。導入率は研究者や調査した形質によっても異なり 0.05~3.8% となっています。ただしこの方法は、特定の遺伝子のみを導入することが出来ないことから研究は進んでいません。しかしこのことから、多精子進入して雌性前核の融合出来なかった精子は全て消失するのではなくて、一部の遺伝子では組み替えが起きていることになります。本当にそうだとすると、2 品種の混合精液の受精でも遺伝子導入鶏が出来てしまうことになりますが…。



γ 線照射精子の偽受精を利用した遺伝子導入

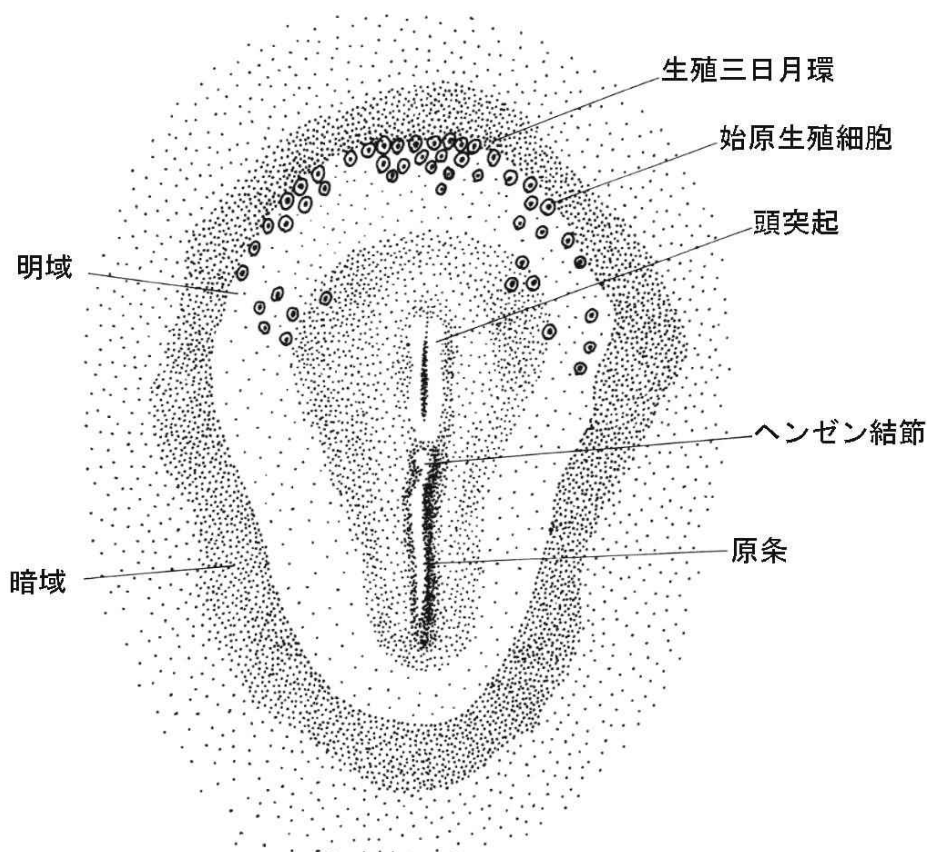
(畜産の研究, 1988, 第42巻, 第1号, より)

5. 性分化

(1) 生殖細胞の分化

多くの動物種の生殖細胞は、*Vasa* 遺伝子と呼ばれる遺伝子が、発生の全期間にわたって発現している特徴を持っている。ニワトリでは、まず最初に卵巣での卵母細胞に *Vasa* 陽性構造体が現れ、これを取り込んだ細胞のみが生殖系列細胞に分化する。

ステージXでの *Vasa* 陽性細胞は、主として明域中心部の胚盤葉上層の下側に約 30 個存在し、この頃に始原生殖細胞に分化するものと考えられている。始原生殖細胞はその後、胚盤葉の上層から下層に移動し、次に胚の頭部が後に形成される方に押し出され、ふ卵 18 時間のステージ 4 あたりでは明域と暗域の境界の生殖三日月環と呼ばれる部域の胚盤葉下層に認められる。この時期以降の始原生殖細胞は、PAS 染色で染色される特徴を持つようになる。ふ卵 2 日目になり血管系が発達すると、始原生殖細胞は血管の中に入って血流中を循環する様になり（ステージ 14 前後）、ふ卵 3 日目のステージ 18 頃までに未分化生殖巣である生殖巣原基に到達する。生殖巣原基は、その後胚発生に伴い精巣あるいは卵巣に分化する。



发育ステージ 5 の始原生殖細胞 (PGC) の位置

始原生殖細胞が集まっている場所が、三日月状なの生殖三日月環と呼ばれる

(発生のプログラム、裳華房、1986. より)

始生殖細胞は、精巣中ではふ卵 13 日目頃より増殖が活発になって精原細胞となりふ卵 20 日目までに精細管の中で整列する様になる。その後はふ化後 10 週頃より細胞分裂を再開して、精細管の中で幹細胞として分裂しながら第 1 精母細胞を作り出す。第 1 精母細胞は、その後第 2 精母細胞（精娘細胞）、精子細胞、精子へと分化していく。一方、卵巢に入った始生殖細胞はふ卵 8 日目以降卵原細胞となり、さらに第 1 卵母細胞となる過程で活発に増殖し、ふ卵 16 日目までに第 1 減数分裂の前期に入る。そして、ふ卵 17 日頃に細胞数がピークに達した後急激にその数を減少させ、第 1 減数分裂の前期で休止する。ふ化後、個体が成熟して卵胞発育が開始されると、卵母細胞の分化が再開され、第 1 卵母細胞は第 2 卵母細胞（卵娘細胞）そして卵子へと分化する。

（２）性決定と性分化

鳥類の性染色体は雄が ZZ、雌が ZW で、哺乳類とは逆の雌ヘテロ型である。この遺伝的な性に基づき生殖巣原基が精巣に分化するか卵巢に分化するかが決定される。性染色体が XY 型の哺乳類では、Y 染色体上に存在する *Sry* 遺伝子が雄性決定遺伝子と認められているが、鳥類では確認されていない。それに変わる遺伝子として、雄性化に働く遺伝子として Z 染色体上に *Dmrt1* 遺伝子が存在し、雌性化に働く遺伝子として W 染色体上の *Wpkci* 遺伝子が存在することが明らかになり、これらの両遺伝子の相互作用によって性が決定されていると考えられている。生殖巣原基は、ふ卵の 5～7 日目より精巣あるいは卵巢への分化が開始される。ニワトリではこの時期に雌においてアロマターゼ遺伝子（P450 *arom*）の発現が始まり、テストステロンからエストラジオール 17 β の合成が行われ、生殖巣原基は卵巢へと分化する。雄ではこの時期にアロマターゼ遺伝子の発現は認められず、雄特異的に働く *Sox9* 遺伝子の発現が認められ、生殖巣原基は精巣への分化が促進される。その後、雌個体の性分化は卵巢から分泌されるエストロゲンにより、雄個体は精巣から分泌されるアンドロゲンとミューラー管抑制ホルモンにより性分化が進行する。ニワトリではふ卵初期には左右の生殖巣原基が発達するが、性分化が開始されると、雄では左右の生殖巣原基が精巣へと発達するのに対して、雌では左側のみが発達して卵巢となり、右側は退化生殖巣となってふ化後しばらくして消失してしまう。雌の右側の卵巢が退化してしまうのはこの部位においてエストロゲンレセプターの発現が見られないことが原因の 1 つと考えられている。アロマターゼインヒビター（阻害剤）をふ卵初期に投与することによって遺伝的に雌の生殖巣が卵巢へ分化することなく精巣へ分化し、雄に性転換させることが出来る。ただし、成長ホルモンに関する遺伝子は変わらないため、性転換した ZW の雄の体重は雌の体重と変わらない。

脇道コラム 性決定あれこれ

性染色体は、鳥類では雌ヘテロのZW型、哺乳類では雄ヘテロのXY型で、WやY染色体はZやX染色体よりも小さく性染色体が明確に区別できます。爬虫類のヘビの仲間ではZW型ですが、下等とされるオオヘビ科ではZとWの見分けが付かず、ヘビ科になると大きさは同じですが動原体の位置が異なり区別することが出来ます。ガラガラヘビなどのクサリヘビ科になるとW染色体が小さくなっています。

ヘビを除く爬虫類では、性染色体の区別が付かないだけでなく、ふ化するまでの温度で性が決定します。これを温度依存性決定機構（Temperature-dependent Sex Dtermination, TSD）といいます。温度依存的性決定機構とか温度依存性性決定機構とも言われています。例えば、ある種のカメでは29℃以下でふ化したものは全て雄になり、31℃以上では全て雌に、中間温度では雄と雌がふ化します。ワニの場合はカメとは逆で34℃以上では全て雄が、30℃以下では全て雌になります。種によって温度は異なりますがこの他に、低温と高温では雌で中間で雄、この逆パターンもあり計4タイプあります。鳥類では、この温度依存性決定機構はありません。

両生類の場合は、性染色体は区別できませんが、鳥類や哺乳類と同じ機構で性が決定されます。ただし両生類は種によってZW型とXY型のものがあります。一部の両生類では、爬虫類のように温度によっても性が変わるものもいます。また、性ホルモンによって性転換させることも可能で、性転換させたZW雄と通常のZW雌の交配で子供がZZ、ZW、WWの3種類が発生します。W染色体にもZ染色体の遺伝子があるため、WWも正常な雌として発生します。正常なZZの雄とWW雌の子供は、全てZWの雌が生まれてきます。同じことが鳥類でも出来ればいいのですが、鳥類でWWの個体は全て死んでしまいます。

魚類も基本的に両生類と同じですが、種によっては社会的順位で性が決定するものがあります。ソメワケベラでは1匹の雄が数匹の雌を従えた群れを作っていますが、雄が死ぬと雌の中で1番の社会的順位の高いものが雄に性転換します。この逆の場合もあり、社会的順位1位が雌で、2位が雄、3位以下は繁殖能力が無いような種もあります。また、変わったものとしては、日本のギンブナは単為生殖を行うことが知られています。何と日本のギンブナは、ごく一部の地域を除いて全て雌です。ギンブナはフェロモンを出すことで、ヘラブナ・コイ・ドジョウなどを呼び寄せ、産卵した卵に精子をかけさせます。その卵は、精子が進入した刺激で細胞分裂を始めてしまい、精子は受精できずに消滅し、生まれるギンブナは全て親のクローンとなります。