

成体からは分からぬ発生時のすがた

— かたちや構造の深い理解のために —

(3) ニワトリ 鰓弓動脈からの派生動脈；

I 動脈管とその閉鎖

II 大動脈弓からの動脈分枝の型

藤 本 十四秋

Necessity of an Embryological Approach to

Understand the Form and Structure of the Adult

(3) Derivatives of the Branchial Arch Arteries in the Chick;

I *Ductus arteriosus* and its closure

II Patterns of the Arteries Branching from the Arch of Aorta

Toyoaki FUJIMOTO

キーワード：動脈管，閉鎖，鰓弓動脈，ニワトリ，発生

概 要

ニワトリの胚期，幼生，前成体期，成体に亘って，動脈管 *Ductus arteriosus*（第6鰓弓動脈遠位部由来）の形成・閉鎖，つづく線維化（*Ligamentum arteriosum*，動脈管索）の過程を，マクロレベル（実体顕微鏡下の解剖・観察）と組織標本とで追求し，アトラスと解説のかたちで呈示した。ニワトリ（鳥類）では，単一の右側大動脈弓（右第4鰓弓動脈由来）をもつのであるが，第6鰓弓動脈は左右とも遺残・発達して，動脈管が両側性に現れる，という特長を持つ。ここでは併せて，大動脈弓（arch of aorta）からの分枝（鰓弓動脈派生の動脈）の様子を調べ，正常型と破格7型を分類した。

はじめに

鰓弓動脈 aortic arches, branchial arch arteries は脊椎動物を通じて，発生早期に出現する6対の鰓弓 branchial arches(咽頭弓)の中に，原則的には6対が，腹側大動脈と背側大動脈とを繋ぐ形で現れる¹⁾ (図1, A a, A)。前方（頭側）から第1, 2, 3, 4, 5, 6鰓弓動脈と呼んでおくが，これらの動脈系の消長は動物種で大いに異なり，爬虫類以上では，第3, 4, 6が残って発達し，それぞれの成体にみられるような，大動脈弓 arch of aorta とそれから分枝する諸動脈を派生する²⁾ (図1, B—E)。さて第6は，近位半は肺動脈になるのだが，遠位半は通常左側のみが動脈管

*Ductus arteriosus*として，胚期或いは胎生期に限り，肺動脈から大動脈へと血液を通すことになる。

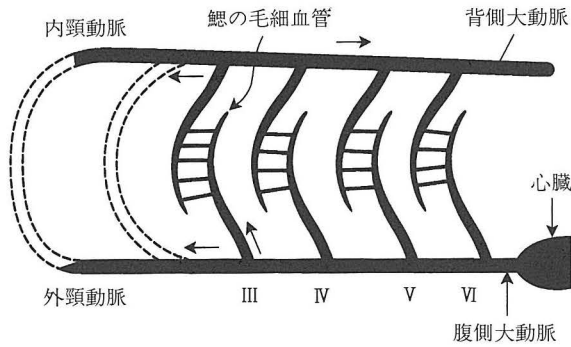
ところで，鳥類では第4弓は右側のみが発達して，いわゆる右側大動脈弓 right-sided arch of aorta をつくる。動脈管のほうは，その右側だけでなく，左側にも形成され一両側性動脈管³⁾，その長さが比較的長く，遺残の傾向が強く，その閉鎖にはかなりの時日を要する。因みに，ヒトを含めた哺乳類では，左側の第4弓でつくられる左側大動脈弓 (left-sided arch of aorta) が普通の型であり，爬虫類では，両側の第4弓由来で重複大動脈弓 (double arch of aorta) がつくられる (図1 C')。

ここでは前記の特徴をもつ鳥類の動脈管の形成とその閉鎖・線維化の過程を，ニワトリ *Gallus domesticus* について，主にマクロのレベルの観察—実体顕微鏡下の解剖—と，組織学的な検索を加えて追跡した。併せて右側大動脈弓とこれから分枝する動脈の分岐型につ

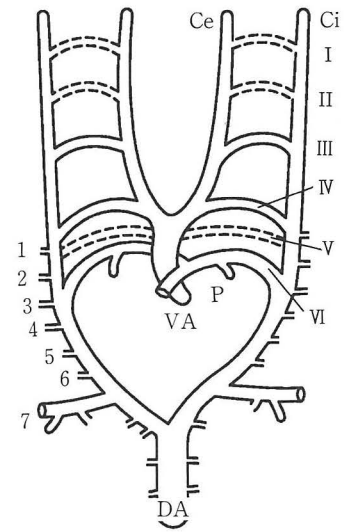
(平成11年9月9日)

川崎医療短期大学第二看護科

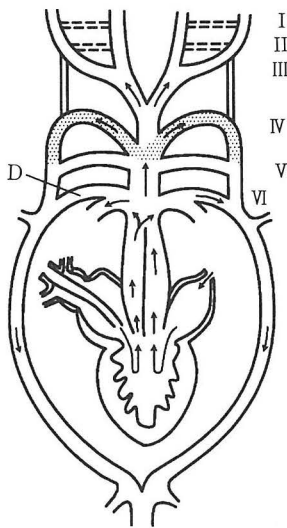
The Secand Department of Nursing, Kawasaki College of Allied Health Professions



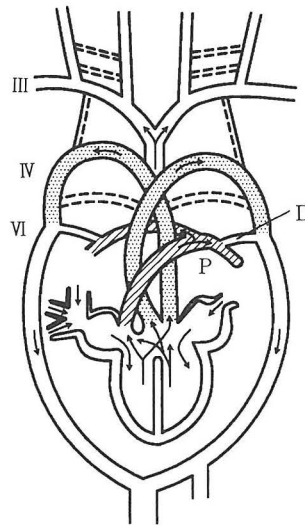
Aa. 魚類



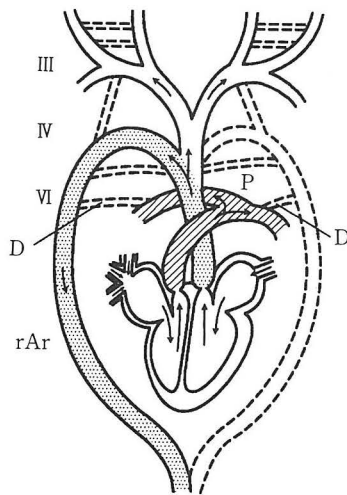
A. 鰓弓動脈の基本型



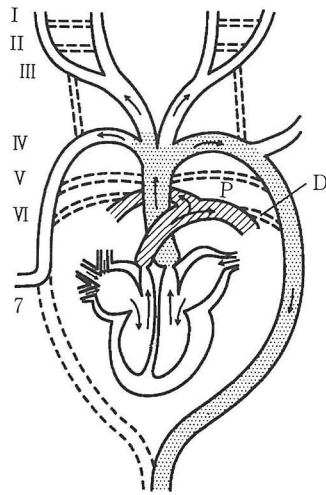
B. 両生類



C. 爬虫類 (カメ)



D. 鳥類



E. 哺乳類

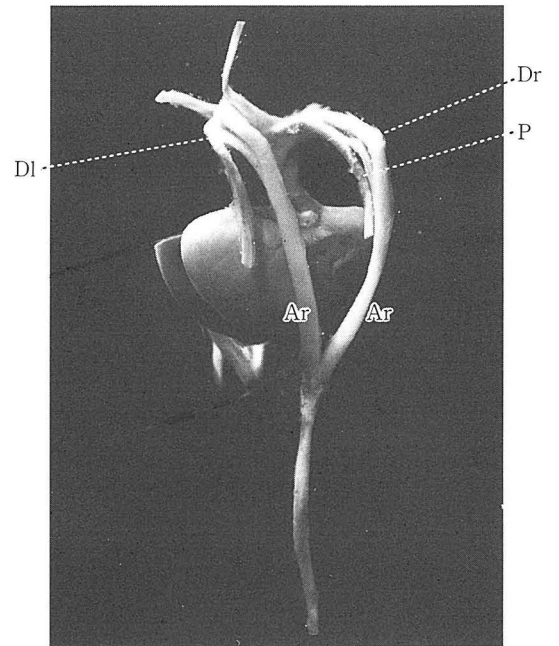
C'. アカウミガメの幼生 (孵化1日目)
(左後方から)

図1 脊椎動物における鰓弓動脈 (I-VI) とその消長。

破線部分は退化・消失。1-7: 第1-7背側節間動脈。

VA: 腹側大動脈, DA: 背側大動脈, P: 肺動脈, D: 動脈管, rAr: 右側大動脈弓 (鳥類), Ce: 外頸動脈, Ci: 内頸動脈, A: 左図Aaに対応

C': 爬虫類に見られる重複大動脈弓 (Ar) と, 左右動脈管 (Dl, Dr)。

いても、比較解剖学的視点を踏まえて調べた。

所 見

I. ニワトリ幼生における鰓弓動脈と動脈管、その閉鎖

発生の比較的早い時期に鰓弓が現れ、その中に鰓弓動脈も形成される。図2Aと図3は孵卵11日胚の心臓と、これに出入りする動脈—まだ完全に成体にみられる形にはなっていない(図4と比較)—を示しているが、右第4鰓弓動脈派生の右大動脈弓から続く背側大動脈と、第6鰓弓動脈の近位部由来の肺動脈との間には、この第6鰓弓動脈の遠位部がつくる動脈管が繋がっている。それも左右重複して存在する。この動脈管が、胚期から孵化後、そして成体に至る間にどのように変化—退縮・閉鎖・線維(結合組織)化—するかを、以下、幾つかの発生時期の標本：図4—図13、を呈示して解説を加えていく。

II. 鰓弓動脈派生の動脈；大動脈弓からの分枝の諸型(図14)

鰓弓動脈に由来する動脈系は、脊椎動物の種類(species)に応じて、それらは進化の道を映し出して、それぞれに固有な型に出来上がっていく。図14-Aで示したのが、ニワトリにおける大動脈弓とその分枝の、正常(基本)型であるが、幾つかの破格ないし異常例も見出される。同・図14(肺動脈は除いてある)は、孵化後1日の雄・幼生(一部は孵卵期胚)200例について観察した結果に基づき、模式的に描いたもので、B—Hが普通でない型、またカッコ内はそれが観察された例数を表している。なお幾つかの型は、実際の標本も併せ示している(図15—図17, 図4, 図2A)。

考察とむすび

鳥類の鰓弓動脈由来の動脈—大動脈弓とその分岐型など—については、Glenny(1955)が多くの鳥類種について調べている⁴⁾。その中で注意を惹くのは、カワセミの1例に通常の鏡像、つまりヒトや哺乳類と同じ左側大動脈弓が見つかった、と記していることである。筆者はこれを確かめる意味もあって、さきに挙げた200例を含めたニワトリ幼生1,000例について調べたが、すべて通常の右側大動脈弓ばかりであった^{5,6)}。進化の観点からは、祖先返りはあっても(ヒト・哺乳類では、鳥類と同じ右側大動脈弓や、爬虫類に似た重複大動脈弓も変異として現れる)、逆進化は起こり得ないというのが、筆者の今の考えである(藤本, 1997)⁷⁾。動脈管

については、Glennyの図にも長く描かれ、その遺残傾向も窺われる。

さて動脈管は、孵化後、あるいは出産後、肺呼吸が開始されると共に次第に退縮・閉鎖していくわけだが—最終的には動脈管索となる—、例えばヒトについていうと、生後も閉じないことがあって動脈管開存症と呼ばれている。また実際には、完全に閉じなくても機能上問題のないこともあるとされる。因みに、遺伝的に動脈管が閉じない犬の系(strain)もあるという⁸⁾。

ところでニワトリの場合は、既述のように左右とも第6鰓弓動脈の遠位部が遺残・発達して両側に動脈管が出来ることや、それも長さが比較的長く、また閉鎖して結合組織化するのにかかなりの時日を要する、といった特徴がある⁹⁾。退縮・閉鎖は管の中央部、近位半から起こるが、その過程や様相も個体差が大きい。線維化の後、大動脈に結合する端部は小三角形の腔を残している場合が多い(図12参照)。閉塞ないし閉鎖には、動脈管の内膜の増殖による肥厚と、管腔側への突出が大きく関わっているが、その主役は、中膜の構成成分である平滑筋が内膜側へ移動(migrate)していくこと、その際、弾性膜の解体も伴っているとする所見(Ogata, 1975)¹⁰⁾に注目したい。これらはヒトを含めた哺乳類についても共通した知見として認められており^{11,12)}、また閉塞の前兆は、出産前あるいは孵化前から、既に内膜の肥厚として表れているという。

ここで不思議なことは、前述のように鳥類では、単一の右大動脈弓にも拘わらず、動脈管がその右側だけでなく、鏡像位置の左側にも作られることである。且つ、その左動脈管は長く、^{あたか}恰もその側の大動脈(消失した左第4鰓弓動脈)の位置を占めるように存在する(図3—図6, 図12)。この形は前出の爬虫類で、重複大動脈弓に伴い、動脈管も重複しているのと相似である(図1, C')。ヒトでも希ながら、心臓や出入血管の位置異常に伴う、重複大動脈弓と重複動脈管の例が報告されている^{13,14)}。

ではどうして、鳥類では大動脈弓は右側だけにあるのに、両側に動脈管が現れるのであろうか。納得いく解釈はできないが、第6鰓弓動脈の発生の特殊性(遠位半の発生学的不安定性)に帰せざるを得ない、そして進化過程のひとつのすがたと見なす外ないであろう。

ところで、発生期に現れる鰓域は、成体では発生時のすがたを想像できないほど変貌し、それはまた、進化の証拠を表している部位といえる¹⁵⁾。なかでも、鳥類における鰓弓動脈系とその派生動脈の型は、進化の様

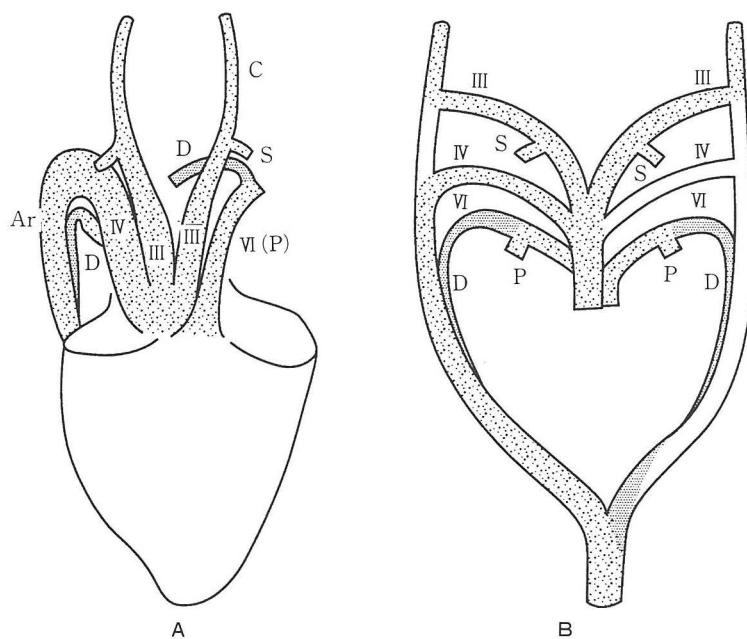
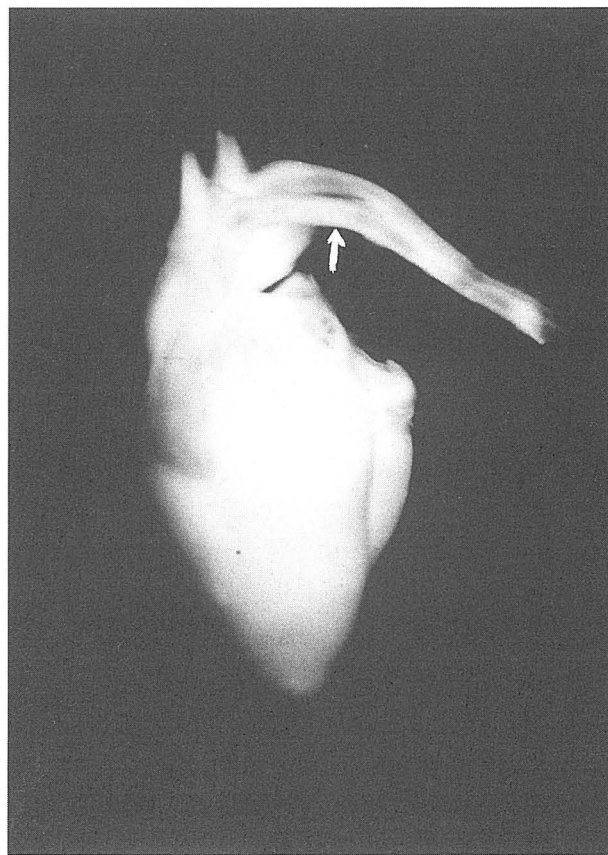


図2 A. ニワトリ胚(孵卵11日)の心臓と、これから出る動脈—鰓弓動脈派生—右図Bをみよ、特に両側性動脈管(D)に注目。(実際の標本は下の図3)。
鰓弓動脈 III IV VI, S: 鎖骨下動脈, P: 肺動脈, D: 動脈管。



A



B

図3 孵卵11日・ニワトリ胚。よく発達した動脈管(矢印)—肺動脈から大動脈へと繋がる。右側面(A)と左側面(B)。

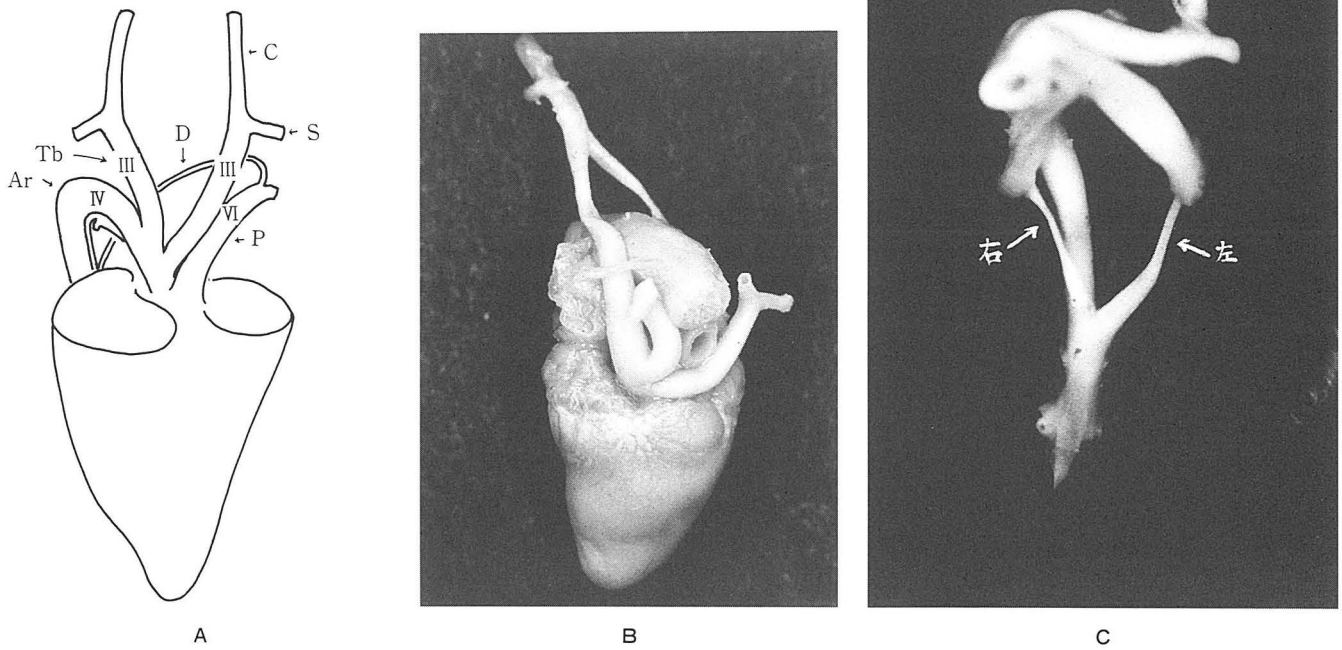


図4 孵化後1日・ニワトリ幼生の動脈管；中央部より近位半が退縮しはじめている（C矢印）。
B；大動脈部が分かるように、その部を後上方に伸ばしてある。A；心臓に出入する動脈の模式図（正常型），Ar：大動脈弓，Tb：腕頭動脈，C：総頸動脈，S：鎖骨下動脈，P：肺動脈，D：動脈管。一略号は以下の図に共通。
なお以下の図も全てニワトリの標本であるから、ニワトリの文字は省略する。



図5 孵化後9日，動脈管（矢印）は長く，また広い範囲で細くなっている。

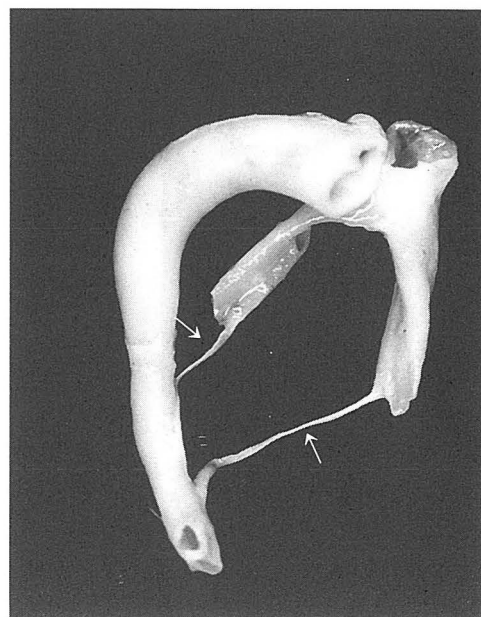


図6 孵化後20日，動脈管（矢印）は両側とも，殆ど全長で細狭化（閉塞）している。

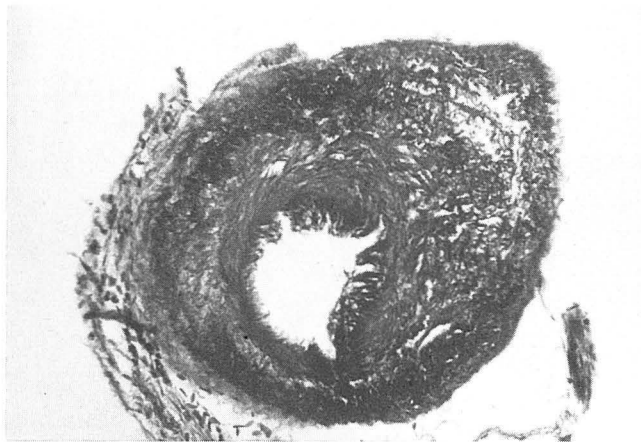


図 7

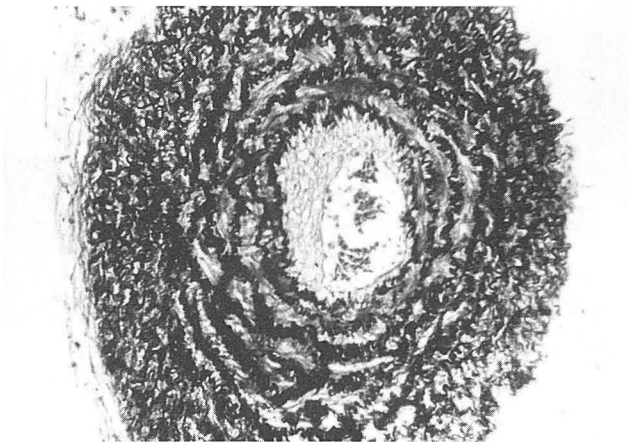


図 8

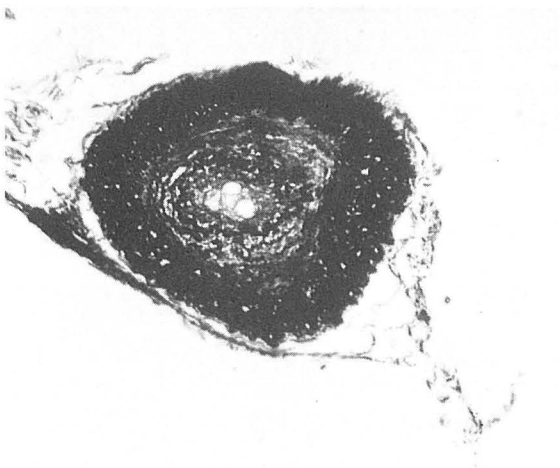


図 9-A

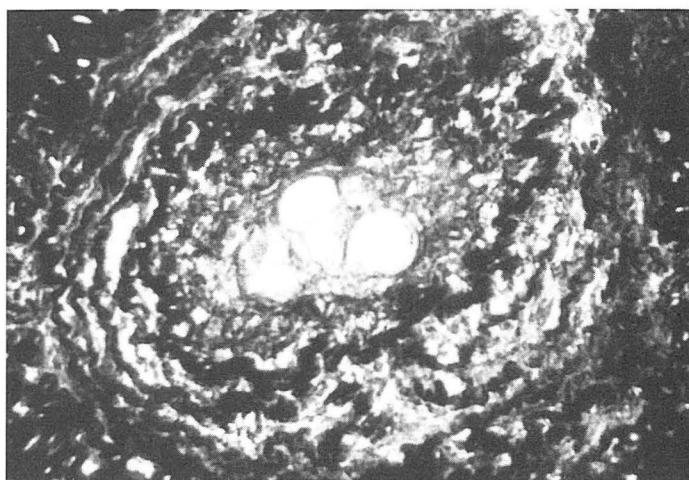


図 9-B

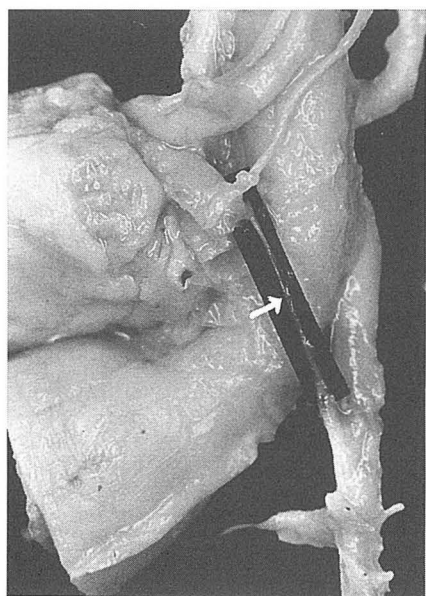


図10

図 7, 8, 9 動脈管の横断切片標本—ワンギーソンおよびオルセイン染色 (結合組織, 特に弾性線維を染め別ける).

7: 孵化 1 日目, 左動脈管の中央部, $\times 100$

8: 孵化後 4 日, 左動脈管, 管腔は狭まっているが, 壁はまだ厚い.

9 A, 9 B: 孵化後 20 日, 9 B は 9 A の拡大, $\times 400$, 内膜からの細胞増殖で管腔が極度に狭まり, 閉塞している.

図10 孵化後 2 週, 左動脈管 Ductus arteriosus (矢印); 外見上, 管は繊維化して, 動脈管索 Ligamentum arteriosum の形に変わっている (図 13, D 参照).

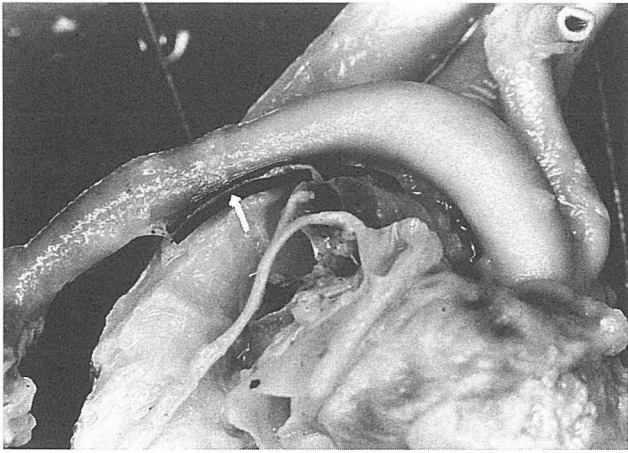


図11-A



図11-B

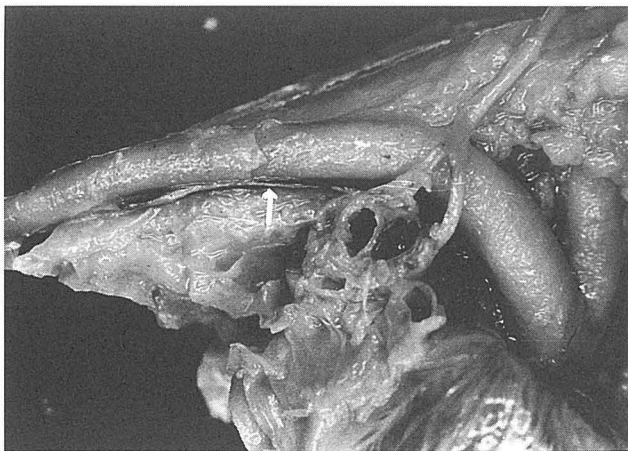


図12-A

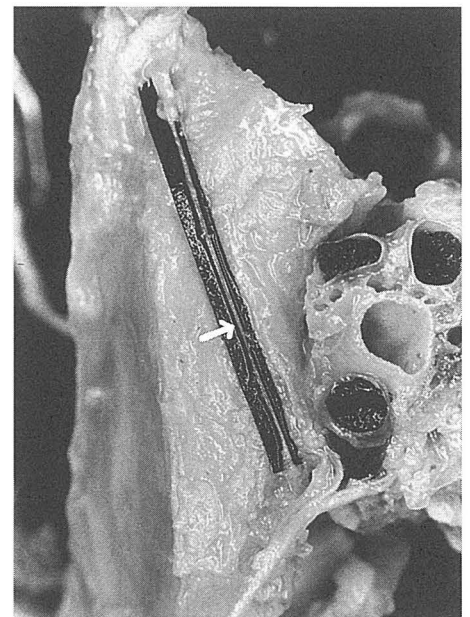
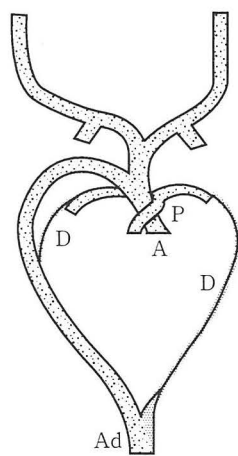


図12-B



鳥 類

図13

- 図11 閉塞・線維化した動脈管索 Lig. arteriosum (矢印).
 11Aは右動脈管, 11Bは左動脈管. 3 か月の前成体期.
 図12 成鶏における動脈管索 (矢印). 12Aは右側, 12Bは左側のもの.
 図13 特に成体の動脈管索 (D) に注目. 模式図.

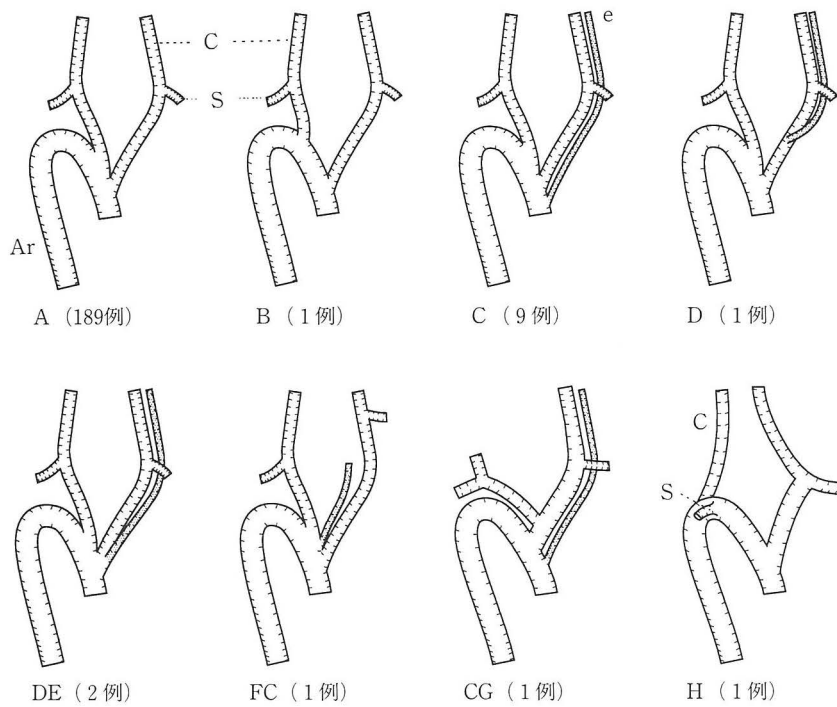


図14 大動脈弓 (Ar) とその分枝の諸型 (大部はニワトリ・孵化後1日の幼生).
 C: 総頸動脈, S: 鎖骨下動脈,
 e: 過剰枝 (#),
 (#: 実験奇形学的トリパンブルー処理で,
 この枝が生じたという報告例がある³⁾)

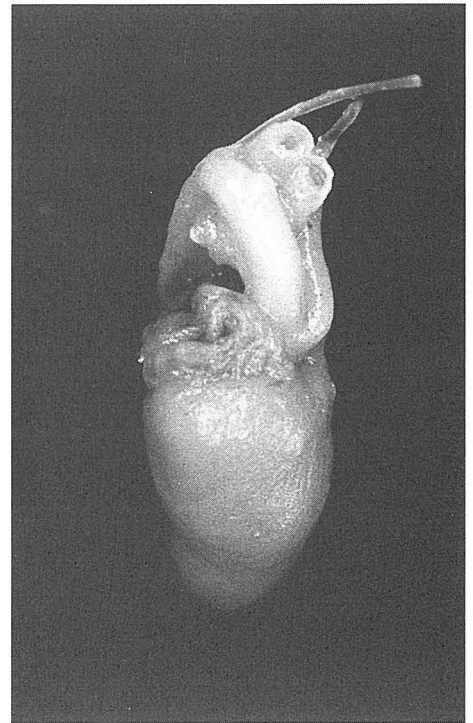
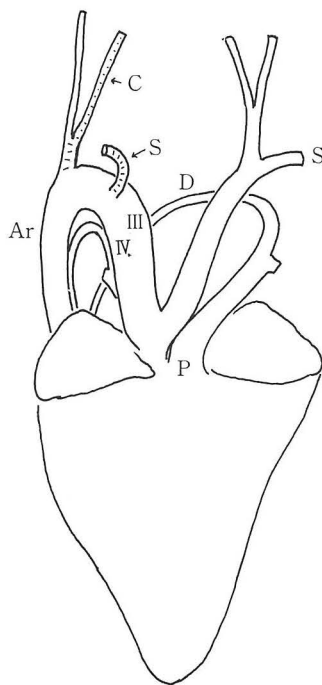


図15 (図14における) H型例. 孵卵11日胚. P: 肺動脈, D: 動脈管
 左図は前面, 右図は右前面から.

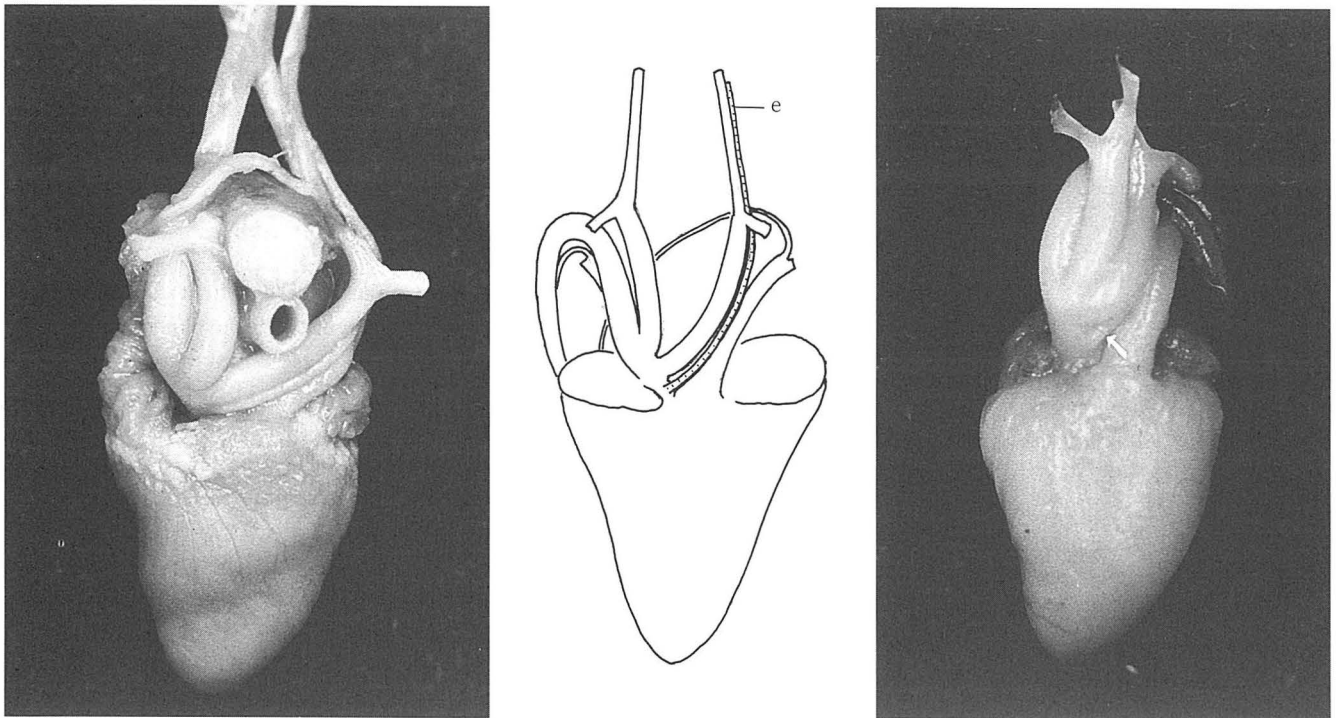


図16 C型例。左：孵化後1日幼生，右：孵卵13日胚から（矢印，過剰枝e）。

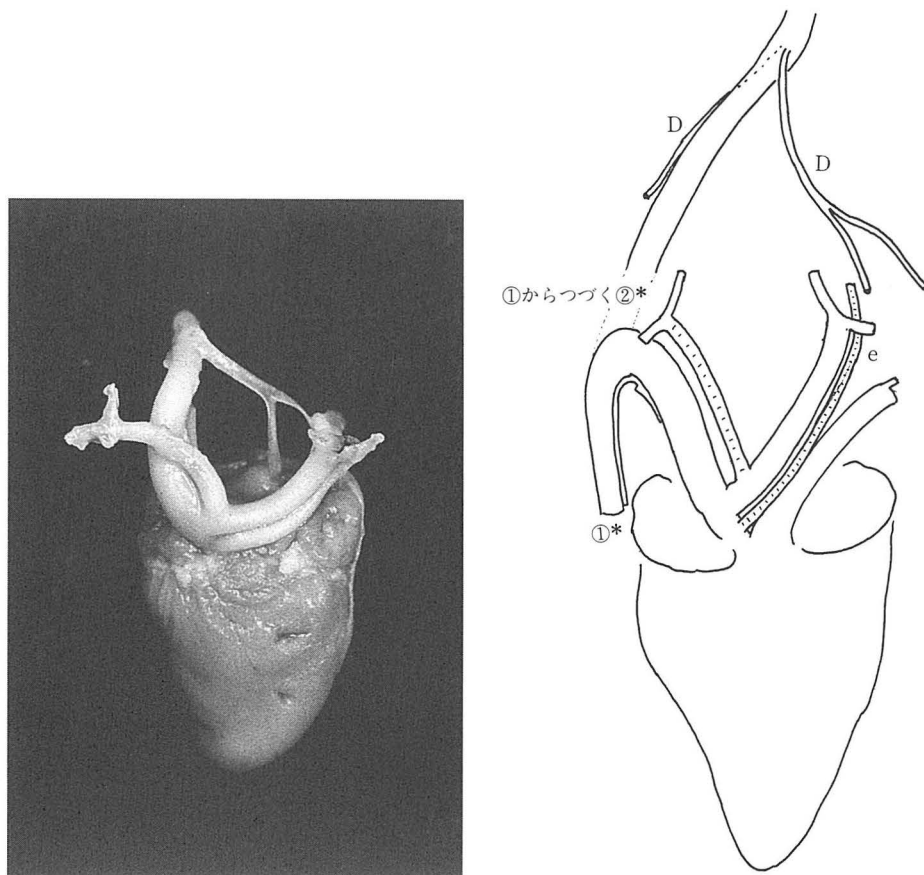


図17 CG 型例。孵化後1日幼生。右スケッチ；大動脈（*）と動脈管（D）を示すため，後上方に引き延ばして描いてある。

相を採る上で一つの適った解析系といえる。

研究協力者：益城久治，村田智達（元・山口大学医学部研究生，解剖学第2）；有蘭優子（元・熊本大学医学部助手，解剖学第3）

本論文の要旨は，日本解剖学会第54回中国・四国地方会（広島，1999.11.）において発表した。

文 献

- 1) 藤本十四秋：個体発生と系統発生「新医科学体系 1 A：医科学—その基礎と広がり 1」，東京：中山書店，89-113，1983.
- 2) GC Kent Jr：Comparative Anatomy of the Vertebrates, 2nd Ed. Mosby/Toppan, 275-310, 1969.
- 3) Stephan F, and Sutter B：Reaction de l'embryon de Poulet au bleu trypan, J. Embryol. Exp. Morph. 9：410—421 (with 2 plates), 1961.
- 4) Glenney FH：Modifications of pattern in the aortic arch system of birds and their phylogenetic significance, No. 3346. -from the Proceedings of the United States National Museum, Vol. 104：Smithsonian Institution United States National Museum, Washington, D. C. 525—621, 1955.
- 5) 藤本十四秋：鳥類（ニワトリ）咽頭弓動脈に由来する主要な動脈の分岐型について，解剖誌41(2)：付3，1966.
- 6) Kudo M, Yoshinaga K and Fujimoto T：Variation of aortic arch derivatives in the chick (Hatchlings), Okajimas Fol. Anat. Jpn. 63 (6)：359-370, 1987.
- 7) 藤本十四秋：「かわせみ」に思う，日本医事新報 No. 3794：p 27, (1997. 1. 11.)
- 8) Gittenberger de Groot AC, Strengers JL, Mentink M, Poelmann RE, and Patterson DF：Histologic studies on normal and persistent ductus arteriosus in the dog, J. Am. Coll. Cardiol. 6 (2)：394-404, 1984.
- 9) 藤本十四秋：動脈管閉鎖の機転 1. ニワトリ動脈管閉鎖の経過，解剖誌41(3)：176, 1966.
- 10) Ogata T：Electron microscopical studies on the mode of formation and breakdown of arterial elastic membranes 11. Ductus arteriosus of the chick before and after hatching, Bull. Inst. Constitut. Med. Kumamoto Univ. 26 (1)：59-83, 1975.
- 11) Mato M, Aikawa E and Uchiyama Y：Studies on the obliteration of the Ductus arteriosus in rat embryos, Z. Anat. Entwickl.-Gesch. 133：54-72, 1971.
- 12) Toda T, Tsuda N, Takagi T, Nishimori I, Leszczynski D and Kummerow F：Ultrastructure of developing human ductus arteriosus, J. Anat. 131 (1)：25-37, 1980.
- 13) Lenox CC, Neches WH, Zuberbuhler JR, Park SC, Mathews RA, Siewers RD, Lerberg DB and Bahnson HT：Management of bilateral ductus arteriosus in complex cyanotic heart disease, J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 74 (4)：607-613, 1977.
- 14) Shirali GS, Geva T, Ott DA and Bricker JT：Double aortic arch and bilateral patent ducti arteriosi associated with transposition of the great arteries：Missing clinical link in an embryologic theory, Am. Heart J. 127 (2)：451-453, 1994.
- 15) 藤本十四秋：成体からは分からぬ発生時のすがた — かたちや構造の深い理解のために — (1)鰓域の派生構造物と胎盤関門，川崎医療短期大学紀要17：1-7，1997.