

脈管の比較生理学的研究

西 丸 和 義

緒 言

1628年、William Harvey が *de motu cordis et sanguinis in animalibus* を書いて以来 332 年になる、この間人体及脊椎動物についてリンパ管、リンパ液、組織間及組織液についての多くの研究がなされて来た。

然し Harvey の血液循環の概念は依然として多くの人々の肯定するところである。

著者等も1921年以来この問題を追求して来て、血液に代るに体液、血液循環に代るに体液循環と云う概念に置き換えるのがよいのではないかと云う考えを得つつある時、たまたま著者等の研究室を東京より呉市梅木町に移した。この位置は瀬戸内海に面し、無脊椎動物殊に海産動物を入手実験するに好都合であるのと、かねて Harvey の故智にならつて無脊椎動物の脈管系の構造及び生理を追及し、比較生理学的に明らかにすることにより、体液循環の概念を得る一助となさんとして、著者等の共同研究者と共に一応実験を終えたのでここにこれらの研究の総括を発表したいと思う。

無脊椎動物の体液流

動物学の分類(飲鳥魁による⁽¹⁾)に従つて先ず第1門から順次その動物の体液について記載する。

i) 原生動物 (Protoza)

これは唯一個の細胞で、何等外被を被うことなく原形質体は裸出し、仮足を出して食物を周囲の液体と共に任意の箇所より原形質内に取り入れる。固より循環系らしきものの存在はない。かかる動物では Claude Bernard の云う外的環境と内的環境とは同一であつて、周囲の液体が即ち体液の役割をなすわけで、従つて周囲の液体の流れが動物の体液の流れと云うことになる。

ii) 海綿動物 (Porifera)

石灰海綿の基本型と見做すべきは壺状或は管状であつて、内部構造を見ると Haeckel (1879) が創定したオリント (Olynthus) では、その形状花瓶の様に中空で、下端で外物に固着して上端は口で外界に通じている。体内にある腔を胃腔と云い、口に連つている。オリ

ントの体表の無数の小孔が体壁を貫いて胃腔に通じている。外界の海水は小孔から胃腔内に入り、口から出て再び外界に去る。かかる海綿体内に見る水流の通過する溝は溝系と云われている。海綿体動物の胃腔内には直接鞭毛を有するか或は他に鞭毛室を有して壁面に並列する細胞が其鞭毛で溝系中に水流を起している。かくして外界とオリントの体内との間には常に一定方向に小孔→胃腔→口を海水が循環している。此の海水は体内に浸入して多少の蛋白質を有する内部環境を形成するが、内部環境と外部環境は同一のものに近い、即ち此の部門では末だ外液と体液との間にあまり差がない。

iii) 腔腸動物 (Coelenterata)

循環器と称すべきものは原生動物や原始的な腔腸動物のヒドラ (Hydras) には発達を見ないが、水母 (Scyphomedusae) の類になると胃水管系なる一種の循環器が出現して来る。これは腔腸の複雑化した消化循環系で、その主な部分は腔腸の中央にある胃とそれから傘の縁に向い放射する輻水管、それを連絡する傘の縁に沿つて走る円水管とから成つている。自分等は諸輻水管の間には明瞭なる組織腔が存在する事を明かにした。

これは発生学上水母の傘には腔腸壁癒着の跡があつて、内皮薄層の遺存であると言うが (飲鳥, 1929)、丁度その部に存在する。Widmark (1911) 及び自分等の観察も水母の水管内液の流れる方向は略一定して居り、循環の原動力は主として体の収縮運動に伴う受動的なものと、他に水管内の纖毛運動とが考えられるが、消化された海水即ち体液は水管→組織腔→水管と流れるのが認められる。

iv) 蠕形動物 (Scolecida)

動物界に於て器官の分化発展の段階を迎える上で、蠕形動物は看過し出来ない重要な存在であると云われるが、紐虫綱で初めて脈管が認められ、殊に扁虫綱の或種の吸虫に於て脈管が認められた。

a) 肝蛭 (Fasciola hepatica Line)

蠕形動物の岐腸は消化管と循環器管の役割を兼ねていると云われる。腸管は前端の口吸盤に開いて、他端は全身に渡つて分岐し、体内で盲端に終つている。其他火焰細胞のある排泄管、生殖を司る卵黄巣も盲端に終る管で、全身に分布している。腸管の中へ注入したパテントブルー色素が組織間を通り排泄管、卵黄巣へと透過するのが見られる。尚腸管内容物は虫体の運動により受動的に流動するものと認められる。

b) 吸虫 (Trematoda)

牛の胃に寄生する雙口吸虫 (Paramphistoma explantum) では、腸管は一端に終つて此の腸管以外に通ずるのみで、他端は盲端に終つてこの腸管以外に独立した一つの脈管系が存在する。この脈管は虫体の左で枝管を分枝するも盲端に終つて組織間隙には開放しない。

即ち網状構造を形成しない閉鎖性の管系である。パテントブルー溶液を腸管に注入すると、この脈管及び排泄管へと透過し、又脈管内へ注入した場合も同様に腸管及び排泄管へと色素は透過する。

即ち1902年 Loos によつて発見された吸虫の所謂リンパ管と呼ばれたものは管状になつた組織腔であつて、体液は腸管内から脈管内へと流れ、更に排泄管へと流れるものと考えられる。然しこの脈管には組織学的にも何等壁様な構造は認め得られなかつた。

c) 紐虫 (Nemertini)

紐虫の主な脈管は体の両側を走る側脈管 及び 腸管脊部の 正中を走る 一本の脊脈管から成り、体の前後端で互に連絡している。此の外頭部、食道壁、吻鞘等にも諸脈管が分布している。此の脈管系は閉鎖性であつて、其脈管壁は薄い上皮と基底膜とから成る。稀に環状筋層が在ることがある。更に脈管の背側に沿つて従走する吻腔があるが、筋性の壁を有し、外界及び脈管とは直接交通がない。即ち紐虫に至り明らかに腸管とは別個に脈管系が出現して来る。然も体腔より発生した吻腔は中に体液を満たし、沼野井・(1951)によれば白血球が存在すると云う。吻腔内流液体が組織流であつて、体液は脈管内を循環しつつ、透過により吻腔とは間接的に連絡しているものと思われる。腔腸動物、水母の微細なる組織腔は蠕形動物に至つて一つの脈管形態となり、紐虫に至つて体内に腸管より分離独立した脈管系が出現し、組織腔として吻腔が遺存するものと考えられる。

v) 環形動物 (Annelida)

環形動物は腸管の背腹二面に二条の主大血管を有し、各体節毎に細部に血液を送つている。多毛目「ゴカイ」(*Neries japonica* Izuka) では微細血管の分布構造は部位によつて異つて、背部体表面は双曲線(背行血管を軸)の、腹部体表面は平行状(腹行血管を軸)の、側脚部(舌足)は籠の目状の構造をなし、腸管の毛細血管は其口径(約 27μ) が小で網眼も小であつた。即ち血管は明らかに閉鎖性を成し、亦体壁と腸管との間には体腔が存在して体腔液を充している。

環形動物では未だ心臓なる器官はなく、体液輸送の原動力は血管の能動的収縮性が主となつている。血管分布構造も蠕形動物より一層複雑となり、所要の機能に応じて種々な形態を採るに至る。脊行血管内へ注入したパテントブルー溶液は体腔内へと透過し、体腔内へ注入した色素は血管内へと透過する。即ち血管内液と体腔液とは透過によつて相互に連絡されている。

吸虫で発見した脈管系は「ごかい」に於て著明なる能動的収縮性の出現を見、体液は循環する。一方組織腔は大きな体腔となつて組織液を満たし、血管を密接に連絡するに至る。

vi) 凝軟体動物 (Molluscoidea)

この門の中で初めて心臓の出現するものがある。

シャミセン貝 (*Lingula anatina* Lam) の脈管系については、初めて谷津 (1901) によつて記載された。この動物は古生代シルル紀から今日まで依然として棲息するものとして有名であるが、系統発生的に見て心臓を有すると考えられる最も下等のものであろう。これでは心臓及び血管は消化管の背部に存在する胃体膜と云う丈夫な膜が見えるが血管はこの膜のすぐうしろで急に著しく太くなつており、これが心臓である。心臓の断面は完全な円形でなく多形的であるが、心房、心室の分化は認められない。壁は非常に厚く約 60μ で薄い所でも 30μ 位である。

心臓より上方、即ち食道の背部を走る血管は一本で、断面はほぼ円形であり、壁は可成厚く、これが動脈と考えられる。心臓より下方の血管は、上方に比して非常に壁も薄く、これは胃の下部で左右に分岐するが、殊に分岐部に於て壁が薄く、断面は扁平である。血管は開放性である。

vii) 節足動物 (Arthropoda)

節足動物の循環系は種族によつて異なる。

a) 昆虫類 (Insecta)

循環系は比較的簡単で多くのくびれがある。然し一室の自働収縮性の心臓管と、その前方に延びている大動脈とからなる、血液は前方動脈を経て前端に至る血竇に出る。体の諸部分を循環した血液は囲心竇に帰り、再び後心門から心臓に還る。いづれにしてもこの部門のものでは開放性脈管系を有する、即ち血球は体液と共に組織間に流出し、又血管に流入する。然し翼のあるものでは翼に閉鎖毛細血管を有する。

b) アカテガニ (*Sesama haematocheir*)

体液流の機構が一層進化する。即ち心臓から出る動脈は前後下方に走り、前方へ出る動脈は肝、胃の上部、眼、脳へと行き、後方へ行く動脈は腸管に至る。動脈は心臓直下の腹部神経節の環の中を通つて、そこから前後左右に分枝を出している。この内前方へ行く主幹は胃、食道の下部に分布し、更に脳に至つてゐる。後方は腸管下部に分布し、側動脈は最終節迄行つて開放する。これら動脈を流れた血液は其開放端から組織間を流れた後、所謂血洞に流入して鰓に還り、囲心腔に達する。心臓内圧と開放血管内圧との勾配が比較的少いのに係わらず、血流速度の早いのは、囲心腔の壁の収縮性が大きな役割をなすと考えられる。即ち囲心腔はカニの体腔面積の半分以上を占め、その収縮による陰圧は大きく且つ心臓との関係は恰も二連球の様である。然しこの組織間の体液は組織間隙と云うよりは組織溝を流れると云つた概念のことが多い。

viii) 軟体動物 (Mollusca)

軟体動物の循環系は開放性血管と閉鎖性血管系とがあるが、いずれにしても必ず心臓の出現を見、又開放血管系に於ても組織間には間隙と云う概念のことが多い。

a) 牡蠣 (Ostrea)

かきの外套膜の血管分布構造を見ると開放血管系であることがよくわかる。又心臓は2心耳、1心室で、鰓の近くに副心臓がある。又体液は毛細管の代りに組織間を流れる。

b) 章魚 (Octopoda)

マダコの外套膜では閉鎖性血管系を認める外、リンパ管を認めることが出来る。1763年 William Hewson は種々の動物(海亀、鳥類、魚類)に於て腸間膜のリンパ管を最初に発見し、1774年には魚の粘膜に於けるリンパ管の網状構造を記載している。Langer (1866) は蛙の腸のリンパ管に色素を注入した。かくして脊椎動物は魚類に至る迄のリンパ管の存在を明らかにされた。そこで Hertwig (1905) は無脊椎動物と脊椎動物とはリンパ管の有無によつて區別出来ると考えたので、マダコでリンパ管様の管形を見出したことは意義あることと思える。尚マダコの動脈及静脈が自働性収縮性を有すること、及び鰓心臓を有することは興味あることである。即ち頗る複雑なる循環系を有するに至るものと考えられる。

v) 棘皮動物 (Echinoderma)

ナマコ (Stichopus japonica Sel.)

ナマコの体内には血管、体腔、水管の三脈管系がある。血管は自働性を有して血液を循環させるが心臓はない。これ等3管系は相互に透過により間接的に連絡している。即ちナマコの循環系はゴカイの循環系とその機構を一にすると考えられ、閉鎖性脈管系である。

総括並びに考察

米国比較生理学者 Prosser は、その著 *Comparative Physiology of Circulation of Body Fluid* の章に Carter の論文を引用して次の如く記載した。⁽²⁾

A definitive and mutually exclusive morphological classification of transport mechanisms is impossible, because various animals have dissimilar structures serving the same function. A working classification follows, with the recognition that it is incomplete and that many degrees of intergradation exist.

然し著者等が動物学の従来分類に従つてその各門の中から入手実験し易いものについて実験観察したものとすると、体液、体液流の動力について表示すると第1表のようになる。

又心臓が出現した動物について、心臓及循環形式について見ると第2表の様である。

第 1 表 無脊椎動物の体液及び循環動力の比較

	第1門 原生動物	第2門 海綿動物	第3門 腔腸動物	第4門 蠕形動物			第5門 環形動物	第6門 形骸軟体動物	第7門 節足動物		第8門 軟体動物		脊椎動物
種類	アメーバ ゾウリ虫	海綿	水母	肝蛭	吸虫	紐虫	ゴカイ ミミズ	シヤミ セン貝	シヤコ	カニ	カキ	タコ	蛙
体液	外液	外液	組織液	組織液	組織液	血液	血液	血液	血液	血液	血液	血液 組織液 リンパ液	血液 組織液 リンパ液
動力	纖毛 個体移動	纖毛	体運動	体運動	体運動	脈管壁の 収縮性	脈管壁の 収縮性	心臓 動脈	心臓 動脈	心臓 動脈	心臓 動脈	心臓 動脈	心臓 動脈

第 2 表 無脊椎動物の心臓及び循環形式の比較

	動物名	形態	組織	筋繊維 集 部	神 經 節	K 過剰に よる搏動 停止	Ca 過剰 による搏 動停止	調節神経	体液循環
第7門 節足動物	カブト ガニ	管 状 一 室	筋分布密 筋繊維間連絡枝(++) 横紋(++)	(-)	非常に発達した 神経細胞集団(+) 心筋外	収縮性 弛緩性	拡張性	不明	開放性
	カニ	一 室 一心腔	筋分布非常に密 筋繊維間連絡枝(++) 横紋(++)	(+)	未発達 神経細胞集団 心筋内	収縮性	拡張性	不明	開放性
第8門 軟体動物	カキ	二 房室 副心臓	房室共に筋分布粗 筋繊維間連絡枝(+) 横紋(-)	(+)	(-)	収縮性	拡張性	(+)	開放性
	マダコ	二 房室 鰓心臓	房室共に筋分布粗 筋繊維間連絡枝(++) 横紋(-)	(-)	稍発達した 神経細胞集団(+) 心筋内	収縮性	拡張性	(+)	閉鎖性
脊椎動物	蛙	二 房室 リンパ心臓	房室共に筋分布密 筋繊維間連絡枝(++) 横紋(++)	刺 激 伝導系 出現	非常に発達した 神経細胞集団(+) 心筋内	拡張性	収縮性	(+)	閉鎖性

これによると Prosser 等の云うのと違つて、体液循環形式には一連の進化のあとがたどれるように考えられる。

只從來第8門棘皮動物については、進化の度の高いものと多くの動物学者によつて考えられて来たが、循環形式からすると第5門のものと同形式であるのは興味深いことである。

即ち初めは体液と外液とが同一であり(アメーバー)。次いで組織腔内に体液が存在するようになり(水母)、脈管を生じ(吸虫)次いで体液は脈管によつて全身を循環するようになり(紐虫)。遂に心臓の出現を見て、これが循環の主な動力となる(昆虫)。血管は閉鎖性となり、リンパ管、副心臓が出現する(マダコ)。これが脊椎動物になると、リンパ心臓が出現し(ウナギ)更にリンパ節がこれに代る(犬)。

尙動脈及び静脈に於ける筋細胞及弾力繊維出現については、第5門ミミズに於て動脈に筋細胞が出現して来るが、第7門軟体動物カキにおいてもいまだ静脈に筋細胞の出現を見ない。然しマダコに至り、動脈、静脈共に脊椎動物の如く3層をなし、強い収縮性を有するに至る。

結 語

著者等が動物学の従来示す分類によつて、各門から入手実験し易い動物について実験検討したものによると、体液循環形式にも一連の進化の跡があると考えられる。

文 献

- (1) 飯島魁 (1929) 動物学提要、大日本図出版社、東京。
- (2) Carter, C. S. (1940) A General Zoology of Invertebrates, New York, Mac Millan, 224-235.
- (3) 西丸和義 (1952) 体液循環の研究、医学書院、東京。
- (4) 西丸和義及び協同研究者編 (1921~1960) 脈管生理学論文集、第1巻~第14巻。

ABSTRACT

Body Fluid Flow of Invertebrates

Kazuyoshi NISHIMARU

G. S. Cater (1940) wrote that body fluid flow of invertebrates is not evolutionary: a definitive and mutually exclusive morphological classification of transport mechanisms is impossible.

However, concerning our comparative study, the body fluid flow of *Ameba*, *Olynthus*, *Scyphomeduse*, *Fasciola hepatica* Linne, *Irematoda nemertini*, *Nereis japonica*, *Lingula anatina* Lam, *Graptopsaltria nigro fuscata*, *Sesama haematocheir*, *Ostea* and *Octopoda* is understood in a concept of evolution.