Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

バイオメカニズム学会誌，Vol. 21, No. 4（1997）

特　集

海から陸へ
— 脊椎動物の上陸劇の重力対応 —

西原克成* 田中順三**

1．脊椎動物の三つの謎と生命科学における重力の再発見

脊椎動物には昔から三つの謎があると言われている．進化のシステムと免疫系と骨髄造血の謎である．このうち進化と免疫に関しては複合システムの概念であり，現在ではまだ学問としての体裁すら整えられていないが，骨髄造血系だけは，具体的な器官の機能を示しているから，謎解きはこれから始めることができる．骨髄造血の発生は，系統発生つまり進化の過程では，脊椎動物の第二革命すなわち上陸を機に発生している．個体発生では，embryo から fetus に移る時期，つまり羊水に浮かんでいた時から，母胎内で重力を感知しはじめる受胎後7週頃から，ともに肝臓・脾臓から造血巣が徐々に骨髄腔に移動する．骨髄造血の成立の原因は地球の重力 1G にある．海水中では，肺を持たない原始脊椎動物は浮力に相殺されて見かけ上 1/6G となっている．造血機能とは，腸管栄養系の物語であるから，原始脊椎動物は，すべて腸管で造血が行われている．骨髄造血の進化を本格的に究明すると脊椎動物の他の二つの謎である進化学と免疫系が同時に解明されるかもしれない[1～6]．骨髄造血は高等脊椎動物への進化の過程で生じたシステムであり，この骨髄における造血リンパ系が免疫システムの要に位置しているからである．原始脊椎動物の円口類や軟骨魚類では，腸管で行っていた造血が，両生類から少しずつ骨髄腔に移行して哺乳類で頂点に達する．この引き金が重力にあることが従来見落とされていた．つまり生物の発生や進化は重力や光，温熱刺激から酸素，栄養から放射線までも含めた physicochemical stimuli によりコントロールされていたのである．生命体を構成する各器官の細胞遺伝子の発現の引き金が physicochemical stimuli によって引かれると，その器官の機能が作動するのである．この物理化学的刺激が従来環境因子と呼ばれていた．

1901 年に Roux は，生命の発生と進化には重力などの力学因子が本質的作用を持つとしてバイオメカニクスと生命発生機構学を創始した．骨髄造血の進化つまり発生の過程で分かるように，進化の原因は重力をはじめとする広義の生体力学にあることは疑う余地がない．先に進化学と免疫系は複合システムであることを述べたが，どのような複合システムであるかをここで分析してみよう．進化には，形態進化のほかに器官系，機能系，代謝系，免疫系，リモデリング系，遺伝子系がそれぞれ別個にシステムとして存在している．従来は，これをすべてごちゃ混ぜにしたままに迷宮の観念論に陶酔していた．これが Neo-Darwinism である．免疫系の複合システムの実体は何であろうか．これは，細胞レベルの呼吸・消化・代謝のことで，これを担当する細胞は造血リンパ系のほか組織球から各器官を構成する間葉系栄養細胞のすべてが含まれる．マクロファージの貪食も抗原抗体反応も細胞レベルの消化の様態に過ぎない．アレルギーは細胞レベルの消化不良で，消化産物が種々の生体反応を呈するのである．これが激烈な場合がアナフィラキシーである．自己非自己の免疫学は，組織免疫のみに限定したものである．これは主要組織適合抗原の遺伝子の発現の有無による．この抗原も血液型物質と同様に，骨髄造血の発生の引き金となった1Gの重力によって生体細胞の遺伝子の引き金が引かれることにより発生する．つまり上陸を境にしてこの物質が自動的に細胞内で産生されるのである．個体発生の時も同様で胎生初期には組織適合抗原の遺伝子の発現がなくて，孵化後重力の作用で産生されるから，それで Le Douarin のウズラとヒヨコの神経堤の交換移植が可能なのである．孵化後に重力が作動して主要組織適合抗原が作られると，移植組織は宿主の白血球や組織球によって消化されて脱落する．ヒヨコはそのために死に至ることになる．

進化の過程を示す系統発生と個体発生を比較して，そこには切っても切れない深い関連性のあることに，最初に気づいたのが有名な Haeckel である．彼の説は生命反復説 Recapitulation Theory と呼ばれたが，実際には説ではなくて経験的法則性を示したものである．著者らは，骨髄造血の発生が重力の作用によることを発見したが，この発見を通して，系統発生の過程が個体発生において形態系，器官系，機能系，代謝系，免疫系，リモデリング系，遺伝子系に至るまで概略で法則性をもって再現されることを検証した．これを真正生命発生原則(Genuine-Biogenetic Law : Nishihara- Haeckel 1997)[7,8]と呼ぶ．生命科学における重力の再発見は，古典力学体系における Newton の万有引力の法則の発見に匹敵する重大事である．何となればDarwinの150 年間が書き改められるからである．

2．進化学は既に確立されていた

脊椎動物の進化学の研究では，既に確立されている法則がいくつかある．これらを統合すれば，この宗族の謎が既に解明される直前まで来ていたことを現代の生物学が見過ごしていたらしい．先ず第一に，Linne の分類学がある．次に Goethe の創始

1997 年 9 月 12 日受付
＊東京大学医学部口腔外科
＊＊科学技術庁無機材質研究所
〒113　東京都文京区本郷 7-3-1

キーワード：実験進化学，重力対応進化学，用不用の法則，骨髄造血の謎の解明，生命発生原則

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

した形態学の本義として「形態変容の法則性の解明」がある．次いで進化学で最も重要な法則としてLamarckの用不用の法則がある．さらにHaeckelのRecapitulation Theory(生命発生原則)とJ. Wolffの示した骨の機能適応形態の法則性，Wolff法則[9～15]がある．次いでHaeckelの愛弟子のRouxの生体力学と生命発生機構学(Entwicklungs mechanik der Organismen)があり，最後に我が国の三木成夫の生命の形態学がある[16]．この三木の仕事の実験的検証を行ったのが本稿の著者の西原である．これを順次解説する．

(1) 分類学を完成させたLinneは脊椎動物を定義するとともに，哺乳類という宗族を定義して独立部門とした[17]．Linneに従うと，哺乳類とは哺乳のシステムを持つ動物で，このシステムは長ずると咀嚼を行う歯と顎に換わる．咀嚼機械が哺乳類の本質的特徴器官なのである．

(2) Goetheの形態学Morphologiaでは動物には原形があり，その原形が変化して様々な種の動物に変容し，ついにヒトに至るとしている．そしてMorphologiaの究極の目的は形態変容の法則性の解明にあるとしている．これは進化学のことを意味するものである．

(3) Lamarckの用不要の法則は「動物哲学」に以下のように記されている．

第一法則

発達の限界を越えないすべての動物において，ある器官のいっそう頻繁で持続的な使用は，この器官を少しずつ強化し，発達させ，大きくし，そして，これに比例した威力を付与する．他方，しかじかの器官を常に使用しないと，この器官は知らぬうちに弱まり，役に立たなくなり，しだいにその力を減じて，ついに消滅する．

第二法則

ある種族が久しい以前から身をおいて来た状況の影響によって，従って，ある器官の優先的な使用の影響，および部位の恒常的な不使用の影響によって，自然が固体に獲得させた，あるいは失わせたあらゆる物は，獲得されたものが雌雄に共通であるか，新しい固体を生み出したもの達に共通である限り，生殖によって，新しく生まれた固体に維持される．

この法則の実体は，同じ系統のハードの情報系の遺伝子を持ったまま，行動様式というソフトの情報系によって生命体の形は変えられるが，このソフトの情報系を伝えさえすれば生殖によって次代に変形を伝えることができるというものである．

(4) Haeckelの生命反復説は"Ontogenie recapitiert Phylogenie"．という三語とも彼の造語になる短文で法則性を示したものである．系統発生の何が個体発生で反復するかと言えば，Linneが哺乳類を定義した咀嚼器すなわち内臓頭蓋の顔が繰り返されることを彼はこの造語で示した．しかし実体は，先に進化の表現形で示した，形態系(Caput＝顔・頭)，器官系，機能系，代謝系，免疫系，リモデリング系，遺伝子系の7つの系が大略繰り返されることが著者らにより明らかにされた(Genuine-Biogenetic Law : Nishihara-Haeckel)．

(5) J. Wolffは骨の外科手術療法を通して骨の形態が長期の反復性の機能に従って，その機能に適した形に変わることを見いだして，骨のfunctional adaptationのWolffの法則を1893年に提唱した．これは医学では生理学的法則性として，ほどほどに重要視されたが，生物学ではほとんど黙殺された．脊椎動物を定義する臓器がアパタイトの骨であるから，骨の生体力学的特質は形態進化の法則性の要をなすのであるが，20世紀の医学者と生物学者は，これに全く気づかなかった．20世紀には脊椎動物の定義や哺乳類の定義を承知した研究者が不在の時代であった．そんな古い古典的研究は，時代遅れだったのである．しかし定義も知らないで世界中で研究したから，脊椎動物の生命科学は混迷を極め，医術も一部を除き病気が直しにくくなってしまった．これはヒトが脊椎動物の一員で，その中の哺乳類に属することを忘れたためである．この基本を忘れれば，色々と体に障害が起こるが，これを治せなくなってしまったのである．Wolffの法則は，体の使い方次第で遺伝子で決まっている体の概形が二次的に変形することを意味する．つまり，これはハードの情報系の遺伝子による概形が，ソフトの情報である体の使い方一つで変わってしまうことを意味する．体の変形が一代限りのものをWolffの法則と呼び，代を隔てたソフトの情報系による変形の伝達がLamarkの用不用の法則であることに既にお気づきのことと思う．

(6) Rouxは，彼の師匠のHaeckelの生命反復説が今世紀に入り，幼形進化が当時この学説で説明できなかったために殆ど黙殺されたことから，進化と発生の真の原因を究明する目的でBiomechanikと生命反復説(Entwicklungs mechanisms der Organismen)を創始した．これは，Rouxが既に当時発生と進化に重力が本質的な役割を演じていることに気づいたためである．

(7) 1965年に三木成夫はHaeckelの反復説をRouxの生体力学すなわち重力との関連で特に造血臓器の進化における変遷の過程の研究を通して検証した．続いて脊椎動物の進化を形態系はもとより，器官系，機能系，代謝系，免疫系について，系統発生における実際の動物の進化と個体発生の脈管系の発生との関連で形態学的にHaeckelの反復説を検証した．

(8) 三木の形態学的手法によるHaeckelの検証を著者の西原は，実験進化学手法を開発して，現生の動物を用いて実験的に検証した．その結果脊椎動物の進化は，紛れも無く環境因子とよばれる広義の生体力学の主導で起こる事が明らかとなった．脊椎動物の第二革命の上陸劇では，海中との環境因子の差は二点にある．第一は，水中から空中に出たことと，第二は，陸上を這ったことである．つまり水による鰓呼吸から空気呼吸への変換で，これと同時に見かけ上1/6Gの海水から，1Gの陸上への変換が起こったのである．脊椎動物の進化は，重力，光，放射線，温度，気圧，酸素，栄養，食物を含めたPhysicochemical stimuli(広義の生体力学)に対する力学対応により，用不用の法則に従って起こるのである．第二革命の時は，この力学対応は重力対応と水呼吸の空気呼吸への変換の二種類である．従って1Gの動物を2Gで飼育したり，

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

水中動物を陸棲にして重力対応の研究が可能なのである. 脊椎動物の第二革命の上陸劇における力学対応の実態を詳細に観察する前に, 大雑把にこの宗族の系統発生におけるエポックとなる革命期を知っておく必要がある. そこで, 次章で簡単に革命劇を観察しておこう.

3. 脊椎動物の進化の革命期

人類の誕生に至る脊椎動物の進化の革命期は五つある. オルドビス紀の「原初の革命」の鰓腸の獲得(西原克成)[19], シルリア紀の「第一革命」の歯と顎の獲得, デボン紀の「第二革命」の上陸劇, 「第三革命」が哺乳のシステムの獲得である(図1). 「第四革命」は, 従来, 直立二歩行の獲得で人類が誕生するとされている. 直立二歩行は, トレーニングで猿でも可能であり, 直立させると足の骨まで力学対応してヒトと同じになる. 従って人類に至る革命の起こった原因は多分直立二歩行ではなくて言語の習得であろう. これにより概念思考が可能となると自動的に大脳化が始まるからである.

「革命」とは天の命を革めることである. 従って, 進化学における革命期とは遺伝子で定められている形を, 何らかの原因に基づいて同じ遺伝子のままで, これまでとは違った形に変化させる時期をいう. 哺乳類に至る四つの革命期が重要であるので詳述する.

原初の革命は, 翼鰓類が鰓孔を腸管に取り込んで原索類が誕生し, さらにこれが幼形進化するまでの期間を指す. 触手による捕食と共に皮膚で呼吸していた触手に存在する呼吸上皮(鰓腸)が口腸による濾過捕食の成立に伴って腸管粘膜に移動し, 鰓腸呼吸が始まる. ここに原索類のムカシホヤが誕生する. マボヤの表皮には, 既に棘魚類やサメの楯鱗の原型とも言える三錐歯様の皮歯類似の軟骨物質があるから, ムカシホヤが幼形進化すると魚形の原索類が誕生することは事実と考えてよい(図2). ここまでが原初の革命である. 濾過の受動的捕食から口を使う能動的捕食でリン酸が栄養として腸から吸収されると, 軟骨の皮歯がアパタイト化し同時にコラーゲンの内骨格が軟骨化する. これが脊椎動物の第一革命で, 約四億三千万年前のシルリア紀

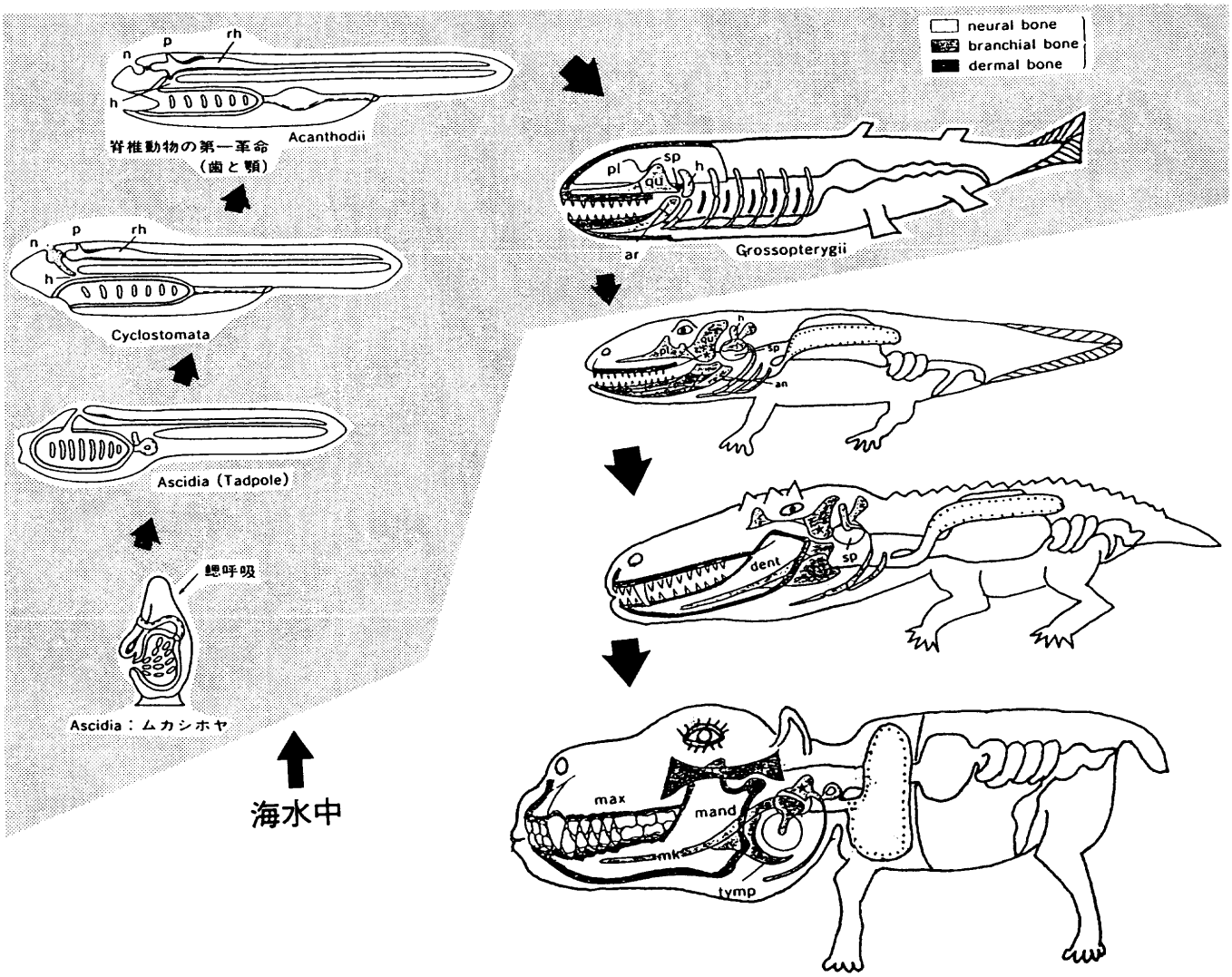


図1 脊椎動物の哺乳類に至るまでの革命期
1. 原初の革命—ホヤの誕生 ..... 鰓腸の獲得(腸捕食による力学対応)
2. 第一革命—棘魚類の誕生 ..... 歯と顎の獲得(頭進による重力対応)
3. 第二革命—両生類の誕生 ..... 肺と骨髄造血の獲得(上陸による重力対応)
4. 第三革命—哺乳類の誕生 ..... 咀嚼器の獲得(咀嚼による力学対応)

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

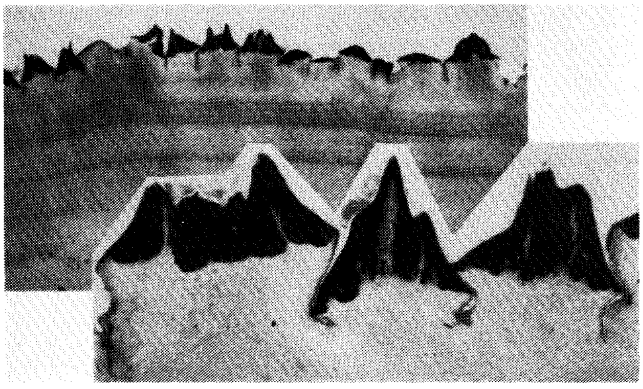


図2-A　ホヤ肌(マボヤ)の軟骨物質の三錐歯
上は弱拡大，下は強拡大

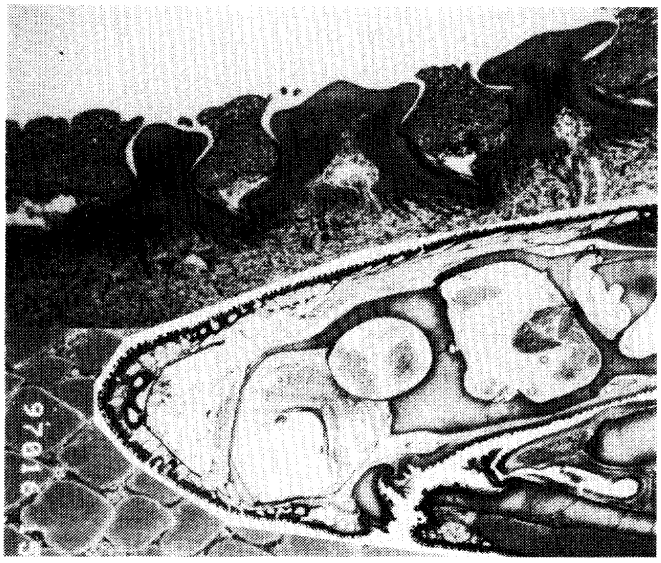


図2-B　さめ肌(楯鱗)の三錐歯(上)とそのSEM像(左)と頭の切片標本(右)

の歯と顎の獲得による棘魚類の誕生である．デボン紀に起こる次の革命は，水中からの「上陸劇」である．この時の生体力学的対応によって，鰓呼吸から肺呼吸への変換が起こった．また，この時，「軟骨性内骨格の骨化」が生じ，脾臓の腸管造血巣が骨髄腔に移動する．同時に主要組織適応抗原の遺伝子が作動する．これらは重力が引き金となった遺伝子の自動的発現による(西原克成　1997)．これが第二革命である．次いで起こる革命が「哺乳類の誕生」である．この哺乳類の最大の特徴は，哺乳のシステムにあり，この哺乳のシステムは成長と共に，消化を担う咀嚼器官へと移行する(Linne)．このシステムの獲得が第三革命と言われる．哺乳類を定義する臓器は咀嚼の効果器官，すなわち釘植歯(セメント質を持ち，靭帯結合する哺乳類の歯)のみである．小動物における「恒温性の維持」というエネルギー代謝の革命も食物の咀嚼により誘導されたものである．この進化の過程を見れば力学対応による必然の変化が観察され，突然変異による変化は全く認められない．つまり同じ遺伝子のまま体の使い方の変化ですべてが変わってしまうのである．サメの楯鱗は，陸に上がるとカルシウム不足でカルシウムの抜けた歯になる．これが毛髪である(図3)．

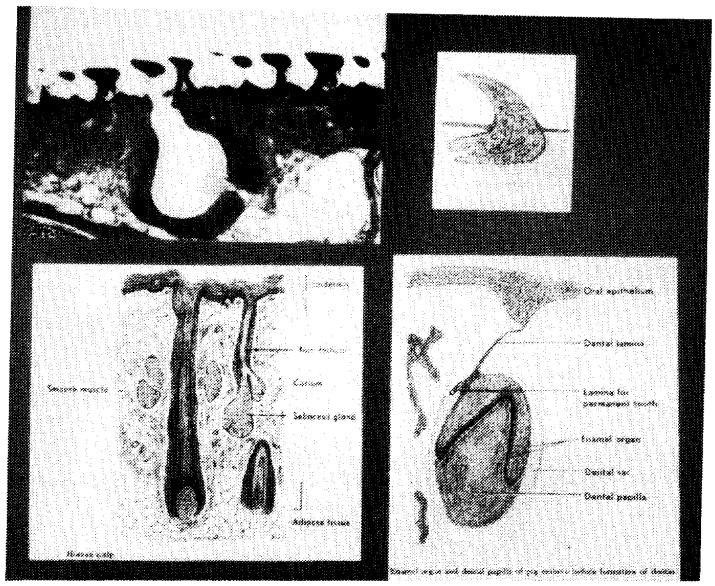


図3　サメ肌(上)と毛髪(下左)と哺乳類の歯(下右)
海水中で呼吸とともに吸収されるカルシウムは，皮膚に皮歯(楯鱗)として排出されるが，上陸の空気呼吸で過剰のカルシウムが入って来なくなると，同じ遺伝子でカルシウムの抜けた歯を作る．これが真獣類の体毛である．口の中の歯は，始終力学対応して骨とともに少ない石灰分でも化骨して残る．

このように動物界の精鋭である哺乳類に到達する過程における，原初・第一・第二・第三の四つのエポック(革命劇)のすべてが，顎・口腔・鰓腸系の器官に発生している．この部分のまとまった臓器が内臓頭蓋の顔と頭部と頚部である．脊椎動物の形の進化は顔でしか語れないことがこれで分かる．

動物は植物と異なり，外界を感じて動くことを特徴としている．感動は心の始まりである．何を感じて何に向かって動くかと言えば食物と生殖を腸管が求めて体壁系筋肉を使って駆動する．動物は腸管の担体(vehicle)で体壁系がこれを担う．この宗族(脊椎動物)の進化が，摂食ー吸収・生殖という二種類の「植物系機能」を巡る運動，つまり生体力学対応を主導として進行したことが，これで分かる．

ホヤの幼形進化までが原初の革命であるが，これは，マボヤを用いて人工海水にガドリニウムを入れたり，カルシウムイオン濃度を低くすると人為的に有尾のまま変態を起こすことができる(西原克成　1996)．この場合の変革をおこす原因は海水中のイオン濃度ということになるが，これが環境因子であり，広義の生体力学因子ということになる．あるイオン濃度の状態で，尾が短縮するアポトーシスの遺伝子の引き金が引かれなくなり，有尾のまま時期がくると消化器部分が変態すると考えられるから，これも広義の用不用の法則ということになる．眼の機能は光を引き金として発現する．これも眼(脳の一部)から大脳皮質に至る一連の外胚葉由来の神経細胞系の一連の遺伝子の発現が，光という力学刺激を受けてから起こるのである．従って，暗闇の洞窟に入った動物は，一定期間経過すれば必ず視力を失うが，眼の構造も遺伝子も荒廃はするが，数億年間は保持されるのである．この荒廃の仕方がまさに Neo-Darwinism に従って，生殖

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

細胞の眼に関連する遺伝子の突然変異によるから，構造も遺伝子も少しずつ荒廃しながらも驚くほど長期に保存されるのである．突然変異は，進化では荒廃する時のみに有効に作動する．これは用不用の法則の不用のときに数代で眼の機能は失われるが，眼が本当に荒廃してこれが遺伝現象に取り込まれるには，生殖細胞にまれに起こるコピーミスなどによって突然変異が作動するのを待たねばならないからである．暗闇という環境因子のソフトの情報系さえ伝えれば，数代で眼は機能を失うが，遺伝形質にまで取り込まれるには生殖細胞における時間の作用つまりコピーミスを待つほかないのである．行動様式(ソフトの情報系)を変えると形や機能が変わるが，このソフトの情報系を次代に伝えさえすれば，形も機能も変えて伝えられる．しかし，遺伝子の変化は，これらの変化に後追いして，幾代にも渡るコピーミスによるリモデリング(生殖)の後にはじめて少しずつ少しずつ遺伝子に取り込まれることになる．従って暗闇に入ってから100万年や200万年では，生後すぐに光を与えれば，眼は少しずつ回復させることができる．これを何百代も繰り返して眼を使えば，用不用の法則に従って，眼はどんどん機能が向上する．そしてこれを一千万年くらい繰り返せば，環境変化に従属して喪失した機能も，向上した機能も，この変化を後追いして遺伝子がコピーミス等で無目的に変化し，その結果として遺伝子に取り込まれて，生まれながらにして眼の良い動物ができるのである．

4．脊椎動物の上陸劇における生体力学 —ライフサイエンスにおける重力の再発見

脊椎動物の進化が，広義の生体力学を主導として起こることが明らかとなったので，次いで上陸劇の際に起こる生体力学的変化の実態を述べる．

著者らは，2年半前から油壷のマリンパーク水族館において，進化の各ステージの脊椎動物を代表する動物を用いて実験進化学研究を行っている．サメの組織免疫学研究では，サメを陸上で手術を行っているが，これを通してデボン紀に原始のサメが上陸して原始両生類が生まれたことを実感として認識した．今，サメを1年がかりで陸生(両生類型)に進化させる試み(実験進化学)を行っている．アフリカツメガエルは，慎重に飼育すれば，容易に半年間ほど陸棲で育てることができる．サメを麻酔薬を含んだ海水に移して，陸上で手術を行う時に観察されることは，まず麻酔入り海水で，サメが大暴れをすることである．暴れると血圧が上昇する．そうすると，鰓で空気呼吸が可能となるのである．原始脊椎動物は，鰓心臓として鰓の動きに従属して，つられて動いた脈管が心臓となっている．浮力に相殺されているから血圧は殆ど不要であり，麻酔を醒ますときは鰓と尾を動かして従属的に心臓を動かすのである．サメにアフリカツメガエルの筋肉を移植すると拒絶反応が起こらないで生着するが，これは，サメが主要組織適合抗原を持たないためである．この手術のときに，筋肉を大きく切開しても殆ど出血が見られない．これは血圧が極めて低いためである．この血圧では陸では生きられないから，デボン紀に干上がった汽水から，海を求めて陸に踏み迷ったときに，どんな事が起こるか考えてみよう．先ず，原始のサメは鰓による空気呼吸が無理なために窒息しそうになると，苦しまぎれに大暴れをしたらしい．これで血圧が上がると，鰓で空気呼吸が少しずつできるようになるのである．鰓は最後端の鰓弓軟骨のない咽頭部が，のたうち廻るついでによく動き，やがてここが袋状になる．これが肺である．動物には意志があるから，苦しくてものたうち廻らないサメも出てくる．そうすると，この安静にしたサメは血圧を上げられないために，意志故に死んでしまうのである．ここに自然淘汰がかかる．血圧が高くなると，サメの体に何が起こるのであろうか．先ず，血圧が上がると，体の中を流れる血液と血管壁をはじめとする周囲臓器との間に生ずる流動電位が高まるのである．これによりアパタイトの存在下で軟骨を形成していた間葉系細胞の遺伝子の引き金が，流動電位によって引かれ，その結果作動し，遺伝子発現が起こるのである．このようにして内骨格の軟骨が化骨して骨髄腔が形成される．骨は液性の流動に従って形成されるから，液性流動のないよどみの部分には骨ができないが，ここが骨髄腔となる．生体は液体でできているから，体に加えられた生体力学刺激は，すべて液性の流動に翻訳され，これがさらに流動電位(streaming potential)に変換されると，この電位とリン酸・カルシウム等栄養との複合で，各器官を構成する細胞の遺伝子の発現が起こり，それで各種の機能が維持されるのである．骨では，造血と造骨が共軛してリモデリングが起こり，形も力学対応して変わる．上陸劇では，こうして形成された骨髄腔に脾臓で行われていた造血が移動する．これは，骨髄腔の方が，白血球，赤血球，リンパ球の複製に必須の核酸の代謝が脾臓より容易に行われるためである．骨髄腔を囲む骨はヒドロキシアパタイトつまりリン灰石でできているため，DNAやRNAの複製に必須のリン酸とカルシウムイオンが多量に存在するからである．この重力の作用で同時に主要組織適合抗原や血液型物質を産生する遺伝子の引き金が引かれ，それらの蛋白質や糖蛋白が形成される．従って胎児のembryoの世界と原始脊椎動物は，ともに主要組織適合抗原が無く，血液型もABO型で見ればO型のみである．まさにHaeckelが提示した生命反復説は，形のみならず骨髄造血から主要組織適合抗原，血液型から代謝に至るまでことごとく胎児の世界と原始脊椎動物の世界は共通であった．このことに気づくのに，Haeckelの法則性の発見後150年を要した．以上が重力の作用による局所細胞の遺伝子発現で起こる進化である．

現生の原始脊椎動物に進化を先取りして，陸生で起こる事態を筋肉内に人工合成物で意図的に起こせば，進化で新たに生じた組織・器官を誘導することが可能である．これを実験進化学と呼んでいる．この手法で人工的に骨髄造血巣をハイブリッドタイプでアパタイトチャンバー内に誘導する試みを哺乳類(日本猿・犬)で行って第32回日本人工臓器学会においてオリジナル賞の一位を受賞した(1994)[2]ほかに，セメント質と歯周靭帯を誘導することができる人工歯根も世界にさきがけて開発した(1988年)[20～23,24]．この手法で自家肝臓・膵臓用のアパタイト人工臓器用動脈用チャンバーを開発し良好な成績を得ている(1995年)[25]．また，胸部外科のdynamic cardiomyoplostyは，約30年前から研究がスタートしている．

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

広背筋の筋肉細胞にペースメーカーで心臓の電流を通すと，横紋筋が心筋のような運動に長期的に変換する．3か月の時間を必要とするが，これはメッセンジャーRNAの発現の位置が変化して機能が固定するのに必要な時間である．平滑筋も心筋も横紋筋もともに共通した間葉系細胞の遺伝子の発現でできるが，この分化のコントールは電流の強さに依存した反応であった．

上陸劇で起こるもう一方の著明な変革，すなわち進化は，呼吸の媒体が水から空気に換わることによって起こった，外呼吸システムの変化すなわち鰓呼吸から肺呼吸への力学対応である．脊椎動物の第二革命の陸上劇では，原始脊椎動物を取り巻く生活環境のうち重力と空気という二つの本質的に重要な外的作用因子が同時に抜本的に変換している．従来この二つを明確に分析して進化のメカニズムを解析したことが無かったために150年間迷宮の進化論のみが展開したのである．水中の酸素は，液体が半透膜で接していれば溶解濃度の高い方から低い方に移行するが，空気と液体とでは，酸素の媒体が異なるから，溶解濃度が単純に比較できない．そこで酸素の取り込みに作用するのが，血圧の差すなわち脈圧である．元来血液の循環を担当する心臓の動きは，鰓腸の蠕動運動にその源がある。これは、脊椎動物の原初の革命で獲得された平滑筋の運動である．心臓のポンプ作用は水中では強大である必要がない．浮力に相殺されて1/6Gでは，体重は殆ど無視できるから，尾と鰭と鰓を動かせば，従属的に心臓脈管系を血液・リンパ液が巡るのである．陸に上がれば，からだの周囲は大地以外は空気であり、大地の方向には地球の磁場の0.5ガウスと重力の1Gがかかるから，生きる条件として体重が大きく物を言う。自身の体重で体がつぶされてペチャンコになると死んでしまうのである．この体重に抗して生きる力学対応が血圧の上昇である．第二革命では，窒息しそうになってのたうち廻るうちに，サメの血圧が上がって，血流が保たれてペチャンコにならずに生きるすべが得られるのである．重力に抗して生きるすべが実は血圧の上昇にあり，これにより同時に空気呼吸も可能となるのであるが，これはこれ迄誰一人考えたことがなかったことである．進化のステージの変革の背後にこのような力学的変化が実態として把握されていればNeo-Darwinismの空論は容易に中央突破できたはずである．しかしLamarckを詳しく研究すると，彼は既に内的要因という表現でこのような変化を当然のこととして把握していたらしい．空気呼吸に必要な脈圧は，水銀柱で10～20mmの高さくらいらしい．これは牛の心臓をとめてcircular式の人工心臓を廻すと，10～20mmHgの脈圧が発生する(能勢之彦)ことから分かる．ここで本稿の主題の上陸による力学対応とは，重力対応としての血圧の上昇であることが初めて明示されたのである．この血圧の上昇は，呼吸の障害(鰓による空気呼吸で窒息しそうになる)でのたうち廻ることによって得られたものである．この上昇血圧で呼吸の障害にbreackthroughが拓かれた．この力学対応で脊椎動物の基本体制が革命的に変革することになる．前述したが，革命とは天の命を改めることであるから，進化の過程でこの用語を用いるときには，遺伝子で決められた概形が外的(環境因子)ないし内的要因(体の使い方)により，従来のものから変化することをいう．進化では革命期のこれらの変化を従来から，機能やシステムを獲得すると表現してきた．20世紀に入って，「獲得した形質は遺伝してはならない」という申し合わせがいつの間にかできた．進化の現象と申し合わせを統合すると，進化で起こった新しいシステムは遺伝してはならないことになるのだが，これまで誰もこの矛盾を指摘した人が20世紀にはいなかった．獲得形質が遺伝しないことを検証したとされるWeissmanという人の実験ほど愚かしいものはない．ネズミを22代に渡って1600匹の尾を切り続けて，これが遺伝しないとしたのである[26]．尻尾切りは外傷である．進化で起こる獲得の状態は機能による．つまり用不用とは，外的要因(環境因子)でやむを得ずこれまでに無い機能を負荷するか，内的要因(新しい体の動かし方)によって意志の力や個体の好みでこれまでとは異なる体の動かし方(機能)をすることなのである．これらが現代語でいえば環境因子でありソフトの情報系である．これにより局所の細胞の遺伝子の引き金が生体力学で引かれて，それで機能が発現するのである．外傷はネズミの機能とは全く無縁に突然不条理にメスが襲ってくるのである．局所の細胞の遺伝子の機能発現の暇があろう筈が無い．ソフトの情報系さえ伝えれば，新しい機能は代を隔たっても伝えられるから，それで変形も伝えられる[8]．外傷に関するソフトの情報系は，ネズミの生活圏とは全く別個の，愚かな研究者Weissmanの頭の中にある訳であるから，この実験ではネズミの行動様式は全く関与していなかったのである．これでは用不用の法則は作動すべくも無い．ましてWeissmanの行動は，ネズミにとって獲得した形質であろうはずもない．発生過程で生ずる包皮などが機能しながら外傷で破れても，これは，何世代経っても包皮が無くなることはないのである．行動様式と無縁だからである．臍帯も外傷でちぎれるから，哺乳類が誕生してから約一億年しても臍帯が無くなろう筈はない．大学の教養過程で得々と獲得形質が遺伝しない証拠として処女膜(実際には膜ではない)を例に挙げていた老教授がいたが，これも外傷と用不用の法則を混同した誤りである．ラマルクの用不用説は「獲得形質の遺伝」として後の世に誤訳されたが，実際には，用不用の法則の実体は，広義の生体力学(physicochemical stimuli)で形が変わり，その力学を伝えさえすれば次代，次々代に変形を伝えることができるとのみ言っているのである[8,18]．遺伝ではなくて，見かけ上の遺伝すなわちソフトの情報付きでのみ変形が伝えられると言っているのである[27]．ラマルクの著作の翻訳を詳しく読むと，このことが正確に記してある[18]．

水呼吸から空気呼吸の変換で，この宗族の基本体制が革命的に変革するのは第一は内臓腸管造血系の骨格系臓器の骨髄腔への移住であり，第二が内臓系鰓腸呼吸筋の運動による内臓系呼吸から，体壁筋群による骨格筋系の呼吸への転換である．何故こんな致命的な構造欠陥が生命体の最も本質的な二つの呼吸系に起こったのであろうか？　何故細胞呼吸のジェネレーターの造血系と，もう一方のエネルギー代謝に本質的な酸素の取り込みシステムの自律的内臓平滑筋が，意志の力でしか動かない体壁系骨格筋に移動してしまったのであろうか？　このなぞは比較解剖学と機能解剖学によって生体力学の視点から容易に解く

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

ことができる．図4を見れば分かるように鰓腸の鰓弓筋には内臓骨格軟骨の鰓弓が存在し，この軟骨の為に空気呼吸がしにくくなったらしい．鰓腸の最後端の鰓弓のない部分が，のたうち

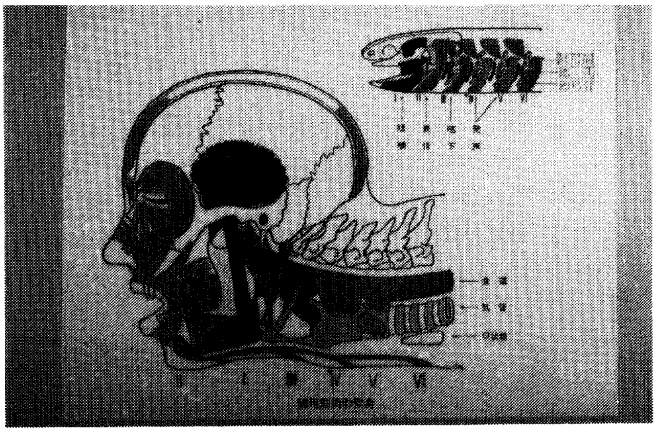


図4　原始魚類サメの鰓腸筋に由来するヒトの筋肉群
ヒトの顔は鰓腸の平滑筋が脱腸して皮骨の外に露出した内臓呼吸筋の変化したものである（三木成夫原図）．

廻ってよく動いたから，ここで咽頭呼吸をして，ここがすぐに風船のようになったらしい．猿や類人猿にも咽頭部や胸廓に空気嚢を持つ哺乳類がいることから容易に想像される．一方カエルやサンショウウヲなど淡水産の両生類は発生の途中で外鰓を生ずるが，これは鰓腸の呼吸粘膜を早々に鰓弓部から脱腸させて外に向けて，鰓弓の付け根の筋肉で外鰓を動かして呼吸するようになったと考えられる．この外鰓を覆う蓋ができたのが硬骨魚類かもしれない．サンショウウヲやイモリは手や足が切れても再生力があるところを見ると，サメや硬骨魚類や爬虫類より遥かに原始性を保存している．また爬虫類と哺乳類の個体発生の途上で外鰓を生ずる物がいないところから考えると現存の両生類は進化の袋小路に入った生きた化石と考えられる．海産のサメがいきなり上陸した系統がイクチオステガから爬虫類を経て哺乳類になり，淡水から水陸両用生物を経て外鰓を持つ系統は，肺呼吸を経験してから再び水や海に回帰して，一方が硬骨魚類へと進化し，もう一方がカエルやサンショウウヲに進化したのであろう．現世の両生類は，デボン紀の状態のまま retric として現在まで旧体制を保持しているということであろう．哺乳類の一部が海に回帰すると，行動様式が極めて魚類に近くなる結果，当然形は Wolff の法則に従って魚類に似てくる．しかし構造は全く異なる．

鰓腸筋を置き忘れて肺が体壁筋で動くようになると，爬虫類の頃は，鰓弓筋はほとんど機能を失ってしまうが，原始哺乳類に至るとこれが咀嚼筋・表情筋・嚥下筋・発声筋に使われるようになり横紋筋になってしまう．することがなかった鰓腸筋が，原始哺乳類で咀嚼筋に使われるようになると，よほど嬉しかったと見えて咀嚼筋が生まれたときの十倍ほどに発育する動物が出てくる（ジャコウネズミ）．生後ただただシコシコと咀嚼運動をして用不用の法則に従って発達したのであろう．爬虫類以後は肺呼吸筋が横紋筋の骨格系に移るという構造欠陥が生ずるが，これが進化の頂点を極めた人類では，しばしば新生児が突然死したり，俯せ寝だけで死んでしまうことになる．大人でも呼吸による脈圧（10～20mmHg）に影響するような一定の風の扇風機の下で眠ると呼吸をしながら窒息してしまうことがある．この進化を見れば，突然変異と自然淘汰と適者生存の関与する余地の無いことは一目瞭然としている．ここには，力学対応があるのみであり，対応に従って場当たりで形が変わる．この現象が，従来進化と呼ばれていたのである．対応を誤ったものは死滅するのみなのである．

5．生命科学の統一理論

今全盛を極める分子生物学は，若い物理学者によるコールドスプリングハーバー研究所で行われた細菌とファージの系を用いた遺伝現象の解析に始まる．この系が重力を初めとする力学を無視できる系であったことに気づくのに 50 年の歳月を要した．細菌やファージは 15,000G でも生きているが，多細胞生物の脊椎動物は 5G ですぐに死んでしまう．脊椎動物の第二革命の上陸劇を，今世紀に入って Lamarck の用不用の法則と Roux の洞察に基づいてサイエンスしていれば，地上にあまねく存在していると誤解された地球の重力 1G の進化現象に果たす重要性に 100 年早く気づいたはずである．海水中に生活する動物にはもとより 1G は作用するが，浮力に相殺されて見かけ上 1/6G となると，自重が殆ど無視できる世界で生きることになる．力学作用は頭進による主応力線方向と地球の重力の 1G との合成ということになり，形の進化は泳ぐスピードと，生活する時間の幅で決まる．従来のライフサイエンスには，信じられない事だが，重力を始めとするエネルギーから physicochemical stimuli を含む広義の生体力学が一切入っていなかったのである．それで進化も免疫も骨髄造血の謎も迷路（ラビリントス）に踏み迷ってしまったのである．Newton の発見した万有引力の法則が生命科学に根付いていなかったとは信じがたいことである．Newton 力学の基本すら学問の中に根付いていないのだから，Einstein レベルの subtle エネルギーという物質が生命科学の中に入っていようはずもない．エネルギーと質量のある物質は等価であるという 20 世紀のサイエンスを導入すると生命科学の統一理論ができあがり，我が宗族三つの謎の大略が解け，骨髄造血の発生の鍵が解明され，これにより力学対応進化学が樹立されるのである．同時に迷宮の免疫学（自己・非自己の免疫学）は単に組織免疫のことのみを指していたことが明示され，免疫系の現象は「細胞レベルの消化・呼吸・代謝」として統一的に解明されることになる．この系の障害をこれ迄免疫病と呼んでいたことも明らかとなるのである．その結果生命科学に関しては複雑系が不要となることが容易に理解される．

本研究は，平成 9 年度文部省科研費重点領域（1）創発システム（領域番号：264）「新しい進化学理論の実験による探索　－脊椎動物の力学対応進化学の実験系の確立－」と同基盤研究（A）（1）（課題番号：09309003）「人工骨髄の開発・実用化と免疫学の新概念確立に関する研究」の助成による．

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

引 用 文 献

1) 西原克成：人工骨髄の開発に関する研究，平成 5 年度科研費研究成果報告書,(1993)
2) 西原克成：ハイブリッド型人工骨髄造血巣誘導へのアプローチ，人工臓器，24 (1) 6-12, (1995)
3) 西原克成，丹下　剛，松田良一，田中順三，広田和士，樺沢　洋：人工骨髄造血巣の誘導実験と新しい免疫系の概念　—原索類・円口類・軟骨魚と哺乳類の消化系・造血系の研究比較—，日口診誌，9 (2), 217-231 (1996)
4) 西原克成，田中順三，広田和士：実験進化学手法による力学対応進化学の検証，日口診誌，9 (2), 232-249 (1996)
5) 西原克成，丹下　剛，松田良一，瀬野久和，梁井　皎，藤井和子，田中順三，広田和士：実験進化学手法によるハイブリッド型人工器官の開発と新しい免疫学の概念，人工臓器，25 (3), 753-758 (1996)
6) 西原克成：骨格系生体材料研究の最近の進歩と生命科学の統一理論　—バイオマテリアルによる脊椎動物の謎の解明に関する研究—，人工臓器, (26) 4, 840-848 (1997)
7) 西原克成：形の進化と顔　—生命情報系の暗号解読—，第 1 回日本顔学会大会予稿集，47 (1997)
8) 西原克成：重力ラマルキズム　—力学対応進化学の検証—，最新進化論，学研 (1997) 印刷中
9) Wolff. J : Ueber die innere Architektur der Knochen und ihre Bedeutung für die Frage vom Knochenwachstum, Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medizin, Virchovs Archiv, 50, 389-453 (1870)
10) Koch, J. C. : The law of bone architecture, J. Am. Anat, 21, 177-298 (1917)
11) Kummer, B : Biomechanics of bone : Mechanical properties, functional structure, functional adaption, Biomech, 237-272 (1972)
12) Huiskes, R., Weinans, H., Grootenboer, H. J., et al : Adaptive bone remodelling theory applied to prosthetic design analysis, J. Biomech, 20, 1135-1150 (1987)
13) Cowin, S. C. : Wolff' Law of trabecular archtecture at remodeling equilibrium, J. Biomech. Engng., 108, 83-88 (1986)
14) Fyhrie, D. P. and Cater, D. R : A unifying principle relating stress to trabecular bone morphology. J. Orthop. Res., 4, 304-317 (1986)
15) Enlow, D. H. : Wolff's law and the factor of architectonic circumstance. J. Am. of Orthodontics, 54, 803-822, (1968)
16) 三木成夫：生命形態学序説　—根源形象とメタモルフォーゼ—，シェーマ原図 29，うぶすな書院 (1993)
17) 今泉吉典：分類から進化論，72-121，平凡社 (1994)
18) M. バルテルミ＝マドール：ラマルクと進化論，横山輝雄，寺田元一(訳)，106-126，朝日新聞社 (1993)
19) 西原克成：顔の科学，日本教文社 (1996)
20) Nishihara K, Kobayashi T, Akagawa T : Studies on periodontal tissue around a new type hydroxyapatite artificial root. Bioceramics, 3, 171-181 (1991)
21) Nishihara K, Akagawa T : Comparative studies on periodontal tissues around new type artificial roots made of zirconium oxide, titanium and hydroxyapatite, Phosphorous Research Bulletin, 1, 179-184 (1991)
22) Nishihara K, Akagawa T : Clinical applications of hydroxyapatite artificial root of fibrous tissue attachment type, Bioceramics, 4, 223-230 (1991)
23) Nishihara K, Jiang L, Kobayashi T, Yanai A, Nakagiri S : Studies on functional effect of hydroxyapatite artificial root upon surrounding tissue -new concept for bone-bioceramics jointing system-, Bioceramics, 5, 333-342 (1993)
24) 西原克成，立川　統，田中順三，広田和士：実験進化学手法によるセメント質誘導型のアパタイト人工歯根の開発，顎顔面バイオメカ，2 (2)，59-70 (1996)
25) 西原克成：アパタイト利用による高度な肝臓器官培養法の試み，組織培養工学，23 (8)，315-319 (1997)
26) 浅間一男：生物はなぜ進化したか，96-174，講談社 (1996)
27) 西原克成：Wolff の法則と脊椎動物の進化様式　—骨髄造血の意義と面 Experimental Evolutionary Research System 系の進化—，油壺シンポジウム報告書，2，51-56 (1996)



西原克成（にしはら　かつなり）

1971 年東京大学大学院(医)修了．同年学位受領(医博)．現在，東京大学医学部口腔外科講師．科学技術庁無機材研客員研究官，順天堂大学形成外科・北海道大学・九州大学大学院・広島大学大学院非常勤講師．顎顔面バイオメカニクス学会理事，日本バイオマテリアル学会評議員，日本口腔インプラント学会評議員．アート研究会代表，油壺シンポジウム代表．第 32 回日本人工臓器学会にて，人工骨髄造血巣の誘導の研究でオリジナル賞 1 位受賞．口腔科臨床医学，バイオメカニクス，免疫工学，免疫学の新体系，力学対応進化学．実験進化学手法により人工骨髄・人工肝臓・人工膵臓の開発に従事．

【著書】　「顔の科学」(日本教文社)，「呼吸健康術」(法研)

NII-Electronic Library Service