

〔綜 説〕

下等脊椎動物における Ca ホメオスタシス

内分泌学的観点より I.

Calcium Homeostasis in Lower Vertebrates

—An Endocrinological View— I.

小黑千足・山根重孝*

(Chitaru OGURO and Shigetaka YAMANE)

富山大学文理学部生物学教室

昭和46年11月1日 受領

脊椎動物は種によって多少の差はあるが、全網を通じて血清中に 10 mg/100 ml 前後の Ca を含む。何らかの外的または内的原因でその濃度が一時的に変化しても、その動物が正常である限り間もなく元の濃度に戻ることが古くから知られている。このような血清 Ca 濃度の恒常性とそれを保つ機構のうち内分泌的要因については、哺乳類および鳥類で次第に明らかになってきた。この解明の経過と最近の知見については Gaillard, Talmage & Budy (1965), Greep (1963), Greep & Talmage (1961), Talmage (1967), Urist (1967) らの綜説にくわしいが、以下ごく簡単にアウトラインを説明しておきたい。

副甲状腺 (PT) より血清 Ca 濃度上昇誘起物質パラトルモン (PTH) が分泌される。PTH の作用機序についてはいくつかの説があったが、現在は主として骨の破骨細胞 Osteoclast を増加・活性化することにより、硬骨組織から血清中に Ca の遊離を促進すると考えられている。しかし、PTH が他の部分特に腎臓や結合組織にも作用している可能性を全く否定する訳にはいかない。一方、その発見と分泌部位に関して現在の知見に落ち着くまで、迂余曲折はあったが血清 Ca 濃度低下物質が発見され、カルシトニン (CT) と名づけられた。哺乳類の CT

については本誌に高杉の綜説 (1967) がある。非常に大まかにいうならば、PTH は PT より、CT は主として甲状腺 (TH) または Ultimobranchial body (UB) 中に存在する C 細胞より分泌され、これらは互に拮抗し主に血清と硬骨組織の間に Ca の移動を行うことで血清 Ca の恒常性を保っていると考えられる (Jowsey & Raisz, 1968; Raisz *et al.*, 1967; Rasmussen & Tennenhouse, 1967; Talmage, 1967)。現在この両者の分泌をさらに高次より調節する内分泌現象は知られず、これらのホルモンの分泌放出は巨視的には血清中の Ca および P の濃度に一次的に依存すると考えられている。この2因子 (さらに細分されるとの説もある) の他に脳下垂体、TH、副腎皮質よりのホルモンおよび視床下部の脳下垂体制御系が血清 Ca の濃度に関与することも明らかになっている。もっとも、これらがどの程度正常の Ca ホメオスタシスに寄与しているかは多くの場合不明である。

以上述べた血清 Ca ホメオスタシス機構は哺乳類のみでなく鳥類でもほぼ同様であることが推察されている (Greep, 1963; Simkiss, 1961; Sturkie, 1965; Urist, 1967)。

一方、哺乳類・鳥類以外の脊椎動物で血清 Ca 濃度の恒常性とその内分泌的調節については、最近まで殆ど知られていなかった。本論中で述べるが、硬骨魚類以下では PT をもたないことや骨の構造の差

* 現住所 北海道大学水産学部・生理生態学講座

異などより哺乳類とは異なる Ca ホメオスタシス機構の存在が想像される。また両生類と爬虫類では実験的解明が非常に少く、下等脊椎動物の血清 Ca ホメオスタシスについて重要性の認識とその解析はごく最近始まったといっても過言ではない。

この綜説では爬虫類以下の脊椎動物について、内分泌学的観点による血清 Ca ホメオスタシス解明の概要を述べ、その問題点について多少の考察を加えたい。しかし読み進められると明らかになると思われるが、“ホメオスタシス”についてとはいってもその全面的解明はおろか、関与しているであろう多くの因子の中ごく一部のものにしか触れ得ない現況であることをお断りしておきたい。もっとも、このような実験報告の貧弱さがこの綜説を思い立たせた大きな理由でもある。

1. 硬 骨 魚 類

現存の魚類は陸生脊椎動物よりも遙かに長い進化の過程を経、Agnatha より Osteichthyes まで多くの変化に富む種を含んでいる。その長い進化・適応の過程において独特の生理的調節機構を獲得し、体内のホメオスタシスを維持してきた。Ca 代謝もその例外ではなく、それぞれの棲息環境に応じて Ca 調節機構を発達させてきたと考えられる。すなわち、陸生脊椎動物に知られている PTH は現在まで魚類には認められておらず (Greep, 1963; Turner, 1966)、さらに魚類特有の器官としてスタニウス小体 (ST) が存在することなどはよい例であろう。陸生脊椎動物では Ca 貯蔵の重要な場として骨組織が使用されるが、以下明らかになるように、水中に棲息する魚類の骨組織は Ca 貯蔵の場としての機能は陸上動物とは異なる。

さて、Rasquin & Rosenbloom (1954) が *Asiyanax mexicanus* の UB に哺乳類 PTH 状の機能があることを推察して以来、1960 年代初期には哺乳類 PTH の魚類に対する効果が注目された。金魚 (*Carassius auratus*)、グッピー (*Lebistes reticulatus*)、*Fundulus catenatus*、*F. heteroclitus*、*F. kansae*、*Channa argus*、*Tilapia macrocephala*、*Aqueidenus latifrons* などに対して PTH 投与の結果が報告されている (Budde, 1958; Fleming & Meier, 1961a, b; Clark & Fleming 1963; Moss, 1963; Oguri & Takada, 1966)。しかし魚類に対する PTH の効果はさまざま、現在一つのシマを提出するに至っておらず、最近明ら

かになりつつある魚類の Ca 代謝調節機構の特異性を考えるとき哺乳類 PTH の魚類に対する影響から魚類の Ca ホメオスタシスを推定するのは危険であろう。

一方 UB は円口類以上のすべての脊椎動物に存在する咽頭派生体で、魚類では一般に食道腹壁と静脈洞の間に位置する小さな上皮性細胞塊で不規則な細胞を有する (Copp, 1969; Tan-Tue, 1970; Turner, 1966; Van Dyke, 1958)。魚の UB からは哺乳類 CT 抽出と類似の方法で得られた血清 Ca 低下誘起物質 (以下便宜上 CT と記す) が知られているが、サケの UB 抽出物よりの CT はラットに低 Ca 血症および Na・K・Ca 排出量の増加をもたらしその活性は豚の CT より高い (Aldred *et al.*, 1970)。O'Dor *et al.* (1969b) は 3 種類のサケ (*Onchorhynchus keta*, *O. kisutch*, *O. nerka*) の UB より得た CT のアミノ酸分析よりこれは 32 個のアミノ酸残基をもつ分子量 3,427 のポリペプチドで、1 つの SS 結合を有することを明らかにした。この精製 CT は約 5,000 MRC unit/mg でこれは豚の CT 活性の約 25 倍である。参考までに付記すると、合成された豚 CT (Thyrocalcitonin M) は 32 個のアミノ酸残基をもち分子量 3,598 であり、サメ (*Squalus suckleyi*) の UB より得られた CT の分子量は 4,600 と報告されている (O'Dor, 1969a; Stekolnikov, 1969)。電子顕微鏡による組織学的観察でもニジマス (*Salmo gairdneri*)・サメ (*Squalus acanthias*) で UB より蛋白性分泌物の形成像が示されている (Copp, 1969; Robertson, 1969)。では、この UB より分泌された CT は魚類において実際にどのような生理活性をもつのであろうか。Chan *et al.* (1969) は、ウナギ (*Anguilla japonica*) の UB 除去手術を行い、4 週間後に血清 Ca 値が上昇することを報告した。また Louw *et al.* (1967) はナマズ (*Ictalurus melas*) に豚 CT を注射し、1 時間後に明らかな血清 Ca 値の低下 [16.0→8.7 mg/100 ml] を認め (表 1)、更に淡水適応ウナギ (*Anguilla anguilla*) でも CT によって血清 Ca の減少 [9.3→7.5 mg/100 ml] が報告された (Chan *et al.*, 1968b)。しかし *Fundulus heteroclitus* に豚 CT を与えても血清 Ca に変化はなく (Pang & Pickford, 1967)、タラ CT の *F. heteroclitus* に対する投与は体重の増加をもたらすが Ca を含む血清電解質には変化を与えないことも (Pang, 1969) 報告されている。

CT 投与がある種の魚類の血清 Ca 値の低下をま

表 1. ナマズ血清 Ca と P に与える豚カルシトニンの影響 (Louw *et al.*, 1967 より多少改).

Treatment	No. of animals	Serum calcium mg/100 ml $\pm$ SD	Serum phosphate mg/100 ml $\pm$ SD
Acid saline control	4	16.0 $\pm$ 4.05	11.1 $\pm$ 2.01
0.2 ml CT*	5	10.4 $\pm$ 0.84	7.4 $\pm$ 2.10**
0.5 ml CT*	5	9.8 $\pm$ 1.34	4.8 $\pm$ 1.08**
5.0 ml CT*	5	8.7 $\pm$ 0.14	5.3 $\pm$ 1.55**

* 超遠心後の上澄み液.

** 各 4 個体.

ねくことは哺乳類における結果と一致しているが、上記のように無効の報告もあるのでさらに多くの種で検討されなければならない。また、同種から得られた CT を用いることが魚自身における CT 作用機序を解明する上に不可欠であろう。魚類の棲息環境中の Ca もまた浸透圧調節機構と微妙な関連を有しながら、Ca 代謝とそのホメオスタシスに影響を与えることは十分にあり得るし、以下述べるように魚類における CT の作用パターンは環境水中の Ca とは無関係ではないように思われる。

Chan *et al.*, (1968) は、硬骨魚の CT 処理による血清 Ca の低下効果の有無を骨の構造に起因すると考えた。すなわち *Fundulus heteroclitus* は正常な骨より Ca の移動が速やかにできない acellular bone を有するので CT に対して反応がなく、cellular bone を有する ナマズ・ウナギでは反応がみられる。Moss (1961~1965) の研究によると、硬骨魚中 Clupeiforms と Scopliforms にみられる cellular bone には石灰化した有機質基質中に骨細胞があり哺乳類の硬骨組織と類似しているが、acellular bone は前記以上の硬骨魚グループにみられ骨細胞は存在しない。Moss (1962) は *Carassius auratus* [cellular bone] と *Tilapia macrocephala* [acellular bone] の下顎骨などの骨折修復実験を行い、環境水中の Ca 含有量が非常に少い時 (0.02 ppm 以下) には餌の Ca 量に関係なく *C. auratus* にのみ Ca の沈着したカルスの形成がみられることを報告した。彼はこの結果より cellular bone は骨組織から Ca の移動能力を保持しているが、acellular bone は骨細胞を欠いている故に Ca ホメオスタシスに関与できない“死んだ骨”であり、カルス形成に必要な Ca を骨より供給できなかったと考えた。Cellular bone の骨細胞は Ca 代謝のホメオスタティック調節にある程度まで関与できるが、acellular bone にはその能力はない。しかし正常の

棲息状態においては容易に外界から Ca を取り込むことができる故に、「骨組織はいずれにしても血清 Ca 濃度に“non-vital”な過程で関与しているにすぎないかも知れない (Moss, 1963, 1965)。」

Rasquin & Rosenbloom (1954) は *Astyanax mexicanus* を長期間暗所飼育することにより、腎臓に Ca の沈着・vertebral arch の fibrosis (繊維性骨炎) とともに UB の肥大と組織増殖を観察した。また *Fundulus heteroclitus* では暗所飼育の結果低 Ca 血症と UB 活性の増加が認められた (Pang, 1968)。UB より CT 分泌の増加と fibrosis の因果関係については今後さらに検討しなければならない。このほか、コイ (*Cyprinus carpio*)、ニジマス (*Salmo gairdneri*) の UB は急性弗素中毒によって肥大するが、同時に痙攣を起こして死亡することが知られている (Neuhold & Sigler, 1960)。

以上のように魚類 UB よりの CT の作用機序は陸生脊椎動物のそれとある程度比較されつつ研究されてきたが、硬骨魚に特有の内分泌腺である ST は Ca 代謝およびホメオスタシスに重要な役割を果していることが最近明らかになってきた。ST は Holostei, Teleostei 上目の魚類に存在し、円口類、軟骨魚類、肺魚にはみられない。Amia など非常に原始的形態の種以外では濾胞構造を有する一対または数対の腺組織で、キンギョ・サケ・マスでは平たい卵形で灰白色を呈する。Holostei では後方腎の前部前腎管壁より、Teleostei では同後部前腎管壁より芽状膨出して発達したものである (Bern, 1967; Copp, 1969; Hoar, 1957)。これはステロイド合成にも関与しているといわれるが、微細構造上より蛋白合成機能が認められている (Ogawa, 1967)。

ST 除去手術を受けた淡水ウナギの血清 Ca 値は著しく上昇する (図 1)。(Butler, 1969; Chan *et al.*, 1967, 1969; Chan & Chester Jones, 1968; Chester Jones & Henderson, 1965; Fontaine,

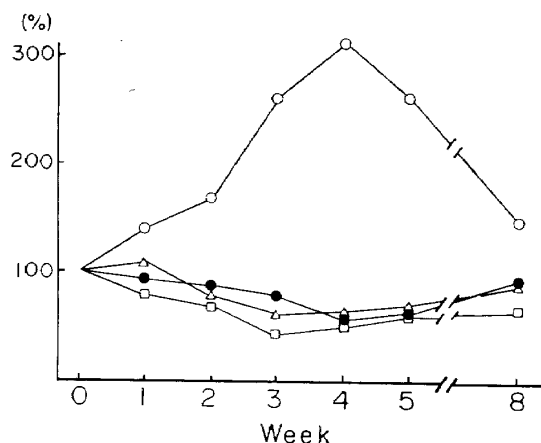


図 1. スタニウス小体除去による淡水ウナギ血清電解質の変化 Fontaine (1967) より改。変化は除去前値に対する%で表わす。○, Ca; △, P; ●, Na; □, Cl.

1964, 1967; Lopez *et al.*, 1968)。同様のことは海水適応ウナギおよびキンギョでも知られている (Chan *et al.*, 1967; Chan & Chester Jones, 1968; Ogawa, 1968)。ST除去手術をうけ、血清Ca値の上昇した淡水ウナギにST懸濁物を注射すると血清Ca値は低下する (Fontaine, 1964)。また、ST除去手術をうけた淡水ウナギの尿Caは低下するが同種STの移植または食塩水抽出物の静脈注射によって回復する (Chan *et al.*, 1969)。

他方、Chester Jones *et al.*, (1966) と Chester Jones & Henderson (1965) はウナギのST抽出物がラットとウナギの血圧を上昇させることを発見した。関連性があるので、以下多少これについて説明する。淡水銀ウナギよりのST除去は血圧を26.3より17.8 mm Hgまで低下させ、逆にST抽出物の注射は速効性の昇圧効果を示した。これはSTに哺乳類の腎レニンに似た昇圧物質が含まれ、STがレニン-アンギオテンシン系に関与していることを暗示する。実際その後Ogawa (1968) はST除去の結果血清Ca値が上昇した金魚にアンギオテンII (活性型) 処理を行った結果、その血清Caを対照値に保つことを報告した。この結果は、STがレニン-アンギオテン系に属し、水と電解質の平衡への関与は、腎系での昇圧効果を通して行われるとするChester Jones *et al.* (1969) の仮説を支持するように思われる。ST抽出物は腎小動脈の間歇的収縮を引き起こし、同時に尿流出量を増加させる (Chester Jones *et al.*, 1966)。哺乳類の腎臓で

レニンを生産していると考えられている旁糸球体装置の顆粒細胞が硬骨魚の腎臓に存在し、さらにSTにもみられることは興味深い。外界の塩濃度特にNaCl濃度が高まるにつれて腎レニン活性が増すこと (Capelli *et al.*, 1970)、淡水ウナギのST除去はその血圧を低下させて海水適応のウナギとほぼ同様になること (Chester Jones *et al.*, 1966) は、レニン-アンギオテンシン系が浸透圧調節機構に何らかのかかわりをもつことを暗示する。また、Butler (1969) は淡水ウナギ (*Anguilla rostrata*) でST除去を行い3週間後、血清Ca値と尿Ca値の増加を観察し、血清Ca値の上昇は骨へのCa沈着速度の低下に基づくもので腎におけるCa再吸収率の増大や腎糸球体濾過速度の変化によるものでないと主張した。このButlerの用いたウナギは北米産の *Anguilla rostrata* LESUEUR でヨーロッパ産の *A. anguilla* L. と種による生理的特異性による差も考えられるが、くわしくは今後の研究にまたなければならぬ。

Fontaine (1967) によるとST除去のギンウナギでは外界⁴⁵Caの体内への進入は数日間是对照に比べて大きい、これはST抽出物によって抑えられたことがみられた。また、ST除去によって高Ca血症を生じたウナギのosteoclast数は減少し、骨よりCaイオンの遊離低下と骨質Caの14%増加が観察されたという (Lopez, 1970a)。これらの結果を総合して考えると、ST除去による血清Ca値の上昇は骨と血清の間のCaの移動よりはむしろ外界Caの吸収とその保持によるもので、それ以外の可能性を除外することはできないが、STはそれらの機構に間接または直接に働いていると思われる。また、ST除去によって高Ca血症をおこしたウナギのUBには多数のPAS陽性の分泌物がみられ細胞は肥大し刺激されていることが観察される (Lopez *et al.*, 1968)、哺乳類CT投与はこの高Ca血を低下させない (Chan, *et al.*, 1968)。

以上のようにSTによるCaホメオスタシス機構の解明が進んできたが、ST-UB系によるCa調節機構の総合作用は淡水のような低張水中においてはCaの積極的とりこみとその保持、海水のような高張水中ではCaの排出と浸入抑制であろう。淡水ウナギのST除去による高Ca血は手術後4週間で3倍程度の最高値に達しその後低下すること (Fontaine, 1967)、高Ca血症中でもCaのturn-overがみられること (Chan & Chester Jones, 1968) など何らかの補償作用または平衡調整が行わ

れていることを暗示している。

以上は哺乳類 PTH の魚類に対する効果, UB および ST による血清 Ca 調節機構についてであるが, これら以外に血清 Ca 濃度に影響を与える因子はいくつか知られている。

一般に雌の硬骨魚の血清 Ca 値は産卵期に著しく高くなることはよく知られているが, Lopez *et al.* (1968) は雌ウナギにコイの脳下垂体抽出物を連続投与することによって卵巣の成熟とともに血清 Ca の上昇を誘導した。この時 UB の組織は増殖し, 骨の石灰化は低下する (Lopez, 1970b)。また, エストラジオール注射をうけた魚類血清 Ca の上昇が報告されている (Bailey, 1957; 山根・小黑, 未発表; Woodhead, 1969a, b)。エストラジオール処理をうけた雌 *Fundulus kansae* [acellular bone] を Ca 欠除海水中に保ってもその血清 Ca は 60% 増加する (Clark & Fleming, 1963; Fleming *et al.*, 1964)。これは当然体内 Ca の移動によるものであるが, 骨組織には何らの変化もみられないと報告されている。先にのべたようにウナギの ST の機能の解明を通じて cellular bone が Ca の生理的平衡を回復する際重要であることが明らかになったが, acellular bone については依然不明の点が多い (Lopez, 1970a)。

Pang *et al.* (1971) は脳下垂体除去の *Fundulus heteroclitus* を Ca 欠除海水で飼育すると, 間歇性のテタニーを起こすことを観察した。この魚の血清 Ca 値は 5.4–6.2 mg/100 ml で, Sham-control でこの値は 9.2–9.8 mg/100 ml であった。一方正常海水中では脳下垂体除去群にも有意な血清 Ca 低下はみられなかった。海水に適応した *Fundulus kansae* では脳下垂体除去による血清 Ca 値の変化はみられないが (Stanley & Fleming, 1967), 淡水適応ウナギの脳下垂体除去は血清 Ca 値の低下をまねき (Chan & Chester Jones, 1968; Chan *et al.*, 1968a), キンギョでも手術後淡水中に飼育すると血清 Ca 値は低下するが, 1/3 海水中ではそれがおこらない (Ogawa, 1963)。また, *Fundulus kansae* で脳下垂体除去は血清 Ca 値の上昇を, ACTH 投与は生殖期の雌以外で血清 Ca 値の低下をもたらすことが報告されている (Fleming *et al.*, 1964; Stanley & Fleming, 1967)。Pang *et al.* (1971) は脳下垂体除去 *Fundulus heteroclitus* でテタニーを起こした際, Ca と無機 P 以外の血清電解質濃度がテタニー群と対照群で同様であったことより脳下垂体は血清 Ca 上昇作用を有するが, これは Na・

K などの調節機構とは独立したものであると推論した。しかしこの仮説については更に多くの検討が必要であろう。

海水ウナギで間腎 (副腎皮質相同) 除去は激しい脱水をおこし体重が減少し, それとともに血清 Ca 濃度は上昇するが淡水ウナギでは逆に水の過剰で血清 Ca 濃度は低下する (Chan *et al.*, 1967; Chan & Chester Jones, 1968)。硬骨魚の脳下垂体—間腎系は水と塩のバランスを通して浸透圧調節を行っているので, 脳下垂体または間腎の除去はこの調節機構に大きな乱れをひき起こす。そのためこれらの器官の Ca 代謝調節機構の解析には大きな困難が付きまとう。

以上のほか, *Fundulus heteroclitus* で甲状腺刺激ホルモンの投与によって UB 活性が高まり低 Ca 血がみられ (Pang, 1969), 他方ウナギでは ST 除去による高 Ca 血の発生とともに TH 機能の亢進が観察されている (Fontaine, 1967)。しかし TH と血清 Ca 濃度に直接の関係を示唆する報告はみあたらない。

2. 軟骨魚類・円口類

軟骨魚類と円口類は長い適応と進化過程の中で, 生理的・形態的に原始的様式を残しながら特殊な適応を行ってきた。例えば, サメにおけるトリメチルアミノオキサイド形成や尿素保持および直腸腺からの塩の排出による浸透圧調節などはその好例であろう。骨組織についても石灰化の程度の高い硬骨をもたず, やや石灰化した軟骨または石灰化していない軟骨を有するのみである。この事実は, これらの種では硬骨魚類ほどには骨組織が Ca の貯蔵・再利用の場としては役立たぬことを暗示する。従って, Ca ホメオスタシスに関与している内分泌調節機構が存在したとしても, その作用は体内における Ca の積極的移動によるよりはむしろ体外との Ca の交換に働いている可能性が高い。

海産の 3 種のサメ (*Carcharhinus leucas leucas*, *Triakus semifasciatus*, *Hydrolagus colliei*) の血清 Ca 値はそれぞれ 18.0, 20.0 および 19.2 mg/100 ml であり, 淡水産のサメ (*Carcharhinus l. nicaraguensis*) では 12.0 mg/100 ml である (Urist, 1962a, b, 1966)。尿素有保持によって血清全塩濃度は海水の約 1/2 に引き下げられ海水とは異なる塩構成を示すが (表 2), これらの種では多量の Ca 化した軟骨を持つため, 体内で Ca の交換が

表 2. 硬骨魚類, 軟骨魚類, 円口類における血清全 Ca 濃度と全イオン濃度 (Urist, 1962a, 1962b, 1966; Robertson, 1954 より).

	Serum calcium mg/ 100ml	Serum total ion concentration mM/L
Osteichthyes		
Marine		
<i>Paralabrax clathratus</i>	12.0	349.2
<i>Megalops atlanticus</i>	10.0	266.6
Fresh water		
<i>Coregonus clupeoides</i>	10.68	275.05
Chondrichthyes		
Marine		
<i>Carcharhinus leucas leucas</i>	18.0	483.5
<i>Heterodontus francisci</i>	20.0	489.7
<i>Hydrolagus collieri</i>	19.2	557.7
Fresh water		
<i>Carcharhinus leucas nicaraguensis</i>	12.0	404.3
Cyclostomi		
Marine		
<i>Polistotrema soutii</i>	21.6	1024.1
Fresh water		
<i>Polistotrema tridentata</i>	11.2	185.75
<i>P. marinus</i>	9.48	269.92
Marine water (Pacific Ocean)	40.0	1168.5
Fresh water (Lake Huron)	3.60	5.32

ある程度可能であるため外界 Ca 濃度に全面的には依存していない (Urist, 1962b, 1966)。Urist (1966) は内骨格の磷化 Ca の進化, あるいは Ca・P の代謝速度を増す独自の貯蔵調節系の出現まで血清 Ca 濃度の内分泌的調節はあり得ないと考えた。

サメ (*Prionace glauca*, *Heterodontus francisci*, *Squalus suckleyi*) の UB 抽出物はラットまたは Ca 欠乏ラットに強い血清 Ca 低下をもたらすことが知られた (Copp, et al., 1967; Urist, 1967)。しかし前 2 者でその抽出物はそれぞれの種では無効であり, 投与量の問題もあるが, 現在まで軟骨魚類における CT の作用は不明である (Urist, 1967)。

けれども軟骨魚において CT 活性をもつ物質が存在することが明らかになった以上, 軟骨魚で初めて内分泌系が関与する Ca ホメオスタシスが出現した可能性を示すものかも知れない。

海産メクラウナギ (*Polistotrema soutii*) の血清 Ca 値は 22.0 mg/100 ml であり, 淡水産および湖河中のヤツメウナギ *P. marinus* と *P. tridentata* ではそれぞれ 9.5 と 11.2 mg/100 ml を示す (Urist, 1962a, b, 1963)。海産円口類の血清塩濃度とその塩構成は海水のそれと非常によく似ているので, これは外界水の直接の反映であるように思われる。しかし血清 Ca 値は海水の 1/2 であり, McFarland と Munz (1964; 1965) によると体内に侵入した Ca は主として粘液腺 (Slime gland) より排出されるという。一方淡水産円口類では逆に血清 Ca 濃度は外界水より高いが, *P. marinus* の場合鰓室に 12 l/h の水を取り入れ, それより必要な塩を得るといわれる (Urist, 1963)。一方 *Lampratra fluriatilis* の腎臓は水の排出と塩の保持機能を有する (Bentley & Follett, 1963)。

円口類では血清 Ca の内分泌的調節またはそれに関与するであろう内分泌器官は現在まで知られていない。しかし脳下垂体-間腎系が粘液腺や鰓または体表を通じての Ca の吸収・排出に関与している可能性は充分考えられる。

文 献

- ALDRED, J. P., KLESZYNSKI, R. R. AND J. W. BASTIAN (1970) *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 134: 1175-1180.
- BAILEY, R. E. (1957) *J. Exp. Zool.*, 136: 455-469.
- BENTLEY, P. J. AND B. K. FOLLETT (1963) *J. Physiol.*, 169: 902-918.
- BERN, H. A. (1967) *Science*, 158: 455-462.
- BUDDE, M. L. (1958) *Growth*, 22: 73-92.
- BUTLER, D. G. (1969) *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 26: 629-654.
- CAPELLI, J. P., WESSON, L. G. JR. AND G. E. APONTE (1970) *Am. J. Physiol.*, 218: 1171-1178.
- CHAN, D. K. O., CHESTER JONES, I., HENDERSON, I. W. AND J. C. RANKIN (1967) *J. Endocrinol.*, 37: 297-317.
- CHAN, D. K. O. AND I. CHESTER JONES (1968) *J. Endocrinol.*, 42: 109-117.
- CHAN, D. K. O., CHESTER JONES, I. AND W. MOSLEY (1968a) *J. Endocrinol.*, 42: 91-

- 98,
 CHAN, D.K.O., CHESTER JONES, I. AND R.N. SMITH (1968b) *Gen. Comp. Endocrinol.*, 11: 243-254.
 CHAN, D.K.O., RANKIN, J.C. AND I. CHESTER JONES (1969) *Gen. Comp. Endocrinol.*, Suppl. 2: 342-353.
 CHESTER JONES, I. AND I.W. HENDERSON (1965) *J. Endocrinol.*, 32: iii-iv.
 CHESTER JONES, I., HEDERSON, I.W., CHAN, D.K.O., RANKIN, J.C., MOSLEY, W., BROWN, J.J., LEVER, A.F., ROBERTSON, J.I.S. AND M. TREE (1966) *J. Endocrinol.*, 34: 393-408.
 CLARK, N.B. AND W.R. FLEMING (1963) *Gen. Comp. Endocrinol.*, 3: 461-467.
 COPP, C.H. (1969) In "Fish Physiology" (Eds. Hoar and Randall) Vol. III, pp. 377-398. Acad. Press, N.Y.
 COPP, D.H., COCKCROFT, D.W. AND Y. KUEH (1967) *Science*, 158: 924-925.
 FLEMING, W.R. (1967) *Amer. Zool.*, 7: 835-842.
 FLEMING, W.R. AND A.H. MEIER (1961a) *Comp. Biochem. Physiol.*, 2: 1-7.
 ——— (1961b) *Comp. Biochem. Physiol.*, 3: 27-29.
 FLEMING, W.R., STANLEY, J.G. AND A.H. MEIER (1964) *Gen. Comp. Endocrinol.*, 4: 61-67.
 FONTAINE, M. (1964) *C.R. Acad. Sci. Paris*, 259: 875-878.
 ——— (1967) *C.R. Acad. Sci. Paris*, 264: 736-737.
 GAILLARD, P.J., TALMAGE, R.V. AND A.M. BUDY (1965) "The Parathyroid Glands" Univ. of Chicago Press, Chicago
 GREEP, R.O. (1963) In "Comparative Endocrinology" (Eds. von Euler and Heller) Vol. 1, pp. 325-370. Acad. Press, N.Y.
 GREEP, R.O. AND R.V. TALMAGE (1961) "The Parathyroids" Charles C. Thomas Publ., Springfield
 HOAR, W.S. (1957) In "The Physiology of Fishes" (Ed. Brown) Vol. 1, pp. 245-285. Acad. Press, N.Y.
 JOWSEY, J. AND L.G. RAISZ (1968) *Endocrinol.*, 82: 384-396.
 LOPEZ, E. (1970a) *Z. Zellforsch.*, 109: 566-572.
 ——— (1970b) *Cal. Tiss. Res. Suppl.*, 4: 83.
 LOPEZ, E., DEVILLE, J. AND E. BAGOT (1968) *C.R. Acad. Sci. Paris*, 267: 1531-1534.
 LOUW, G.N., SUTTON, W.W. AND A.D. KENNY (1967) *Nature*, 215: 888-889.
 MCFARLAND, W.N. AND F.W. MUNZ (1965) *Comp. Biochem. Physiol.*, 14: 383-398.
 MOSS, M.L. (1961a) *Acta Anat.*, 46: 343-362.
 ——— (1961b) *Am. J. Anat.*, 108: 99-110.
 ——— (1962) *Acta Anat.*, 48: 46-60.
 ——— (1963) *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 109: 337-350.
 ——— (1965) *Acta Anat.*, 60: 262-276.
 MUNZ, F.W. AND W.N. MCFARLAND (1964) *Comp. Biochem. Physiol.*, 13: 381-400.
 NEUHOLD, J.M. AND W.F. SIGLER (1960) *Trans. Am. Fish. Soc.*, 89: 358-370.
 O'DOR, R.K., PARKES, C.O. AND D.H. COPP (1969a) *Comp. Biochem. Physiol.*, 29: 295-300.
 ——— (1969b) *Can. J. Biochem.*, 47: 823-825.
 OGAWA, M. (1967) *Z. Zellforsch.*, 81: 174-189.
 ——— (1968) *Can. J. Zool.*, 46: 669-676.
 OGURI, M. AND N. TAKADA (1966) *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 32: 28-31.
 PANG, P.K.T. (1969) *Amer. Zool.*, 9: 1081.
 PANG, P.K.T., GRIFFITH, R.W. AND G.E. PICKFORD (1971) *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 136: 85-87.
 PANG, P.K.T. AND G.E. PICKFORD (1967) *Comp. Biochem. Physiol.*, 21: 573-578.
 RAISZ, L.G., AU, W.Y.W., FRIEDMAN, J. AND I. NIEMAN (1967) *Amer. J. Med.*, 43: 684-690.
 RASMUSSEN, H. AND A. TENNENHOUSE (1967) *Amer. J. Med.*, 43: 711-726.
 RASQUIN, P. AND L. ROSENBLUM (1954) *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.*, 104: 362-425.
 ROBERTSON, D.R. (1969) *J. Anat.*, 105: 115-127.
 ROBERTSON, J.D. (1954) *J. exp. Biol.*, 31: 424-442.
 SIMKISS, K. (1961) *Biol. Rev.*, 36: 321-367.
 STANLEY, J.G. AND W.R. FLEMING (1967) *Comp. Biochem. Physiol.*, 20: 489-497.
 STEKOLNIKOV, L.L. (1969) *Priroda*, 9: 112-113.
 STURKIE, P.D. (1965) "Avian Physiology" Comstock Publ., N.Y.
 高杉 暹 (1967) *Zool. Magaz. Tokyo*, 76: 39-

- 43.
- TALMAGE, R. V. (1967) *Amer. Zool.*, 7: 825-834.
- TAN-TUE, V. U. (1970) *Arch. Anat. Micr. Morph. Exp.*, 59: 21-36.
- TURNER, C. D. (1966) "General Endocrinology" Saunders Company, Philadelphia
- URIST, M. R. (1962a) *Perspect. Biol. Med.*, 6: 75-115.
- (1962b) *Science*, 137: 984-986.
- (1963) *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 109: 294-311.
- (1966) In "Phylogeny of Immunity" (Eds. Smith, Good and Miescher) pp. 18-28. Univ. of Florida Press, Gainesville
- (1967) *Amer. Zool.*, 6: 883-895.
- VANDYKE, J. H. (1958) In "Comparative Endocrinology" (Ed. Gorbman) pp. 320-339. John Wiley & Sons, N. Y.
- WOODHEAD, P. M. J. (1969a) *J. Mar. Biol. Assoc., U. K.*, 49: 939-944.
- (1969b) *Gen. Comp. Endocrinol.*, 13: 310-312.