

HOF 01-052

本田財団レポートNo.52
「人間はどこまで機械か」

東京大学教授 古川俊之

講師略歴

吉川俊之（ふるかわ としゆき）

昭和6年 大阪に生まれる。

昭和30年 大阪大学医学部を卒業。

昭和35年 大阪大学大学院研究科を修了。

現在 東京大学医学部教授（医用電子研究施設）

専攻 医用生体工学

著書 「体液電解質平衡」（永井書店）

「医学サイバネティクスの展開」（共著・学研）

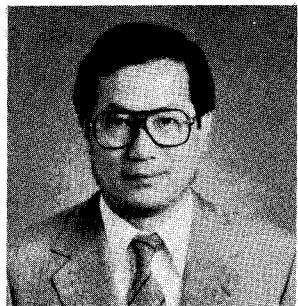
「生体とシミュレーション」（共著・金原出版）

はじめ多くの著書がある。

このレポートは昭和60年12月13日、本田技研工業株式会社青山本社ビルにおいて行われた第42回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

はじめに

生命は地球よりも重いという箴言がありますが、果たしてそのまま受け取って良いのでしょうか。こんなことを医師の立場から発言すると不安に思われるかも知れませんが、これは教育にも共通した問題を含んでいます。『教師は労働者である』というのは反語としてこそ意味があるのですが、今の教師の実態を見ると『教師は労働者でしかない』と聞えます。ですから『人間はどこまで機械か』という問い掛けは、人間を至上のものと見る立場からの反語と考えて頂きたいのです。私は人間が機械に過ぎないとは思いません。しかし生命は物質に深く根ざした存在で、ある意味で分子で作られた機械として理解できること、さらにその存在が文明を創造したばかりか自らの根源を探究するに至ったことに大きな感動を覚えます。その反面で生体分子という限られた材料で組み立てられた生命は、いかにも不完全で非力な一面を持っています。人間の作り上げた技術力は、こうした人間の能力の限界を突破する手段として生まれたのです。



移動機械としてみた人間の設計

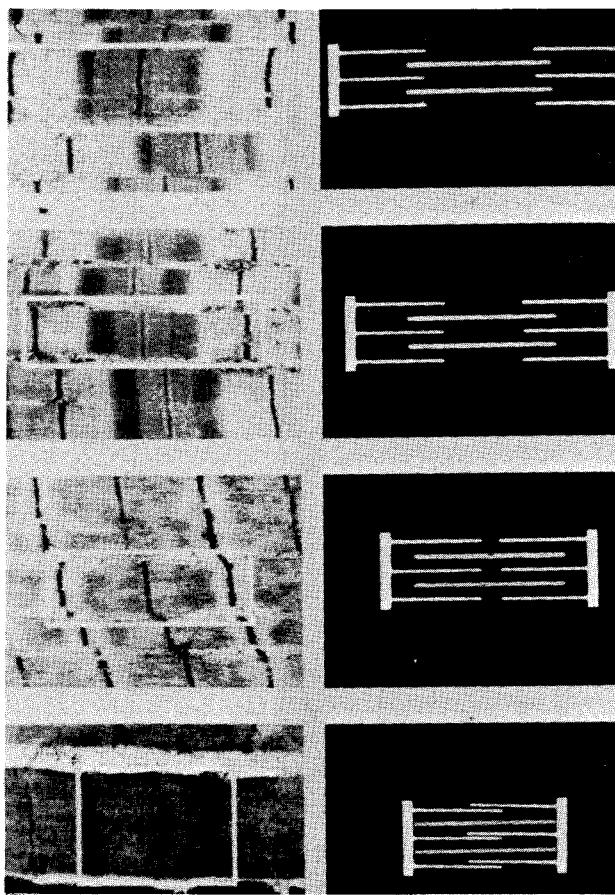
さて現代社会に最も大きな影響を与えた発明はなにかというと、私は自動車の発明を第一に挙げたいと思います。人間の移動能力は大したものではありませんが、それにもかかわらず旺盛な探求欲が人間を駆り立ててあまねく探検者を繰り出し、あらゆる困難に耐えて長途の旅を行わせてきました。それが自動車の発明を契機として、どんな人でも快適な個別移動手段を手に入れることが出来るようになったのです。やがて日本が迎える高齢化社会に備えて、高齢者のために安全で快適な自動車を作るにはどうしたら良いでしょうか。

提案のひとつは知能を備えた自動車です。たとえば何時まで用はないからどこかに行ってろという命令を理解する自動車が出来たらどうでしょうか。実は『どこかに行ってろ』という命令は人間にだけが理解できるので、生き物でも犬は理解できません。犬に命令するには、必ず『ホーム』とか『床下』とか『お前の大好きなボロ毛布の上』とか具体的に言ってやらねばなりません。それでは人間だけがなぜどこかに行くことを了解するのか、その設計原理はどうなっているのか、果たして自動車にも通用する原理か、などと問題は限りなく派生します。そこで先ず移動機械として見た人間はどういう基本設計であるかを、色々な動物と比較しながら考えてみたいと思います。これは皮肉のひとつですが、この頃流行のジョギングにしても健康のために本当に良いことなのでしょうか。実は人間は余り走るのが得意でない、というより不適当な設計と考えられます。そうした疑問を含め、人間に備わった精妙で反面造物主の苦心のあとを眺めてみましょう。

●筋肉エンジン

—収納部位、装着部位—

とにかく動くためにはエンジンを装着しなくてはいけませんが、人間の場合には基本的なエンジンは筋肉エンジンしかありません。筋肉エンジンは、一種のリニアモー

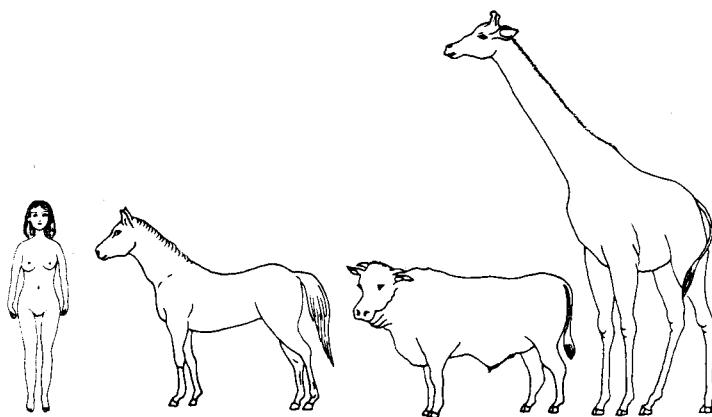


生体の筋肉エンジン

筋肉はアクチンとミオシンの2つの蛋白分子でできたりニアーモータである。エネルギーが供給されると、2つの分子の纖維は互いに滑り込んで収縮する。白い枠の部分は筋纖維の1単位で上から下に収縮の過程を示す。

タード、アクチンという蛋白とミオシンという蛋白の間が化学エネルギーを消費することによってスライドします。実際に電子顕微鏡で見ると、ひとつの筋肉の単位が、段々収縮していくと幅が少し厚くなり距離が短縮します。簡単にいうと、 $\frac{1}{2}$ ぐらいに収縮するリニアモーターですが、これだけのユニットで何とか体を動かす機構を設計するわけです。

私、子供の時、理科の時間に大変理解に苦しんだことがありました。その時、人間の筋肉と骨との関係は、てこの原理であると教わりました。子供心の理解では重たいものを動かすために、大きな動きをここで小さな動きに変えて、その代わり大きな力を出すものだと思っておりました。すると動物の腕はてこの原理としたら逆じゃないのかと思ったのです。しかし、当時の小学校の先生は何も説明をして下さいませんでした。今になってみるとスライドモーターのストロークが2：1で、容積が変わらないという制約下で、一定の筐体の中に組み込む為にはかなり工夫が必要がわかります。そのためにてこの原理を反対に使って、短かいストロークを増幅する必要があったわけです。



脚の関筋と筋肉の構造の相違。高速で持続走行が可能な動物は、脚の筋肉エンジンは強力な装備であるが、脚の質量を減らして慣性による損失を抑え、関節部分は強大な加重に耐える設計である。人間はこれらの点で、走行には不適当な脚をもっている。

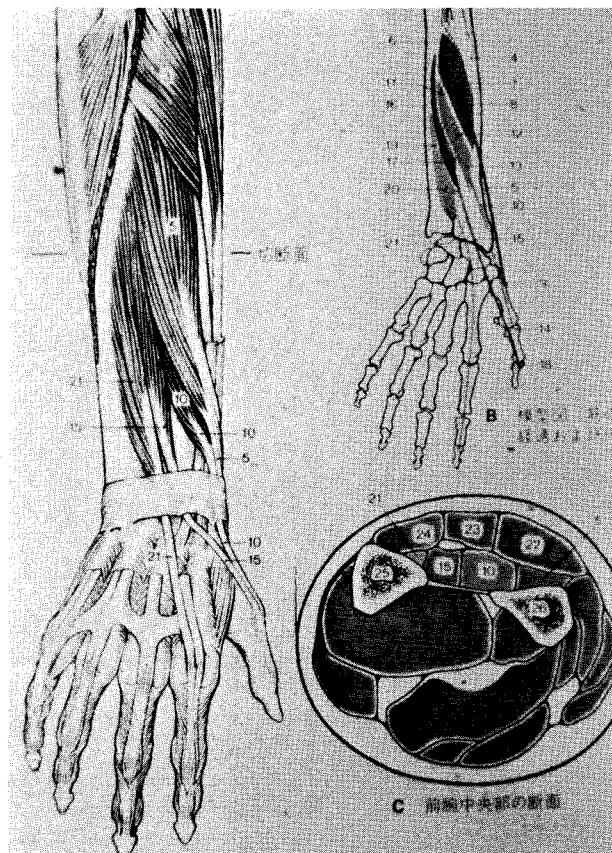
色々な生物の筋肉エンジンの付け方を見ると、収納場所は相当工夫しています。結論から言いますと、高速で走る動物は人間と比べると筋肉エンジンは胴体に近い所に詰め込んでしまう様です。というのも四肢の末梢の方に筋肉エンジンを付けますと、若干仕事は期待できますが、その分だけ前後運動の慣性の無駄がありますから、何とか軀幹に近い所へ入れてしまう。できれば胴体の中に収めてしまって、四肢の操作はワイヤーですることにしてしまった方が良いと思うのですが。とにかく、人間に比べると高速の馬だとかキリンは、そういう設計方針をかなり忠実に守っているのが解ります。ただ、関節は人間と違い、動圧に対するクッション効果が必要なので、かなり関節面が大きく取られており、脹らんでいます。こういう点からみると、人間の構造はまだ筋肉が四肢の末梢に多く分布しており、走行専門に設計されていないという感じを受けます。

高速走行では、先ほどのてこの問題がからんできます。高速性を出すためには、わずかのストロークを拡大して、力は弱いけれども大きなストロークを得ることが必要です。てこを逆用して支点の向こう側に長い脚を出して、動かしてやったらどうでしょう。それを実現したのがゲジゲジで、相当高速で走り回ります。身近にありますゴキブリもそうです。どれも筋肉エンジンで長いストロークを得る為に非常に長いオールを出しておられます。高速撮影で見ますと、あわてふためいたゲジゲジは、よく自分の隣の足を踏みつけて、つまずくといいます。

——人の手足の腱——

人間を含めて哺乳類動物全体の設計思想は、やはり筋肉エンジンはなるべく身体に近い方に付け、アクチエータはワイヤーで操作しようとしています。たとえてみると昔の航空機の様にスチールのワイヤーでラダーを操作してやろうという設計思想になっており、いわゆる腱がワイヤーに相当します。

指の先などほとんど筋肉がなく、指を動かす為には、前腕にある筋肉で長い腱を操作して動かします。この為には相当無理な設計があるので、手の指は1本づつ折れますから数の勘定もできますが、足の2番目の指と3番目の指を別々に曲げてごらんな



筋肉エンジンの装着部位

移動のための筋肉エンジンはなるべく軀体に装着しないと、慣性によるエネルギー損失を免れない。大抵の動物は四肢の基部に筋肉を集中し、四肢の末梢部は腱を介して操作する設計になっている。

さいと言われても絶対にできません。これは1本の筋肉で2本の腱を操作していますから、別々には曲がらないのです。そういうことからみると自由度の極めて大きいロボットの設計思想は、かなり生き物と似ていると思います。関節が沢山ありますが、すべての動力源は筐体の中になります。全部ワイヤーで操作する方式は、おそらく地上の重力の制約の中で、大きな自由度を持って動く為に、一番能率の良い恰好ではないかと思います。もし、ロボットの腕の先端にモーターを付けたような形の物を作ると、安定に操作するには本体自身を大きくしなければならなくなってしまいます。例えば、患者さんをそっと抱き上げてお風呂に入れてまたベッドへもどすロボットを作ろうという人がいますが、なんと本体が700kgになってしまいました。

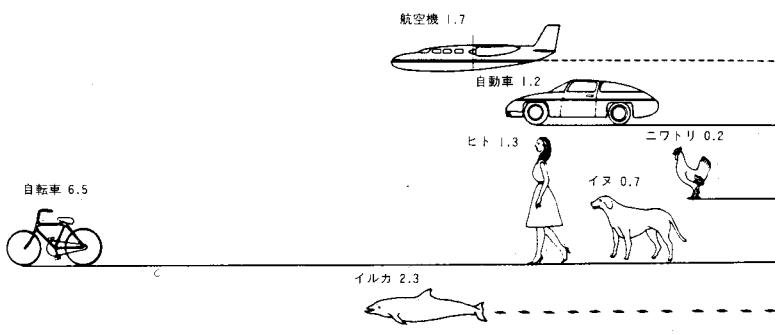
普通の日本家屋は1m²につき、250kg以上の床荷重に耐えるのはありませんので患者もろとも床をふみ抜いて大変なことになるでしょう。ですが、ワイヤーを使う設計方針ならできない事はないという気がします。

●燃費

—生物と機械—

次は燃費の話です。戦争中の中学生は大飯食いのごくつぶしと随分罵られたものですが、そんなに人間の燃費は高くつくのでしょうか。動物と機械を比べてみると、以外なことに車と人間は同じ位の燃費なのです。1 kgの自重を1キロカロリーのエネルギーを消費して何km動かせるかということで比較しますと、人間は1.3 km動くのですが、エネルギー浪費の親玉といわれる自動車は1.2 km動きます。これは、回転系の車輪という効率の良い装置を使っているからだろうと思います。驚いたことに、飛行機はさらに効率が良いので、いかに空気抵抗が小さいかがわかります。無重力で動いているイルカになると、燃費は最も良く、造波抵抗だけに打ち勝てば楽々と動きます。ところが四つ足の動物の燃費は丁度、人間の2倍です。ということは、四つ足ですから走行抵抗は2倍でそのために燃費が倍かかります。人間が2本足で直立したために受けたメリットのひとつは、燃費の節約ではないかと考えられます。これは、私が初めて言い出したことです。

昔のお話ですが、西田幾多郎という有名な哲学者に奥様が、「あなたは学者で1日中座敷に座って考え事をしているのに、なぜ食事時になると、そんなにごはんを食べるんですか？」と聞かれたそうです。まあ、随分たくさんお食べになららしい。その時「一生懸命考え事をしているんだから腹が減るのは当たりまえだ。」とお答えになつたそうです。これを聞いた医学部の教授が、「何と哲学者は無知な事を言うもんだ。」と言ったそうなんですが、実は今の生理学の知識では、ちっとも無知な事ではないのです。脳は大体900キロカロリーを1日に必要とします。ちょっと小柄な日本の女性は、絶対安静で横臥していると1日大体900キロカロリーで生きていけます。小柄な女性1人が暮らせる位のエネルギーを脳が使ってしまうというわけです。これが、西田先生のような頭を使う人が千何キロカロリー使って、白痴の人間がその半分だという話しは面白いのですが、それはいきません。どんな人間の脳でも900キロカロリーは使うのです。これは、脳はいつでも働らけるようにアイドリングしているのではない



運動のエネルギー効率。自重1kgを1Kカロリーのエネルギーで何km移動できるかを比較した。ヒトは四足歩行動物の2倍の効率で、二足歩行の接地抵抗が2分の1になることと符合する。ニワトリは元来飛行のための丈夫な一体構造の胸廓をもつので、歩行には著しく損失が大きい。航空機や自動車はヒトと同程度のエネルギー効率である。無重力状態のイルカは効率がよいが、自転車の効率は飛び抜けて高い。

かと思うのですが、900キロカロリーのエネルギーの余裕を生み出すのは容易なことはありません。人間が直立したために何が得られたでしょうか？今までの比較生理学、あるいは進化発生学の立場では、重心の安定が良いので大きな脳を支えることができるようになったと言われていますが、どうもそれだけではないようです。やはり二足歩行による燃費の節約が効いて、大飯食いの脳を食べさせる余裕がでてきたせいもあるという気がしてなりません。これはまだ、もう少し進化の途中の連鎖を見ないといけないのですが、四つ足の動物は人間の丁度倍の燃費を使いますので、とても脳にぜいたくをさせる訳にいかないと想像できます。

それでは2本足で歩くニワトリはどうかというと、これがまた大変効率が悪いのです。鳥は飛ぶために脊柱を肋骨と胸骨とを一体にして、モノコック構造にしてしまいました。人間だと脊柱をツイストしてバランスを取って歩いており、これがエネルギー損失を最小にする歩き方です。ニワトリはモノコック構造で身体をひねる方法がありませんから、首を一回づつ前後へ動かします。ハトも大分苦労して歩いています。ついでですが、世の中で一番走行のエネルギー効率が良いのは自転車で、1キロカロリーで6.5km走行できます。月面の重力は地球の重力の6分の1ですから、人間の力でこいだとしても、時速は多分250km/hを越えるだろうといわれる位、非常に効率が良いのです。

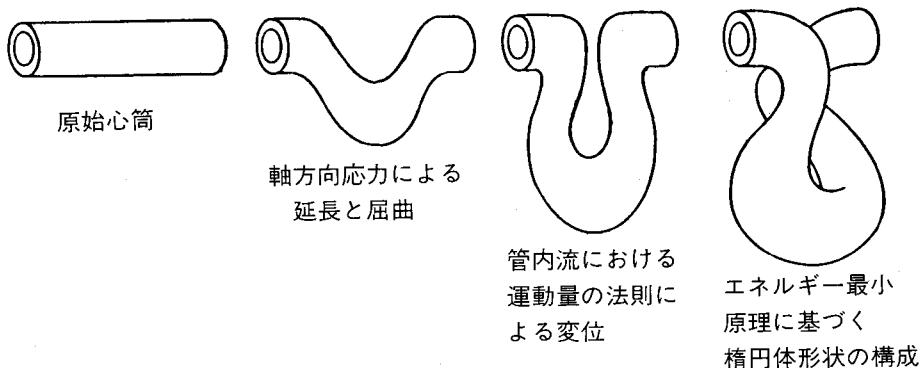
●心臓ポンプ

私は心臓の研究をしていますが、筋肉エンジンを使って心臓ポンプをどのように設計するかということに大変興味を持っております。昆虫の心臓ポンプは、チューブラーで、管状のポンプです。

エビの踊りを注文すると、板前さんが背を開いて、「これは背わたです。」と黒味がかった緑色のものを引っぱり出しますが、あれはエビの心臓です。昆虫もあれと同じように背中の中央を心臓が頭からしっぽの先まで走っています。

研究費のない頃の研究は、毎晩毎晩ゴキブリをつかまえて羽根を取り、そうすると柿の種になるわけですが、それから背を開けますと心臓がすぐ見えます。そこへ極めて小さなガラスの電極をつっ込んで心電図を取って不整脈の実験をしたものでした。ゴキブリの心臓は、面白いことに、あまり働きすぎると逆に血液を送り返してしまいます。つまり、モーターが逆転するような現象があるのです。そのような管状の心臓がある時ひょっこりと曲がり、魚の心臓の時代になり、それから段々現在のようなハート形の心臓らしい心臓になってきたわけです。

昆虫の心臓は、チューブ型で弁が前と後にあるだけですが、これは随分設計に苦労があったと思います。何しろ昆虫の体は小さい上に固い外皮がありますから、その中になんとかポンプを造り込み、他の内臓の邪魔にならないようにしなければいけませんから、設計制約はとても大きなものでした。ですから、かなりルーズなチューブラーの心臓を作って逆転もできるようにしたのでしょう。その内に生物が高級になると、心臓ポンプも段々高圧を出さなければならなくなりました。そうすると、材料が水とゼラチンですから、縦方向にも横方向にも伸び、ある時“ぐにゃ”と曲ったのです。前と後が詰まっているものですから曲がらざるを得なかったのでしょう。管状



心臓の進化

液体を一方向に送るミッションに沿って、まず血管壁の筋肉エンジンが厚くなる。縦方向の応力歪みによる血管の伸びが加わり、次いで流体の乱流効果で内腔が広がる。これにねじれが加わると心臓の原型ができる。

のものが曲がりますと、今度は流れによって衝撃波が生じます。相当高圧の液体を、「びゅっ」とやると、渦と衝撃波が生じて、応力分布を考えると、段々先の方が膨らんできます。やがてその膨らみが収まりきれなくなって、ねじれるわけです。どうしてこれが一方向にしかねじれないかは未だに謎であり、うまくその説明がつかないのでですが。

計算機シミュレーションなどは哀れなもので、動物の進化を真似てみようとしても、うまくいきませんが、心臓の進化くらいなら何とかなります。管のような心臓の前後に弁を仮定し、これが一定の厚さの筋肉エンジンでできており、応力分布に応じて肉厚を増やせと命令しますと、だんだんコブ状に膨らんできます。実は昆虫の心臓はコブ状のものが連なった管の形をしています。哺乳類の心臓は回転橋円体の様なかつこうをしていますが、その応力分布を計算してみると、応力歪は中央で大きくて先端部で小さいのです。実際に人間の心臓をみると先端の厚さはうすいのです。昔、物理学で習ったパスカルの原理では、「水圧は壁面に均等にかかる」ということですから、どうして先端が薄くていいのか。均等な厚さにしないと先端から破れはしないかと思いました。ところが、応力歪は先端が一番少なく、従って筋肉は薄くてよく、材料が少なくて済むのです。

弱った心臓を休ませて回復を待つ治療のひとつに補助循環という方法があります。これは、心室の中から血液をポンプで吸い出して大動脈へ送り出すのですが、この時心臓の先端に穴を開けます。肉厚が薄いものですから、パンチマシンでバシッと穴を開けて、ワッシャで締め付けます。後日心臓が元気になってからそれを外して後を縫い縮めます。そうすると心臓は元通り働き続けるわけです。この部分がどうして薄いのか、やっとシミュレーションで意味が分かりました。

どうも機械論的に生き物の設計を見直すと、今まで十分説明できなかった事が分りそうな気がします。

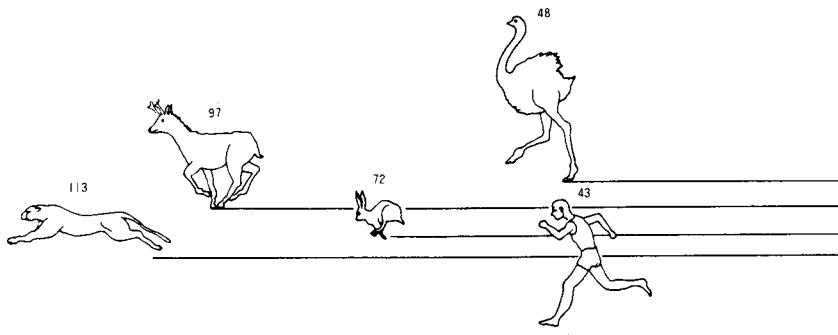
●安全走行速度、制動能

—二足歩行 VS 四足歩行—

さて、もう一つの問題ですが、先ほど燃費の話で述べました通り、二足歩行と四足歩行は、まさに二輪車と四輪車のようなものです。何が違うかというと、燃費以外にもう一つ違うことがあります。それは、最高速度と制動距離です。何しろ四足歩行ですと、ブレーキも四足で効きますし、地面に対するエネルギーの伝達も四足で非常に効率が良いので、かなり高速で走ることができます。例えばピューマやチータはダッシュ時に 113 km のスピードを出すと言われていますが、人間はダッシュしてもせいぜい 43 km 位です。これがマラソンになると 30 km 位に落ちてしまいます。ダチョウなど大変速そうですがやはり人間とあまり変わりません。それからカンガルーも大体毎時 48 km です。

二足歩行では、走行摩擦が半分になりますから最高速度はこの位しか出せません。これは多分、制動可能な安全速度の限界だらうと思います。四足だと四輪制動ができますから安全に急ブレーキがかかりますが、人間が 100 km で走った日にはつんのめつたら大変なことになりますので、毎時 40 数 km しか出ない様にできているのでしょう。

鳥は空中で最も速い速度で飛ぶ時、たとえばツバメは毎時 110 km 位出しますが、反射のないガラスがあるとぶつかって死んでしまうそうです。やはり生物の体は毎時 100 km 位のスピードでは生命懸けの限界であって、空中で飛ぶのは抵抗がないのは良いのですけど、一歩間違えると大事故になるようです。この間の続けざまの飛行機の事故じゃありませんが、そういう要素を十分含んでいることが分かります。



動物の陸上走行の最大速度。四足走行は四輪駆動車と同じく高速走行に有利で制動能力が大きいために安全性も高い。二足走行では接地抵抗が小さいために高速を出せないが、この点は制動能力が低いために安全走行の限度内で走っているのかもしれない。

●放熱器の設計

これからお話ししますのは、エンジンのもう一つの設計基準の放熱についてです。これが、案外今まで設計上無視されて、というよりも生理学者とか、あるいは医工学の学際領域の研究者の関心を呼ばなかったのですが、エンジンを動かせば必ず熱がでます。熱効率は筋肉エンジンでもそんなに高いものではありません。大体 19% です。ですから、あまり凄いエンジンではない事が分っております。残りの 81% は熱になって出るわけですから、それを何とか放熱しなくてはいけません。

—水冷方式、空冷方式—

一番簡単に解決したのは水中の生物です。これは水冷式でいつも水中にいるわけですから、あまり苦労しなくて良かったのです。ところが空気中に出ると大変で、陸上で暮らす生物にとっては筋肉エンジンから出る熱をどんなラジエーターで処理するかは大変な問題です。

御存知かもしれません、背中に理由の解らない帆のようなものを張った恐竜が何種類かおります。あれは多分高速走行の時の熱を放散する為じゃなかったかと思われます。現存している動物でも、象の大きな耳は熱を放散する為の特別な適応だといわれていますし、うさぎも必死に走る時には、とても体温が高くなるのですが、大きな耳をラジエーターに使っているようです。

では人間はどうかといいますと、必死になって汗をかいて気化の潜熱で速く熱を出そうとしております。汗腺のない犬はしょうがありませんから、ハアハアと舌から熱を出すわけです。

余談ですが、犬の呼吸を人間が真似すると大変な事になります。人間が汗をかくかわりにハアハアとやりますと呼吸筋を動かすだけの熱が加わり、結局、熱がたまり体温がどんどん上って死んでしまうでしょう。犬はどうして効率よくハアハアいっているかというと、犬の胸郭の固有振動を測るとハアハアいうのと周期がまったく同じなのです。つまり固有振動にシンクロナイズしているので、ハアハアいってもエネルギーは要らないわけで、人間は真似をできないようにできているのです。

—熱交換器・怪網—

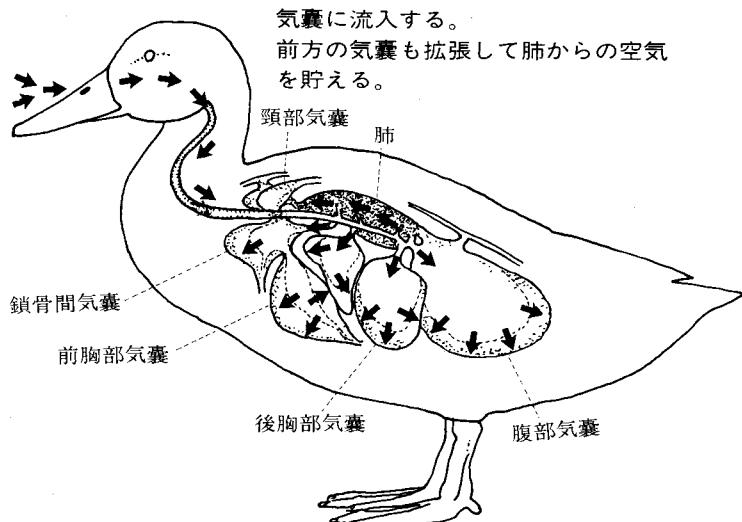
猫類は大変変わった装置を持っております。猫類は全部狩猟動物ですから、高速で獲物を追いかけて倒すわけです。ライオンもヒョウもトラもチータもそうですが、ダッシュして 300 m も走ったら体温が時には 50°C を越える位の熱を発生するのです。ところがラジエーターを持っていません。どうしているかというと、首のあたりの血管に熱交換器を発達させ、熱い血液が脳に行かないようになっているのです。体からの熱い血液が、脳から戻ってくる冷たい血液との間で熱を交換して、冷やした動脈血を脳に送り、熱くなった静脈血を戻すというわけです。しかし、この熱交換器ではありません長時間運転は期待できません。チータなど全力走行のあとは、30 分くらい横になってハーハーやっているそうです。こういう風に動脈と静脈がお互いに非常に細かく入り混じって分かれしており、熱交換をしている事実は、ずいぶん長い間分らなかったので解剖学者は怪網とか奇網という名をつけています。非常に機械的な設計と生命の設計とは相似た思想であるものだと思います。

—鳥は無着陸でどこまで飛べるか—

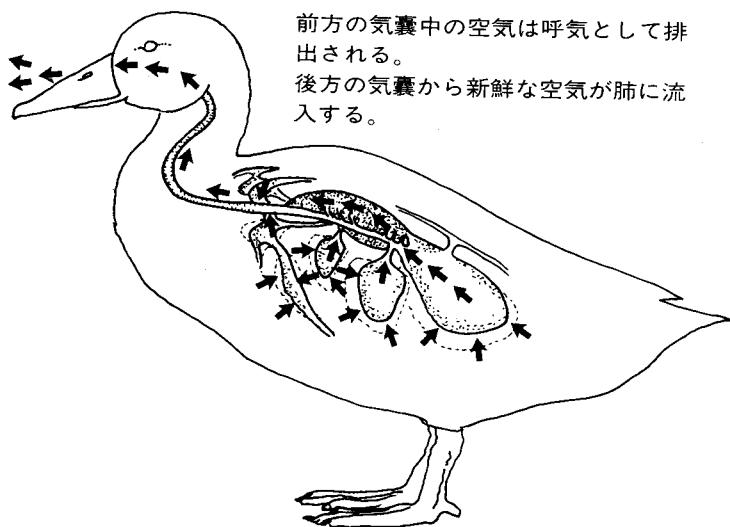
飛ぶための本格的なデザインをもった生物は、昆虫を除くと鳥だけです。どうしてこういう適応をしたのでしょうか。これもまた大変面白い物語があるわけですが、今はっきり解っている特徴のひとつは、鳥はいつでもパッと飛び立たなくてはいけませんから、エンジンをスタンバイの状態でアイドリングしているので非常に代謝回転が速いのです。そのために体温が 40°C 位あります。冬でも凍えている人間の足の上に二

鳥類の設計

吸気相



呼気相



ワトリが上がりりますと暖かい感じがしますが、それほど体温が高いのです。

先日、工学部のある先生から、「渤海湾を越えて来る渡鳥は400km以上を一気に飛んで来ると聞いたけれども、どうして飛べるのか？」と質問されました。で、その質問は2つあり、どうして燃料を給油してるんだろうかということと、もう1つ、どうしてエンジンの熱を放出するのだろうということです。

では、まず放熱の話からしますと、鳥の体の中には気嚢という物があり、気嚢は肺から始まって翼腕の先や脚の先のあたりの骨の中の管にまでつながっています。これは以前は何の為にあるのかよく解らなかったのです。昔の人は鳥が飛ぶ為に空気で膨らまして自重を軽くしたんだろうと考えましたが、それなら初めから小さく作っておいた方が空気抵抗が少ない筈です。良く良く調べてみると、気嚢の役割りのひとつはどうもラジエーターなのです。体の中の筋肉エンジンが発生する熱を、気嚢から呼気の中に排出するのです。

もし、鳥が人間や犬のように水分を蒸発しながら熱を排出するという水冷方式を取り入れたとすると大問題が起こります。というのは、冷却水をどこから補給するかという難問に行き当り、飲まず食わずどころか、飲まずには飛べなくなってしまいます。空冷エンジンだから長距離無着陸飛行の条件をひとつクリアーできたのです。もうひとつ給油の問題も食わずに飛ぶほうは計算してみるとそう難かしくはありません。最初の方で図をお見せしましたが、飛行機は1kgの自重を1キロカロリーの燃料で、1.7km飛ばすことができ、大体鳥ですと2km飛ばせます。渤海湾の上を一気に飛んで来ると400kmですから、200キロカロリー要るのです。ここでもし、ジェット燃料のケロシンを燃やすと、1gで丁度10キロカロリー出ますが、人間や生物が脂肪、つまり体の中の油を燃やすと9キロカロリ一位出ます。ブドウ糖を燃やすと4キロカロリー出ます。それで多分、生物は混合燃料を使うだろうというので、1g燃やして5キロカロリー出るとしますと大体40gの燃料で1kgの体重を400km飛ばせるのです。1kgの体重で40gですから、4%減るだけで大丈夫ということになります。だから鳥は渡りをする前に一生懸命餌を取り体重がかなり増えます。

渡りの前のカモなど、尻のあたりの脂が随分増えますが、これが体重の10%はゆうに越えるという報告があります。人間でも肥えるのは簡単で、先年、中国に行きました時、ある大学病院長が一週間で2kg増えたので家に帰れないと嘆いておられました。中国料理をたくさん食べると1週間で2kgは増えます。もうちょっと頑張れば5%は簡単に増えることになります。鳥はその5%で400kmを飛べる勘定になります。

ついでですが、ジェット燃料は人間や生物の油より熱量が大きくて1gで10キロカロリー出ます。そうすると、ジェット機で東京—アンカレッジ間が5500km位、アンカレッジ—ロンドン間が7000km位あるわけですが、ジェット機が到着する時には出発時の重量の45%、半分以下になってようやく着くわけです。そうすると400kmの10倍というと1kgの体重から400g減るわけで、自重が半分になって7000km飛べるという事実はジェット機でも鳥でも同じ計算になるわけです。燃やしているものが同じ油ですから、まあ動物の場合には混合燃料で少し効率が悪いものですから、目減りが多いかもしれません、燃費と熱の放散の設計をうまく考えてみると、小さな鳥でも餌を食べて体重を5%~10%増やせば、渤海湾くらいは一気に飛び越えられることが理解できます。

水調節の比較生理

ここで、水冷式の話題が出ましたので、生物の体の水出納調節の非常に精妙なしくみをお話します。

●防水性外皮

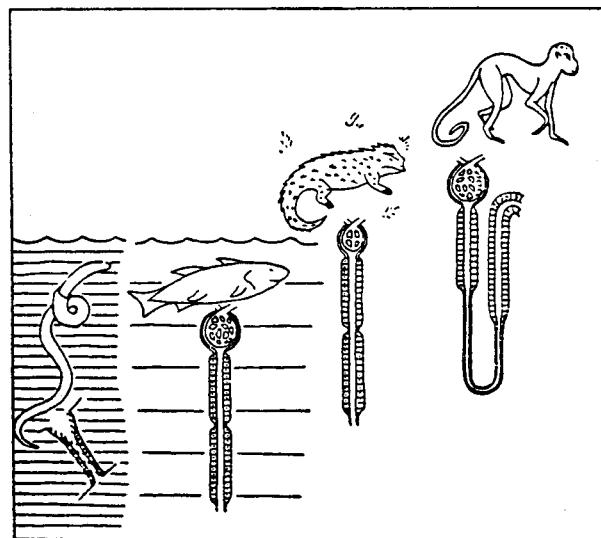
今も鳥は水の蒸発を利用する熱放出の方式をとっていないと申しましたが、水をうまくコントロールするのは、非常に難しい技術です。比較生理学の学説によりますと、生命は川口に近い原始の海で生まれたということです。その頃の海は生命をはぐくむのに良い環境で、排泄装置は必要ですが、簡単なものであったに違いない。ところが、冒険者が真水の流れる川の中にまぎれこんでしまった。するとまわりの浸透圧が低くて、身体は 300 mOsm/kg 位の浸透圧がありますから、どんどん水が浸入してパチンとはじけて死んだに違いありません。血液を蒸留水の中にぽんと落しますと、あっという間に破裂します。これは、浸透圧で水を吸い込んでしまうからですが、これを防ぐ方法の1つは、防水性の外皮を作れば良いわけです。これは何とかなりますが、餌を取る時にも水を飲んでしまいますから、何とか排泄しなくてはいけない。で、血液の中から強引に圧力をかけて水を濾し去ろうという濾過装置を作りました。しかしそれだけではブドウ糖とかビタミンとか、有効な成分が水の排泄といっしょに出ていってしまいますから、必要な栄養成分は再吸収する装置が作り出されました。この濾過装置と再吸収装置を組み合わせたのが、実は腎臓の原形です。それから陸上に防水

環 境		動 物	体 液 調 節 機 構
海	高浸透圧 Na過剰 H_2O 欠乏	硬骨魚類(タイ, マグロなど)	鰓のNaポンプ(外向き)
		板鰓魚類(サメ, エイなど)	体液に urea, trimethylamine を蓄積
		爬虫類(ウミガメなど)	塩腺
		鳥類(カモメなど)	塩腺
		両生類(カニクイガエル)	体液に urea を蓄積
淡 水	低浸透圧 Na欠乏 H_2O 過剰	哺乳類(クジラなど)	腎臓質発達, 濃縮尿
		魚類	鰓のNaポンプ(内向き)
砂 漠	乾燥 H_2O 欠乏 発汗あれば Na欠乏	両生類(カエル)	皮膚, 膀胱粘膜のNaポンプ
		爬虫類	雨期の繁殖, 膀胱に水を貯え夏眠
		鳥類	水分喪失の少ない皮膚, 地下生活
		小型哺乳類(スナネズミなど)	水を求めて移動, 塩腺を欠く
		大型哺乳類(ラクダなど)	腎臓質発達, 濃縮尿, 地下生活

さまざま動物の水調節機構

水の出納調節は、腎臓だけではなくいろいろな臓器で行われる。Naポンプは塩腺、鰓、皮膚、粘膜などにあり、Naを汲み出して水分を保持する。防水性の外皮も水保持に有利である。代謝終産物を尿素の代りに尿酸になると、尿の水分が節約できる。軟骨魚類では尿素や関連物質を貯えて海水と浸透圧拮抗を維持している。

性の皮を付けたまま進出してきたのが陸上動物の祖先なのです。魚や爬虫類のうろこは防水性であると同時に非常に絶縁性が高くて電気が通りませんから、体表から直接心電図が取れません。



水調節機構の進化

哺乳類の腎臓のカウンターカレント機構は造物主の傑出した着想である。腎臓の進化を絵でたどると、左から右に①線虫などの単純な排泄管がオリジンである。②生命の分布が淡水中に広がると、侵入した水の排泄を担うために血液の濾過装置と、有用物質の再利用のために長い吸収管ができる。③陸上生活者は、初め防水性の外皮で水喪失を防いだ。④やがてヘアピン状のカウンターカレント機構が発明されて、尿の浸透圧を自由に調節できることになった。

●カウンターカレント機構

——哺乳類(鳥類)——

防水性の外皮だけでは、陸上行動の自由は充分ではありません。何とかして生体機構を改良して、老廃物は排泄するが水はできるだけ節約する工夫が必要になりました。爬虫類は固い殻の卵の中で誕生するので、携帯飲料水だけですべてを賄わなければなりません。鳥類も事情は全く同じです。そこで窒素代謝の老廃物を尿酸にしました。尿酸は水に溶けにくいので、水なしに排泄できます。鳥の糞の上に白いペースト状のものが乗っていますが、あれが尿酸の析出したものです。

もうひとつ的方法は斬新な腎臓を設計して、水は余り使わなくて良いシステムに取り替えることです。どうしてこんな高級な仕掛けが作られたのか良く解らないのですが、ヘアピン状に曲がった構造が哺乳類の腎臓の中にあります。これをカウンター・カレント系といいますが、鳥にもこれの痕跡があります。

●高性能腎臓

——鯨、砂漠の哺乳類——

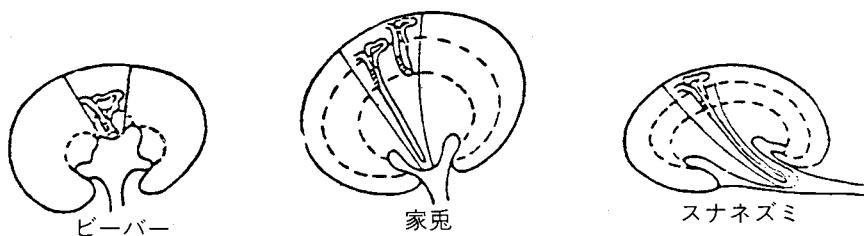
実は今言いましたカウンターカレントシステムは、熱交換のシステムとしても非常にすぐれています。高温炉を効率良く運転するには、燃料ガスと空気をこのシステムで予熱すれば良いわけです。このシステムがなぜ水を節約するのに使われたのか未だに分りません。

ビーバー、うさぎ、砂漠に住んでいるねずみは、いずれも齧歯類です。齧歯類は腎臓のユニットが1つなので比較に便利です。居住環境の違う3種類の齧歯類の腎臓を比べてみると、腎髓質と呼ばれる部分の大きさに極端に差があることが分かります。この事実は日本人研究者が発見したものです。

とくに、砂漠に住んでいるネズミは、髓質部分がやたらに長く、ヘアピン状の構造をもったカウンター・カレント系が非常に発達していることが分ります。

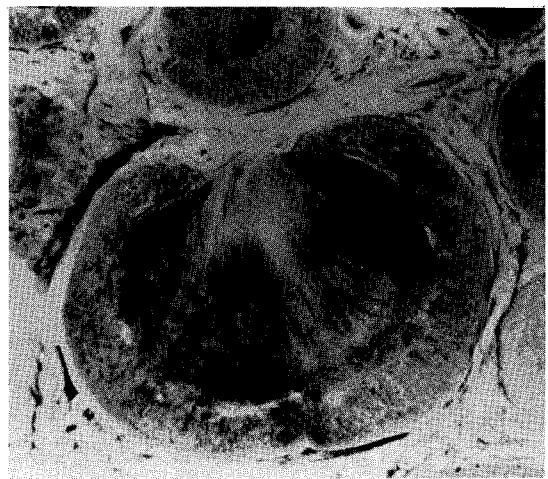
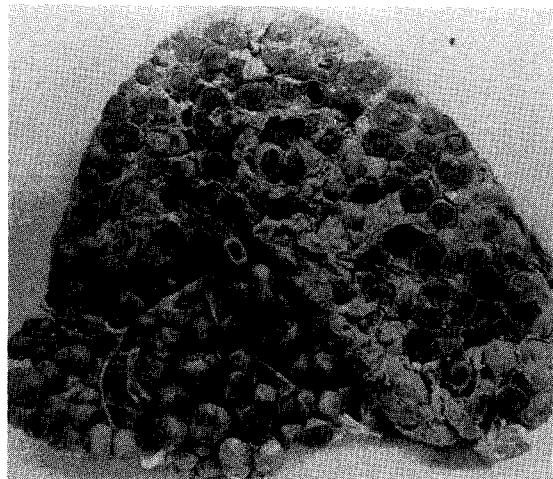
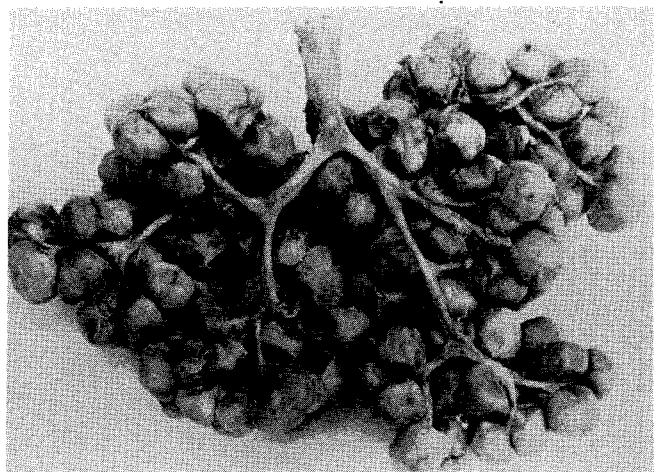
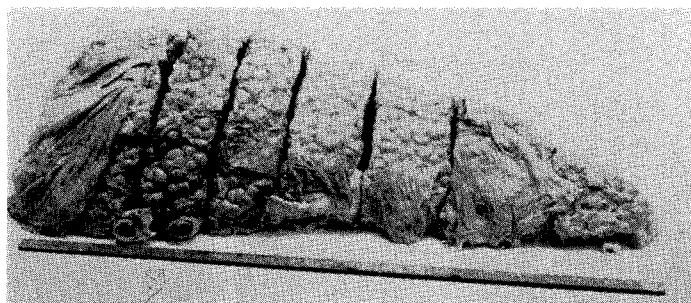
これは比喩的に言いますと高性能の腎臓です。ちょっと珍しい写真ですが、鯨の腎臓をお見せします。鯨は心臓も大変大きく、東大医学部の標本室にセミ鯨の心臓がありますが、タライ2杯分位あります。その他、もちろんの器官が性器も含めて皆大きいわけです。もちろん腎臓も非常に大きいのです。しかし、この大きな腎臓は人間の腎臓を数百倍にしたものではないのです。実は、小さな小さな腎臓が数千個集まって鯨の腎臓ができているので、1個1個の腎臓は人間より小さいのです。まるで木にミカンがなっている様に腎臓が集合しているのです。その小さな腎臓の1つを取り出してカットしてみると、先ほど齧歯類の腎臓とよく似ていて、しかも髓質と呼ばれるこの部分が非常に長いのです。つまりヘアピン状の尿濃縮のメカニズムがよく発達していて、非常に濃い尿を作ることができるわけですから、鯨は真水を飲まなくても生きていけるのです。

人間が海上で遭難すると飲料水が足りないためたちまち死んでしまいますが、鯨は生まれた時から真水は飲みません。なぜそういう事が可能なのかというと、尿の塩分を濃縮できる特殊な高性能の腎臓を具えているからです。



腎髓質の大きさの比較

齧歯類で比較すると、水辺に住むビーバーの髓質は極めて貧弱であるが、砂漠のスナネズミは長大な髓質を備えている。腎髓質の長さと尿濃縮能力は比例する。



鯨の腎臓

海水中で暮す哺乳類の代表の鯨は水を飲まない。鯨の腎臓は小さな腎臓の集合で、ひとつひとつが非常に発達した腎髓質を持っている。

● 塩腺

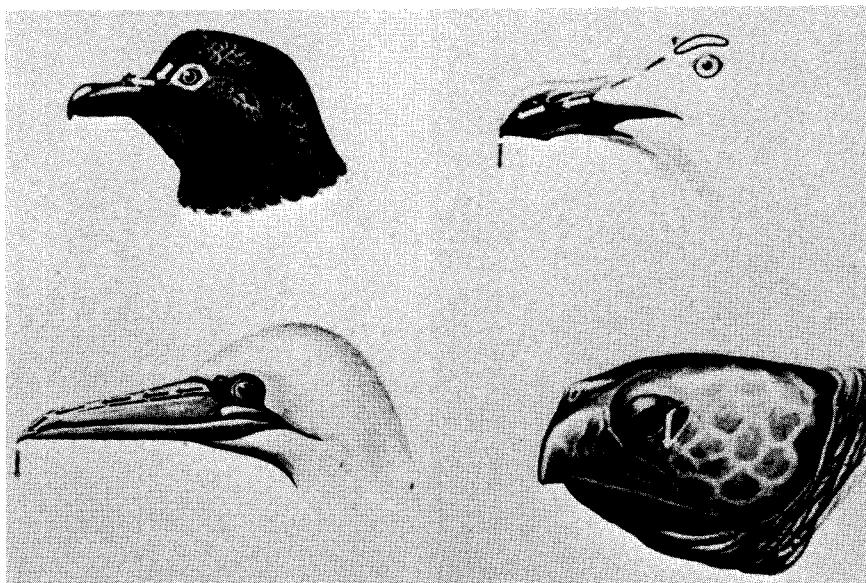
—海鳥、海棲爬虫類—

カウンター・カレント系をもった高性能の腎臓は哺乳類にしかありません。そこで哺乳類以外の海の中に住んでいる生物は、色々な工夫をしております。海でしか生きない海鳥や、海で暮らしているタイマイ、ベッコウのような爬虫類は、古いタイプの腎臓しか持っていません。それでもこれらの動物は海水しか飲まず、真水は飲みません。人間とは違って海の中まで生きていけます。海水はすべての生物よりも塩が濃いわけですが、そこから水を濾し取ることができます。

鳥類ですが、北欧の町で食事をしていると、鷗がよく食べ物を盗みにきます。眼と鼻の先で鷗を眺めるといつも鼻水をたらしています。鷗はいつもカゼをひいているのかと思います。またどこかで捕えられた海亀にお酒を飲ませて、帰ったら竜宮城へ招待して呉れよと頼むと、涙を流して喜んで海に帰るといいます。これはいずれも嘘です。実はこれらの動物には涙腺の上の方に別に1つ塩腺という分泌腺があります。

それが非常に濃い食塩を生産する能力のある分泌腺なのです。海亀の涙や鷗の鼻水をなめたら非常にからいはずです。

余談ですが、陸上の水鳥も実は海から陸へ戻って海へ帰らなくなつた生物と想像されています。アヒルは一度に大量の塩水を飲ませると、たちまち死んでしまいます。が、徐々に薄い食塩から慣らしてゆきます。1ヵ月位かけて濃い塩水を飲ませてやりますと、立派に鼻水をたらすアヒルができます。隠れた腺が機能を復活してどんどん塩水を出すようになります。なぜこんなことが発見されたかといいますと、イギリスで動物愛護のおばさんが、「鷗の塩腺を剔出して研究するのは可哀想ではないか」と筵旗を立てて猛反対運動をしたのです。それなら、食用のアヒルなら文句はあるまいということになって、研究者がアヒルに塩水を飲ませる実験を思いつき、やっと代替の研究材料をみつけたという苦心談があるのです。



海棲爬虫類・鳥類の塩腺

腎臓のカウンターカレント構造は哺乳類にしかない。爬虫類や鳥類は、塩腺から濃い塩水を排泄して水分を確保している。

●NaCl貯留能

この話は無限に面白いテーマがあって、きりがありません。蛙や淡水の亀は塩のない所で暮らしています。一生真水の中で暮らしていると塩は足りなくて困ることになります。どうしているかというと、膀胱の粘膜がナトリウムポンプを持っており、尿の中から塩分を再吸収するのです。そして、塩を完全に回収した尿を出す、というからくりを持っています。

●両方向性 Na ポンプ

現存する魚類はすべて淡水に起源を持つとされています。それは魚類の腎臓が濃い塩分濃度の尿を作れないことから想像されています。それでは海水中の魚類は困りますから、進化の進んだ硬骨魚類（タイ、マグロなど）は、えらにナトリウムポンプを持っていて食塩水を汲み出すのです。下等な軟骨魚類（サメ、エイなど）は尿素系化合物を血液中に高濃度に貯えて海水の浸透圧に対抗しています。

ウナギや鮭やマスのように海と淡水を往来する魚は、これはまた立派なハイテクノロジーのナトリウムポンプを持っており、海に行ったらナトリウムをくみ出します。それから真水に入って来たらナトリウムをくみ込む。川口のあたりで2日から3日うろうろ泳いでいる間にスイッチを切り替え、準備の終わった個体から段々川を遡上して来るらしいのです。このホルモンが何であるかは、研究上大変おもしろいテーマです。

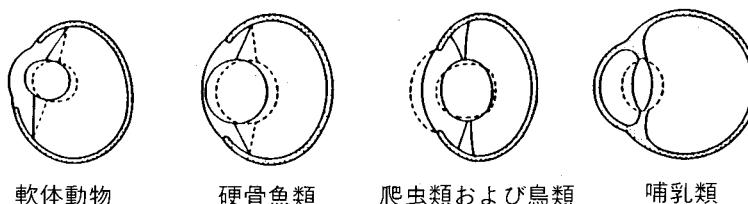
眼球の設計

もう一つ私の大好きな眼の設計のお話をしたいと思います。私はカメラマニアで、色々なカメラを使って楽しんでいますが、この頃老眼鏡併用のメガネをかけなくてはならないようになって非常に不自由です。

●可変焦点レンズ方式と蛇腹方式

それで調べてみると哺乳類以外の動物は、なにも可変屈折率型の焦点合わせをやっていません。イカ・タコの類、それから魚、鳥類、爬虫類などみんな焦点合わせの方式が違います。

イカ・タコなどの頭足類、これは軟体動物ですが、これと魚類は随分離れた種類なのに、蛇腹式の焦点合わせ方式の眼球です。鳥類と爬虫類は近縁の種で、どちらも同じ折衷方式で水晶体だけでなく、角膜の曲率も変えて焦点合わせをしています。人間はレンズの水晶体だけの操作で焦点合わせをしていますので、材料が老化して固くなってくると老眼になってうまくいかないわけです。これは神様の設計ミスで、イカやタコのような蛇腹方式にしておいてくれれば近眼も老眼もなかったと思うのですが。色々な動物をみると大変おもしろい工夫が見つかります。



動物の眼球の設計思想。軟体動物と硬骨魚類ではレンズを前後に動かすことによって、爬虫類と鳥類ではレンズおよび角膜の形を変えることによって調節するが、哺乳類では形が変わるのはレンズだけである（実線は近距離視、破線は遠距離視）。

●二重焦点レンズ

実はバイフォーカルのメガネを備えた動物がいるのです。つい最近まで知らなかつたのですが、馬は相当高速走行をします。そうすると遠方が見えなくては危なくてしようがない。ところが草を食べる時は、望遠鏡では見えませんから、近くを見なくてはいけない。それで馬の眼は人間の老眼・近視両用メガネのように、上が遠視で下が近視になっているのだそうです。

他にも同じような動物がいないかと調べると、ムツゴロウの眼をよく注意して見るとつづみ型の瞳をしているのです。この下半分は水中を見ており、上半分は空中を眺めているようです。これと同じような構造は、熱帯の淡水に住む鉄砲魚という魚にもあります。水中から眼だけ出して空中の木の葉や枝にとまつた昆虫を見つけて、ビュッと水を出して撃墜するのですが、どうもあれもバイフォーカルのレンズを持っているらしい。

しかし、蛙はどうもそうではありません。カバも焦点はどうも一つのようです。

●可変焦点メガネ

試作したメガネはシリコンのポンプ機構が側面にありまして、ネジを回すと圧力がかかってレンズ面に流れ込んで曲率を変えます。なんとか、かっこよく作った心算ですが、どうしても大久保彦左衛門のメガネみたいな、丸しかできないのです。その上シリコンオイルのシリンダーが重くて、段々鼻の上へずり落ちてきて、どう工夫しても売れるようなものではないという事になってしまいました。なんとか人間の眼の設計の不備を光学技術で補なえないと考えていますが、なにしろ不細工で、大変苦労したわりには、全々使いものにならない有様です。二つの異なる液晶の間の電圧を変えて見かけの屈折率を変えるという原理があって、これはアメリカの特許になっていますが、うまく使えば可変焦点の老眼鏡ができるかもしれません。ただし、今のところは安定性が悪いそうで、ちょっと焦点距離が変わるメガネをかけて歩くのは大変だろうと思います。

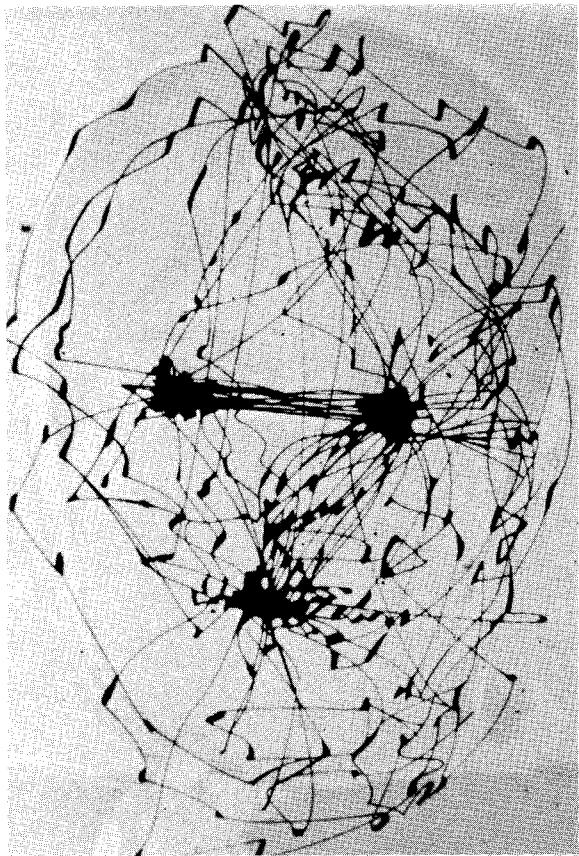
瞳孔反応・凝視反応

●人間の視点

この写真はデスマント・モリスの『マンウォッキング』という本から取ってきたのですが、人間は相手の顔を見た時に必ず見る場所があるのです。人の視線が顔を見るときをアイカメラで追跡すると、まず眼を集中的に見るようです。それから口もとを見る。これで相手を大体認識して、まだ余裕があったら輪郭や、『何か髪につけているか』などという認識をしているのです。

生物は相手の眼を非常に注意して見るのですね。お互いのコミュニケーションの対象は眼を見る事です。そうすると理由のわかるのが、この頃の少女マンガです。何でこんな解剖学的にあり得ない目茶苦茶な眼を描くのかというと、人間は相手を見た時に眼だけを見ているからです。

次にみんなは口を見るのですが、これは、なるべく小さく、かわいく描きます。眼



ヒトの凝視反応

人の顔を見るときの視線は、アイカメラで調べると両眼と口元に集中する。眼と口元には言葉以上の情報伝達機能が隠されている。

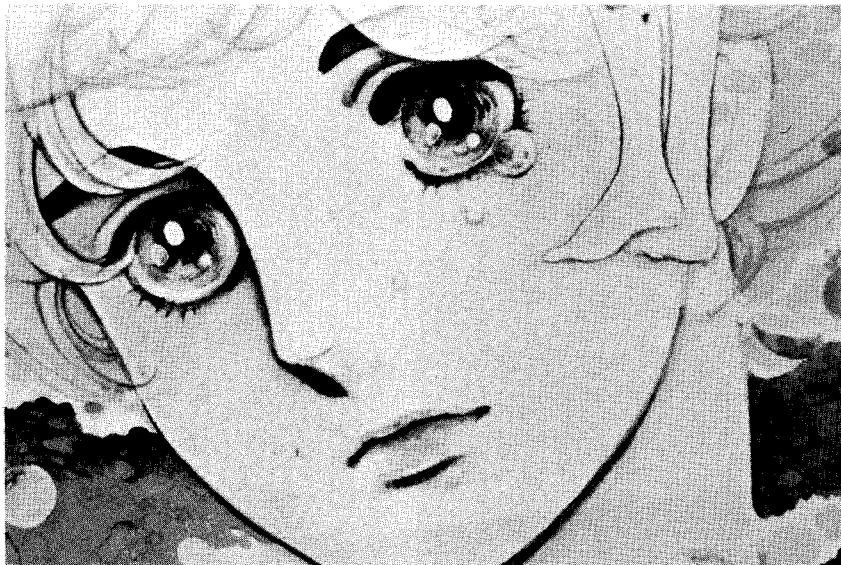
はなるべく大きくなります。こういう超正常に誇張した絵の方が人間の本性にきわめて強く訴えるようです。

ついでに、マンガの女の子の方は丁度9等身です。男に至っては11等身です。大変格好良いですね。裸の女の子など、足は現実の女の子の足より1.8倍位長い。つまり足が長いということは成長した証として、成熟した相手を強く求めている結果であると思われます。

●生得反応

自然界にはなぜ変な目玉模様の蛾や蝶ができるのでしょうか？。これは、昆虫が小鳥に狙われた時に、鳥の敵であるリスやテンのような哺乳類の小動物の眼と錯覚して、一瞬、“ぎょっ”とする効果を期待したものであるという説があります。

秋葉原で見かけたのですが、目玉模様の風船をぶらさげると、ハトが来ないというのです。「本当かな？」とまわりを眺めると、とんでもない話でして……。すぐ横の木にはハトが鈴なりです。すぐ慣れるのです。これではいけないと人間も工夫して、ダッコちゃんのようにホログラム効果で角度が変わると目を開けたり閉じたりするような目玉にしたら、さすがにハトも驚いて当分寄って来ないそうです。



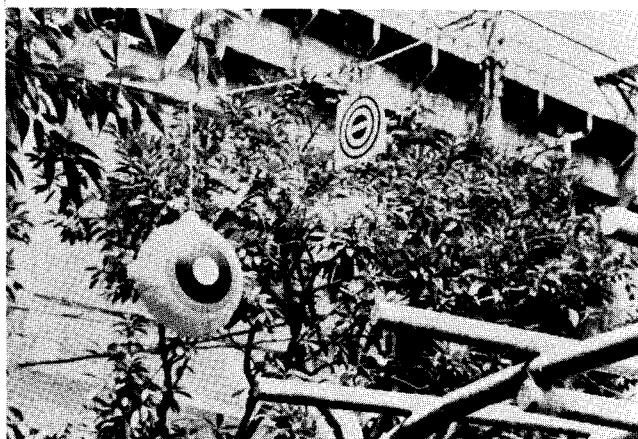
劇画の主人公の眼はなぜ大きい？

人間は顔に対して、眼と口元に意識を集中するだけではなく過剰反応を示す。漫画や化粧に見られる不自然に大きな眼や、超健康を示唆する赤い唇は、ヒトの過剰反応を期待している。

ところで自動車のフロントデザインは目玉としか思えません。2つ目玉があって途中に滑稽な鼻がつき出したり、ベロが出たりしていますね。昔のダッジのフロントグリルには金の入歯を12枚並べたようなのがありました。非常に擬人的な顔をしております。これをちょっと工夫したらどうでしょうか？人間は見つめられる事を（生き物はすべてそうですが）大変意識します。レストランで食事をしていても誰かがこちらを見ていると、目の端の隅の方でも、あっ、誰か見ているなという気配がします。あれは早期警戒の手段として、先天的に発達している様で、機械にはああいう機能はありません。

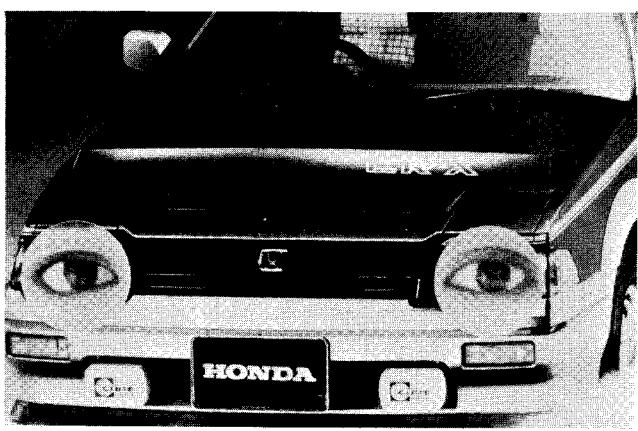
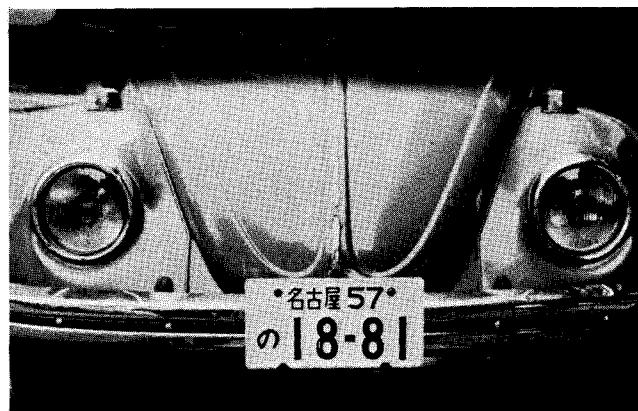
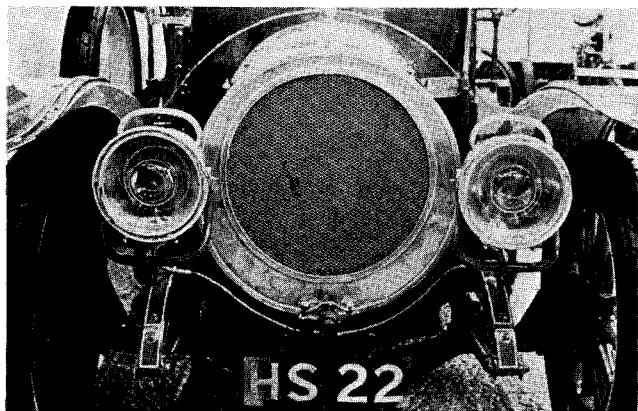
お互いの目を見て非常に関心を示すのは、友好なコミュニケーションの場合は良いのですが、そうでないと極めて危険な信号です。ですから飼い犬の目をじっと見つめてやりますと、犬が辟易して目をそらします。気分を害して「何で主人はおれをにらみつけるんだろう」とモジモジし始めます。猫でも目を見つめると大変嫌がります。動物にとって見詰められるのは決して良い事ではない。ですから高崎山で「サルのボスの顔を見ないで下さい」と注意書きがあるのは、目を合わせるとサルのボスは「取って食われる」という風に思うんですね。「自分に興味があるはずはないから、これは餌にして取って食おうと思っているんじゃないかな」と感じて飛びかかって来るのです。丁度、人間のヤクザが目を合わせると因縁をつけてからんで来るのは、サルと同じ位の精神構造なわけです。視線の端の方でも、女性が見てくれると大変気持が良いというのは人間の特別の反応です。

では、そういう自動車を造ったらどうでしょう。走りながら人々に色っぽい流し目をくれるという車を設計したら、見られた方は気になってしまふから買ってしまうでしょう。



目玉模様の駆鳥仕掛け

目玉模様はイタチなどの肉食獣への鳥の警戒心を利用したものといわれるが、野鳥はすぐに慣れて効果が少ない。最近はホログラム効果によって視線が動く目玉模様が工夫されている。



工業デザインの凝視反応

動物の両眼で見詰められているようなフィーリングは、ヒトの本能を刺激する。自動車のヘッドライトのデザインは購買者への訴求効果を持っているに違いない。物思わしげな瞳の車、伏し眼や流し眼の車があれば気弱な男の気を引くかもしれない。

人間の行動を精密に観察しますと、非常に貴重な原理がいくつでも見つかります。例えば、瞳孔の大きさは、普通は意識していませんが、相手に好感を持ったり、興味を持ったり、好ましい気分の時には瞳孔が開きます。ですから、「中国のヒスイ商人は黒メガネをかけているのはなぜか?」というクイズがありますが、汚ならしいヒスイを持ち込まれたヒスイ商人は、たいてい貧欲な小悪人ということになっていますから、「何だ、一元にもならないクズみたいなヒスイじゃないか」と言い叩く。ところが実は

素晴らしい石だなと思った瞬間、ぱっと瞳孔が開いてしまう。それを相手に読まれてふっかけられるので黒メガネで目を隠すというのです。

この間、トランプの名人に会ってこの話をしましたら、「やっぱりそうですか。本当のポーカーフェイスというのは瞳が動かなくなるまで訓練するのです。」ということでバイオフィードバックもそこまでコントロールできるようです。

同じ女性の写真にちょっと細工して瞳孔を大きく描いたのと、小さく描いたのをパッパッと一瞬ずつ見せます。「どっちが良かったか？」と聞くと、初めは「同じ顔じゃないか」と答えます。「重ねて前と後、どっちが好きか？」と尋ねると必ず瞳孔を大きく描いた方を皆さん好きだといいます。

それから、ばかばかしい話もありますが、男はいい女を見た時、パッと瞳孔が開くのですが、男を見たって変化しない。女はいい男を見たらパッと瞳孔が開くのです。ところがホモとレズは逆なのだと思います。ホモの男はいい男を見たらパッと瞳孔が開くけれど、女を見ても動かない。レズの女がいい女を見ると瞳孔がパッと開くのに男を見ても開かない。コンピューターは人の顔色が読めないと言われますが、瞳孔を観測することでこの弱点を突破する手がかりになるのではないかと思います。

「あなたはどこが痛いんですか？」と質問するとウソを言っている時に瞳が動きますから、それを機械で捕えてやりますと、「どうも、こいつはウソを言っている。」というのがウソ発見機にかけなくともわかるのではないでしょうか。ですから、ディーラーの人にも、そういう機械を渡しておきますと、パッと瞳が開いたら、「買いそうだ！」ということが分るかもしれません。



生得反応としての瞳孔反応

好ましい対象を見ると瞳孔が開き、嫌なものに対しては瞳孔は縮む。この反応は生得のもので、見られた方も相手の瞳孔の変化から自分に対する好悪の程度を計ることができます。全く同じ女性の写真の瞳に細工をすると、例外なく瞳の大きな方を好ましいという返答が得られる。例外は同性愛者であるといわれる。

おわりに

今日、私がお話しすることになったいきさつは、プラッセルでのシンポジウム（1905年10月7～9日）の時にご一緒した方々に“人間を機械として見たらどうなるか”というお喋りをしました処、大変面白いから本田財団の懇談会の話題にどうかとお誘いを頂いた次第です。

大学の人間には多少自由がありますので、私は本職の研究課題のほかに“面白いテーマ”を持つべきではないかと兼ねて考えています。先代の教授にあたる大島正光先生が、定年の最終講義でご専門の宇宙医学や人間工学から一寸踏み出した色彩感覚のテーマを掘り下げて話されました。私は大変感銘を受けまして、本職以外に人に聞かせるだけの隠し財産とも言うべき研究テーマが必要だと思いました。今日お話ししたのは何処まで完成に近づけるか未だ分かりませんが、医学生物学から余り遠くなくしかも面白く追及できる課題を幸いにも発見できたのではないかと思います。内心の希望はこうした新しい切り口の生理学の教科書を書いてみたいということですが、どうぞご声援をお願い致します。

本田財団レポート

No.1	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ローマ1977」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭53.5	No.28 「鍊金術 昔と今」 理化学研究所地球化学研究室 島 誠	昭57.4
No.2	異文化間のコミュニケーションの問題をめぐって 東京大学教授 公文俊平	昭53.6	No.29 「産業用ロボットに対する意見」 東京工業大学教授 森 政弘	昭57.7
No.3	生産の時代から交流の時代へ 東京大学教授 木村尚一郎	昭53.8	No.30 「腕に技能をもった人材育成」 労働省職業訓練局海外技術協力室長 木全ミツ	昭57.7
No.4	語り言葉としての日本語 劇団四季主宰 浅利慶太	昭53.10	No.31 「日本の研究開発」 総合研究開発機構(NIRA)理事長 下河辺 淳	昭57.10
No.5	コミュニケーション技術の未来 電気通信科学財团理事長 白根禮吉	昭54.3	No.32 「自由経済下での技術者の役割」 ケンブリッジ大学名誉教授 ジョン F. コールズ	昭57.12
No.6	「ディスカバリーズ国際シンポジウム パリ1978」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.4	No.33 「日本人と西洋人」 東京大学文学部教授 高階秀爾	昭58.1
No.7	科学は進歩するのか変化するのか 東京大学助教授 村上陽一郎	昭54.4	No.34 「ディスカバリーズ国際シンポジウム コロンバスオハイオ1982」報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.2
No.8	ヨーロッパから見た日本 N H K 解説委員室主幹 山室英男	昭54.5	No.35 「エネルギーと環境」 横浜国立大学環境科学研究センター教授 田川博章	昭58.4
No.9	最近の国際政治における問題について 京都大学教授 高坂正堯	昭54.6	No.36 「第3世代の建築」 柳原竹清講建築設計事務所主宰 菊竹清訓	昭58.7
No.10	分散型システムについて 東京大学教授 石井威望	昭54.9	No.37 「日本における技術教育の実態と計画」 東京工業大学名誉教授 斎藤進六	昭58.8
No.11	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ストックホルム1979」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.11	No.38 「大規模時代の終り—産業社会の地殻変動」 専修大学経済学部教授 中村秀一郎	昭58.8
No.12	公共政策形成の問題点 埼玉大学教授 吉村 融	昭55.1	No.39 「ディスカバリーズ国際シンポジウム ロンドン1983」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.9
No.13	医学と工学の対話 東京大学教授 渥美和彦	昭55.1	No.40 日本人と木の文化 千葉大学名誉教授・千葉工業大学教授 小原二郎	昭58.10
No.14	心の問題と工学 東京工業大学教授 寺野寿郎	昭55.2	No.41 「人間と自然との新しい対話」 プラッセル自由大学教授 イリヤ・プリゴジン	昭59.2
No.15	最近の国際情勢から N H K 解説委員室主幹 山室英男	昭55.4	No.42 「変化する日本社会」 大阪大学教授 山崎正和	昭59.3
No.16	コミュニケーション技術とその技術の進歩 M I T 教授 イシエル デ ソラ ブール	昭55.5	No.43 ベルギー「フランドル行政府産業使節団」講演会	昭59.7
No.17	寿命 東京大学教授 古川俊之	昭55.5	No.44 「新しい情報秩序を求めて」 電気通信大学助教授 小菅敏夫	昭59.7
No.18	日本に対する肯定と否定 東京大学教授 辻村 明	昭55.7	No.45 「アラブの行動原理」 国立民族学博物館教授 片倉もとこ	昭59.10
No.19	自動車事故回避のノウハウ 成蹊大学教授 江守一郎	昭55.10	No.46 「21世紀のエネルギーを考える」 イタリア国立エネルギー研究機関総裁 ウンベルト・コロンボ	昭60.1
No.20	'80年代—国際経済の課題 日本短波放送専務取締役 小島章伸	昭55.11	No.47 「光のデザイン」 石井デザイン事務所 石井幹子	昭60.7
No.21	技術と文化 I V A 事務総長 グナー・ハンペリュース	昭55.12	No.48 「21世紀技術社会の展望」 第43回日経ハイテクセミナー	昭61.1
No.22	明治におけるエコ・テクノロジー 山本書店主 山本七平	昭56.5	No.49 「星をつぶす法」 文部省宇宙科学研究所所長 小田 稔	昭61.5
No.23	西ドイツから見た日本 電気通信大学教授 西尾幹一	昭56.6	No.50 「ひまわりVA太陽光は人間の生活にどう役立つか」 慶應義塾大学教授 森 敏	昭61.5
No.24	中国の現状と将来 東京外国语大学教授 中嶋嶺雄	昭56.9	No.51 「エコ・テクノロジーの宇宙的観察」 コーネル大学天文学および宇宙科学教授 カール・セーガン	昭62.2
No.25	アメリカ人から見た日本及び日本式ビジネス オハイオ州立大学教授 ブラッドレイ・リチャードソン	昭56.10	No.52 「人間はどこまで機械か」 東京大学教授 古川俊之	昭62.2
No.26	人々のニーズに効果的に応える技術 GE研究開発センター・コンサルタント ハロルド チェスナット	昭57.1		
No.27	ライフサイエンス ㈱菱化成生命科学研究所人間自然研究部長 中村桂子	昭57.3		