我孫子サイエンスカフェ5th.
Aug., 2018, 2.5h

ウニはすごい
バッタもすごい
われわれもすごい

東京工業大学名誉教授
本川達雄

地球上に34の仲間（門）がいるが、その中から5つを取り上げ動物はそれぞれがスゴイ！
生きていくために、こんなスゴイことをやっている！　と褒めちぎった本

- 刺胞動物（サンゴ）
- 節足動物（昆虫）
- 軟体動物（貝）
- 棘皮動物（ヒトデ・ナマコ）
- 脊索動物（ホヤ・四肢類）

本日は、その中から3つを紹介

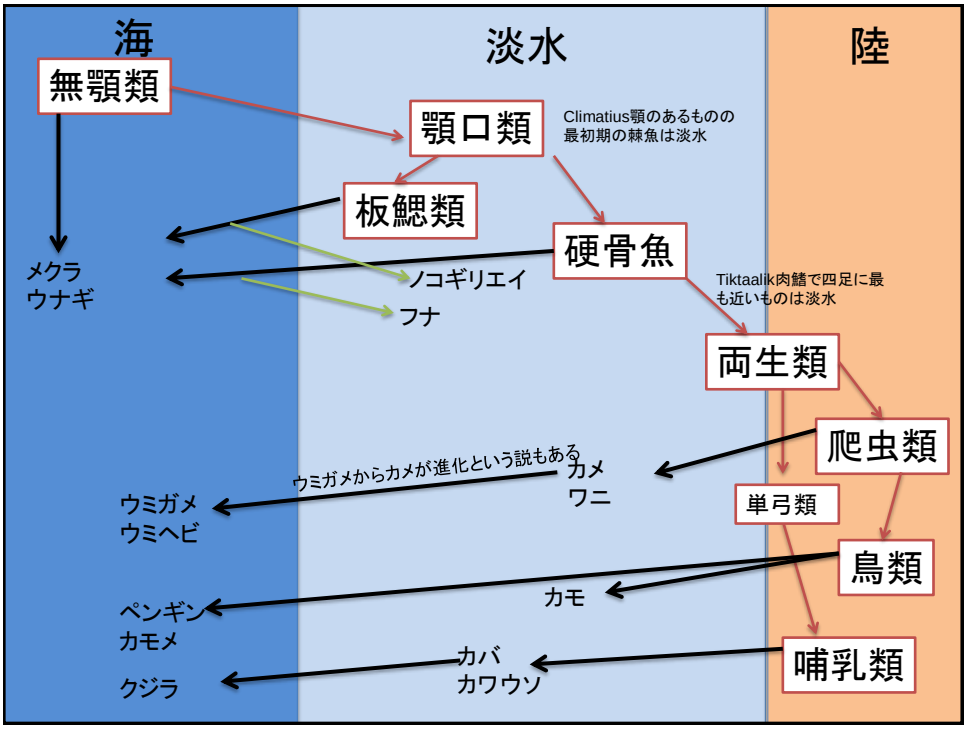
1. 陸に住む脊椎動物←われわれ自身
2. 昆虫　←全生物中、種の数が最も多い＝最も繁栄している生物
3. ナマコ←私自身がこの40年近く研究してきたもの

§ 脊椎動物はすごい

脊索動物門
- 頭索動物亜門
- 尾索動物亜門
- 脊椎動物亜門*（約5万種）
  - 無顎上綱（顎のない魚:ヤツメウナギ）
  - 顎口上綱（顎のあるものたち）
    - 軟骨魚綱（サメ）
    - 条鰭綱（真骨魚←脊椎動物の約半分の種）
    - 肉鰭綱（シーラカンス、肺魚）
    - 両生綱
    - 爬虫綱
    - 鳥綱
    - 哺乳綱

魚類

四足動物（肉鰭類から進化）



脊椎動物

- 海の魚
- 陸の四肢類（両生類・爬虫類・鳥類・哺乳類）

水中の魚→陸の四肢類

上陸にあたっては、水が大問題

そもそも、生物の体は水でできている

クラゲ95%

リンゴ80%

ウシ70%

ニワトリ74%

カエル78%
（みずものがたり）

細胞の中身（原形質）：85%

〇生物は海で生まれた
〇なぜ水？←水溶液の中で化学反応がさかんに起こっているのが生物

〇生物は約38億年前に海で誕生した
〇上陸したのは、約4億5千万年前
　35億年近く、水中だけで暮らしていた
←上陸するには、水の問題をはじめ、様々な問題を解決しなければならなかった
きわめて限られた仲間だけが上陸に成功
　植物→昆虫→四肢動物

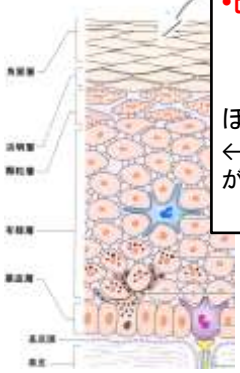
陸で暮らすのは、ものすごく大変

水中と陸上で、どちらが住みやすいか（住みやすい方に〇）	水	陸
水の入手・乾燥の危険	〇	×
姿勢維持・歩行	〇	×
食物の入手と消化	〇	×
窒素代謝物の処理	〇	×
生殖・子孫の分散	〇	×
温度の安定	〇	×
紫外線の危険	〇	×
酸素の入手	×	〇

〇圧倒的に水中が住みやすい
　→陸に上がるには解決しなければならない難問が山ほどあった　その主な点を見ていこう

✿陸の問題点1：最重要課題は水

体は水の入った器→放っておけば水は蒸発してなくなる
→体の表面を、水を通しにくいもので覆った



•ヒトの場合、死んだ細胞で覆う
ケラチンで満たされている＝強い
セラミド（脂質）を含む＝防水
ほぼ1ヶ月ではがれ落ちて入れ替わる
←常にメインテナンスをして防水・防御の機能が落ちないように
＝手間・エネルギーがかかる

昆虫＝クチクラ
マイマイ＝殻
四肢動物
- 両生類＝粘液
- 爬虫類＝鱗
- 鳥＝羽毛
- 哺乳類＝毛

そうやって節水に努めても、水は体から逃げる（肺の表面・汗）
→水を飲む必要

「飲まず食わず」：
人間の場合、食わずは3ヶ月近く大丈夫；飲まなければ1週間ともたない

体内の水の約1割を失うと死

◎干からびる心配：とくに体の小さい時期（卵・精子・胎児）

体が小さい

＝体の割に表面積が大きい
＝水が逃げていきやすい

半径=r
表面積$S=4\pi r^2$

体積$V=\frac{4}{3}\pi r^3$

表面積/体積＝S/V=3/r

表面積＝水が逃げて行く量
体積＝水瓶の量

体の小さいもの：S/Vが大
→小さいものは水を失いやすい

卵・精子・胎児の時期が大問題

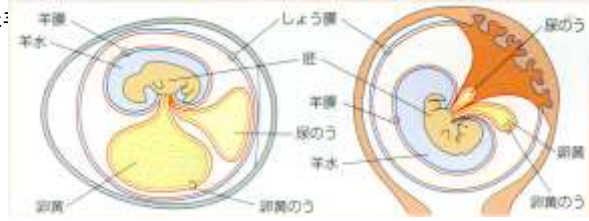
←だから両生類は子の時は水中（両生＝水中と陸と両方に住む）

〇交尾

精子をメスの体内に直接送り込む＝精子を外気にさらさない

〇胎生・卵殻（羊水のつまった
＝有羊膜類

爬虫類・鳥類・哺乳類



〇その上に陸の食べものは消化しにくい

が、乳（哺乳類）・軟らかくした餌（鳥）を与える

子づくり・子育てはまことに面倒←陸に住んでいる者の宿命

⇕

水中：卵や精子をただ放出すれば、自然に受精して、親が面倒をみなくても、育つ

✿陸の問題点2：姿勢維持

陸：地球の重力でつぶされないように体の形を保つ

←しっかりとした骨格が必要

骨格系＝骨・軟骨・靭帯からなるシステム＝支持系

- 外力（重力・風）に抵抗して姿勢を保つ

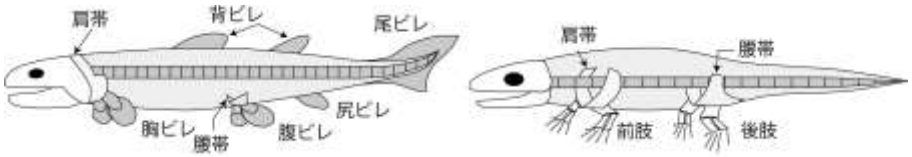
〔内部からの力（＝筋肉の出す力）を外界に伝える〕

⇕

水中：浮力が働いて重力をほとんど打ち消してしてしまう→立派な骨格は不要

○水中では移動も楽

水中	陸
• 浮力で体が浮く＝無重力状態のようなもの→ヒレをさっと動かすだけで、体が進む • 水の流れに乗れば、タダで移動可能→回遊	• 重力がかかった荷物（体重）を背負って進む • 地面にべったり体をつけたまま進むと、地面から大きな摩擦抵抗を受ける→四肢で体を持ち上げる



体を持ち上げるだけでエネルギーがいる
体を動かすにはさらにエネルギーがいる
→歩行・走行は、泳ぎに比べて10倍近くのエネルギーが必要

○動物は、まず餌を探し歩かねばならないが、歩き回るのは大変なこと；
いざ食べものが手に入っても、そこから先も大変

✿陸の問題点3：陸の食物はてごわい

消化の大変さ←腸の長さを比べればよくわかる

（体長の何倍か）

カマス（肉食魚）	1
カエル（肉食）	2
ヒト（雑食）	4.5
ウシ（草食）	25（60m）

とくに植物がてごわい

◎植物細胞

•1個1個が硬い細胞壁で包まれている

（ちょうど細胞が弁当箱に入っているようなもの）

•この箱をどんどん積んでいって体をつくる

細胞壁＝セルロースでできている
○丈夫な繊維
○セルロースを消化する酵素が、動物にはない
• 細胞1ケ1ケをカづくで砕かないと中身が食えない→強力な顎・歯
• 消化できない部分が多い（セルロースは乾燥重量の半分近く）→たくさん食べる→大きな胃（食物溜）
•砕いたものに時間をかけて消化液を染み込ませる/微生物にはセルラーゼをもつものがおり、消化を助けてもらう →長い腸

水中：食べるのも楽

- 水中の生物は硬い殻がない（硬い骨格や、乾燥を防ぐ表皮がない）
- 小さな有機物がたくさん漂っている←水中では浮力が働く
  - 卵
  - プランクトン
  - 死んだ遺骸が分解された小粒子

→流れのあるところに網をはっていれば食べものが集まる（濾過摂食）

- 有機物粒子は、すでに細かくなっている＝フードプロセッサーで細かく処理されているようなもの
- 卵・プランクトンも硬い殻がなく消化しやすい

→顎の必要ない

◎魚の祖先＝無顎類（濾過摂食者で顎がない）

捕食魚で初めて顎が登場

☆四肢類：肉食から草食へ

❖両生類（最初に上陸した四肢類）：

ほとんどが昆虫を丸呑み（完全な草食は存在しない）

カエルは上顎のみに歯（ガマは歯がまったくない）

❖爬虫類：

多くは肉食

恐竜には草食がいた←大形＝長い腸をもてる

❖鳥類：

肉食 or 穀物・果実食

←飛ぶためには、すぐ消化できるものを食べる必要

大きい鳥には草を食うものもいる（カモや白鳥は水草←やわらかい）

ダチョウ：飛ばず大形←草食で腸内に微生物

❖哺乳類：

葉や草を食えるものが進化（その極致が反芻動物）

四肢動物の歴史は大形化＝草食化の歴史でもある

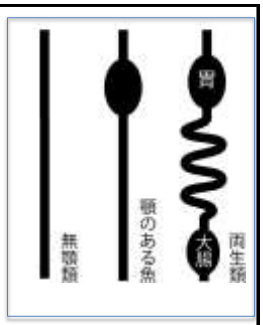
◎魚には大腸がない

四肢動物になって大腸が登場

（小腸が本来の消化機能をもつ腸）

←陸上では排泄物をためておく必要

水中なら（水洗トイレの中にいるようなものだから）消化しきれなかったものは、すぐにそのまま出せばいい



陸：もし点々と排泄物を出しつつ歩けば、その跡を捕食者につけられる→排泄物は、ためて捨てる＝その場所が大腸

- ためておく間に、糞からできるだけ水を回収
- ためておくのならば、微生物を住まわせて栄養の助けに

2.共生微生物による消化

共生微生物の助けを借り、セルロースなどの食物繊維を消化

大腸がそうだが、より大きな“発酵槽”をもつもの

- 大腸が肥大（肥大した盲腸や結腸）：ウマ、ウサギ、ネズミ
- 胃の前に発酵槽＝反芻動物の反芻胃

☆食糞：

- ネズミ：2種の糞をする（硬くて黒い糞＝捨て；軟らかく大きめの色の薄い糞は、肛門から直接食べる；食糞を妨げると成長率15-20%↓
- ウサギ：再摂取する特別の軟らかい糞は盲腸でつくられる。それは摂取されても咀嚼されず、胃の中で他の食物と混じり合わずに胃底部につめこまれ、そこで発酵

☆反芻

反芻亜目（ウシ亜目）：ウシ科（ウシ・ヤギ・ヒツジ・カモシカ・ガゼル・インパラ・バイソン・ヌー・オリックス）、シカ科・キリン科、マメジカ科

ウシ科：第三紀後半の温帯地域における草原の拡大に呼応して多様化

祖先は森林にいた←柔らかい葉や木の芽を選んでたべていた

（良質な餌を選択して食べる＝ブラウザー）

草原へと進出←粗剛な生草を選ばずに食べる

（非選択的に食べる＝グレイザー（小形の動物はグレイザーにはなれない）

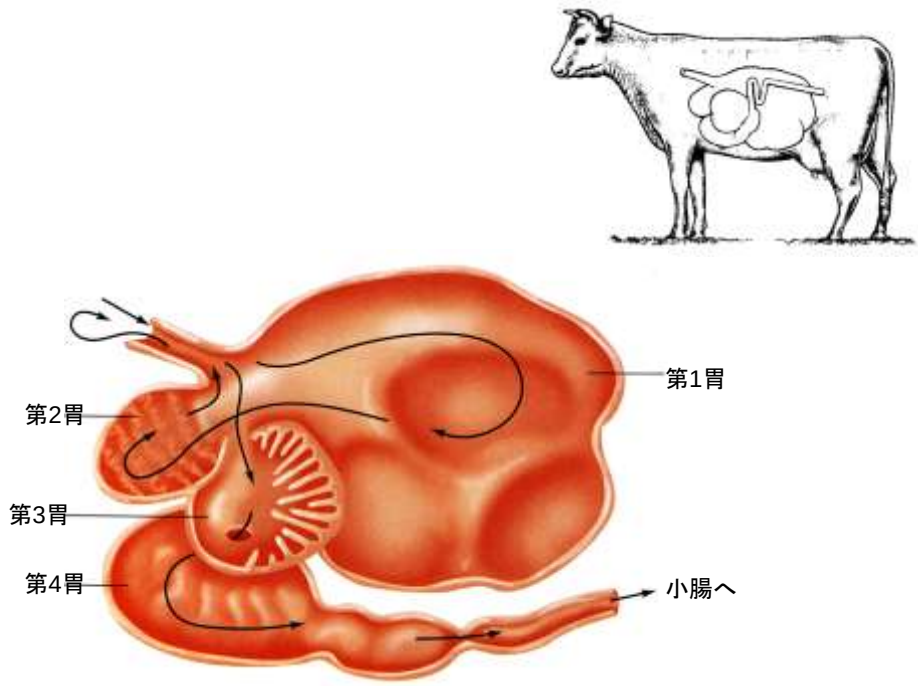
◎反芻動物のセルロース消化

セルロース←植物の体を構成する最も大切な構造物質
　水に溶けない
　化学的な分解作用にも耐性
→セルラーゼを自分で生産できる動物はほんのわずか（フナクイムシ、シミ）
分解できるのは原生生物や細菌のみ
　（←だから植物が食い尽くされないのだ！）

セルロースが分解できたら、大きなエネルギーが得られる→共生微生物を利用して分解
　＝反芻動物、シロアリ、マイマイ

反芻動物は、共生微生物によるセルロース消化を行うのに適した消化管をもっている

- 巨大な胃（腹腔の3/4を占める）；4つの部屋に分かれている
　（第4胃が普通の胃；1-3胃は食道の末端）
　第1胃（瘤胃、ルーメンrumen）ー最大。ここで共生微生物による発酵
　第2胃（網胃reticulum）ーここでも発酵；内面の網状皺壁の働きにより食物は少量ずつ団塊をつくる；ここを通って吐き戻す
　第3胃（葉胃omasum）
　第4胃（皺胃abomasum）ー真に消化が起こる胃
- 反芻
　摂食後30分-1時間後、休息中に起こる。
　第1胃と第2胃の内容物が、吐き戻され、未消化の繊維質を咀嚼しなおす
　食物が第1胃に戻ると、さらに発酵が進む
　分解された食べ物はじょじょに別の場所に移り、第4胃で通常の消化を受ける



☆第1胃と共生微生物

ここは食物が唾液と混ぜられ、発酵する桶として働く。

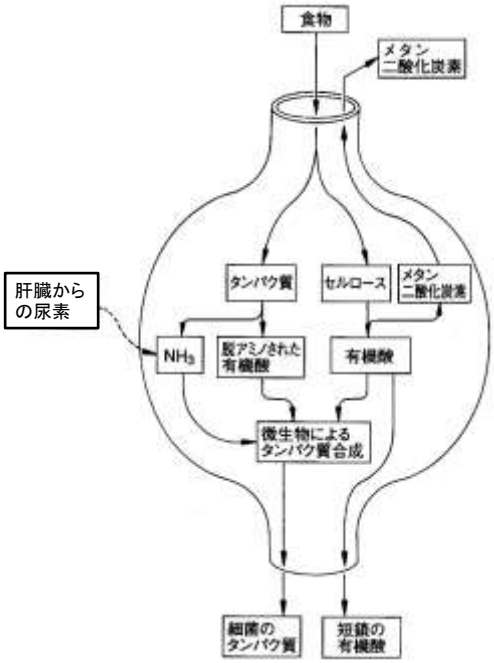
唾液は薄い炭酸ナトリウム溶液→発酵生成物である有機酸がこれで緩衝される＝微生物の発酵培養液としてふさわしい。

大量に分泌（ウシで100-190L/day←500kgのウシなら、体重の2/3が水→つまり体の中の水の1/2が唾液として第1胃を通過！

- 細菌と原生動物がきわめて多い（ウシ500kgでは第1胃の内容物100kgだが、その中の2kgが原生動物；毎日、その70%は第3胃へ行き、消化されるので、タンパク質150gを提供していることになる）

- 微生物はセルラーゼをもつ
- セルラーゼは細菌の表面皮膜にあり、これがセルロースを加水分解して単糖やオリゴ糖にして、これを菌体外に遊離。
- これらの糖は（ウシが使うことなく）菌体に吸収され、発酵により分解して、短い有機酸（酢酸、プロピオン酸、酪酸）に
- 有機酸が胃で吸収され、ウシのエネルギー源に（ウシのエネルギー源の70%！）
- 二酸化炭素とメタンも出るが、これはげっぷとして出す

- 微生物はタンパク質を合成できる（アンモニウム塩などの無機窒素化合物から）

尿素をタンパク質にできるため、酪農家は尿素をウシに食べさている
タンパク質をほとんど含まない食物で生きているラクダは、尿中にほとんど尿素を出さず、尿素は胃壁や唾液を通じて第1胃に戻されている

- ビタミンB系列も微生物がつくる