

ワイルドライフサイエンス分科会シンポジウム

日本学術会議

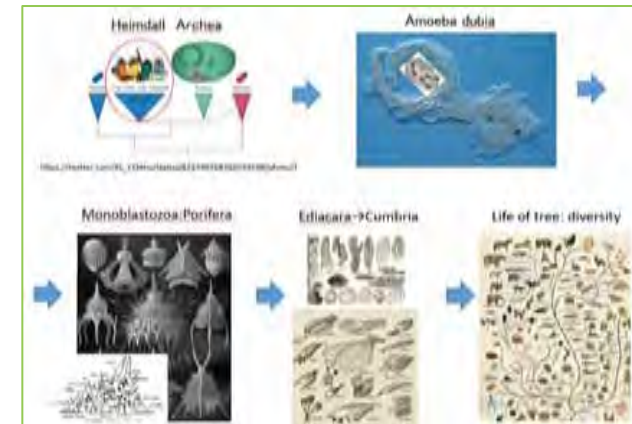
ワイルドライフサイエンス分科会シンポジウム

2022/02/26

「生物多様性からみたワイルドサイエンス」

「生物多様性とヒト」

岡山理科大学獣医学 吉川泰弘



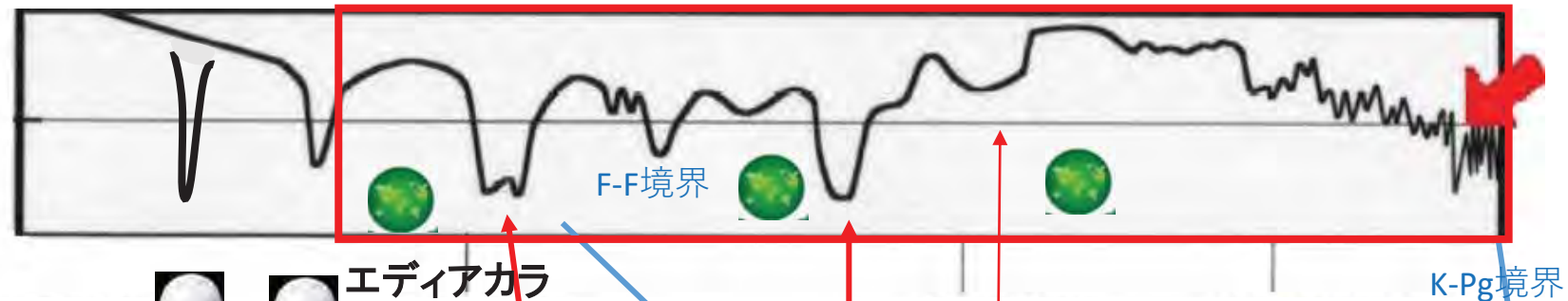
- 第1回 46億年の地球環境の変遷・独立・従属栄養細菌、ヘイムダル古細菌ゲノム収集？
- 第2回 貪食と共生 (1次、2次共生)、Amoeba dubiaの全遺伝子収集戦略？ 立襟鞭毛虫
- 第3回 1胚葉カイメン (鞭毛虫・アメーバゲノムの細胞分化？)、藻類繁栄・トランスポゾン
- 第4回 カンブリアの生物爆発。遺伝子スイッチON/OFF, プロトHox・Hoxクラスター
- 第5回 脊索動物ナメクジウオ、脊椎動物 (2xWGD), ゲノムの進化？水棲から陸へ
- 第6回 卵生と胎生、胎盤、レトロトランスポゾン・レトロエレメント
- 第7回 霊長類の分岐、社会性、巨大脳、ネオテニー、シンテニー
- 第8回 環境と循環、多様性(まとめ)

授業VOD (1～8回) : <https://www.youtube.com/watch?v=XPdjeHOviZI&t=0s>

対面授業VOD : <https://www.youtube.com/watch?v=1uwMCgu1liQ>

①45億年間の地球環境の変動(生物学のみでは進化論は未完結)

②45億年の実時間の長さで生物進化を理解,生物種の継続・存続



45億年



エディアカラ

5億年
カンブリア

3-2.5億

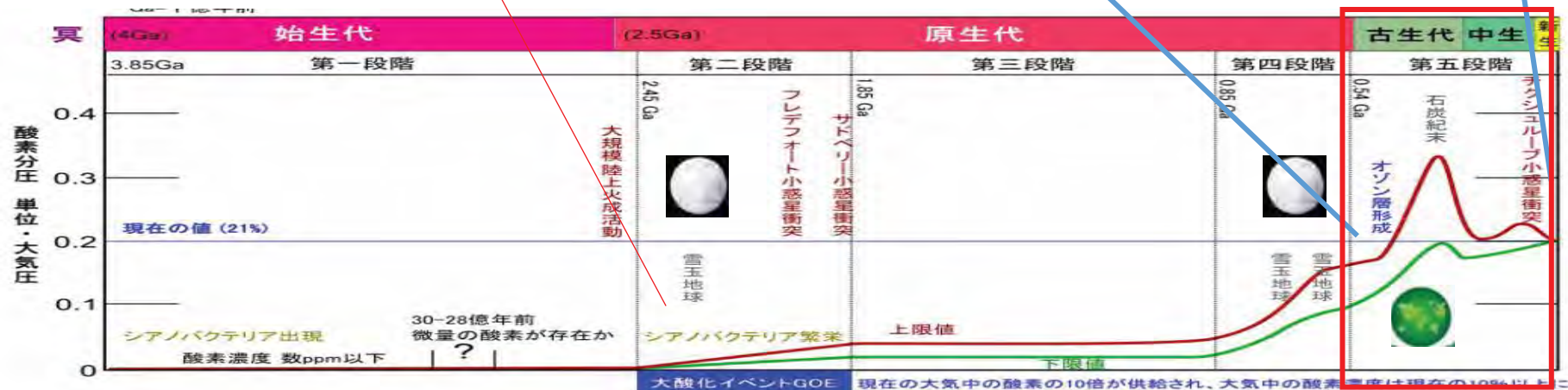
1.5億
ジュラ・白亜 (J-K境界)

ペルム・三畳紀 (ゴンドワナ氷河紀) P-T 境界

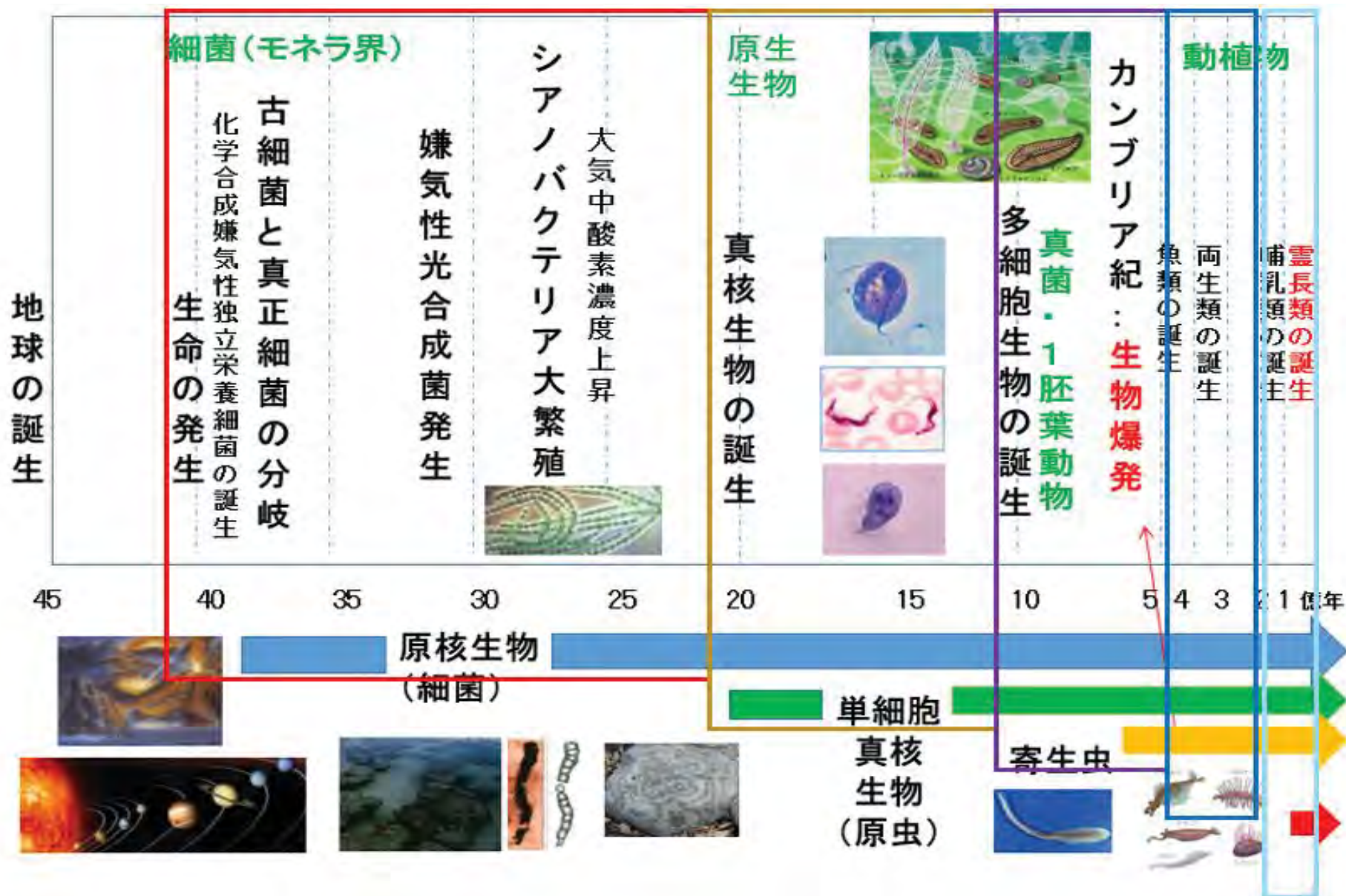
オルドビス・シルル4.5億 (O-S境界)

K-Pg境界

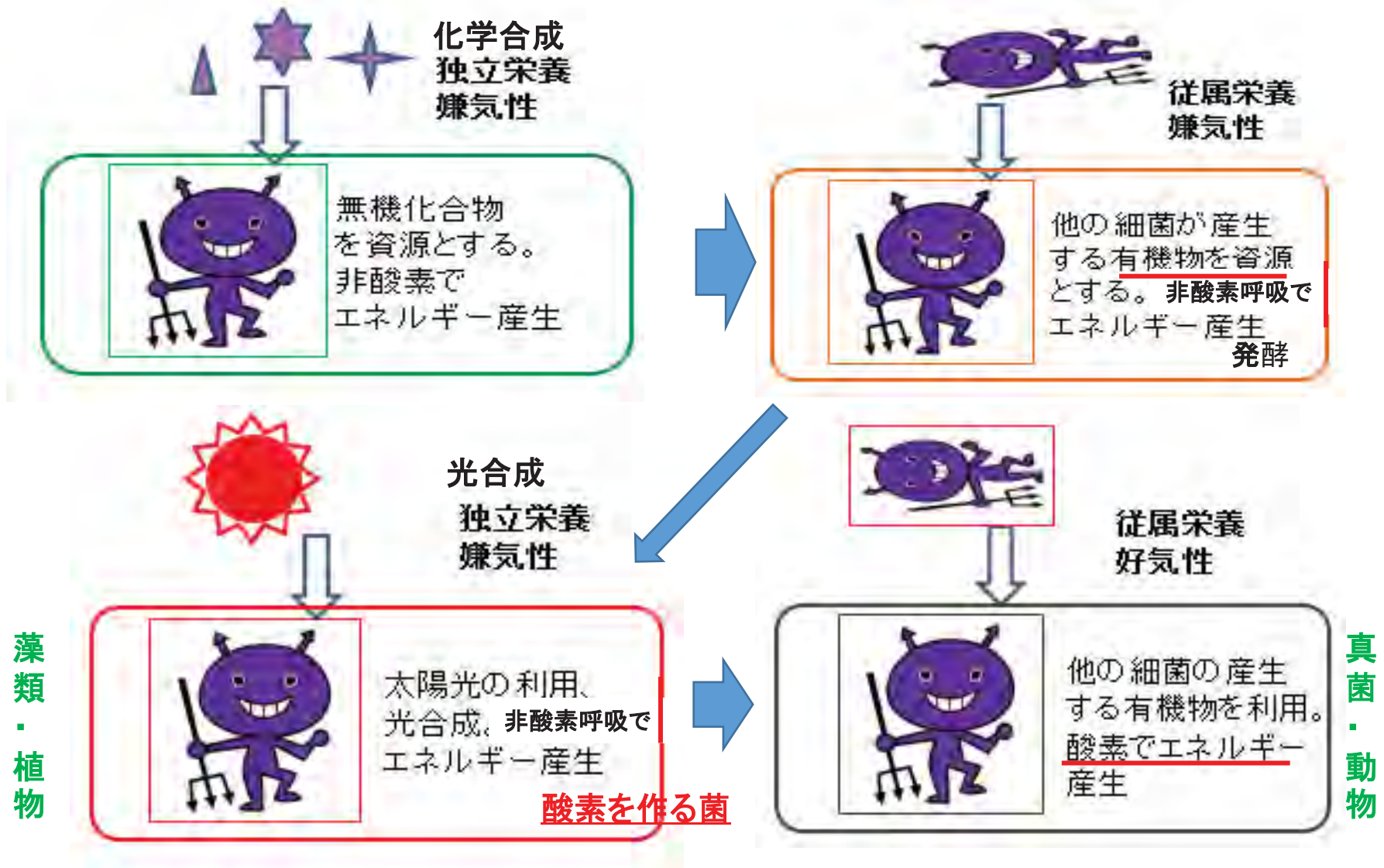
- ・24.5億年前、O₂濃度上昇、CO₂減少平均気温が-50℃となり、全球凍結(1回目)
- ・火山活動、CO₂上昇、温暖化、原生動物出現(20億年前から古原生代へ)
- ・10億年前O₂濃度は1%から20%へ、その後O₂濃度減少、CO₂減少(新原生代)
- 7.3億～6億年前、2、3度目の全球凍結(間期に藻類繁栄)
- その後CO₂上昇、温暖化。スーパーブルーム(超マグマ火山)エディアカラ生物群絶滅



- ①地球環境の変遷を理解する ②40億年の実時間の配分比を考慮する
 ③40億年間に発生した生物群の共存様式・循環と存在量比を理解する

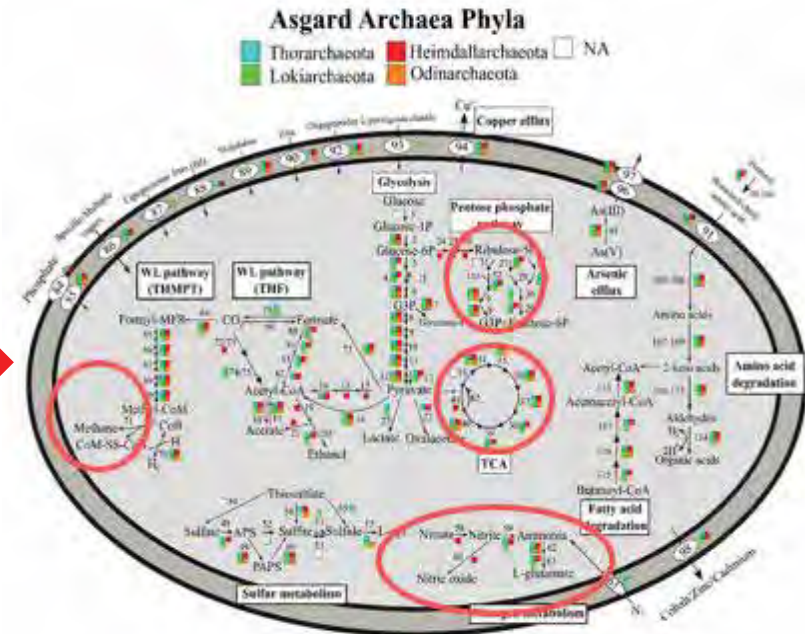
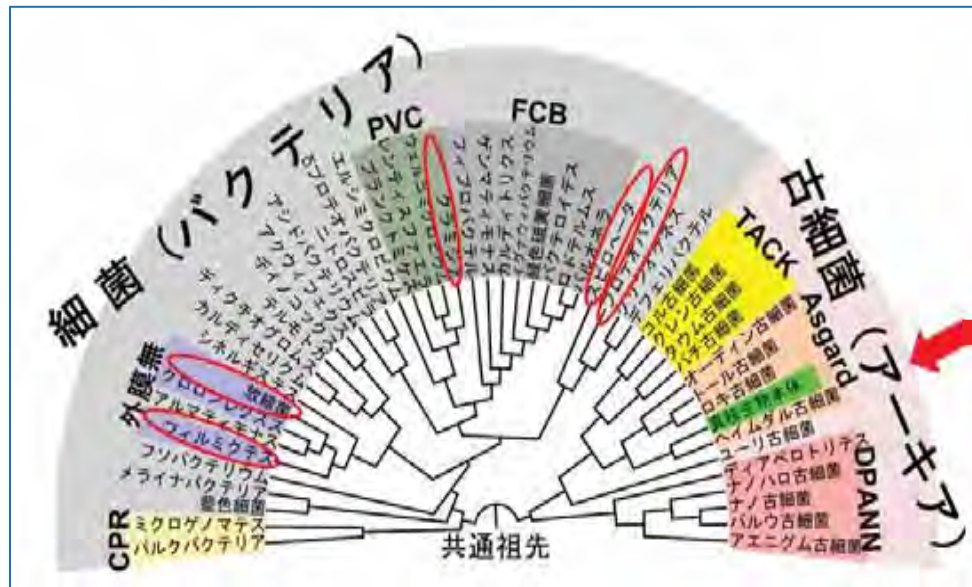


20億年：何を資源にエネルギー生産するか？



嫌気性発酵に比べ、好気的な解糖系は20倍近いエネルギー(ATP)を生産することができる

細菌、古細菌の系統と真核生物本体



細菌: 35門 (この間まで28門→35門)

古細菌: 13門 (4門→6門→13門?): アスガルド古細菌群

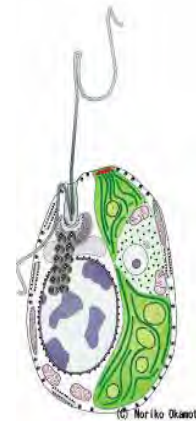
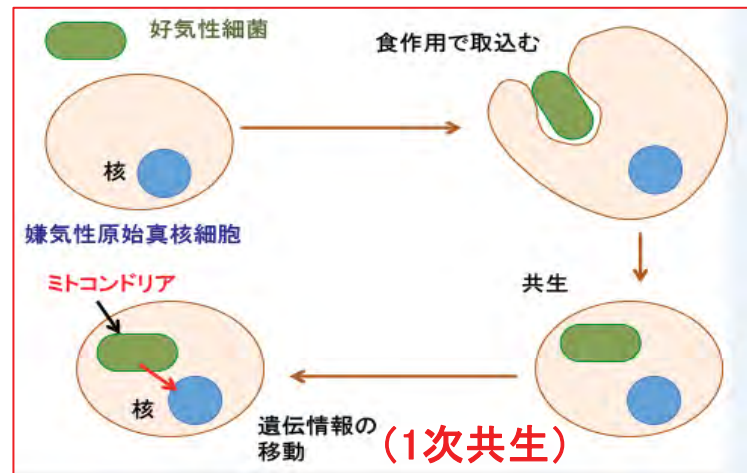
ヘイムダル古細菌 (真核生物本体)

ヘイムダル古細菌

解糖系、糖新生、メタン系、脱窒系他・・・SNARE (膜分離、融合) 蛋白
オルガネラのネットワーク

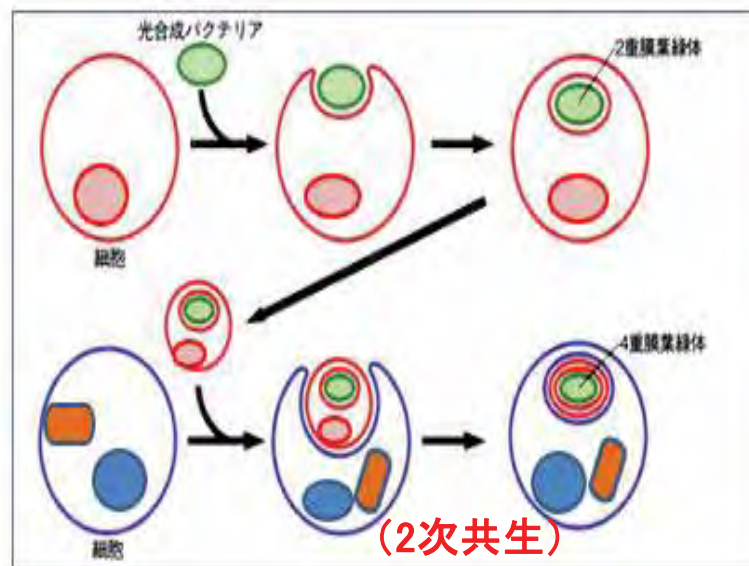
10億年間：原生動物の偉大さ：細胞内共生

- ・なんでも食べる(貪食能)、消化しないで**丸ごと食べる**
- ・**共存する**(多細胞生物のように防御、排除しない):**オルガネラ、遺伝子の水平移動**



ハテナは和歌山県の砂浜で
採集された2本の鞭毛をもつ
緑色鞭毛虫。緑藻類と鞭毛
虫からなる2生物で1個体。
「ハテナ虫」と命名

ハテナ *Hatena arenicola*



ユーグレナ
光で光合成
暗で鞭毛虫

遺伝子の水平移動(遺伝子の運び屋)

プラスミド(200Kbp: 100~300K)

ファージウイルス(200Kpb: 100~300K)

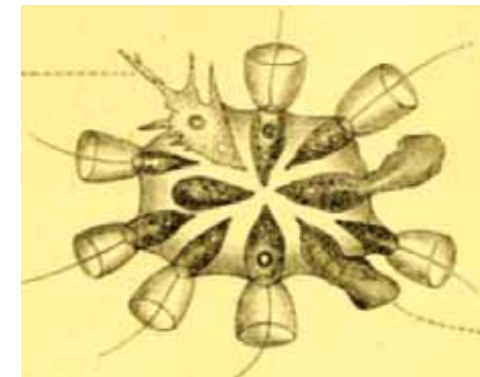
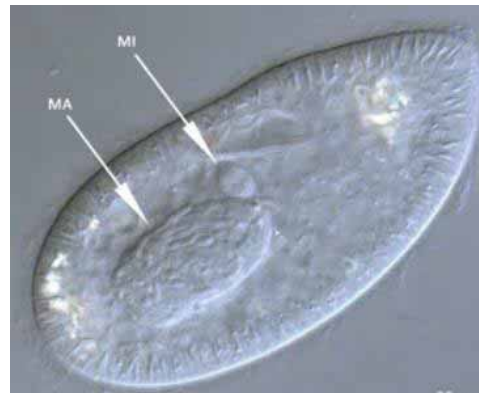
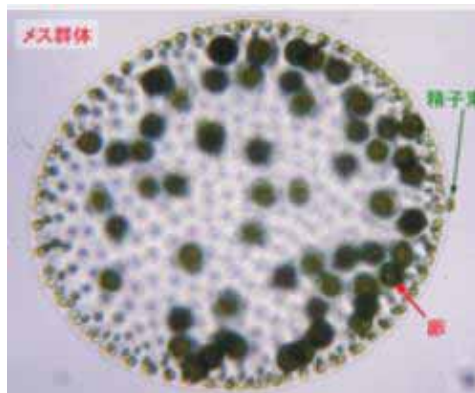
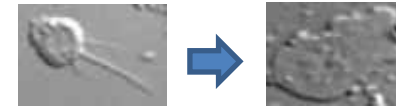
トランスポゾン(40K: 30~50K)

インサージョンエレメント(1K: 500~2K)

レトロエレメント(LINE7K, SINE300bp)

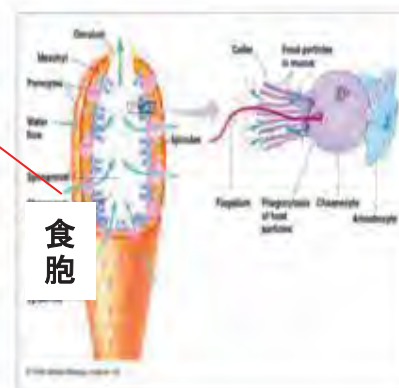
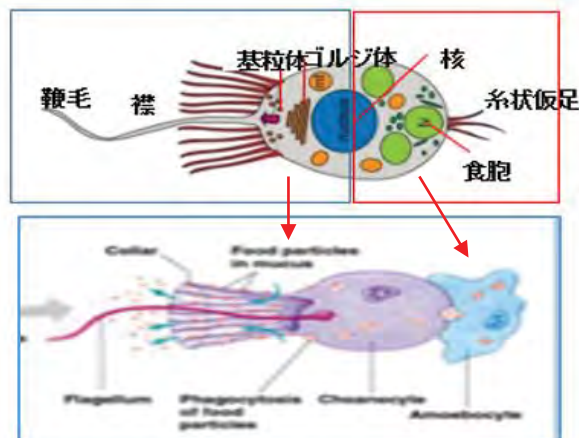
5億年間：多細胞生物の起源とメカニズム

- ①単細胞生物の群体形成と機能分化(ボルボックス:オトコギ、ヒボタン遺伝子)
- ②単細胞複数核(体核、生殖核)の細胞化?(ゾウリムシ)
- ③単細胞複数ゲノムの細胞化と分化?(立襟鞭毛虫)

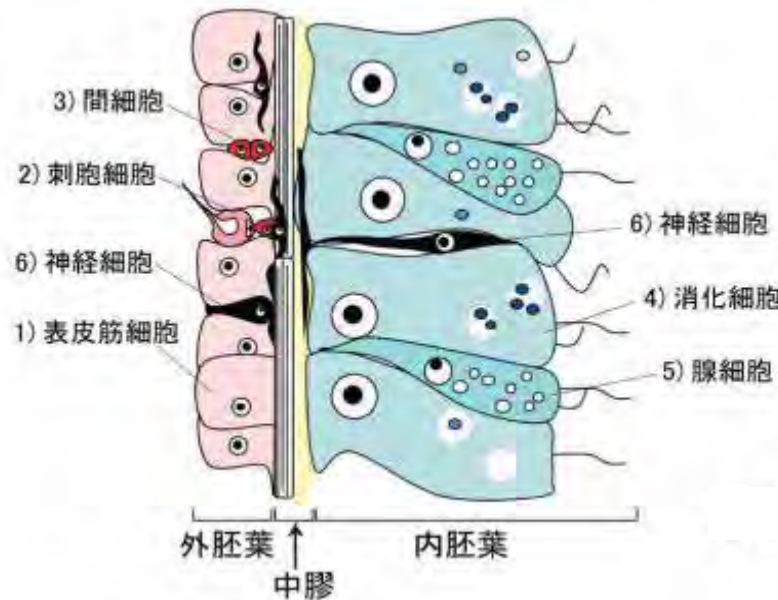
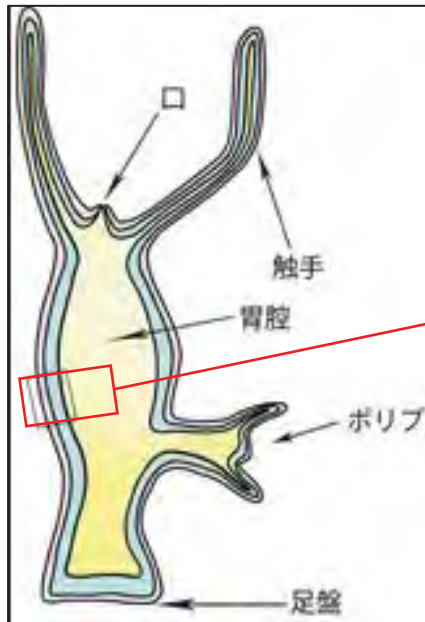


Drawing of a choanoflagellate colony by Metchnikoff, 1886

2次共生の継続→収集ゲノム・遺伝子を利用した細胞分化



2胚葉動物ヒドラ: 3胚葉の設計とプロトHox



ヒドラ成体は約10万個の細胞からなる。

6種類の細胞種に分類。

1) 表皮筋細胞

表皮を構成+筋肉の役割

2) 刺胞細胞

袋を反転、刺糸を放出

3) 間細胞 (小型、球形)

様々な細胞に分化

4) 消化細胞

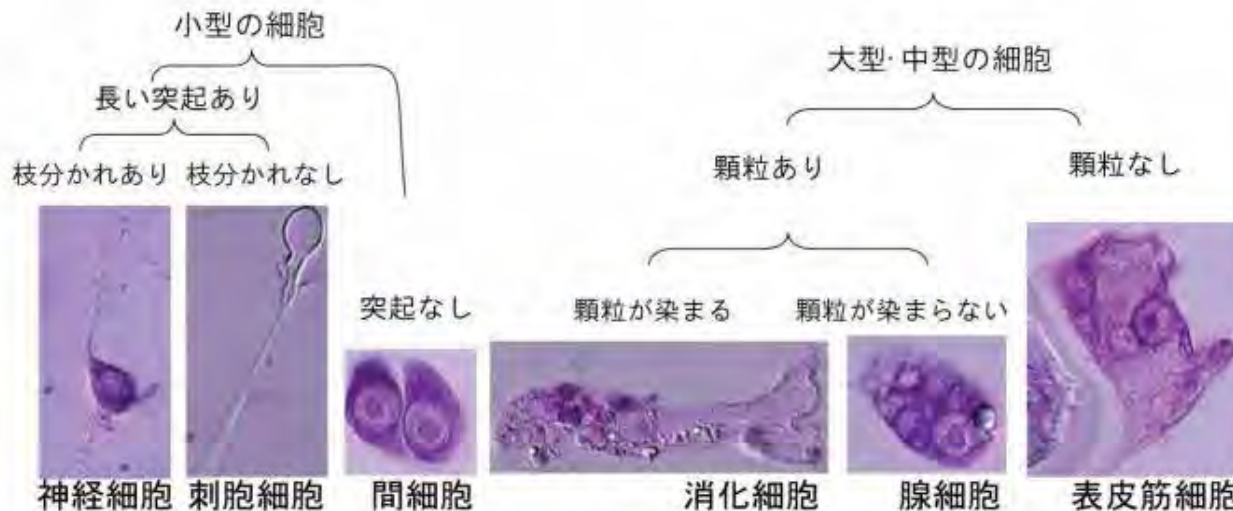
胃腔の表皮を構成

5) 腺細胞

消化酵素の分泌細胞

6) 神経細胞

神経ネットワークを形成

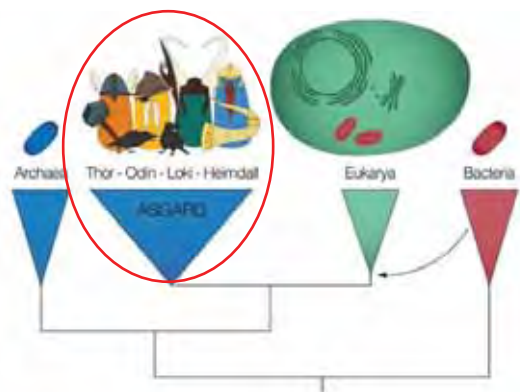


細胞の機能分化
(手、足、口、消化器、神経)
形態形成のプロトHox

40億年の生物進化の要点

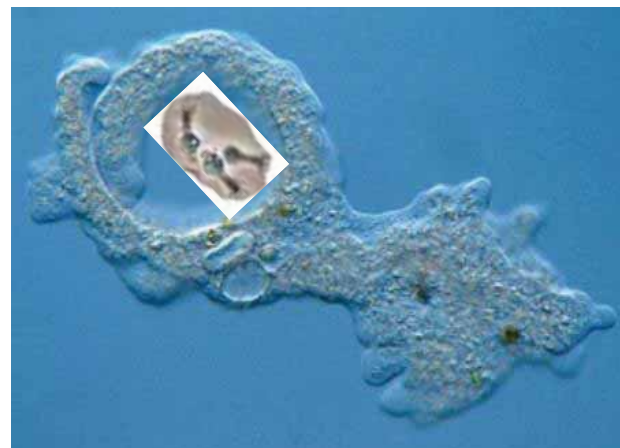
- ① 20億年の間に真正細菌と古細菌(合計40門以上の細菌)が異なる環境で必要な、**ほぼすべての遺伝子を作った**。真核生物に進化する古細菌(ヘイムダル)がこれらの遺伝子を集め始めた。
- ② 次の10億年。真核生物・単細胞の**原生動物は貪食能**により、1次共生、2次共生を繰り返し、細胞内小器官や遺伝子の水平伝播で全部の遺伝子集めた(Ameba dubia: ゲノム750G塩基、コード領域1530M塩基、遺伝子686,000個)。ちなみに人はゲノム3G塩基、遺伝子は20,000個。
- ③ その後の5億年。多細胞になった直系の原生動物は**立襟鞭毛虫**(鞭毛虫とアメーバの合体単細胞)。多細胞**一胚葉のカイメン**に進化した。(海綿ゲノム167M塩基、遺伝子30,000個)
- ④ 約5.4億年前、**カンブリア紀**の動物(3胚葉)は、細菌から核酸の**メチル化酵素**を、藻類からトランスポゾン-**脱メチル化酵素**を、核質巨大DNAウイルスから**5種類のヒストン**を入手し、遺伝子すべてを開いてみた。結果として奇怪な生物が出現(生物爆発)。
- ⑤ 彼らは、**2胚葉時代のプロトHox遺伝子**からHoxクラスターを準備し、頭索動物のナメクジウオ(1倍体)から無顎類、魚類の時代に**全ゲノムの2回重複**(WGD)を行い4倍体となり、**前後、左右、背腹**のHox遺伝子のクロノロジカルな発現プログラムを完成。
- ⑥ その後、**3.6億年前**、脊椎動物が陸に上がり、両生類から哺乳類は、必要な遺伝子はスイッチON、重複・転座し・シンテニー、従属栄養動物として、不要な遺伝子は欠失させ調節した。**第5回の大絶滅(K-Pg境界、6600万年前)**後は、鳥類と哺乳類の世界。哺乳類がゲノムのインプリンティングを利用？し、**人は脳の進化に特化した？**

Heimdall Archea

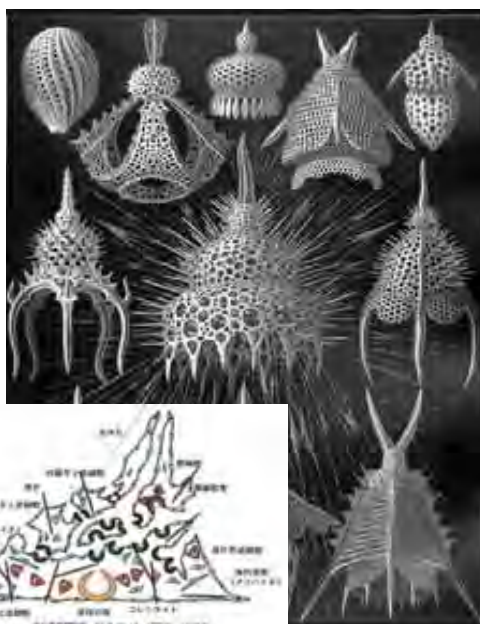


https://twitter.com/EL_CO4tw/status/822346768180359168/photo/1

Amoeba dubia



Monoblastozoa: Porifera



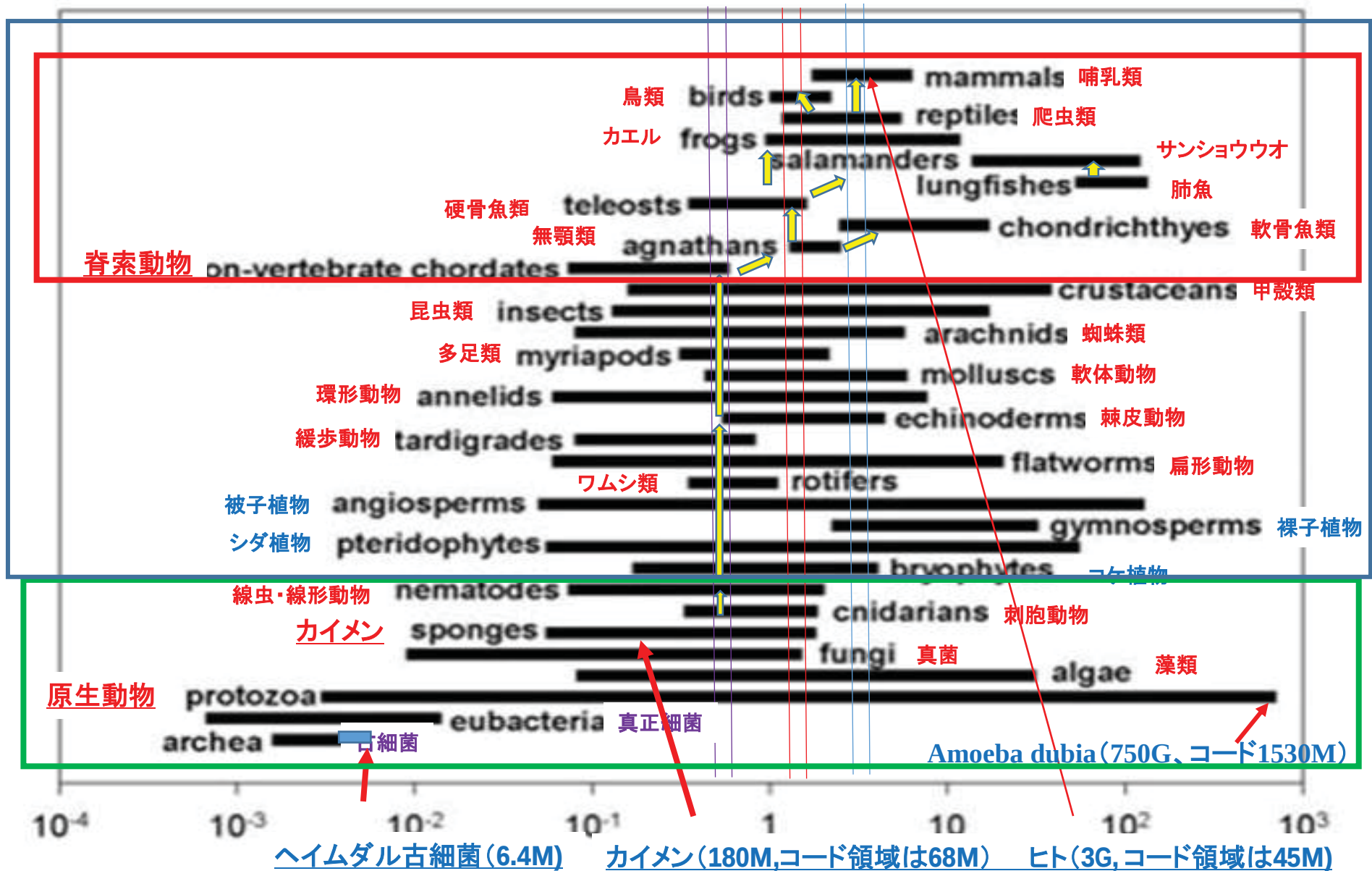
Ediacara → Cambria



Life of tree: diversity



ゲノムサイズの謎



ゲノムは独自の進化戦略を持った！

有胎哺乳類のゲノム量を100とした場合
カモノハシ(99)、ハリモグラ(93)
ハイハタネズミ(90)

哺乳類

鳥類: カナリア(59)、鳩(55)
鶏(45)、インコ(44)

爬虫類: ボア(65)、ハブ(60)
カメレオン(60)、亀(89)

両生類

アカハライモリ(2780)

ミドリイモリ(1300)
サンショウウオ(900)
ツノガエル(250)
ヒキガエル(140)
ツメガエル(80)
コモリガエル(40)

魚類

肺魚(3540)
ポリプテルス(920)

ギンザケ(90)、
鯉(50)、フグ(14)

脊椎動物

頭索動物: ナメクジウオ(17)
原索動物: ホヤ、ユウレイボヤ(6)

棘皮動物: ヒトデ

(8)

腔腸動物: クラゲ(2胚葉、刺胞動物)

海綿動物: カイメン(1胚葉、側生動物)
(5)

カンブリア

昆虫 ハチ、イナゴ(8)、
カイコ(17)

環形動物: ミミズ(3)

軟体動物 タコ(84)

カキ(20)、ホタテ(29)
アワビ(58)、
カタツムリ(66)

線形動物: 線虫(3)
(3胚葉、偽体腔)

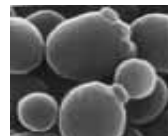
扁形動物: サナダムシ
(3胚葉無体腔動物)(8)



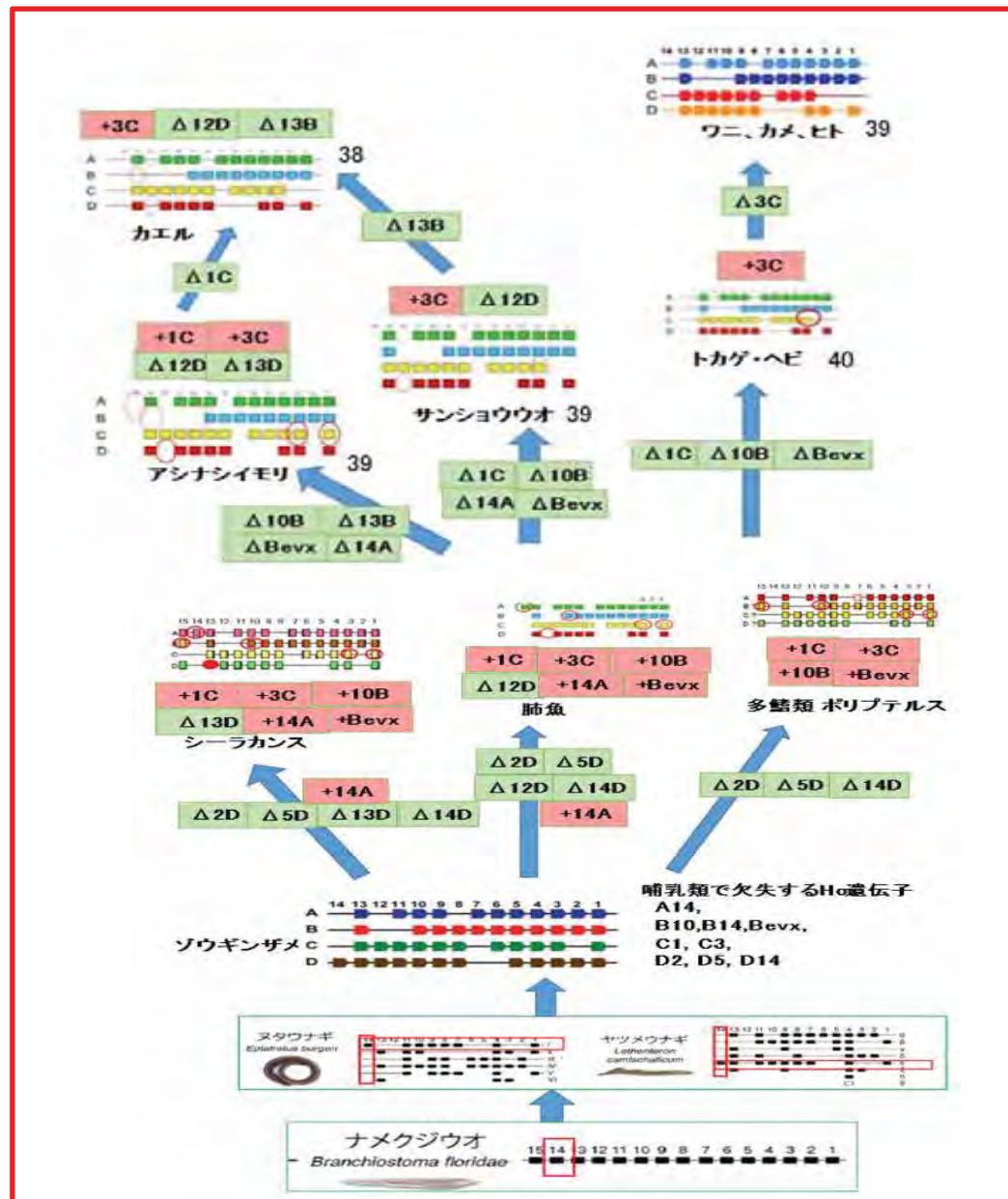
ゲノムと遺伝子

- ・ゲノムと遺伝子の違いは？ 遺伝子は個々の遺伝単位。
- ・ゲノムは、生命子(中村桂子) 切り離せない、分解できない、複雑系で意味をもつ単位
- ・ゲノムのサイズと遺伝子の数は単純には比例しない(**ジャンクDNAの多寡**)

生物種	特性	ゲノムサイズ(塩基)	遺伝子数
マイコプラズマ	感染病原体:肺炎	580,000	468
大腸菌	DNA研究のモデル生物	4,639,000	4,289
ヘイムダル古細菌	真核生物基本体？	6,400,000	？
<i>Amoeba dubia</i>	現状で最大のゲノムを持つアメーバ	670,000,000,000	686,000
ユーグレナ	藻類+鞭毛虫	500,000,000	36,000
立襟鞭毛虫	鞭毛虫+アメーバ？(多細胞の原型)	42,000,000	9,200
酵母菌	最小の真核生物	12,069,000	~6,300
シロイヌナズナ	モデル植物	142,000,000	~26,000
線虫	発生、分化のモデル動物	97,000,000	~19,000
カイメン	1胚葉(多細胞動物の原基)	167,000,000	~30,000
ショウジョウバエ	遺伝子機能解析のモデル動物	137,000,000	~14,000
ヒト	最も興味ある生き物？	3,200,000,000	~20,000



ゲノムの進化: 2xWGD → スリム化

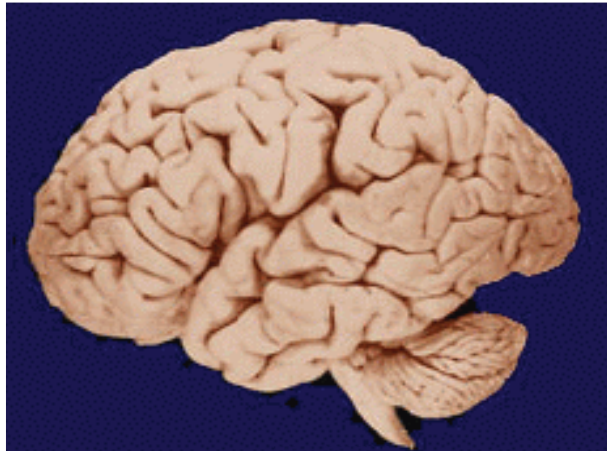


カンブリア紀からデボン紀にかけて、ナメクジウオ(5.2億年前)のゲノムを1倍体とする。

無顎類(5億年前)の時に、6倍体～8倍体まで全ゲノムを重複した(WGD)

軟骨魚類(4.2億年前?)ではゲノムを4倍体にしたものが主流となり? その後の多鰭類、肉鰭類を含む硬骨魚類の後の生物の基本型となった。

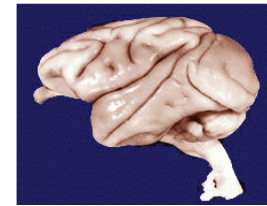
Homo sapiensの特性:巨大脳と可塑性の維持



ヒト
～1400g

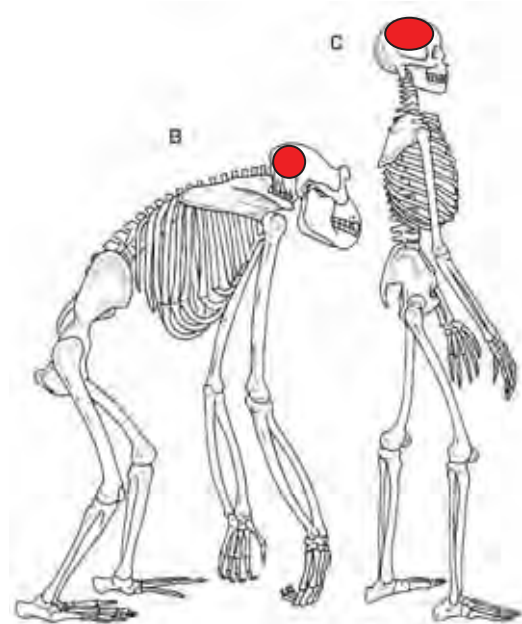


チンパンジー
300～500g



アカゲザル
80～90g

- ・ヒトの脳重量は1400g
チンパンジーの脳重量
は300～500gである。
- ・ヒトの体重は60～70kg
チンパンジーの体重は
50～80kgでほぼ同じ。



- ・ヒトの脳の**ブドウ糖消費量は15～20%、酸素消費量は20%。**
- ・脳以外の組織は残りの80%を消費する。
- ・チンパンジーの脳のエネルギー消費量は5%, 残りの95%を脳以外の組織が利用する。
- ・**巨大化した脳はエネルギー消費で一切妥協しない。**

感染症と生物進化・多様性

- ①人と物の移動の増加、②生活圏の拡大、③温暖化・環境汚染などに伴い多発。
新興・再興感染症、家畜越境感染症、人獣共通感染症のリスク回避・統御が必要。

2000年代	SARS:コウモリ、ブタ, MERS: ラクダ、コウモリ、SFTS:野生動物、ダニ パンデミックインフルエンザ:H1N1、ブタ COVID-19	
1990年代	ヘンドラウイルス感染症:コウモリ、ウマ ニパウイルス感染症:コウモリ、ブタ リッサウイルス感染症:コウモリ ハンタウイルス肺症候群 (HPS):野生げっ歯類 高病原性鳥インフルエンザ (H5N1, H7N7):野鳥 変異型CJD:ウシ	 
1980年代	エイズ:サル類 ライム病:野生げっ歯類他 E型肝炎:ブタ、シカ、イノシシ 腸管出血性大腸菌症:ウシ	
1970年代	エボラ出血熱:コウモリ、サル類 カンピロバクター症:ニワトリ(食中毒) クリプトスポリジウム症:野生動物(水系感染)	
1960年代	ラッサ熱:マストミス(野生げっ歯類) マールブルグ病:コウモリ、サル類	 

環境汚染(水・大気・土壌)
 地球温暖化(CO_2 、 CH_4)
 異常気象
 過度の都市化・人口集中



原生地球環境の破壊
 環境循環の破綻
 生物多様性の減少
 バランスの破綻

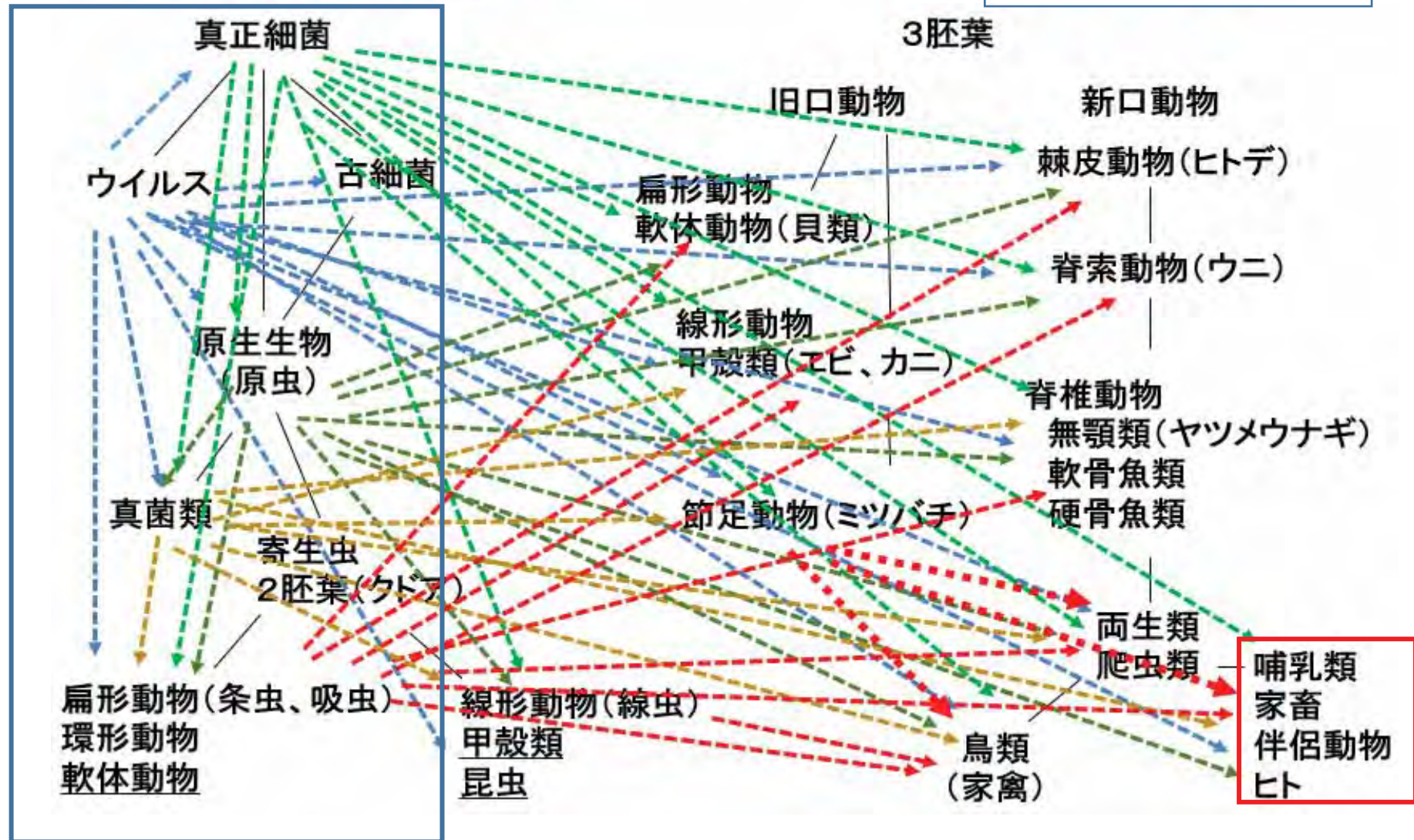


新興感染症の多発
 拡大(パンデミック)

病原体と宿主、生物の相互作用

病原体
(カンブリア紀前)

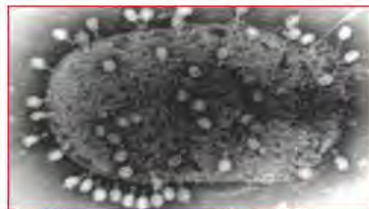
宿主
ヒト、家畜、野生動物



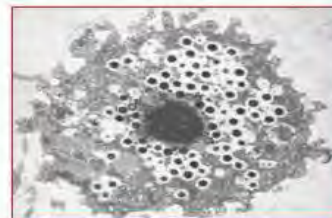
ウイルスは全ての生命体に感染する



ママウイルスに感染した
スプートニクウイルス



細菌(原核生物)に感染した
バクテリオファージウイルス



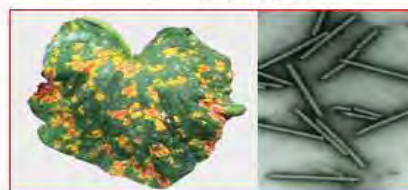
アメーバ(根足類)に感染した
ママウイルス



藻類(原生生物)に感染した
クロレラウイルス



エノキダケ(担子菌類)
褐変ウイルス



植物モザイク病ウイルス



蜜蜂急性麻痺病ウイルス(昆虫)



鯉ヘルペスウイルス(魚類)



カエルラナウイルス(両生類)



高病原性鳥インフルエンザ(鳥類)



牛疫(リンダーペスト:ウシ)



口蹄疫:ウシ、ブタ



エボラ出血熱:サル、ヒト

ウイルス→ウイルス

スプートニクウイルス

ウイルス→細菌

バクテリオファージ

ウイルス→アメーバ

ママウイルス

ウイルス→藻類

クロレラウイルス

ウイルス→真菌

褐変ウイルス

ウイルス→植物

タバコモザイクウイルス

ウイルス→昆虫

蜜蜂急性麻痺ウイルス

ウイルス→魚類

コイヘルペスウイルス

ウイルス→両生類・爬虫類

ラナ、イリドウイルス

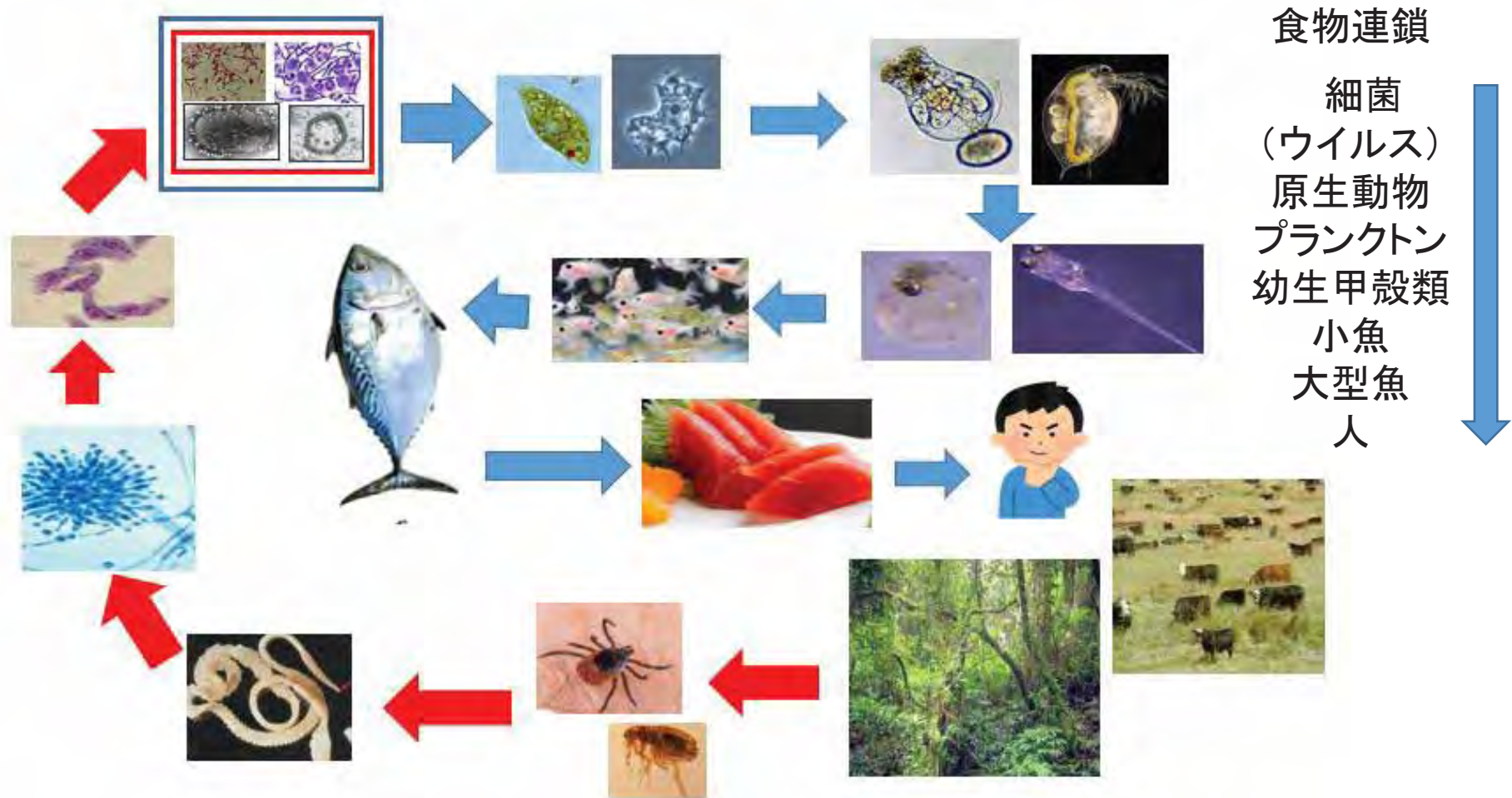
ウイルス→鳥類

西ナイルウイルス

ウイルス→ヒト

COVID-19ウイルス

循環(食物連鎖と感染症連鎖)



感染症連鎖

細菌(ウイルス) ← 原生動物 ← 真菌 ← 内部寄生虫 ← 外部寄生虫 ← 人、動植物

食物連鎖と寄生・腐食の循環

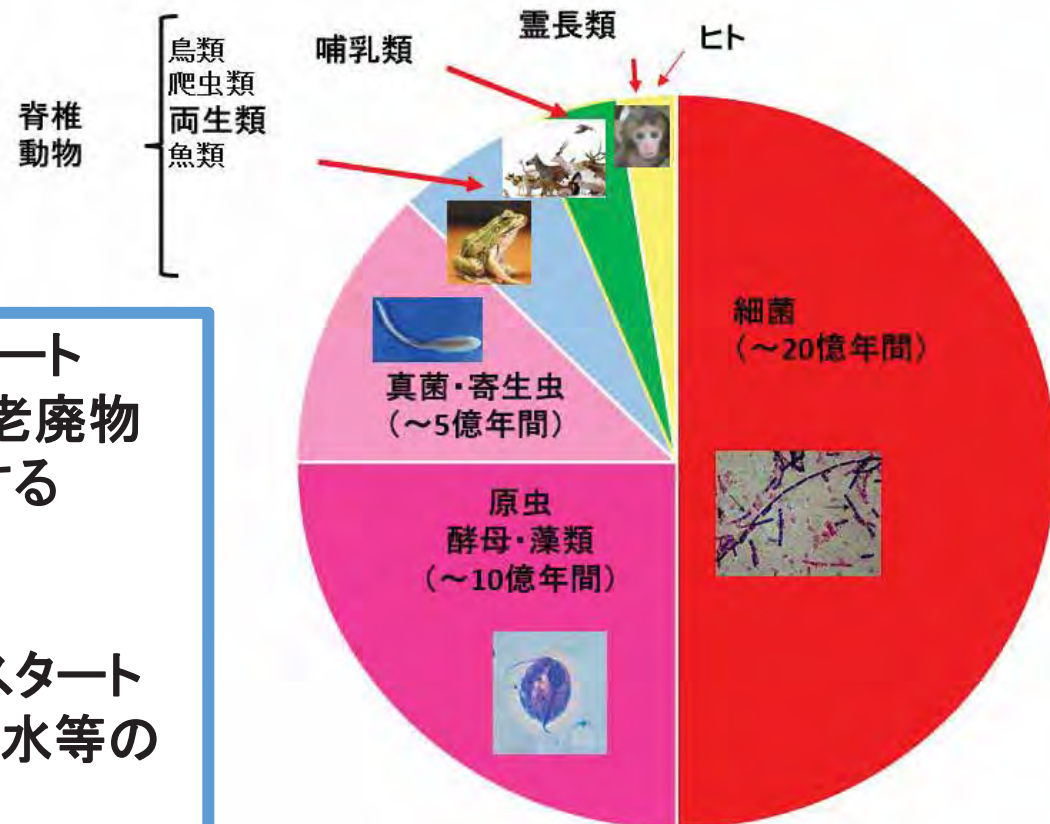
40億年の歴史を持つ生物が創生した持続可能な
食糧・環境・エネルギー循環を維持する必要がある。

環境汚染、環境破壊により、この循環を絶つことが最も危険

- ・すべての生命は細菌からスタート
- ・40億年後も、細菌は、全ての老廃物（糞尿、死体、腐生物）を処理する

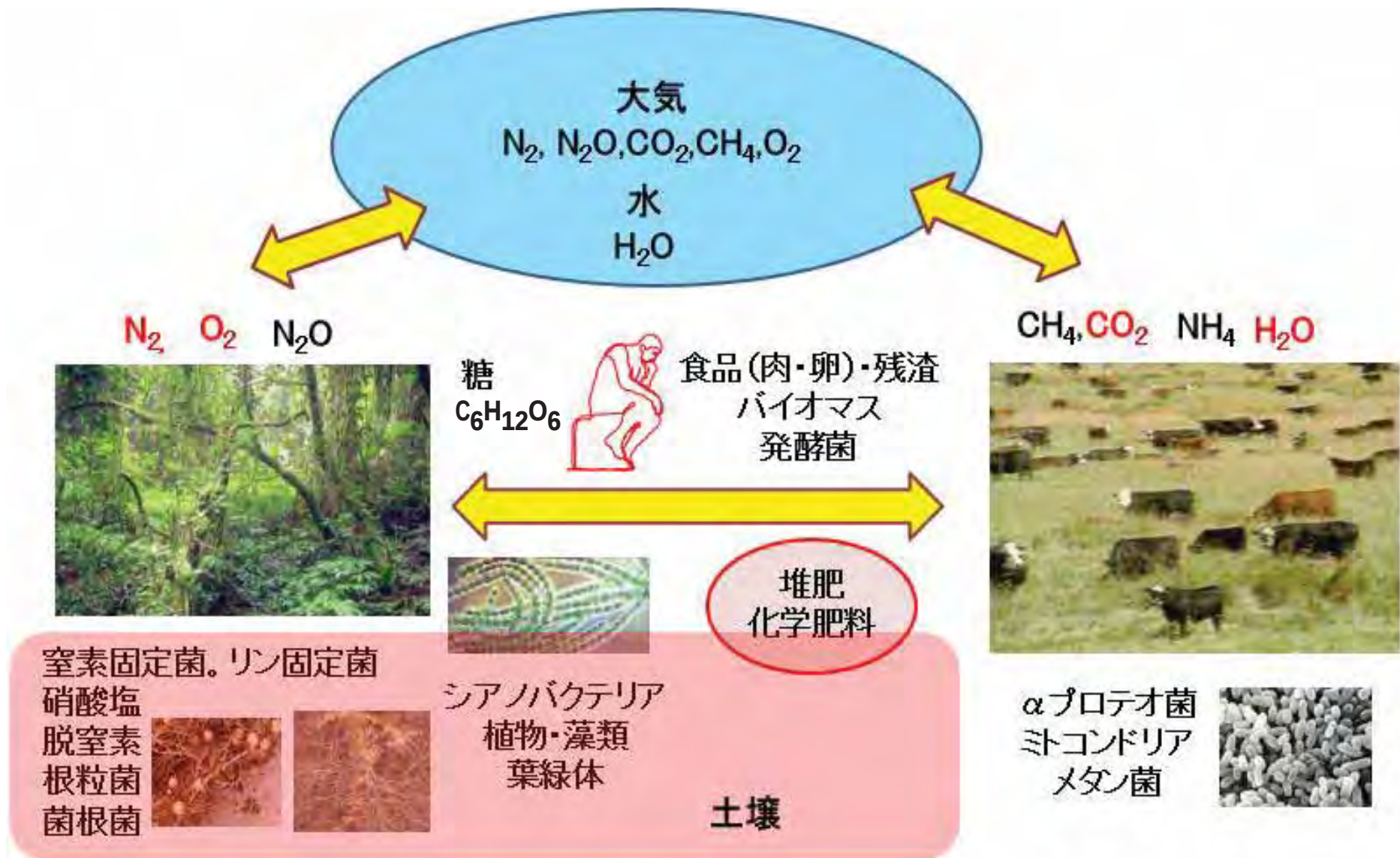
ターミネーター

- ・しかし、その存在は、生命のスタートから食物連鎖の原点 or 大気と水等の調整者となるイニシエーター



大気、水、土壌、環境を支える体制

生物多様性と環境の循環により、地球の生命体の共生・複雑系を維持してきた



定量性：地球上の生物の規模(重量)は？

人：75億人、20Kg として $7.5 \times 10^9 \times 20 \text{kg} = 15 \times 10^{10} \text{kg}$?

他の説では人の総重量は炭素換算で0.06Gt $0.06 \times 10^9 \times 10^3 = 6 \times 10^{10} \text{kg}$

ウイルス (1×10^{30}) : シロナガスクジラ 7500万頭 $7.5 \times 10^7 \times 1.4 \times 10^5 \text{kg} = 1.1 \times 10^{13} \text{kg}$
人の約73 倍の重量 あるいは $1100 \div 6 = 183$ 倍の重量

細菌の全重量は70Gt $70 \times 10^9 \times 10^3 = 7 \times 10^{13} \text{kg}$ 人の約1167倍の重量

原生生物の全重量は4Gt, $4 \times 10^9 \times 10^3 = 4 \times 10^{12} \text{kg}$ 人の約67倍の重量

真菌の全重量は12Gt $12 \times 10^9 \times 10^3 = 1.2 \times 10^{13} \text{kg}$ 人の約200倍の重量

植物の全重量は450Gt $450 \times 10^9 \times 10^3 = 4.5 \times 10^{14} \text{kg}$ 人の約7500倍の重量

<https://www.vox.com/science-and-health/2018/5/29/17386112/all-life-on-earth-chart-weight-plants-animals-pnas>

Yinon M. Bar-On, Rob Phillips, and Ron Milo (2018)
The biomass distribution on Earth.
Proc. Natl. Acad. Sci. USA,
115:6506-6511.



進化論のまとめ

進化論から何を学ぶか？

①人はどのようにして人になったか？

系統樹は単純な**ボタンタッチ**ではない(トップは継がない。生物分岐とネオテニー)

地球環境の変動(激変)なしには、生物進化は理解できない(トップは滅ぶ？)

a. 原核生物は環境適応に必要な**すべての遺伝子を開発**した(35門)

b. 原生動物は貪食と共生で原核生物の開発した遺伝子を**全て収集**した

c. カンブリア紀の動物が収集した遺伝子を全て**スイッチON/OFF**してみた

d. その後、遺伝子のONの順序を確定(**Hox遺伝子**)

e. **全ゲノムを2回重複**。いらない遺伝子は消去、必要な遺伝子は**重複、転座**
読み取り効率の上昇(シンテニー)、形態のリモデリング(ヒト: 1属1種)

②人は生物界のどのような立ち位置にいるのか？

40億年の生命体群(5界の生物群)はボタンタッチでなく、**現在も生存**している。

定性的な存在でなく、**定量的な存在量**として理解しなけれならぬ(細菌は人の千倍)

食物連鎖、共生、終末連鎖(感染症連鎖)により**循環してきた**(している)

大気、水、土壌、エネルギー、栄養素・全環境要因は**生物活動を通じて循環**している

③人は何をしなければならないか？

生物多様性、環境保全、持続可能な世界は？ or 共生を続けられるか？

ヒトが地球の生物活動の循環を滅ぼすか？→ヒトが滅んで化石(記録)を残すか？



ご清聴ありがとうございました。