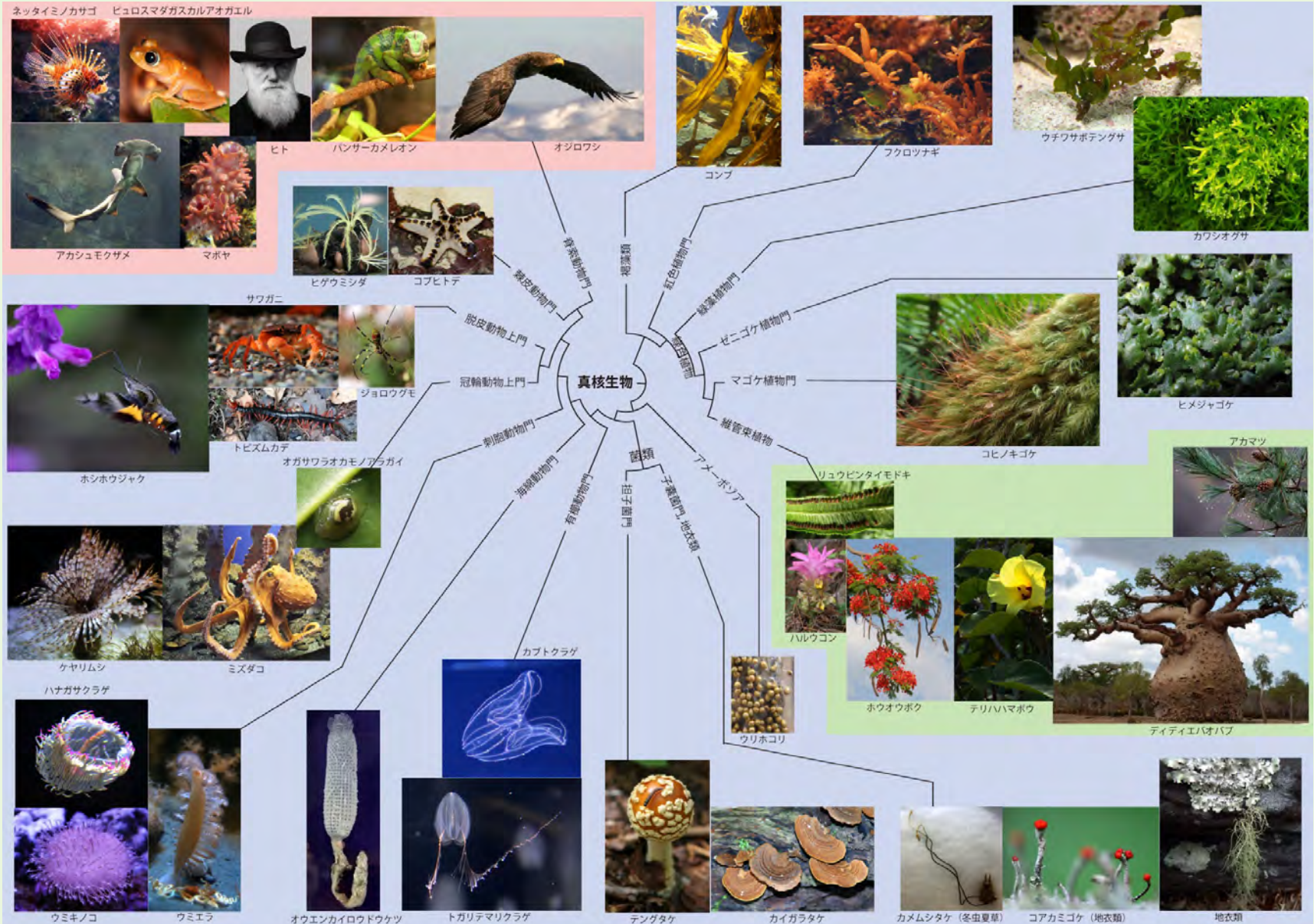
系統学 1（木村資生記念セミナー2017）

長谷川政美
masamihase@gmail.com



「カンガルーはなぜ鋭いかぎ爪をもつのか？」
Why kangaroo has claws?

小学2年生の疑問

カンガルーの仲間の有袋類はみんなかぎ爪

All marsupials have claws.

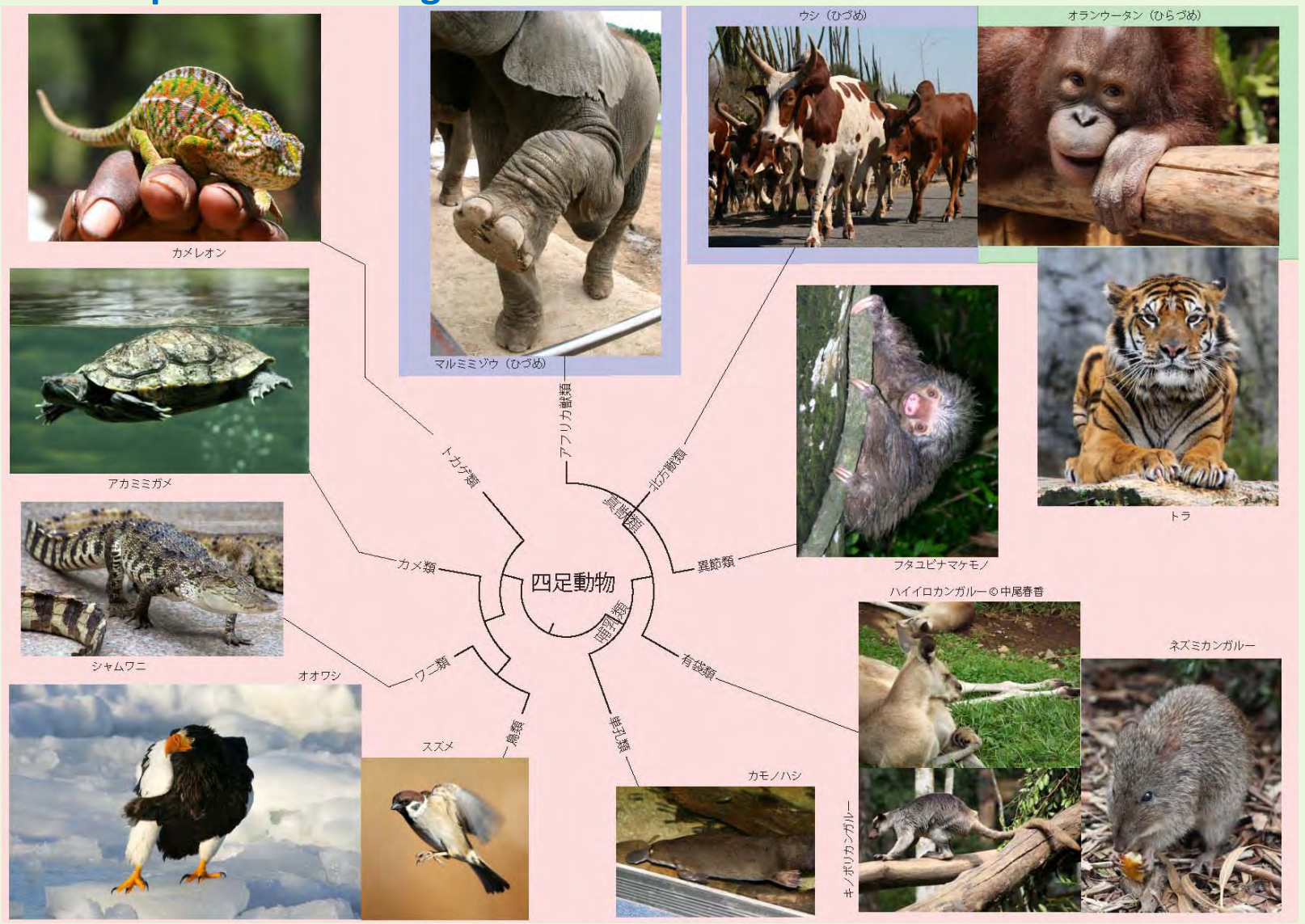
コアラ

フクロアリクイ

チャロコミミバンディクート

爬虫類も含めてみると、たいていの動物はかぎ爪（ピンク色の部分）。
一部の真獣類でひづめ、ひらづめが進化した。

Reptiles, birds, monotremes and marsupials have claws, and hooves and nails evolved in particular lineages of Eutheria.



双翅目

Episyrphus balteatus ホソヒラタアブ

ヒラタアブ（双翅目・ハナアブ科）.
平均棍は飛ぶときにバランスをとるのに役立つ.

昆虫の翅の多様化

Episyrphus balteatus ホソヒラタアブ

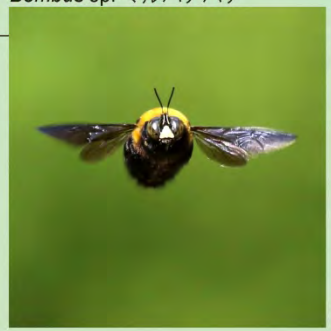
Dictenidia pictipennis fasciata
ベッコウガガンボ♂

Sympetrum pedemontanum elatum
ミヤマアカネ

Sanaa sp. ミツモンヒラタツユムシ

Latemaria laternaria ユカタンビワハゴロモ

Corythucha marmorata
アワダチソウグンバイ


Bombus sp. マルハナバチ

Gametis jucunda
コアオハナムグリ

Neptis sappho コミスジ

Nippoptilia vitis ブドウトリバ

昆虫綱

Diptera 双翅目

Odonata 蜻蛉目

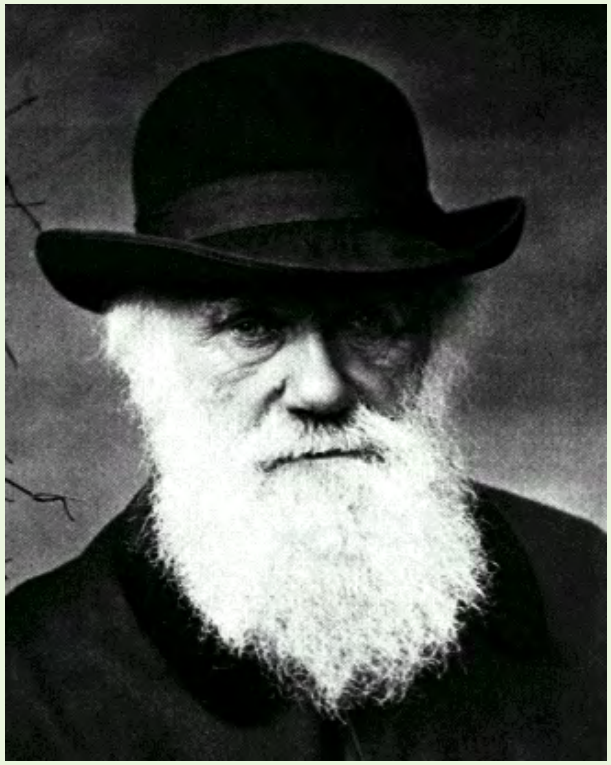
Orthoptera 直翅目

半翅目 Hemiptera

Lepidoptera 鱗翅目

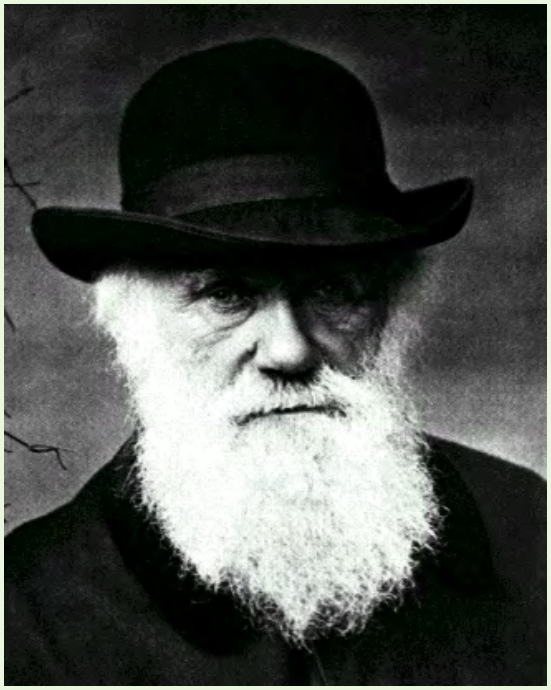
Coleoptera 鞘翅目

Hymeptera 膜翅目



サルからヒトが進化した？

The human has evolved from the monkey?



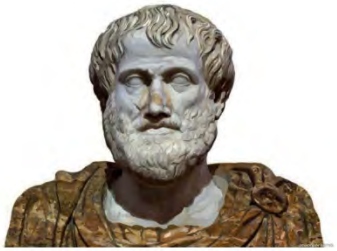
共通祖先Common ancestor

「サルとヒトは共通祖先からそれぞれ進化した」ダーウィン

The monkey and the human have evolved from the common ancestor

“変化を伴う継承（由来）”(Descent with modification)

アリストテレス「自然の階段」
Aristotle (384-322BC)
Scale naturae

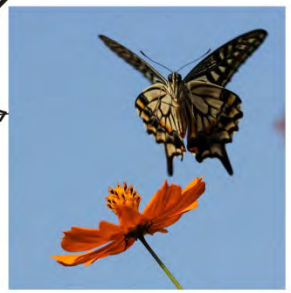


ヒト

胎生
有血動物

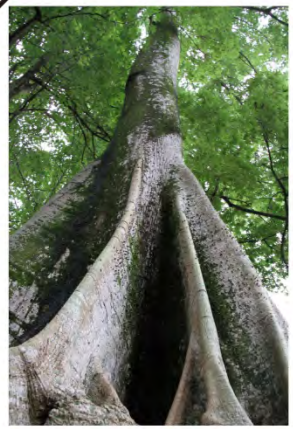
卵生
有血動物

無血動物



海綿

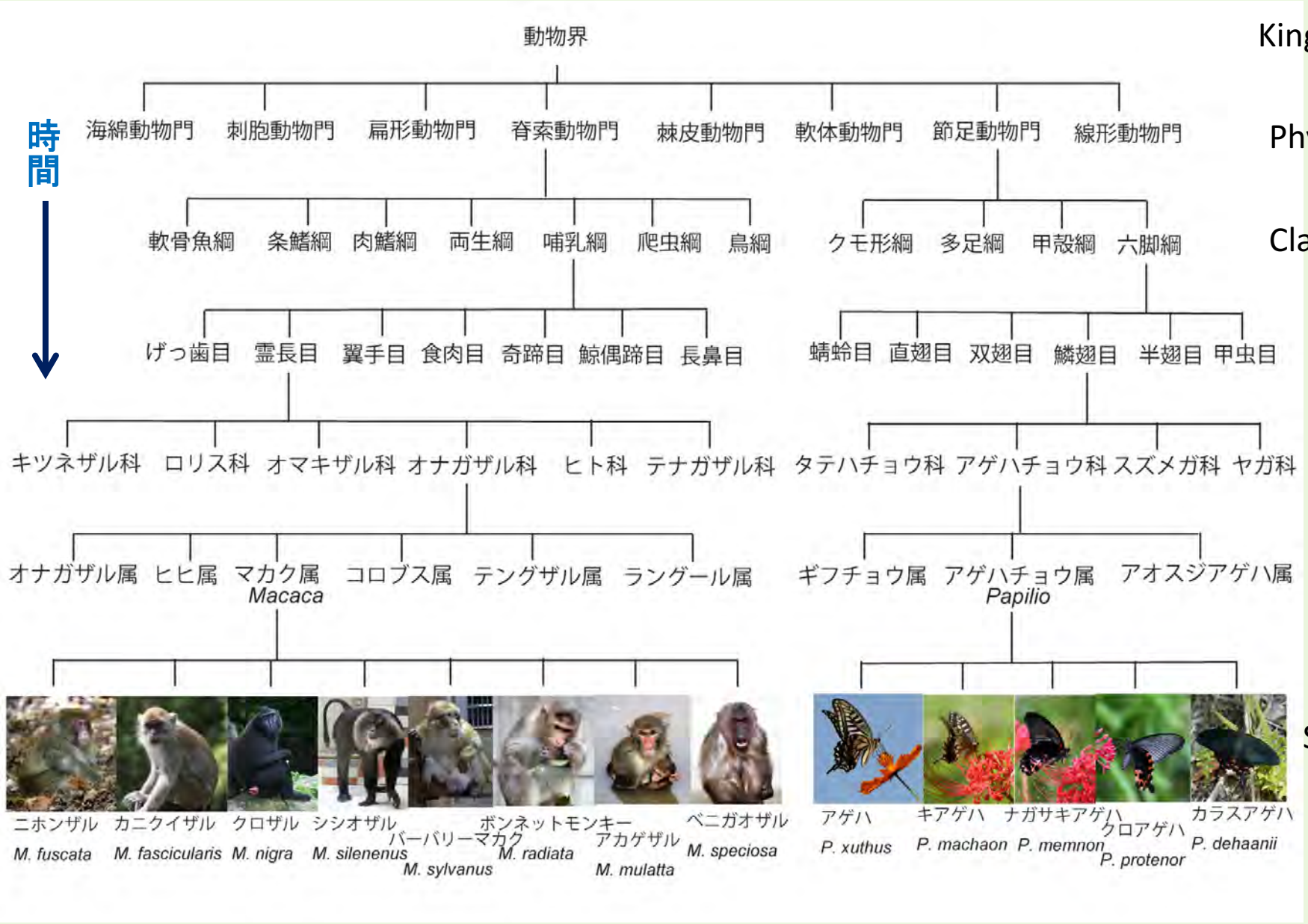
植物



鉱物

複雑性

リンネの階層分類 Hierachical classification of Linnæus



リンネの階層的分類体系は進化の本質を含んでいる

「形質が属をつくるのではなく属が形質をあたえるのである」というリンネの有名な言葉は、また多少とも暗喩的な形においてしばしば聞かされるものでもあるが、そのような言葉は、われわれの分類にはたんなる類似だけではなく、さらに多くなにかがふくまれていることを、含意するようにみえる。

…saying of Linnæus, that the characters do not give the genus, but the genus gives the characters; for this saying seems founded on an appreciation of many trifling points of resemblance, too slight to be defined.

Darwin(1859)「種の起源」第13章

ラマルクの枝分かれ図

TABLEAU

SERVANT A MONTRER L'ORIGINE DES DIFFÉRENTS ANIMAUX

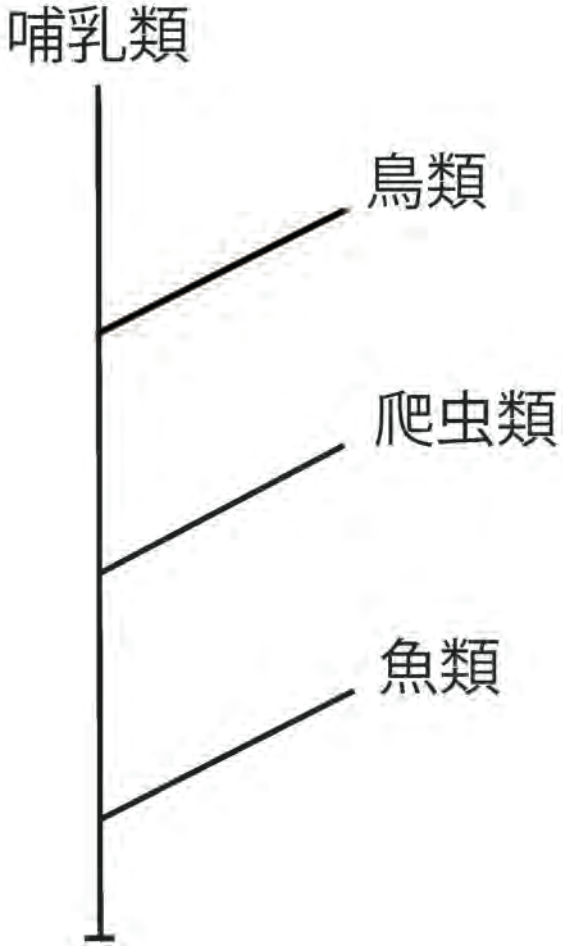
Vers. 蠕虫類

Infusoires. 滴虫類
Polypes. ポリプ類
Radiaires. 放射類

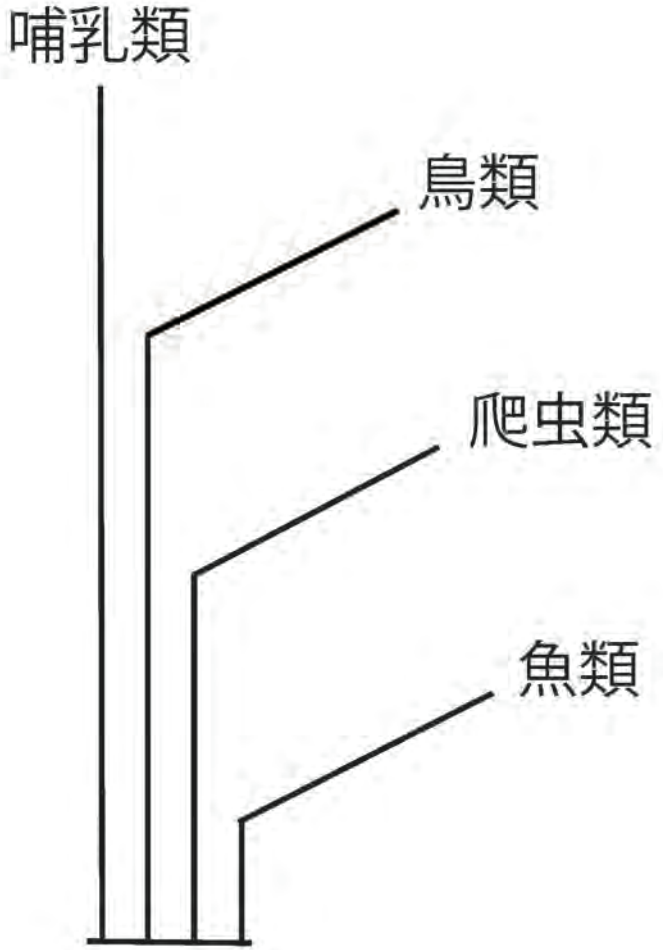
Insectes. 昆虫類
Arachnides. クモ類
Crustacés. 甲殻類

Annelides. 環形動物
Cirrhipèdes. 蔓脚類
Mollusques. 軟体動物

Poissons. 魚類
Reptiles. 爬虫類



Robert Chambers (1844)の図
「創造の自然史の痕跡」



左の図の意味するところは
このようなものだった

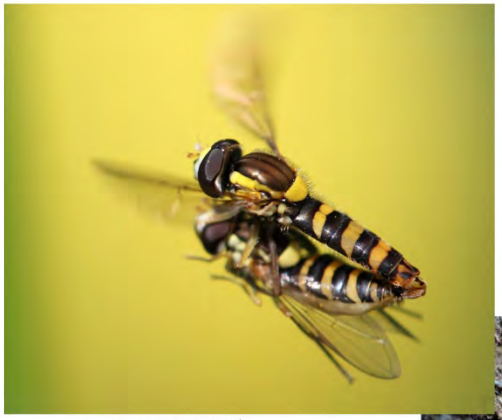
キュヴィエCuvierによる動物界の分類

脊椎動物亜界

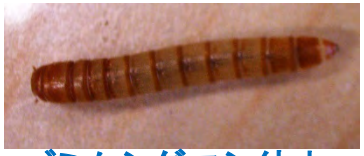
カイロトゲマウス

キヌバリ

環節動物亜界



ヒラタアブ



ゴミムシダマシ幼虫

ミミズ

軟体動物亜界

カタツムリ

アオリイカ

放射動物亜界

アカヒトデ

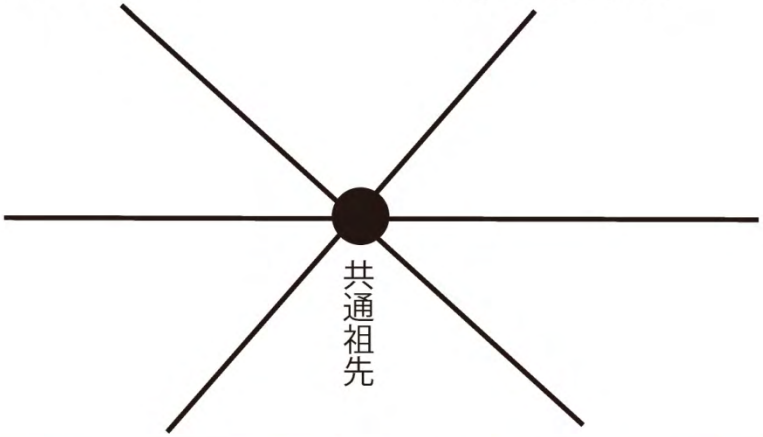
サラクラゲ

4つの亜界の体制はあまりにも違い、移行は不可能

Camarhynchus psittaculus
オオダーウィンフィンチ

Camarhynchus crassirostis
ハシブトダーウィンフィンチ

Geospiza magnirostris
オオガラパゴスフィンチ



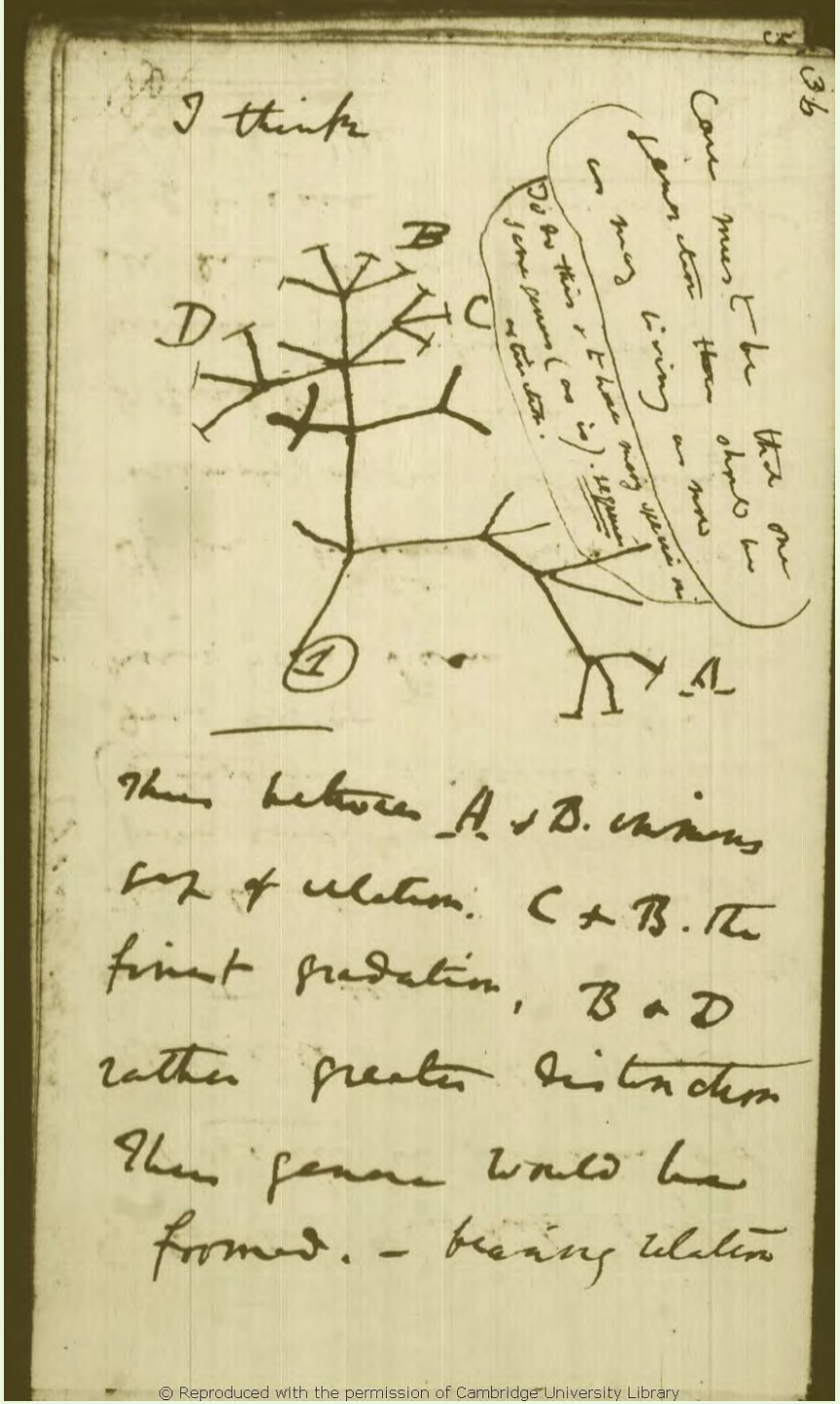
Certhidea olivacea
ムシクイフィンチ

Geospiza fortis
ガラパゴスフィンチ

Geospiza scandens
サボテンフィンチ

John Gould (1841)

ダーウィンがノートに書き記した
枝分れ図・生命の樹
Darwin's first Tree of Life
(1837)



© Reproduced with the permission of Cambridge University Library

ダーウィン:「生命の樹」は「生命の枝サンゴ」と呼ぶべきかも知れない。枝の根元は死んでいるから。
— 共通祖先は直接観察できないことを強く認識していた。

The tree of life should perhaps be called the coral of life, base of branches dead; so that passages cannot be seen.

Darwin(1837-1838)

枝サンゴ
Branching coral

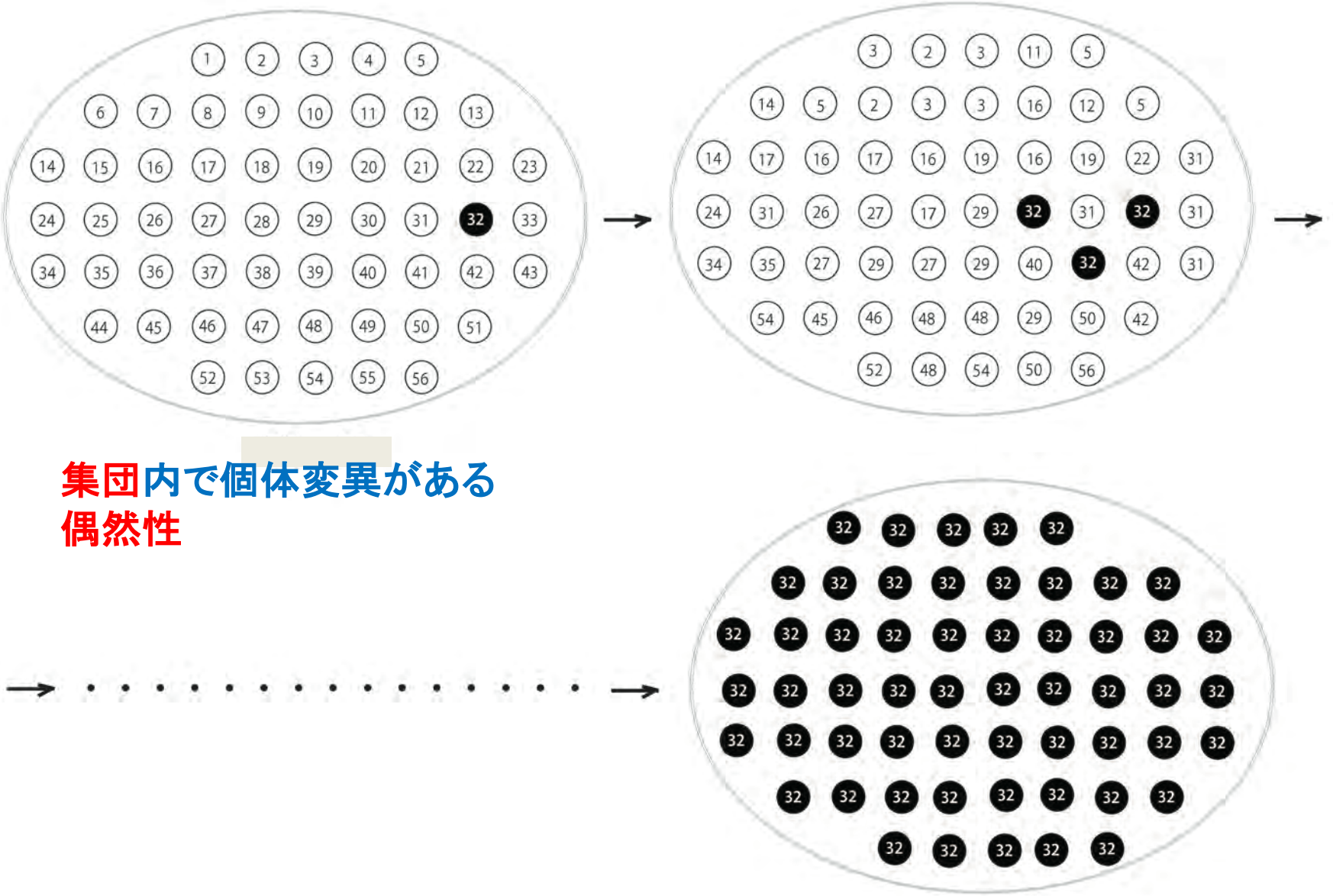
ダーウィンの新しい視点

- 枝分かれ進化、共通祖先からの進化
  変化を伴う由来Descent with modification

- 個体変異の重視、集団の遺伝的構成の変化

- 自然選択：偶然性の重視
  ニュートン力学の決定論的世界像の崩壊

●が○よりも生存（子孫を残す上で）に有利であれば、世代を重ねるにつれて
自然選択で増えていく

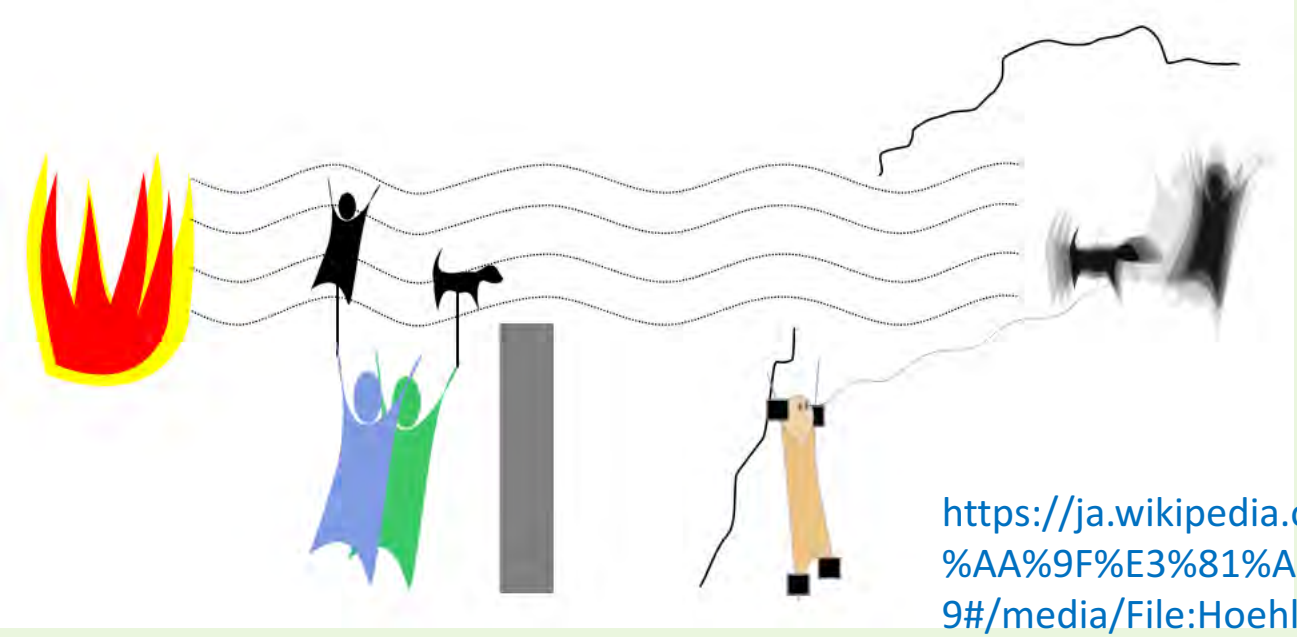


集団内で個体変異がある
偶然性

プラトン「イデア論」Platon’s (427?-347BC) Idea

“洞窟の比喩”

われわれが世界の現象として見ているものは、火に照らされた真の実在の影が、洞窟の壁に投じられたものにすぎない。真の実在そのものを見ることは、われわれには決してできない。



https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%B4%9E%E7%AA%9F%E3%81%AE%E6%AF%94%E5%96%A9#/media/File:Hoehlengleichnis.svg

プラトン「イデア論」 Platon's (427?-347BC) Idea

"洞窟の比喩"

われわれが世界の現象として見ているものは、火に照らされた真の実在の影が、洞窟の壁に投じられたものにすぎない。真の実在そのものを見ることは、われわれには決してできない。

→個体変異はその理想つまりイデアからの逸脱であり、特に重要なものではない。分類学者にとっては、単に「厄介なもの」に過ぎなかった。イデアからの逸脱「負の自然選択」の考えはダーウィン以前からあった。木村の中立説はそれの復活であるが、ダーウィン自身も中立進化を認めていた。痕跡器官が系統関係を知るよい手掛かりを与える。

→ダーウィンは個体変異が進化の素材を提供する重要なものだと考えたー「正の自然選択」

自然の階段 vs 生命の樹

Scala naturae

自然の階段

クロマグロ

シリケンイモリ

ハタネズミ

ニホンザル

ヒト

生命の樹

Tree of life

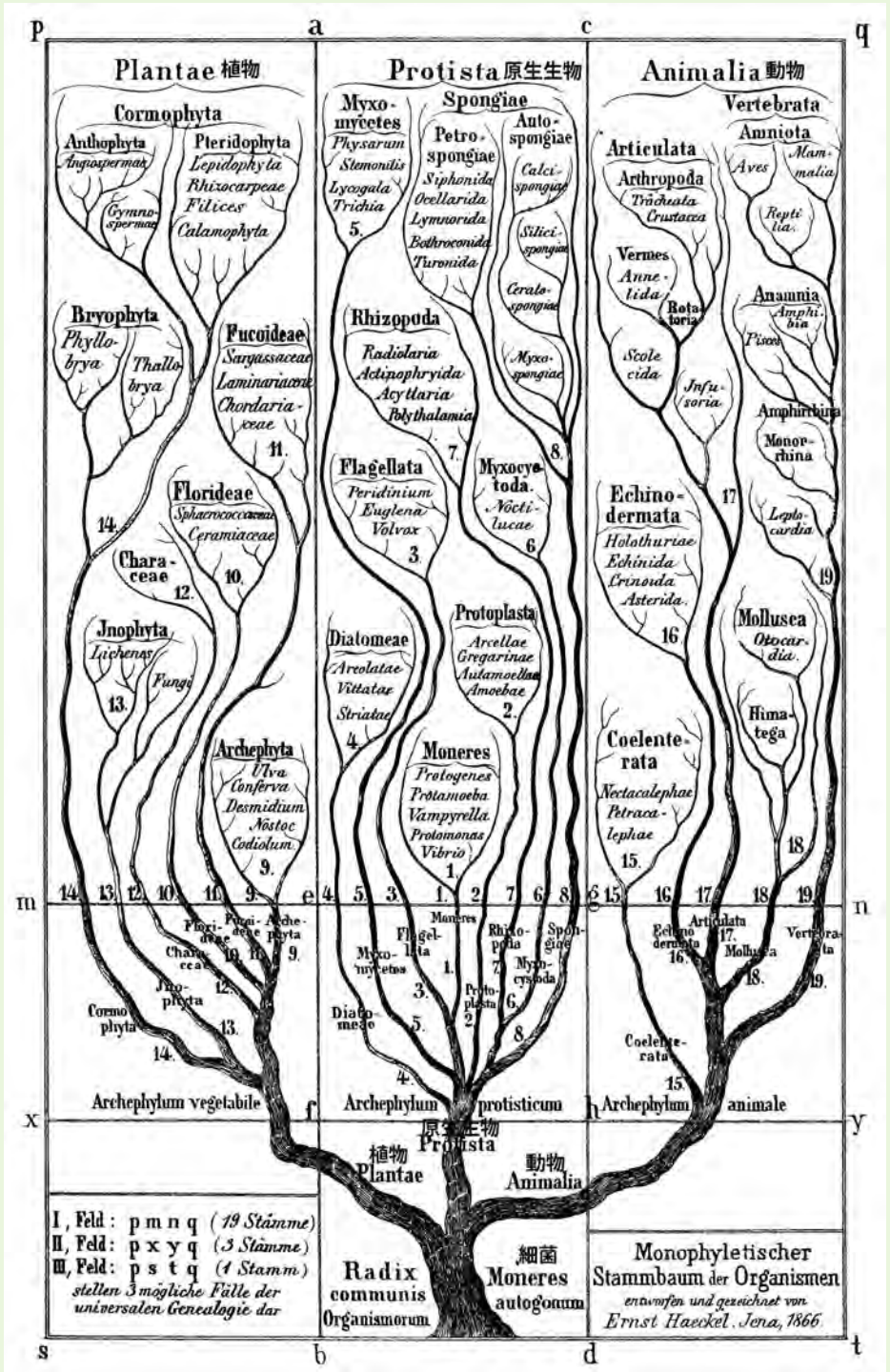
ヒトとニホンザルの
共通祖先

ヒトとハタネズミの
共通祖先

ヒトとシリケンイモリの
共通祖先

ヒトとクロマグロの
共通祖先

Haeckel's (1866)
Phylogenetic tree
系統樹



左：トンボマダラ（トンボマダラ科）、右：トンボコバネシロチョウ（シロチョウ科）（倉敷市立自然史博物館所蔵標本）.

どちらも南米のチョウ．トンボマダラは体内に毒をもつため、鳥は食べようとしない。トンボコバネシロチョウには毒はないが、トンボマダラに似せることで捕食から免れる。このような擬態をベーツ型擬態という。

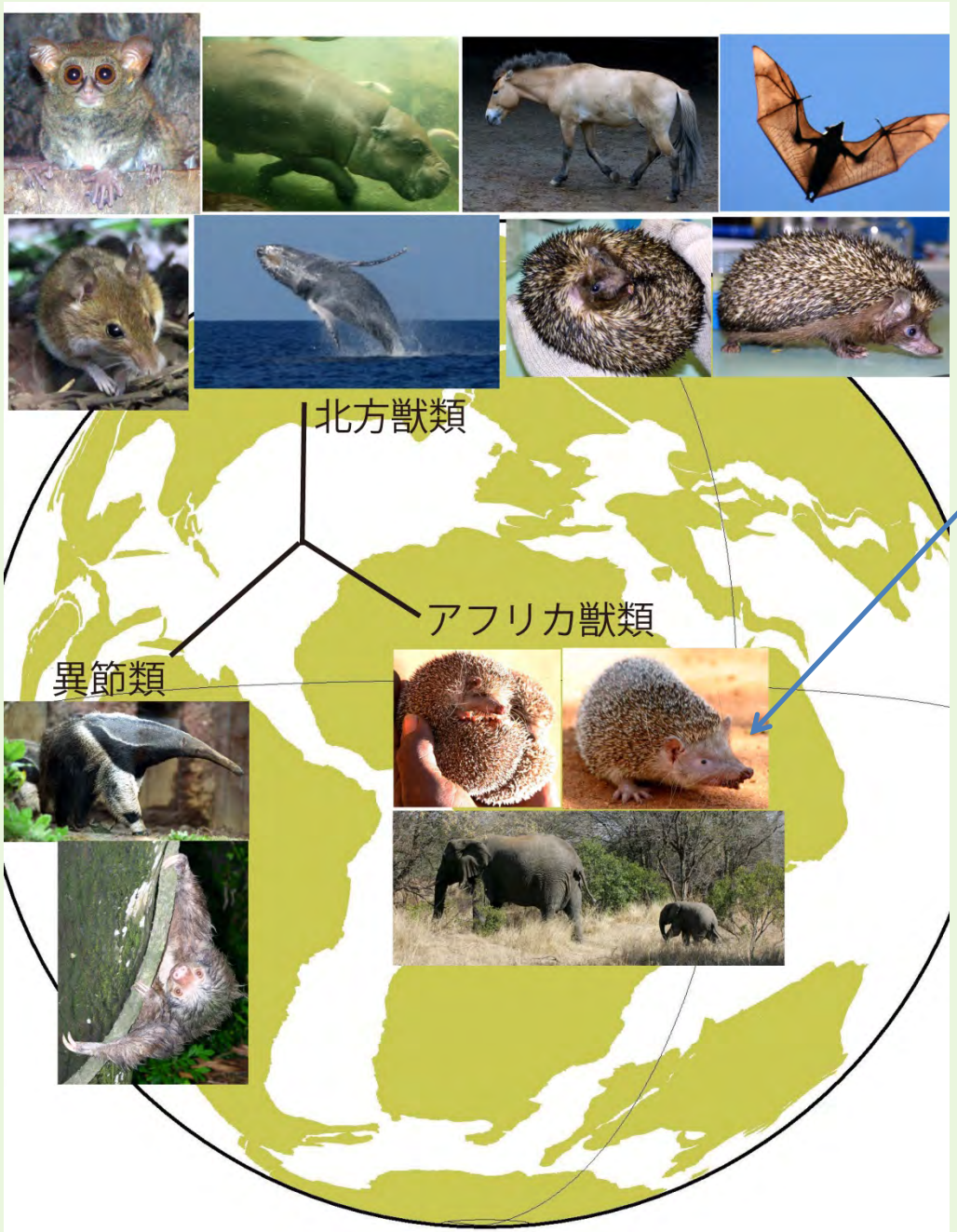
左：オオフタオビドロバチ（ドロバチ科）、右：ムラサキスカシバ（スカシバガ科）．ベーツ型擬態．ハチの毒針にさされた鳥は、二度と食べようとしない。そのハチに擬態したスカシバは食べられにくくなる。

オオカミ（狼）
Canis lupus
（真獣類）
TASMANIAN WOLF
フクロオオカミ（袋狼）
Thylacinus cynocephalus
（有袋類）

食虫目(Insectivora)?

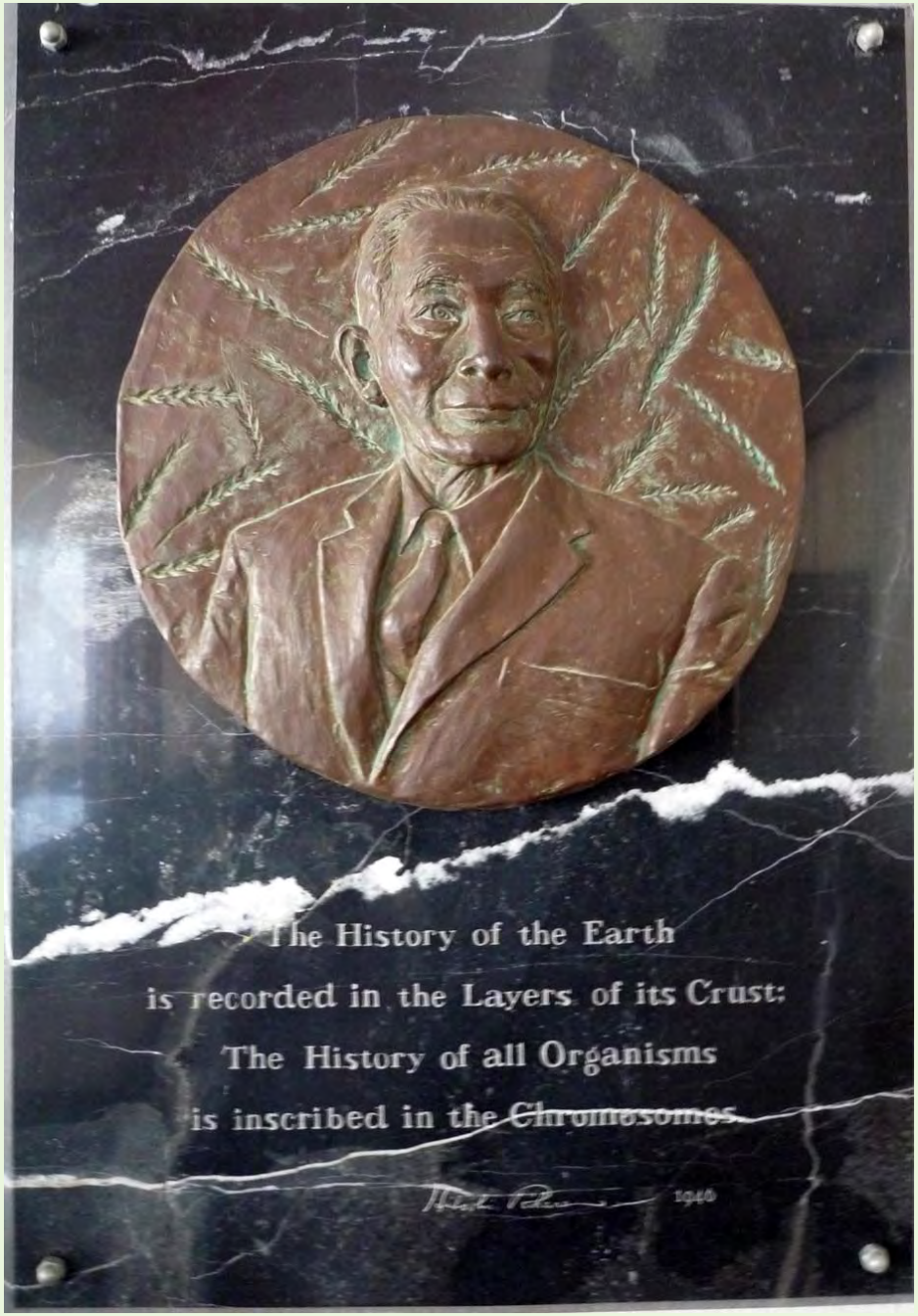
Hedgehog
インドハリネズミ
Paraechinus microps

Tenrec
ハリテンレック
Setifer setosus



収斂

1億500万年前の地図
105Ma Map



「地球の歴史は地層に、
生物の歴史は染色体に
記されてある。」

ゲノム

木原均(1947)

国立遺伝学研究所

真の系統樹

プレスチンの系統樹

聴覚の遺伝子

翼手目

大コウモリ

マダガスカルオオコウモリ

小コウモリ

ハチマキカグラコウモリ

クジラ類

歯クジラ

カマイルカ

ヒゲクジラ

ザトウクジラ

大コウモリ

小コウモリ

収斂進化

エコロケーション

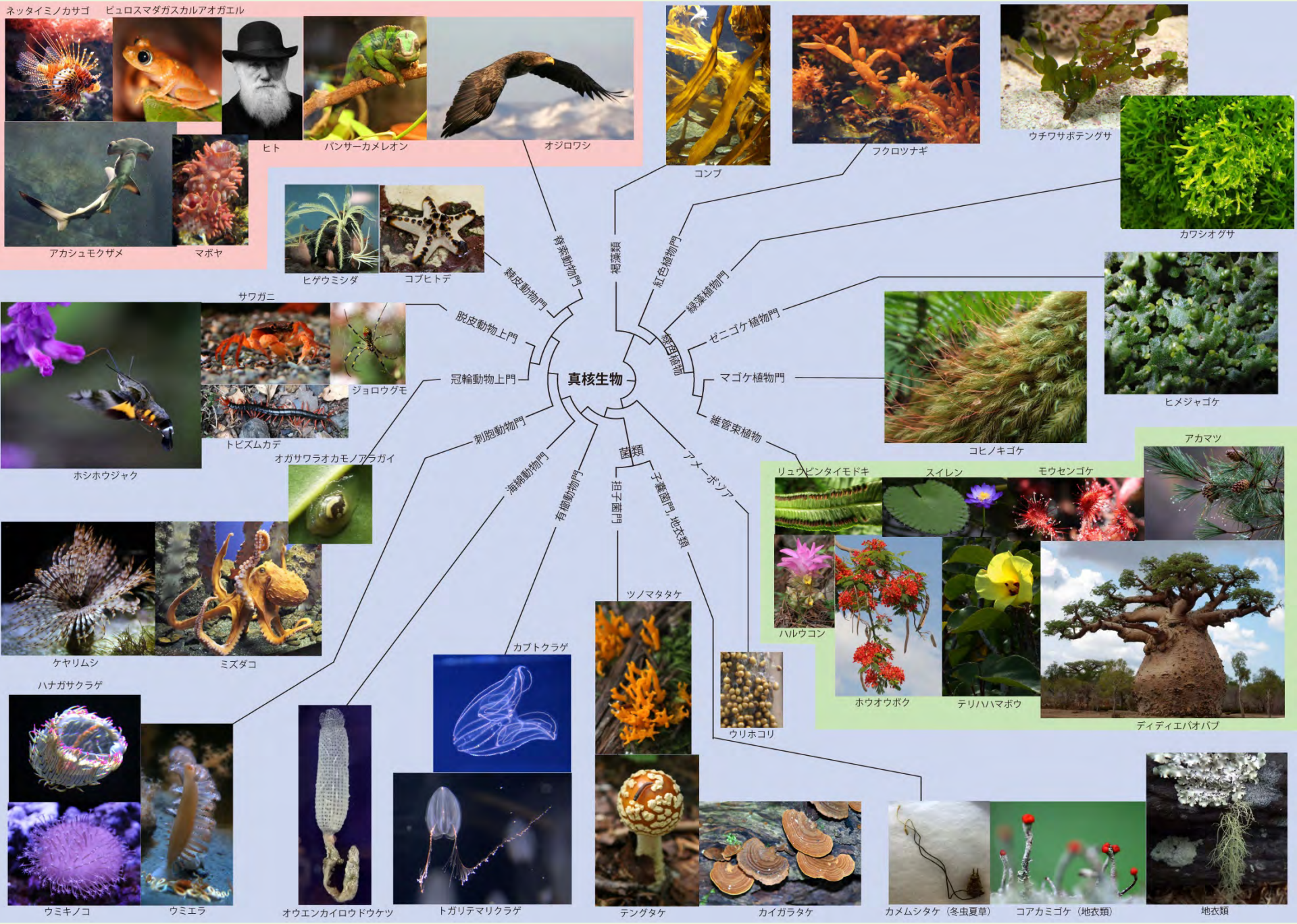
歯クジラ

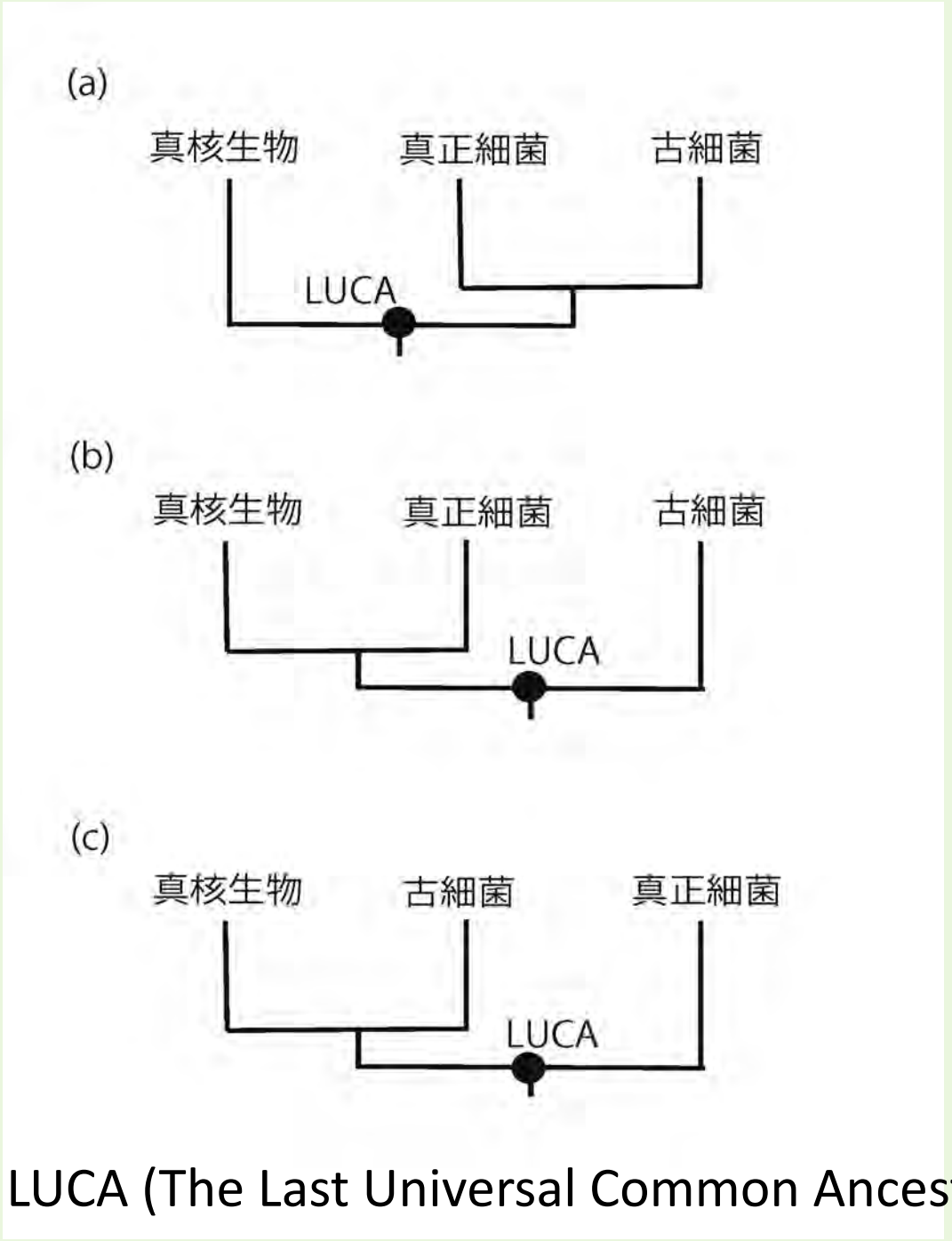
ヒゲクジラ

Letter of Darwin to T. H. Huxley (Sept. 26, 1857)

私自身がそれを見ることはかなわないと思いますが、いつかそれぞれの生物界について真の生命の樹が解明される時代が到来することでしょう。

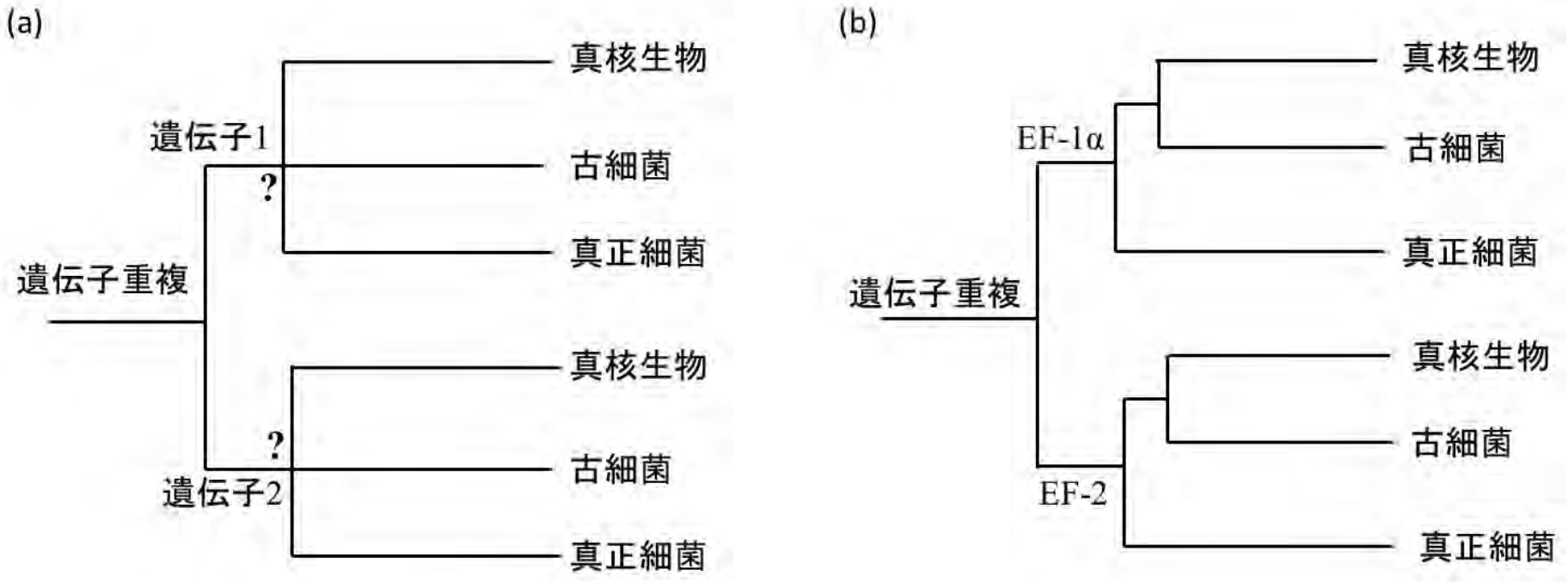
The time will come I believe, though I shall not live to see it, when we shall have very fairly true genealogical trees of each great kingdom of nature.


真核生物
脊索動物門
棘皮動物門
脱皮動物上門
冠輪動物上門
刺胞動物門
海綿動物門
有櫛動物門
褐藻類
紅色植物門
緑藻植物門
ゼニゴケ植物門
マゴケ植物門
維管束植物
菌類
アメーボゾア
担子菌門
子嚢菌門, 地衣類
ネッタイミノカサゴ
ピュロスマダガスカルアオガエル
ヒト
パンサーカメレオン
オジロワシ
アカシュモクザメ
マボヤ
ヒゲウミシダ
コブヒトデ
サワガニ
ジョロウグモ
トビズムカデ
ホシホウジャク
オガサワラオカモノアラガイ
ケヤリムシ
ミズダコ
ハナガサクラゲ
ウミキノコ
ウミエラ
オウエンカイロウドウケツ
カブトクラゲ
トガリテマリクラゲ
コンブ
フクロツナギ
ウチワサボテングサ
カワシオグサ
ヒメジャゴケ
コヒノキゴケ
リュウビンタイモドキ
スイレン
モウセンゴケ
アカマツ
ハルウコン
ホウオウボク
テリハハマボウ
ディディエアオバブ
ツノマタタケ
ウリホコリ
テングタケ
カイガラタケ
カメムシタケ（冬虫夏草）
コアカミゴケ（地衣類）
地衣類

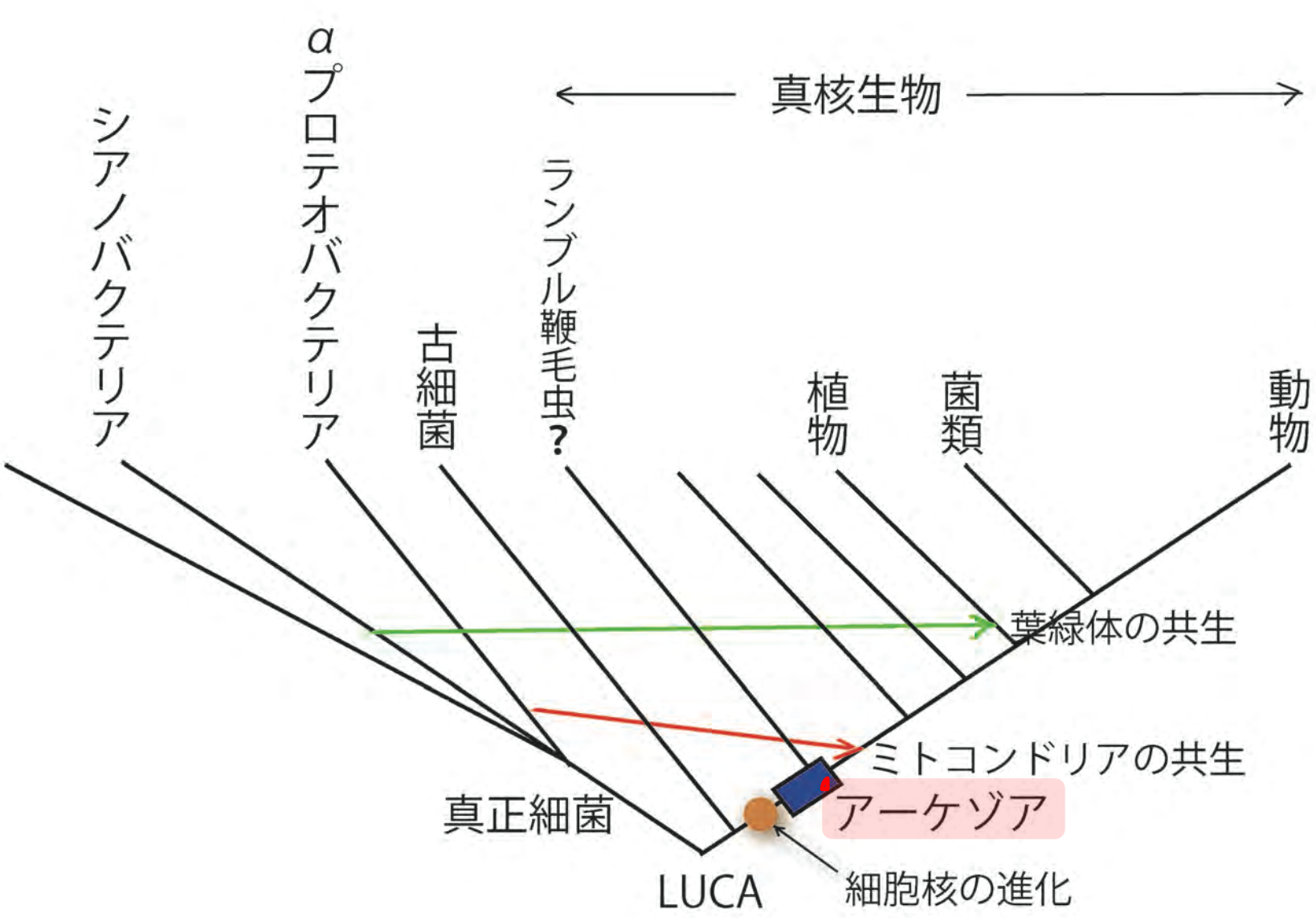


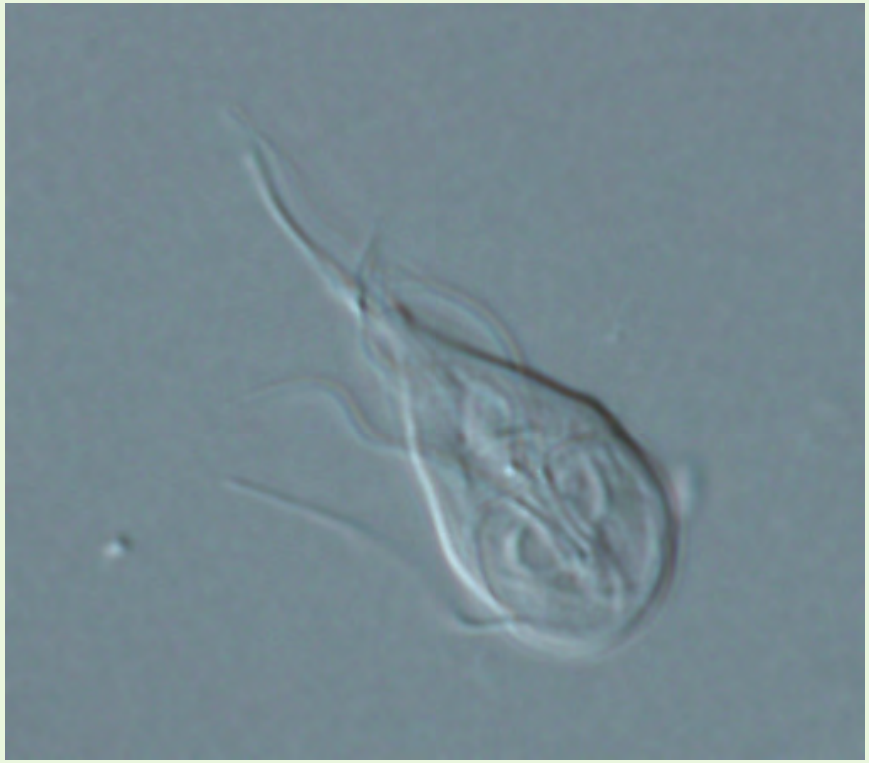
LUCA (The Last Universal Common Ancestor)

重複遺伝子の複合系統樹



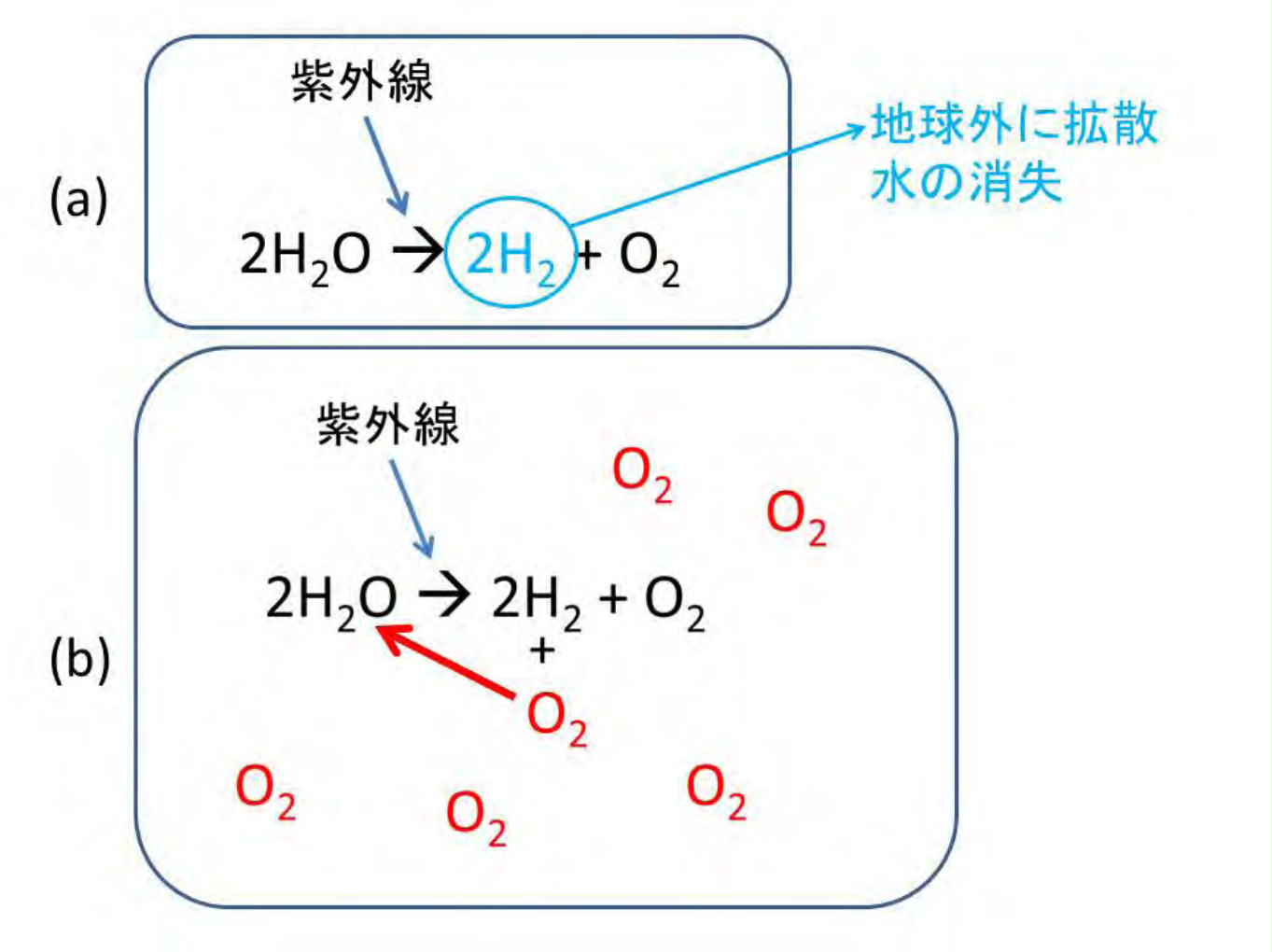
Iwabe et al. (1989)


真核生物
シアノバクテリア
αプロテオバクテリア
古細菌
ランブル鞭毛虫?
植物
菌類
動物
葉緑体の共生
ミトコンドリアの共生
真正細菌
アーケゾア
LUCA
細胞核の進化



ランブル鞭毛虫*Giardia lamblia*
©橋本哲男

ミトコンドリア由来の遺伝子
が見つかる



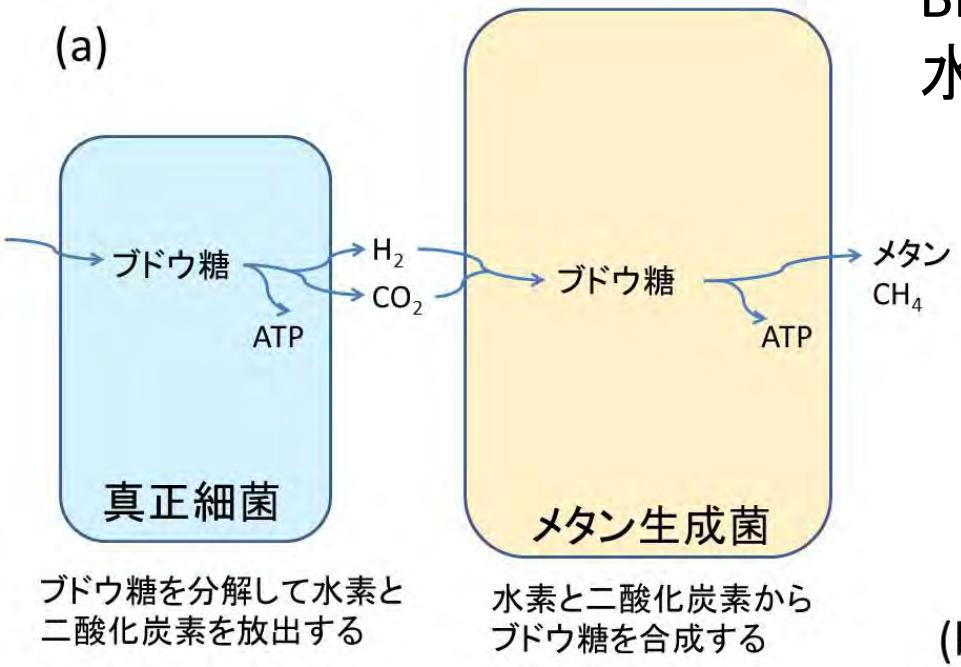
紫外線による水H_2Oの分解．分解されてできた水素は軽いためにすぐに地球外に拡散してしまったが(a)、シアノバクテリアによって酸素が作られるようになると、紫外線によって水が分解されても、できた水素分子はすぐに大気中の酸素分子（赤色）と反応して水に戻るようになった(b).

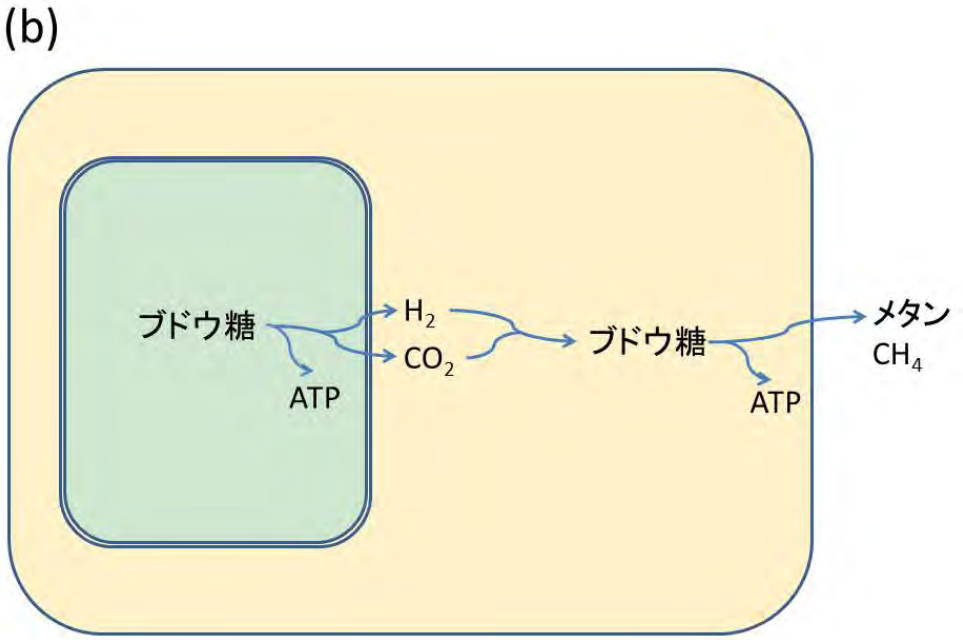
真核生物の遺伝子の由来

- 情報遺伝子（DNAの複製、転写、たんぱく質合成）ー古細菌由来
- 作業遺伝子（代謝、脂質やアミノ酸などの合成）ー真正細菌由来

Jim Lake

Bill Martin & Miklós Müller (1998)
水素仮説





真正細菌

真核生物

古細菌

LUCA

Vol 440|2 March 2006|doi:10.1038/nature04531 nature

HYPOTHESIS

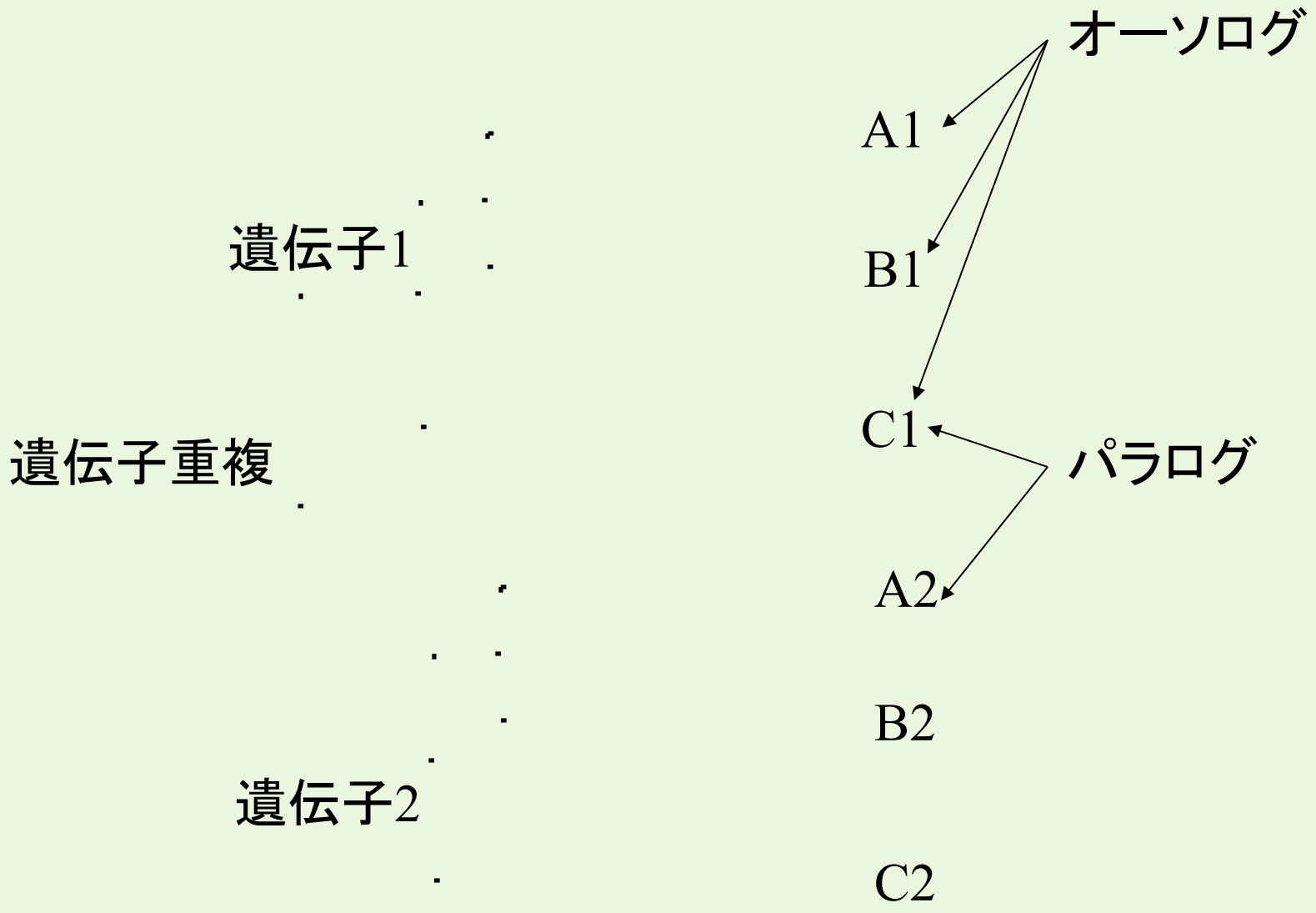
Introns and the origin of nucleus–cytosol compartmentalization

William Martin[1] & Eugene V. Koonin[2]

The origin of the eukaryotic nucleus marked a seminal evolutionary transition. We propose that the nuclear envelope's incipient function was to allow mRNA splicing, which is slow, to go to completion so that translation, which is fast, would occur only on mRNA with intact reading frames. The rapid, fortuitous spread of introns following the origin of mitochondria is adduced as the selective pressure that forged nucleus–cytosol compartmentalization.

仮説：真核生物誕生時に集中的にイントロンの侵入が起った

- 太古のパラログ（すべての真核生物で共通に見られる遺伝子ファミリー）
- 新しいパラログ（特定のグループでしか見られない遺伝子ファミリー）


オーソログ
A1
遺伝子1
B1
C1
遺伝子重複
パラログ
A2
B2
遺伝子2
C2

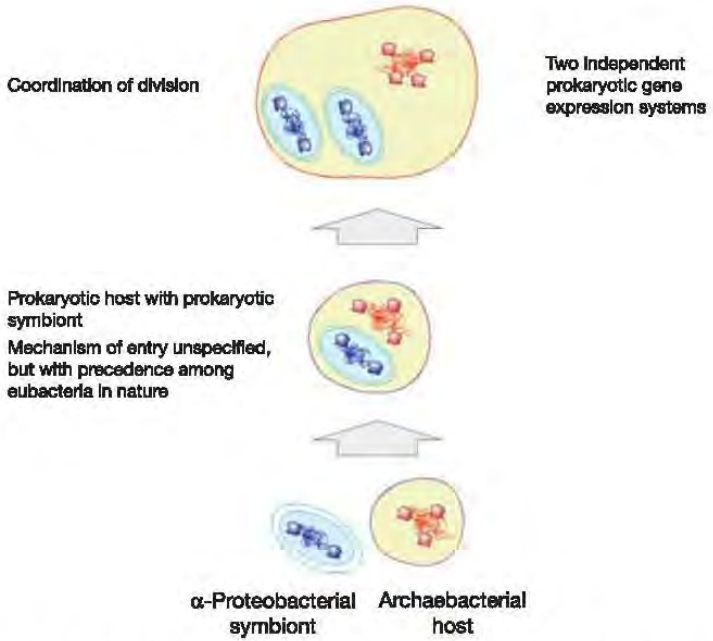
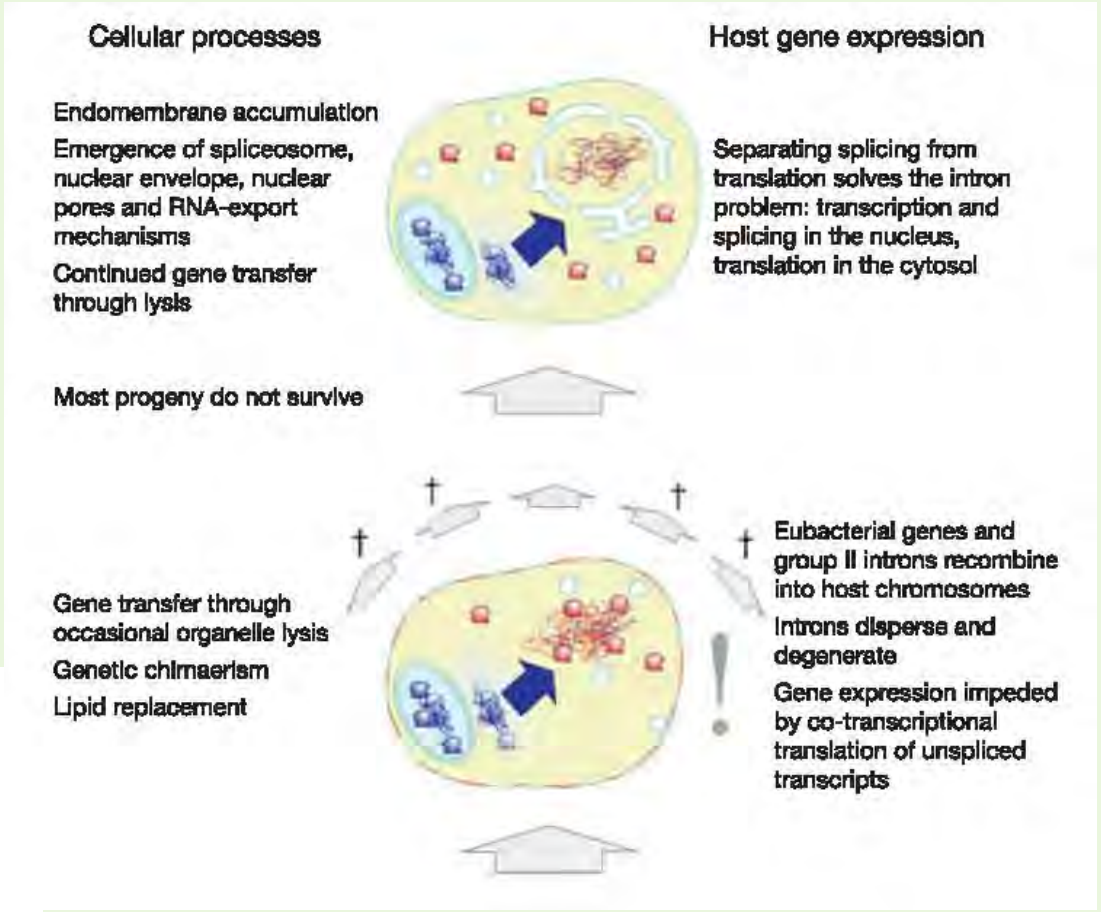


Figure 1 | Origin of nucleus–cytosol compartmentalization in the wake of mitochondrial origin. Blue arrows indicate symbiont-to-host gene transfer.



Martin & Koonin (2006) Nature