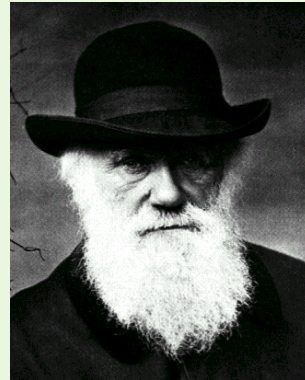




進化生物学概論

- 現代の進化生物学がどのような歴史を経て成立したのか. [How the modern theory of evolution has been formulated.](#)
- 「自然の階段」から「生命の樹」への転換
Scale naturae → Tree of Life (Descent with modification)
- 種を集団とみる視点と自然選択説
[View of a species as a population and the theory of natural selection](#)



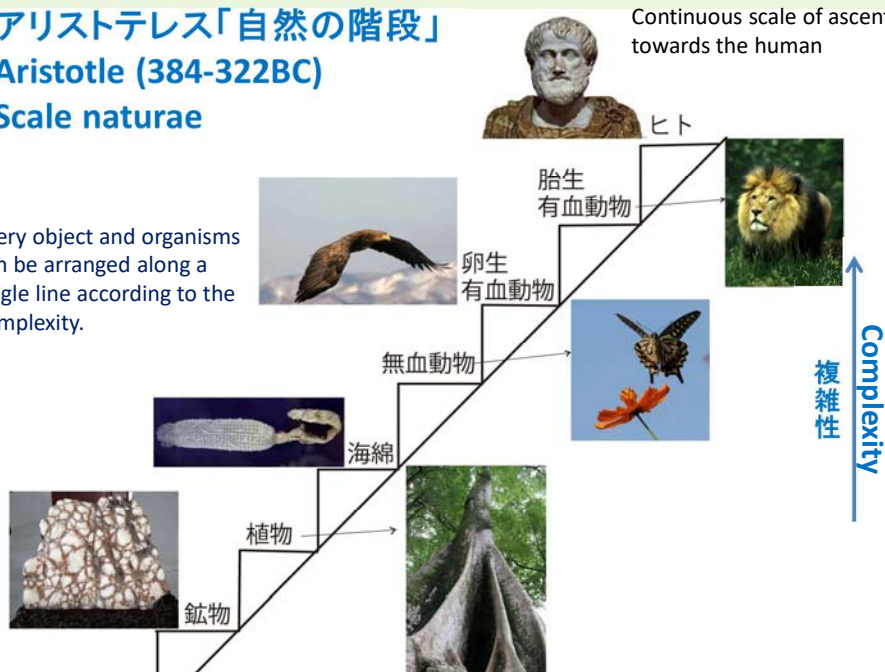
サルからヒトが進化した？
The human has evolved from the monkey?

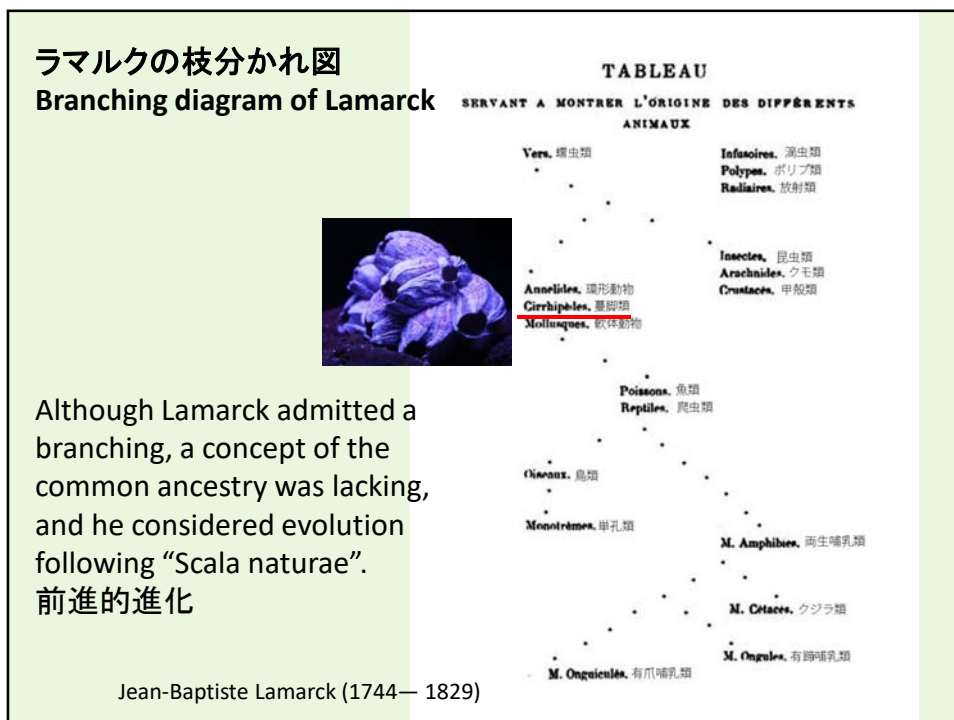
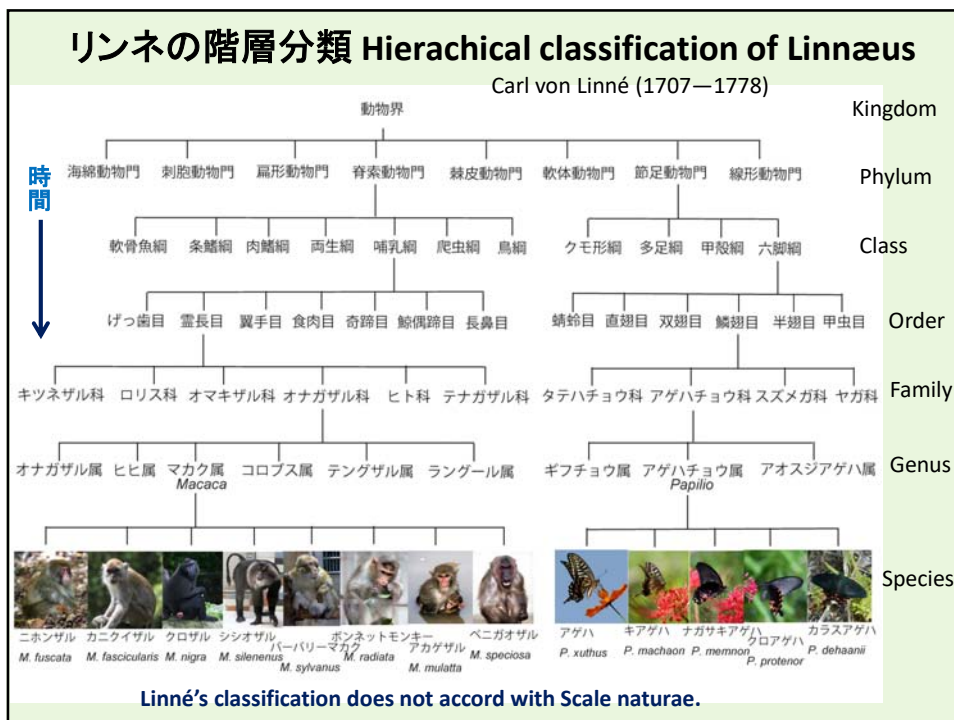
アリストテレス「自然の階段」

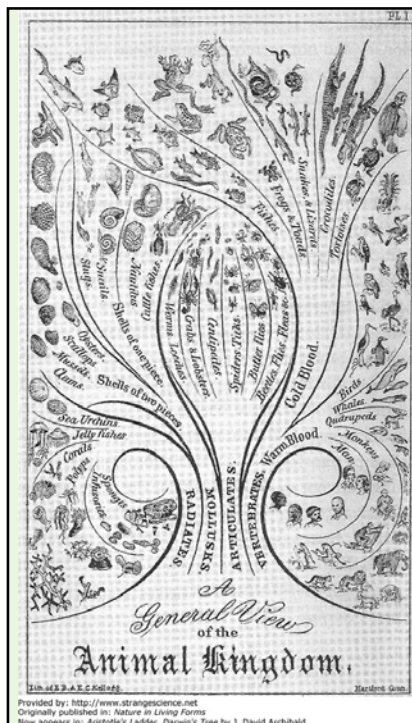
Aristotle (384-322BC)

Scale naturae

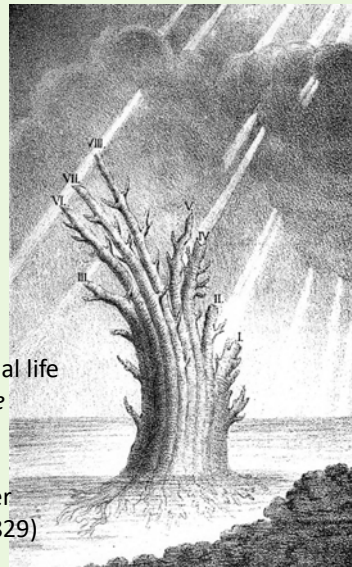
Every object and organisms can be arranged along a single line according to the complexity.



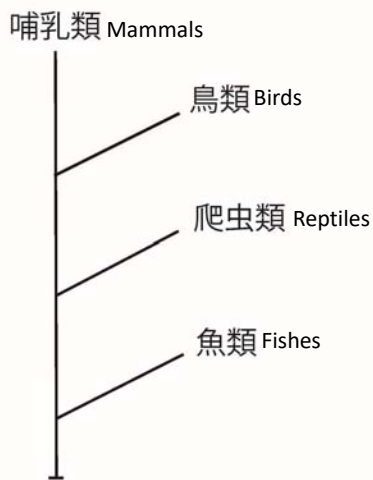




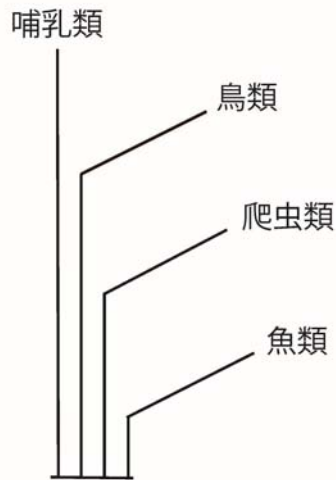
Anna Maria Redfield (1857)
 彼女は進化論を受け入れなかったが、多様な動物界をこのような図で表現した。
 共通祖先は想定していない。



Tree of animal life
 – *Arbor vitae animalis* – a polyphyletic diagram after Eichwald (1829)



Robert Chambers (1844)の図
 「創造の自然史の痕跡」


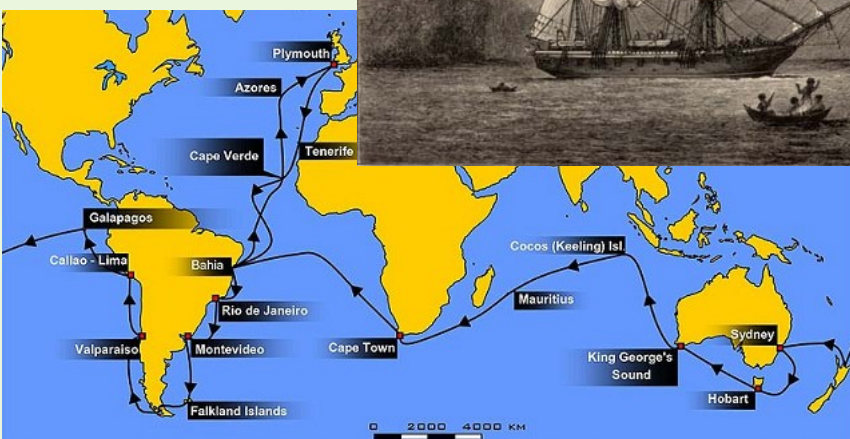


左の図の意味するところは
 このようなものだった
 (Eichwaldの図と同様)

キュヴィエによる動物界の分類 Cuvier's classification of animals
 Georges Cuvier (1769—1832)

<p>脊椎動物亜界 Vertebrata</p>	<p>カイロトゲマウス</p>	<p>ヒラタアブ</p>	<p>環節動物亜界 Articulata</p>
<p>キヌバリ</p>		<p>ゴミムシダマシ幼虫</p>	<p>ミミズ</p>
<p>軟体動物亜界 Mollusca</p>	<p>カタツムリ</p>	<p>アカヒトデ</p>	<p>放射動物亜界 Radiata</p>
<p>アオリイカ</p>	<p>4つの亜界の体制はあまりにも違い、 移行は不可能。Cuvier rejected evolution because of fundamental difference among the taxa.</p>		

The Voyage of the Beagle
 Charles Darwin
 (1831-1836)

The map shows the following stops: Plymouth, Azores, Cape Verde, Tenerife, Galapagos, Callao - Lima, Bahia, Rio de Janeiro, Valparaiso, Falkland Islands, Montevideo, Cape Town, Cocos (Keeling) Isl, Mauritius, King George's Sound, Sydney, and Hobart. A scale bar at the bottom indicates 2000 and 4000 KM.

ガラパゴスマネシツグミ

John Gouldの鑑定により、島ごとに別の種であると判明



(a) *Nesomimus parvulus* (b) *N. trifasciatus* (c) *N. melanotis*

Gould (1841)

http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1841_Birds_F9.3.pdf

⇒種は変わり得る?
Species can change?



Mimus polyglottos
マネシツグミ
Northern mockingbird



ムシクイフィンチ *Certhidea olivacea*

Gould (1841)

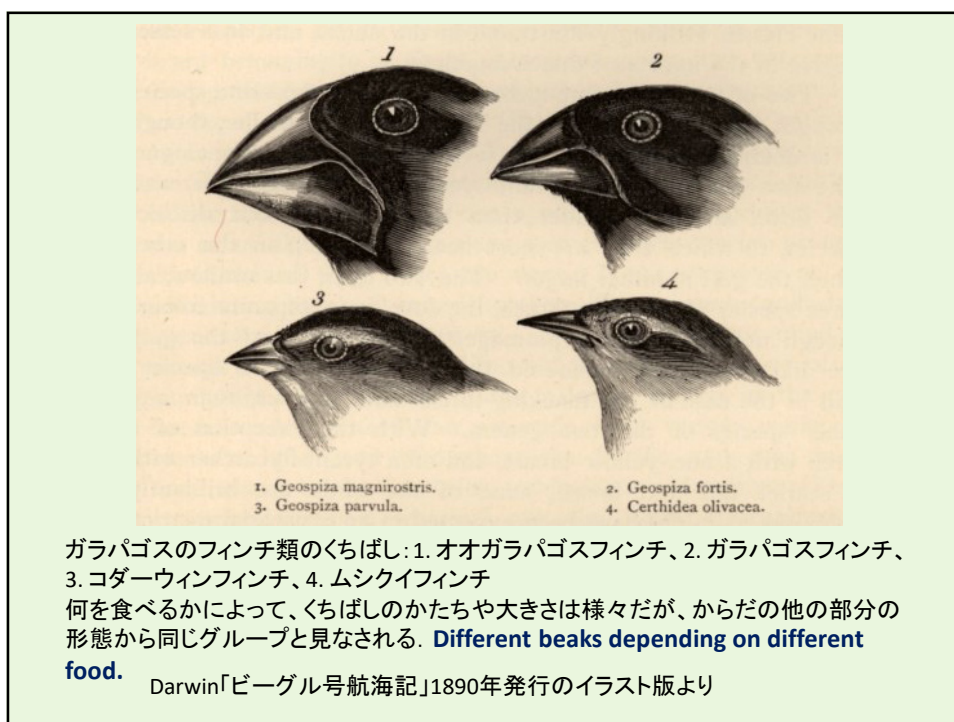
Darwinはこの鳥をミンサザイの仲間
と考えたが、鑑定したJohn Gouldは
フィンチだと同定した。

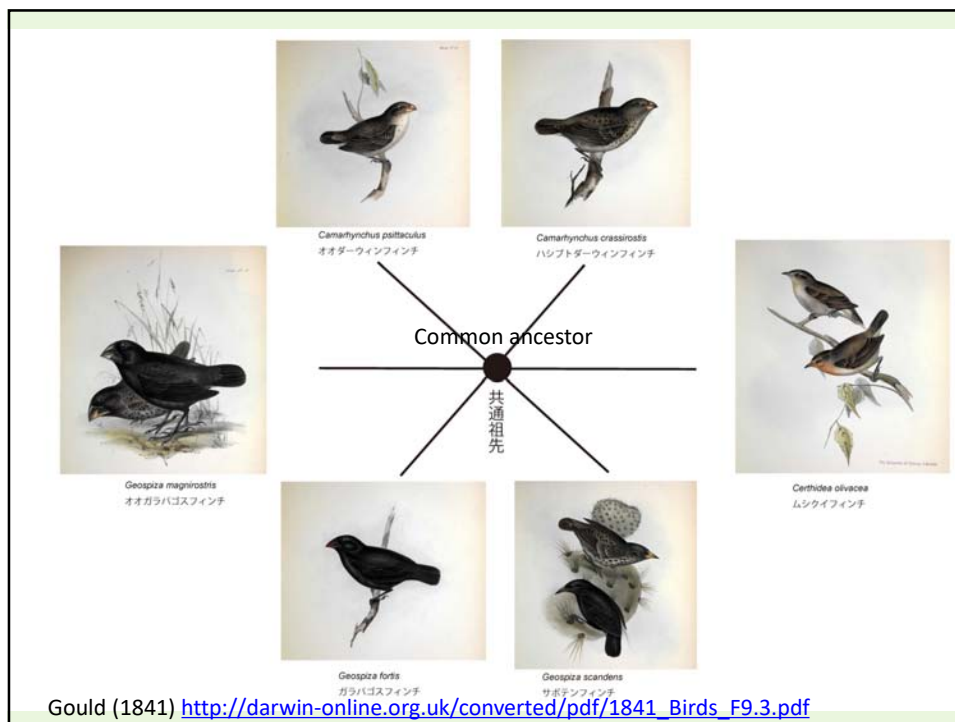
Darwin thought this to be an ally of
wren, but Gould identified as a kind
of finch.



ミンサザイ *Troglodytes troglodytes* (wren)

Gould (1862-1873) (玉川大学教育博物館所蔵)





I think

96

There between A & B. various
sort of relation. C & B. The
first predation, B & D
rather greater distinction
than former would be
formed. - binary relation

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 note of "Tree of Life"
(1837)

「生命の樹」は、このように1本の樹が枝分かれを繰り返しながら伸びて、枝の先端に葉を茂らせている様子を、葉をそれぞれの種になぞらえて比喩的に表現している。"Tree of Life" is a metaphor of evolution represented by a tree continuously branching with leaves at tips corresponding to species.



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

Pristiophorus sp. ノコギリザメ

Sphyrna lewini アカシユモクザメ

ほかのサメが絶滅していたなら、共通祖先がどんなものだったかを想像できるか？

?

If all the sharks other than these 3 lineages became extinct, can you imagine how the common ancestor was?

Potamotrygon motoro モトロ (淡水エイ)

Ornithorhynchus anatinus カモノハシ

Tachyglossus aculeatus ハリモグラ

Actually, all monotremes other than these 2 became extinct, and it is very hard to imagine how the common ancestor was. Hence, it should be reasonable for Cuvier to reject evolution based on the huge difference among the four subkingdoms of animals.

?

単孔類のこれ以外の系統はすべて絶滅したので、共通祖先のかたちを思い浮かべることは困難。従ってCuvierが進化論に反対したのは当然だった。



1938年に南アフリカ沖ではじめて捕獲された現生シーラカンス *Latimeria chalumnae* の標本 (南アフリカ・イーストロンドン博物館所蔵)
6,600万年前に恐竜が絶滅して以降、化石として見つかっていないので、絶滅したと考えられていた。

1億3,000万年前のシーラカンスの化石 (Fossil coelacanth of 130Ma)

化石は稀にしか残らず、しかも化石の多くは絶滅した系統なので、見つかった化石が現生生物の共通祖先である可能性は高くない。
Fossil coelacanth have not been excavated after 66Ma, in spite that they have survived until today. Fossil evidence is inevitably scarce, and hence it is extremely difficult to find a direct ancestor of a living species.

ダーウィンとウォーレスの新しい視点 Novel view points of Darwin and Wallace

- 枝分かれ進化、共通祖先からの進化
Branching evolution from a common ancestor
変化を伴う由来 Descent with modification
- 個体変異の重視、種を集団とみる視点
View of a species as a population
- 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) Theory of natural selection and the importance of probabilistic process

Natural selection

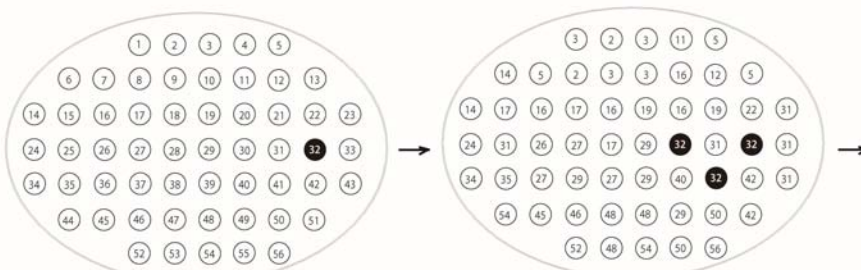
Exponential growth of a population is expected

$$N(t) = N_0 e^{rt}$$

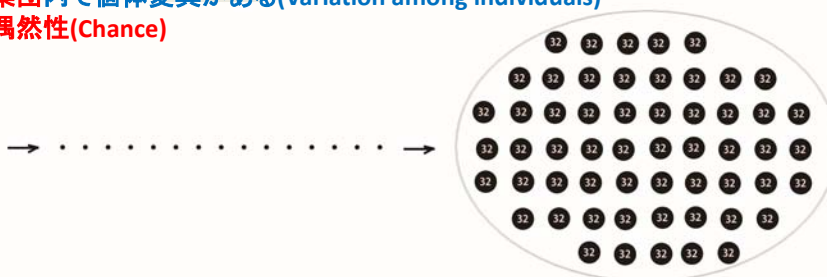
where r is growth rate. Usually, however, the population size is maintained more or less stable, because abundant number of juveniles cannot survive until the age of reproduction.

Is there any difference between the survivors and the rest?

●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(Variation among individuals)
偶然性(Chance)

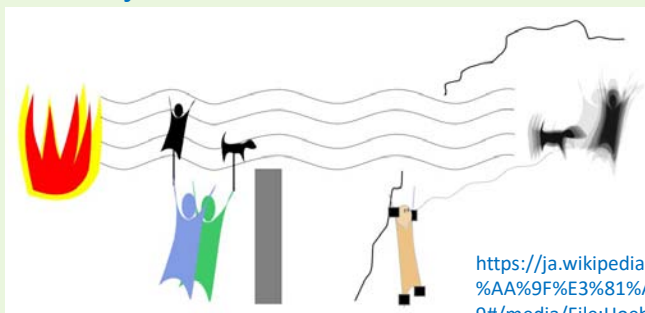


プラトン「イデア論」Platon's (427?-347BC) Idea

“洞窟の比喻” (Plato's cave)

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实在の影が、洞窟の壁に投げられたものにすぎない。真の实在そのものを見ることは、われわれには決してできない。

We cannot see the real objects, but can only see the shadows of the objects in front of a fire.



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

プラトン「イデア論」Platon's (427?-347BC) Idea

“洞窟の比喻(Plato's cave)”

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实在の影が、洞窟の壁に投げられたものにすぎない。真の实在そのものを見ることは、われわれには決してできない。**We cannot see the real objects, but can only see the shadows of the objects in front of a fire.**

→ 個体変異は理想つまりイデアからの逸脱(ゆらぐ影)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。**Variation among individuals is a deviation from the Idea, and was considered not important in studying “species”.**

→ 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。**On the other hand, Darwin found that the variation is an important source of evolution.**



Peter Grant & Rosemary Grant

1977年の大旱魃の前後での変化
Change of beak before and after a drought

Geospiza fortis
ガラパゴスフィンチ

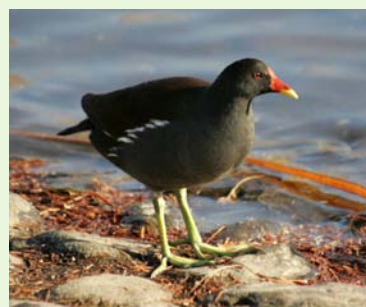
		前	後
Number of individuals	個体数	1,200	180
Length of beak	くちばし長さ(平均)	10.68 mm	11.07 mm
Breadth of beak	くちばし太さ(平均)	9.42mm	9.96 mm

大旱魃のあとに、くちばしの大きさの平均値が増加

Beak became bigger in average after the drought, but it is important to note that the direction of selection changes depending on the situation.

不完全な適応

Evolution is not always perfect.



バン *Gallinula chloropus* は、カモのように脚で水を蹴って泳ぐが(左)、水かきがない(右)。ダーウインはバンの祖先がそのような生活を始めてまだあまり時間が経っていないので、形態的な進化が追いついていないのではないかと考えた。

創造主によって造られたとしたら、あまりにも不完全ではないか。

Moorhen swims like a duck, but has no webs, probably because they started this life-style recently and have not enough time to develop webs.

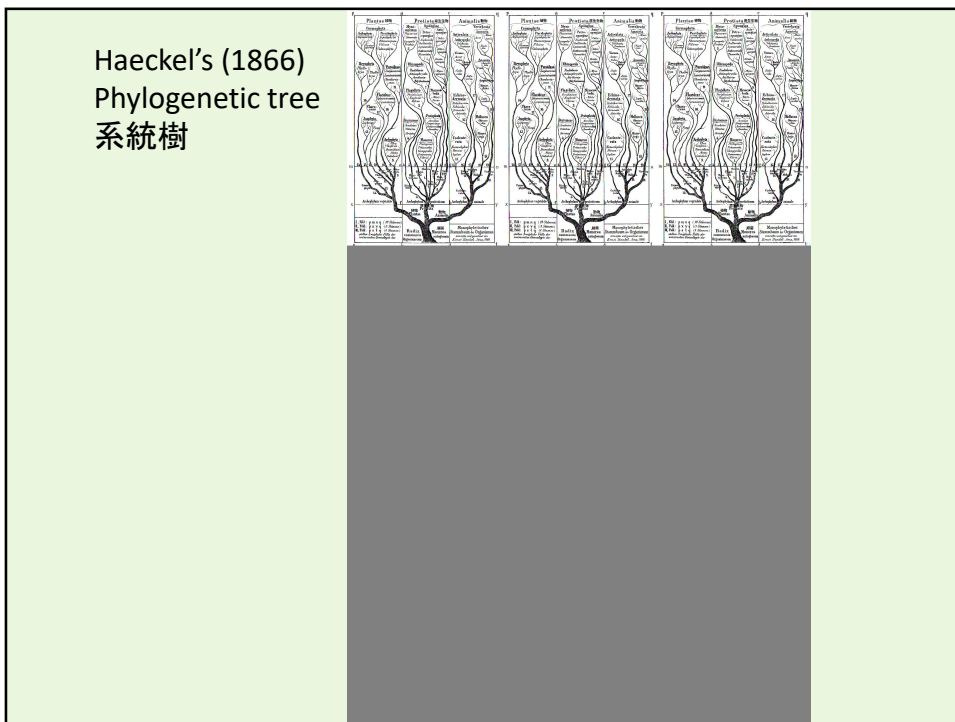
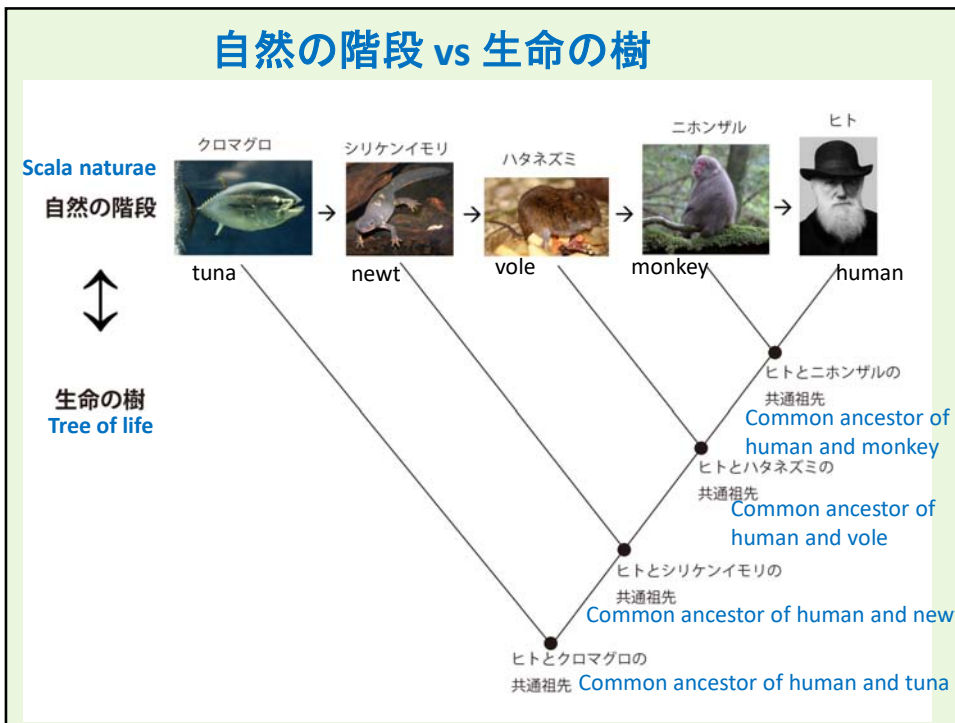


腐生植物 saprophytic plant (菌従属栄養植物)

These plants have lost the photosynthesizing ability.

"Evolution" is not always progressive and involves retrogression.

The collage features several images of saprophytic plants. A red box highlights *Hydnora esculenta* (フアンタニ) and *Monotropa hypopitys* (モノトロパ). A red arrow points from the text "Evolution" is not always progressive and involves retrogression." to these plants. Other plants shown include *Adansonia digitata*, *Arabidopsis thaliana*, *Curcuma aromatica*, *Magnolia kaempferi*, *Nymphaea sp.*, and *Polydora orientalis*.





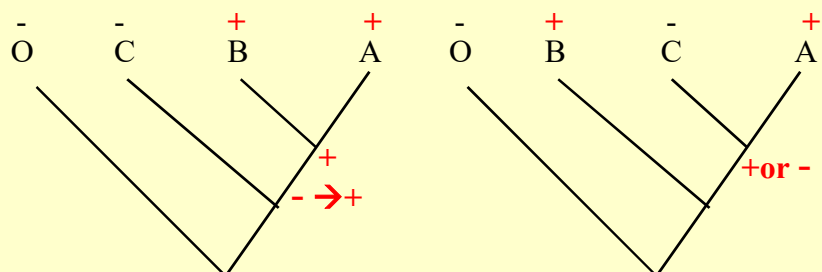
**Nothing in
biology makes
sense without
evolution**

**Theodosius Dobzhansky
(1973)**



**Nothing in
evolution
makes sense
without
phylogeny**

John Avise (2006)



The interpretation of how a particular character evolved depends on which tree is correct.

生命の樹を構築するにあたっての問題点

- 近縁性か他人の空似「収斂進化」か？
Closeness or Convergence

ハチドリとスズメガ科(ホシホウジャク)の間の収斂進化



アゴヒゲハチドリ
Threnetes leucurus
Gould (1849–1861) (玉川大学所蔵)



ホシホウジャク
Macroglossum pyrrosticta
©M. Hasegawa



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：オオフトオビドロバチ (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。



収斂	真獣類 Eutheria	有袋類 Marsupialia	
	オオカミ Wolf	フクロオオカミ Thylacine	
	ネコ Cat	フクロネコ Quoll	
	モモンガ Flying squirrel	フクロモモンガ Sugar glider	
	アリクイ Anteater	フクロアリクイ Numbat	
	シマリス Chipmunk	フクロシマリス Striped possum	
	モグラ Mole	フクロモグラ Marsupial mole	
	ヌートリア Nutria	ミズオポッサム Yapok	

有袋類 vs 真獣類の場合、見掛け上いかによく似ていても、それぞれに有袋類あるいは真獣類の特徴があるので、それが収斂の結果であることは自明であった。

Remarkable convergences have occurred between eutherians and marsupials, but morphologists have not been confused by these apparent similarities, because any marsupials have unique characters specific to marsupials which are distinct from eutherians.

ところが、真獣類のなかで収斂進化が起った場合は……

However, in the case when convergence occurred among eutherians...

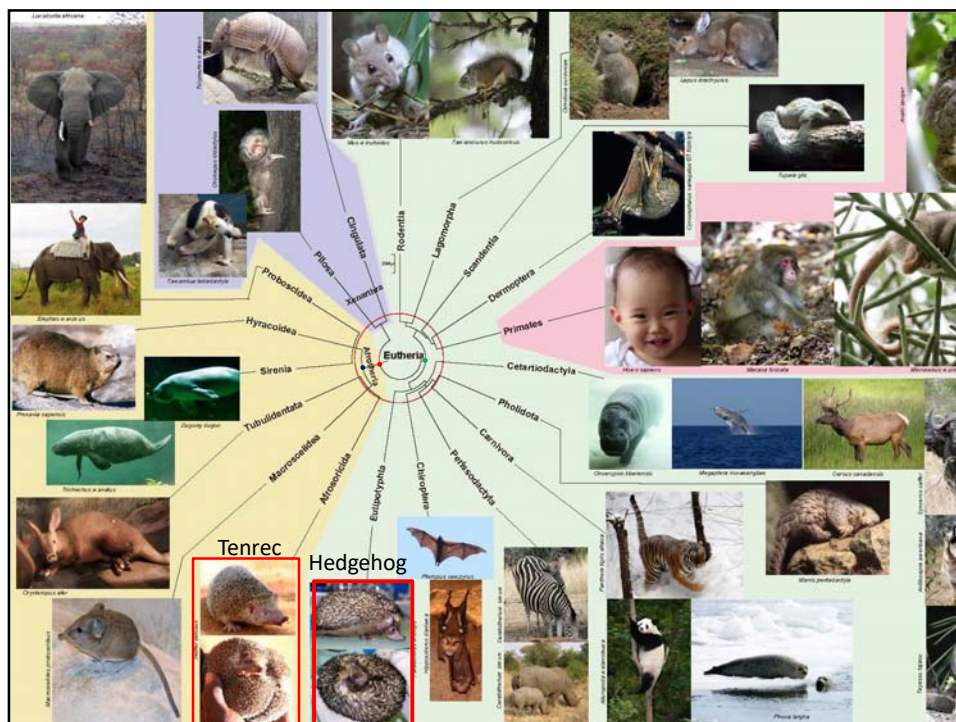
食虫目(Insectivora)?



Hedgehog
インドハリネズミ
Paraechinus microps



Tenrec
ハリテンレック
Setifer setosus



The History of the Earth
is recorded in the Layers of its Crust:
The History of all Organisms
is inscribed in the Chromosomes

「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

分子系統学 Molecular Phylogenetics

- 個々の遺伝子は、必ずしも種の歴史を反映しないことがあるが、ゲノム情報(ヒトでは3億塩基)は膨大であり、ある程度多くの遺伝子を扱うことによって正しい系統樹(生命の樹)が得られる。
- 一方、形態的形質は直接適応に関わるものが多く、形質の数も限られる。
- DNAの大部分は直接適応には関わらず、中立的な進化をする。また系統解析に用いることのできる形質の数は膨大(ヒトの場合3億個)

「自然の階段」から「生命の樹マンダラ」へ From “Scale naturae” to “Tree of Life Mandala”

- ダーウィンの新しい視点は、“**複雑性**”という単一の尺度にもとづいた「自然の階段」から、“**多様性**”を重視する「生命の樹」への転換であった。 Darwin’s novel view is a transition from “Scale naturae” based on a single measure of “complexity” to “Tree of Life” taking a serious view of “diversity”.
- そのような観点から、「生命の樹」をどのように図像的に表現するかを考えてきた。 How to represent the “Tree of Life” visually.
→マンダラMandala

