



第14回先導科学研究科 学術講演会

DNAの配列が語る進化 ～遺伝情報をデジタルに扱う～

生命共生体進化学専攻

助教 五條堀淳

生き物

ショウジョウバエ

シロツメクサ

マウス

ボルボックス

出芽酵母

ウニ

生き物は多様

- 進化の結果
 - それぞれの生物種が、それぞれの環境で、それぞれ独自に**適応**したため

生物の進化を研究する

- 生物の歴史を知る
 - 適応の歴史を知る
 - 生物を取り巻く環境の変化の歴史

生物を分類する

- 性質（＝形質）の似ている生物同士をグループとしてまとめる
- 形質は共通祖先から派生したと考える
- 進化の歴史と形質の類似性
 - 進化分類学

生物同士の関係

ヒト

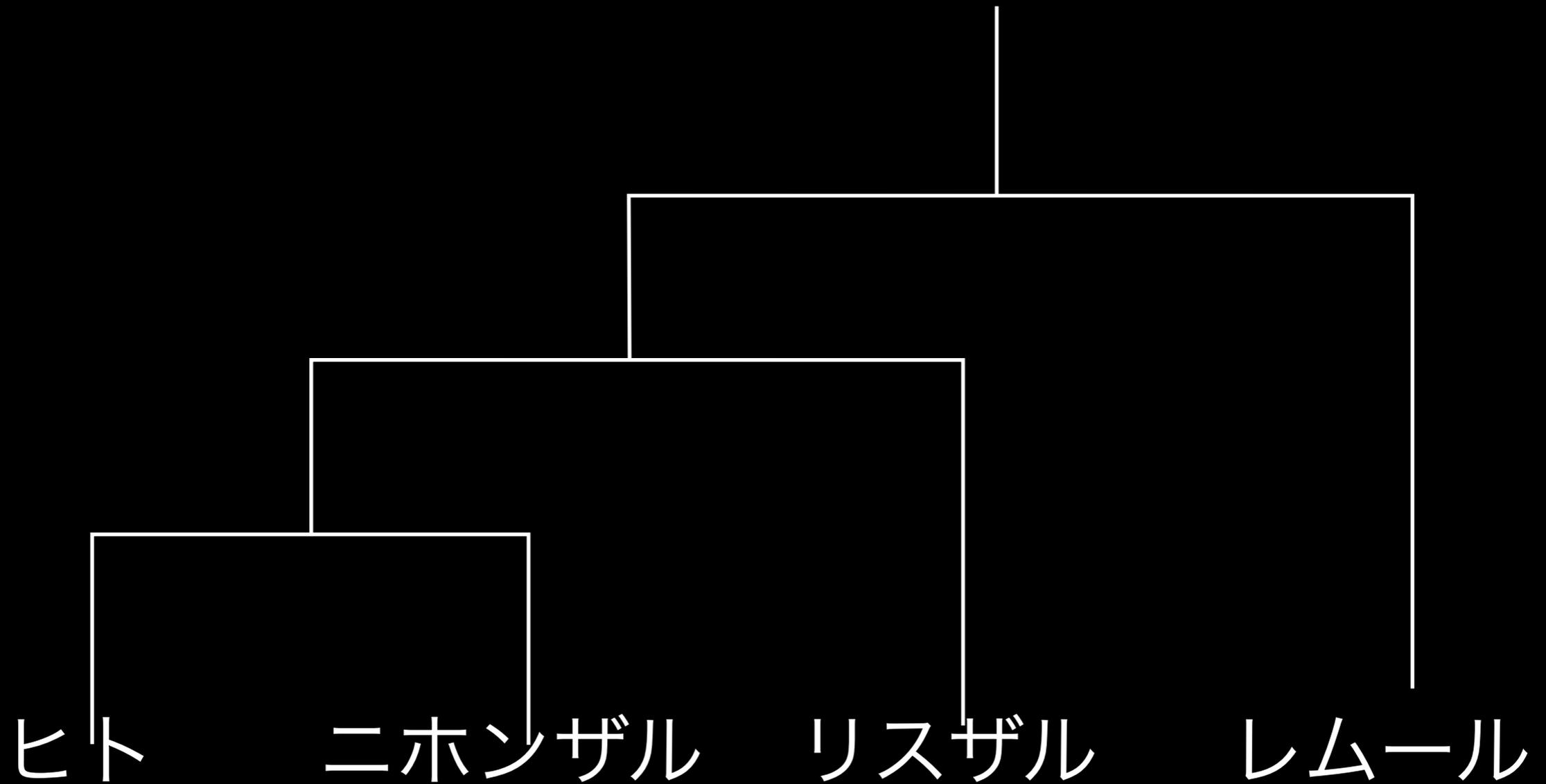
リスザル

レムール

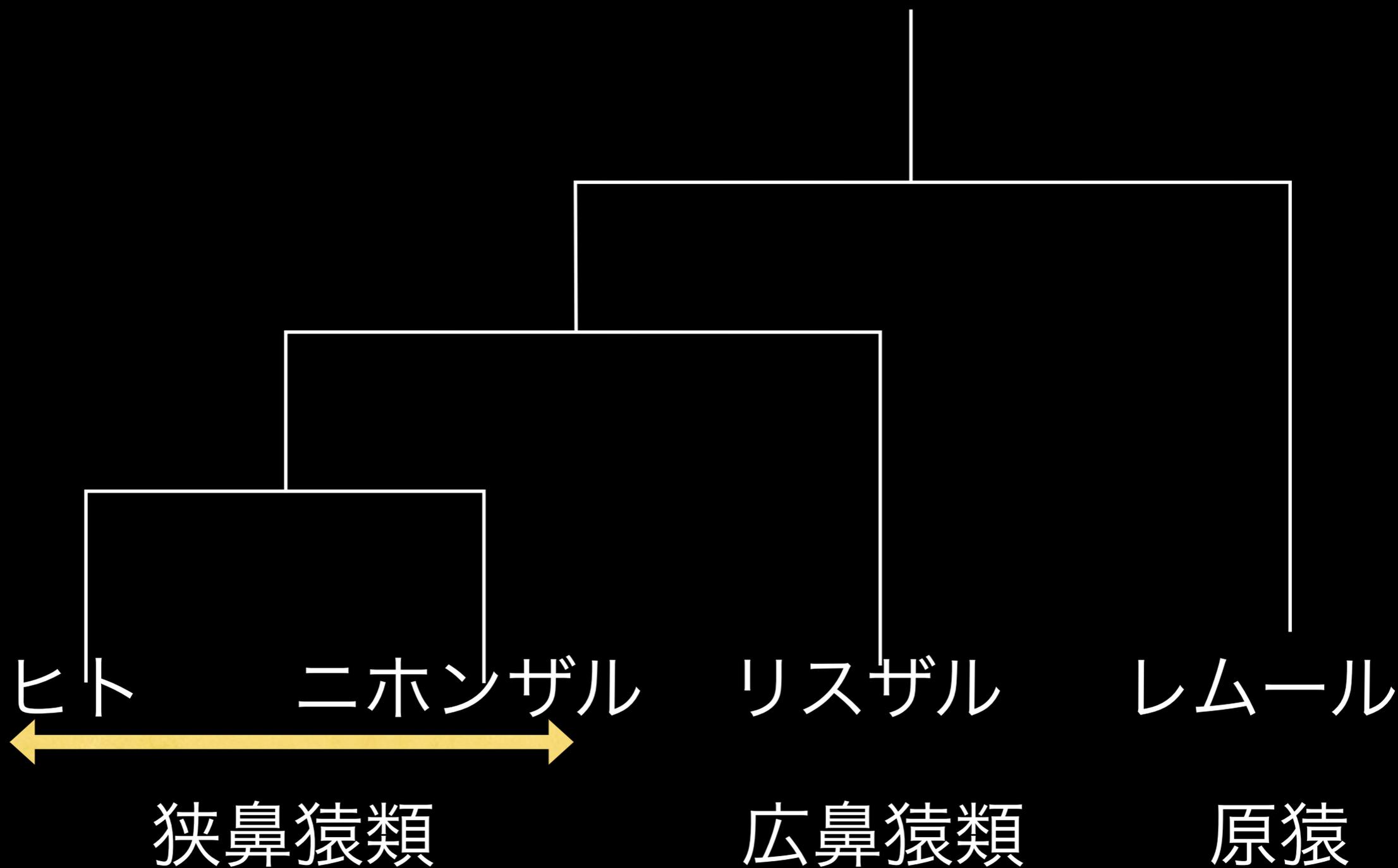
ニホンザル

ヒト ニホンザル リスザル レムール

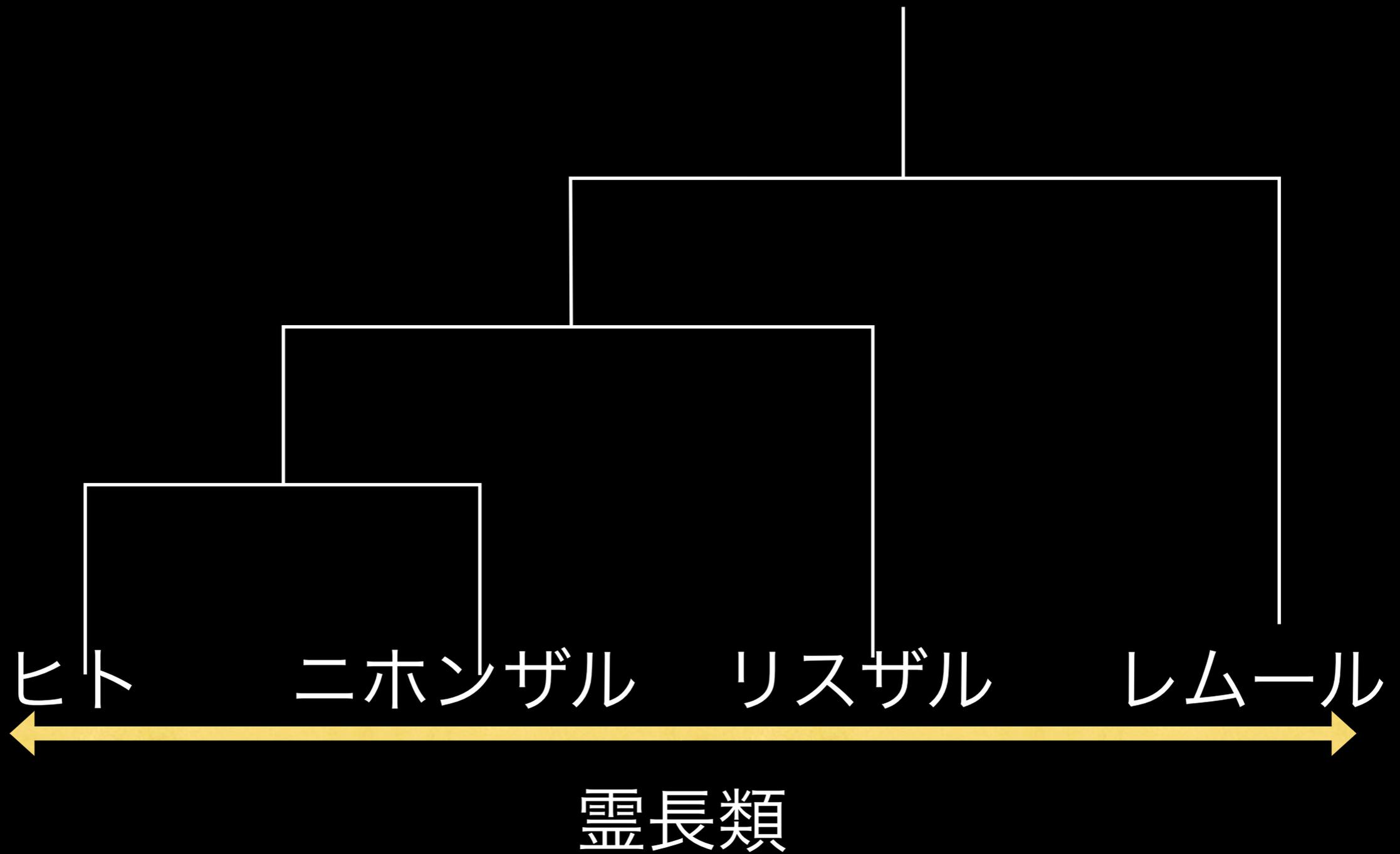
系統樹



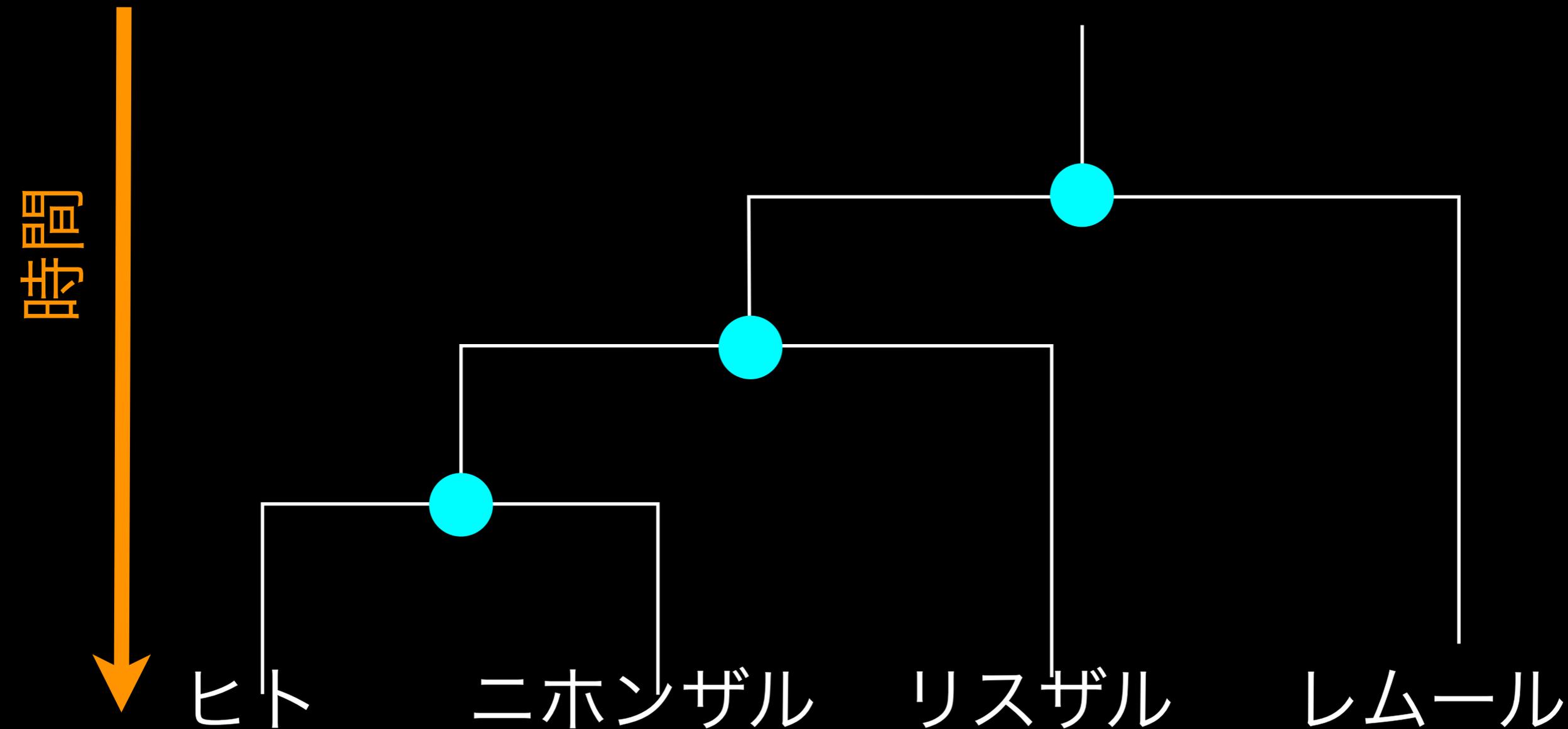
系統樹



系統樹



系統樹

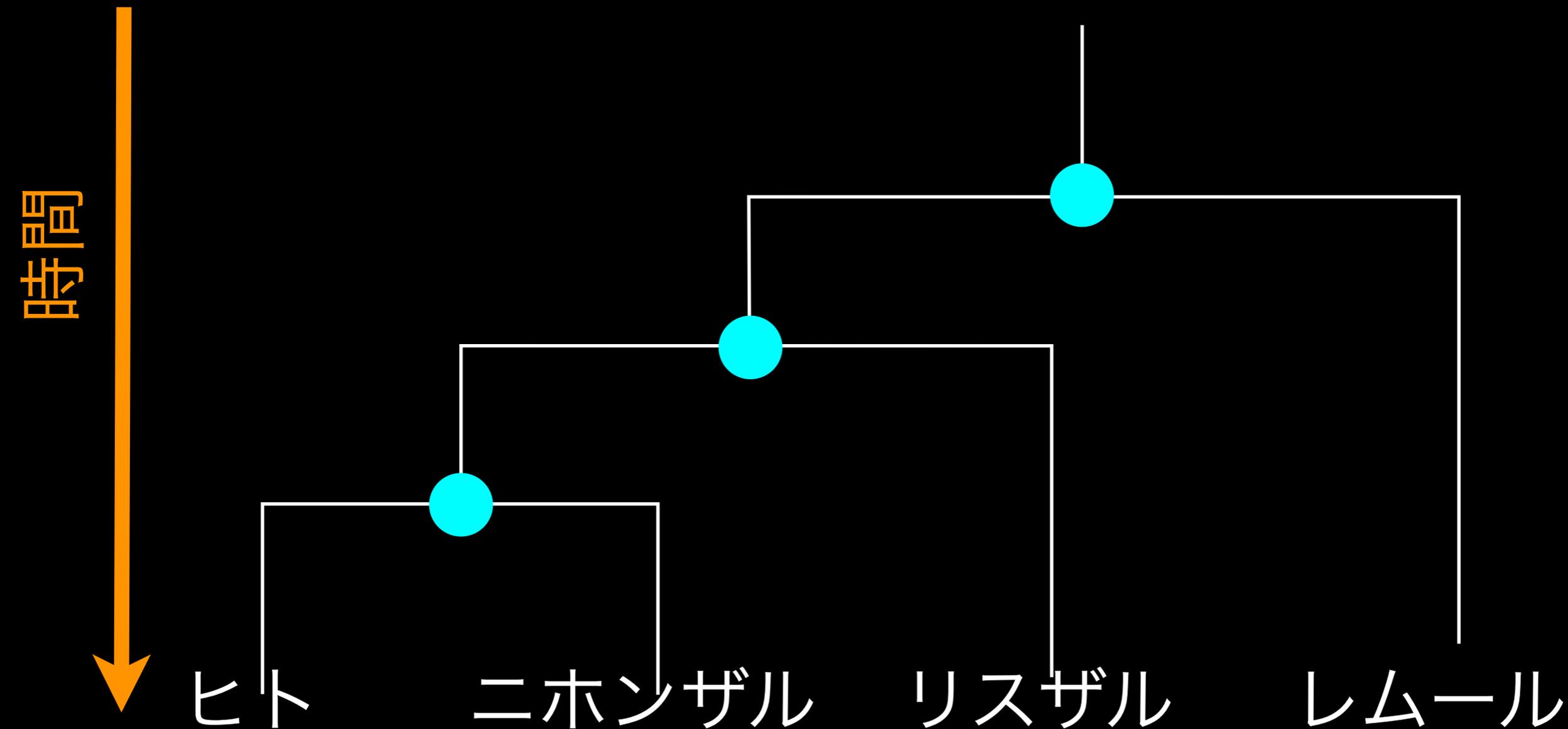


どうやって系統樹を
つくるか？

歴史の復元

- 化石証拠
 - 祖先形の形質が分かる
 - その生物が生きていた年代が分かる
 - 分岐年代が分かる

系統樹



化石証拠

- 全ての生物について化石が得られている訳ではない
- 全ての年代を網羅する形で化石は得られていない

ではどうするか？

- 現生生物の比較
 - 形態学的特徴（形質）の比較
 - 生理学的特徴（形質）の比較

形態学的特徴

- 体のかたち
 - 骨格
 - 器官

生理学的特徴

- 栄養源
 - 毒物代謝
- 生息環境
- ライフサイクル

脊椎動物の例

ほ乳類の特徴

- 陸上生活をする
- 胎生
- 恒温動物

鳥類の特徴

- 飛ぶ (陸上)
- 卵生
- 恒温動物

は虫類の特徴

- 陸上を生活する
- 卵生
- 変温動物

両生類の特徴

- 幼生の時は
水中生活
- 成体になると
陸上生活
- 卵生
- 変温動物

魚類の特徴

- 水中生活をする
- 卵生
- 変温動物

	生活	子供	体温	背骨
魚類	水中	卵生	変化する	ある
両生類	水中 陸上	卵生	変化する	ある
は虫類	陸上	卵生	変化する	ある
鳥類	空 (陸上)	卵生	一定	ある
ほ乳類	陸上	胎生	一定	ある

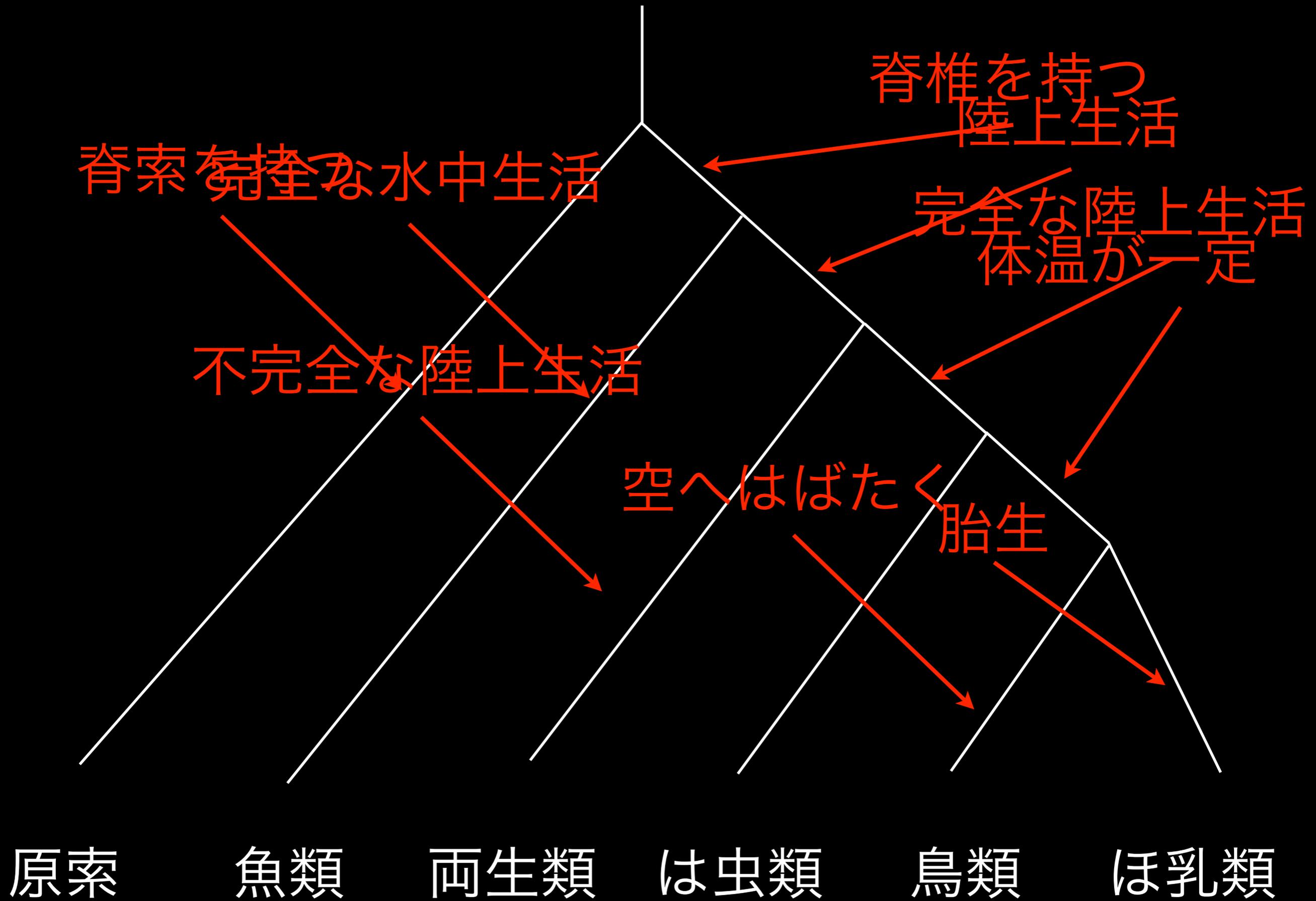
原索動物

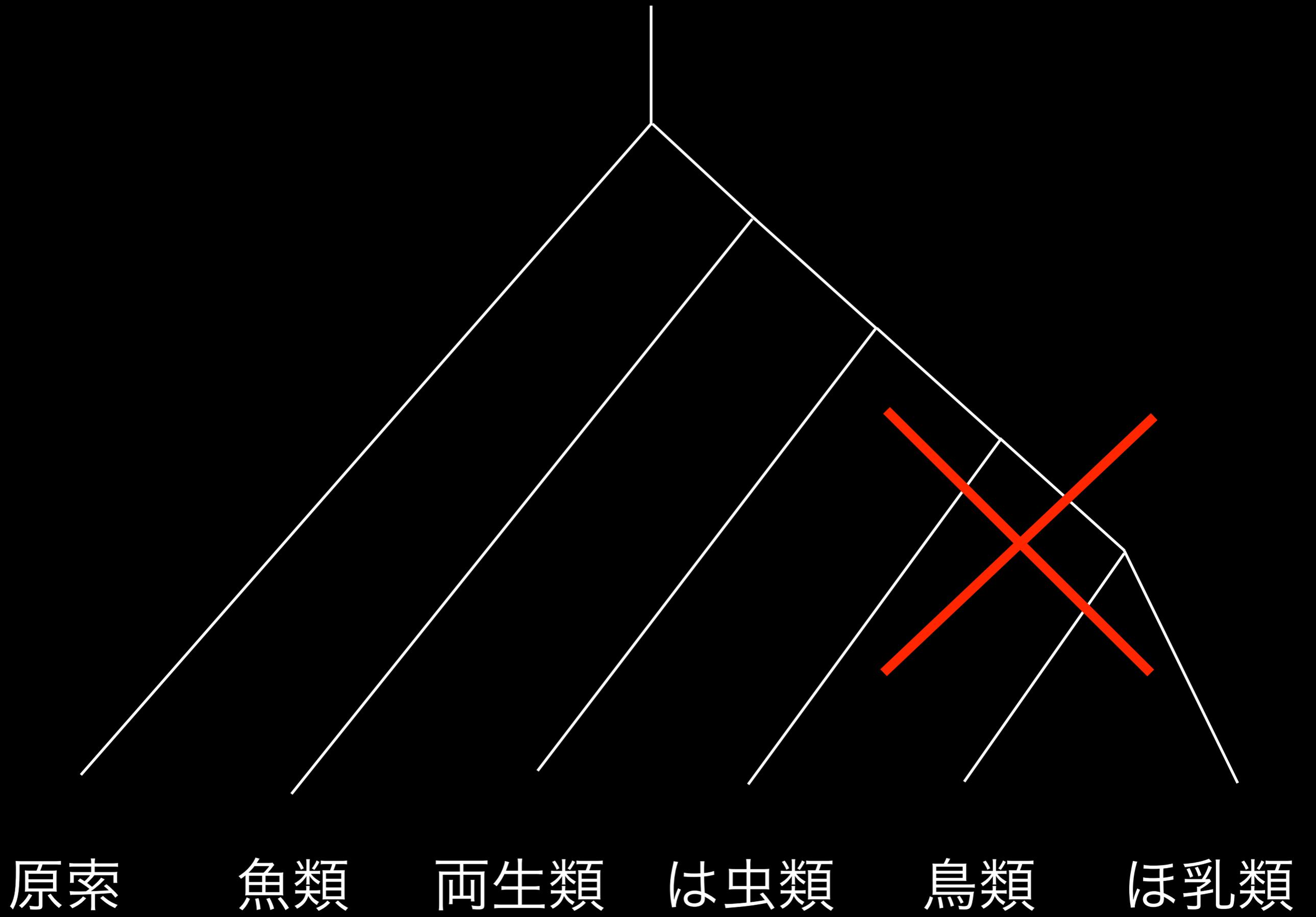
- 脊索 = 原始的な脊椎
 - 脊椎動物の祖先形
 - 水中に生活

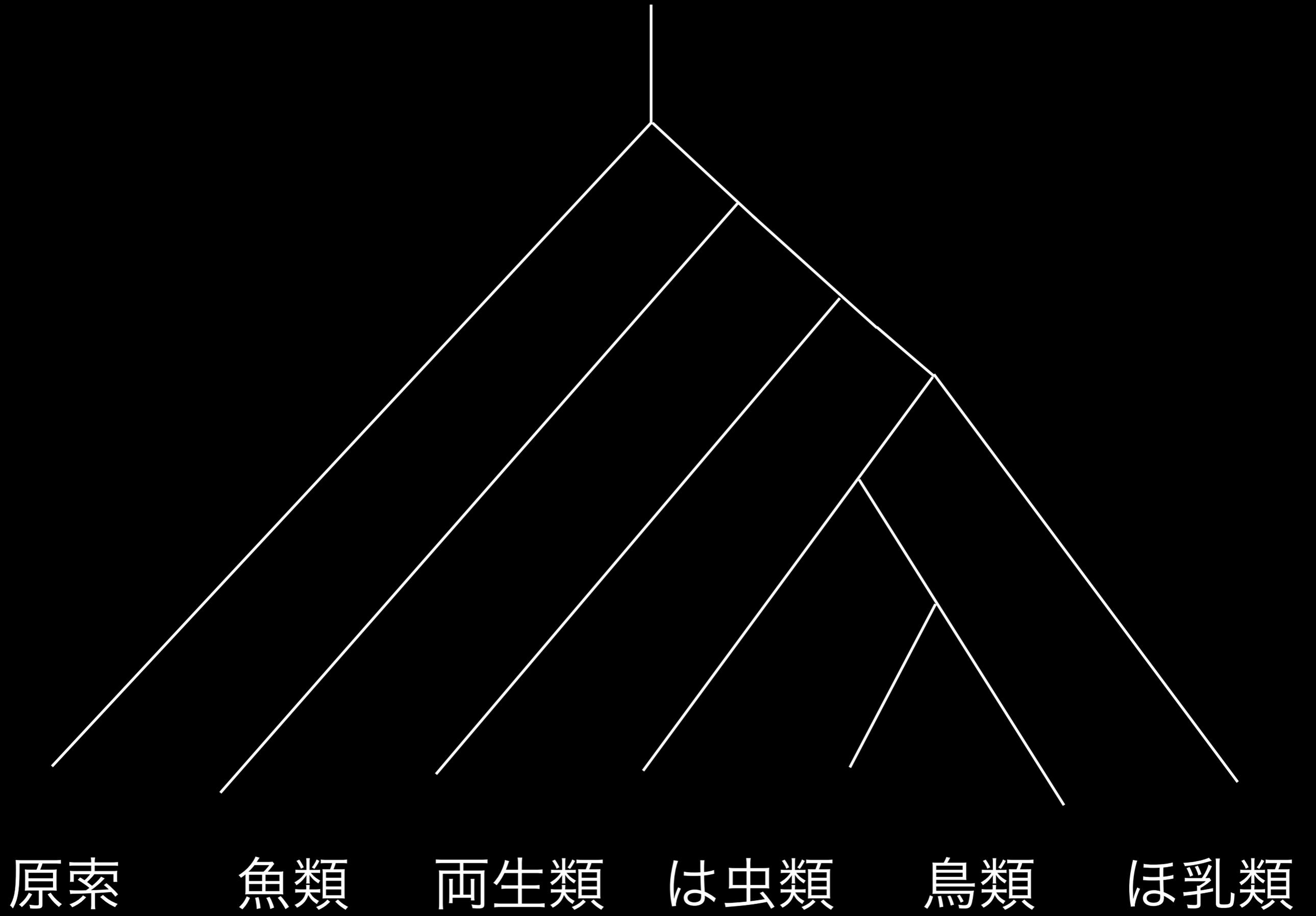
ナメクジウオ

特徴が似てる、似ていないで
グループ間の関係を考える。

特徴が似てる = 近い関係







何故間違えたか？

- 生理学的特徴の比較しか行っていない
 - 恒温性の獲得が1回起こったと仮定
- 形態学的特徴をする必要がある
 - 化石種や現生種の骨の形態

問題点

- 祖先形質がはっきりしないと分類が難しい
- 時間のスケールが分からない
- 特徴＝形質の進化は一定のペースで起きていない

比較する形質

- 共通祖先からどう受け継いだか、はっきり分かる形質を比べる必要がある
- まちがった推定をしてしまう

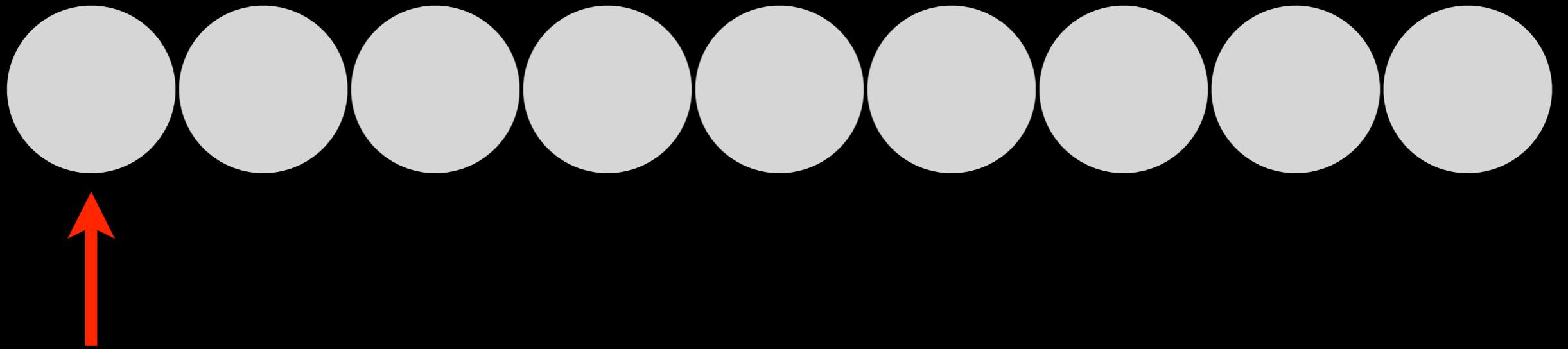
客観的に進化の歴史を
たどるための材料？

DNA

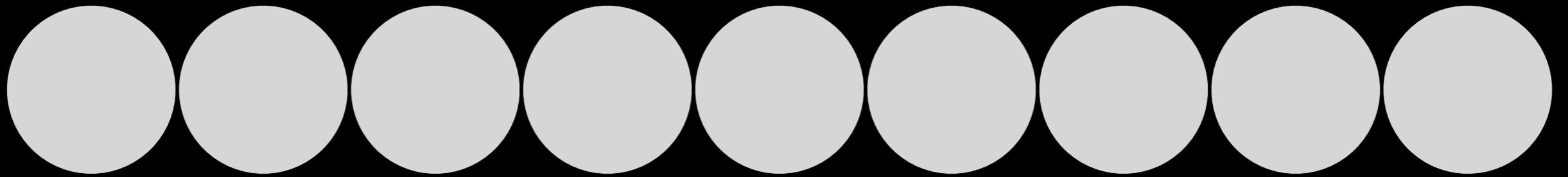
DNA

- デオキシリボ核酸
- 細胞の核の中
 - 染色体を構成する
 - 遺伝子の暗号

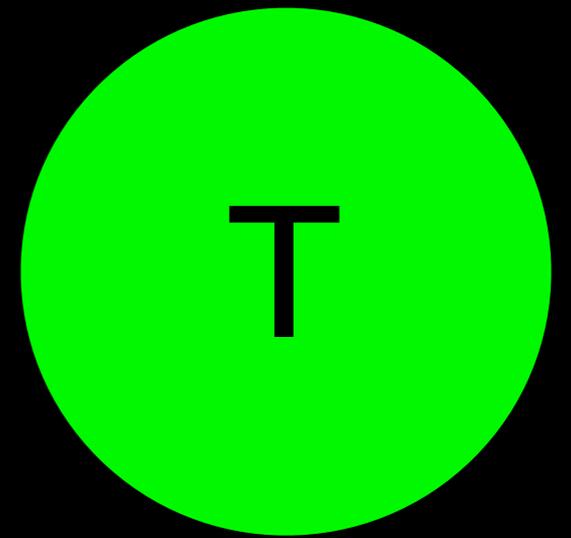
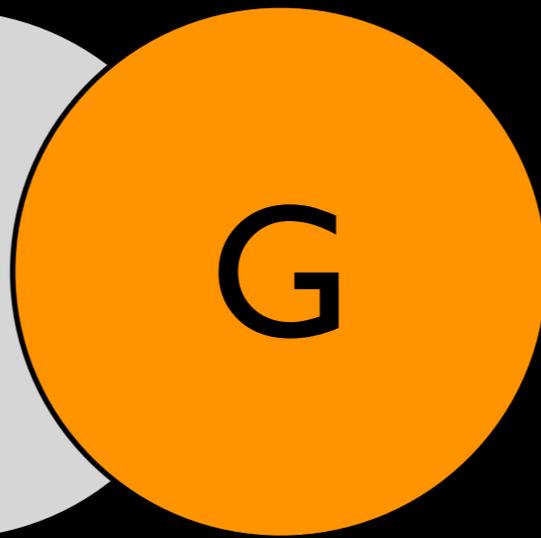
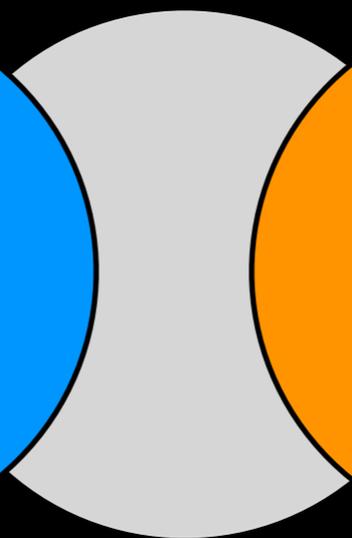
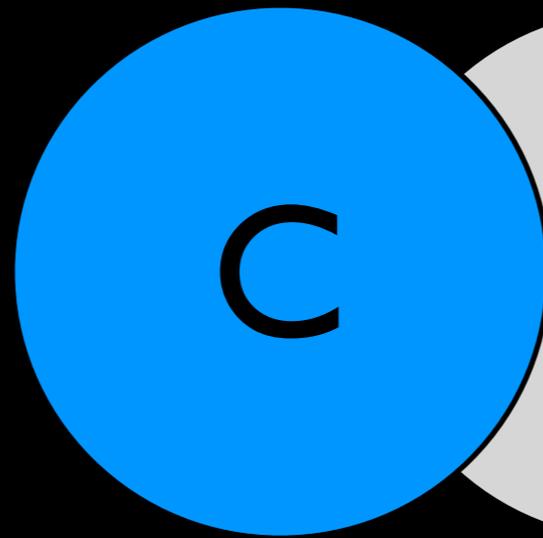
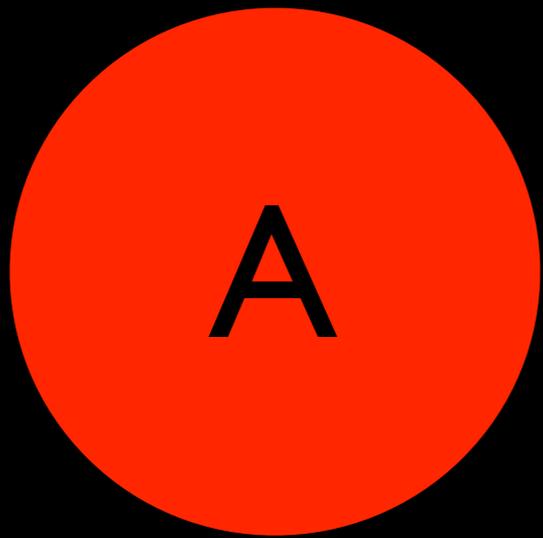
DNA



同じモノが数珠つなぎになった鎖（くさり）



ヌクレオチド



アデニン

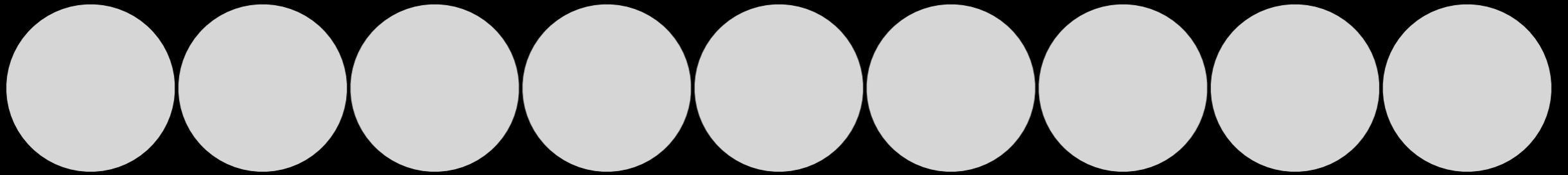
シトシン

グアニン

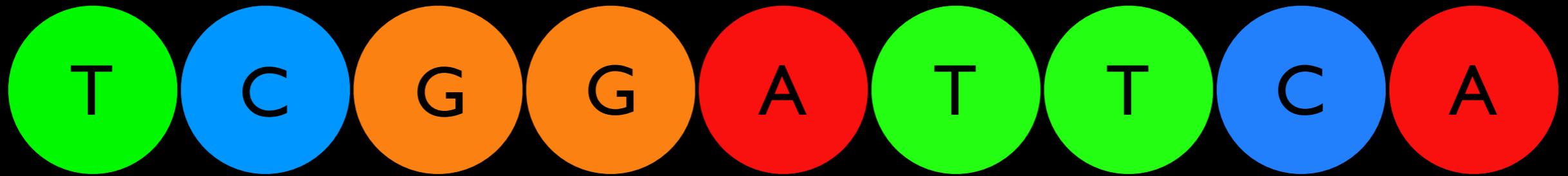
チミン

4種類の塩基

DNA



DNA



4種類の文字で書かれた暗号

DNA情報は文字列

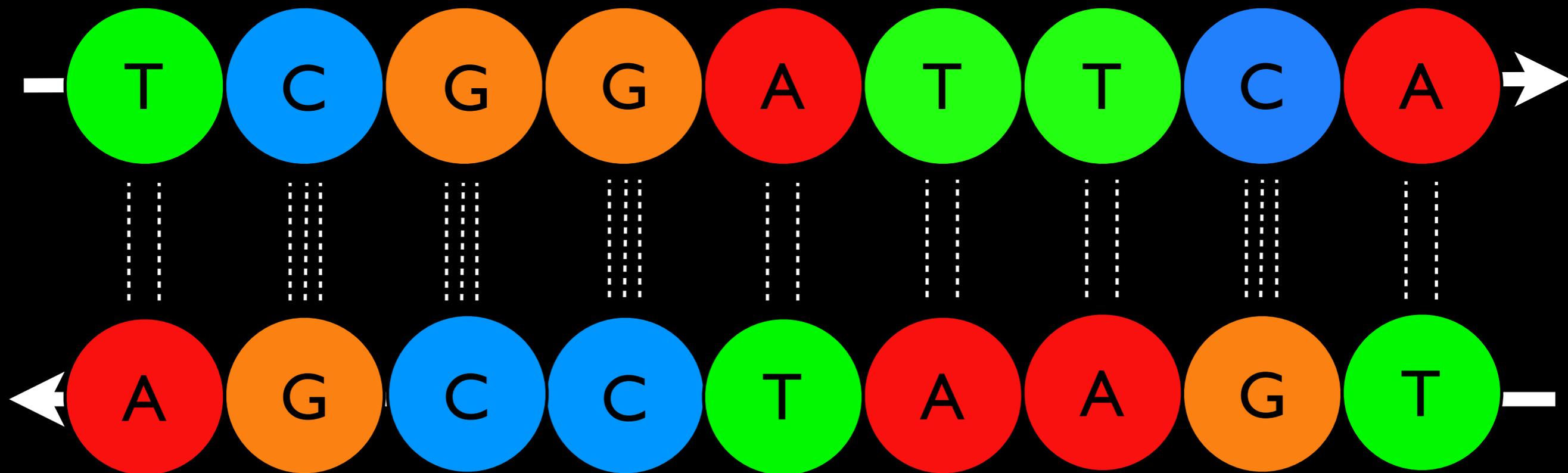
>gi|114575119|ref|NW_001229106.1|Ptr1_NGA1376_2 Pan troglodytes chromosome 1 genomic contig, reference assembly (based on Pan_troglodytes-2.1)

```
GAAGAGGCTCTCACTGCTGAATATAAATATACAGGGAAGTGAACAAACATTAGTAAACGAACATTTACT
AAGTGCAACGTGACTCAAACNACTGAGAAGCCAAGGGCTTTATTTCTTTGAAACAACCTGNCCAAGGCAGT
TTGAACAGTGATCATCTTGTCTCTGGGCTCAGCACDGCAGAGGCAGCTGGTGTCTTCCACCTGGGAGA
GTTGTCTGCTTTTTTTAAAGTTGGGATAGGCCAGTGAGTCGGGAAGTTTGTTCATCTTGGGCTTGGGGT
ACAGGAGGAGTTGGTGGGGTGCCTGTGGCCACTCCACTGCCCTCTGGGATTAGGAGGAGACAGTGGGGTC
AGGACTCACCCCGGCTGTGCTTCAGGTGATCCCTCTCCGCTCTGTGGATGTGGGGTGGGAGCAGGT
TGGGGTCCCGCCTATCCCATTTGGCTCTTCTTGGGAAGATGAATTTATGGGGCACCCTGCAGGTGGCCAC
GTGTGGGAAGGAACTCAGAACCTACATGGATCCATGCAAAATGAGGCTTCCCTCAGGCAGACACAGGAAC
TCTGAGCCCTCCCTGATGCTGCAGGCACCTGGGTTTGGGGACCGTCTTGGAGACAAATGCATGGAGCGTCC
CAGCAAGTTTCCCTGTCTCCAGCTCCTCCCGGGCTTCTGCATCTGGGAGTCAGGGCCGGATCAAGAGA
AGCCCTGCGGGGAGTGGGAAGGACATAGGATTTCTCAGGGTCTCAAGTTCAGCTTTTAAACATATCCCAA
AGGTGGGGTTTTTCCAGAGGCTCCTTTCCACAGATCCCATGTCTTCTTGGTGGACTCACGGGAACTT
GCCCTGCTAGAGACATGGGATATTTACTTTTCTCTGCCATGGAGCCATGCTGGAGAGCTGTGACTTCT
AGCTGACCACACACACATAAATCATGTAACACCATGAGGTCATTGTAGGGATGCCCACTGGGCTGGG
GTTCTCGATAGCACCCAGTTTCAAAAAGCCCTCCCTCCACTCACCTGGGGCTGGAGTCATTGGCCCTCT
CCTGTCTCATTGATCCAGCATTGGCCCTTCACTGGCCAGTGACTCAGACCCAGCAAGAAGGACAAAATG
ACTAGTTCACGTGCTTTAGGGGAAACACAGAGAGAATGAGAAGACCAGTGTCTGAAGTGGCAGGTTGTGA
ATTGACTCAGGGAGATGAGACTGGAGAGGTGCAGCCAGGGGCAAGGGTGACTCAGGGTCAATTGGCAGTT
TGGGGTTAGGGTTGTGAGGCCACTTGAAGCCTATTTCCACATCCCGAGGTGGCTGAGAGGACCGTGT
CCCTGGGGGGATAACCAGAGGGCAGGGACATGCATCAGAAGATTCTTGCACGTCCAGACAGGAGGTCT
GGTGTCCACTTGAGTGGCCATGGACAGCATGGGGACGCTCTGGAGGCAGAGTCAGCAGGACTTGCTCTTA
ATTTCTTCCGGGGTGGATGTGAAGCTTGTGTCTGGCAGAGGGAGTGGCTGGCACAGGAGAGGACTCTGC
CTTAGGGCTGAGTTATCCCTGTGGGCTCAACTGTTTTCTGATTAATGCTGTCTTTGAATGTCAAC
AAAAGTAGCCAACATTTATGGAGGGTTTTATTATGCCCATGCTTTGGACTCAGCATTTTTACCTGAAGAT
TGAGATTACCTTCTACACATTTGATGGAGAAAGAGACAGATTCAAGAGAGAGGGAGAAATTTCAAGG
CCAGACAGTCTGTAAGTGGTGGGACTGGAATGACGGAATGTCTGTTTGTCAACATCTTTGGCGGTGACAT
GATACTGTCCAGTCCCTGCAATCTGTCTGCTCATTTCATCTTTCAAATAAACTCCACAGTCAGAGGC
TTGTGCAAGAGTTGGGGTCCAGAGCATCAGGTCTAATGTTTGTATGTTTATATTCACTGCCAAATCTGT
TATTCAAAAGAAATTTTACTAGTGAATAGAAATACGTTGTCTGACAGCATTACCCCTGTGATATGGTT
TGGATCGAACCATTGCTCTCCAGCCCTGGCAACAGAGTGGAGTCCATCTCCAAAAAAGCAATTAATTA
TAACAACACGTCCATTCCTCCACAGTGTCTGGGACTGGACAATTAATTGTGAGGCCCTCTTCTGTAG
CACCATCCACTAGAGCATATACGTGGATTAATAAATACACACACAAAATGCAAGTATATATTCTTTTT
TCATTATTATTACTTTAAGTTTTAGGGTACATGTGCACGACGTGCAGGTTTGTACATATGTATACAT
GTGCCATGTTGGTGTGCTGCACCCATTAACTCATCATTAGCATTAGGTATATCTCCTATTGCTATCCCT
TCCCCCTCCCCCAACCCACAACAGTCCCCAGCGTGTGATGTTCCCTTCTGTGTCCATGTGTTCTTAT
TGTTCAAATCTCACCTACGAGTGGAAACACCTATGAGTTTCTTCTAGGGTTTTTATGGTTGAGGTCTA
ACATGTAAGTCTTTAATCCACCTTGAATTAATTTTTCTATAAGGTGTAAAGGAAGGGATCCAGTTTCAGCT
TTCTACTTATGGCTAGCCAGTTTCCACAGCACCATTATTAATAGGGAAATGTTTCCCATTTCTTGT
TTTGTGAGGTTTGTCAAAGATCAGATAGTTGTAGATATGCGGCATTATTTCTGAGGGCTCTGTTCTGTT
CGTTGGTCTATATCTCTGTTTTGGTACCAGTACCATGCTGTTTTGGTTACTGTAGCCTTGTAGTATAGTT
TGAAGTCAGGTAGCATGATGCCCTCCAGCTTTATTTCTTTGGCTTAGGATTGACTTGGCAATGTGGGCTCT
TTTTTGGTTCTATATGAACCTTAAAGTAGTTTTTCCAATCTGTGAAGAAAGTCAATTGGTAGCTTGATG
GGGATGCCATTGAATCTATAAATFACCTTGGGCAGCATGGCCATTTCCACCATTTGGTTCTTCCCTACCC
ATGAGCATGGAATATTCTTCCATTTGTTGTATCCCTCTTTATTTTCATTGAGCAGTGGTTTGTAGTCTC
CTTGAAGAGGTCCTTCCATCCCTTNTNANTGNATTCCTAGGGAGTTATAATGTTTGAAGCAATTGTG
AATGGGAGTTCACATGATTTGNNNNNNNNNTAGTGGTGTATAGAATGCTGTGATTTGCACATGATT
TTGTATCCTGAGACTTAGCTGAAGTTGCTTATCAGCTNAAGGAGATTTGGGCTGAGACGATGGGGTTTT
TAGATATAAATCATGTCATCTGCAAAACAGGGACAATTTGACTTCCCTTTTTCTAATTTGAATTCCTTT
ATTTCTTCTCTGCTGATTTGCCCTGGCCAGAACTTCCAACACTATGTTAAATAGGAGTGGTGGAGAG
GGCATCCCTGTCTGTGCCAGTTTTCAAGGGAAATGCTTCCAGTTTTTGTCCATTCAGTATGATATTGGC
TGTGGGTTTGTATAGATAGCTCTTATTTTGGAGATACGTCATCAATACTTAATTGATTTGAGAGTT
TTTAGCATGAAGGGTTGTGAATTTGTCAAAGGCCCTTTCTGCATCTATTGAGATAATCATGTGGTTTT
TGCTTTGGTTCTGTTTATATCTGGAATATGTTTATGATTTTCGATGTTGAACCAGCCCTTGCATCCC
AGGGATGAAGCCCACTTGATCATGGTGGATAAGCTTTTTGATGTGTTGCTGGATTTCAGTTTCCAGTATT
```

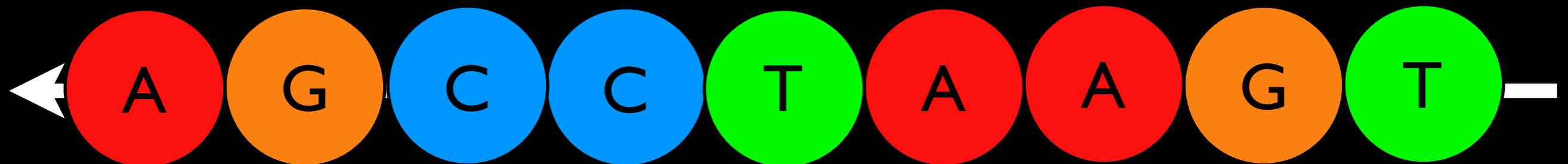
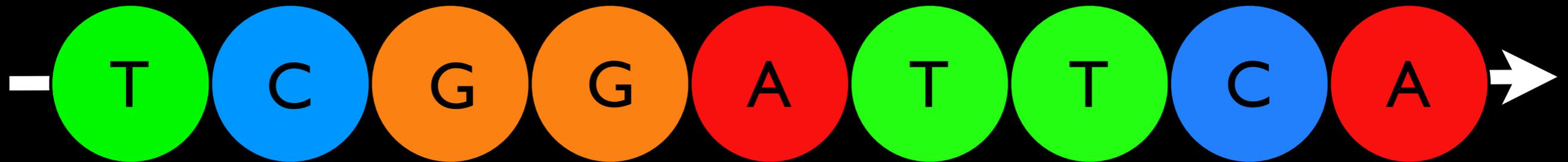
塩基配列

デジタル情報

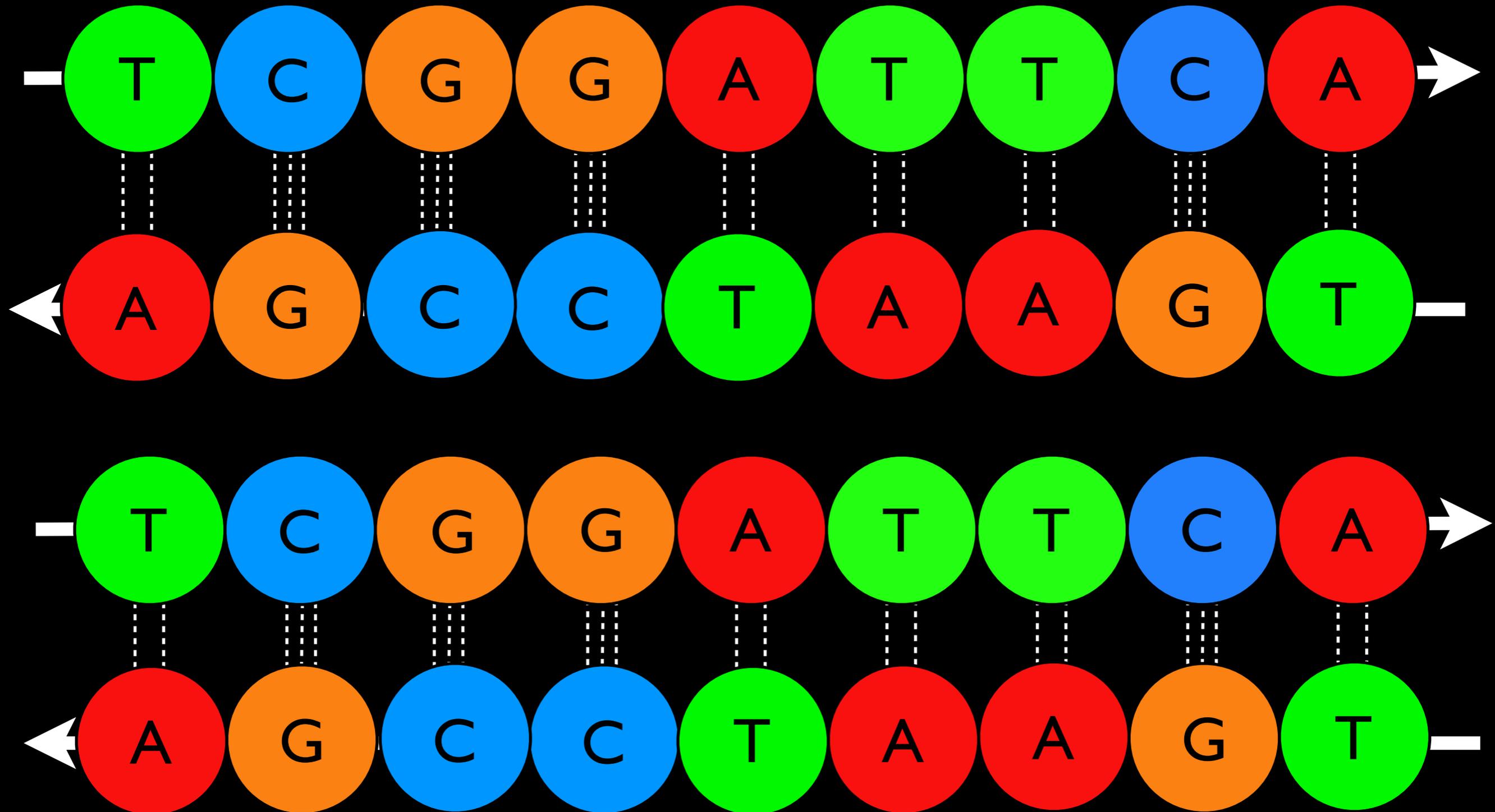
DNAは2重鎖



DNAの複製



DNAの複製



遺伝

- 細胞分裂、減数分裂を通じて染色体が子孫へ受け継がれる
- DNAも複製されて、子孫へ受け継がれる

DNA

- 親から子へ、祖先から子孫へ伝わる
- 遺伝情報=DNAの配列
- 必ず祖先につながっている

コピーは間違える (エラー)

T C G G A T T C A

↓ コピー

T C G G A T T C A

突然変異

(とつぜんへんい)

エラー

T C G G A T T G A

DNAレベルの進化

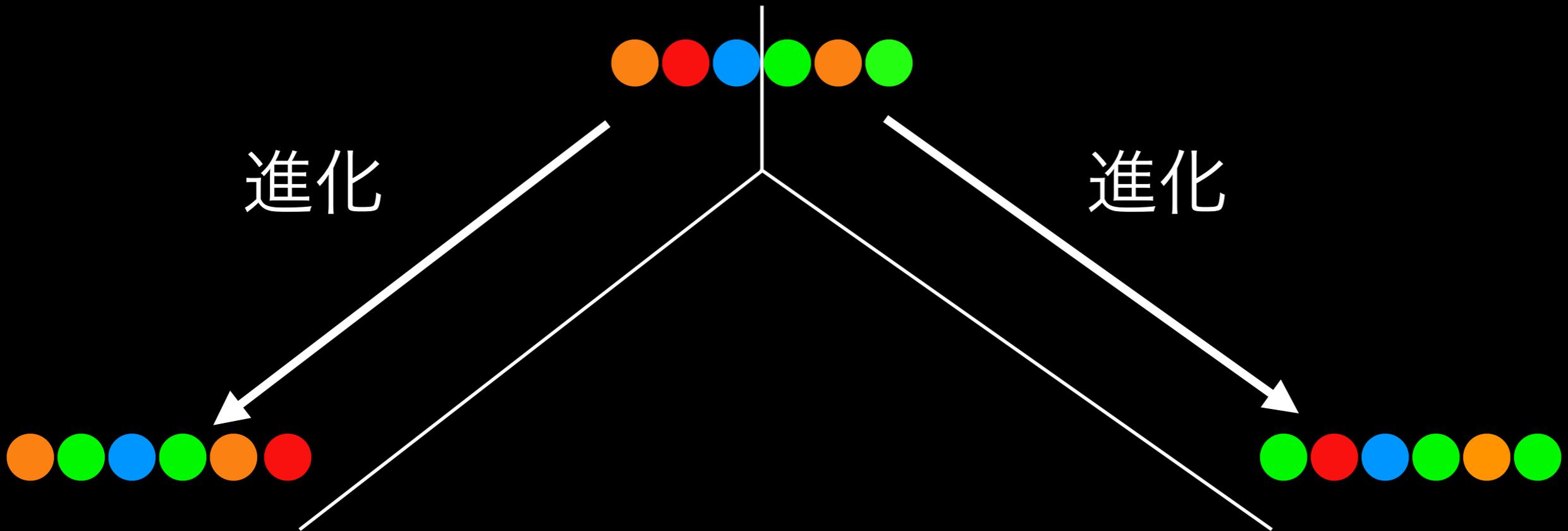
コピーが繰り返される



DNAの配列が変わる

メガゾストロドン

2億年前のほ乳類の祖先



ネコ

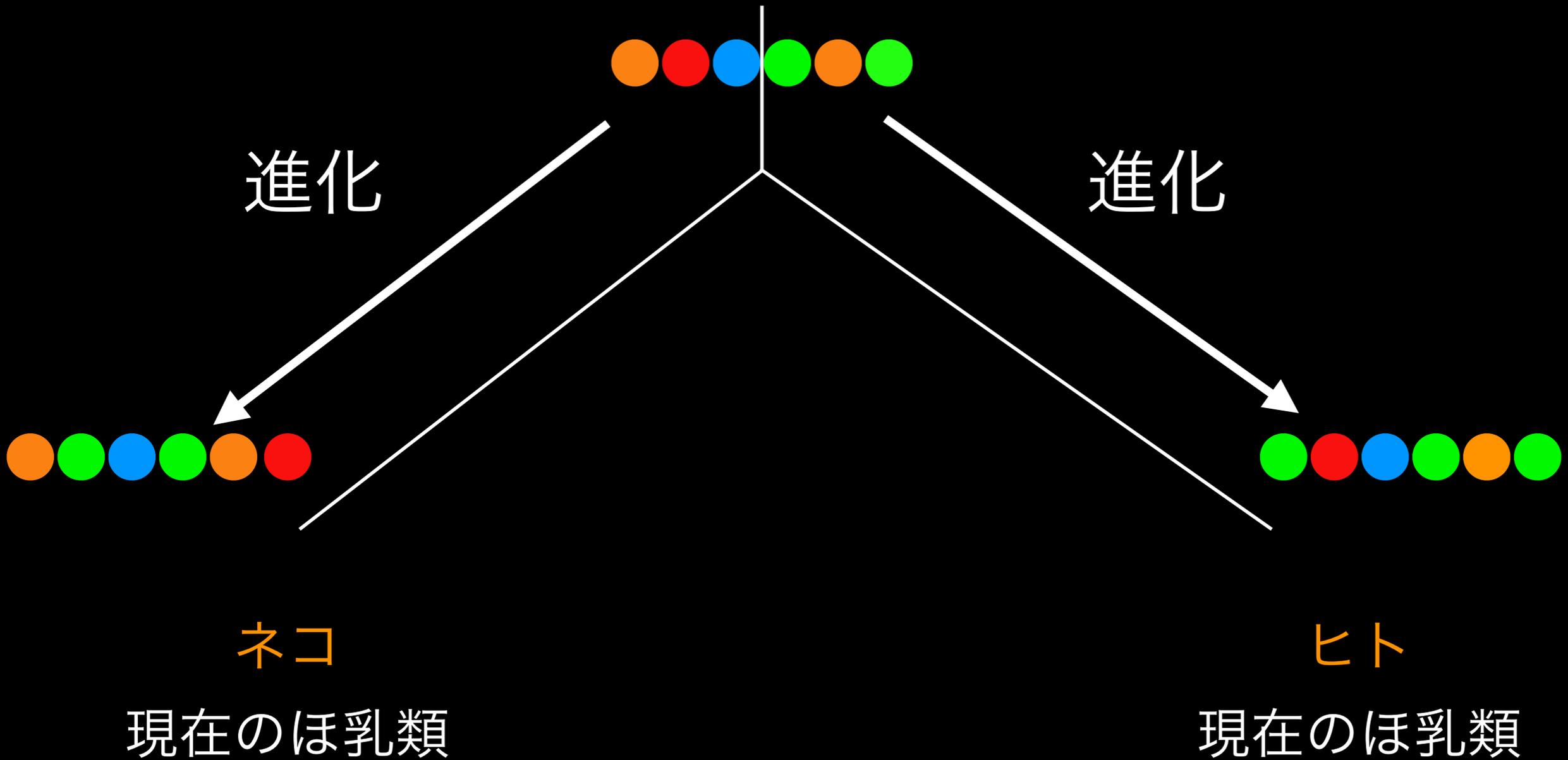
現在のほ乳類

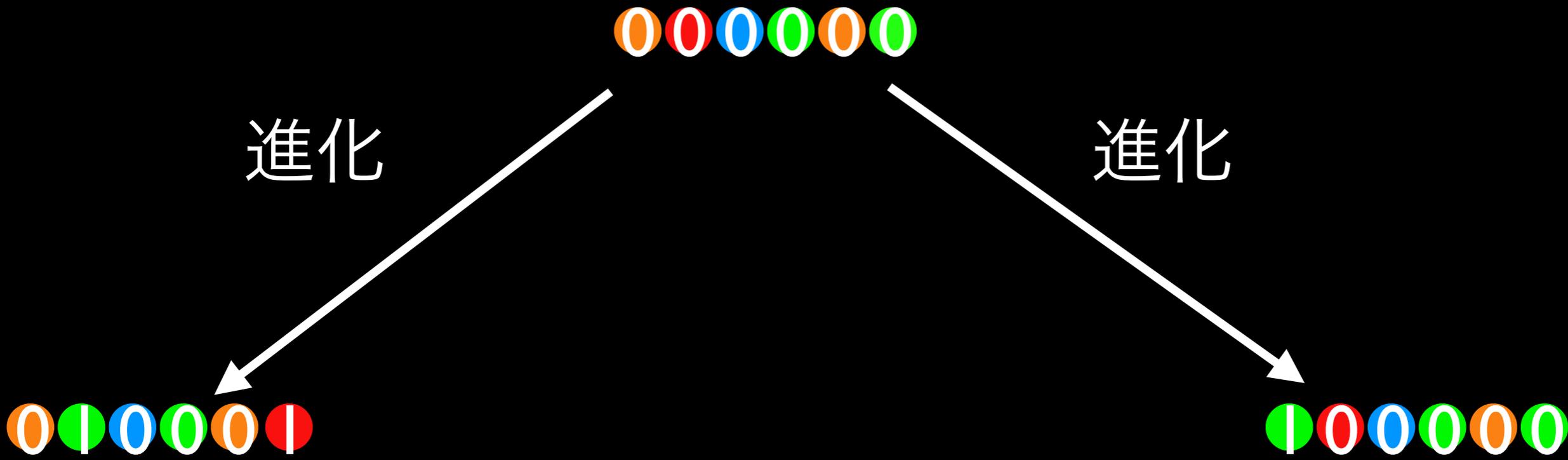
ヒト

現在のほ乳類

メガゾストロドン

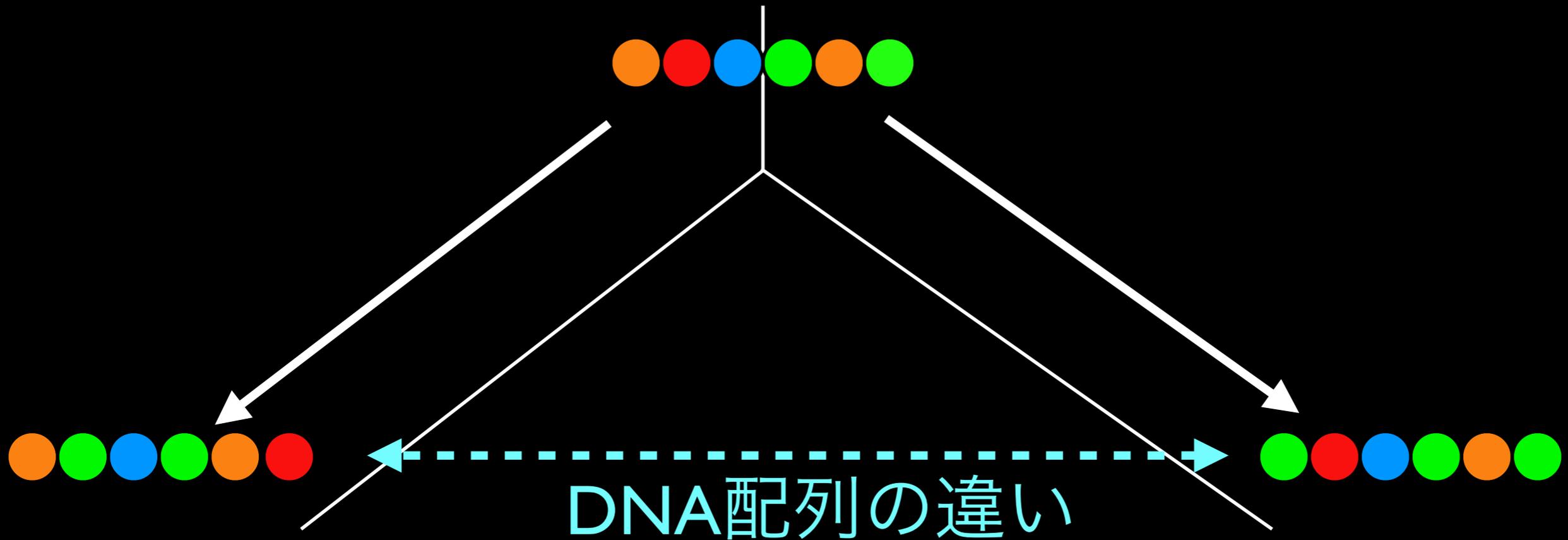
2億年前のほ乳類の祖先





メガゾストロドン

2億年前のほ乳類の祖先



ネコ

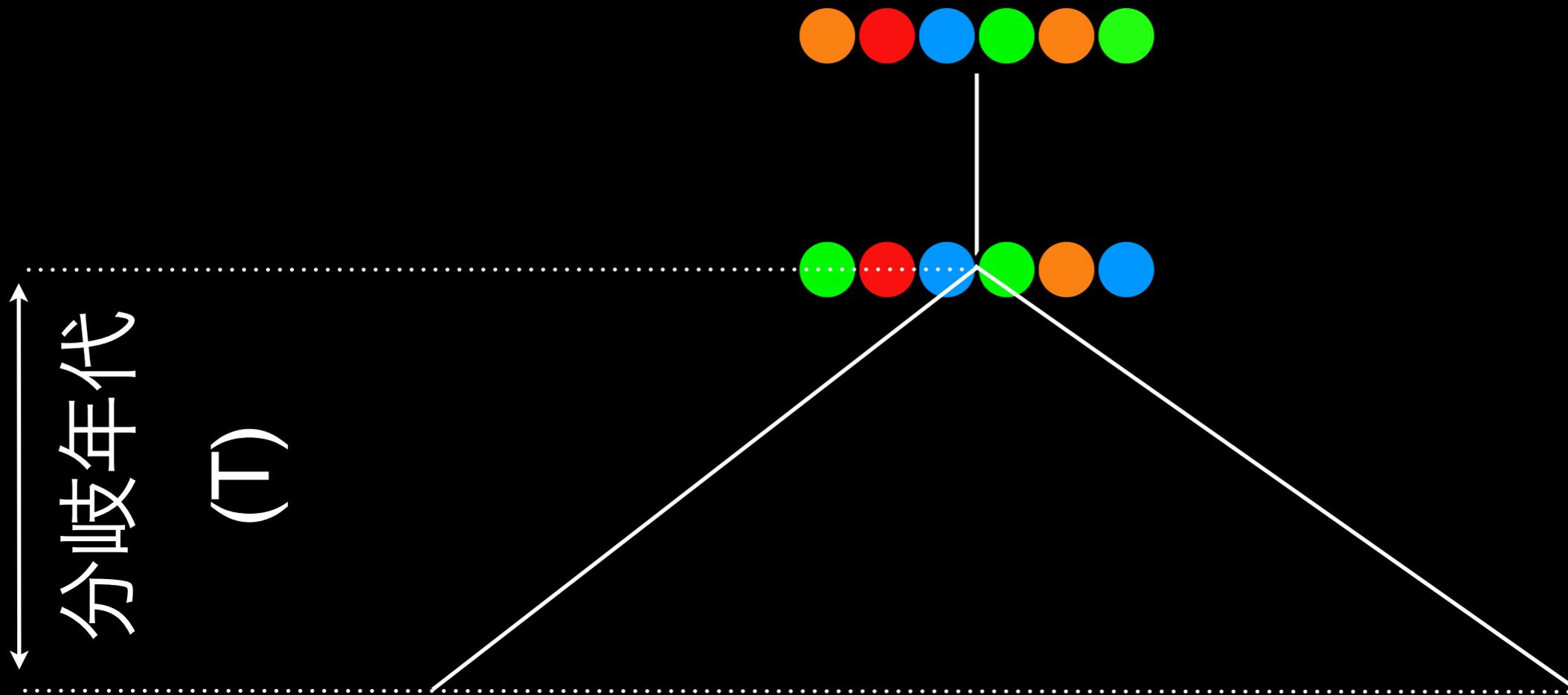
現在のほ乳類

ヒト

現在のほ乳類

突然変異

- 突然変異のおこるペースが一定なら
 - 突然変異率 (μ)
- 突然変異の数と時間が比例する

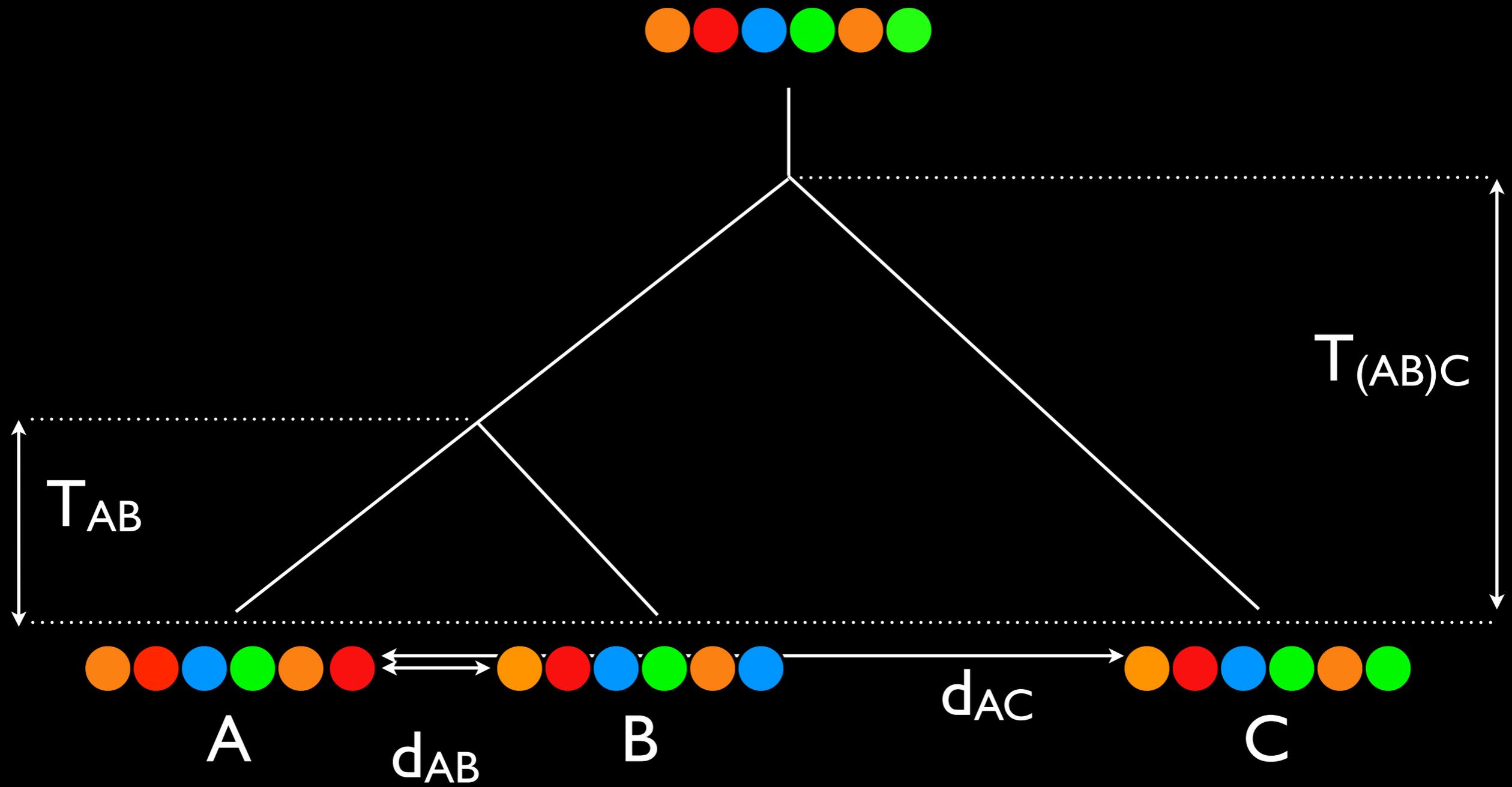


DNAの違い

||

遺伝距離 (d)

$$d = 2T\mu$$



AとBのDNAの違い < AとCのDNAの違い

AとBの方が近い関係

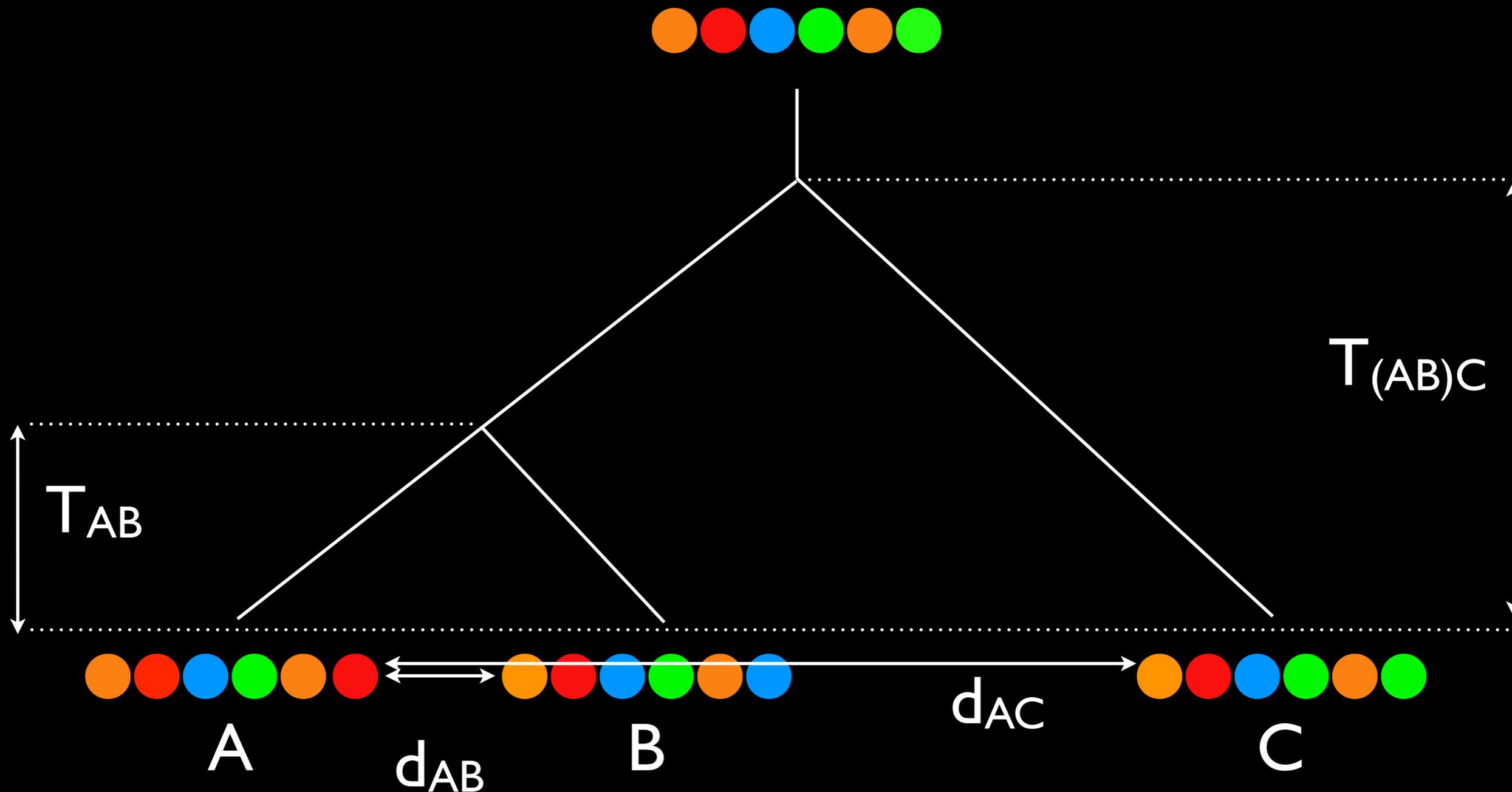
```
>gi|114575119|ref|NW_001229106.1|Ptr1_WGA1376_2 Pan troglodyti
GAAGAGGTCTCTCACTGCTGAATATAAATATACAGGGAAAGTAAAAACATTAGTAAAAACGA
AAGTGCAACGTGACTCAAACNACTGAGAAGCCAAGGGCTTTATTTCTTTGAAACAACAGNCI
TTGAACAGTGATCATCTTGTCTCCTGGGCTCAGCACCCGACAGAGGCAGCTGGTGTCTTCCAI
GTTGTCTCTTTTTTTTTAAGTTGGGATAGGCCAGTGAGTCGGGAAGTTTGTTCATCTTGGI
ACAGGAGGAGTTGGTGGGGTGCCTGTGGCCACTCCACTGCCCTCTGGGATTAGGAGGAGAC/
AGGACTCACCCCGGCCGTGCTTCCAGGTGATCCCTCTCCGTCTGTGGATGTGGGGTTGGI
TGGGGTCTCGCCTATCCCAATTGGCTCTTCTTGGGAAGATGAATTTATGGGGCADCAGCAI
GTGTGGGAAGGAATCTCAGAACTTACATGGATCCATGCAAAATGAGGCTTCCCTCAGGCAGAI
TCTGAGCCTCCCTGATGCTGCAGGCACCTGGGTTTGGGGACCGTCTTGGAGACAAATGCATI
CAGCAAGTTTCCCTGTCTCCAGCTCCTCCCGGGCTTCTGCATCTGGGAGTCAGGGCCGG/
AGCCCTGCGGGGAGTGGGAAGGACATAGGATTTCTCAGGGTCTCAAGTTCAGCTTTTAACTI
AGGTGGGGTTTTTCCAGAGGCCCTCCTTCCACAGATCCCATGTCTTCTTGTGGACTCACI
GCCCTGCTAGAGACATGGGATATTTTACTTTTCTCTGCCATGGAGCCATGCTGGAGAGCTG/
AGCTGACCACACACACATAAAATGTAAACACCATGAGGTCAATGTAGGGATGCCACTI
GTTCTCGATAGCACCCAGTTCATAAAAGCCTCCCTTCCACTCACCCTGGGGCTGGAGTCATI
CCTGTCTCATTGATCCAGCATTTGGCCTTCACTGGCCAGTGACTCAGACCCAGCAAGAAGI
ACTAGTTCACGTGCTTTAGGGGAAACACAGAGAGAAAGAGAAGACCAGTGTCTGAAGTGGC/
ATTGACTCAGGGAGATGAGACTGGAGAGGTGCAGCCAGGGGCAAGGGTACTCAGGGGTCA/
TGGGGTTAGGGTTGTGAGGCCACTTGAAGCCTATTTTCCACATCCCGAGGTGGCTGAGAGI
CCCTGGGGGGATAACCAGAGGGCAGGGACATGCATCAGAAGATTCTTGCAGTGTCCAGACAI
GGTGTCCACTTGAGTGGCCATGGACAGCATGGGGACGCTCTGGAGGCAGAGTCAGCAGGAC/
ATTCTTCTGGGGTGGATGTGAAGCTTGTGCTCTGGCAGAGGGAGTGGCTGGCACAGGAGAI
CTTAGGGCTGAGTTATCCCTGTGGCCTCAACTGTTTTCTGATTATGCCTGTTGTCTTTG/
AAAAGTAGCCAACATTTATGGAGGGTTTATTATGCCCATGCTTTGGACTCAGCATTTTTAI
TGAGATTATCCTTCTACACATTTGATGGAGAAAGAGACAGATTCAAAGAGAGAGGGAGAAA/
CCAGACAGTCTGAAGTGGTGGGACTGGAAATGACGGAATGTCTGTTTGTCAACATCTTTGGI
GATACTGTCCAGTCCCTGCAATCTGCTGCTCATTTCATCCTTTCAAATAAAACTCCACAI
TTGTGCAAGAGTTGGGGTCCAGAGCATCAGGTCTAAATGTGCTATGTTATATTTCACTGCI
TATTCAAAAGAAATTTACTAGTGAATAGAAATACGTTGTCTGACAGCATTACCCCTGTI
TGGATCGAACCATTTGCTCTCCAGCCTGGCAACAGAGTGAGACTCCATCTCCAAAAAAGC/
TAACAACACGTCCATTCACTCTCCACAGTGTCTGGGACTGGACAAATTAATTGTCAGGCCCTI
CACCATCCACTAGAGCATATACGTGGATTAATAATAATACACACACAAAATGCAAGTATAT/
TCATTATTATTAATTTAAGTTTTAGGGTACATGTGCAGCAGTGCAGGTTTGTACATA/
GTGCCATGTTGGTGTGCTGCACCCATTAACATCATTTAGCATTAGGTATATCTCCTATTI
TCCCTCTCCCTCCACCCACAACAGTCCCGAGCGTGTGATGTTCCCTTGTGTGTCCATG/
TGTTCAATTTCACTACGAGTGAGAACACCTATGAGTTTTCTTCTAGGGTTTTATGGTT/
ACATGTAAGTCTTAAATCCACCTTGAATTAATTTTCTATAAGGTGTAAGGAAGGGATCCAI
TTCTACTTATGGCTAGCCAGTTTTCCAGCACCATTTATTAATAGGGAATTGTTTCCCA/
TTTGTGAGGTTTGTCAAAGATCAGATAGTTGTAGATATGCGGCATTATTTCTGAGGGCTCTI
CGTTGGTCTATATCTCTGTTTTGGTACCAGTACCATGCTGTTTTGGTACTGTAGCCTGT/
```

```
>01
GATCACAGGTCTATCACCTATTAACCCTCACGGGAGCTCTCCATGCATTTGGTATTTTCGTCTGGG
CACAGACATCATAACAAAAAATTTCCACCAAAACCCCGCTCCCGCTTCTGGCCACAGCACTTAA
TACCCCGAACCACCAAAACCCCAAGACACCCCAACAGTTTATGTAGCTTACCTCTCAAAGCAATA
GGGAAACAGCAGTGATTAGCCTTTAGCAATAAACGAAAGTTTAACTAAGCTATACTAACCCCAAGGTT
GATACCCACTATGCTTAGCCTAAACCTCAACAGTTAAATCAACAAAAGCTCTGCCAGAACACTAC
TGGCAAGAAATGGGCTACATTTTCTACCCAGAAAACADGATAGCCCTTATGAACTTAAGGGTGA
CAAAGCACCCCACTTACACTTAGGAGATTTCAACTTAACTTGACCGCTCTGAGCTAAACCTAGCCCA
CCAAAGCTAAGACCCCGAAACAGACAGCTACCTAAGAACAGCTAAAAGAGCACACCCGCTATGT
TAACACCCATAGTAGGCTTAAAGCAGCCACCAATTAAGAAAGCGTTCAGCTCAACACCCACTACCT
AACACAGGCATGCTCATAAGGAAAGTTAAAAAAGTAAAGGAACTCGGCAAACTTACCCCGCCTG
CGGGCATGACACAGCAAGACGAGAAGACCCCTATGGAGCTTTAATTTATTAATGCAACAGTACCTAAC
ACAATAGGGTTTACGACCTCGATGTTGGATCAGGACATCCCGATGGTGCAGCCGCTATTAAGGTTGG
CAGAGCCCGGTAATCGCATAAAACTTAAACTTTACAGTCAGAGGTTCAATTCCTCTTCTTAAACAACA
CACCTCTACATCACCCCGCCGACCTTAGCTCTCACCGTGGCTTCTACTATGAACCCCTCCCA
CTCCTTTAACCTCTCCACCTTATCACACAAGAACACCTCTGATTACTCTGCCATCATGACCT
CGCACTCTCCCTGAACTCTACACAACATATTTGTACCAAGACCCCTACTTCTAACCTCCCTGTTCT
CCCTTATTTCTAGGACTATGAGAATCGAACCCATCCCTGAGAATCCAAAATTCCTCGTCCACCTATC
ATTCCAGTCTAACCAAAAAAATAAACCTCGTTCCACAGAACTGCCATCAAGTATTTCTCAGGCA
CTCATGACAAAAACTAGCCCCATCTCAATCATATACCAATCTCTCCCTCACTAACGTAAGCCT
TTAAACTCCAGCACCCGACCTACTACTATCTCCGACCTGAAACAAGTAACATGACTAACCCCTT
GTAAAAATAAATGACAGTTTGAACATACAAAACCCACCCCATTCCTCCACACTCATCGCCCTTAC
ACTTAAACCCACAACACTTAGTTAACAGTAAGCACCCATACTAAGCTTCAATCTACTTCTCC
AAAGACATTGGAACACTATACCTATTATTCGGCCATGAGCTGGAGTCTTAGGCACAGCTCTAAGCCT
TGACTCTTACTCCCTCTCTCTACTCTCTGCTGCTGCTATAGTGGAGCCGAGCAGGAACAGG
GTCTACTTCTCTATCTCTCCAGTCTAGCTGCTGGCATCACTATACTACTAACAGACCCCAACCT
CTAGGGTTATCGTGTGAGCACACCATATATTTACAGTAGGAATAGACGTAGACACAGGACATATT
GTTGTAGTCACTTCCACTATGTCCTATCAATAGGAGCTGATTTGCCATCATAGGAGGCTTCATTCA
ACAGCAGTAATATAATAATTTTATGATTTGAGAAGCCTTCGCTTCGAAGCGAAAAGTCTAATAGT
TTATAGGCTAAATCTATATATCTTAATGGCACATGCAGCGCAAGTAGGCTACAAGACGCTACTTCC
GCATCCTTTACATAACAGACGAGGTCAACGATCCCTCCCTTACCATCAAAATCAATTGGCCACCAATGG
CAGATGCAATTCGGGACGCTTAAACCAAAACCACTTTCACCGCTACACGACCGGGGTATACTACGGT
ATACTACCGTATGGCCACCATAATTACCCCATACTCCTTACACTATTCTCATCACCACCACTAAAA
ACTAATCACCCACCAACAATGACTAATCAAACTAACCTCAAAAACAATGATAACCATACACAACACTA
AGGCACACCTACACCCCTTATCCCATACTAGTTATTATGAAAACCATCAGCCTACTCATTCAACCA
CCTGCAGGACAACACATAATGACCCACCAATCACATGCTATCATATAGTAAAACCCAGCCATGACC
CTATTTATTACCTCAGAAGTTTTTTCTTCCAGGATTTTTCTGAGCCTTTTACCCTCCAGCCTAGC
CTCTACAAGCCTCAGAGTACTTGGAGTCTCCCTTCAACATTTCCGACGGCATCTACGGCTCAACATT
AGTATAAATAGTACCCTTAACTTCAATTAAGTATTTGACAACATTCAAAAAGAGTAATAAACTT
CTCCTTTTACCCCTACCATGAGCCCTACAAAACACTAACCTGCCACTAATAGTTATGTATCCCTCTT
TCACACCTCATATCTCCCTACTATGCCTAGAAGGAATAACTATCGCTGTTTATTATAGCTACTCT
TTTCCAAAAACACATAATTTGAATCAACAACACCCACAGCCTAATTAATAGCATCATCCCTCTA
TTATAACATTCACAGCCACAGAACTAATCATATTTTATATCTTCTCGAAACACACTTATCCCAAC
```



違いの数をカウント

カウントが少ないほど近い関係



$$T_{AB} = 100\text{万年}$$

$$d_{AC} = 2 \times d_{AB}$$

$$T_{(AB)C} = T_{AB} \times 2 = 200\text{万年}$$

分子時計

- 突然変異のペースが一定なら
 - 分岐年代と遺伝距離が比例する
 - 分岐年代の推定が可能になる

DNAの情報で解決した例

- ヒトと類人猿の系統関係
- ヒトとその最も近縁な種に分岐年代

アカゲザル

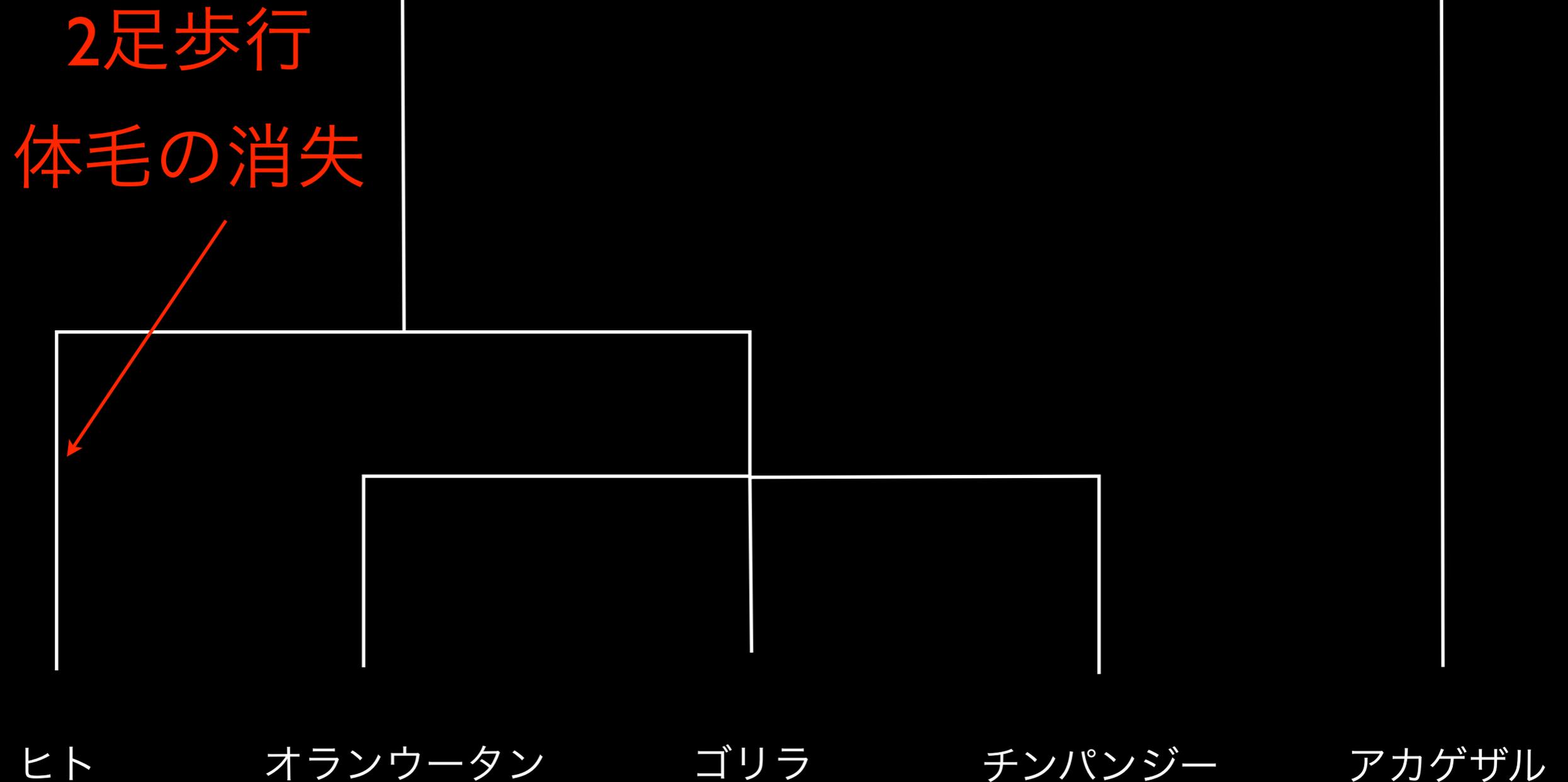
ヒト

チンパンジー

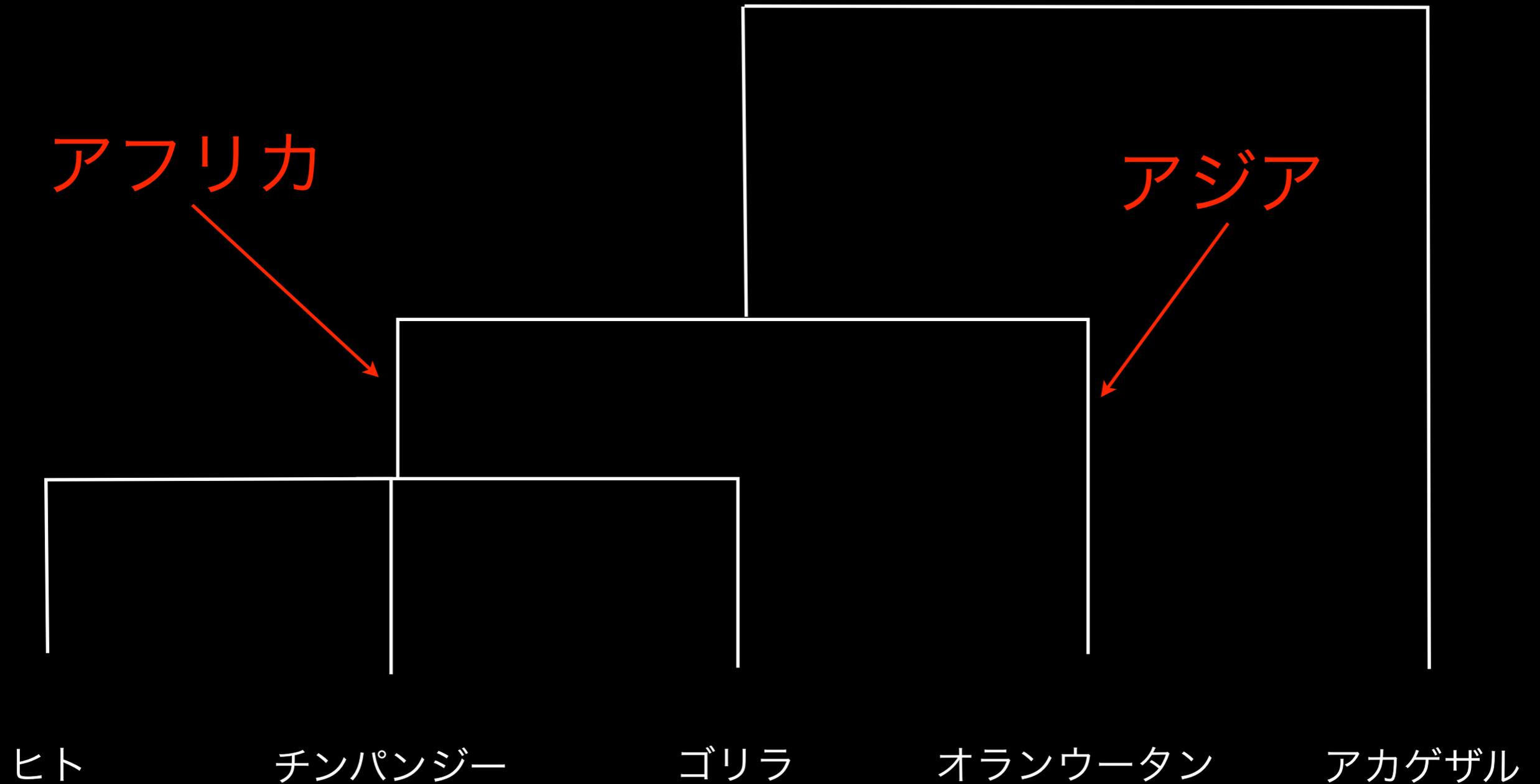
ゴリラ

オランウータン

ヒトの特殊性を考えると



生息地域を考えると



DNAを使う

- Li, Wolfe, Sourdis and Sharp (1987)
 - 合計5300bpの塩基配列
 - 5つの種について、総当たりで

	ヒト	チンプ	ゴリラ	オラン	アカゲ
ヒト					
チンプ	1.45				
ゴリラ	1.51	1.57			
オラン	2.98	2.94	3.04		
アカゲ	7.51	7.55	7.39	7.10	

ヒト チンプ ゴリラ アカゲ

チンプ 1.45

ゴリラ 1.51 1.57

オラン 2.98 2.94 3.04

アカゲ 7.51 7.55 7.39 7.10

3.69

1.49

0.73

0.77

ヒト

チンパンジー

ゴリラ

オランウータン

アカゲザル

系統樹の
枝長

年代
(万年前)

ヒト	アカゲ	3.69	2940	2940
ヒト	オラン	1.49		1187
ヒト	ゴリラ	0.77		613
ヒト	チンプ	0.73		580

	系統樹の 枝長	年代 (万年前)	Hasegawa et al. (1987)
ヒト アカゲ	3.69	2940	2530
ヒト オラン	1.49	1187	1190
ヒト ゴリラ	0.77	613	590
ヒト チンプ	0.73	580	490

広鼻猿類と狭鼻猿類の分岐を3800万年前として

分かった事

- ヒトに一番近いのはチンパンジー
- ヒト-チンパンジーの分岐年代は
500万年くらい

DNAを使った系統推定の利点

- 生物同士の関係を数字の大小で比較できる
 - DNAの情報はただの文字列
- 分子時計を使って年代の推定ができる
- 共通祖先から派生している
 - DNAのシステムは基本的に全ての生物が一緒
 - 形態の比較ができない種間の比較ができる

DNAの弱点

- 分子時計の仮定ができないときがある
- 相対的な年代の推定しかできない
 - 絶対年代が必要
 - どの時点を基準とするかが問題

まとめ

- 生物の進化の歴史を考える
 - 祖先形質の仮定で系統樹も変わる
 - 化石証拠も含めた複数の証拠をもって議論しなければいけない

まとめ

- DNAを使うと客観的に進化の歴史をたどる事が可能
- 分子時計を使って年代推定も！