



異なる生物の対応する器官の違いを調べる



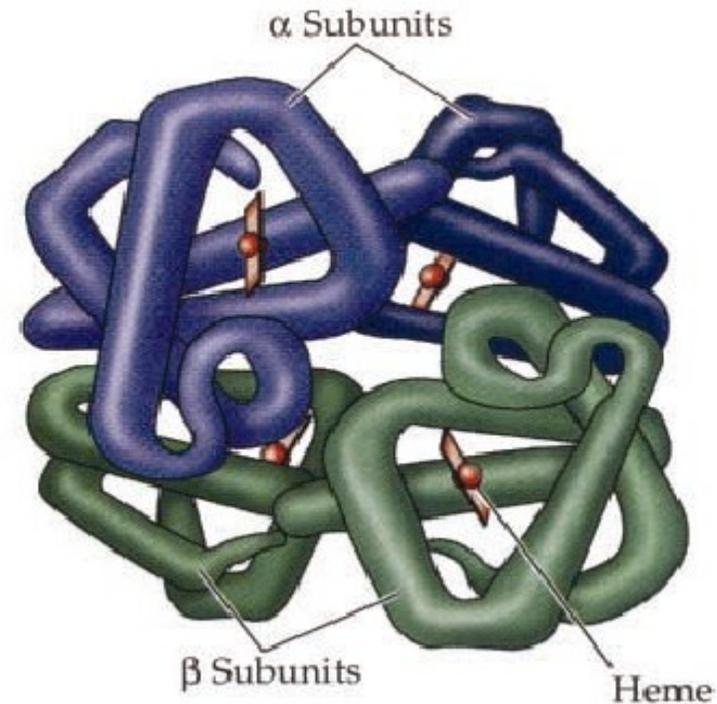
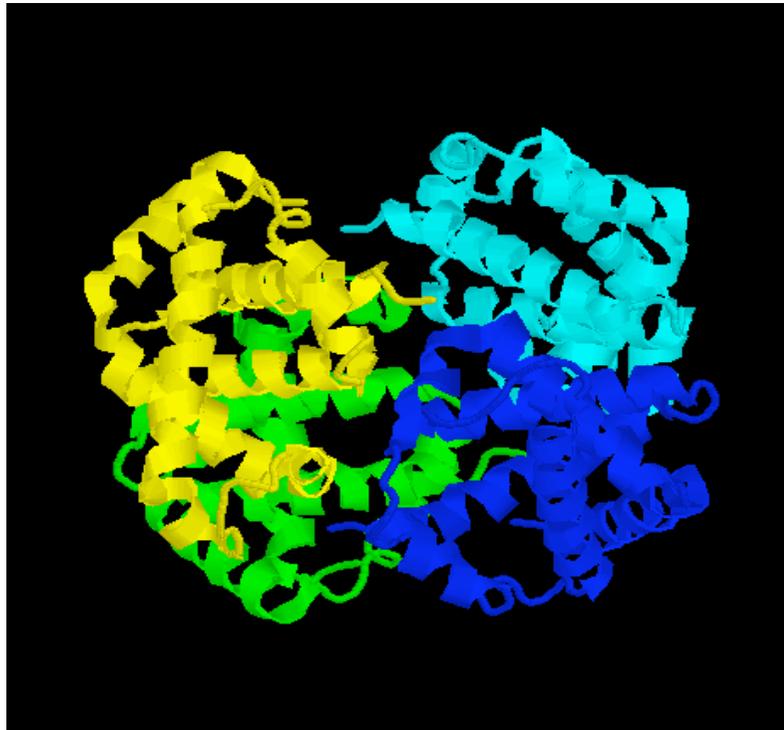
フグ 魚	ベニヒメジ 魚	カエル 両生	ヒト 哺乳
イグアナ 爬虫	アフリカゾウ 哺乳	オオハシ 鳥	シベリアトラ 哺乳
ウツボ 魚	アマガエル 両生	ニワトリ 鳥	ハリセンボン 魚
トラフサギ 鳥	カメレオン 爬虫	ミシシッピワニ	イヌ 哺乳

異なる生物の対応する遺伝子(オーソログ)の違いを調べる

ヒトのヘモグロビン α 鎖のアミノ酸配列

VLSPADKTNVKAAWGKVGGAHAGEYGAEALERMFLSFPTTKTYFPHFDLSHGSAQ
VKGHGKKVADALTNAVAHVDDMPNALSALSSDLHAHKLRVDPVNFKLLSHCLLVT
LAAHLPAEFTPAVHASLDKFLASVSTVLTISKYR

ヒトのヘモグロビンの立体構造



CLUSTAL W (1.82) multiple sequence alignment

```

マグロ  TTLSDKDKSTVKALWGKISKSAIDAIGADALGRMLAVYPQTKTYFSHW-PDMSPGSGPVKA
ハト      -VLSANDKSNVKAVFAKIGGQAGDLGGEALERLFITYPQTKTYFPHF--DLSHGSAQIKG
クジラ   -VLSPADKTNVKAAWAKVGNHAADFGAEALERMFMSFPSTKTYFSHF--DLGHNSTQVKG
ヒト     -VLSPADKTNVKAAWGKVGAHAGEYGAEALERMFLSFPTTKTYFPHF--DLSHGSAQVKG
サル     -VLSPADKSNVKAAWGKVGGHAGEYGAEALERMFLSFPTTKTYFPHF--DLSHGSAQVKG
          :. . : . * . : ** :
```

```

マグロ  HGKKVMGGVALAVTKIDDLTTGLGDLSELHAFKMRVDPNSFKILSHCILVVVAKMFP-KE
ハト    HGKKVAEALVEAANHIDDIAGALSKLSDLHAQKLRVDPVNFKLLGHCFLVVAVHFP-SL
クジラ  HGKKVADALTKAVGHLDLTPDALSDLHLHAHKL RVDPVNFKLLSHCLLVTLAAHLP-GD
ヒト    HGKKVADALTNAVAVHVDMPNALSALSDLHAHKL RVDPVNFKLLSHCLLVTLAAHLP-AE
サル    HGKKVADALTLAVGHVDDMPNALSALSDLHAHKL RVDPVNFKLLSHCLLVTLAAHLP-AE
          .: . : : : * : : * * . .
```

```

マグロ  FTPDAHVSLDKFLASVALALAERYR
ハト    LTPEVHASLDKFLAVGTVLTAKYR
クジラ  FTPSVHASLDKFLASVSTVLTASKYR
ヒト    FTPAVHASLDKFLASVSTVLTASKYR
サル    FTPAVHASLDKFLASVSTVLTASKYR
          * . **
```

マグロ **HGKKVMGGVALAVTKIDDLTTGLGDLSELH**
 ハト **HGKKVAEALVEAANHIDDIAGALSKLSDLH**
 ヒト **HGKKVADALTNAVAVHVDMPNALSALSSDLH**
 サル **HGKKVADALT~~L~~AVGHVDDMPNALSALSSDLH**
 クジラ **HGKKVADALTKAVGHLD~~TLP~~DALS~~DL~~SDLH**

異なるアミノ酸部分を数える = 配列間の距離

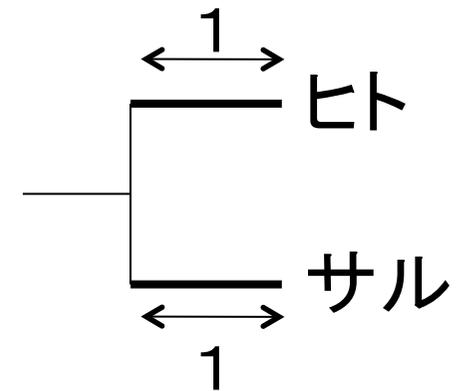
	マグロ	ハト	ヒト	サル	クジラ
マグロ	0	16	16	15	15
ハト	16	0	10	10	11
ヒト	16	10	0	2	7
サル	15	10	2	0	6
クジラ	15	11	7	6	0

	マグロ	ハト	ヒト	サル	クジラ
マグロ	0	16	16	15	15
ハト	16	0	10	10	11
ヒト	16	10	0	2	7
サル	15	10	2	0	6
クジラ	15	11	7	6	0

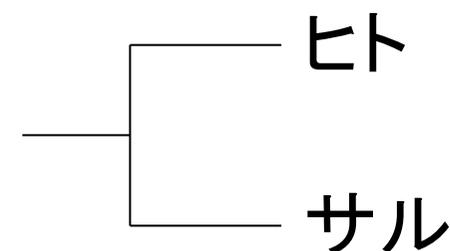
対角要素(=0)以外で一番小さい数字を探す

ヒトとサルの距離が2で一番近い

この関係を右の図のように表す



	マグロ	ハト	ヒト	サル	クジラ
マグロ	0	16	16	15	15
ハト	16	0	10	10	11
ヒト	16	10	0	2	7
サル	15	10	2	0	6
クジラ	15	11	7	6	0



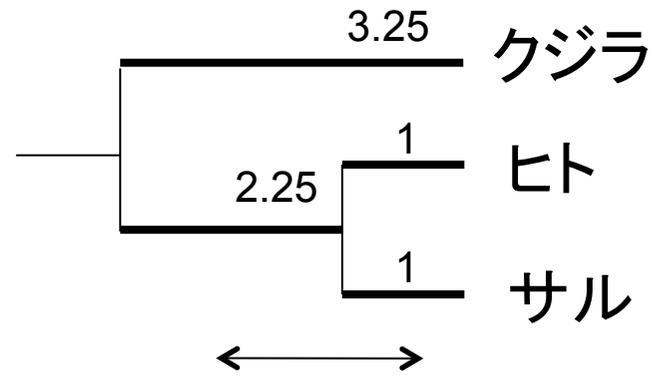
ひとまとめにしたもの和其他の種の間
の距離は平均をとる

たとえば、前の表でマグロとヒトは16
マグロとサルの距離は15だったので、
マグロと人猿の距離は15.5とする

	マグロ	ハト	人・猿	クジラ
マグロ	0	16	15.5	15
ハト	16	0	10	11
人・猿	15.5	10	0	6.5
クジラ	15	11	6.5	0

ふたたび一番小さい数字の組を見つけてまとめる

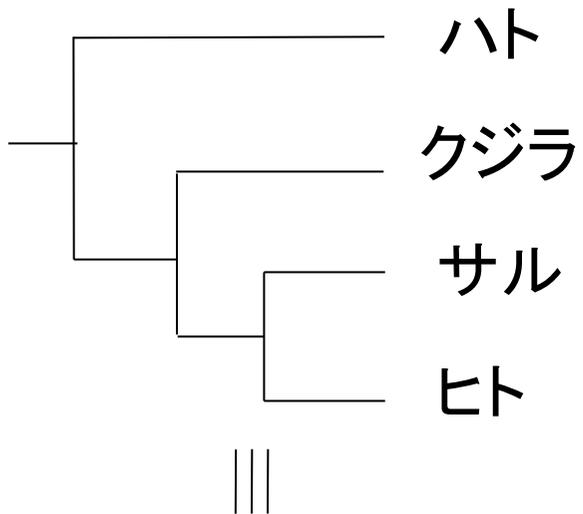
	マグロ	ハト	人・猿	クジラ
マグロ	0	16	15.5	15
ハト	16	0	10	11
人・猿	15.5	10	0	6.5
クジラ	15	11	6.5	0



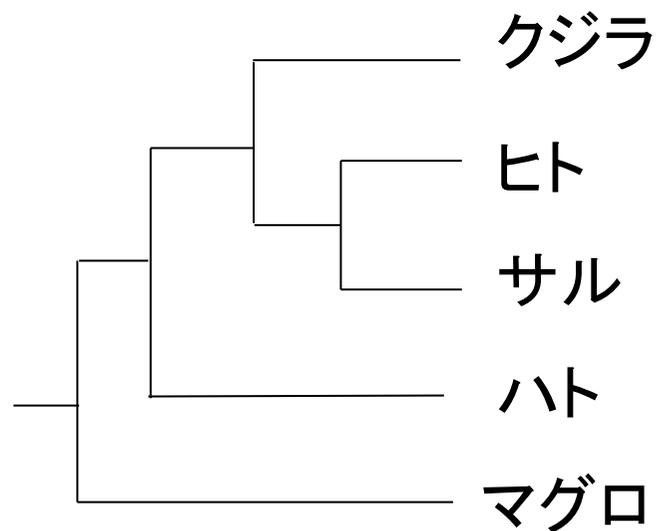
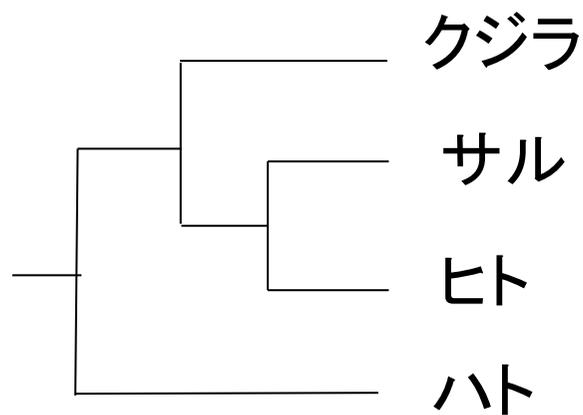
この向きの配置には意味はない。クジラとサルがクジラとヒトより近く見えるが実際には同じ。サルとヒトを置き換えてもよい。

ヒト・サルとクジラをまとめて哺乳類とする

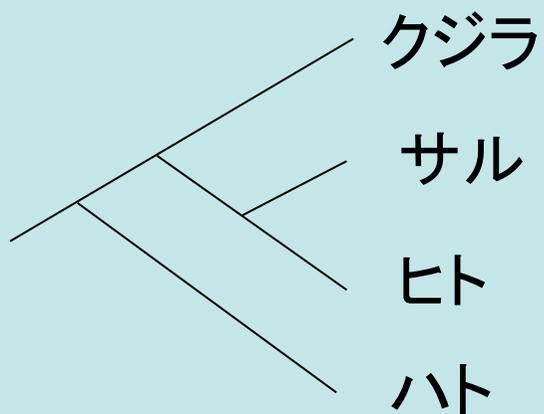
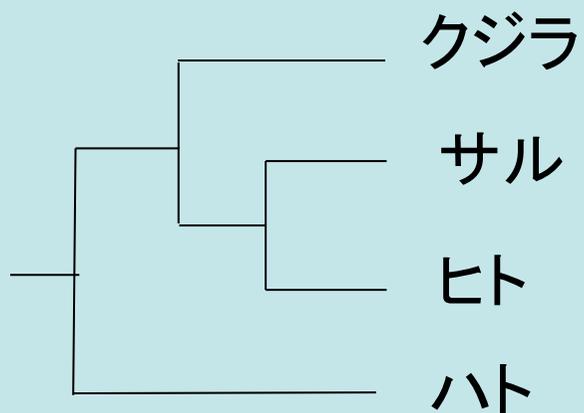
	マグロ	ハト	哺乳類
マグロ	0	16	15.25
ハト	16	0	10.5
哺乳類	15.25	10.5	0



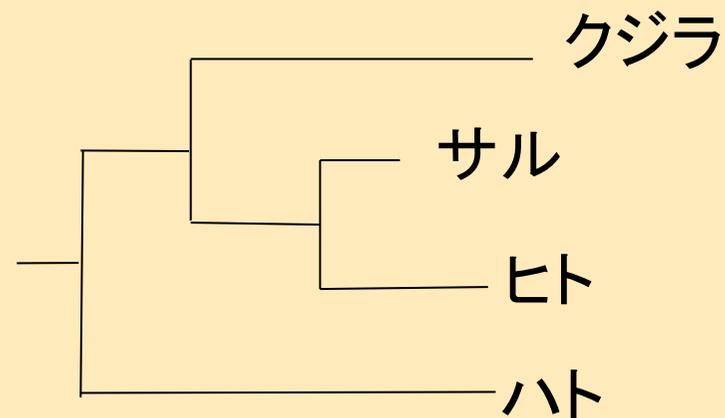
	マグロ	鳥・哺乳
マグロ	0	15.625
鳥・哺乳	15.625	0



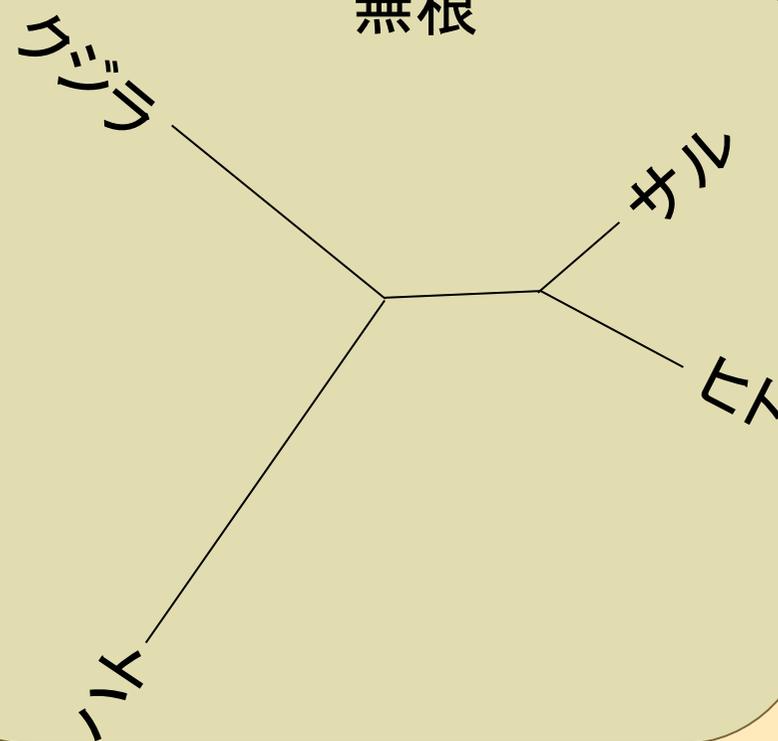
分岐の順序のみを示す
距離関係は明示しない



距離関係を明示



無根



こうした方法で系統樹が書けることは様々な仮定の上に成り立っている

変異の入る割合が種分化からの時間に比例する

アミノ酸の変異のし易さが等しい

こうした方法で系統樹が書けることは素直に受け入れられる？

変異は個体で起きるがそれが交配により種全体に広がって定着

同じ時間での世代数は種によって異なる