

“生命”のしくみ

佐藤公行

(2009年11月29日、浅口市)

G. ガリレイ

(1564ー1642)

F. レディー

(1626ー1698)

A. レーウエンフック

(1632ー1723)

C. ダーウィン

(1809ー1882)

G. メンデル

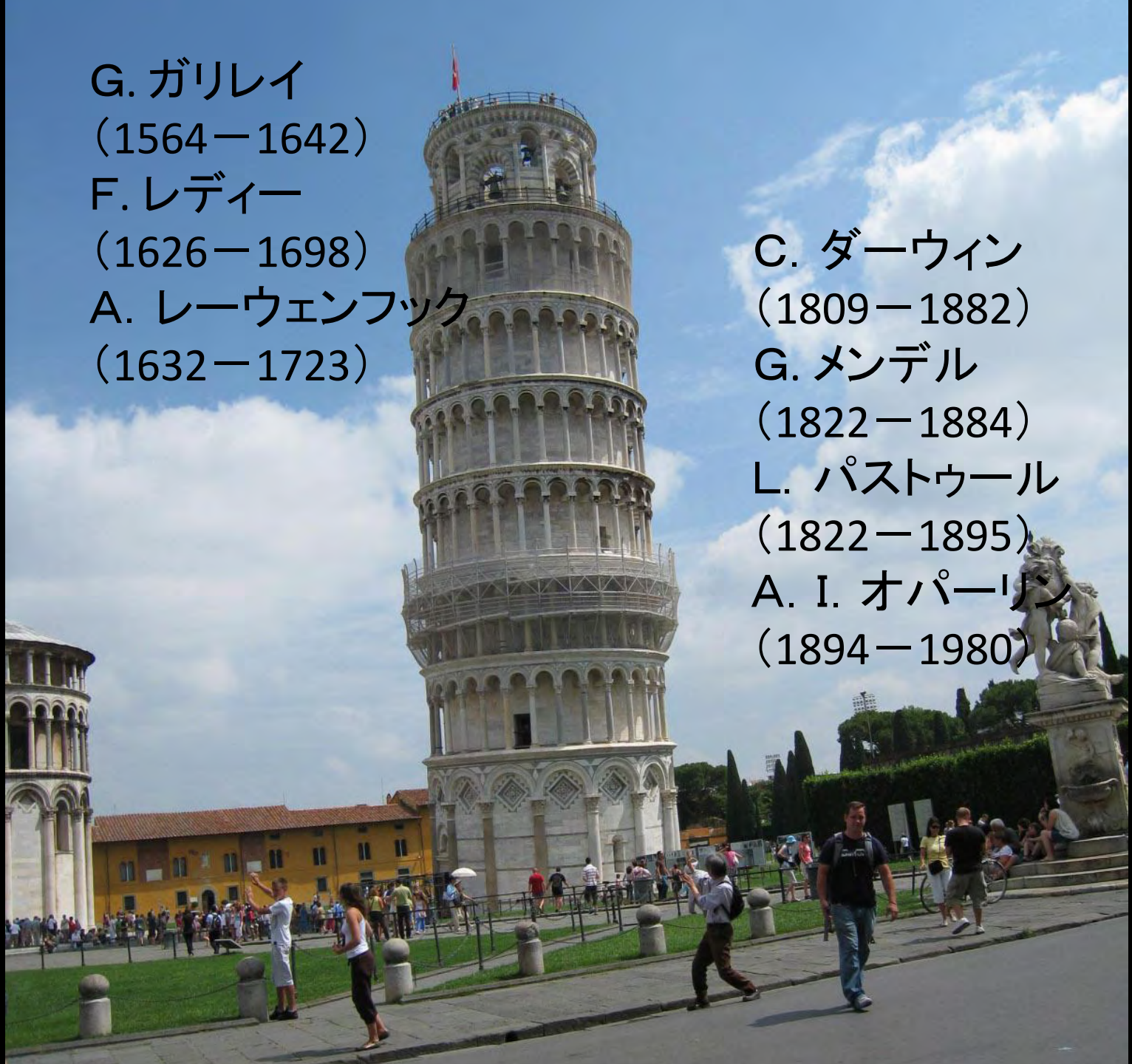
(1822ー1884)

L. パストゥール

(1822ー1895)

A. I. オパーリン

(1894ー1980)



ところで、

“生命”とは何か？

“生命”とは何か？

- ふえる！

- ・成長する
- ・子孫を残す
- ・？

- “複製能・代謝（触媒）能・変異能”

—話題—

地球上の生物は
どんな存在か？

その起源と行く末は？

—話題—

地球上の生物は
どんな存在か？

その起源と行く末は？
(宇宙で何が見つかるのか！)

地球上の生物の特徴

- “形(構造)”や“営み(機能)”が多様である
- 本質において画一的である
 - 細胞が単位
 - 水が主成分
 - 炭素を中心に作られた高分子で構成
(核酸・タンパク質・脂質・・・)

生物は“分子(化学)機械“である！

生物の化学的な構成

生体を構成する元素（生元素？）

（存在度ベスト10—原子数）

（地殻）

酸素(O)、珪素(Si)、アルミニウム(Al)、水素(H)、
ナトリウム(Na)、カルシウム(Ca)、鉄(Fe)、マグネシウム
(Mg)、カリウム(K)、チタン(Ti)

（人体）

水素(H)、酸素(O)、炭素(C)、窒素(N)、カルシウム(Ca)、
リン(P)、硫黄(S)、ナトリウム(Na)、カリウム(K)、
塩素(Cl)

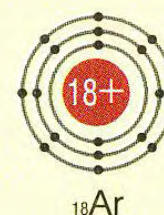
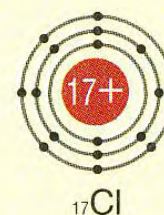
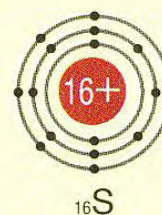
（海水？）

元素の周期律表

電子
配置



中心の茶色の丸は原子核，その中の数字は陽子の数を表している。希ガスの価電子の数は0とみなされる。



価電子
の数

1

2

3

4

5

6

7

0

生物を構成する分子

- 水(H_2O)
- 炭素を中心とする高分子化合物($\text{H}\cdot\text{C}\cdot\text{O}\cdot\text{N}\cdot\text{S}\cdots$)
核酸・タンパク質・炭水化物・脂質・...

“既知の1700万以上の化合物のうち、
90%近くが炭素を含む有機化合物である”

生物に特徴的な分子がある！
(生物によってしかつくられないか？)

化学結合の仕組み

—化学の復習—

〈強い結合〉 50-100 kcal /モル

- 電子を共有する—“電子”は“カスガイ”

電子共有結合

〈弱い結合〉 数kcal /モル

- 電氣的に引き合う

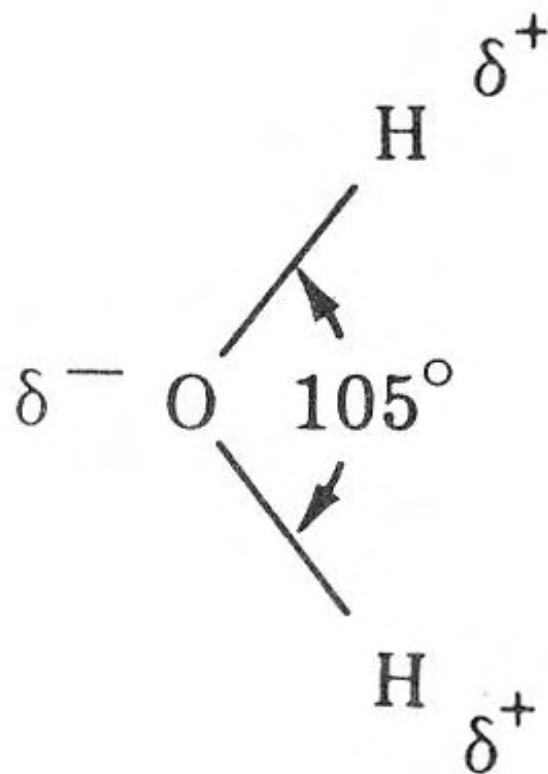
イオン結合

水素結合

- 類は集う—“水と水”、“油と油”

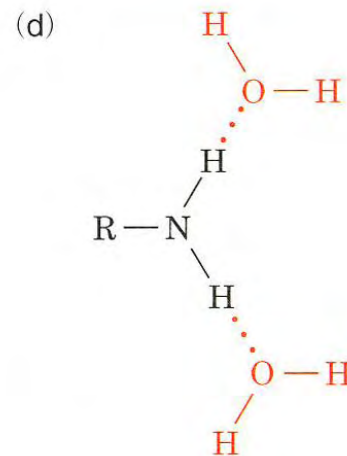
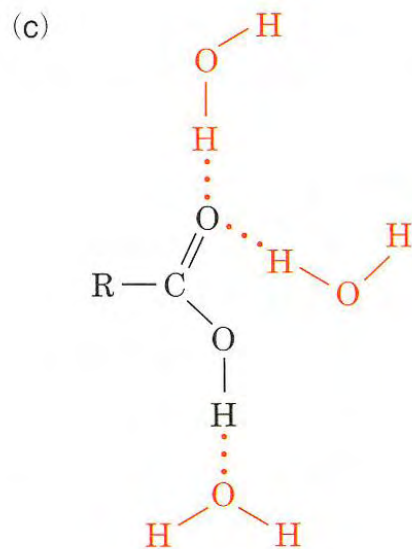
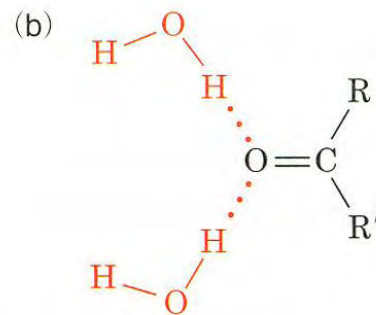
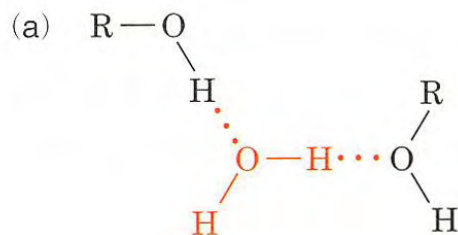
疎水性相互作用(例)

“水分子(H₂O)”の構造



水は特異な分子である！

“水素結合”のネットワーク (X—H···Y)



水の変わった性質

- 融点・沸点が異常に高い—常温(0-100℃)で液体—
- 融解熱・蒸発熱が大きい
- 比熱が大きい
- 氷(固体)より大きな密度を示す
- 極性分子である

“物質をよく溶かす”

“低分子の脂質からなる生体膜を安定化する”

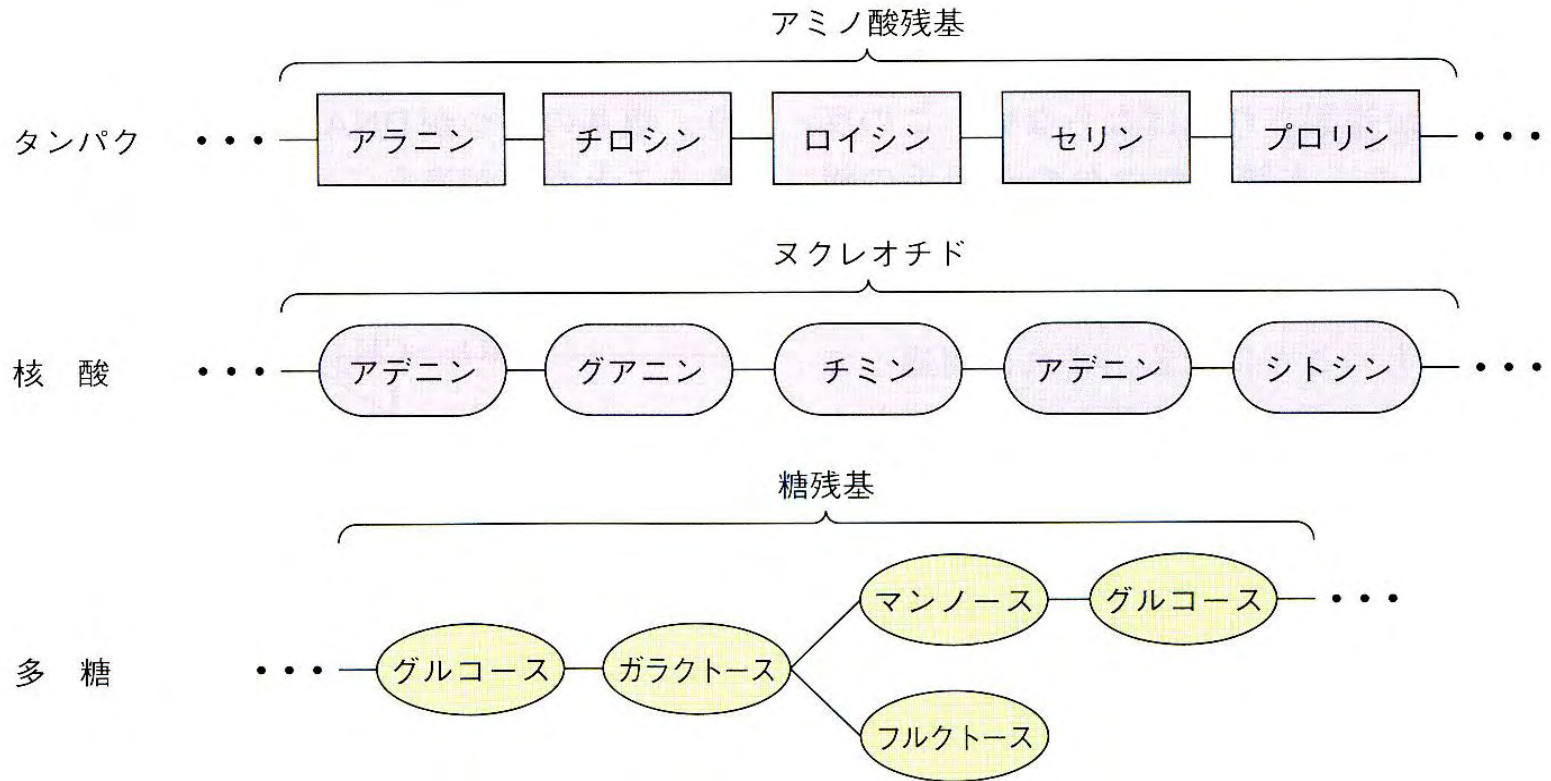
これらの性質が

ミクロやマクロの次元で

生物の生存を支えている！

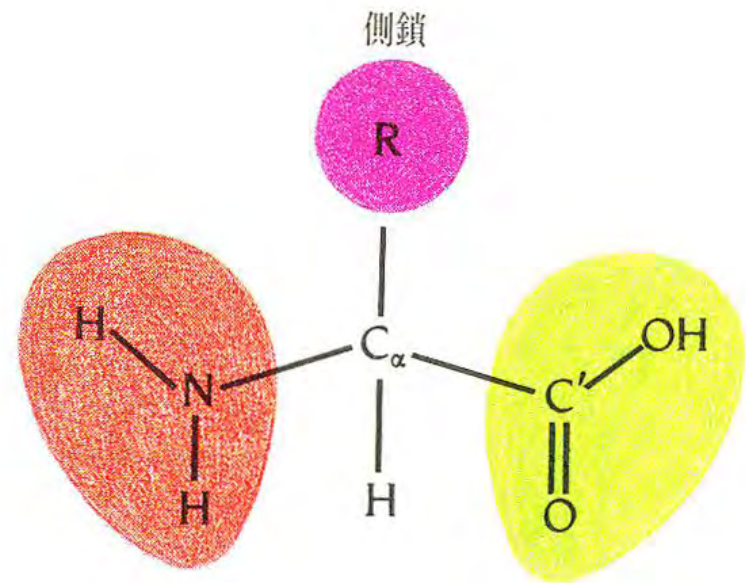
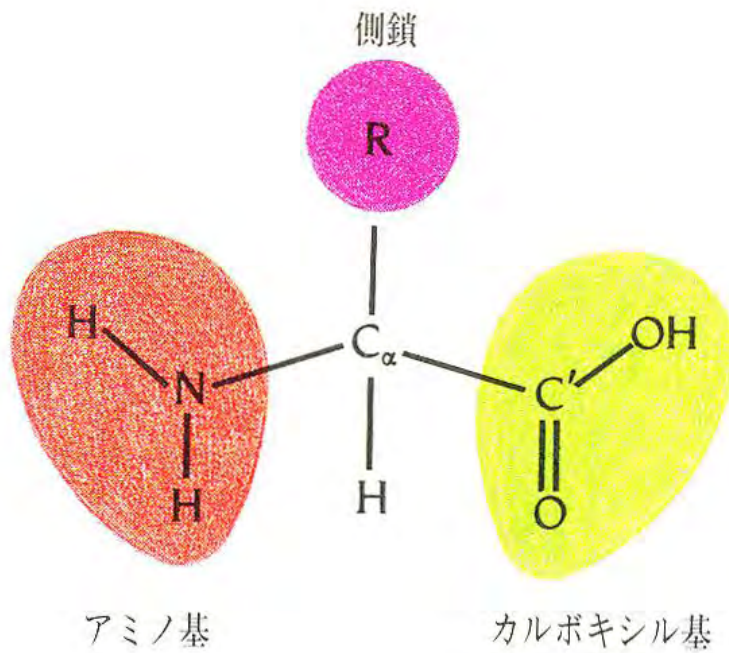
生体を構成する高分子

- 限られた種類の“構成単位”から
多種類の化合物がつくられる
- “脱水縮合”が結合の原理である（共有結合）



タンパク質の構成単位は“アミノ酸”

ペプチド結合でつながる！



C α は正三角錐の中心！

“側鎖(R)”の種類(20種類)

- 非極性(親油性)－疎水性相互作用性

グリシン(Gly・G)、アラニン(Ala・A)、ロイシン(Leu・L)
フェニールアラニン(Phe・F)、トリプトファン(Trp・W)

V・I・M・P

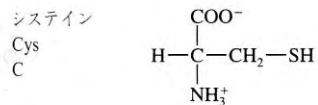
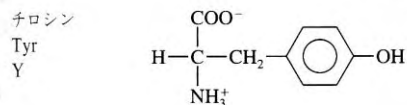
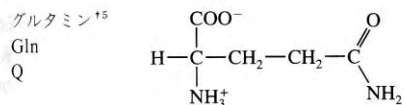
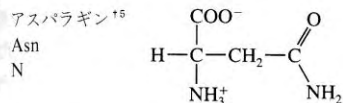
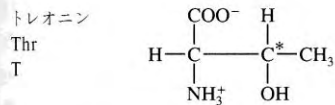
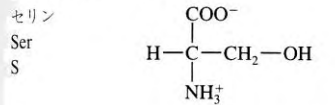
- 極性無電荷(親水性)－水素結合性

セリン(Ser・S)、チロシン(Tyr・Y)、システイン(Cys・C) *
T・N・Q

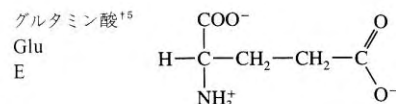
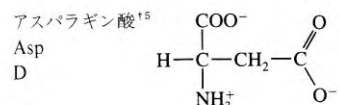
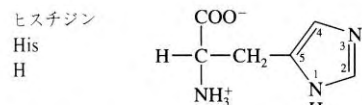
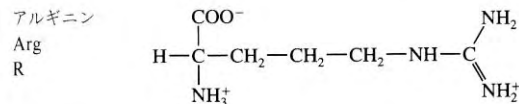
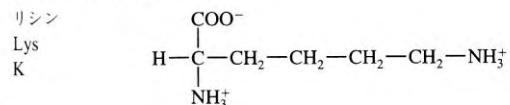
- 極性電荷(親水性)－イオン結合性

リジン(Lys・K)、ヒスチジン(His・H), グルタミン酸
(Glu・E) D・R

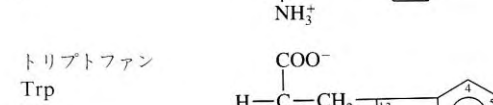
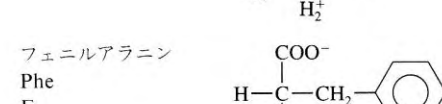
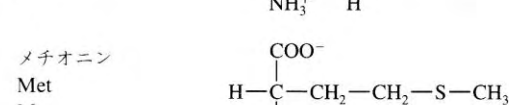
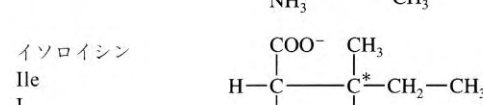
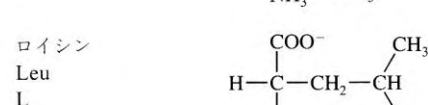
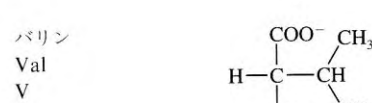
極性無電荷側鎖アミノ酸



極性電荷側鎖アミノ酸



非極性側鎖アミノ酸



側鎖(R)は
多様性に富んでいる！

親水(極)性
疎水(親油)性
イオン(荷電)性
共有結合性(S-S)

この多様性が
タンパク質の機能に
深く関わっている！

タンパク質の一次構造(例)

- Gly-Ilu-Val-Glu-Gln-Cys-Cys-Ala-Ser-Val-Cys-Ser-Leu-Tyr-Gln-Leu-Glu-Asn-Tyr-Cys-Asn - -

(3文字表記)

- GIVEQCCASVCSLYQLENYCN・・・

(1文字表記)

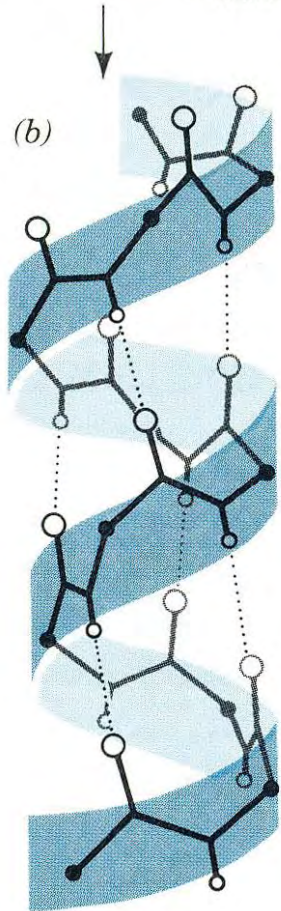
タンパク質1分子のアミノ酸の数は

平均値で約1000個 一分子量は約10万！

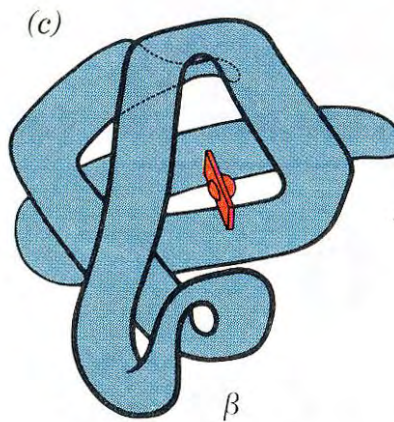
タンパク質の高次構造

—ヘモグロビンβ鎖の例—

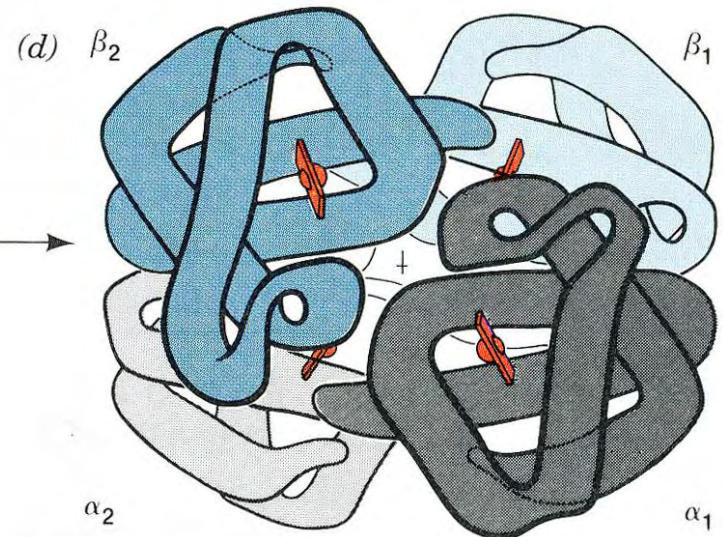
(a) — Lys — Ala — His — Gly — Lys — Lys — Val — Leu — Gly — Ala —
一次構造(ポリペプチド鎖のアミノ酸配列)



二次構造
(ヘリックス)

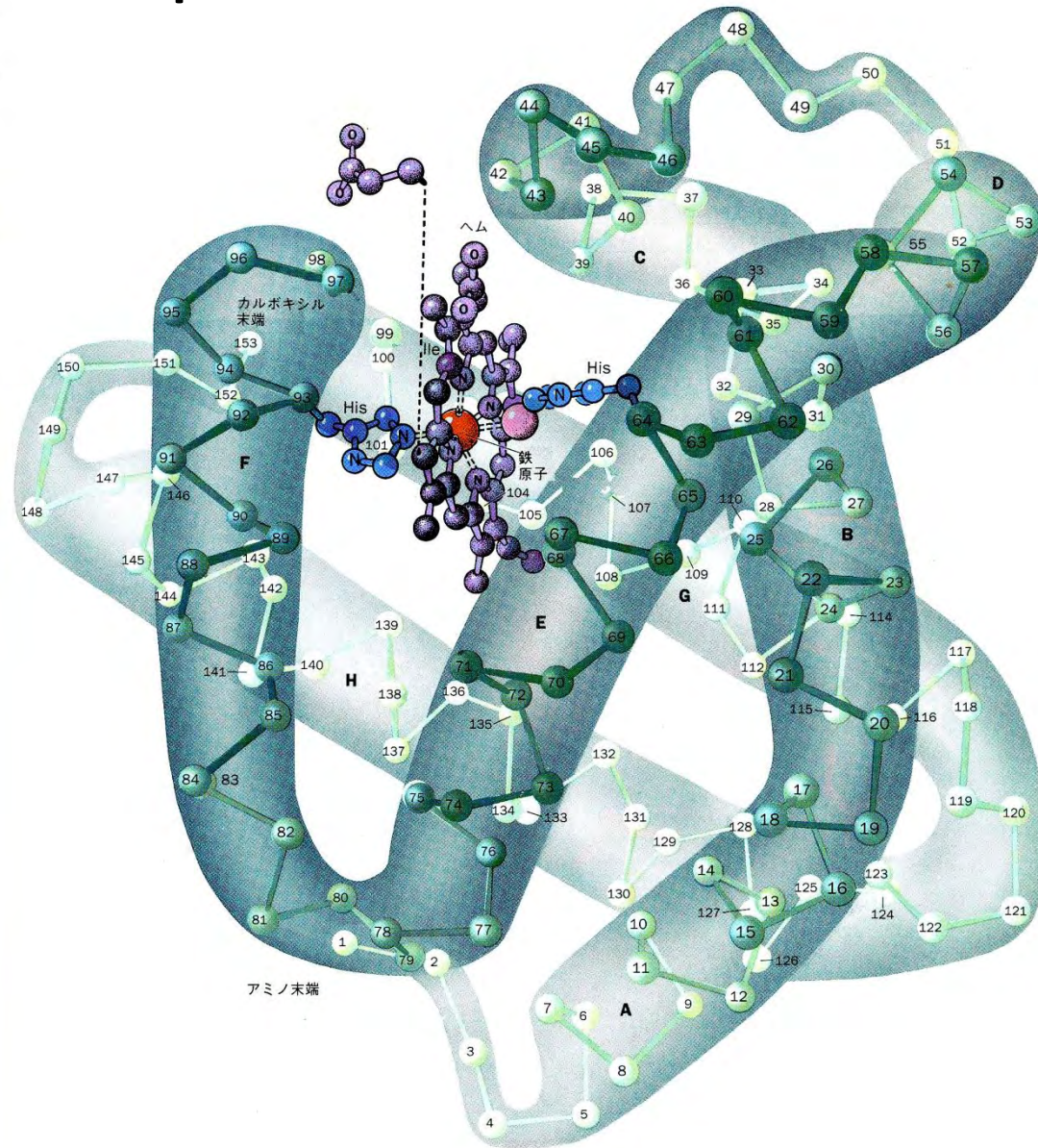


三次構造：
タンパクの一本鎖の構造
(ヘモグロビンのβ鎖)

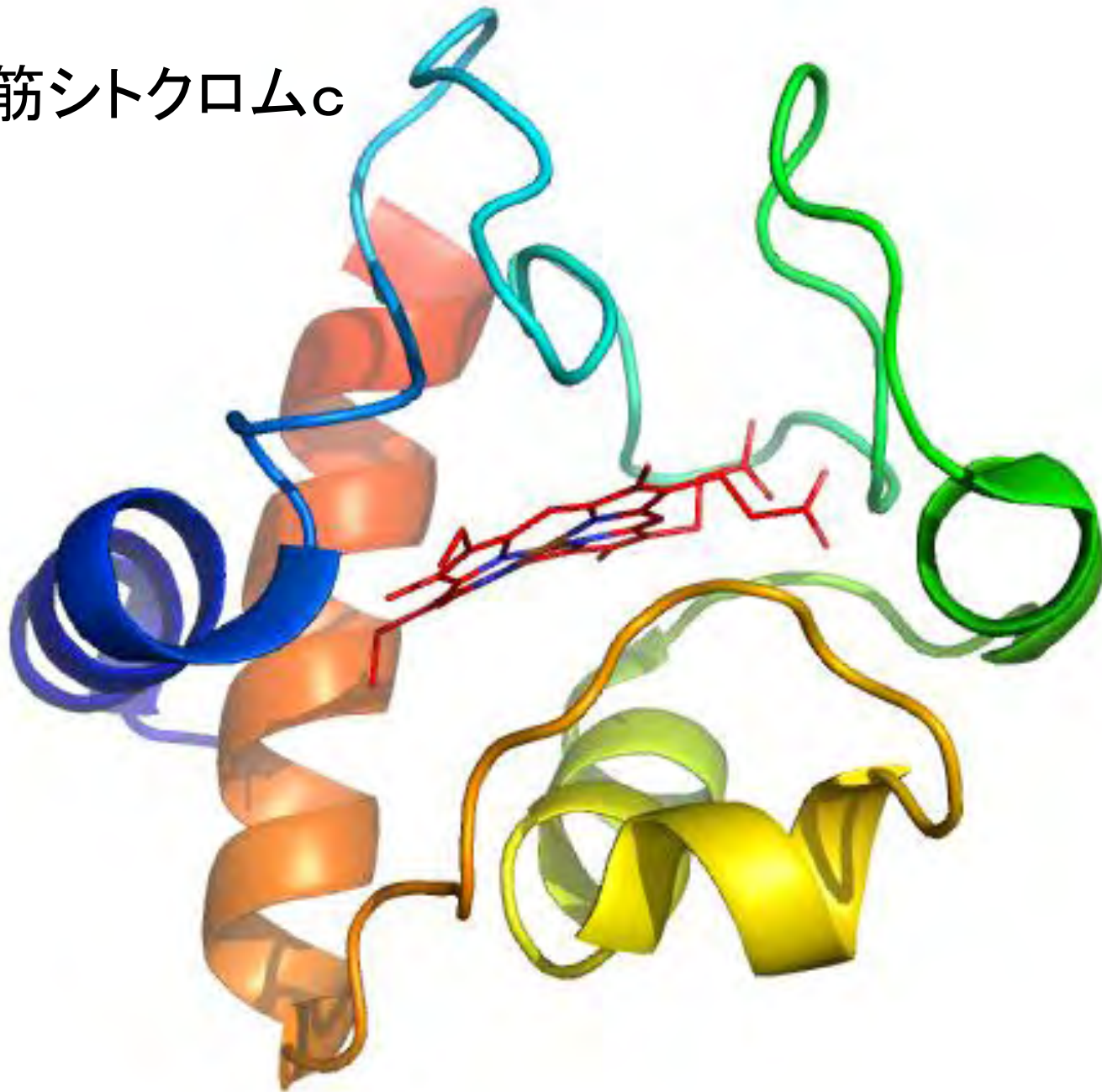


四次構造：
4本の鎖が集まって
オリゴマータンパクの
ヘモグロビンを形成

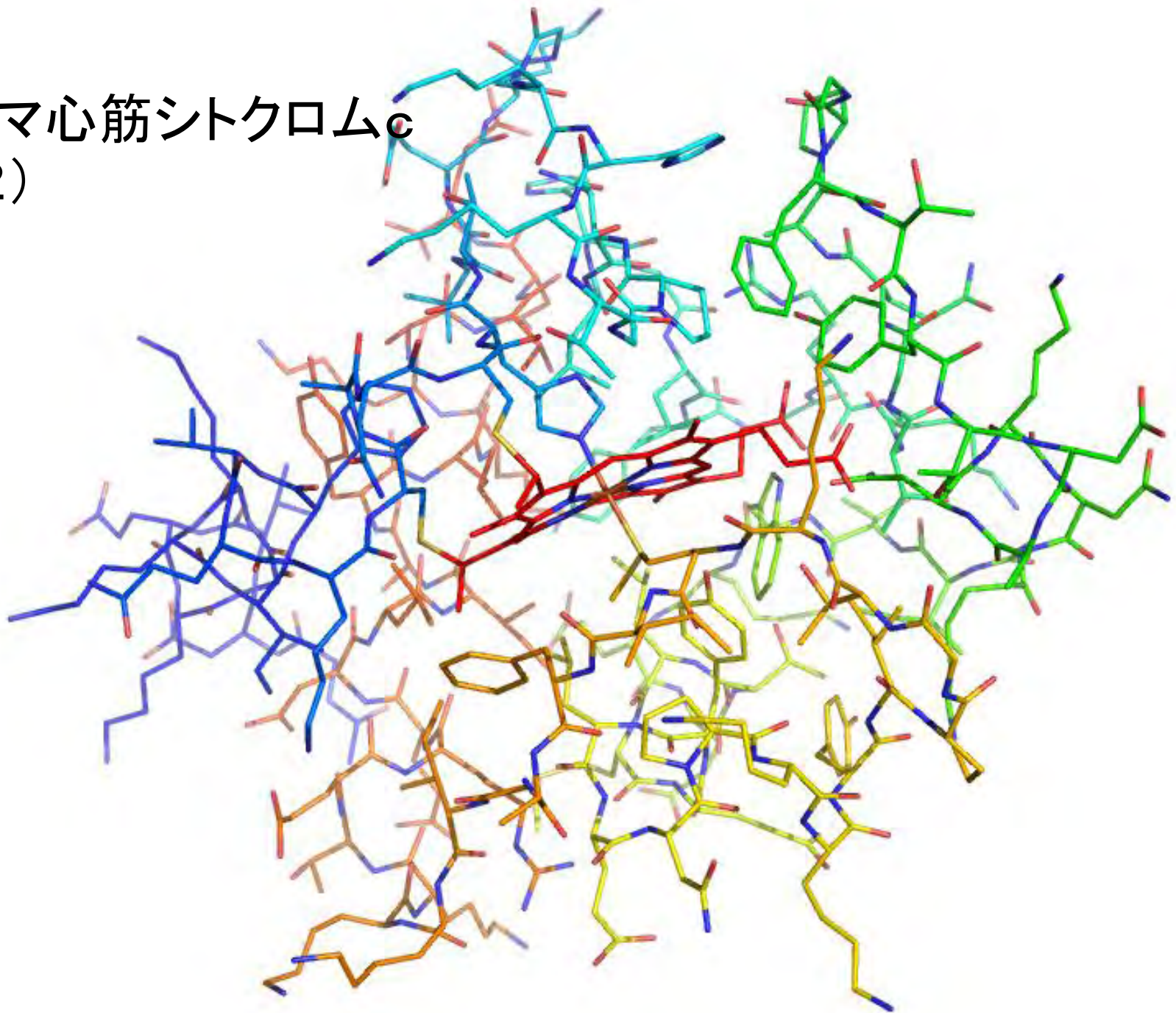
ヘモグロビンβ鎖



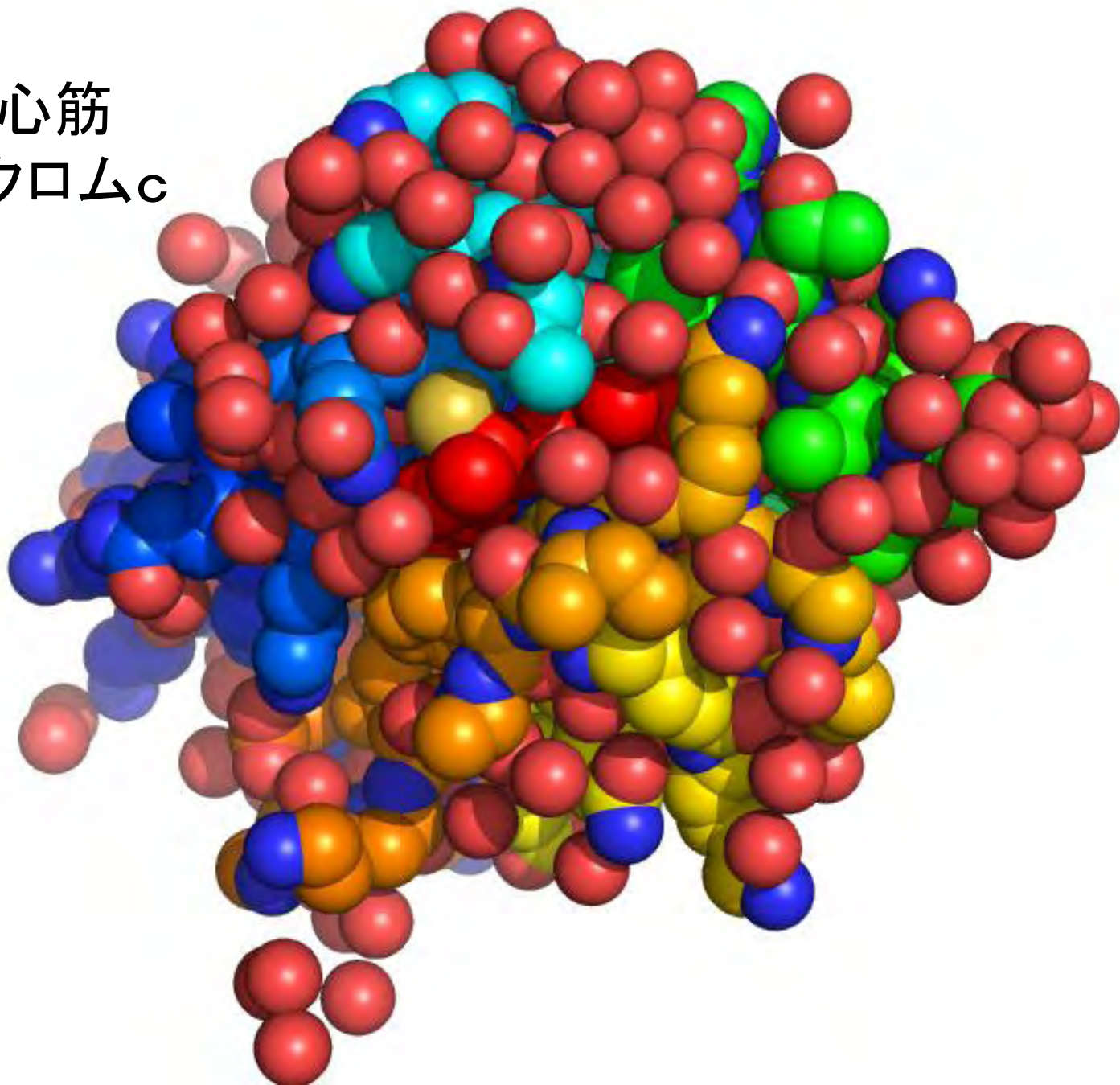
ウマ心筋シトクロムc (1)



ウマ心筋シトクロムc (2)



ウマ心筋
シトクロムc
(3)



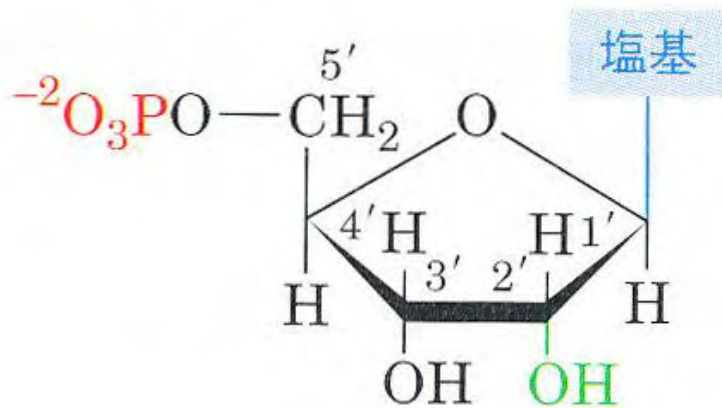
タンパク質の高次構造の特徴

- 一次構造が高次構造を決める
- 高次構造の形成において、“弱い結合”が中心的な役割を担う
- 高次構造は可逆的である(変性・復元)
- 高次構造の変化が繊細な“機能調節”に結びついている
(酵素・基質相互作用や
“アロステリック”制御など)

タンパク質は
分子レベルで“言葉”をあやつる！

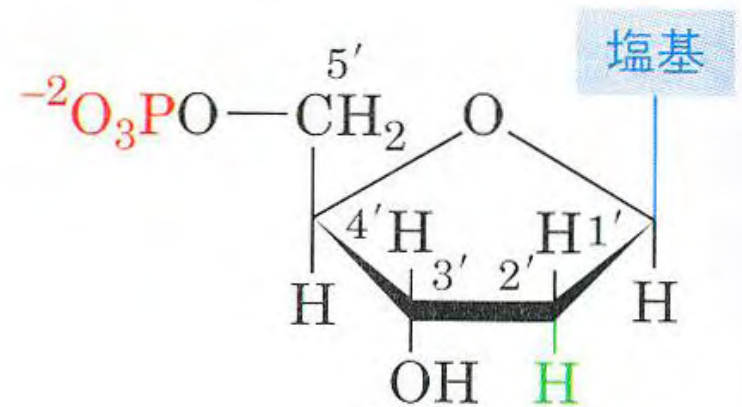
核酸(RNA, DNA)の構成単位は “ヌクレオチド”

(a)



リボヌクレオチド

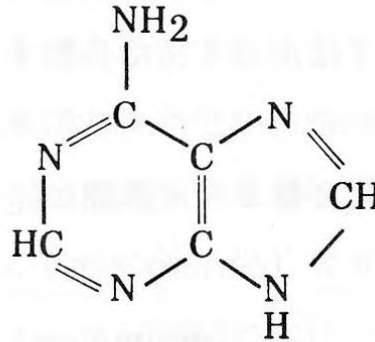
(b)



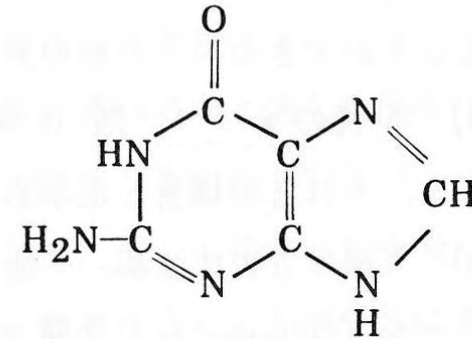
デオキシリボヌクレオチド

塩基の種類

プリン
(A・G)

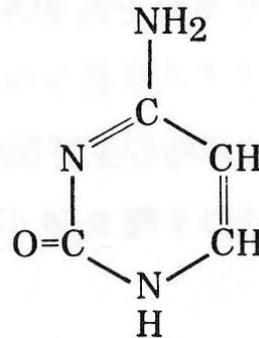


アデニン (A)

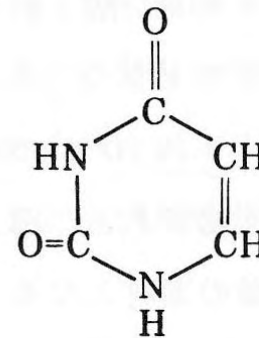


グアニン (G)

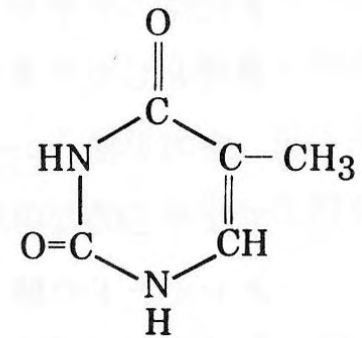
ピリミジン
(C・U・T)



シトシン (C)



ウラシル (U)



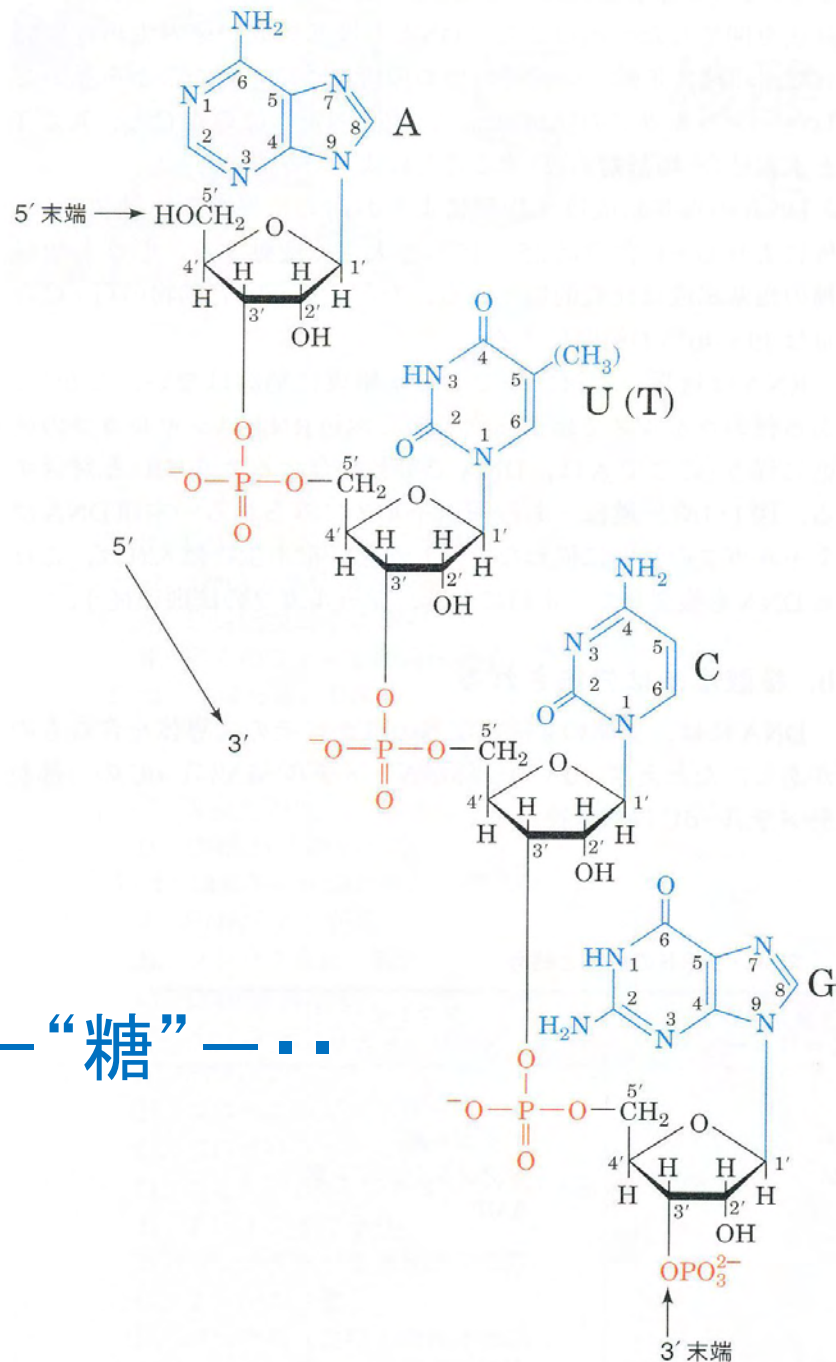
チミン (T)

RNA(リボ核酸)

DNA(デオキシ
リボ核酸)

(骨組み)

... — “糖” — “リン酸” — “糖” — ...



DNA、RNAの塩基配列

(RNA).....

...AUCGCA...

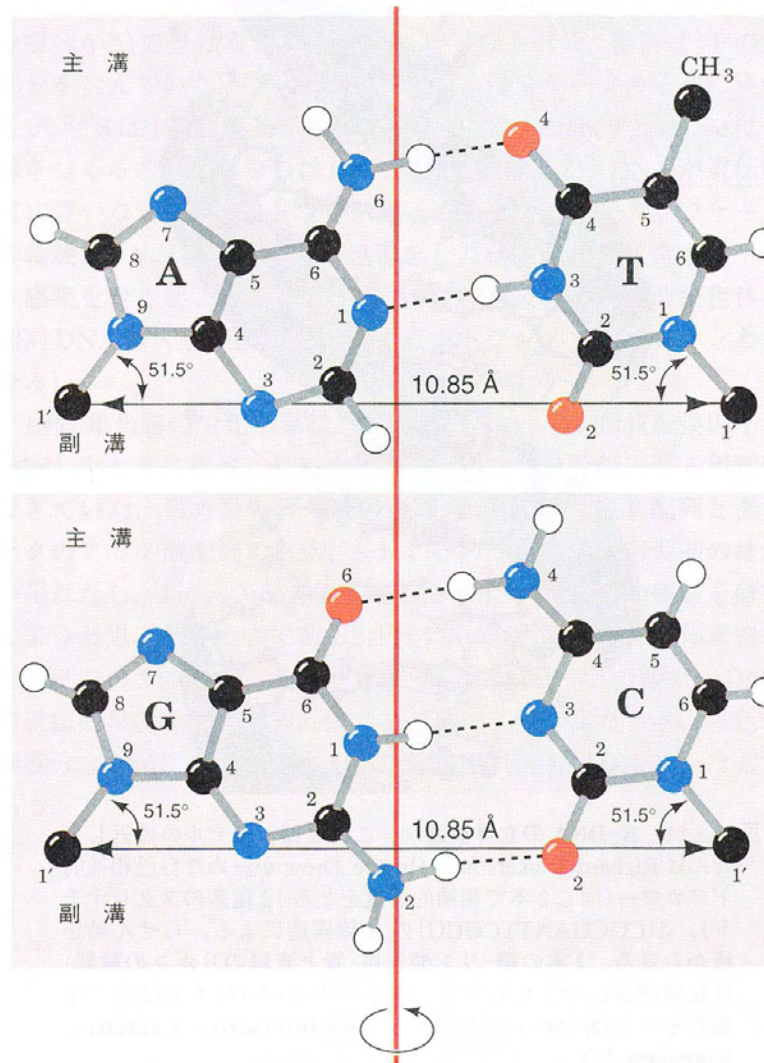
(DNA).....(二重)相補配列

...ATCGCA...

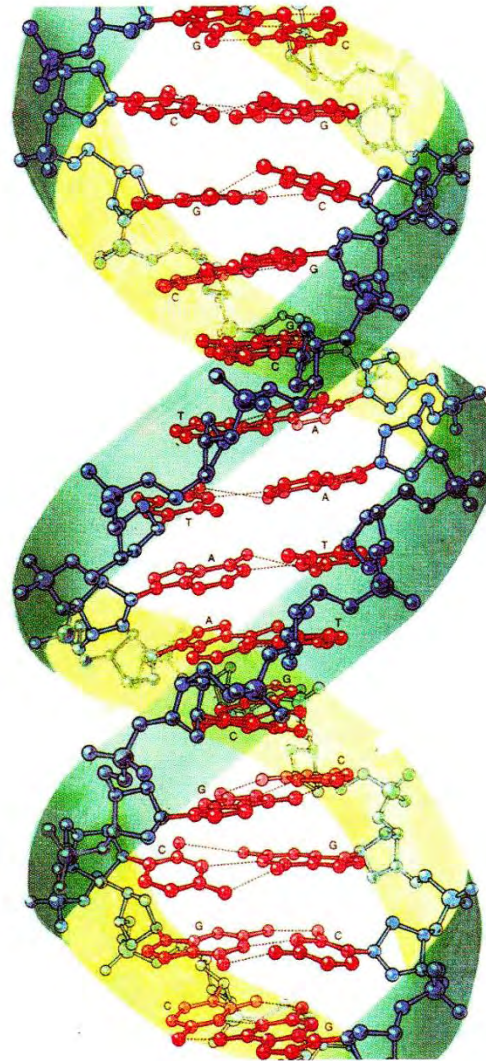
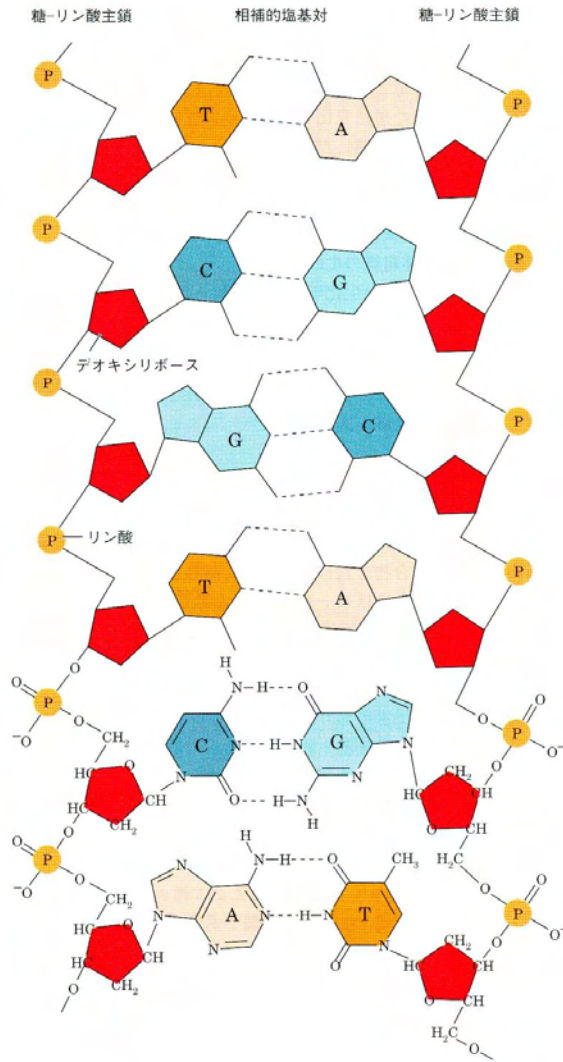
...TAGCGT...

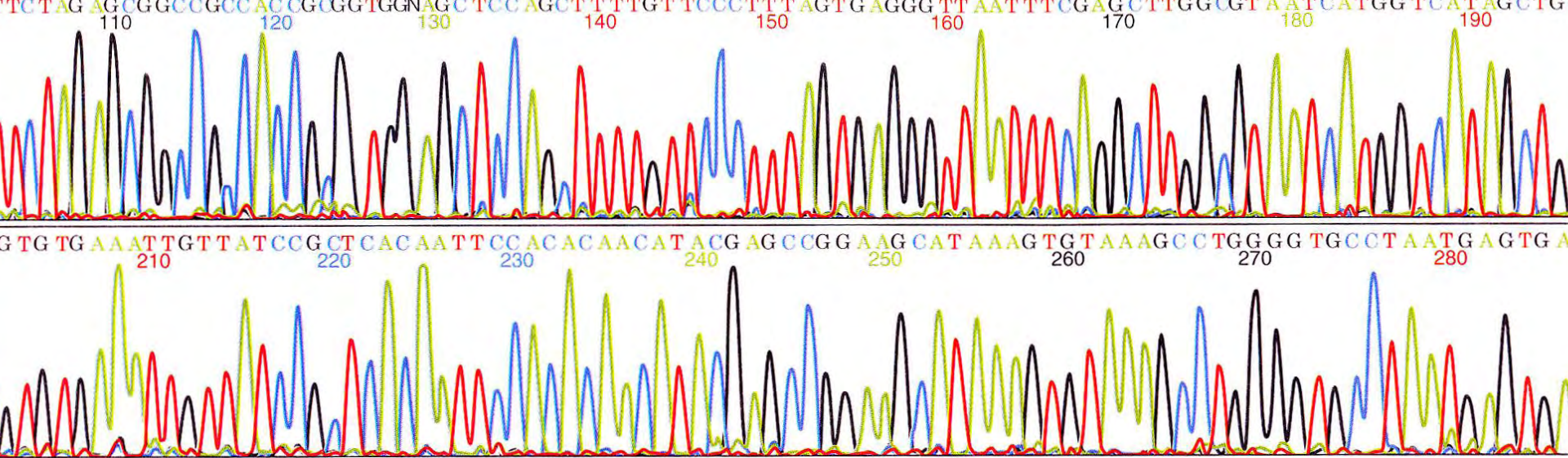
DNAの構造－“塩基対”

“水素結合”で形成される塩基対(bp)！



DNAの二重らせん構造

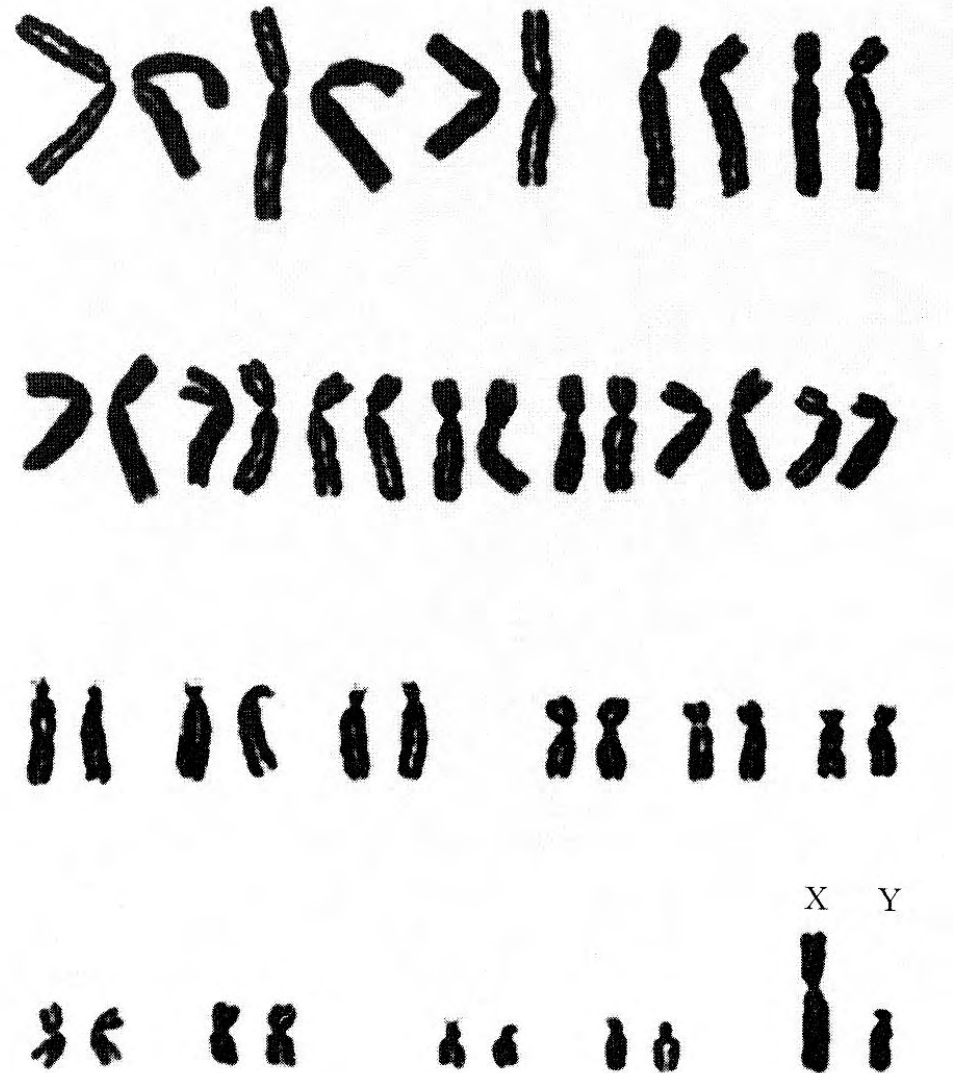




CCATCGGGGA	GATTCATCCT	ATATTATTCC	TAGATTATTC	CAGCAAATAG	CAGAATCGTG	64,26
GCTAGGGAAC	TATACTAGCG	ACCTACCCAA	TTTATTGTAG	AAATTTTTCGC	GATCAATGAT	64,32
TGGACCATGC	AAACTAGAAA	TGCTTTTTTCT	TGGCTAAAGA	AACAGATTAC	TCGATCTATT	64,38
TCCGTATCGC	TCATGATATA	TATCTTAACT	CGGACATCCA	TTTCAAGTGC	ATATCCCAT	64,44
TTTGACACAGC	AGGGTTATGA	AAATCCACGA	GAAGCGACTG	GGCGTATTGT	ATGTGCCAAT	64,50
TGCCATTTAG	CTAATAAGCC	CGTGGAGATT	GAGGTTCCAC	AAGCGGTACT	TCCTGATACT	64,56
GTATTTGAAG	CAGTTGTTCG	AATTCCTTAT	GATATGCAAC	TGAAACAGGT	TCTTGCTAAT	64,62
GGTAAAAGGG	GGGGGTTGAA	CGTGGGGGCT	GTTCTTATTT	TACCGGAGGG	GTTTGAATTA	64,68
GCTCCTCCCG	ATCGTATTTC	TCCCGAGATG	AAAGAAAAGA	TTGGCAATTT	GTCTTTTCAG	64,74
AGCTATCGCC	CCAATAAAAA	AAATATTCTT	GTGATAGGCC	CTGTCCCTGG	TCAAAAATAT	64,80
AGTGAAATAA	CCTTCCCTAT	TCTTTCCCCG	GACCCTGCTA	CTAAGAAGGA	TGTTCACTTC	64,86
TTAAAATATC	CTATATACGT	AGGCGGGAAC	AGGGGAAGGG	GTCAGATTTA	TCCCGACGGC	64,92
AGCAAGAGTA	ACAATACTGT	TTATAATGCT	ACAGCAGCAG	GTATAGTAAG	CAAAATCATA	64,98
CGAAAAGAAA	AGGGTGGGTA	TGAGATAACC	ATAACGGATG	CGTCGGATGG	ACGTCAAGTG	65,04
GTTGATATTA	TCCCTCCCGG	ACCAGAACTT	CTTGTTTCCG	AGGGCGAATC	TATCAAATTT	65,10
GATCAACCAT	TAACGAGTAA	TCCTAATGTA	GGCGGATTTG	GTCAGGGAGA	TGCAGAAATA	65,16
GTA CTTCAAG	ATCCATTACG	TGTCCAAGGA	CTTTTGTTCT	TCTTGGCATC	TGTTATTTTG	65,22
GCACAAATCT	TTTTGGTTCT	TAAAAAGAAA	CAGTTCGAGA	AGGTTCAATT	GGCCGAAATG	65,28
AATTTCTAGA	TTCGCAGATT	TGTCGACATC	AAGTTCGTAA	AAAGAACCAA	ATTCTTGTTG	65,34
GCGATTATTT	ATGATCAAAA	AAATGAAATT	CTGAAAACCTC	CTTTGTCTTA	TTTATACTCT	65,40
TCTTCAAAAT	CTACATACTA	TGTGGTACAA	GGGATTCCCA	GCATCTCGTA	GAAAAAGAGT	65,46

ヒトゲノム(♂)

- 23本の染色体
- 約30億の塩基対
- 20,000-25,000種類
のタンパク質をコード
- 多数のRNAをコード
(後述)



DNA分子のサイズ

生物(ウイルス・葉緑体を含む) 塩基対の数(キロbp)

ウイルス

ポリオーマ 5.2

λファージ 48.6

鶏痘 280

(タバコ葉緑体) (156)

古細菌(アーキア)

メタン細菌(例) 1,570

真正細菌

マイコプラズマ 760

大腸菌(K12株) 4,600

シアノバクテリア(例) 3,960

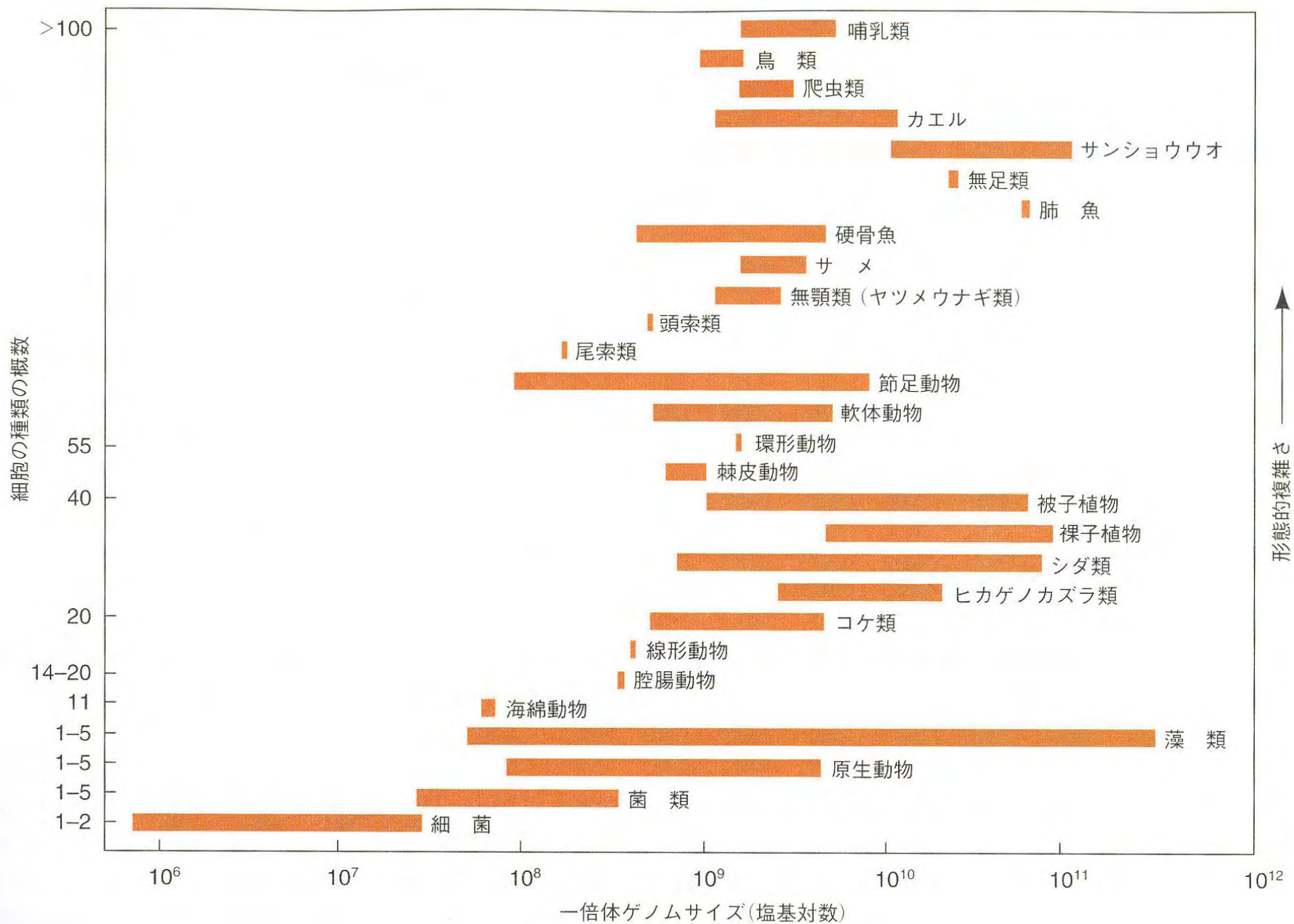
真核生物

酵母(一倍体染色体17本で) 12,000

ショウジョウバエ(一倍体染色体4本で) 180,000

ヒト(一倍体染色体23本で) 2,850,000

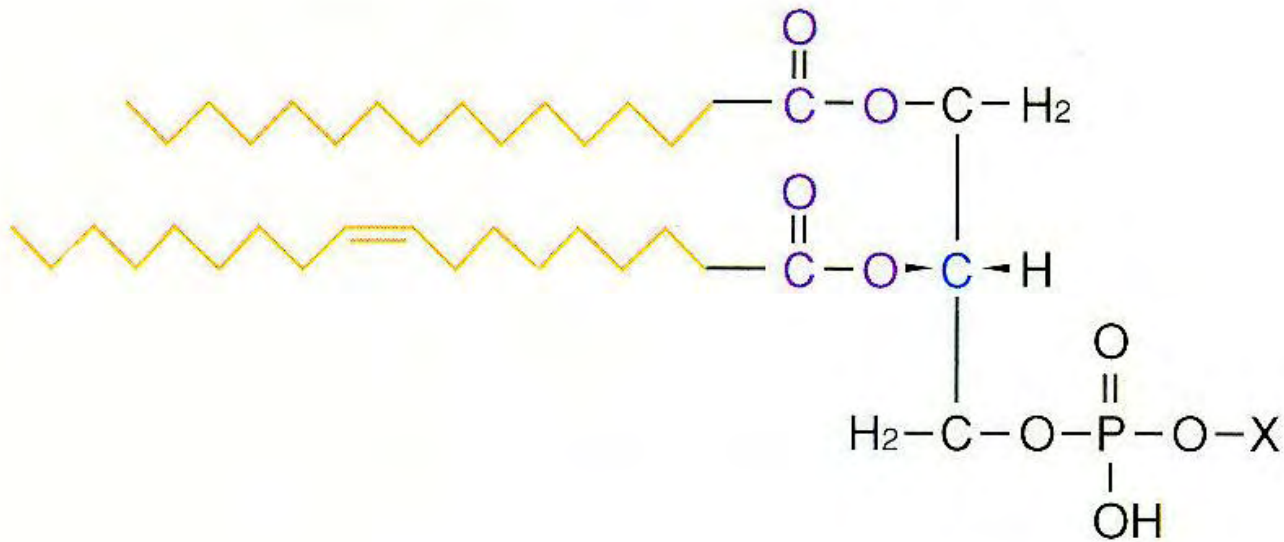
肺魚(一倍体染色体19本で) 102,000,000



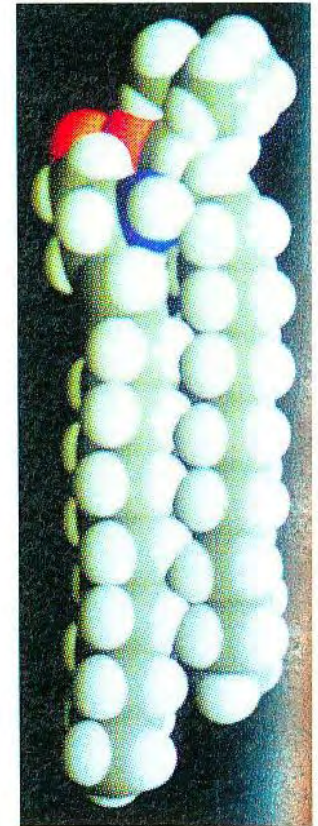
脂質(1)

ーグリセリンの脂肪酸エステルー

(a)



(b)



脂質(2)

- 極性脂質（例、リン脂質）

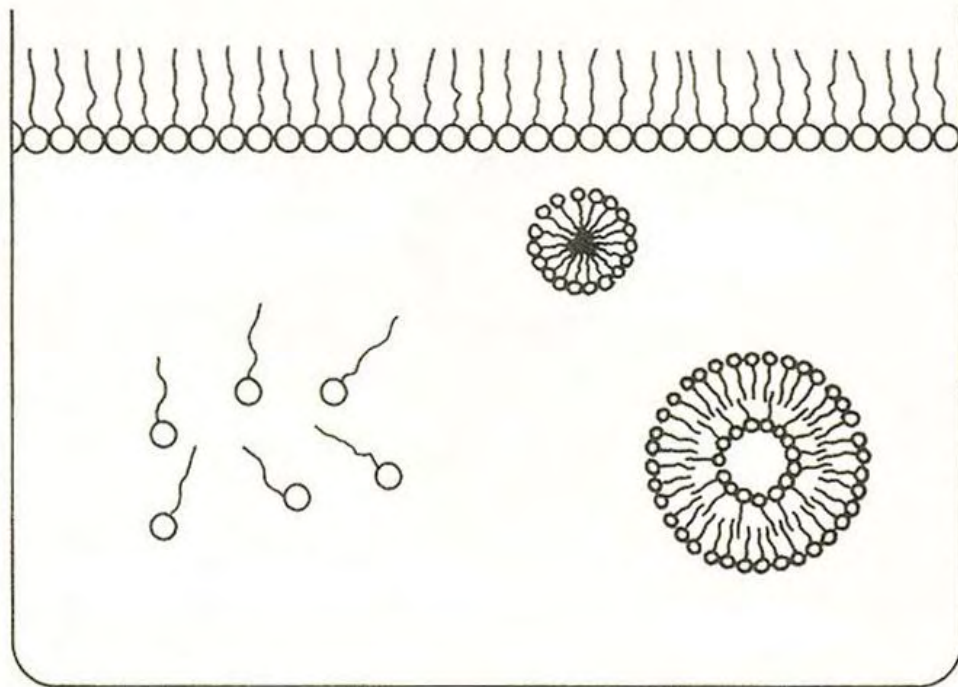
親水性の頭部－リン酸、糖 ...

疎水性(親油性)の尾部－脂肪酸、(イソプレノ
イド) ...

二重性(親水性・親油性)！

水の中での脂質の構造

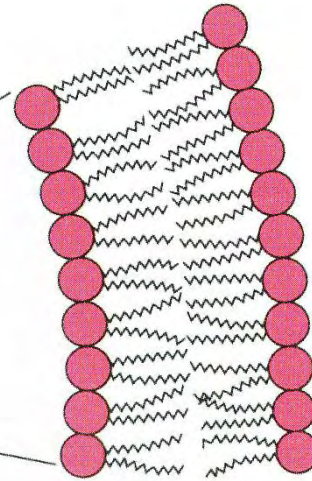
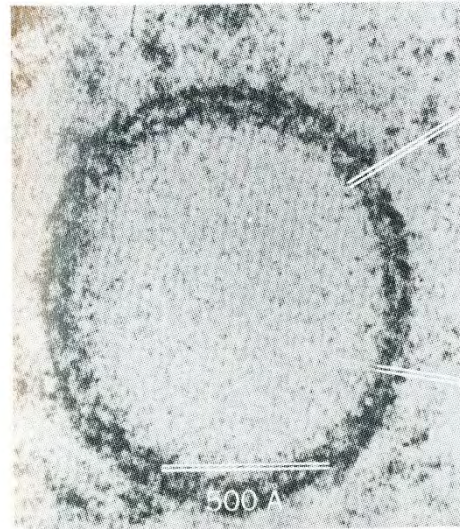
—脂質二重膜—



生物の高次(膜)構造を決める！

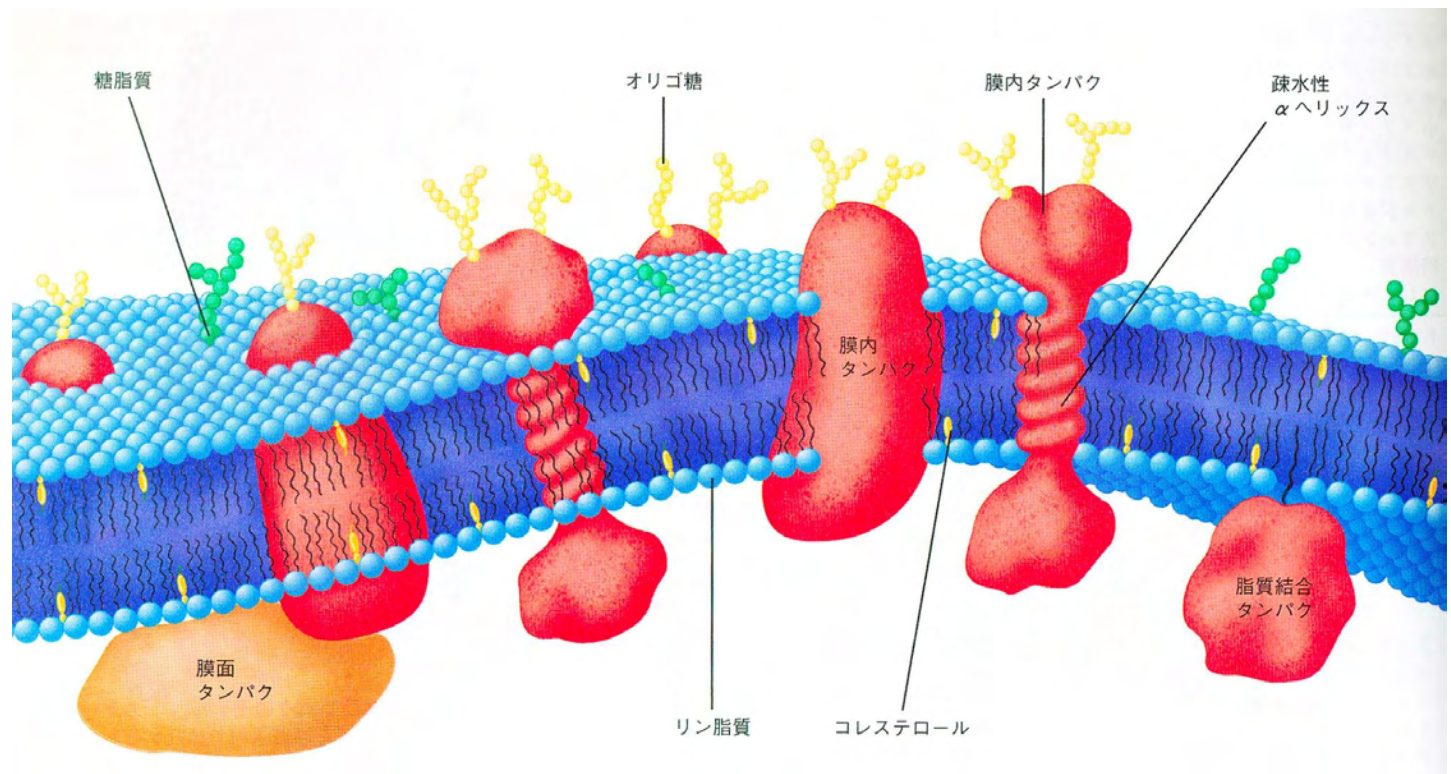
人工膜(リポソーム)の構造

(b)



生体膜の構造

- 外界と隔絶する(別世界)
- 膜上のタンパク質を介して外界と相互作用する
(物質の選択的透過・信号の授受)



生物の営み

—動的な化学過程—

“営み”の目的は？

- 成長（発生）

2個の細胞（卵、精子）から

約1,000,000,000,000,000個の細胞まで（ヒト）

何故、成長するの？

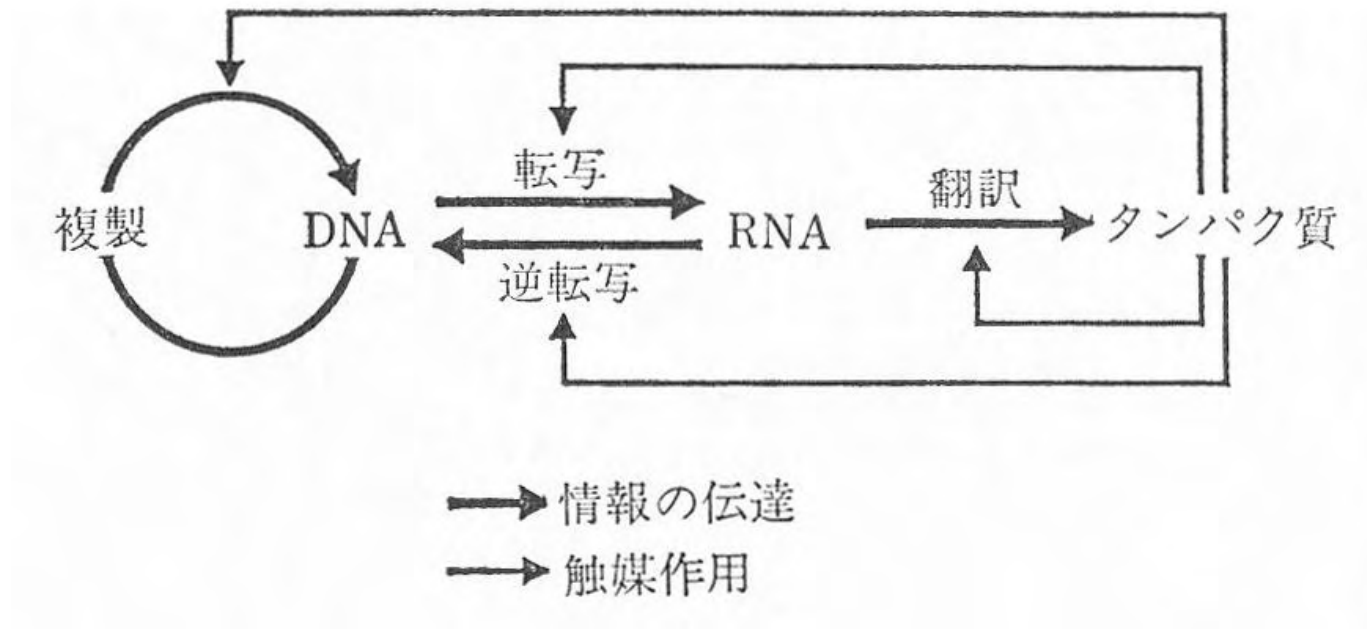
- 増殖

子孫を残す！

全過程は、“エネルギー消費”によって
支えられている！

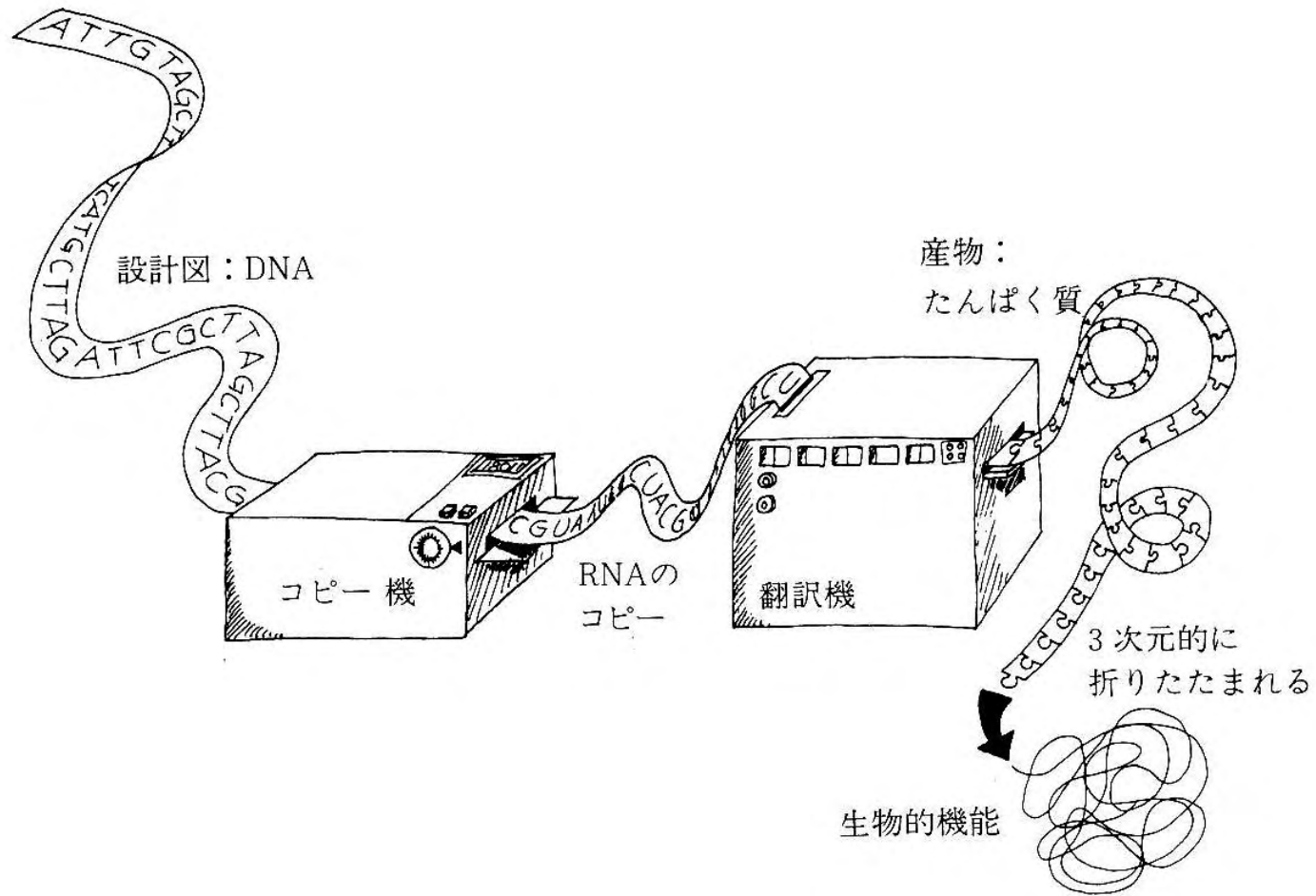
成長(発生)・増殖を支配する仕組み

—内在的情報の発現—



情報分子としてのDNA、RNA
機能(触媒)分子としてのタンパク質！

情報の流れを示す“漫画”(1)



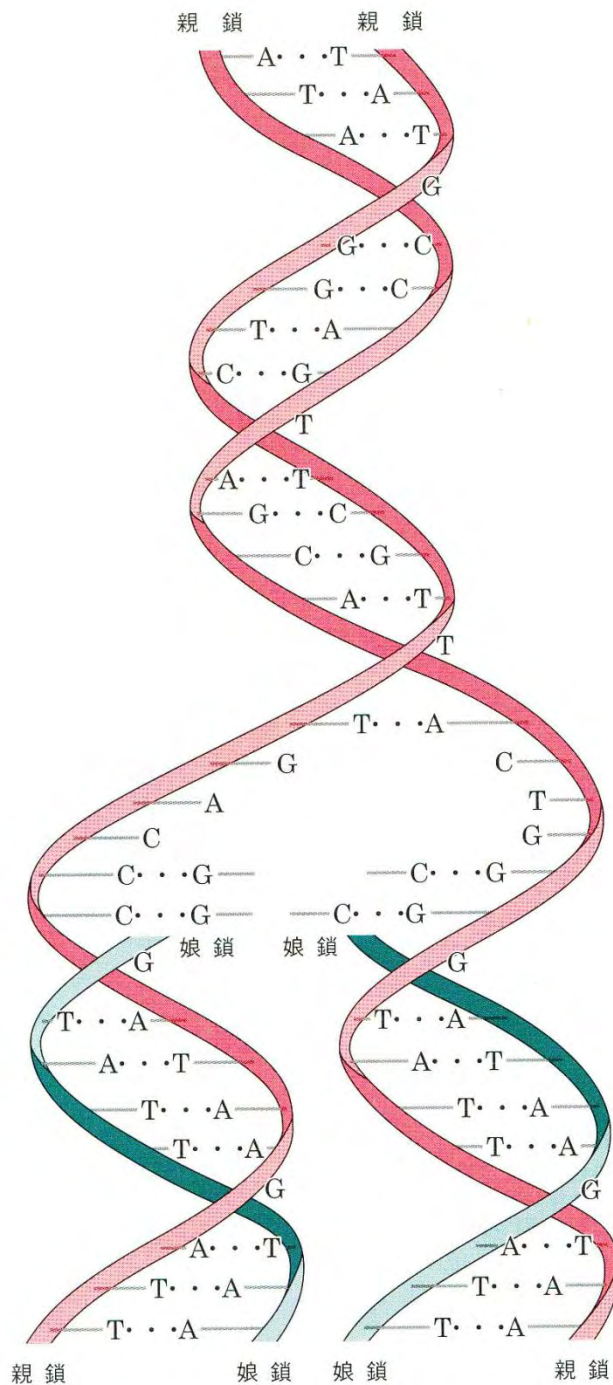
J. ド. ロイネ(菊池訳)1991から

“鍵”となる反応

- DNA依存性DNA合成(複製)
- DNA依存性RNA合成(転写)
- RNA依存性タンパク質合成(翻訳)
- タンパク質が触媒する多彩な化学反応

“増殖”目的を達成するための
秩序だった機能(合目的性)！

DNAの複製 (DNA依存性DNA ポリメラーゼ)



メッセンジャーRNAの情報に基づく 機能タンパク質の合成 — 不思議な仕組み —

- 二つの役者：

- (1) アミノ酸転移RNA (tRNA)

- 三つ組の塩基配列が

- 特定のアミノ酸を指定する！

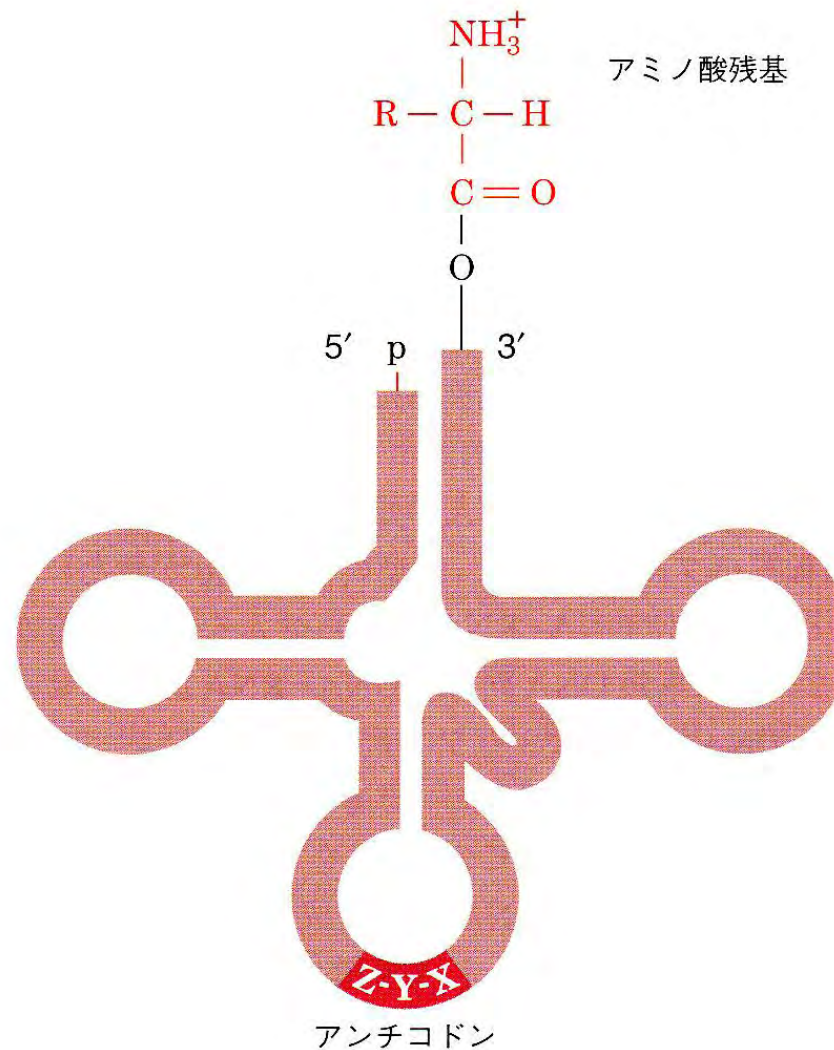
- (2) 翻訳装置 (リボソーム)

- 塩基配列の情報を

- アミノ酸配列に変換する！

アミノ酸転位RNA(1)

—76塩基程度のヌクレオチドで構成—



アミノ酸転移RNA(2)

