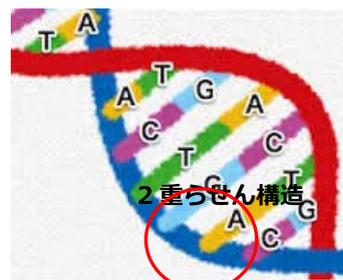


=DNA と遺伝子についてのノート=

● 「DNA」とは何だろう？

- ・ DNAは「デオキシリボースという物質を含む、核の中の、酸性を示す物質」という意味で、「**デオキシリボ核酸**」と名付けられました。英語で書くと、Deoxyribonucleic acid、略して、DNAです。
- ・ DNA は核の中に存在し、ヒトの場合、体細胞1個に46本のDNAがあり、それを全部つなげると2m近くにもなります。
- ・ 実際のDNAは極めて細く、その幅は2nm（1nmは1mmの1000000分の1）、ヒトの髪の毛のおよそ4万分の1の太さしかありません。
- ・ DNAの構造は1953年、ワトソンとクリックによって「二重らせん構造」になっていることが解明されました。

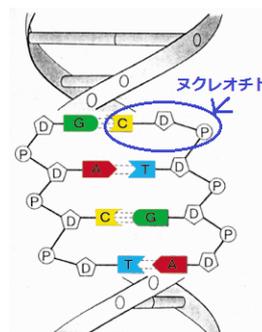
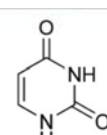
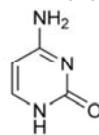
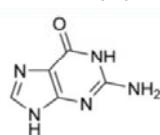
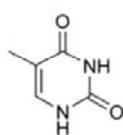
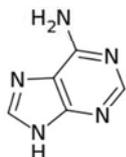
DNAの2重らせん構造



● 「DNA」は何からできている？

- ・ DNAは、たった6種類の物質でつくられています。6種類のうち、4種類は「**塩基**」とよばれる物質で、**アデニン (A)**、**チミン (T)**、**グアニン (G)**、**シトシン (C)** と言います。

アデニン (A) チミン (T) グアニン (G) シトシン (C) ウラシル (U)

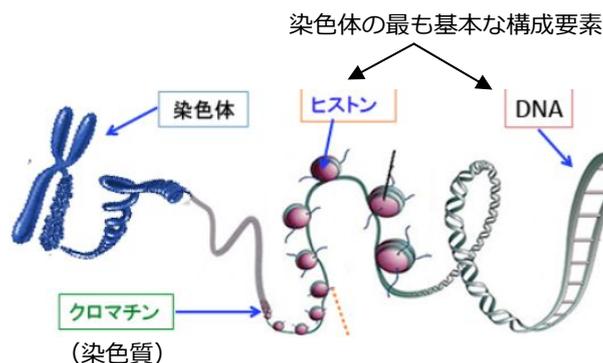


- ・ 残りの2種類は、「**リン酸 (P)**」と「**デオキシリボース (D)**」で「**糖**」の一種です。そして、4種類の「**塩基**」のうちの1つと、「**リン酸**」と「**糖**」が結合したものがDNAやRNAを構成する基本単位となる「**ヌクレオチド**」です。塩基がA T G Cの4種類なので、その塩基が1つずつ入ったヌクレオチドも4種類です。
- ・ DNAは、2つのヌクレオチドの塩基と塩基がつながってできていて、
『**AとT、GとCはつながるが、その他の組み合わせはつながらない**』という規則性があります。つまり、塩基どうしが結合するとき、AとT、GとCが必ずペアになるのです。これを、「**塩基の相補性**」と言います。



● 「染色体」と「DNA」は、どのような関係があるだろうか？

- ・ 細胞の中には核があり、核の中に「**染色体**」があります。染色体は、折りたたまれている部分を伸ばすと、細い糸が何かに巻きついていることがわかります。この細い糸が、「**DNA**」です。
- ・ DNAが巻き付いているのは、**ヒストン**と呼ばれる「**タンパク質**」です。**染色体は、DNAがタンパク質に巻きついたもの**なのです。

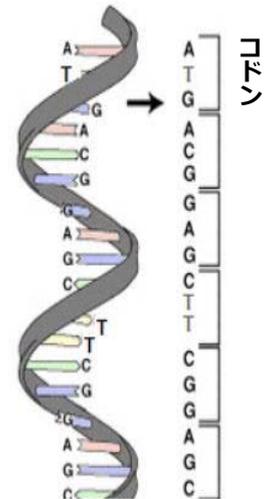


● 「DNA」と「遺伝子」の関係は？

- ・ DNAの1本を引っ張り出してみると、遺伝子はDNAのところどころにあります。つまり、**DNAの一部が遺伝子**なのです。
- ・ 遺伝子の部分を読解すると・・・「背を伸ばす遺伝子」と書かれていたり、別の遺伝子の部分には・・・「二重まぶたの遺伝子」と書かれています。つまり、遺伝子とはそのヒトをつくる設計図のような情報＝遺伝情報が書かれた部分のことです。
- ・ ヒトの場合、タンパク質を決めているDNAの遺伝子部分は全体の1.5%程度で、残りの部分は遺伝子ではありません。そのDNAの遺伝子ではない部分には「DNAのはたらき方を調節する情報」があることがわかってきました。しかし、機能がよくわかっていない部分もまだ多く残っています。

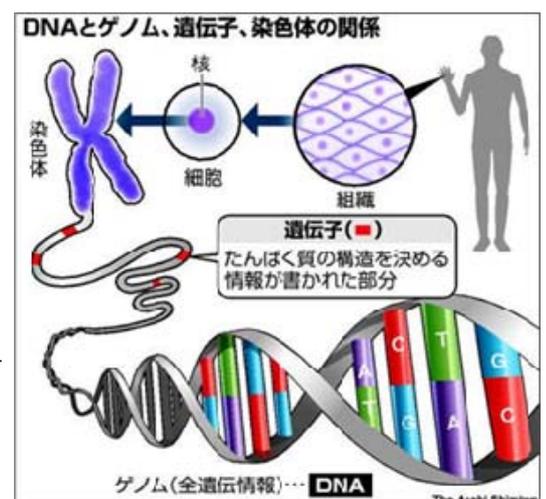
● 「DNA」のどこが遺伝子で、何が設計図なのだろう？

- ・ どこが遺伝子かということは、ヌクレオチドの「塩基」がポイントです。片方のらせんを順番に見ていくと、ATG・・・と並んでいます。この「塩基の並び」を「**塩基配列**」といいます。この**アミノ酸の配列情報が記録された塩基配列が「遺伝子」つまり「生物の設計図」**そのものです。生物は、この「塩基配列」をもとに、体をつくっている様々なタンパク質をつくるのです。
- ・ 長いヒモ状になったDNAの上で、遺伝子は飛び飛びに存在しています。DNA全体に占める遺伝子の割合はそれほど多くなく、人間など哺乳類の場合、その比率は10%以下で、**1つの遺伝子がもつのは1つのタンパク質をつくる情報**だけです。したがって、身体全体でつくられるタンパク質の数も、遺伝子の数に等しい、ということになります。
- ・ DNAが身体的设计図といっても、そこには手足のサイズや、心臓や肝臓の場所といった、構造上の特徴が描かれているわけではありません。DNAに記録されているのは、身体に必要なタンパク質をつくるためのアミノ酸の配列方法。つまり、どのアミノ酸（全部で20種類ある）をどのように並べて、どんなタンパク質をつくるのかということだけです。



● 「ゲノム」とは、何だろう。

- ・ ヒトに限らず、ある生物がもつ遺伝子と、遺伝子ではない部分を全部含めた遺伝情報の全体を「**ゲノム**」といいます。
- ・ 例えば、ヒトのDNAには、**約2万2千個の遺伝子**があるといわれていますが、それ以外、大部分は「**遺伝子でない部分**」です。しかし、遺伝子でない部分も「**必要でない部分**」というわけではありません。遺伝子の調節をしたり、また、これから新しい発見があるかもしれない部分です。だから、遺伝情報としては、遺伝子以外の部分も含めて考える必要があります。
- ・ ヒトの遺伝子数はおよそ2万2千個で、カーネーションの4万3千個より少ないです。しかし、ゲノム全体の情報量で比べればヒトゲノムはカーネーションの5倍もあります。ヒトゲノムには遺伝子ではないですが、遺伝子のはたらき方を調節する部分がたくさんあるので、ヒトはいろいろと複雑な調節をしながら、からだづくりを行うことができるのです。



● 「DNA」の複製とは？

- ・ 生命は、精子と卵が受精してできた「**受精卵**」という、たった1個の細胞から始まります。そして、分裂を繰

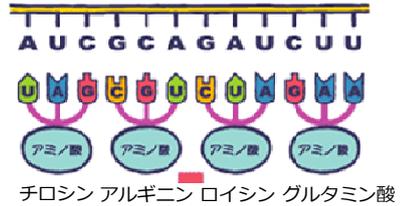
- タンパク質を合成するのは**リボソーム**という細胞の核外にある細胞内小器官です。 mRNA がリボソームに結合すると、材料となるアミノ酸を集める作業がスタートします。トランスファーRNA (tRNA) という別の種類の RNA (RNA は核内にも核外にも存在している) が運んできたアミノ酸は mRNA に結合します。

mRNA がリボソームと結合 → リボソームが mRNA を移動しながらコドンを読み取る

→ コドンに対応する tRNA が、コドンが指定するアミノ酸をリボソーム上に運ぶ

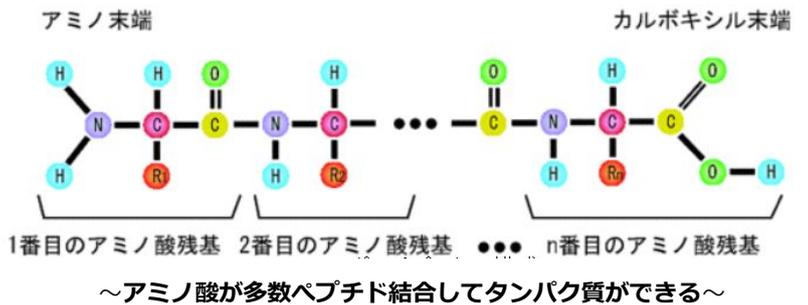
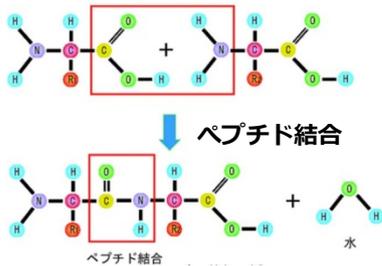
- すべてのタンパク質は 20 種類のアミノ酸のいずれかを 1 列につなげ (ペプチド結合) てつくられます。1 つの塩基が 1 つのアミノ酸に対応しているのだとしたら、4 種類のアミノ酸しか指定できません。4 つの塩基の 2 つの組み合わせでは 16 通りで、これでは数が足りない。しかし **3 つの塩基の**

組み合わせをとるとその数は 64 (重複順列の計算 $4^3 = 4^3$) となり、20 種類のアミノ酸を指定するのに十分です。ところで、余った組み合わせはどうなるのか心配ですが、実はこの組み合わせにはダブリがあり、1 つのアミノ酸に対応する組み合わせが 2 つも 3 つもあったりするので(遺伝暗号表参照)。



- この 3 つの塩基を「**コドン**」と言い、DNA から mRNA に情報を転写する際に 3 つの塩基をひとまとめにしてコード化しているわけです。例えば、GAC または GAT であればアスパラギン酸、GAA または GAG であればグルタミン酸といった具合で、コドンによって指定されたアミノ酸が、コドンの並び順にしたがってつながられていくというわけです。

※タンパク質はアミノ酸のポリマーで、その基本的な構造は 2 つのアミノ酸のカルボキシル基 (-COOH) と別のアミノ酸のアミノ基 (-NH₂) が水分子を 1 つ放出する脱水縮合 (ペプチド結合) を起こして酸アミド結合 (-CO-NH-) を形成することでできる鎖状高分子。



※リボソームはコドンに応じて tRNA が運んでくるアミノ酸を連結させペプチド鎖を作る反応を触媒する。リボソームはリボソーム RNA とリボソームタンパク質の複合体である大小 2 つのサブユニットからなり、小サブユニットには暗号解読センターがあり、mRNA のコドンを 1 つ 1 つ解読して tRNA と結合させる役割をもつ。大サブユニットにはペプチジル転移酵素中心がありペプチド結合の形成に働く。(Wiki)

- mRNA の 3 つの塩基の並び方がどんなアミノ酸を指定するかを並べたものがニールンバーク(episode 参照)らによって完成された**遺伝暗号表**です。

遺伝暗号 塩基の配列(表の左)と、それに対応するアミノ酸(表の右)

UUU } フェニルアラニン	UCU } セリン	UAU } チロシン	UGU } システイン
UUC } フェニルアラニン	UCC } セリン	UAC } チロシン	UGC } システイン
UUA } ロイシン	UCA } セリン	UAA } 終止暗号	UGA } 終止暗号
UUG } ロイシン	UCG } セリン	UAG } 終止暗号	UGG } トリプトファン
CUU } ロイシン	CCU } プロリン	CAU } ヒスチジン	CGU } アルギニン
CUC } ロイシン	CCC } プロリン	CAC } ヒスチジン	CGC } アルギニン
CUA } ロイシン	CCA } プロリン	CAA } グルタミン	CGA } アルギニン
CUG } ロイシン	CCG } プロリン	CAG } グルタミン	CGG } アルギニン
AUU } イソロイシン	ACU } トレオニン	AAU } アスパラギン	AGU } セリン
AUC } イソロイシン	ACC } トレオニン	AAC } アスパラギン	AGC } セリン
AUA } メチオニン	ACA } トレオニン	AAA } リシン	AGA } アルギニン
AUG } メチオニン	ACG } トレオニン	AAG } リシン	AGG } アルギニン
GUU } バリン	GCU } アラニン	GAU } アスパラギン酸	GGU } グリニン
GUC } バリン	GCC } アラニン	GAC } アスパラギン酸	GGC } グリニン
GUA } バリン	GCA } アラニン	GAA } グルタミン酸	GGA } グリニン
GUG } バリン	GCG } アラニン	GAG } グルタミン酸	GGG } グリニン

*四種の塩基 U:ウラシル、C:シトシン、A:アデニン、G:グアニン
*AUGは開始暗号(読み取り始め)としてもはたらく。

※M.W.ニールンバーク(1927-2010) :アメリカ合衆国の生化学者、遺伝学者。遺伝暗号の翻訳とタンパク質合成の研究で、R.W.ホリー、H.G.コラーナとともに1968年度ノーベル生理学・医学賞を受賞。

- ・このように、3つの塩基の並びですべてのアミノ酸を決めることができますが、1つ問題があります。例えば、mRNAの塩基が

-UCAUGUUCGUCAAUCAGUAGC-

と並んでいたとしましょう。3つの塩基で1つのアミノ酸が決められているのですが、これだけでは3つの塩基のまとまりがわかりません。「UCA」の3つで1組なのか、それとも、「CAU」の3つなのか。

実は、メッセンジャーRNAのどこから翻訳をはじめ、どこで翻訳を終わりにするのかを示す塩基の並びがあり、「AUG」という並びが「翻訳の始め」と決まっています。すると、このmRNAでは、

-UC|AUG|UUC|GUC|AAU|CAG|UAG|C-

と区切った3つずつの塩基で、アミノ酸が決まっていることがわかります。そして、「AUG」から3つずつに区切って行って、初めて出てくる「UAG」が「翻訳の終わり」を表します。

- ・こうしてDNA・遺伝子の4種類の塩基の配列で表されていた遺伝情報はRNAを仲介役としてアミノ酸の数珠つなぎであるタンパク質に変換されるわけです。例えば100個のアミノ酸が連結してできたタンパク質は、100個のコドンの並びに従ってアミノ酸が連結しています。

■ episode : 『ニールンバークの時代はタンパク質合成の現場でアミノ酸を実際に結合させる役割を果たしているのがRNAであることは分かっていたが、生きた細胞の中には、無数のRNAがあり、大腸菌のような原始的細胞1つの中にも、RNAは何万、何十万という単位で在る。大腸菌のDNAには三百万塩基対もの遺伝情報が含まれていてその部分、部分が無数のRNAが転写しては動き回っているのである。生きた細胞の中で、塩基配列とアミノ酸配列の対応関係を追っていくなどということとはとてもできない。

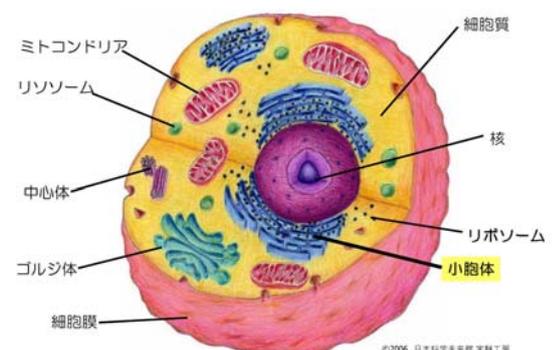
そこでニールンバークはこう考えた。タンパク質合成の最終現場で、特定のRNAが特定のアミノ酸を運んでくるという関係になっているのなら、まず特定の塩基配列を持った特定のRNAを人工的に合成してしまおう。そして、それをいろんなアミノ酸がまぜこぜに沢山入っている溶液の中に入れてやろう。そうすれば、そのtRNAはきっと特定のアミノ酸だけを選び出すにちがいない。そうすれば、RNAの塩基配列とアミノ酸の対応関係が分かるにちがいない。

この戦略は見事に功を奏した。ニールンバークは、まずウラシルだけを結合させたUUUという単純な塩基配列をもつ人工RNAを使ってみた。するとそれは見事にフェニルアラニンというアミノ酸だけを選び出して連結させた。すなわち、UUUの遺伝暗号はフェニルアラニンというアミノ酸に対応していることが分かったのである。』(立花隆・利根川進「精神と物質」文春文庫、1996より)。

★ニールンバークが最初の解読をやったのが1961年で、最近と言えば最近です。それからの分子生物学の進化・進歩は目覚ましいものがありますね！

●タンパク質の配送センター「ゴルジ体」

- ・細胞質内のリボソーム上でつくられたタンパク質は、**ゴルジ体**で行き先が決定されます。タンパク質は、20種類のアミノ酸の並び方によってそのはたらきが決まっています。アミノ酸がある特定の並び方をしていると、それが「宛先」として認識されて、決められた場所へと運ばれてそれぞれの機能を果たしていきます。ちょうど宅配便と同じで、ゴルジ体は配送センターに例えることができます。



●さまざまな細胞はどのようにつくられるのか？

- ・人間は 60 兆頂の細胞からできています。その一つ一つの細胞に長さ 1.8 メートルの DNA が入っており、そこには塩基対にして 30 億個分の遺伝情報が詰め込まれています。そのうち、読みだされる遺伝情報はほんの一部で、大部分は読まれずに眠ったままで終わります。一つ一つの細胞はそのごく一部の情報だけを読み取って形質を発現するわけです。ある細胞は筋肉になり、ある細胞は肝臓になる、筋肉になる細胞には、筋肉になる情報しかなかったという訳ではなく、どの細胞にも髪の毛になる情報も骨になるための情報も、その他もろもろの情報もすべて含まれています。つまり、情報的には、その細胞は何にでもなりうる可能性を持っています。しかし、**筋肉になった細胞は、筋肉になるという情報だけを選択的に読んで筋肉になったのです。**
- ・なぜそうなるのか、なぜ膨大な遺伝情報の中から特定の部分だけが読みだされるのか、なぜほかの部分は読まれないのか。**遺伝子発現の制御。調節メカニズムはどうなっているのでしょうか？**

少し専門的な話になるので、立花隆・利根川進「精神と物質」から引用します。

『ジャコブとモノーが考えた**オペロン説**（フランソワ・ジャコブとジャック・モノーは遺伝子発現調節を説明するオペロン説で 1965 年度ノーベル生理学医学賞を受賞）によると、そのメカニズムはこうなっている。遺伝情報は一つの文章のように、あるまとまりをもって読まれる単位ごとに一つのブロックを形成している。一つのブロックが 1 つのタンパク合成に対応するわけである。ブロックごとに、その文章を読むか読まないかを決めるスイッチのようなものがある。普段はリプレッサー（抑制因子）が働いてスイッチが入らないようになっている。リプレッサーの働きが止まってスイッチが入ると、そのまとまりの部分を読まれ、読まれた遺伝情報通りタンパク合成が始まる。前に述べた mRNA は、このブロックごとに情報を転写して核の外に運び出していくわけである。このタンパク合成を指令する部分の遺伝子は**構造遺伝子**と呼ばれる。どの部分を読むかを決める遺伝子を**調節遺伝子**という。』

■ おまけー

20 種類のアミノ酸の働き (http://www.aminoevidence.com/what_is/what_is02.html)

非必須アミノ酸	
アラニン	肝臓のエネルギー源となり、アルコール代謝の改善をサポート
グルタミン	筋肉や胃腸の正常な働きや免疫カアップ、また肝機能をサポート
グルタミン酸	速効性のあるエネルギー源で、大豆や小麦に含まれる
アルギニン	血管の正常な機能や免疫カアップをサポート
アスパラギン酸	速効性のあるエネルギー源で、アスパラガスに多く含まれる
アスパラギン	エネルギーの生産をサポート
システイン	皮膚のメラニン色素の生産を抑える
プロリン	皮膚を構成するコラーゲンの主原料で、天然保湿成分に必要なアミノ酸
グリシン	血色素成分の生産をサポート
セリン	リン脂質やグリセリン酸生産の原
チロシン	抗ストレス作用
必須アミノ酸	
バリン	体のタンパク質を作る能力と肝機能をアップさせる
ロイシン	体のタンパク質を作る能力と肝機能をアップさせる
イソロイシン	体のタンパク質を作る能力と肝機能をアップさせる
メチオニン	肝機能をサポート
フェニルアラニン	気持ちを落ち着かせる
トリプトファン	セロトニン生産をサポート
ヒスチジン	副交感神経を鎮静させ、貧血改善をサポート
スレオニン	肝機能をサポート
リジン	カルシウムの吸収を促進

参考文献

- 1)「新ひとりで学べる生物 I B・II」 清水書院 (1999)
 - 2)「NHK 高校講座 生物基礎」 <https://www.nhk.or.jp/kokokoza/tv/seibutsukiso/index.html>
 - 3)立花隆・利根川進「精神と物質」文春文庫(1996)
 - 4)野田晴彦・日高敏隆・丸山工作 「BLUE BACKS 新しい生物学第 3 版」 講談社(2001)
- ※引用した図はネットから借用しました。改めて御礼申し上げます。

2016.10 by KENZOU