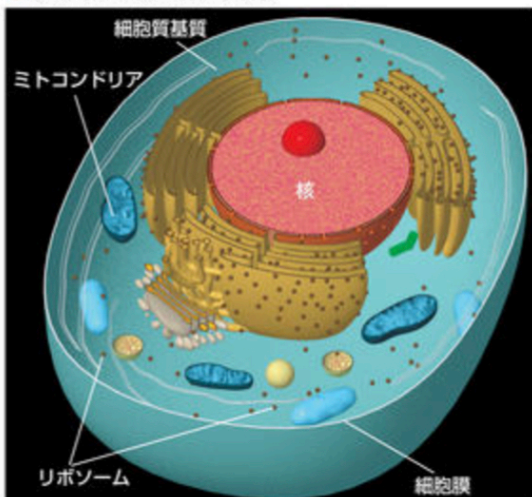


# 8 核酸 基化

## A 細胞の構造 cell

生物の基本構造である細胞には、生命活動を行うのに必要な様々な構造が存在する。細胞を構成する物質は、タンパク質・脂質・糖類・核酸などの有機化合物と、水などの無機化合物である。

### ● 典型的な細胞の構造(動物)



### ● 細胞内のおもな構造

構造	特徴
核	DNAを含む
細胞膜	リン脂質を主成分とする膜
細胞質基質	様々な酵素を含む
ミトコンドリア	呼吸に関与
リボソーム	タンパク質合成の場

### ● 典型的な細胞の化学組成

物質	特徴とはたらきなど	細胞内の組成
水	溶媒、化学反応の場	70%
タンパク質	酵素・ホルモンなどの成分	16.5%
糖類	エネルギー源	3.5%
脂質	エネルギー源、細胞膜などの成分	6.0%
核酸	遺伝子の本体、タンパク質合成に関与	1.3%

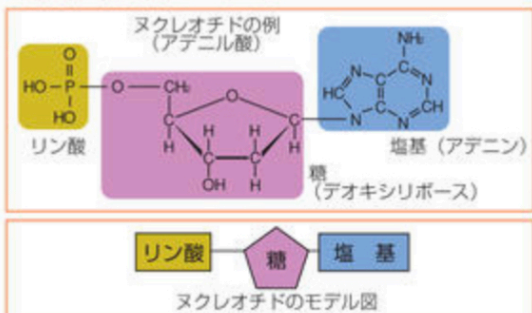
### ● 核酸の種類とはたらき

構造	細胞内で存在する場所	はたらき	構造
DNA	おもに核内	遺伝子の本体	二重らせん構造
RNA	核内、細胞質基質、リボソームなど	タンパク質の合成に重要な役割をする	単一鎖

## B 核酸 nucleic acid

核酸はリン酸・糖・塩基からなるヌクレオチドが直鎖状につながった重合体である。

### ● 核酸の単量体(ヌクレオチド)



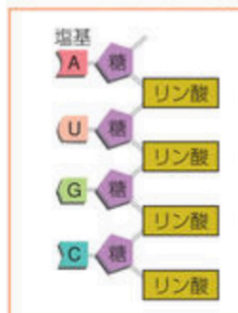
核酸には、細胞の設計図として存在するDNAと、その設計図に基づいてタンパク質をつくるRNAとがある。いずれもヌクレオチドが数千個から数十万個重合したものである。

DNAとRNAの違いは糖(五炭糖)と塩基の組合せによる。

### ● DNAのヌクレオチド鎖



### ● RNAのヌクレオチド鎖

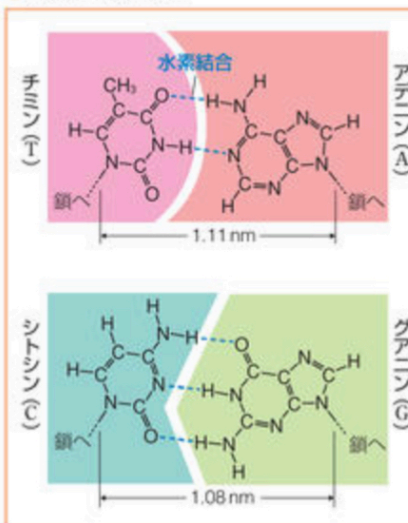


### ● DNAとRNAのヌクレオチドの構成

	リン酸	糖(五炭糖)	固有の塩基		共通の塩基	
			ピリミジン塩基	ピリミジン塩基	ピリミジン塩基	プリン塩基
DNA	HO-P-OH HO	<chem>C1OC(CO)C(O)C1O</chem> デオキシリボース $C_5H_{10}O_4$	<chem>CC1=CN(C(=O)NC1=O)</chem> チミン (T) <b>T</b>	<chem>NC1=NC=CC(=O)N1</chem> シトシン (C) <b>C</b>	<chem>NC1=NC=NC2=C1N=CN2</chem> アデニン (A) <b>A</b>	<chem>NC1=NC2=C(N=CN2)C(=O)N1</chem> グアニン (G) <b>G</b>
RNA			<chem>C1OC(O)C(O)C1O</chem> リボース $C_5H_{10}O_5$	<chem>C1=NC(=O)NC(=O)N1</chem> ウラシル (U) <b>U</b>		

塩基には、アデニンやグアニンのようにN原子を含む2つの環状構造があるプリン塩基と、シトシン・チミン・ウラシルのようにN原子を含む環状構造が1つだけのピリミジン塩基とがある。

### ● 塩基どうしの結合

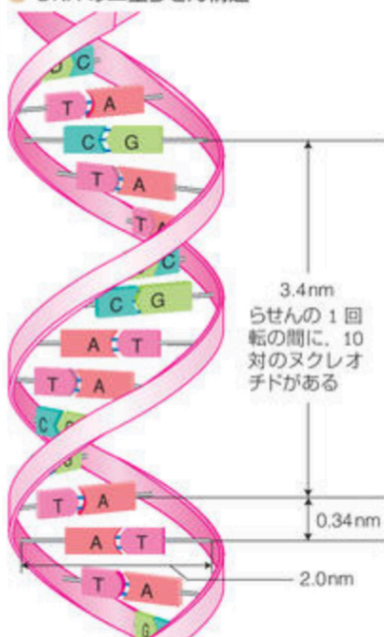




## C 核酸のはたらき

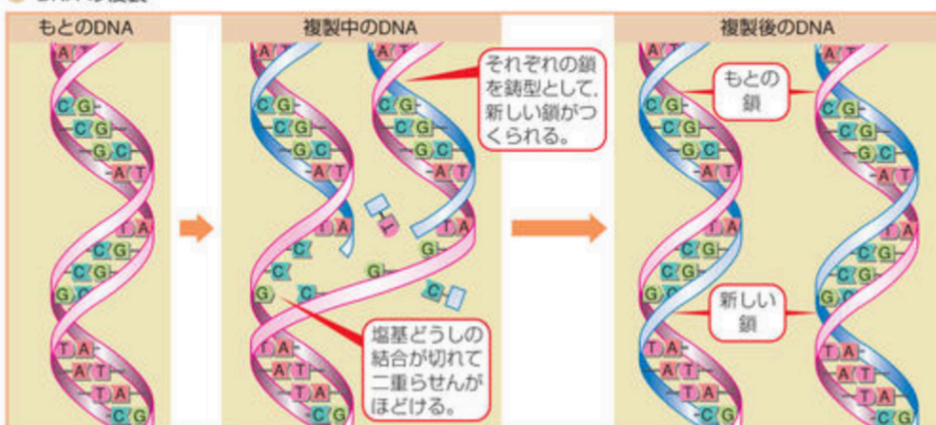
核酸は遺伝情報を子孫に伝えたり、タンパク質を合成したりするときに重要な役割をする。

### ● DNA の二重らせん構造

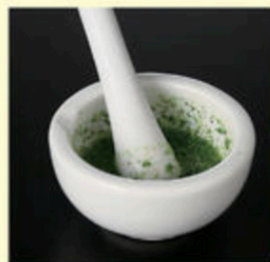


1本のヌクレオチド鎖の塩基と、もう1本のヌクレオチド鎖の塩基が、水素結合で結ばれて二重らせん構造を形成している。塩基がどのような順序で並ぶかにより、遺伝情報が決められ、RNAに伝えられる。

### ● DNA の複製



### DNA の抽出



ブロッコリーの花芽を乳鉢ですりつぶし、中性洗剤と食塩を加える。



ガーゼを重ねたもので、ろ過する。

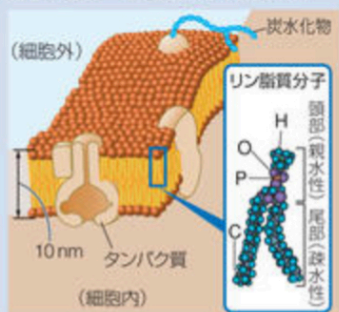


ろ液に冷却したエタノールを静かに加えて少し放置すると、白色のDNAを抽出できる。

## Column

### 細胞膜の構造

生物の細胞膜 (p.224 細胞の構造) は、リン脂質を主成分とした膜で構成されている。リン脂質分子は、リン酸を含む親水性の部分に対し、長い炭化水素基(疎水性)の鎖が2本つながった構造をしている。このためリン脂質を水に加えると、親水性の部分を外側に向け疎水性の部分の内側に向けて二重層状の小胞を形成しやすい。細胞膜もこのような層状構造をしており、脂質二重膜とよばれている。



### ● タンパク質合成のしくみ

DNA (遺伝情報)

結合がほどける

塩基が結合する

①

核

細胞質基質

②

③

④

リボソーム (タンパク質合成の場)

ペプチド結合

プロリン

グルタミン酸

グルタミン酸

アミノ酸

転移RNA

リシン

① DNAの遺伝情報が、伝令RNAに写し取られる。(①を転写という。)

② 伝令RNAが核から出て、リボソームに近づく。

③ 伝令RNAの塩基配列に対応した転移RNAが、特定のアミノ酸を運んでくる。

④ アミノ酸どうしがペプチド結合で結合し、タンパク質が合成される。(④を翻訳という。)



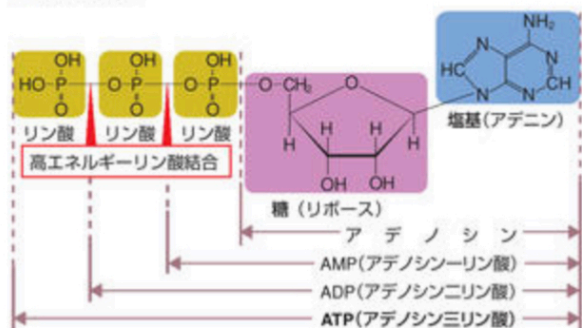
# 9 ATP・生体内の化学反応 [ 基 化 ]

## A ATP(アデノシン三リン酸)

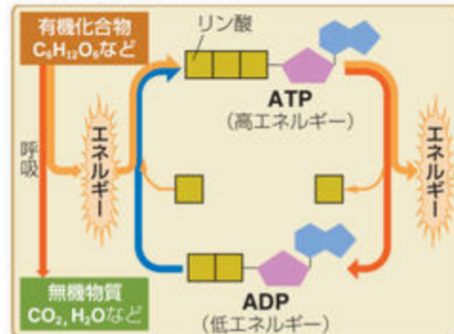
adenosine triphosphate

ATPは「エネルギーの通貨」とよばれている化学物質である。すべての生物において、生命活動を営む際に必要なエネルギーのやりとりには、ATPが用いられる。

### ● ATPの構造



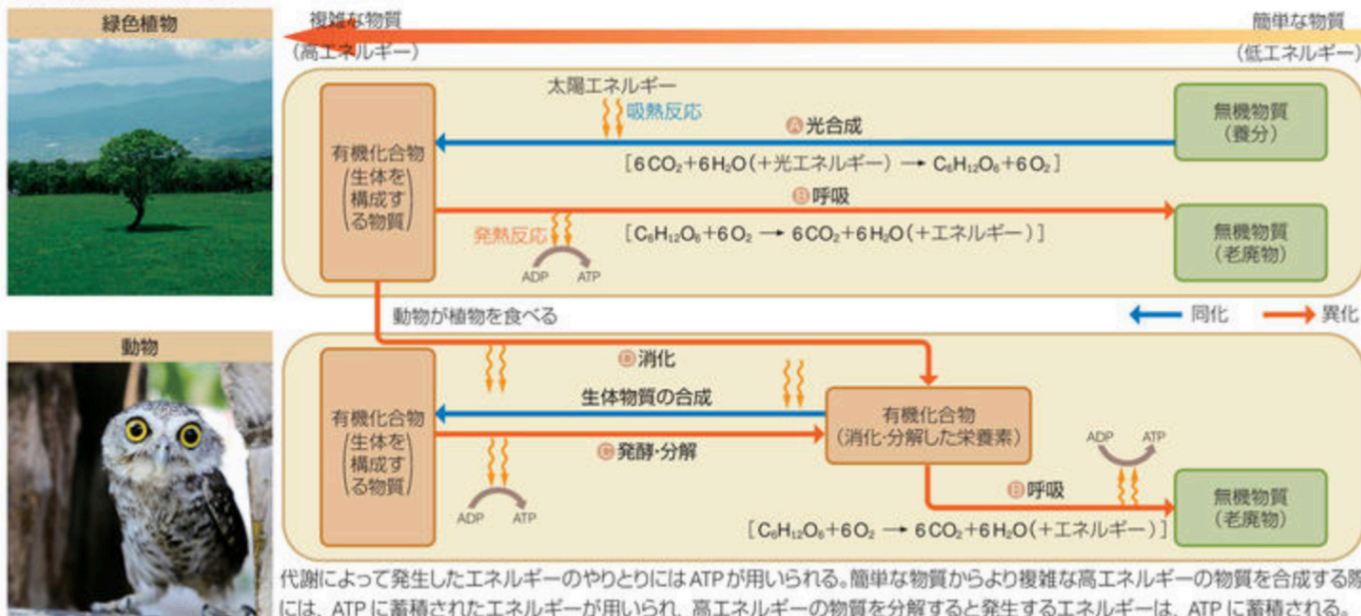
### ● ATPのはたらき



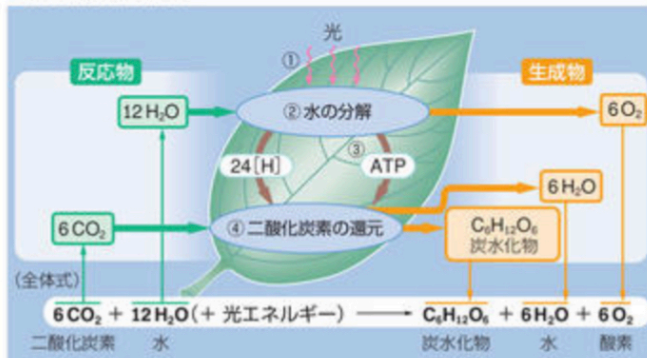
## B 生体内の化学反応

生体内で進行する化学反応を代謝という。代謝のうち、簡単な物質を原料として複雑な物質を合成する反応を同化といい、逆に、複雑な物質を簡単な物質に分解する反応を異化という。

### ● 代謝(同化・異化)の流れ

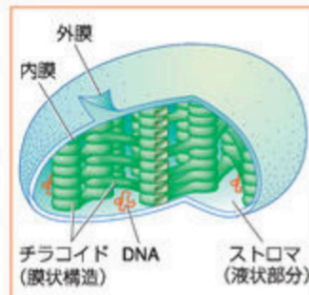


### ① 光合成(炭酸同化)



緑色植物の葉緑体では、光エネルギーを用いてH<sub>2</sub>OとCO<sub>2</sub>からさまざまな糖類(炭水化物)が合成される。これを光合成(または炭酸同化)という。

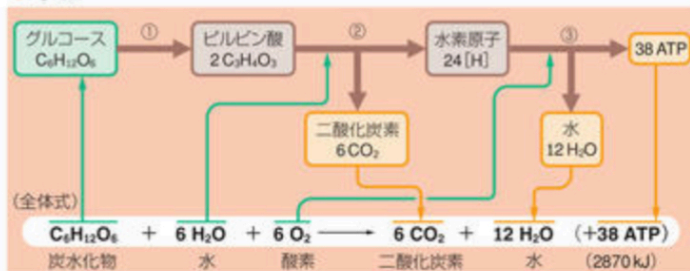
### ● 葉緑体



光合成の場である。緑色植物の葉の細胞などに多く存在する。チラコイドには、光合成色素であるクロロフィルが含まれる。

①	クロロフィルが光エネルギーを吸収し、活性化される。
②	①のエネルギーを用いて水が分解され、O <sub>2</sub> が発生する。 12H <sub>2</sub> O → 6O <sub>2</sub> + 24[H]
③	①②の過程で、発生したエネルギーによってATPが合成される。
④	②の[H]と③のATPを用いてCO <sub>2</sub> が還元され、炭水化物が生成する。 6CO <sub>2</sub> + 24[H] → C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> + 6H <sub>2</sub> O
合計	①~④をまとめると、 6CO <sub>2</sub> + 6H <sub>2</sub> O (+光エネルギー) → C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> + 6O <sub>2</sub>

## B 呼吸

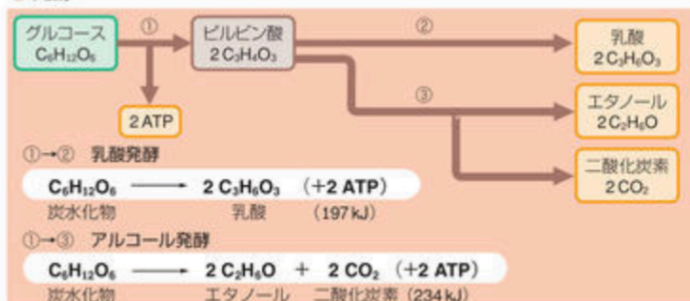


生物が生命を維持するために必要なエネルギーを、グルコースなどの炭水化物の分解によって得る機構を、呼吸という。呼吸は、酸素が存在する条件下で行われ、炭水化物が完全に分解されて二酸化炭素と水が生成する。

①	1分子のグルコースが2分子のピルビン酸に分解される。 4[H]がとれ、2ATPが生成する。 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 4[H] + 2ATP$
②	①のピルビン酸(2C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub> )と6H <sub>2</sub> Oが6CO <sub>2</sub> と20[H]に完全に分解される。2ATPが生成する。 $2C_3H_4O_3 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 20[H] + 2ATP$
③	①②で生じた24[H]が最終的に酸素と結合して水になる。 最大34ATPが生成する。 $24[H] + 6O_2 \rightarrow 12H_2O + 34ATP$
合計	①～③をまとめると、 $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$

※ここで示したATPの数は最大値である。

## C 発酵

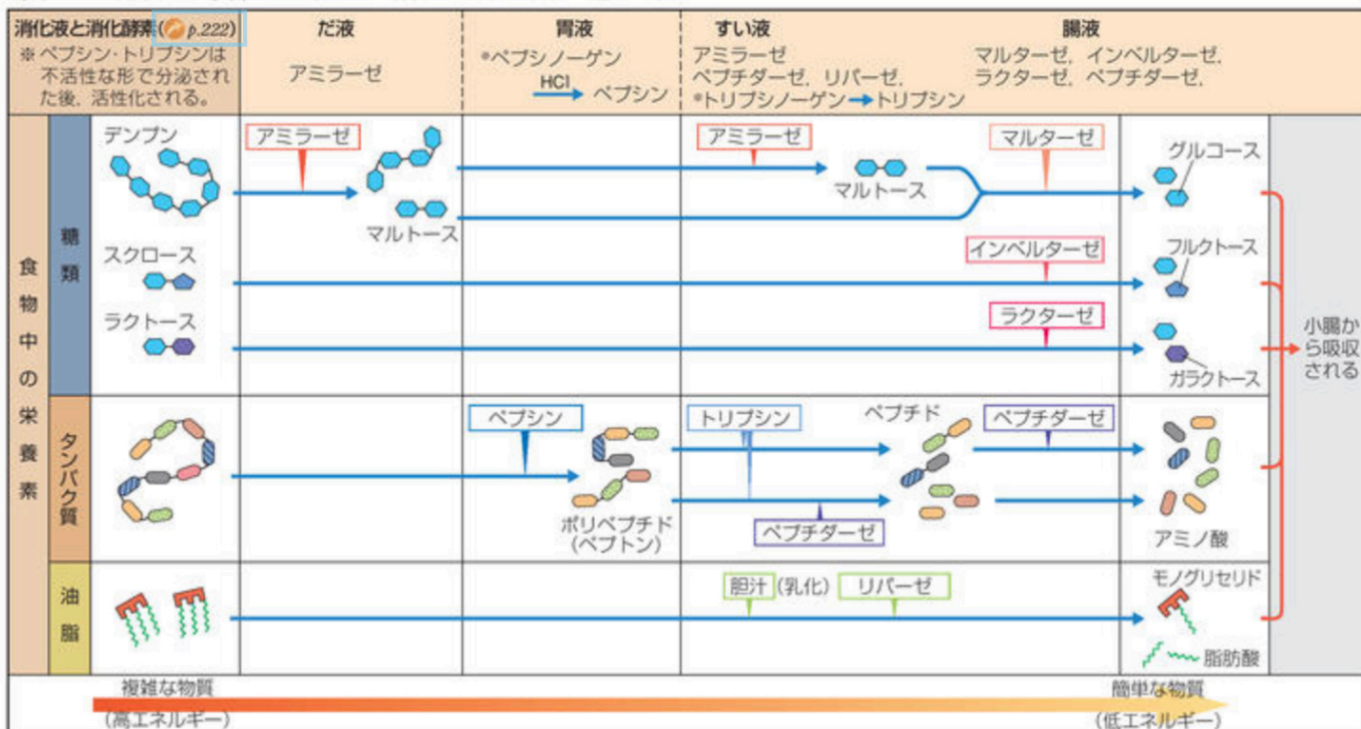


酸素のない条件下でも炭水化物を分解してATPを合成できるような反応を発酵という。発酵では、炭水化物が完全に分解されず、乳酸やエタノールなどが生成するため、生じるATPは呼吸よりも少なくなる。

①	呼吸の①と共通の反応。4[H]がとれ、2ATPが生成する。 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 4[H] + 2ATP$
②	①のピルビン酸(2C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub> )が還元されて、2分子の乳酸が生じる。 乳酸菌などにより起こる反応。 $2C_3H_4O_3 + 4[H] \rightarrow 2C_3H_6O_3$
③	①のピルビン酸(2C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub> )からCO <sub>2</sub> がとれ、さらに還元されて、2分子のエタノールが生成する。酵母菌などにより起こる反応。 $2C_3H_4O_3 + 4[H] \rightarrow 2C_2H_5O + 2CO_2$
合計	乳酸発酵：①②をまとめると、 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2ATP$
合計	アルコール発酵：①③をまとめると、 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5O + 2CO_2 + 2ATP$

## D 消化

動物が、食物に含まれる複雑な有機化合物を簡単な物質に分解する反応を、消化という。消化ではおもに加水分解酵素が触媒としてはたらいている。動物の体内では、いろいろな器官から消化に関わる酵素(消化酵素)が含まれる液が分泌されている。消化された栄養素は、小腸から血液などに吸収されて体の各部に運ばれる。



4 発酵のほか、深海に生息しているシロウリガイ(軟体動物)のように、深海底から湧出する熱水や硫化水素からエネルギーを得ている生物も存在します。



5 次の文章を読み、下の問1～3に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 5〕

核酸のDNAを構成するヌクレオチドは、図1に示すように、糖の一種であるβ-2-デオキシリボースの炭素にリン酸と塩基が結合した構造である。この塩基には、アデニン（記号A）、グアニン（記号G）、シトシン（記号C）、チミン（記号T）の4種類がある。

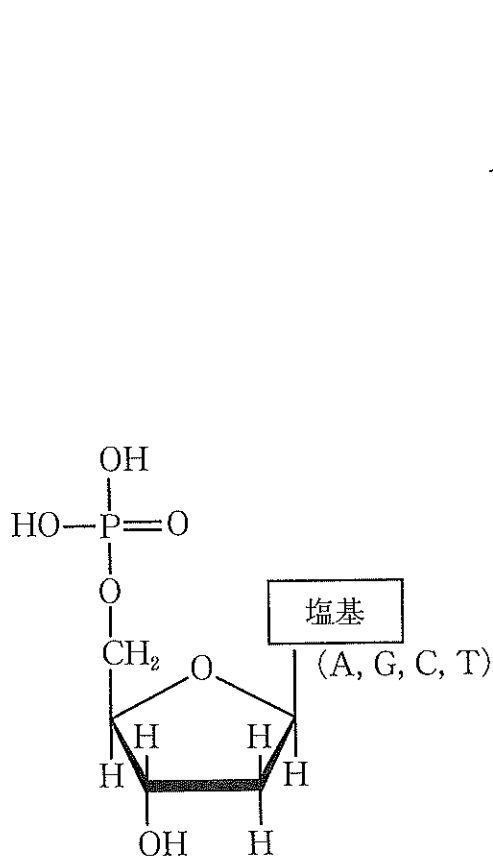


図1 DNAのヌクレオチド

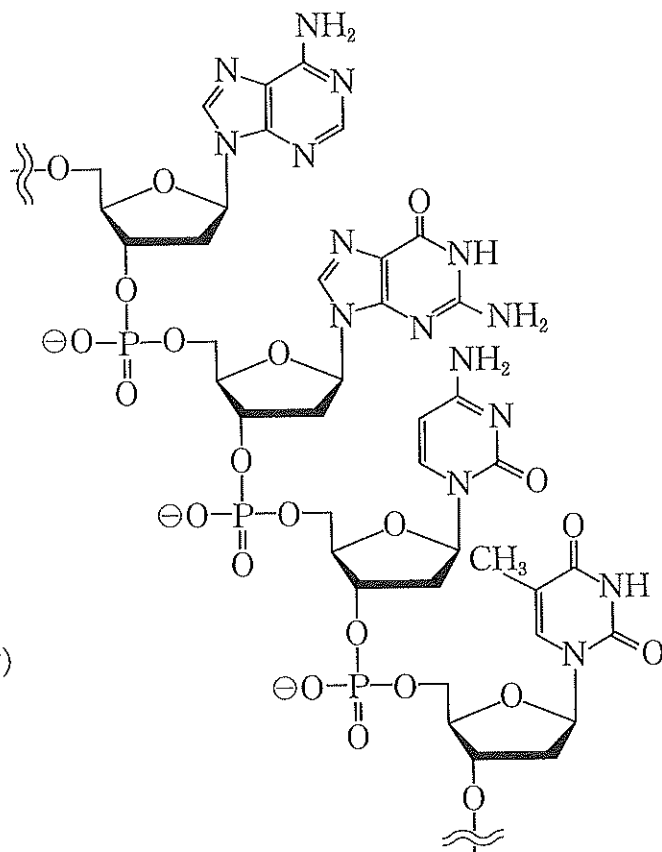


図2 DNAの構造  
(塩基は上から順にA, G, C, T)

DNAはこれらのヌクレオチドが縮合重合した構造のポリヌクレオチドである(図2)。DNAは通常、二本のDNA鎖が向き合うとともにAとT、あるいは、CとGがそれぞれ水素結合により塩基対を形成して強固な二本鎖となる。つまり、AとTの塩基対は2本の水素結合によって安定化される。同様に、CとGの塩基対は3本の水素結合によって安定化される(図3)。さらに、この二本鎖DNAは二重らせん構造をとっている。DNAが複製されるときは、二本鎖がほどけ、一方の鎖の塩基に対して、対となる塩基をもつ鎖(他方の鎖と同一のもの)が合成される。

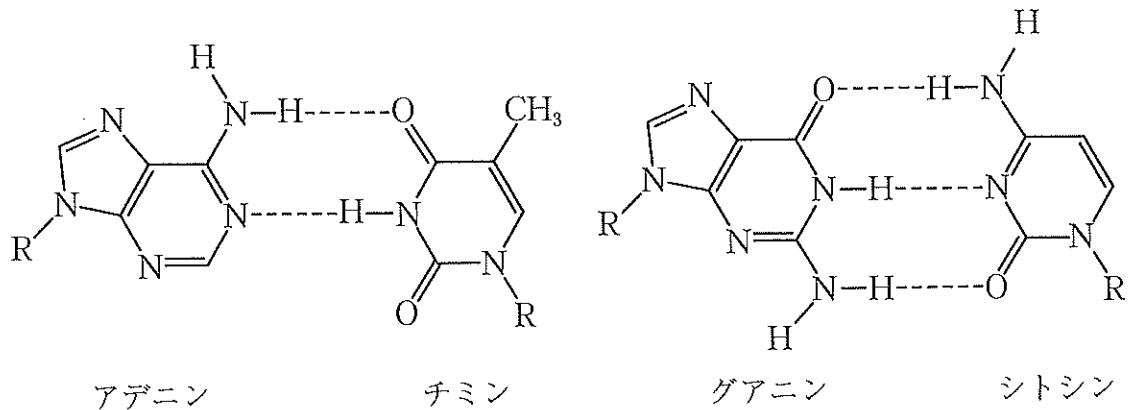


図3 水素結合による塩基対の形成 (Rは糖鎖を表す)

また、RNAは一本鎖のポリヌクレオチドであるが、RNAを構成する塩基はアデニン(記号A)、グアニン(記号G)、シトシン(記号C)、ウラシル(記号U)の4種類であり、塩基対を形成するときには、AとU、CとGがそれぞれ水素結合によって対をつくる。

問1 ある二本鎖DNAは100塩基対からなり、全塩基のうちアデニン(A)の割合が29%であった。次の(1)、(2)の間に答えなさい。

(1) この二本鎖DNAにおいて、グアニン(G)の割合[%]として最も適切な数値を次の①~⑧のうちから一つ選びなさい。  %

- |      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| ① 13 | ② 21 | ③ 23 | ④ 29 |
| ⑤ 42 | ⑥ 50 | ⑦ 71 | ⑧ 79 |

(2) この二本鎖DNAにおいて、水素結合の総数として最も適切な数値を、次の①~⑩のうちから一つ選びなさい。  本

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| ① 121 | ② 123 | ③ 125 | ④ 127 | ⑤ 129 |
| ⑥ 242 | ⑦ 246 | ⑧ 250 | ⑨ 254 | ⑩ 258 |

問2 次の文章を読み、下の(1)、(2)に答えなさい。

図4のように、炭素間二重結合  $C=C$  を有する炭素原子にヒドロキシ基が結合した構造は、水素原子の結合位置が変わることで、カルボニル基をもつ構造と相互変換する。この関係において、ヒドロキシ基をもつ形をエノール形、カルボニル基をもつ形をケト形といい、常温ではケト形が安定である。

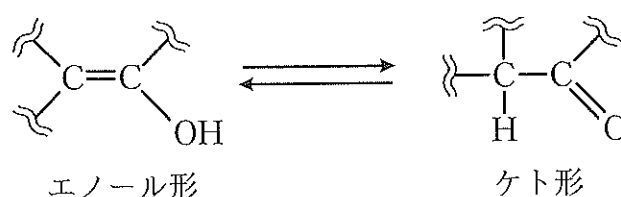


図4 エノール形とケト形の相互変換

アデニンを塩酸酸性の亜硝酸ナトリウム水溶液に加えると、アデニンのアミノ基はヒドロキシ基に変換されるが、ただちに相互変換して、対応するケト形の化合物に変化する。これを脱アミノ化という。

脱アミノ化は細胞内でもごくまれに起こり、中でも、シトシンはウラシルに変化することが知られている。この変化したDNAを鋳型として複製が生じるとすると、ポリヌクレオチドの該当部分で、アではなくイが挿入されることから、遺伝情報に変化する。しかし、健康な細胞内では酵素の働きにより修復される。

また、生化学の分野では、人為的に遺伝子変異を起こすために、化学的手法を用いる。図5は、変異誘発化合物（化合物Xとする）が糖に結合した構造を表す。この化合物は、ケト形とエノール形が常温で同程度に安定である。そのため、このDNAが複製されると、ポリヌクレオチドの該当部分（図5の[ ]の部分）で、化合物Xがケト形の場合はウと塩基対となるが、エノール形の場合は、エと塩基対となる。そのため、該当箇所の塩基が変化し、遺伝子変異が進行する可能性がある。

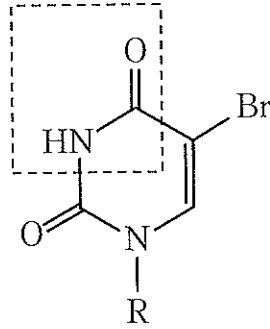


図5 変異誘発化合物 X が糖に結合した構造 (R は糖鎖を表す)

- (1) 文中の ア, イ に入る塩基の組合せとして最も適切なものを、次の①～⑨のうちから一つ選びなさい。 3

	ア	イ
①	アデニン	グアニン
②	アデニン	シトシン
③	アデニン	チミン
④	グアニン	アデニン
⑤	グアニン	シトシン
⑥	グアニン	チミン
⑦	チミン	アデニン
⑧	チミン	グアニン
⑨	チミン	シトシン

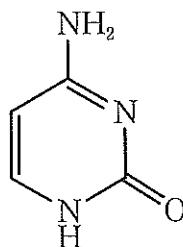


(2) 文中の **ウ**, **エ** に入る塩基の組合せとして最も適切なものを, 次の①～⑨のうちから一つ選びなさい。 **4**

	<b>ウ</b>	<b>エ</b>
①	アデニン	グアニン
②	アデニン	シトシン
③	アデニン	チミン
④	グアニン	アデニン
⑤	グアニン	シトシン
⑥	グアニン	チミン
⑦	チミン	アデニン
⑧	チミン	グアニン
⑨	チミン	シトシン

問3 次の図はシトシンの構造式である。シトシンの脱アミノ化によって得られるウラシルの分子量として最も適切な数値を, 下の①～⑧のうちから一つ選びなさい。

**5**



- ① 108      ② 109      ③ 110      ④ 111  
 ⑤ 112      ⑥ 113      ⑦ 114      ⑧ 115

次の(a), (b)について、問1～問8に答えよ。解答はそれぞれ所定の解答欄に記入せよ。

(a) 化学物質による遺伝子の突然変異誘発について考えよう。

1953年、ワトソンとクリックはDNAの二重らせん構造モデルを示した。本モデルでは、図1に示すプリン塩基とピリミジン塩基が、水素結合を介して塩基対を形成している。プリン塩基の  位とピリミジン塩基の  位で直接形成される水素結合と、プリン塩基の  位とピリミジン塩基の  位の置換基間で形成される水素結合は、2組の塩基対のどちらにも存在する。

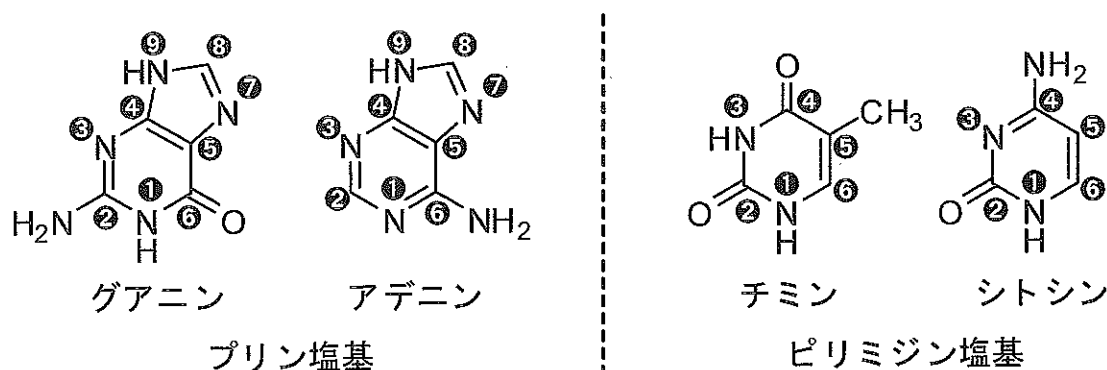
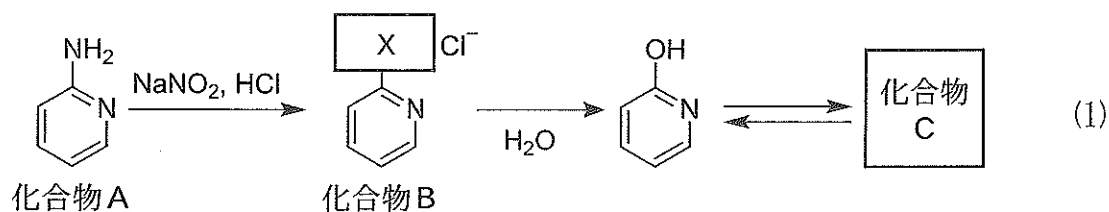


図1

(図中の白抜きの数字は炭素原子もしくは窒素原子につけた番号で、1位、2位などと呼ぶ)

問1  ~  に適切な数字を記入せよ。

亜硝酸ナトリウム ( $\text{NaNO}_2$ ) は、肉の発色や細菌繁殖の防止のための食品添加物として用いられている。しかしながら、これを大量に摂取すると核酸塩基の脱アミノ化反応などが引き起こされ、毒性や発がん性を示すことが知られている。例えば式(1)の化合物 A は、塩酸中で亜硝酸ナトリウムと反応し、化合物 B となる。この化合物を加水分解すると、最終的にアミド結合を有する化合物 C となる。



この脱アミノ化反応が DNA 中のシトシンで起こった場合、生成物の塩基部位は速やかに生体内のある修復酵素により除去される。一方、シトシンの 5 位にメチル基 ( $-\text{CH}_3$ ) が導入された 5-メチルシトシン で同様の脱アミノ化反応が起こった場合、この修復酵素では除去の対象とならず、異なる遺伝情報をもたらす塩基配列となる。これは、突然変異誘発の原因となり得る。

問 2 式(1)の X に入る原子または原子団を化学式で答えよ。

問 3 化合物 C の構造式を記せ。

問 4 下線部の反応で生成した化合物の名称を記せ。



タバコの煙に含まれるベンゾ[*a*]ピレンは、生体内で酵素反応により酸化物となり、DNA 中のグアニンと結合する。このような化学物質の核酸塩基への結合は DNA の化学修飾と呼ばれ、突然変異誘発の原因となり得る。

問 5 以下の(i), (ii)に答えよ。

- (i) ある細胞の DNA では、全塩基数に対するアデニンの数の比率が 10 % であった。この DNA のヌクレオチド単位の式量の平均値を有効数字 3 けたで答えよ。

なお、DNA 中には 4 種類の核酸塩基のみ存在し、各核酸塩基を含むヌクレオチド単位の式量は、アデニン：310、グアニン：330、シトシン：290、チミン：300 とする。

- (ii) あるタバコ 1 本を燃焼させたときの煙に含まれるベンゾ[*a*]ピレン(分子量 252)の総量は  $1.134 \times 10^{-7} \text{ g}$  であった。ベンゾ[*a*]ピレンの酸化物が(i)の細胞の DNA 中に存在する全てのグアニンと結合すると仮定したとき、このタバコ 1 本で細胞何個分の DNA を化学修飾できるか、有効数字 3 けたで答えよ。導出過程も記せ。

なお、1 mol のベンゾ[*a*]ピレンは 1 mol の酸化物となり、グアニン 1 mol と結合するものとし、また、(i)の細胞 1 個に含まれる DNA の重量は  $3.40 \times 10^{-12} \text{ g}$  とする。