

# 第3講

# エネルギーと代謝

## 基礎学習

生物の体内での物質の変化とそれにもなう物質の出入りを代謝という。代謝における化学反応にはそれぞれ酵素がはたらき、代謝がスムーズに行われるように調節している。

### 1 代謝とは何か

生体内で行われる、物質を合成したり分解したりする化学反応の全体をまとめて代謝という。

#### ●同化

外から取り入れた物質を、生物が細胞内でからだをつくる物質や生命活動を進める物質に合成すること。

外から取り入れた簡単な物質 → からだをつくったり、生命活動を進めたりする複雑な物質

#### ●異化

からだをつくる物質(有機物)を、より簡単な物質に分解すること。

からだをつくる有機物 → より簡単な物質

### 2 代謝にもなうエネルギーの出入り

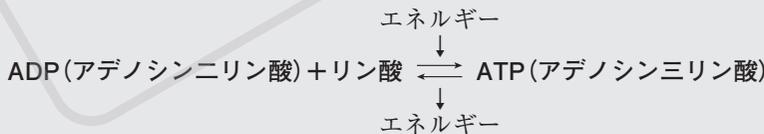
代謝を、エネルギーの出入りやエネルギーの変換の面でとらえたものを、エネルギー代謝という。

#### ●同化・異化のエネルギー代謝

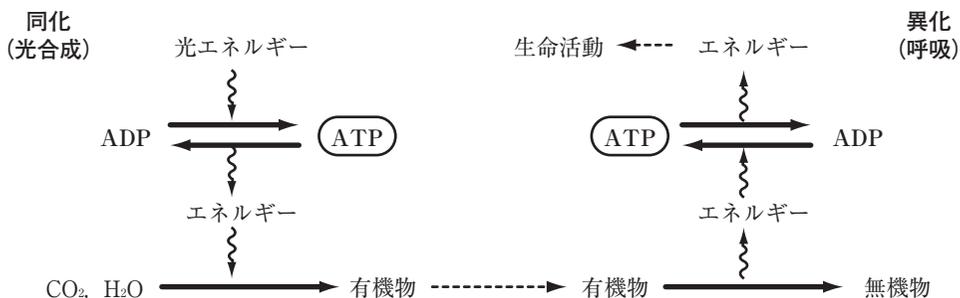
同化…エネルギー吸収反応 光合成の場合は、光エネルギーを吸収して行われる。  
異化…エネルギー放出反応 ここで放出されたエネルギーで生命活動を行う。

#### ●ATP(アデノシン三リン酸)

代謝において、エネルギーの受け渡しに関係する物質(エネルギーの通貨の役割)。

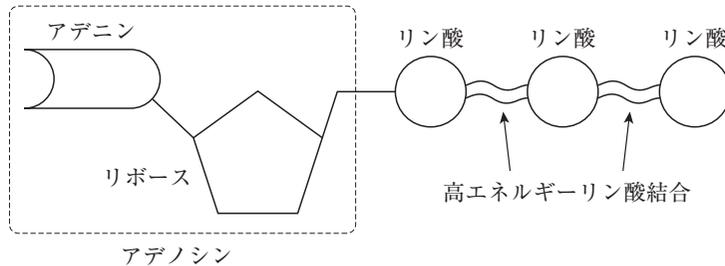


ATP や ADP における、リン酸とリン酸の結合 = 高エネルギーリン酸結合  
同化と異化をまとめると下のようになる。



### 3 ATPの構造

ATP(アデノシン三リン酸)は塩基のアデニンと糖のリボースからなるアデノシンと、3分子のリン酸が結合した化合物である。ATPからリン酸が1つ外れたものはADP(アデノシン二リン酸)とよばれる。リン酸どうしの高エネルギーリン酸結合とよばれる結合にエネルギーが貯蔵される。



### 4 酵素のはたらき

生体内に存在するタンパク質のうちのあるものは、化学反応の活性化エネルギーを低下させ、反応速度を増加させる酵素としてはたらいている。

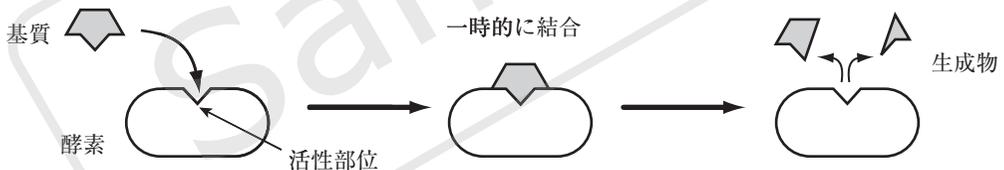
#### ●触媒

酵素が作用する物質を「基質」といい、基質が変化したものを「生成物」という。

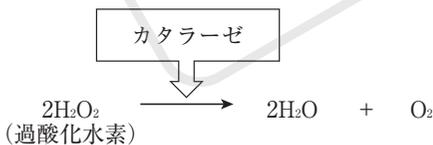
→酵素の活性部位と基質は一時的に結合し、酵素-基質複合体となる。このことで酵素は基質に関する化学反応を促進する。

→反応が終わると酵素は生成物と離れる。酵素そのものは変化しない。=触媒作用

→このことで、酵素はくり返し利用できる。



例) カタラーゼの触媒作用



カタラーゼは肝臓などに多く含まれる酵素で、有害な過酸化水素を分解して水と酸素を生じさせる。反応の前後でカタラーゼ自身は変化しない。

#### ●基質特異性

酵素は作用する基質が決まっている。この性質を基質特異性という。

- アミラーゼの基質：デンプン
- ペプシン、トリプシンの基質：タンパク質
- カタラーゼの基質：過酸化水素

#### ●酵素の存在場所

細胞外に分泌されてはたらく アミラーゼ、ペプシン、トリプシンなどの消化酵素(消化管へ分泌される)  
細胞小器官に含まれる

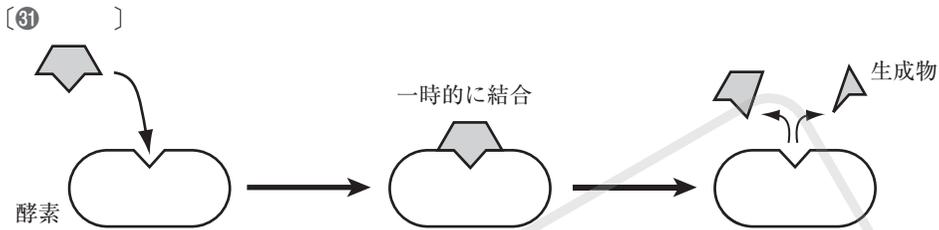
- ミトコンドリア：呼吸に関する酵素群
- 葉緑体：光合成に関する酵素群



(6) 生体内に存在するさまざまな物質の1つに〔28 〕がある。〔28 〕のうち、あるものは酵素としてはたらいっており、化学反応の〔29 〕を低下させ、その結果として反応速度を増加させる。このことを酵素の〔30 〕作用という。

(7) 酵素が作用する物質を〔31 〕という。酵素が作用するとき、酵素と〔31 〕は一時的に〔32 〕し、反応が終わると〔33 〕。このため、酵素は何度でも反応にかかわり、反応を促進することができる。

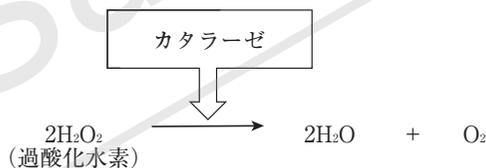
下図は、酵素と〔31 〕の結合を模式的に示したものである。酵素と〔31 〕が結合すると、〔34 〕が形成される。〔34 〕が形成されたのち、生成物が生じる。酵素自体は反応の前後で変化しないので、新たな〔31 〕と結合することができる。



(8) 酵素が特定の〔31 〕とのみ作用することを〔35 〕という。カタラーゼの〔31 〕は〔36 〕, アミラーゼの〔31 〕は〔37 〕, ペプシン・トリプシンの〔31 〕は〔38 〕である。

下図は、カタラーゼの〔30 〕作用を模式的に示したものである。〔36 〕は、カタラーゼによって、水と〔39 〕に分解される。

例) カタラーゼの触媒作用



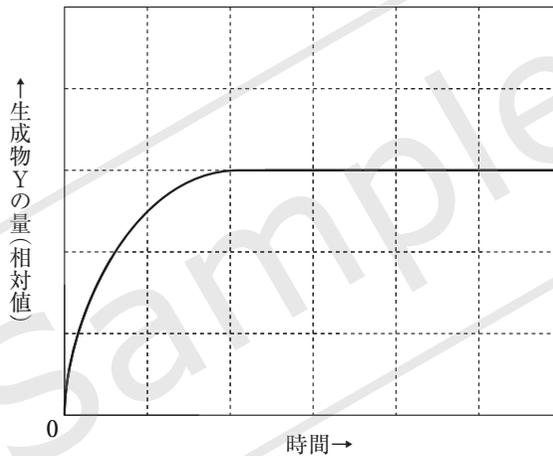
(9) 酵素には局在性がある。例えば、アミラーゼやペプシン、トリプシンなどの消化酵素は、細胞内から〔40 〕へと分泌されてはたらく。また、呼吸に関する酵素は細胞内の〔41 〕の中に、〔42 〕に関する酵素は葉緑体の中に局在している。

(10) 我々が食事をして取り込んだ〔43 〕(炭水化物)は、アミラーゼとマルターゼによって〔44 〕(ブドウ糖)にまで分解され、小腸で毛細血管に取り込まれる。毛細血管に取り込まれた〔44 〕は細胞に取り込まれ、呼吸に関する酵素が局在している〔41 〕によって、二酸化炭素と〔45 〕にまで分解される。このように、ヒトの体では、細胞内と〔40 〕ではたらく酵素によって、生命活動に必要なエネルギーが取り出されている。

# 基本問題

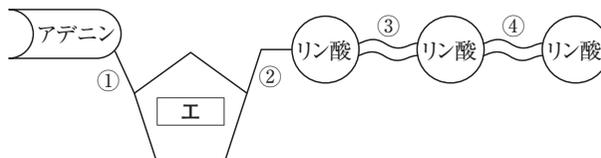
1 生物体内の化学反応のほとんどは、酵素という特殊なタンパク質のはたらきにより営まれている。タンパク質の長い鎖は、その同士間に生じる相互作用によって折りたたまれ、立体的な構造をとる。酵素が作用する物質を基質といい、酵素は基質と結合して酵素-基質複合体をつくる。このとき直接結合して作用する部分のことを「ア」という。一般に酵素が作用できる基質は厳密に決まっており、この性質を「イ」という。

- (1) 文章中の空欄「ア」、 「イ」にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (2) 次のタンパク質のはたらきを、それぞれ簡潔な文章で説明せよ。
  - ① アミラーゼ    ② ペプシン    ③ カタラーゼ
- (3) ある真核細胞から精製した酵素Xの性質を調べた。一定の温度、基質濃度、酵素濃度の条件下で酵素反応を行ったところ、生成物Yの量と反応時間との関係は図のようになった。この反応条件のうち、酵素濃度を2倍にした場合と酵素濃度を半分にした場合に、グラフが変化する。それぞれについて予想されるグラフを図中につけ。ただし、これらの反応中、酵素Xのはたらきは安定しており、温度やpHの変化はなかったものとする。



2 生体内での化学反応による物質の変化を「ア」といい、「ア」には同化と異化がある。同化とは簡単な物質から複雑な物質を合成する過程であり、エネルギー「イ」反応である。異化とは複雑な物質を簡単な物質に分解する過程であり、エネルギー「ウ」反応である。

細胞内におけるエネルギーの移動はATPという物質を仲立ちとして行われる。ATPはアデニンと「エ」が結合したアデノシンに「オ」分子のリン酸が結合した化合物である。ATPはすべての生物で利用されている物質であり、細胞内でさまざまな生命現象に用いられることから「エネルギーの通貨」ともいわれる。

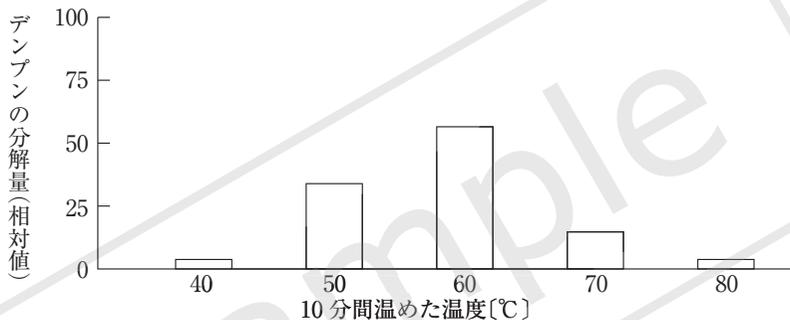


ATPの模式図

- (1) 文章中の空欄「ア」～「オ」にあてはまる適切な語句や数値を答えよ。

- (2) 図中の①～④の結合の中で、高エネルギーリン酸結合になっている部分を過不足なく選び、記号で答えよ。
- (3) (2)で選んだ部分のうち、ATPがADPになるときに切断される部分を1つ選び、記号で答えよ。
- (4) ATPに関する説明として最も適当なものを、次のa～dから1つ選べ。
- 筋収縮や物質合成などさまざまな用途に使用される物質である。
  - 酵素の作用と関係なく合成される物質である。
  - 光学顕微鏡で構造が観察できる物質である。
  - 細胞内で合成されたものの大半は細胞外へ分泌され、周りの細胞にエネルギーが供給される。

- 3 うるち米のデンプンの粉に水を加えてけん濁したものを①と、酵素のアミラーゼを水に溶かしたものを②を混ぜて、37℃で1時間反応させても、デンプンはほとんど糖には分解されなかった。そこで、①、②の液をそれぞれ40℃から80℃の各温度で10分間温めてから、37℃にもどし、混合して1時間反応させ、デンプンの分解量を求めたところ、次の図のようになった。なお、ヒトの消化酵素は体温近くの温度で最も反応速度が大きくなり、ある程度以上の高温にさらされると不可逆的にそのはたらきを失うことがわかっている。



- (1) 10分間温めた温度が40℃から50℃、60℃と上がるにしたがって、デンプンの分解量が増加したのはどのような理由によると考えられるか。
- (2) デンプンを粉のまま、上と同じように温度を40℃から80℃の各温度で10分間置き、その後、水にけん濁したものに②を混ぜて活性を測定しても、デンプンの分解量は上昇しなかった。これはどのような理由によると考えられるか。
- (3) 10分間温めた温度を60℃から70℃にするとデンプンの分解量が減少したのはどのような理由によると考えられるか。
- (4) 上で用いたうるち米のデンプンのかわりに、もち米のデンプンを使うと、より低温で10分間温めてもデンプンの分解量の上昇が見られた。これはどのような理由によると考えられるか。

# 演 習 問 題

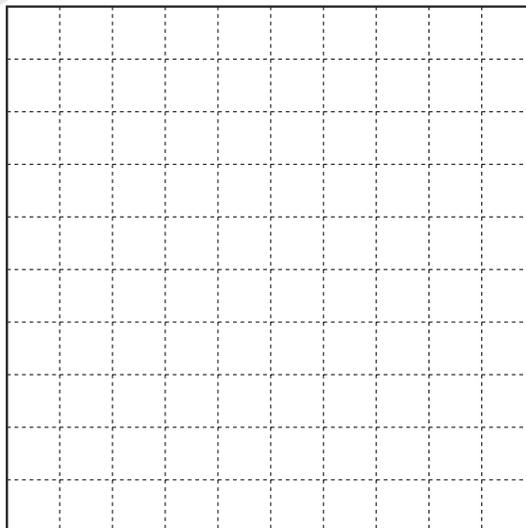
## 1 〈消化酵素〉

私たちが食べる食物中のタンパク質は口でそしゃくされた後、胃、小腸ではたらくタンパク質分解酵素によって大まかに分解され、さらにペプチダーゼの作用で小さいペプチドやアミノ酸に分解された後、小腸の粘膜上皮から吸収されて栄養となる。

- (1) ①胃、②小腸ではたらくペプチダーゼ以外のタンパク質分解酵素を1種類ずつ答えよ。
- (2) 胃の酵素を小腸の環境においても、逆に小腸の酵素を胃の環境においても酵素活性を示さない。それぞれの酵素がはたらかない理由を述べよ。
- (3) 小腸に存在するペプチダーゼは基質分子であるグリシルグリシン(2個のグリシンが結合した分子)を2個のグリシン分子に加水分解できる。表は、 $10\ \mu\text{g}$ のペプチダーゼを含む1 mLの反応液において、グリシン分子が産生される速度 $[\mu\text{g}/\text{分}]$ をグリシルグリシンの濃度 $[\text{mg}/\text{mL}]$ を変えて測定した結果である。なお、 $1\ \text{mg}$ は $1000\ \mu\text{g}$  [マイクログラム]に相当する。グリシン1分子の重さはグリシルグリシン分子の半分とする。

基質濃度 $[\text{mg}/\text{mL}]$	反応速度 $[\mu\text{g}/\text{分}]$
0	0
0.2	25
0.5	40
1.0	47
1.5	49
2.0	50

- ① 表のデータから基質濃度と反応速度の関係を示すグラフを下の図にかき込め。
- ② 表において、基質濃度が $0.2\ \text{mg}/\text{mL}$ のときには $2.0\ \text{mg}/\text{mL}$ のときに比べて反応速度は半分である。この理由を述べよ。
- ③ この酵素反応を100 mLの反応液中で行い、10分間で約40 mgのグリシンができるようにしたい。このために、表の基質濃度の中から反応速度が最も変化しにくい濃度を選んで、反応液に加えるグリシルグリシンの量を答えよ。また、このとき反応液に何 $\mu\text{g}$ の酵素を加えたらよいか、答えよ。ただし、この条件下で反応速度の変化は無視できるものとする。
- ④  $1.0\ \text{mg}/\text{mL}$ の基質と適当量の酵素を含む100 mLの反応液中で酵素反応を行い、50 mgのグリシンを産生させた。この段階での酵素反応速度を、最初の酵素反応速度を100として求めよ。ただし小数点以下は四捨五入して整数で答えよ。



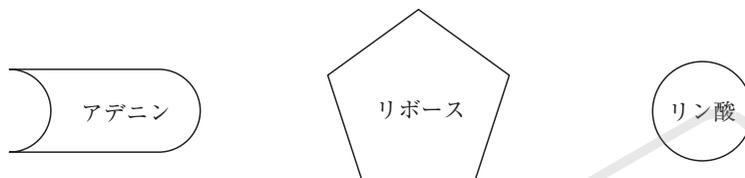
## 22 〈代謝とエネルギー〉

生体内のエネルギー代謝では、ATP とよばれる化学物質がエネルギー通貨として重要な役割を果たしている。(あ)ATPは、アデニン、リボース、リン酸が結合した化合物である。ATPのように、リン酸、糖および塩基が結合した物質はヌクレオチドと総称される。(い)ATPは、生体内で絶えず分解と合成を繰り返し生命活動を支えている。

これについて、次の問いに答えよ。

- (1) 下線部(あ)について、ATPを図示せよ。図示にあたっては下のパーツを用い、アデニン、リボース、リン酸のそれぞれが、どの順番で、いくつずつ結合しているかがわかるように示せ。

【パーツ】



- (2) ATPに関する記述として最も適当なものを、次の①～④から1つ選べ。
- ① ATPは末端のリン酸が切り離され、ADPとリン酸に分解されるとき、エネルギーが放出される。
  - ② ADPとリン酸からATPが合成されるとき、エネルギーが放出される。
  - ③ カタラーゼはATPのエネルギーを用いて過酸化水素を分解する。
  - ④ ATP内には高エネルギーリン酸結合が3ヶ所ある。
- (3) 下線部(い)について、ある哺乳類の場合、1日に細胞1個当たり約0.83 ngのATPが利用されている。この生物のからだは37兆個の細胞からできているとすると、1日に利用されるATPは何kgか。なお、 $1\text{ ng} = 0.001\ \mu\text{g} = 0.000001\ \text{mg}$ である。
- (4) 下線部(い)について、ある細胞では1時間に $4.2 \times 10^{-2}\text{ ng}$ のATPが使用されている。しかし、細胞内には $8.4 \times 10^{-4}\text{ ng}$ という微量なATPしか存在していない。その場合、1分子のATPは1時間に何回合成と分解が繰り返されていると考えられるか。