

生 物

第 1 問

次の文を読み、I～IVの各問に答えよ。

[文]

生物が生きていくのに必要な機能の多くは、タンパク質が担っている。タンパク質はアミノ酸の重合体で、共有結合でつながったアミノ酸の鎖は折りたたまれて立体的な構造となり、酵素活性などの生理機能を発揮する。こうした立体構造は、多くの場合、水素結合などの非共有結合で維持されている。多くのタンパク質の立体構造中には、^(イ)規則的な構造が見いだされる。

酵素は、生体内でのさまざまな化学反応の触媒として働く。無機触媒とは違って、生体触媒である酵素の反応には、基質特異性がある。温度を上げていくとあるところで活性が失われるという現象も、^(ロ)酵素の特徴である。このような現象を変性と呼ぶ。タンパク質の変性温度は、生物が生育する環境を反映していることが多い。たとえば、温泉の湧き出し口近くに生息する細菌のタンパク質には、90℃でも変性しないものがある。

ある半数体の単細胞真核生物は、25℃の培養で図1のようにふえた。培養温度を25℃から35℃にすると、すぐに細胞のふえる速さが変わった。35℃では、細胞数が2倍になるのに12時間かかった。また、培養温度を15℃にしたところ、細胞数が2倍になるのに20時間かかった。この真核生物の集団をある化学物質で処理し、突然変異をおこさせたところ、15℃と25℃では野生型細胞と同じようにふえるのに、^(ハ)35℃ではふえる速さが異常な変異型細胞があらわれた。この変異型細胞を25℃でふやし、35℃に移して12時間たってから観察したところ、死んだ細胞はほとんど見られなかった。

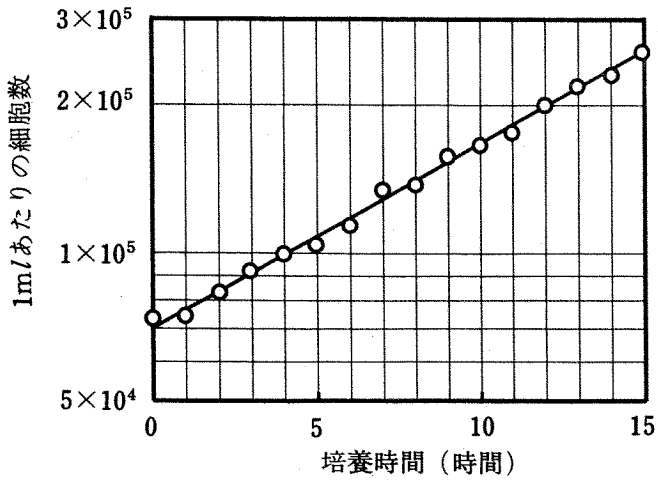


図1 25°Cでの野生型細胞のふえ方の測定結果
細胞数は、15時間目まで1時間ごとに数え、常用対数目盛りで示した。

変異型細胞の遺伝子などを詳しく解析したところ、細胞のふえる速さが異常になるのは、酵素Aの1つのアミノ酸が他のアミノ酸に置き換わったためであることがわかった。また、この酵素は、 $X \rightarrow Y$ （Xは酵素反応の基質、Yは酵素反応の産物）という反応の触媒として働くことがわかった。変異型細胞では、酵素Aの遺伝子以外に突然変異は起こっていなかった。

野生型細胞の酵素A（野生型酵素A）と変異型細胞の酵素A（変異型酵素A）の活性に対する温度の影響を調べるため、それぞれの細胞から酵素Aをとりだして、次のような実験をおこなった。

実験 0℃で保存してあった一定量の野生型酵素Aあるいは変異型酵素Aをふくんだ溶液を、それぞれ7本の試験管に入れ、15℃から45℃まで5度おきの温度に保った水槽に10分間置いた。その後、それぞれの試験管に一定量の基質Xを加え、1分間反応させた。試験管に酸を加えて反応を止めてから、生成した物質Yの量を測った。1分間の物質Yの生成量を縦軸に、温度を横軸にして測定値を図にしたところ、図2のようになった。

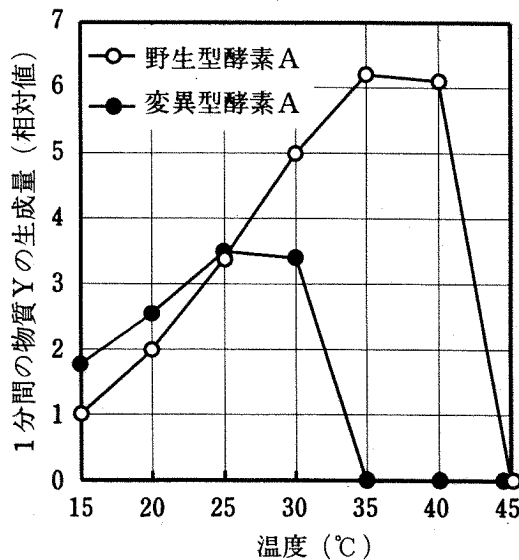


図2 各温度での物質Yの生成量の測定結果

〔問〕

I 次の小問に答えよ。

- A 下線部(ア)について。タンパク質のなかでアミノ酸どうしをつなぐ共有結合を何と呼ぶか。
- B 下線部(イ)について。タンパク質に見いだされる規則的構造の名称を2つ記せ。
- C 下線部(ウ)について。触媒とはどのようなものか。1行で述べよ。
- D 下線部(エ)について。酵素による反応が基質特異性を示すのはなぜか。構造との関係を考慮して、2行以内で述べよ。
- E 下線部(オ)について。温度を上げていくと、ある温度以上で酵素活性が失われるのはなぜか。1行で述べよ。

II 下線部(カ)について。次の小問に答えよ。

- A この細胞は、一定の時間間隔で分裂する。しかし、この細胞を培養すると、図1に示すように細胞数は連続的にふえ、階段状に2倍ずつふえることはなかった。なぜか。1行で述べよ。
- B 図1に示すように、この細胞を25℃で t 時間 ($0 \leq t \leq 15$) 培養した。細胞数は培養を開始したときの何倍になっているか。 t の関数として記せ。

III 下線部(甲)について。次の小問に答えよ。

A 25℃で培養した変異型細胞を35℃に移した。下の(a), (b)2つの場合について、温度上昇後の細胞数と培養時間の関係をあらわす線として最も適当なものを、図3に示した1～7のうちから選び、それぞれ(a)―8, (b)―8のように答えよ。培養温度は、図3に示した矢印の時点で変えた。

(a) 酵素AはDNAの複製に必須だが、それ以外に影響を与えない場合

(b) 酵素Aは細胞質分裂の完了に必須だが、それ以外に影響を与えない場合

ただし、この酵素は、細胞内でも細胞からとりだした場合でも同じようにふるまうものとする。また、DNA複製が完了していない細胞は、細胞質分裂ができないものとする。

B 小問Aでそのように考えた理由を、(a), (b)それぞれについて、各4行以内で述べよ。

C DNAを染色した細胞を顕微鏡で観察すれば、細胞内の核の数を数えることができる。変異型細胞の培養温度を35℃に上げてから12時間後に、細胞あたりの核の数を数えた。大部分の細胞で観察される核の数はいくつか。小問Aの(a), (b)2つの場合について、それぞれ(a)―8, (b)―8のように答えよ。

IV 図2に示すように、15℃では、変異型酵素Aの活性は野生型酵素Aの活性のほぼ2倍であった。ところが、この温度では、野生型細胞と変異型細胞のふえる速さはほとんど変わらなかった。細胞のふえる速さが、酵素Aの活性の高低によらなかったのはなぜか。2行以内で述べよ。ただし、この酵素は、細胞内でも細胞からとりだした場合でも同じようにふるまうものとする。また、酵素Aは、細胞がふえるのに必須であるとする。

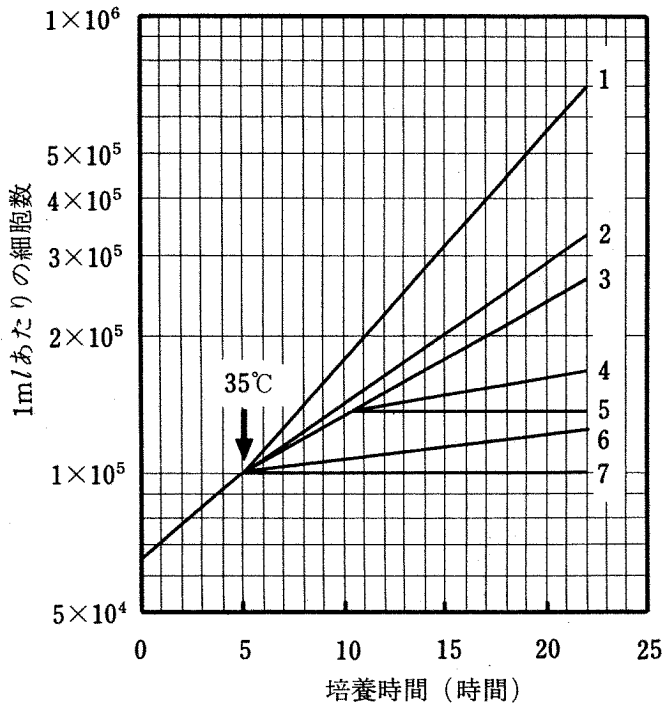


図3 培養温度を25°Cから35°Cに変化させた時の細胞のふえ方

細胞数は常用対数目盛りで示した。

第2問

次の文1と文2を読み、IとIIの各問に答えよ。

〔文1〕

ほ乳動物の雌では、生まれる前あるいは直後に卵巣内の生殖細胞^(注1)はすべて減数分裂を開始し、第一分裂前期で停止した状態で存在している。したがって成体の卵巣内の生殖細胞はすべて であり、これ以前の や は存在しない。なおここでは を単に卵と呼ぶことにする。

ほ乳動物では、卵巣内で十分に成長した卵は、卵に種々の物質輸送をおこなう卵丘細胞に周囲をおおわれている。この卵と卵丘細胞の複合体は、卵胞液と呼ばれる液体で満たされた卵胞内に存在する(図4)。生体内では黄体形成ホルモン(LH)の働きで卵は減数分裂を再開するが、以下に述べる実験の結果(表1)に示されるように、この過程には、複数の要因が関与している。減数分裂を再開した卵は、第二分裂中期で再び分裂を停止し、一般にこの状態で卵胞から排出される。

精子の頭部にある は多くの酵素を含んでおり、これらの酵素は精子の卵への接近を助ける。ほ乳動物の卵は、多くの場合減数分裂の第二分裂中期で受精を開始^(注2)するが、この時期は動物種によって異なる。ウニのように減数分裂が終了してから受精を開始するものや、ホッキ貝のように第一分裂前期で開始するものもある。第二分裂中期で受精を開始したほ乳動物の卵は、受精開始の刺激によって減数分裂を完了する。マウスでは受精開始後6時間には卵由来の核(雌性前核)と精子由来の核(雄性前核)が観察できる。これら2つの前核が融合すると直ちに卵割が始まる。多くのほ乳動物ではこれらの過程を実験的に体外でおこなわせることもでき、医療や畜産などに応用されている。

(注1) 生殖細胞：配偶子および配偶子を形成しうる細胞。

(注2) ここでは精子と卵の細胞膜の融合過程をさすものとする。

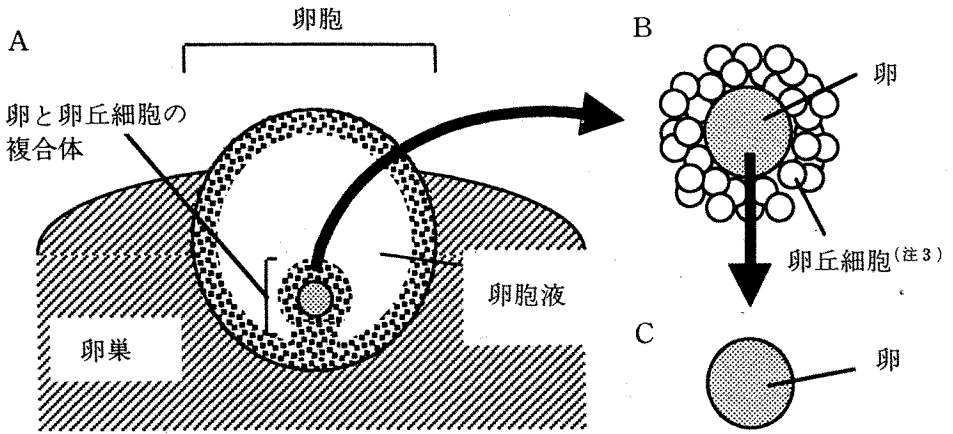


図4 ほ乳動物の卵巣の模式図

ほ乳動物の卵巣内に存在する卵の状態(A), 卵と卵丘細胞の複合体(B), 卵丘細胞を取り除いた卵(C)。

(注3) ろ胞細胞の一部。

実験 減数分裂の第一分裂を再開する機構を調べるために、ブタの卵巣から十分に成長した卵と卵丘細胞の複合体を取り出して、種々の条件で体外培養した。直径 3 cm の培養皿に滅菌した培養液の小滴 (約 0.2 ml) を入れたものを準備し、37°C、5% 二酸化炭素、95% 空気、湿度 100% の培養器内に 24 時間静置した。この培養液中に種々の物質を添加し (表 1)、卵と卵丘細胞の複合体 (図 4 B)、または卵丘細胞を取り除いた卵 (図 4 C) を入れ、再び培養器に戻した。48 時間後に、第一分裂を再開したか、しなかったかを調べたところ、表 1 のような結果となった。なお、ここで使用した伝令 RNA 合成阻害剤は細胞膜を自由に透過できる。

表 1 減数分裂の再開におよぼす培養条件の効果

卵の状態	培養液への添加物	減数分裂の再開
卵と卵丘細胞の複合体	なし	+
	LH	+
	卵胞液	-
	伝令 RNA 合成阻害剤	-
	LH と卵胞液	+
	LH と伝令 RNA 合成阻害剤	-
	卵胞液と伝令 RNA 合成阻害剤	-
卵丘細胞を除去した卵	なし	+
	LH	+
	卵胞液	+
	伝令 RNA 合成阻害剤	+
	LH と卵胞液	+
	LH と卵胞液と伝令 RNA 合成阻害剤	+

+ : 再開した。

- : 再開しなかった。

〔文2〕

本来その動物が持たない外来の遺伝子を人為的に導入した動物を、トランスジェニック動物とよぶ。ほ乳動物の場合、トランスジェニック動物の作製法としては、導入したい遺伝子のDNAを微小なガラス管で雌性前核に注入し、胚自身^(オ)の核内DNAに組み込まれる^(注4)ことを期待する方法が多く用いられてきた。この場合、ほ乳動物の核内DNAのうち、遺伝子として機能する部分はごく一部であることを利用している。この方法では、注入したDNAが胚の核内DNAに組み込まれる量や場所を制御することはできない。そのため導入した遺伝子の発現の有無にかかわらず、この遺伝子とは機能的に関連がない、胚自身の遺伝子の機能が阻害されてしまうことがある。

1997年に英国でヒツジの体細胞^(キ)の核を卵の核と入れ換えて、その体細胞を提供した個体と遺伝情報を等しくした 5 動物が作られドリーと名づけられた。その翌年には日本人研究者などによって、マウスとウシで体細胞の核を用いた 5 動物が相次いで作られた。このときのマウスの 5 動物の作製法としては、まず微小なガラス管で減数分裂の第二分裂中期で停止している卵から染色体を除去し、この卵細胞質内に卵丘細胞の核を注入した後に受精の開始^(ク)と類似の働きを持つ刺激を与えるという方法が使われた。この操作後の卵を妊娠可能な状態の子宮に移植して出産させた。

これらの成功により、体細胞の核を使って個体を作製できることが証明された。このことは、培養した体細胞にDNAを導入し、核内DNAに都合良く組み込まれた細胞だけを選び出して、その核を使ってトランスジェニック動物を作る方法が可能であることを示している。

(注4) 染色体のDNA鎖が切れ、その切れ目に、注入した遺伝子のDNAが挿入され、再びつながること。

〔問〕

I 文1について。次の小問に答えよ。

A 空欄1, 2, 3, 4に最も適当な語句を入れよ。

B 下線部(ア)について。ほ乳動物の卵巢内の生殖細胞数は、生後、動物の年齢が進むにしたがってどのように変化すると考えられるか。1行で述べよ。

C 下線部(イ)に関しておこなった実験について。表1の実験結果をもとに、以下の問に答えよ。

(a) ブタの卵が卵巢内で減数分裂の第一分裂を停止するために必要なものは何か。2つあげよ。

(b) 以下の文の中から、実験結果より考えて明らかに否定されるものを2つ選び、番号で答えよ。

(1) 卵胞液には伝令 RNA の合成を阻害する働きがある。

(2) LH は卵に作用して、減数分裂の再開を促進する。

(3) 伝令 RNA 合成阻害剤は卵丘細胞に作用して、減数分裂の再開の阻害を解除する。

(4) 卵胞液は卵に作用して、減数分裂の再開を阻害する。

(5) LH は卵と卵丘細胞が存在するときのみ、減数分裂の再開を促進する。

(6) 減数分裂を再開するために、卵丘細胞内で伝令 RNA が合成される。

(c) 卵丘細胞を除去した卵の培養液にタンパク質合成阻害剤を加えると、減数分裂の再開が起こらなかった。一方、表1からわかるように、卵丘細胞を除去した卵の培養液に伝令 RNA 合成阻害剤を加えても、減数分裂は再開する。減数分裂が再開するために、卵内でタンパク質の合成が必要であるのに、伝令 RNA の合成が必要ないのはなぜか。その理由として考えられることを2行以内で述べよ。

- D 下線部(ウ)について。分裂直後の体細胞の DNA 量を $2C$ としたとき、減数分裂の第一分裂前期(a)、第二分裂中期(b)、減数分裂の完了(c)の3つの状態の DNA 量について、それぞれ C を用いて(a)– $5C$ のように答えよ。ただし精子由来の DNA は考えないものとする。
- E 下線部(エ)について。卵割とそれ以外の体細胞分裂の大きな違いは何か。1行で述べよ。

II 文2について。次の小問に答えよ。

- A 空欄5に最も適当な語句を入れよ。
- B 下線部(オ)について。DNA を雄性前核に注入して作製されたトランスジェニック動物と、2細胞期の1つの割球の核に DNA を注入して作製されたトランスジェニック動物の、最も大きな違いは何か。2行以内で述べよ。
- C 下線部(カ)について。このようなことが起こるのはなぜか。2行以内で述べよ。
- D 下線部(キ)について。この操作をおこなっただけでは、必ずしもすべての遺伝情報が等しくはならない。その理由として考えられることを1行で述べよ。
- E 下線部(ク)について。この操作は何のためにおこなうのか。1行で述べよ。
- F 下線部(ク)について。DNA 複製前の体細胞の核を注入した場合は、この操作をおこなうときに、さらに細胞質分裂を阻害する試薬を加える必要がある。その理由は何か。2行以内で述べよ。

第3問

次の文1～4を読み、I～IVの各問に答えよ。

〔文1〕

生物は、少数の例外をのぞいて、太陽の光エネルギーを生命の維持に利用している。緑色植物は、光合成によって、光のエネルギーを利用して二酸化炭素と水から有機物を合成する。有機物の形をとったエネルギーは、食物連鎖の過程でさまざまな仕事をし、最終的には熱エネルギーとなって地球外へと失われる。一方、物質も生物間を移動していく。植物は草食動物に食べられ、草食動物は肉食動物に食べられる。また、動物の死骸や排泄物、あるいは枯れた植物などは微生物により無機化合物や簡単な有機化合物に分解され、よく象徴的にいわれるように「再び土にかえる」。そして、その物質を利用してまた新たな生命が育まれる。生物が利用している物質は、30～40種類の元素からなり、これらは 1 と呼ばれる。すべての 1 は、生物と無生物の間を循環している。これが物質循環である。

地球上の物質循環は光合成生物の出現によって大きく変化し、地球環境と生物は相互作用をしながら変化してきた。原始大気の主成分であった二酸化炭素は、光合成の基質として使われ、現在では大気のわずか0.035%を占めるに過ぎない。代わって光合成の副産物である酸素の量が増大し、これは好気呼吸の発達をうながした。好気呼吸の効率的なエネルギー獲得様式は、生命に新たな進化の可能性をひらいた。また、酸素量の増大はオゾン層の形成をもたらした。オゾン層によって紫外線から保護されるようになった生物は、ここに初めて本格的に陸上への進出を果たしたと考えられている。一方、大気中の窒素分子の量は、地球の歴史を通して大きくは変化しなかった。窒素はアミノ酸やヌクレオチドの合成に不可欠な元素であり、窒素分子から放電などにより有機窒素化合物が生成され、原始生命の誕生につながったと考えられる。

〔文2〕

窒素は自然界において、窒素分子、無機窒素化合物、有機窒素化合物の3つの形をとっている。自然界での窒素の循環について、現在考えられている概略を示したのが図5である。植物は無機窒素化合物を吸収してアミノ酸やタンパク質などの有機窒素化合物を作り、それを動物が利用する。枯れた植物、動物の遺体や排泄物などを従属栄養微生物が分解する。有機窒素化合物が分解されると、アンモニウム塩が生じる。アンモニウム塩は植物によって直接利用されるか、あるいは生物作用によって^(カ)亜硝酸塩を経て硝酸塩に酸化される。酸素の少ない環境下ではアンモニウム塩のままのこともある。以上が自然界での窒素の主要な循環経路で、図5では太い矢印で示している。

〔文3〕

大気と海水中には大量の窒素分子が存在し、それぞれ図5に示された太い窒素循環につながっている。つまり、窒素分子からも、生物作用で無機窒素化合物を作るしくみがある。^(カ)しかし、窒素分子を利用できる生物は限られていて、自然界では窒素分子からつくられる無機窒素化合物の量は、陸域と海洋で合わせて、年間に窒素換算で0.5億トン程度と推定されている。これは図5に示された太い窒素循環で移動している量に比べると著しく少ない。自然界にはまた生物により無機窒素化合物を窒素分子にもどす脱窒の働きがある。^(キ)脱窒により窒素分子にもどる量は年間に0.5億トン程度と考えられ、窒素分子から無機窒素化合物が生物作用により生産される量とほぼ等しい。

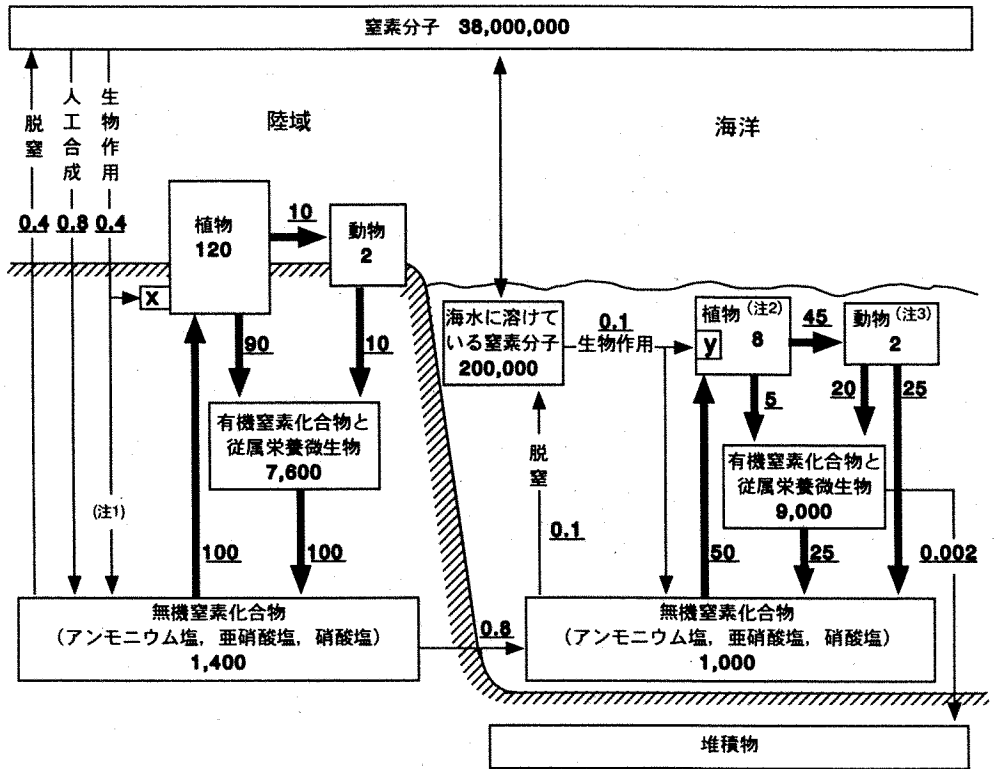


図5 自然界における窒素の循環の概念図（デルウッチェの図をもとに改変）

数字は億トン窒素，下線のついた数字は年間の推定移動量を示す。原典では移動量のすべてが示されていないが，循環がよくわかるように推定値を入れた。

（注1）アゾトバクターなどの一部の生物の働きによる。

（注2）大部分が植物プランクトンからなる。

（注3）大部分が動物プランクトンからなる。

〔文4〕

窒素循環の中で、人や家畜も大きな役割を果たしている。たとえば、陸域の動物に含まれる窒素のうち、30～50%が人と家畜のものである。陸上の植物では、窒素は大部分が森林の樹木に含まれており、農作物に含まれるのは5%程度である。この農作物を育てるために、人は窒素分子からアンモニウム塩を人工的に合成して肥料として農地にまいている。その窒素量は1970年には世界中で年間0.3億トンだったものが、1989年には0.8億トンに増え、窒素分子から生物作用でできる無機窒素化合物の年間量を超えている。一方、人は無機窒素化合物から窒素分子に人工的にもどすことはしていない。

農地にまかれた窒素肥料のうち、農作物に吸収されるのはごく一部で、ほとんどが農地に残り、やがて雨に洗われて地下水や河川・湖沼に入り、沿岸海域にまでその影響は及ぶ。農業地帯の地下水は無機窒素化合物を高濃度で含むようになる。肥料としては、窒素以外にも生育の限定要因になりやすいリンやカリウムも同時に用いられる。通常、植物に利用されなかったリンは不溶性リン酸塩として土壤に吸着されるが、一部は吸着されずに湖沼や沿岸海域に流れ出す。

〔問〕

I 文1について。次の小問に答えよ。

A 文中の空欄1に当てはまる最も適当な語句を入れよ。

B 下線部(ア)について。人は、直接生命の維持に用いるエネルギーの他に、産業活動などで石油や石炭のエネルギーを使っている。これも、結局、太陽のエネルギーを使っていることになるが、それはなぜか。1行で述べよ。

C 下線部(イ)について。食物連鎖の段階を1つ経るごとに上位の生物の利用できる物質とエネルギーは減少してしまう。それはなぜか。1行で述べよ。

D 下線部(ウ)について。現在、大気中の二酸化炭素濃度が上昇し、地球温暖化の危険が指摘されているが、二酸化炭素濃度の上昇の原因は何か。1行で述べよ。

E 下線部(エ)について。好気呼吸は嫌気呼吸に比べてなぜ効率的なのか。理由を2行以内で述べよ。

II 文2について。次の小問に答えよ。

A 下線部(オ)について。次の問に答えよ。

(a) 自然界でアンモニウム塩を硝酸塩へ変える生物作用を何というか。

(b) また、それを進めている生物名を1つあげよ。

B 動物に対する植物の現存量は、陸域では60倍なのに対して海洋では4倍にすぎない。これは海洋の植物の窒素吸収効率が高いことに起因していると考えられる。このことを図中の数値を用いて3行以内で説明せよ。

C 無機窒素化合物から植物を経た動物への窒素の流れは、陸域と海洋で大きく異なる。窒素の流れに、なぜそのような違いが生じるかを3行以内で述べよ。

III 文3について。次の小問に答えよ。

A 下線部(カ)について。次の問に答えよ。

- (a) 自然界で大気中の窒素分子を生物が直接利用することを何というか。また、その際に窒素分子からつくられる無機窒素化合物名は何というか。
- (b) 図5のxで窒素分子を直接利用している生物名を1つあげよ。この生物は植物と共生している。同じくyでの生物名を1つあげよ。

B 下線部(キ)について。脱窒について最も適当と思われるものを2つ選び番号で答えよ。

- (1) 脱窒で使われる基質はアンモニウム塩である。
- (2) 脱窒で使われる基質は硝酸塩である。
- (3) 脱窒をする生物は一部の細菌である。
- (4) 脱窒をする生物は一部の土壤動物である。
- (5) 脱窒によって生物はエネルギーを獲得する。

C 図5は地球全体を示したものであり、地域によってはそれぞれの区分の窒素の現存量の割合が図5とは異なっている。たとえば、熱帯林では「有機窒素化合物と従属栄養微生物」と「無機窒素化合物」の区分の現存量は少なく、大部分が「植物」と「動物」の区分に含まれる。なぜそうなるか、その理由を考えて2行以内で述べよ。

IV 文4について。次の小問に答えよ。

A 陸域には大量の無機窒素化合物が存在しているにもかかわらず、窒素肥料を人工合成して農地にまくのはなぜか。その理由として考えられることを2行以内で述べよ。

B 下線部(ク)について。窒素のみを肥料として与えたときと、リンやカリウムをともに与えたときで、無機窒素化合物から植物への窒素の流れの太さほどのようにちがうと考えられるか。理由とともに2行以内で述べよ。

C 陸域に人工肥料をまくことでおこる海洋の環境問題を1つあげよ。