

生物 問題 I

次の文章を読み、下の問に答えよ。

愛さんと医太郎くんが生物学の授業で実験を行っている。1 限目は顕微鏡による植物の葉の観察、2 限目は細胞小器官の重さの違いを利用して、遠心力によって植物細胞、動物細胞の細胞小器官を分離する細胞分画法の実験である。

<1 限目>

顕微鏡で植物の葉を観察していた医太郎くんが図 1 に示す構造を見つけた。

医太郎「唇みたいな形の構造があるね」

愛「気孔だね」

医太郎「ほとんどの気孔が閉じてるね。いつ開くの？」

愛「①気孔は光合成を行う時に開くけど、②水不足になると根や葉でアブシシン酸という物質が作られて、孔辺細胞に作用して閉じるの」

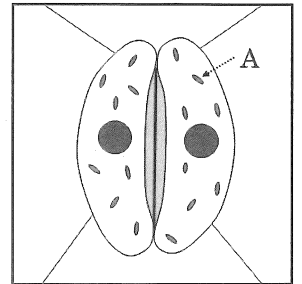


図 1

<2 限目>

植物細胞と動物細胞の細胞小器官を分離するために、2 人は図 2 に示すような手順に従って、③試験管を氷で冷やしながら、細胞を別々にすり潰して破碎した。ここで、愛さんは、真っ青な顔をした医太郎くんに気付いた。

愛「どうしたの、医太郎くん？」

医太郎「そ、それが、植物細胞と動物細胞をすり潰したんだけど、うっかり試験管にラベルを貼り忘れて、どちらの試験管が、どの細胞かわからなくなったんだ」

愛「大丈夫。細胞小器官を分離してから、それぞれの分画内の DNA の有無を調べればわかるよ」

そこで、愛さんは医太郎くんが持っている 2 つの試験管にラベルを貼って、サンプル A、B とした。その後、それぞれの破碎溶液を図 2 で示すように遠心速度を変えながら遠心分離を行い、沈殿物を含む 4 つの分画を採取した。そして、④それぞれの分画に含まれる細胞小器官を破碎して、RNA と DNA をそれぞれ抽出した。電気泳動法によって確認したところ、サンプル A では分画 1、3 から、サンプル B では分画 1、2、3 から DNA が検出された。なお、同じ種類の細胞小器官は全て同じ分画に遠心分離されたものとする。

愛「これで植物細胞がどちらか分かるでしょ？」

医太郎「⑤ん、こちらかな」

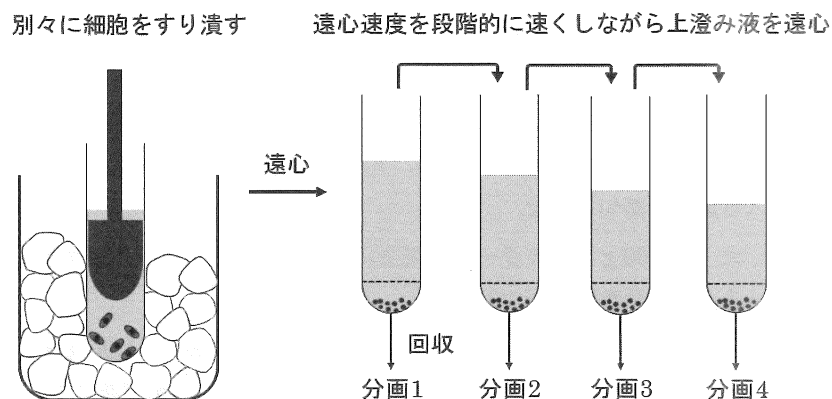


図 2

生 物

問 1. 下線部①について、以下の文章中の (a) ～ (f) に当てはまる語句を記せ。

葉に光が当たると、孔辺細胞に含まれる光受容体である (a) によって光が感知される。孔辺細胞は、主に (b) 色の光を感知し、気孔が開く。植物は光合成の際に気孔から (c) を取り込み、葉緑体中の (d) において、(e) 回路によって、(c) を還元し、有機物を合成する。このように、生物が (c) を取り込んで有機物に作り変えるはたらきを (f) という。

問 2. 図 1 中の A は葉緑体を示している。葉緑体の断面図を書き、ATP 合成酵素が存在する場所を矢印で正確に示せ。

問 3. 下線部②について、アブシシン酸が作用すると、孔辺細胞で膨圧の変化が起こり、気孔が閉じる。この時、孔辺細胞ではどのような変化が起こり、膨圧がどのように変化して気孔が閉じるのか、説明せよ。

問 4. 下線部③について、試験管を氷で冷やしなが細胞を破砕する理由を 2 つ記せ。

問 5. 下線部④について、図 3 は動物細胞の分画 4 を破砕して抽出した RNA と、動物細胞全体から抽出した RNA をそれぞれ電気泳動した結果である。電気泳動法では、DNA と同様に RNA も分離することができる。電気泳動の結果、分画 4 と動物細胞から、それぞれ同じ分子量の 4 本のバンド (図 3 の X) が検出された。X の RNA が含まれる細胞小器官名を記せ。また、動物細胞の RNA を電気泳動したところ、X のバンド以外にも上下に連続的に伸びた不鮮明な泳動像が検出された (図 3 の Y; グレーの領域全体)。Y のような泳動像が検出される理由を記せ。ただし、各溶液中で RNA の分解は起こっていないものとする。

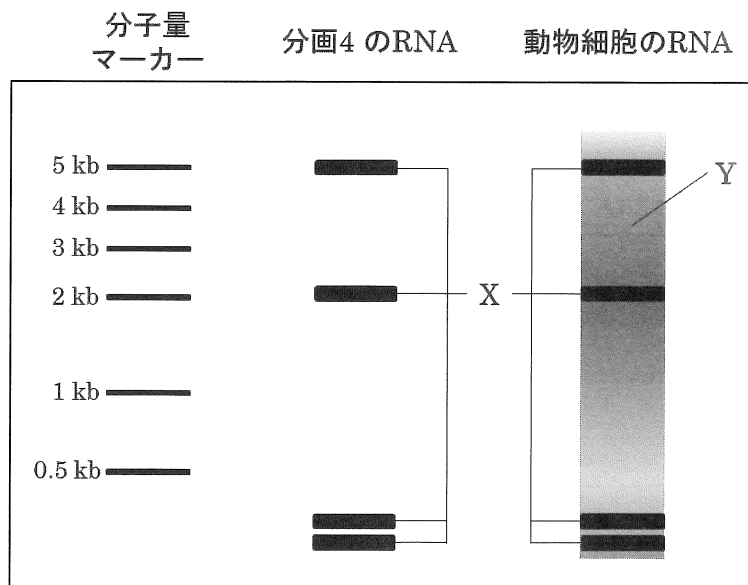


図 3 電気泳動の結果

問 6. 下線部⑤について、植物細胞の破砕溶液はサンプル A, B のどちらか、記号で記せ。また、その理由を記せ。

生物 問題 II

発生に関する次の文章を読み、下の問に答えよ。

ショウジョウバエの胚における前後軸は未受精卵で既に決まっており、この前後軸に沿った頭部、胸部、腹部といった体節構造の形成には、いくつかの母性効果遺伝子が重要な役割を果たしている。①母性効果遺伝子 X , Y , Z の mRNA とその翻訳によって生じたタンパク質 X , Y , Z の分布を図 1 に示す。母性効果遺伝子 X の mRNA は卵形成時に卵の前方に偏在するため、受精後、翻訳によって生じたタンパク質 X は前方から後方へと拡散し、濃度勾配を形成する。一方、母性効果遺伝子 Y の mRNA は卵の後方に偏在し、翻訳によって生じたタンパク質 Y は後方から前方へと濃度勾配を形成する。また、母性効果遺伝子 Z の mRNA は卵内に均一に存在するにもかかわらず、翻訳によって生じたタンパク質 Z の分布には片寄りがある。このように胚内において母性効果遺伝子由来のタンパク質が、それぞれ濃度勾配を形成する。

母性効果遺伝子由来のタンパク質の濃度勾配によって、(あ) 遺伝子群と呼ばれる遺伝子群が前後軸に沿って発現すると、この遺伝子群の発現によって胚のおおまかな領域が区画される。次に、(あ) 遺伝子群から合成されたタンパク質によって、(い) 遺伝子群の発現が引き起こされる。そして、(い) 遺伝子群のはたらきによって、胚には前後軸に沿って 7 つの帯状のパターンが作られ、(う) 遺伝子群が発現する。さらに、(う) 遺伝子群のはたらきによって、胚の前後軸に沿った 14 本の帯状のパターンが形成され、胚は擬体節と呼ばれる疑似的な体節構造に区分される。この段階で、ショウジョウバエのボディープランを構成する 14 体節が決定したことになる。

これらの体節がどのような形態に変化するかは、②ホメオティック遺伝子と呼ばれる複数の調節遺伝子のはたらきによって決まる。このホメオティック遺伝子が正常にはたらかなくなると、体のある部分が別の部分におきかわるような突然変異、③ホメオティック突然変異が生じる。

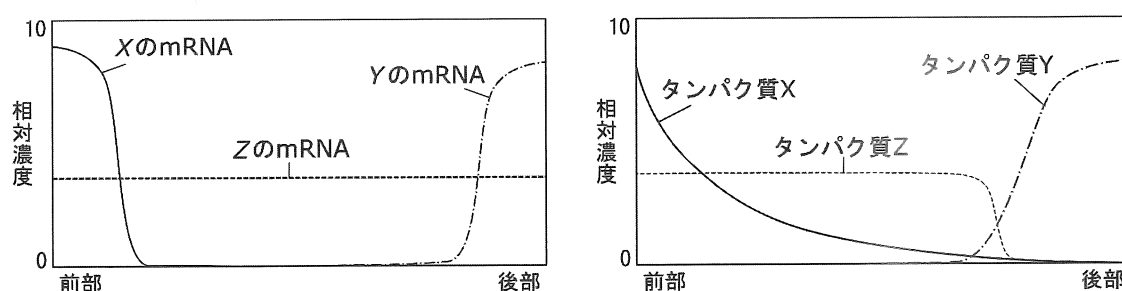


図 1 遺伝子 X , Y , Z の mRNA およびタンパク質 X , Y , Z の分布

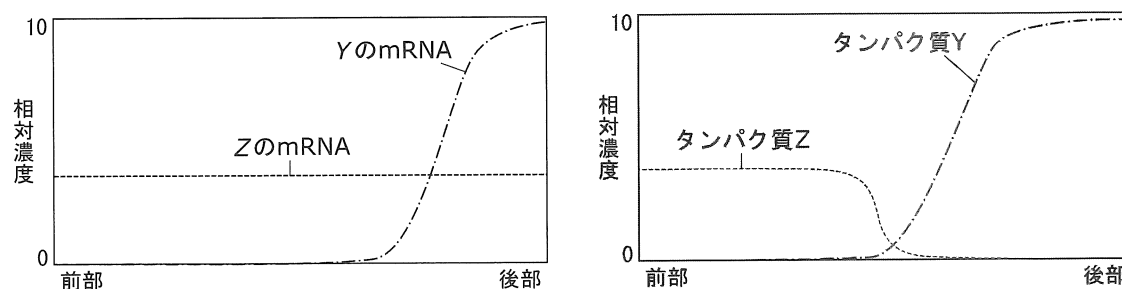


図 2 母性効果遺伝子 Y の mRNA を後部に注入した後の遺伝子 Y , Z の mRNA およびタンパク質 Y , Z の分布

生 物

問 1. 文章中の (あ) ～ (う) に入る語句をそれぞれ記せ。なお、同じ記号には同じ語句が入る。

問 2. 下線部①について、以下の問に答えよ。

- (1) 頭部形成にのみ関与する母性効果遺伝子 X の正常型を X 、突然変異によって機能を失ったタンパク質をコードする遺伝子を x とする。 Xx の雄と Xx の雌の交配によって生じた F_1 個体は外見上すべて正常に見えた。しかし、 F_1 個体同士を交配したとき、正常に頭部が形成されない幼虫が生じた。頭部形成異常の幼虫が生じた交配における雄および雌の遺伝子型の組み合わせを、以下の (a) ～ (i) からすべて選び、その理由を記せ。

雌 \ 雄	XX	Xx	xx
XX	(a)	(b)	(c)
Xx	(d)	(e)	(f)
xx	(g)	(h)	(i)

- (2) 母性効果遺伝子 Y の mRNA を胚の後部に注入したところ、母性効果遺伝子 Y 、 Z の mRNA およびタンパク質 Y 、 Z の分布は図 2 のようになった。この結果から考えられる母性効果遺伝子 Z の mRNA とタンパク質 Z の分布が異なる理由について、正しいものを以下の (ア) ～ (オ) から 1 つ選び、記号で記せ。

- (ア) Y の mRNA は Z の mRNA の転写を促進する。
 (イ) Y の mRNA はタンパク質 Z の分解を阻害する。
 (ウ) タンパク質 Y は Z の mRNA の分解を促進する。
 (エ) タンパク質 Y は Z の mRNA の翻訳を阻害する。
 (オ) タンパク質 Y はタンパク質 Z の合成を促進する。

問 3. 下線部②は動物だけでなく植物でも見つかっている。シロイヌナズナの花の形態形成には、3 種類の家オティック遺伝子 (クラス A, クラス B, クラス C) が関わっていることが知られている。図 3 に示すように野生型において、がくが生じる最も外側の領域を領域 1、花弁、おしべ、めしべが生じる領域をそれぞれ領域 2、領域 3、領域 4 とする。野生型の形態形成過程で、領域 1 ではクラス A のみ、領域 2 ではクラス A とクラス B、領域 3 ではクラス B とクラス C、領域 4 ではクラス C のみがはたらくことによって、それぞれの領域に特徴的な構造 (がく、花弁、おしべ、めしべ) が形成される。また、クラス A とクラス C の遺伝子には、互いのはたらきを排除し合うような関係があることも知られている。この 3 つのクラスの遺伝子による花の器官分化の制御の仕組みは、ABC モデルと呼ばれている。

ある種の植物の花の形態形成について調査したところ、ABC モデルが当てはまることが明らかになった。この植物の野生型に対して、以下のように遺伝子操作を行った。このとき、領域 1 ～ 4 ではそれぞれどのような構造が形成され则认为られるか。がく、花弁、おしべ、めしべの中から選び、それぞれ記せ。また、(2) については、その理由も記せ。

- (1) すべての細胞でクラス B がはたらくように遺伝子操作をした場合
 (2) すべての細胞でクラス C が欠損するように遺伝子操作をした場合

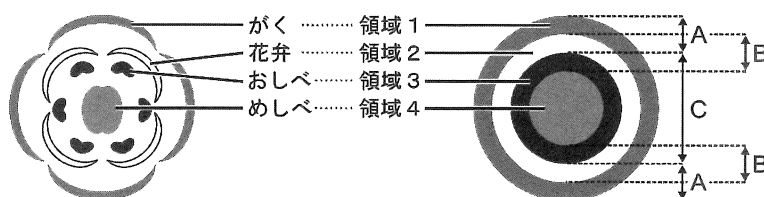
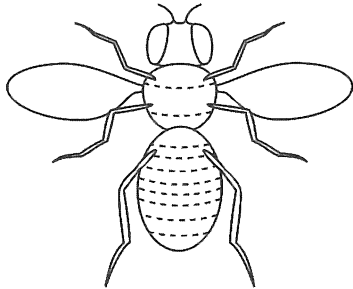


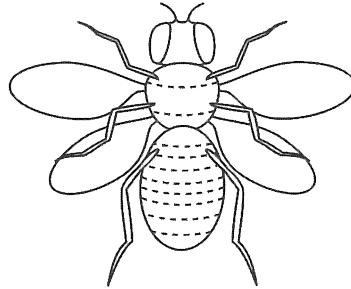
図 3 ABC モデル

問4. 下線部③について、ショウジョウバエではウルトラバイソラックス (*Ubx*) 突然変異体とアンテナペディア (*Antp*) 突然変異体がよく知られている。野生型とこの2種の変異体を正しく表す図を、次の(a)～(i)から1つずつ選び、記号で記せ。なお、すべての図は腹側から見たものであり、胸部・腹部の破線は体節の境界を示す。

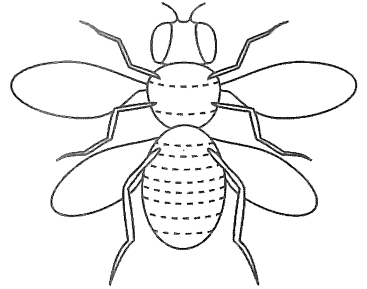
(a)



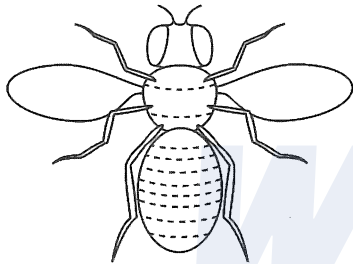
(b)



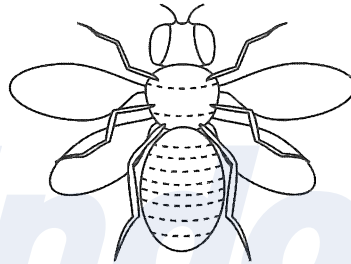
(c)



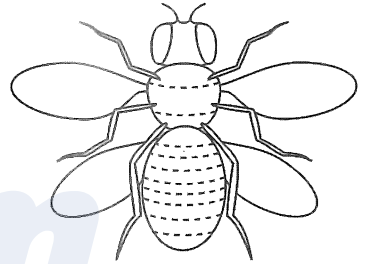
(d)



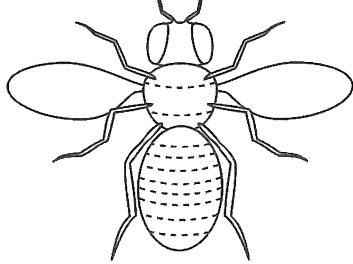
(e)



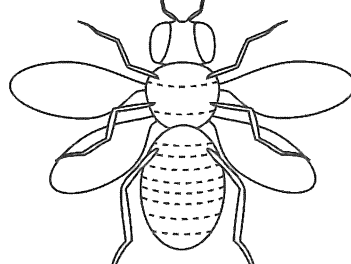
(f)



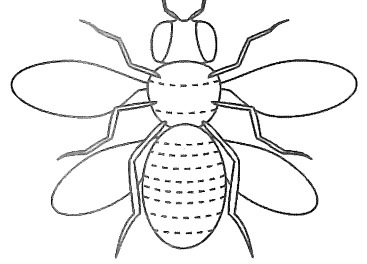
(g)



(h)



(i)



生 物

生物 問題 III

次の文章を読み、下の問に答えよ。

脊椎動物の場合、体液は血液、組織液、リンパ液に分けられる。血液は液体成分の血しょうと有形成分の血球からできている。血しょうの一部は毛細血管からしみ出て組織液となり、組織液の一部が毛細リンパ管に入りリンパ液となり、リンパ管が最終的に ①血管と合流することで、体液は互いに移動する。血液の有形成分である血球には赤血球、白血球、血小板があり、いずれも骨髄にある（ あ ）細胞からつくられる。白血球とは免疫にかかわる血球の総称で、自然免疫として主に ②異物を貪食して排除する食細胞や、獲得免疫としてはたらく T 細胞、B 細胞などがある。B 細胞は、体液性免疫で重要な役割を果たす抗体を産生する。B 細胞表面には、B 細胞受容体が存在する。③B 細胞受容体は、B 細胞がつくる抗体が細胞表面に現れたものであり、細胞外に分泌される抗体と同じ遺伝子が指定している。B 細胞受容体に抗原が結合すると、それを細胞内に取り込み、分解して提示する。（ い ）細胞が提示した同一の抗原により活性化しているヘルパーT 細胞と出会うと、B 細胞は活性化され増殖し、（ う ）細胞とよばれる抗体を大量に産生する細胞に分化する。また、増殖した B 細胞の一部は（ え ）細胞として残り、同じ抗原が再び侵入してきた際に素早く抗体を産生する。B 細胞は分化していく際に、その多様性を生み出すため、可変部を指定する遺伝子が再編成される。さらにその遺伝子の再編成する際に、塩基の置換・挿入が起こることによって莫大な種類の抗原に対応できる多様性が生まれる。図 1 は抗体の H 鎖を指定する遺伝子の構造を模式的に示しており、数字を付したそれぞれのエキソンの特徴は次のとおりである。

- エキソン 1 は翻訳されたタンパク質を小胞内へ移行するためのシグナルペプチドを指定している。
- エキソン 2 は遺伝子編成によりできたもので、可変部のアミノ酸を指定している。
- エキソン 3～6 は H 鎖の定常部を指定している。
- エキソン 7、8 にはどちらにも終止コドンが存在する。
- 細胞表面に存在する B 細胞受容体はエキソン 8 が指定するアミノ酸の配列をもつが、細胞外に分泌される抗体はそれらのアミノ酸の配列をもたない。

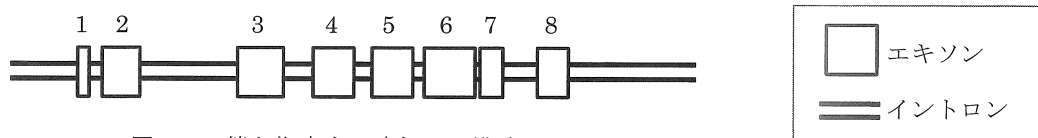


図 1 H 鎖を指定する遺伝子の構造

問 1. 下線部①について、リンパ管が最終的に合流する血管の名称を記せ。

問 2. 下線部②について、貪食し異物を排除する食作用を持つ細胞の名称を 2 つ記せ。

問 3. （ あ ）～（ え ）に入る細胞の名称を記せ。

問 4. 抗体について、下記の（ア）～（オ）の中から正しいものを 2 つ選び、記号を記せ。

- （ア）四次構造をもつ。
- （イ）L 鎖は定常部をもたない。
- （ウ）抗原と結合する部分をエピトープとよぶ。
- （エ）2 本の H 鎖と 4 本の L 鎖からできている。
- （オ）H 鎖と L 鎖はジスルフィド結合で結合している。

生 物

問 5. 下線部③について、このような遺伝子発現調節のしくみを何と呼ぶか。また、図 1 に示す遺伝子の構造から、B 細胞受容体を指定するエキソンをすべて選び、数字で記せ。

問 6. 表 1 は抗体を産生する 5 種類の細胞 A～E における H 鎖を指定する mRNA のうち、可変部の塩基配列の一部を示している。それぞれの mRNA の塩基配列を比較したところ、A と比べ B～E はそれぞれ塩基が 1 つだけ異なっていた（表 1 の下線部）。これらの塩基配列が指定するアミノ酸配列について、A と比較すると、B と D のアミノ酸配列はすべて同じであったが、C と E のアミノ酸配列は 1 箇所だけ異なっていた。図 2 は遺伝暗号表である。

表 1 細胞 A～E それぞれの H 鎖を指定する mRNA の塩基配列の一部とそれらが指定するアミノ酸配列の相違

mRNA の塩基配列の一部	A のアミノ酸配列との相違
A: 5'---GGAUCCGACCUCUCCCCGGAGCAAGA---3'	—
B: 5'---GGAUCCGACCUCUCC <u>U</u> CGGAGCAAGA---3'	すべて同じ
C: 5'---GGAUCCG <u>G</u> CCUCUCCCCGGAGCAAGA---3'	1 つ異なる
D: 5'---GGAUCCGACCUCUCCCC <u>A</u> GGAGCAAGA---3'	すべて同じ
E: 5'---GGAUCCGACC <u>U</u> UCCCCGGAGCAAGA---3'	1 つ異なる

(1) 細胞 A と細胞 C のアミノ酸配列を比較した場合、異なっているアミノ酸は何か。それぞれのアミノ酸名を記せ。

(2) 細胞 A の mRNA 塩基配列中の GA（表 2 の二重下線部分）の間に、表 2 のように塩基が数個挿入された新たな別の細胞 F～I が見つかった。A のアミノ酸配列と比較して、翻訳されるアミノ酸配列の変化が最も少ないのは F～I のうち、どれか。記号を記せ。ただし、F～I の塩基配列は、挿入された塩基以外はすべて A と同じ塩基配列である。

表 2 塩基の挿入が見つかった細胞の mRNA の塩基配列の一部

A: 5'---G <u>G</u> AUCCGACCUCUCCCCGGAGCAAGA---3'
F: 5'---G <u>G</u> <u>A</u> AUCCGACCUCUCCCCGGAGCAAGA---3'
G: 5'---G <u>G</u> <u>A</u> <u>U</u> AUCCGACCUCUCCCCGGAGCAAGA---3'
H: 5'---G <u>G</u> <u>A</u> <u>U</u> <u>C</u> AUCCGACCUCUCCCCGGAGCAAGA---3'
I: 5'---G <u>G</u> <u>A</u> <u>U</u> <u>C</u> <u>A</u> AUCCGACCUCUCCCCGGAGCAAGA---3'

		2 番目								
1 番目	U		C		A		G		3 番目	
U	UUU	フェニルアラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイン	U	
	UUC		UCC		UAC		UGC		C	
	UUA		UCA		UAA		UGA		終止コドン	A
	UUG		UCG		UAG		UGG		トリプトファン	G
C	CUU	ロイシン	CCU	プロリン	CAU	ヒスチジン	CGU	アルギニン	U	
	CUC		CCC		CAC		CGC		C	
	CUA		CCA		CAA		CGA		A	
	CUG		CCG		CAG		CGG		G	
A	AUU	イソロイシン	ACU	トレオニン	AAU	アスパラギン	AGU	セリン	U	
	AUC		ACC		AAC		AGC		C	
	AUA		ACA		AAA		AGA		A	
	AUG		ACG		AAG		AGG		G	
G	GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アスパラギン酸	GGU	グリシン	U	
	GUC		GCC		GAC		GGC		C	
	GUA		GCA		GAA		GGA		A	
	GUG		GCG		GAG		GGG		G	

図 2 遺伝暗号表