

平成 31 年度入学者選抜個別(第 2 次)学力検査問題

理 科

注 意 事 項

1. 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は、全部で 36 ページあり、第 1 ～ 3 ページは下書用紙です。下書用紙は切り離してはいけません。
3. 解答用紙は、問題冊子と別に印刷されているので、誤らないように注意しなさい。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された欄内に記入しなさい。点線より右側には何も記入しないこと。
5. 入学志願票に選択を記載した 2 科目について解答しなさい。選択していない科目について解答しても無効です。
6. 各解答用紙には、受験番号欄が 2 か所ずつあります。それぞれ記入を忘れないこと。
7. 解答用紙は、記入の有無にかかわらず、机上に置き、持ち帰ってはいけません。この冊子は持ち帰りなさい。
8. 落丁または印刷の不鮮明な箇所があれば申し出なさい。

# 生 物

1

骨髓に存在する造血幹細胞<sup>a)</sup>が分化して末梢血液の有形成分が作られる。そのなかには有核の白血球<sup>b)</sup>、無核の赤血球<sup>c)</sup>、血小板<sup>d)</sup>などがある。通常、ヒトでは末梢血液 1 mm<sup>3</sup> あたり、赤血球は 450～500 万個、白血球は 6,000～8,000 個、血小板は 10～40 万個存在し、赤血球数が一番多い。赤血球はヘモグロビン<sup>e)</sup>を含む。ヘモグロビンは、ヘムという二価の鉄イオンを含む色素とグロビンというタンパク質<sup>f)</sup>から成る。ヘモグロビンは酸素分圧が高い生体内部位では酸素と結合し、酸素分圧が低い部位では酸素を解離するように、酸素を運搬する役割を果たしている。

血液の液体成分を血漿<sup>しょう</sup>という。その主成分は水であり、水にはタンパク質、グルコース、無機塩類などが溶けている。タンパク質としては、アルブミン、グロブリンなどが含まれている。アルブミンは肝臓で作られ、血漿のなかでは最も量の多いタンパク質である。末梢血液中に占める赤血球の容積の割合をヘマトクリット値<sup>g)</sup>という。ヘマトクリット値は成人男性で 40～48 %、成人女性で 36～42 % が健康な人の基準範囲であるとされる。

腎臓には腎動脈から大量の血液が流入する。腎臓は血漿中の不要な物質を尿<sup>h)</sup>として排出する。加えて、体液の量や体液中の無機塩類の濃度などを調節している。ヒトの腎臓は腹腔背中側の腰よりやや高い部位に左右一対ある。腎臓の表面付近には、毛細血管が複雑に絡まった小球と、これを包み囲むような袋状の構造が存在する。この袋状の構造に細長い管がつながる。この細長い管は集まり、腎盂<sup>う</sup>、輸尿管を経由して、膀胱<sup>ぼうこう</sup>へとつながる。膀胱に貯まった尿が尿道を通過して体外へ排出される。

問題 1 下線部 a)～h)に関連した次の問題に答えよ。

a) 幹細胞は一般にどのような特徴をもつか、2つ答えよ。

b) 核には DNA や RNA などが含まれる。

1) DNA の複製は半保存的複製とよばれる。半保存的とよばれる理由を答えよ。

2) 選択的スプライシングの生物学的意義を答えよ。

3) 生物が示す生体防御の1つとして RNA 干渉 (RNAi) がある。どのような場合にこれが働くか1つ答えよ。

c) ヒトの鎌状赤血球症は血液中の酸素が不足すると赤血球が鎌状に変形し、貧血などを起こす遺伝病である。これは生存において不利であるが、マラリアが多発するアフリカ西部などでは鎌状赤血球症の原因となる遺伝子をもつヒトが多い。その理由を述べよ。

d) 血液凝固における血小板の役割を1つ答えよ。

e) ヘモグロビンは胎児型から成人型へと変化する。胎児型ヘモグロビンと成人型ヘモグロビンの性質の違いを答えよ。

f) タンパク質について次の問題に答えよ。

1) 分子量がほぼ同じであっても水への溶解度が異なる場合がある。その理由を答えよ。

2) タンパク質の変性とはどのような現象であるか、分子レベルで答えよ。

g) 高地トレーニングを行うと、ヘマトクリット値が上がることもある。その理由を答えよ。

h) 腎臓が正常に機能している状態では、タンパク質とグルコースは尿中ではほとんど検出されない。これは、腎臓のどの部位のどのような働きによるのか、それぞれ答えよ。

問題 2 以下の図1と図2は、ある細胞の透過型電子顕微鏡像である。図2は図1の細胞質の部分拡大したものであり、図1と図2における同じ記号は同じ細胞小器官を示す。Aは袋状と黒い粒子状の構造から成る。核やBは膜に包まれた構造である。次の問題に答えよ。

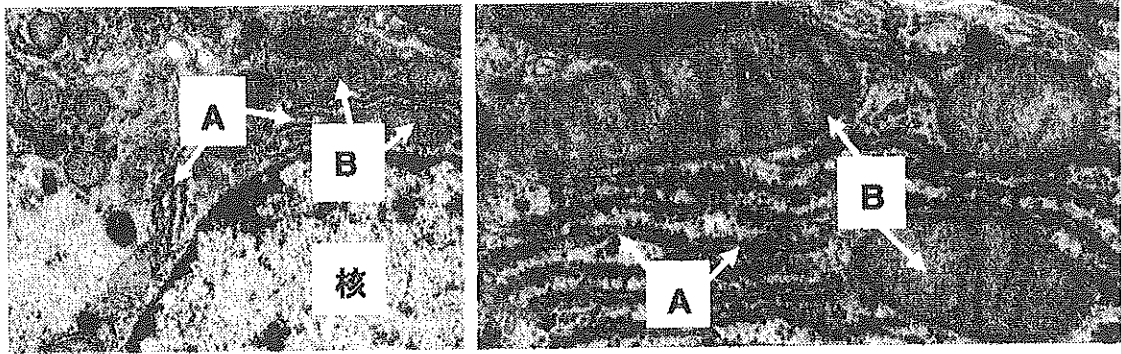


図 1

図 2

- 1) この細胞では図の A だけでなくゴルジ体も発達している。このような特徴を持つ細胞は、どのような働きをする細胞か答えよ。
- 2) B の名称と働きを答えよ。
- 3) B が膜で包まれた構造であることによって、代謝において有利であると考えられる点を 1 つ答えよ。

2013年、米ボストンで開催された第179回米国科学会において京都大学霊長類研究所の松沢哲郎教授による講演が行われ、チンパンジーの類いまれなる能力が明らかになった。ビデオに登場したのは、チンパンジーのアユム12歳。非常に短時間に1から9までの数字がランダムに現れる画面を、その場所を正確に記憶して、数字が消えた後も順番にタッチする様子が映し出されると、参加した科学者やジャーナリストから驚きの声が上がった。この優れた記憶能力は、人間には真似のできない能力である。しかも、テストを行った6頭のチンパンジーすべてが同様の能力を持っていたという。彼らの驚くべきこの短期記憶能力は、この種が存続するために必要であったと推測される。

2種類のアフリカ類人猿、チンパンジーとボノボは、ヒトに最も近縁な現生動物であり、同属別種である。この2種は、150万年前から210万年前に共通の祖先から分岐した。しかし、ゲノムDNAの解析によって、チンパンジーの一部の亜種にはボノボ由来のゲノム配列が含まれていることが分かった。つまり、両種が分岐した後も交雑があったことを示している。両種ともコンゴの密林に暮らし、一部の生息域はコンゴ川で区切られているとはいえ非常に近い。この2種の類人猿はどちらもヒトに近い特徴を示し、知能は高い。しかし、元々の生息地である森にとどまってきたため、ヒトに比べて骨格や行動の進化は限定的であったと考えられている。一方、西アフリカのチンパンジーは、ヒトの間でエイズが広まるずっと前からHIV-1というウイルスへの耐性が備わっていたなど、彼らの方が進んでいる部分もある。

およそ20万年前に生まれたホモ・サピエンス(サピエンス人)は、アフリカを旅立ち中東へと足を踏み入れた。そこで待っていたのは、別種の人類ネアンデルタール人であった。初期人類とネアンデルタール人とは共通祖先から分岐したが、DNAの塩基配列決定法などの解析結果から、その後も長期にわたり交雑が行われたことが分かっている。屈強な身体を武器に、大型の獲物を仕留めるハンターだったネアンデルタール人。しかし、不思議なことにネアンデルタール人は絶滅してしまう。生き残ったのは、華奢な身体きゃしゃのサピエンス人だった。なぜ私たちの祖先だけが生き残ることができたのか。そのカギを握っていたのは、サピエ

ンス人の「身体的な弱さ」を補うために進化させた、「互いに協力する能力」であったと推測されている。この能力のおかげで、華奢なサピエンス人でも大型の獲物をしとめることができたと考えられている。

サピエンス人の集団では、長い間狩猟文化の時代が続き、不定期にしか手に入らない獲物を食べながら過ごしてきた。この間に、慢性的な低血糖状態に耐える<sup>g)</sup>しくみができあがったと考えられている。その後、約1万年前には農耕文化へと移行し、定期的に食事をとる生活習慣が始まった。さらに飽食の時代と呼ばれる現代では、この低血糖状態に耐えるしくみが、容易に高血糖状態を誘導して糖尿病<sup>h)</sup><sup>i)</sup>を生み出す要因になっていると考えられている。

米国科学会で報告されたチンパンジーのアユムの数字を記憶する能力は、ヒトよりもかなり優れた能力であった。アユムの優れた記憶力は、人類が失ってしまった能力なのか、チンパンジーが進化によって獲得した能力なのか、そのどちらであるかは分かっていない。

問題 1 下線部 a) ~ i) に関連した次の問題に答えよ。

a) 動物の行動の中には、生まれてからの経験が記憶され、その結果、行動に変化が生じることがあり、これを「学習」という。アメフラシは、わずかな波の動きくらいならば危険を感じることなく、大きくえらを広げて呼吸をしている。しかし、水管に激しく海水がかかると、危険を感じてえらを引っ込める。このえら引っ込め反射には、水管の感覚ニューロンとえらの運動ニューロンが関与していることが分かっている。ところが、同じ刺激を繰り返していると、だんだんえらを引っ込めるのをやめてしまう。これは「慣れ」と呼ばれる単純な学習である。では、この「慣れ」はどのような原因で生じると考えられるか、考えられる可能性を3つ答えよ。

b) この短期記憶能力は、どんな時に必要(有利)であったと推測されるか、考えを述べよ。

c) チンパンジーとボノボは、なに「目」に属するか答えよ。

d) 類人猿(ゴリラ)とヒトの骨格を比較して、次の3か所における違いを答えよ。

①大後頭孔(頭骨と脊柱をつなぐ穴), ②骨盤, ③犬歯

e) 1) なぜエイズ患者は、健康な人では発症することのない感染症(日和見感染症)にかかりやすくなるのか、答えよ。

2) ウイルスに感染した細胞が、細胞性免疫によって処理(排除)されるしくみについて、次の用語を全て用いて説明せよ。

ヘルパーT細胞, キラーT細胞, マクロファージ, 樹状細胞,  
増殖, 攻撃, 抗原提示, 感染細胞

f) DNAの塩基配列を決定する方法として、サンガー法が有名である。この方法では、塩基配列を調べたい目的のDNA以外に、デオキシリボヌクレオシド三リン酸と何を反応液に加えれば良いか答えよ。

g) 飢餓状態が続くと、間脳の視床下部にその情報が伝わり、筋肉などのタンパク質を分解してアミノ酸からグルコースを合成し、血糖値(血糖濃度)を上昇させる。この時、どの内分泌器官から何というホルモンが分泌されて、血糖値が上昇するのか、視床下部から始めてその過程を順に答えよ。

h) アカガエルの一種の血糖値は、春から夏にかけては約30 mg/100 mLであり、秋から冬にかけては約600 mg/100 mLへと変化する。何のためにそのような変化が起こると考えられるか述べよ。

i) 図3のAは、健康な人が食事を取った後の血糖値と血液中のインスリン濃度の変化を示したものである。Bは、ある糖尿病患者の両値の変化を示したものである。この患者Bは、どのようなことが原因で、このような結果になったと考えられるか答えよ。

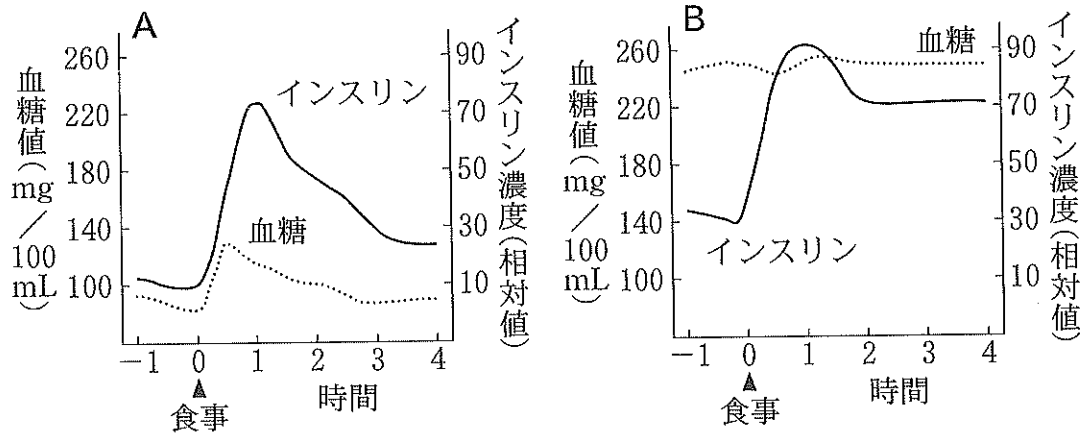


図3



「配偶者選択行動」とは、一方の性(通常はメス)が他方の性(通常はオス)を選び好む行動のことをいう。この選択行動には、個体の形態的特徴や行動的特徴だけでなく、個体同士の社会的な親密性も重要であることが分かっている。例えば魚類のグッピーのメスは初めて出会ったオス(見知らぬオス)を配偶の相手として選ぶ傾向がある。一方で、同じ魚類でもメダカのメスは出会ったことのあるオス(見知ったオス)を配偶の相手として好む傾向がある。

メダカの配偶行動では、オスがメスに求愛行動を数回くり返した後に、メスが求愛を受け入れて放卵にいたる。メスの配偶者選択行動の強さは、「オスが求愛をしてからメスが求愛を受け入れるまでの時間」(受け入れ時間)を測定することで定量化することができる。例えば、お互いの姿が見えないように別々の水槽で飼育したオスとメスを、同じ水槽に入れて配偶行動を調べたところ、メスの受け入れ時間は平均で約40秒だった。一方、前夜からオスとメスがお互いの姿を見ることができるようにした場合(ガラスで隔てられてお互いは触れることができない)では、メスの受け入れ時間が有意に短くなり、平均5秒だった。これらの結果から、メスは前の晩から見ていたオスからの求愛を受け入れやすいことが示された。<sup>①</sup>

同じ水槽に2匹のオスと1匹のメスを一緒にした場合、メスがどちらのオスを選択したのかはGFPを用いた父親検定で判定できる。具体的には、生殖細胞でGFPを発現させたオス(GFP導入オス)<sup>a)</sup>1匹と野生型のオス1匹に対してメス1匹を同じ水槽に入れ、配偶行動後に採取した受精卵におけるGFPを発現している卵の割合を指標として、父親を判定する。実験に使うメスとは出会ったことが無いオス2匹(野生型オス、GFP導入オス)を使った実験では、2匹のオスの精子はほぼ同程度の比率で受精していることが分かった。次に、片方のオスを前夜からメスに見せていた実験では、それが野生型オスでもGFP導入オスでも、受精卵の父親検定の結果、約8割が前夜から見せていたオス由来の受精卵だった。これらの結果から、メダカのメスは「前の晩から見ていたオス(見知ったオス)」と「見知らぬオス」とを識別して、前者を配偶相手として選択することが示唆された。

求愛の受け入れに異常を示すメスの変異体を調べたところ、「見知らぬオス」の求愛をすぐに受け入れて放卵する *cxcr 4* 遺伝子変異体と *cxcr 7* 遺伝子変異体が見つかった。*cxcr 4* 遺伝子と *cxcr 7* 遺伝子の産物である CXCR 4 タンパク質および CXCR 7 タンパク質は、ともに SDF 1 (CXCL 12) というリガンド物質が結合することで活性化する受容体で、細胞移動などに関与することが知られている。例えばマウスやゼブラフィッシュでは、これらの受容体やリガンド物質は、胚発生過程においては始原生殖細胞の生殖巣への移動や、ペプチドホルモンである生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (GnRH) を産生するニューロン (GnRH 産生ニューロン) を含む数種類の神経細胞の移動に必要であることが報告されている。メダカでは GnRH 産生ニューロンが 3 種類存在する。その 1 つの GnRH-1 産生ニューロンは視床下部の視索前野に細胞体を持ち、軸索を脳下垂体へと投射し、生殖腺刺激ホルモンの放出を制御している。GnRH-3 産生ニューロンは終神経節に細胞体を持ち、脳下垂体以外の広範囲の脳領域に軸索を投射している。GnRH-3 産生ニューロンを破壊したメスでは *cxcr 4* 変異体および *cxcr 7* 変異体と同様に「見知らぬオス」をすぐに受け入れた。

魚類の *gnrh* 前駆体遺伝子は大きく 3 つのグループに分けられる。約 90 個のアミノ酸から構成される GnRH 前駆体タンパク質は特定の酵素により切断・修飾され、10 個のアミノ酸からなるペプチド(デカペプチド)の GnRH が作られる。メダカはそれぞれ別の *gnrh* 前駆体遺伝子から作られる 3 種類の GnRH (GnRH-1, GnRH-2, GnRH-3) を持っている。ある変異体の *gnrh-3* 遺伝子は、GnRH-3 をコードする遺伝子の 1 つの塩基チミンがシトシンに置換したものである。その結果、この変異体で作られるデカペプチドでは、あるアミノ酸がプロリンに変異している。メダカには 3 種類の GnRH 受容体があるが、それらに対するこの変異デカペプチドの応答性を調べたところ、いずれの受容体に対しても本来の GnRH と比べて応答性が有意に低下していた。さらに分子遺伝学と電気生理学的手法を組み合わせた実験の結果より、GnRH-3 産生ニューロンが目の前のオスを配偶相手として受け入れるかどうかのスイッチとして機能していることが示唆された。

問題 1 下線部 a)～d)に関連した次の問題に答えよ。

a) GFPとはどのような性質を持つタンパク質か答えよ。また、一般的に遺伝子導入実験において、目的の遺伝子と *gfp* 遺伝子を組み込んだベクターを用いることが多い。この場合、どのような目的で *gfp* 遺伝子をベクターに組み込むのか答えよ。

b) 始原生殖細胞が精巣に移動してから精子が形成されるまでの過程を、各段階の細胞の名称を用いて説明せよ。またその過程で二価染色体が出現するのはどの細胞か答えよ。

c) ホルモンには水溶性の性質を持つものと脂溶性の性質を持つものがある。次のホルモンの中から脂溶性のホルモンを全て選んで答えよ。

語群：アドレナリン，糖質コルチコイド，鉱質コルチコイド，グルカゴン，インスリン，チロキシン

d) 解答用紙には視床下部と脳下垂体の模式図を描いた。①，②，③のどこが視床下部で，どこが脳下垂体前葉であるか，図に書き入れよ。また，バソプレッシン産生ニューロン(神経分泌細胞)を，細胞体，軸索，軸索末端(神経終末)が分かるように描き，それぞれの名称を引き出し線を用いて示せ。

問題 2 下線部①について，次の問題に答えよ。

1) 実験者はメスが前日から見ているオスを個体識別していたと考察している。その一方で，配偶行動観察の前日からメスが同種のオスを見ていたためにメスの性的興奮性が高まった，という可能性も考えられる。この可能性を排除するためにはどのような実験を行い，どのような結果が得られれば良いか答えよ。

2) メダカの配偶者選択では視覚情報が重要であることが今回の行動実験により示されている。一方で嗅覚情報が関与する可能性を完全には否定できない。配偶者選択において嗅覚が関与しているかどうかを調べるためにはどのような実験を行ったらよいか答えよ。ただし，眼球や嗅上皮の切除などの外科的処理は行わないこととする。

問題 3 下線部②に関して、以下の図4～図6を参考にして問題に答えよ。

- 1) メダカの GnRH-2 と GnRH-3 は、アミノ酸配列がそれぞれある動物の GnRH のアミノ酸配列と同じである。図5のメダカの *gnrh-2* 遺伝子と *gnrh-3* 遺伝子の塩基配列をもとに、それぞれの GnRH が図6のどの動物の GnRH と同じであるかを答えよ。
- 2) 図5のメダカの *gnrh-1* 遺伝子にはシトシンが7つ含まれている。このうちのある1つのシトシンがチミンに置換した変異体が見つかったとする。変異体によるペプチドが本来の GnRH と同様の機能を持つ場合と、GnRH として最も機能しないと考えられる場合とで、それぞれ何番目のコドンの何番目の塩基が置換したと考えられるか、その理由とともに答えよ(解答はそれぞれ1つ答えればよい)。
- 3) *gnrh-3* 遺伝子変異体において一塩基置換が起きて変化した「あるアミノ酸」とはメダカ GnRH-3 を構成する10個のアミノ酸のうちどのアミノ酸であると推測されるか、分子進化の考えに基づいて答えよ。

		コドンの2番目の塩基					
		U	C	A	G		
コドンの1番目の塩基	U	UUU フェニルアラニン (Phe)	UCU セリン (Ser)	UAU チロシン (Tyr)	UGU システイン (Cys)	U	コドンの3番目の塩基
		UUC	UCC	UAC	UGC	C	
		UUA ロイシン (Leu)	UCA	UAA 終止コドン	UGA 終止コドン	A	
		UUG	UCG	UAG	UGG トリプトファン (Trp)	G	
	C	CUU	CCU	CAU ヒスチジン (His)	CGU	U	
		CUC	CCC	CAC	CGC	C	
		CUA	CCA	CAA グルタミン (Gln)	CGA	A	
		CUG	CCG	CAG	CGG	G	
	A	AUU	ACU	AAU アスパラギン (Asn)	AGU セリン (Ser)	U	
		AUC	ACC	AAC	AGC	C	
		AUA	ACA	AAA リシン (Lys)	AGA	A	
		AUG 開始コドン メチオニン (Met)	ACG	AAG	AGG	G	
G	GUU	GCU	GAU アスパラギン酸 (Asp)	GGU	U		
	GUC	GCC	GAC	GGC	C		
	GUA	GCA	GAA グルタミン酸 (Glu)	GGA	A		
	GUG	GCG	GAG	GGG	G		

図4

遺伝暗号表を示す。また、それぞれのアミノ酸名の下の( )は、アミノ酸を三文字で表記している。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
メダカ <i>gnrh-1</i>	CAG	CAC	TGG	TCA	TTT	GGT	CTG	AGT	CCT	GGA
メダカ <i>gnrh-2</i>	CAG	CAC	TGG	TCC	CAT	GGT	TGG	TAC	CCG	GGA
メダカ <i>gnrh-3</i>	CAG	CAC	TGG	TCC	TAT	GGA	TGG	CTA	CCA	GGT

図 5

メダカ *gnrh* 遺伝子の塩基配列(デカペプチドに該当する部分)を示す。上部の 1~10 はデカペプチドを構成するアミノ酸のアミノ基側からの順番を示している。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
メダカ (GnRH-1)	pGlu	His	Trp	Ser	Phe	Gly	Leu	Ser	Pro	Gly-NH <sub>2</sub>
ヒト	pGlu	His	Trp	Ser	Tyr	Gly	Leu	Arg	Pro	Gly-NH <sub>2</sub>
ニワトリ	pGlu	His	Trp	Ser	His	Gly	Trp	Tyr	Pro	Gly-NH <sub>2</sub>
カエル	pGlu	His	Trp	Ser	Tyr	Gly	Leu	Trp	Pro	Gly-NH <sub>2</sub>
サケ	pGlu	His	Trp	Ser	Tyr	Gly	Trp	Leu	Pro	Gly-NH <sub>2</sub>
タイ	pGlu	His	Trp	Ser	Tyr	Gly	Leu	Asn	Pro	Gly-NH <sub>2</sub>
ニシン	pGlu	His	Trp	Ser	His	Gly	Leu	Ser	Pro	Gly-NH <sub>2</sub>
ナマズ	pGlu	His	Trp	Ser	His	Gly	Leu	Asn	Pro	Gly-NH <sub>2</sub>
ヤツメウナギ	pGlu	His	Trp	Ser	Leu	Gly	Trp	Lys	Pro	Gly-NH <sub>2</sub>
サメの一種	pGlu	His	Trp	Ser	His	Gly	Trp	Leu	Pro	Gly-NH <sub>2</sub>
ホヤの一種	pGlu	His	Trp	Ser	Asp	Tyr	Phe	Lys	Pro	Gly-NH <sub>2</sub>

図 6

メダカ GnRH-1 を含む様々な動物の GnRH のアミノ酸配列を示す。上部の 1~10 はデカペプチドを構成するアミノ酸のアミノ基側からの順番を示している。1 番のアミノ酸は翻訳後に化学修飾されてピログルタミン酸 (pGlu) に変わる。