

生物の系統と進化に関する評価問題

〔 生物 〕

高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説

理科編 理数編 第7節 生物 133ページ～134ページより

(ウ) 生物の系統と進化

⑦ 生物の系統と進化

「生物の遺伝情報に関する資料に基づいて、生物の系統と塩基配列やアミノ酸配列との関係を見いだして理解すること。」

解説の中で具体的に例示してある部分が数カ所あるが、その中の一つに関する考察問題である。今回の解説の中では「資料に基づいて」と表記されている箇所が数多くある。今回はインターネット上で資料を集め、コンピュータの専用ソフトを使って処理をする設定とした。

学習指導要領解より一部抜粋

(問題番号および下線部は問題との関連を示す。)

ここでは、生物の遺伝情報に関する資料に基づいて、生物の系統と塩基配列やアミノ酸配列との関係を見いだして理解させることがねらいである。

生物の系統と塩基配列やアミノ酸配列との関係を見いださせるには、問1 塩基配列やアミノ酸配列に関する資料に基づいて、生物種間の系統関係が塩基配列やアミノ酸配列によって推定できることに気付かせることが考えられる。

例えば、問2 ヘモグロビン α 鎖のアミノ酸配列に関する資料を基に、脊椎動物の系統樹を作成させることが考えられる。その際、対象とする生物は、魚類、両生類、爬虫類、鳥類、哺乳類から1種ずつとし、それらの生物について、形態から推定できる系統樹と現在得られている分子系統樹とに相違がないものを選ぶ。さらに、問4 (1) 鳥類と数種の爬虫類について同様の系統樹を作成させ、形態を基に推定される系統樹が分子系統樹と必ずしも一致しない場合があることに気付かせて、その理由などについて考察させることも考えられる。

出題意図

| 小問番号 | 問いたい力 | 出題意図 |
|--------|------------|---|
| 問1 | 技能・思考力 | 資料から必要なデータを読み取り、生物の系統とアミノ酸配列との関係を見いだせるか。 |
| 問2 | 技能・思考力・表現力 | アミノ酸置換数に基づいて、分子系統樹を作成することができるか。 |
| 問3 | 知識・表現力 | アミノ酸配列の共通部分と異なる部分の役割を理解し、説明できる表現力を有しているか。 |
| 問4 (1) | 思考力・表現力 | 形態を基に推定される系統樹と分子系統樹との違いに気付かせて、その理由を考察し、説明できる表現力を有しているか。 |
| 問4 (2) | 技能・思考力 | 表及び図の情報から分岐点からのアミノ酸の置換数は17.5個であることに気づき、与えられた条件から計算できる技能を有しているか。 |

1 進化の過程を樹木のように表したものを系統樹という。系統樹は種が共通祖先からどのように分岐してきたかを表すが、かつては形態、生理的な特徴、生殖、発生の類似性などを基にして作成をされてきた。しかし、ズッカーカンドルとポーリングは、同じタンパク質であればどの生物でもおおむね一定の速度でアミノ酸の置換が起こっていることを示した。そして、「共通先祖から分岐した生物群の同じタンパク質の進化速度はほぼ等しい」という仮説のもとに、生物間のアミノ酸の違いを利用して系統樹を作成する分子系統樹の手法が確立された。

今回、9種類の生物のアミノ酸配列情報を米国立生物工業情報センターのホームページから入手し、コンピュータで専用ソフトを使って処理を行った。下の問いに答えなさい。

問1 図1は3種類の脊椎動物のヘモグロビンα鎖のアミノ酸配列の一部である。VDCH など一つのアルファベットが異なる種類のアミノ酸を表している。次の文章の(ア)、(イ)に当てはまる数字、および(ウ)に適する語句を選び記入しなさい。

```

ヒト  MVLSPADKTNVKAAWGKVGA
カモ  MVLSAADKTNVKGVFSKIGG
コイ  MSLSDKDKAAVKALWAKISP
    
```

図1 ヘモグロビンα鎖のアミノ酸配列の一部

ヒトとカモでは(ア)箇所、ヒトとコイでは(イ)箇所アミノ酸が置き換わっていることが分かる。下線部アの仮説が正しいとすると、ヒトとカモの分岐点の方が(ウ 前・後)であると推測できる。

問2 脊椎動物のヘモグロビンα鎖のアミノ酸配列を比較すると、ヒトとニワトリでは42カ所、ヒトとヤモリでは58カ所、ヒトとウシガエルでは62カ所、ヒトとコイでは68カ所で違っていた。上記5種の脊椎動物(ヒト、ニワトリ、ヤモリ、ウシガエル、コイ)について、下線部アの仮説にしたがい分子系統樹をかいてみる。縦線1目盛りはアミノ酸1個の違いを表している。図2中のA~Cにあてはまる動物名を答えよ。また、A~Cがどの時点で分岐したかが分かるように図中に線を書き加え、系統樹を完成させよ。

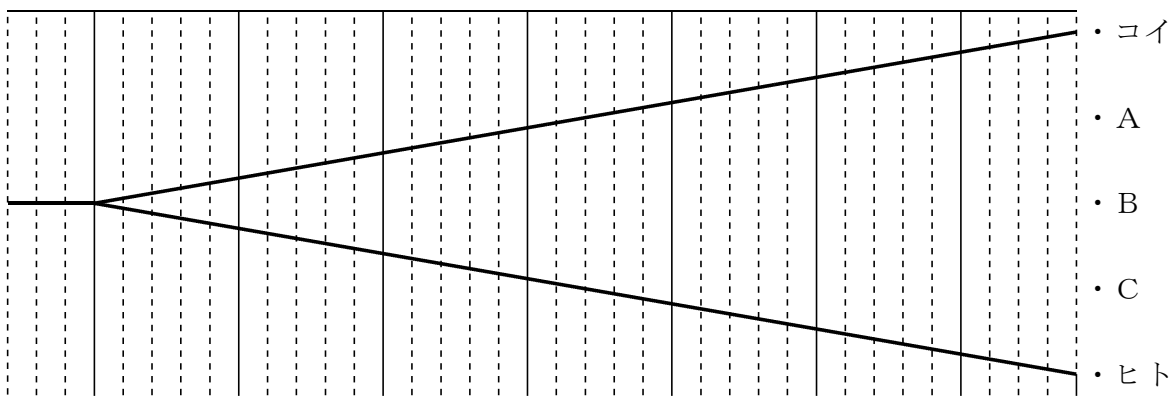


図2 脊椎動物5種の分子系統樹

問3 分子系統樹の作成には、ヘモグロビン以外にも呼吸に関係するタンパク質であるシトクロムCのアミノ酸配列が用いられる場合がある。シトクロムCは104個のアミノ酸からできているが、そのうち35個はすべての生物に共通である。共通のアミノ酸35個と共通ではないアミノ酸69個の機能上の違いを述べよ。

問4 鳥類と爬虫類の進化の過程を調べるために、4種類の生物のヘモグロビン α 鎖のアミノ酸配列の置換数を調べ(表1)、その結果から図4の分子系統樹を得た。

表1 鳥類と爬虫類のアミノ酸の置換数

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------|----|----|----|---|
| 1 ニワトリ | | | | |
| 2 ワニ | 35 | | | |
| 3 ウミガメ | 45 | 41 | | |
| 4 ヘビ | 61 | 63 | 64 | |

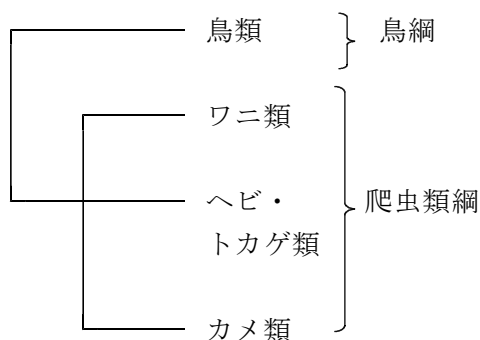


図3 形態を基に推定される系統樹

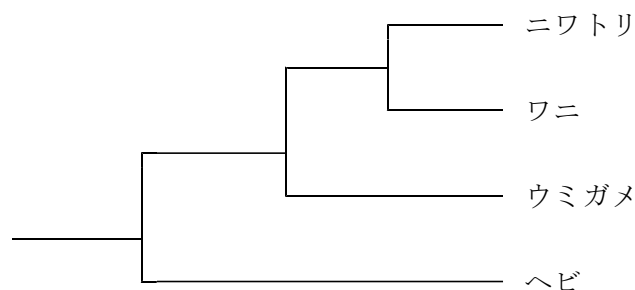


図4 表1の結果から平均距離法(UPGMA)を使って作成した分子系統樹

- (1) 形態を基に推定される従来の系統樹と分子系統樹は必ずしも一致しない場合がある。図4から、鳥類と爬虫類の系統についてどのようなことが考えられるか述べなさい。
- (2) ヘモグロビン α 鎖のアミノ酸1個が別のアミノ酸に置換されるのに必要な年数を400万年とした場合、表1および図4の結果からニワトリとワニが共通祖先から分岐したのは、今から何百万年前と推測されるか。計算式を示し、答えを求めなさい。

生物 答案用紙

| | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----|----|-----------|---|---------|---|
| 問1 | ア | イ | ウ | 問2 (1) | A | B | C |
| | | | | | | | |
| 問2 (2) | | | | | | | |
| 問3 | 共通の アミノ酸 | | | | | | |
| | 共通でない アミノ酸 | | | | | | |
| 問4 | (1) | | | | | | |
| | (2) | 計算式 | 答え | | | 万年 前 | |

生物 模範解答

| | | | | | | | |
|-----------|---------------|---|---|-----------|-------|-----|------|
| 問1 | ア | イ | ウ | 問2 (1) | A | B | C |
| | 7 | 10 | 後 | | ウシガエル | ヤモリ | ニワトリ |
| 問2 (2) | | | | | | | |
| 問3 | 共通の アミノ酸 | 呼吸に関するシトクロムCの働きを維持するのに必須の部分 | | | | | |
| | 共通でない アミノ酸 | シトクロムCの働きの上で必ずしも必要でない部分 | | | | | |
| 問4 | (1) | <p>例</p> <p>形態を基に推定される従来の系統樹では、羽毛を持ち恒温動物である鳥類は爬虫類と別のグループに分類されるが、図4の分子系統樹では鳥類と爬虫類は共通の祖先から進化した事がわかる。(分子系統樹では鳥類は、爬虫類の1グループとして分類される。)</p> | | | | | |
| | (2) | 計算式 | $400 \text{ 万年} \times (35 \div 2) = 7000 \text{ 万年}$ | | | | 答え |