

実習で考え方を学ぶ 分子進化ゲームをしよう

「中立な変異は偶然によって集団内に固定される」ことに基づいて、「長い年月の間に変異はほぼ一定の速さで蓄積され、種間の差が大きくなる」ことをシミュレーションしました。

各班から出たA-B間のアミノ酸の違いの数の平均

4回目	A-B	4.2	8回目	6.5	12回目	7.7
-----	-----	-----	-----	-----	------	-----

◇ルーレット試行を繰り返す間に気づいたことを出し合おう

・試行を繰り返すにつれてDNAの塩基の変異はどのようになっていったか。

増える。 変異数が多くなっていった。 蓄積されていった。 等 (多数)
 同じ塩基が重なることが多かった。(K)
 あまり変化しなくなっていった。(K)

・試行を繰り返すにつれてアミノ酸の変化はどのようになっていったか。

増える。 多くなっていった。 変化していった。 等 (多数)
 多くの塩基が変異したが、中には塩基が変異してもアミノ酸が変わらないものがあった。(A)
 塩基が変わってもアミノ酸が必ず変わるわけではなかった。(K・K)
 アミノ酸は変化したものと変化しなかったものに分かれる。(S)
 あまり変化しなくなっていった。(K)

・試行回数と変化したアミノ酸の数を比べるとどうなっているか / その理由

比例して増加する / 塩基が変異する機会が増えるから (A)
 試行回数が増えるほど変化したアミノ酸が増える (K)
 増えていった / 繰り返していたから (T)
 / 何度もすれば、少しずつでも塩基の変異は増えていくから。(S)

試行回数を変化したアミノ酸が上回った。 / ? (M)

→ 12回の試行といっても、Aを12回、Bを12回、試行しているので最高で24箇所の違いが出ることになります。今回はアミノ酸20個でやりましたから、最高で20個全部が異なる、ということもあり得ます。

少ない
 / 塩基の3番目の文字が変わっても指定するアミノ酸が変わらないから (S)
 変化したアミノ酸の数の方が試行回数より少ない
 / 必ずしもアミノ酸が変化するというわけではないから。(O)
 試行回数と変化したアミノ酸の数は同じではなかった。
 / 塩基が変わってもアミノ酸が変わらないから。
 終止コドンで少なくなった。(K)

(試行を重ねると) どんどん変化しなくなっていった。(O)

A-Bだけのときは回数を増やすと増えて行っているのに対し、ABCのときはA-Bの変化が減っている

/ 変化したAのコドンがたまたまBも同じのにも変わるから? (I)

/ 元のアミノ酸に戻るものもある。(S)

→特に後半は (Iくんの記述も実は、後半になると、ということなのです)、同じアミノ酸が何度も変異したり、AとBで同じ箇所が変異したり、いったん変化したのに2回目の変異で元に戻る、といったことが重なってきて、変化したことがカウントされない場合が増えてきますね。

たった20個という少ないアミノ酸数でシミュレーションしているのだから、回を重ねるとということが顕著に生じます。たとえば、アミノ酸を400個、500個と増やしてやってみると、その影響は小さくなる(ただし決してゼロにはならない)のですが、そうすると、違いをカウントする作業も全てコンピュータにやらしてもらわないと大変ですね。さらに、「カウントされない変異」は「ゼロにはならない」ので、実は、このような方法で分岐年代を求めると、化石の分析で得られた年代との間にズレが生じることがあります。そのため、計算した値を補正する必要も出て来るのです。

A-CはA-B、B-Cよりも分岐が新しいので、アミノ酸の違いの数は少ない。A-C、B-Cは分岐してからの期間は同じなので、ほぼ同じアミノ酸の違いの数になる。(K)

→これはあとの分岐年代の計算時に必要な気づきですね。

◇蓄積したアミノ酸の違い(平均値)から系統樹の各枝に置換数を記入しよう

問1: A-Cの分岐が800万年前だとすると、1回のアミノ酸置換に何年かかっていると考えられるか

$$1.9 : 800 = 1 : x$$

$$1.9x = 800 \text{ (万)}$$

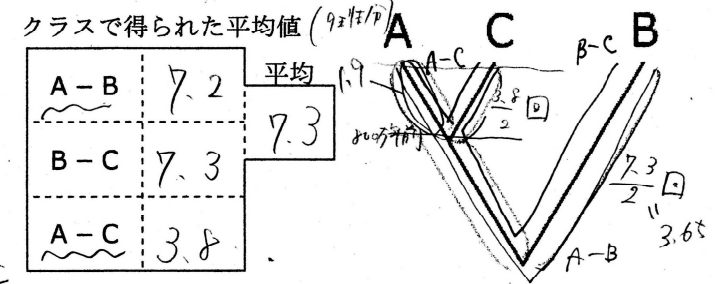
$$x = 421 \text{ (万)} \quad \underline{421 \text{ 万年}}$$

問2: A-Bの分岐は何年前頃と推定できるか

$$1.9 : 800 = 3.65 : x$$

$$1.9x = 2918 \times 100$$

$$x = 1536 \times 100$$



↑ココの桁をウツカリ忘れていたのが惜しい!

M

計算式はよいのに桁間違い、惜しい。クラスで得られた平均値

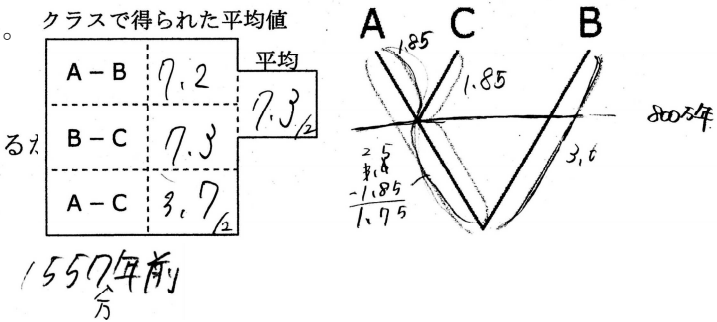
N 問1も同様にすればよかった。

問2: A-Bの分岐は何年前頃と推定できるか

$$1.85 : 3.6 = 800 : x$$

$$x = \frac{3.6 \times 800}{1.85} = \frac{2880}{1.85}$$

$$x = 1557 \text{ (万)} \quad \underline{1557 \text{ 万年前}}$$



◇不利な変異がなかったか、考えてみよう

変異によって正しく機能するタンパク質ができなくなり、その生物が生存できなくなる場合、その変異は次の世代に伝えることができません。このゲームでは、生じたアミノ酸の変化や、そのために起こったタンパク質の変化が、生存に影響しないことを前提に行っています。けれども、実は、影響の大きな変異も起こっています。ゲームの中ではどんな場合が相当するか、考えてみよう。

どこが… **1** 番目の **メチオニン** が他のアミノ酸に置換した場合
すると、どうなる…

- 開始コドンが消えてしまい、翻訳できなくなってしまう (Y)
- 開始コドンが変わってしまうので翻訳が開始されない (C)

どこが… **2・19** 番目の **システイン** が他のアミノ酸に置換した場合
すると、どうなる…

- S-S結合ができなくなり、立体構造が作れなくなる。(T)
- 合成したタンパク質の立体構造が正しく作れなくなる (K)

このゲームでは生じる変異として DNA の塩基の「置換」だけを取り上げましたが、ほかにも遺伝子そのものに大きな影響のある変異があります。どのような場合か、書いてみよう。

- ヌクレオチドが1つ挿入される挿入や失われる欠失が起こり、コドンの読み枠がずれる場合 (フレームシフト) (K)

◇分子進化の速さと分子時計

DNA の部位やタンパク質のはたらきによって、分子進化の進行の速さが異なり、どのような年月に対応する分子時計として使えるかが異なってきます。中立な変異が蓄積する速さの違いがなぜ生じるのか、実習で分かったことや教科書の記述をもとに、書いてみよう。

- ① タンパク質の働きに重要な部位のアミノ酸配列は、それ以外の部位に比較して変化が少ない。
- ② コドンの3番目の塩基に当たるDNA の塩基の変化は1番目と2番目の塩基と比べて変化する速度が速い。
- ③ 重要な機能に係る遺伝情報が変化する速度は、重要でない遺伝情報が変化
する速度よりも遅い。(I)

イントロンなどの塩基配列は変化しても形質への変化に影響がなく、変化する速度
が大きい。(T ほか)

有利なものは非常にまれで、不利なものは自然選択によって排除されやすいから。
(T ほか)

その遺伝子やタンパク質が生存に欠かせない重要なものである場合、ある変異がそのタンパク質の機能に影響して「不利な変異」になる確率は高く、「中立な変異」は上記のような「コドンの3番目の塩基」「イントロン部分」「タンパク質の機能に直接関係しない部分」などに限られることになり、変異の蓄積は遅くなります。一方、少々タンパク質の構造や機能に変化が生じても生存に大きく影響しない場合や、他の同じような働きをするタンパク質が機能を補える場合などは、変異が生じてもさほど不利にはならず、「中立な変異」として蓄積されていく可能性が増えるので、変異の蓄積が速くなります。

〔感想〕

- ・エクセルの使い方があいまいで苦戦しましたが、置換のしくみを良く理解できたと思います。ルーレットに欠失や挿入なども入れれば、可能性が広がって楽しそうだなと思います。
- ・僕たちの班はあまり置換が起こらなかったで、「クラスで得られた平均」を大きく下回りました。このおかげで、生物の進化は必然ではなく、偶然起きているんだということが分かりました。ゲーム感覚で学ぶことができたので楽しかったです。
- ・教科書で習った内容を実際にやってみることでよくわかったし、他の内容とのつながりもよくわかったのでよかったです。
- ・Cに移すところで変になってしまったけど、最終的にはちゃんとした記録が取れたのでよかったです。思っていたよりも楽しかったです。
- ・教科書の文面だけでは想像しにくい部分もあったので、今回の授業で理解を深めることができました。進化していく様子を目に見える形で観察できたことが良い経験になったと思います。少しの進化をするだけでも何百万年もかかることであり、それが有利に働くことが奇跡的な確率であることがよくわかりました。
- ・パソコンを使ってゲームのようにすることで楽しく学ぶことができました。変異が起こってもあまり影響がないものと、大きく影響を与えるものがあることを、再確認できました。
- ・思っていたよりも変化しなかったのですが、それでも、もし、コドンに少しでも変化があったらどうになってしまうのか、どう遺伝子が変わっていくのか、ということを知ることができました。
- ・分子進化ゲームをやることによって、実際にほとんど中立な変異だから、その変異が一定の速さで蓄積され、種間の差が大きくなるということを実感できた。
- ・地理的隔離などによって、生物は偶然生き残ったりするのかと考えると、運要素がかなり強いのだと感じました。
- ・今回は全てのアミノ酸が一律に変化するため、1番目のメチオニンやシステインが他のアミノ酸に置換する場合もありました。でも、本来なら、そのふたつはもちろん、重要な機能を持つアミノ酸が変わってしまうと大変なことになるから、重要かどうかで、変異しやすいしにくいがあるのかと考えました。また、コドンの3番目の変異しても指定するアミノ酸が変わらないことが多かったので、3番目の方が1・2番目より変異しやすいのではないかなと思いました。
- ・私たちが、今日行ったシミュレーションは、長い年月をかけて自然界で行われていることがすごいと思いました。塩基が変化してもアミノ酸が変化しない場合も多く、進化することの難しさを知りました。たくさんの偶然が重なり、さまざまな生物が今の状態で生きていることに感動しました。
- ・生存に有利な変異はまれであるのに、私たち生物の今が成り立っているのが不思議に感じました。これからもまた進化し続けるとなると、1000万～1億年後の生物はどうなっているのだろう、と思い、進化ってすごいな、と思いました。
- ・私はこの授業を受けて、生物は常に進化の過程にあるのだと感じ、これから生物が、人間が、どのように進化するのか、それとも、絶滅していくのかに関心が生まれました。
- ・同じところが変わったり、いきなり全然変わらなくなったり、結果を見てみると全部偶然なんだということが改めて分かった。この中で人間が生まれてきたことはすごいことなんだと思った。そして、興味が強まった。
- ・人間が生まれたのは偶然に偶然がかさなって生まれたということが実感できた。また、必ずしも塩基配列が変わったからといってタンパク質が変わるとも限らないし、そこで終わってしまうこともあることも知れて、さらに、前文のような考えが強まった。