

あけましておめでとうございます

昨年中は GGT の活動に格別のご支援、ご協力を賜り、厚くお礼申し上げます。

また、東日本大震災により被害を受けられた皆様に、改めて心よりお見舞い申し上げますとともに、被災地の一日も早い復旧、復興のためできるかぎり支援を続けさせていただきます。

本年は、6月のリオ+20地球サミット、9月IUCN総会、10月生物多様性条約締約国会議など環境問題をめぐる重要な国際会議が数多く予定されております。野生生物資源の持続可能な利用の実現に向け、GGT活動を展開していく所存です。より一層のご指導、ご鞭撻をお願いします。

GGT事務局一同

どのようにして多様な生物が生じたのか？

日本エヌ・ユー・エス株式会社 環境科学研究所 北村 徹



シーラカンス

生物多様性条約の第10回締約国会議が、2010年に名古屋で開催される事が決まって以来、全国で生物多様性に関するイベントが行われ、生物多様性という言葉も一般的になってきた感がある。また、生物多様性に関する書籍も多く書店に並ぶようになり、生物多様性に関する理解も広がってきたように思える。そこで、もう少し生物多様性の理解を深めるために、どのようにして多様な生物が生じたのか？について、生物の進化を通して考えてみたい。

基本的な構造

～DNA・遺伝子・ゲノム～

生物の進化について考える場合、どうしても遺伝学の知識が必要になる。そこで、簡単に遺伝学について触れてみたい。まず、DNAという言葉についてであるが、DNAとは deoxyribonucleic acid (=デオキシリボ核酸)の略であり、厳密にはリン酸とデオキシリボースと

塩基から構成されるヌクレオチドが繋がった化学物質である。なお、塩基にはシトシン、アデニン、チミン、グアニンという4種類が存在し、各々C、A、T、Gとして略記される。また、ヌクレオチドの鎖同士はアデニンとチミン、及びグアニンとシトシンという組合せを保ちながら、2本が1組となった状態で螺旋構造をとる。このようなDNA二重螺旋自体は何の働きも持たないが、ヌクレオチドの並び方がアミノ酸を指定し、指定されたアミノ酸が結合する事によってタンパク質が作られるため、DNAは生物の基本設計図と呼ばれるのである。

DNAの塩基の並び方(塩基配列)

は、アミノ酸(あるいはタンパク質)を指定するという意味において非常に重要となるが、その仕組みは3つ繋がった塩基の配列(コドン)が1つのアミノ酸を指定しているというシステムである。これは、タンパク質を構成する20種類のアミノ酸を4種類の塩基で指定する場合、2つの塩基の繋がりでは $4 \times 4 = 16$ 通りしかないため、どうしても $4 \times 4 \times 4 = 64$ 通り必用であることから明らかである。ただし、64通りの組合せを用いると20種類のアミノ酸では余りが出てしまうため、実際には複数のコドンにより単一のアミノ酸が指定されている。例えば、グリシンというアミノ酸をコードするコドンにはGGT、GGC、GGA、GGGという4種類が存在し、1番目および2番目の塩基がGGという並び方であれば、3番目の塩基がどの種類であってもグリシンが指定される。なお、DNAからタンパク質が作られる過程は大別すると、メッセンジャーRNA(mRNA)がDNAの塩基配列を読取る転写という段階と、mRNAの配列に従ってトランスファーRNA(tRNA)がア

ミノ酸を結合させていく翻訳という段階とに分ける事ができる。紙面の都合で詳細には触れないが、興味のある方は専門書を読んでみて欲しい。

なお、タンパク質を構成するアミノ酸配列の長さは決まっているため、塩基配列の長さはコードするタンパク質のアミノ酸配列長の1/3となり、最初のアミノ酸をコードするコドン（開始コドンはメチオニンをコードするATG）から始まり、最後のアミノ酸をコードするコドン（三種類の終止コドン）で終わる事になる。この1つのタンパク質を合成するために必用な1セットを遺伝子と呼ぶ。ただし、遺伝子は単純に開始コドンから終止コドンまで、アミノ酸をコードする塩基が繋がっているのではなく、アミノ酸に翻訳されるエクソン領域と、途中で切出されてしまいアミノ酸には翻訳されないイントロン領域とに分かれる。エクソンとイントロンの構成はコードされるタンパク質の種類によって異なるが、これらエクソン領域とイントロン領域を含めて構造遺伝子と呼び、一般的には遺伝子という言葉は構造遺伝子を意味する場合が多い。なお、遺伝子の中にエンハンサー（転写を活性化する領域）、プロモーター（転写開始に係わる領域）、サイレンサー（転写を抑制する領域）といった転写調節領域を含める場合もある。

ところで、人のDNAは30億塩基対で構成されており、人体を構成する約60兆個の細胞全てに含まれている。細胞1つに含まれるDNAは、幅は2ナノメートルと非常に細いのに対して長さは1メートルにも達し、人の体に存在するといわれる約10万種類のタンパク質に関する遺伝子をコードしている。しかしながら、上述したイントロン領域や、その他遺伝子として機能していない配列等を除くと、実際にアミノ

酸に翻訳される領域はDNA全体の3～5%と言われている。

脊椎動物に代表される2倍体生物の場合には、父親と母親から別々にDNAを受継ぐため、減数分裂によって作られる生殖細胞を除くと、人の場合には30億塩基対のDNA二重螺旋が2セット細胞内に存在することになる。この子孫に受継がれるDNA二重螺旋1セットをゲノムという。なお、ゲノムは細胞分裂に伴い複製される際には染色体という形態をとり、複数の染色体セットとして分裂後の細胞に振り分けられる。

DNAの複製 ～安定と変異～

生物の細胞は生物体を構成する体細胞と、子孫を残すための生殖細胞とに大きく分けられる。体細胞は通常の細胞分裂、生殖細胞は減数分裂によって増殖し、それに伴いDNAも複製されていく。最初に親DNAの二重螺旋が1本鎖となり、各1本鎖の塩基と相補的な塩基（アデニンAとチミンT、グアニンGとシトシンC）が次々に連結される事によって、同じ塩基配列で構成されたDNA鎖が複製される。

DNAは生物体を維持するために必用となる情報を記録しているため、DNAの塩基配列は正確に複製されて分裂後の細胞に分配される必要がある。また、同様の理由から生殖細胞にも忠実に複製DNAが分配され、親と同一のDNAが子孫に受継がれないと子孫を維持する事ができない。従って、DNAの複製は非常に高い精度が要求されることになる。しかしながら、1塩基の間違ひもなくDNAが複製されて、全く同じゲノムが子孫に受け継がれていくのであれば、生物が変化（進化）する事は不可能となる。つまり、地球上の全ての生物が同一のDNAを

持っているとしたら、全ての生物が同じ生命維持システムを持ち、同じ外部形態を示す事になるだけでなく、そもそも生命の起源が短い核酸（DNAあるいはRNA）断片から始まったとすれば、最初の核酸断片は変化しないまま代々受け継がれ、より複雑な生物体が誕生することは無いという状況になってしまう。従って、DNAの複製には生物体あるいは種の系統を維持できるだけの安定性と、生物に多様性をもたらす進化（種分化）するだけの変異性が要求される事となるが、この多様性をもたらす遺伝的変異の源は、ゲノム全体にランダムに生じる突然変異である。

遺伝的多様性 ～DNAの変化への時間軸の導入～

このように生物の遺伝的多様性は、生物体（種）を維持するための安定性と、進化（種分化）するための変異性との絶妙なバランスにより維持されている。このバランスのとれた突然変異率は、生物の種類や生物学的特長（繁殖形態、寿命、あるいは成熟年齢等）によって異なるが、1世代1遺伝子あたり凡そ10⁻⁶～10⁻⁹程度と言われている。なお、突然変異率は生物種によって異なるが、遺伝子の種類によっても異なっている。この理由は、突然変異によって生じるアミノ酸の変化を許容できる程度が、遺伝子の種類によって異なるためである。例えばDNA二重螺旋を保護するタンパク質であるヒストンH4は、生命を維持する上で



ラブカ

非常に重要であり、僅かなアミノ酸の変化によっても、個体の発生が正常に進まなくなる。そのため、ヒストンH4の遺伝子に変異が生じた個体は死亡してしまい、その変異は子孫に受継がれない事となる。一方、フィブリノーゲンが血液凝固のためフィブリンに変化する際に切出されるフィブリノペプチドは、切出された後には特に機能を持たないと考えられている。そのため、フィブリノペプチドのアミノ酸配列が多少変化しても生命の維持には問題無い。そのため、フィブリノペプチド遺伝子に変異を生じて、その個体は死亡せず、遺伝的変異は子孫に伝わる可能性が出てくる。2種類の遺伝子の事例から、突然変異が発生する頻度自体は同じであっても、生命あるいは生物の種を維持する上で重要な遺伝子ほど、突然変異は子孫に伝わらず見かけ上の突然変異率が低くなるという事が理解できると思う。ところで、突然変異は時間軸に対して一定の速度で生じている上、遺伝子の重要度によって突然変異が子孫へ受け継がれる確率が異なるため、この見かけ上の突然変異率を置換速度あるいは進化速度と呼ぶ。

ところで、遺伝子の重要度によって置換速度が変化するとすれば、生物個体に全く影響を与えない突然変異の速度が最も速くなる事が予想される。このような塩基配列の変異としては、先ほど説明したアミノ酸の変化を伴わない塩基の置換が考えられる。例えばグリシンをコードするコドンには4種類有るが、コドン3番目の塩基がチミンからシトシンに変化してもアミノ酸は変化しない。このように、DNAの変化がアミノ酸の変化を伴わない塩基置換と同義置換、逆にアミノ酸の変化を伴う変化を非同義置換と呼ぶ。もちろん、同義置換は非同義置換よりも置換速度は速い。

種 ～形態学的意義と遺伝学的意義～

さて、遺伝的多様性は絶妙なバランスを保ちながら、各々の生物種内で維持されているが、生物種の間での遺伝的差異は同一種内の遺伝的差異よりも大きい事が期待される。それでは“種”という概念は、どのようにして理解したら良いのだろうか。一昔前まで幅広く認められていた種概念は、類型学的種概念である。この考え方によると、種は①同一の本質を分け持つ類似の個体からなる、②他の種から明瞭な不連続性によって分離される、③空間、時間を超えて定常的である、④種内の変異は限定されている、という4つの特徴を有している。しかしながら、生物に関する研究が進むにつれて、生物には種内変異が普遍的に存在し（定常的ではない）、外部形態からは識別できない隠蔽種・同胞種が存在する（明瞭な不連続性の確認が困難）事が明らかとなってきた。そのため、近年では生物種を「生理的、形態的あるいは行動的障壁によって、他のグループから生殖的に隔離された、互いに交雑する自然個体群」と説明する、生物学的種概念の考え方が一般的になってきている。つまり、形態学的な違いよりも、互いに自然交雑する事が可能であるかどうか別種であるかの判断となる。さらに、自然交雑するために重要となってくる繁殖方法、生殖器の形状、受精や胚発生の仕組み等は遺伝子によって決められていることから、遺伝子の違いは同一種内よりも異なる種間の方が大きくなると考えられる。

このように、生物種とは互いに交雑する自然個体群であるとする、新たな種が生じる（種分化）という事は、ある自然個体群が交雑出来ない複数の集団に分裂する事である。種分化の理論については様々な考え

方が提案されているが、もっとも一般的な考え方としては、①河川争奪や造山運動等の地理的変動によって1つの集団が2つに分かれる、②2つに分かれた集団間を移動する個体が物理的な障壁によって減少し、最終的に連絡が途絶える、③交流の無くなった2集団には、各々独自の遺伝的変異が蓄積していく、④時間の経過にしたがって両集団間の遺伝的差異が大きくなる、⑤遺伝的差異が大きくなるにつれて、繁殖行動や交尾器等の生殖に関する特徴が異なってくる、⑥再び2つの集団が会合しても生殖的隔離が成立しており、互いに交雑出来ない状況となり別種として認識される、というステップを想定する異所的種分化説がある。

進化 ～多様な生物種の誕生～

生物種は各々の種が維持出来る範囲内で遺伝的多様性を蓄積し、異所的種分化等のシステムによって生物種を増やしてきた。もちろん35億年とも言われる生物の歴史の中で、生物は常に増加の一端を辿ってきた訳ではない。アンモナイトの多くの種が絶滅した三畳紀末の大量絶滅や、恐竜が絶滅した白亜紀末の大量絶滅等、これまで数度の大量絶滅を生物は経験してきた。また、日常的にも生物種同士は種族を維持するための生存競争にさらされており、その結果として自然淘汰された生物種も多い。つまり、突然変異によって遺伝的変異を蓄積した生物種は、物理的障壁等によって生じた遺伝的隔離によって種内変異の壁を乗り越えて種分化を成し遂げ、種分化した生物種同士は生存競争を行いながら、より環境に適応した種が自然淘汰を潜り抜けて、さらに適応範囲を広げながら種分化を繰り返してきたという生物の歴史が想像される。

このような考え方は、「すばらしい生物種が際限なく発展してきた」という言葉を記したダーウィンの“種の起源”で既に提案されていた考え方である。また、マイア等の進化学者の努力によって構築された進化の現代総合説においても、化石等で確認される生物種の外部形態に生じた大きな変化や多様な生物の出現は、偶発的に起こる突然変異によって生じた小さな遺伝的変異が長い時間をかけて蓄積し、自然淘汰によっ

て自然選択された結果であると説明されている。“種の起源”や“現代総合説”が果たした役割は大きく、現在でも生物の進化を説明する理論として十分に支持されている。しかしながら、よりダイナミックな遺伝的変異が進化に及ぼす影響や、進化発生生物学 (Evolutionary Developmental Biology: Evo/Devo) の分野で研究されているツールキットタンパク質が進化に果たす役割など、進化に関する様々な研究

が進むにつれて、生物の進化が小さな遺伝的変異の蓄積だけで生じているのではないことが明らかになってきている。どのようにして多様な生物が生じたのか？という壮大なテーマに世界中の研究者が挑戦している中、その貴重な材料である生物種を保全し、彼らの新たな成果を楽しみに待つみるのも良いのではないだろうか。

クジラ化してきたフカヒレ議論

11月に大西洋まぐろ類保存国際委員会年次会議 (ICCAT) がイスタンブールで開催された。地域漁業管理機関 (RFMO) としてマグロ類の保存管理措置を毎年取り決めているのだが、最近白熱化しているのが混獲生物であるサメ類に関する議論である。

2004年に ICCAT は漁獲したサメ類の完全利用のため最初の陸揚げ地まで頭と内臓を除くサメの部位を船上に保持するという勧告を採択した。同時に、保持するヒレの重量を魚体重の5%を超えないように義務づけたが、他の RFMOs でもほぼ同様の規制を2008年までに順次決議している。

最近の ICCAT は、2009年にハチワレの採捕・所持の禁止勧告を採択して以来、2010年にはヨゴレ、シュモクザメ類を、さらに今年はクロトガリザメの採捕・所持禁止を勧告した。はえ縄に混獲された特定のサメ類は、個体の生死にかかわらず釣り糸を切ってリリースせよというもので年々対象となるサメの種類が増加している。なお、ニシネズミザメについても同様の議論がなされたが、カナダが反対したため採択されなかった。このような流れから考えると、やがてアオザメやヨシキリザ

メにもリリースせよという圧力がかかることが予想される。

混獲されるサメ類に対する上記のような措置は、GGT が推進している完全利用・有効利用の否定である。サメ資源は70億人の食糧危機を救う貴重なタンパク源であり、フカヒレもコラーゲンが豊富な有用な食材として世界中で利用されている。したがって、投棄するなどもつてのほかであるにも拘わらず、フカヒレは2010年7月にハワイ州で所持・販売・利用が禁止された。違反すると1万ドルから5万ドルの罰金が課せられるという内容である。中華料理店ではフカヒレスープが提供できなくなったばかりか、フカヒレの所持すらもできず、高級食材を泣く泣く処分することになったのである。ワイルドエイドやWWF、オセアナ、ピュー環境グループなどの環境保護団体が主導して、同様の規制はカリフォルニア州、オレゴン州、ワシントン州まで広がった。この動きはカナダのトロント市に飛び火し、来年には更に規制が広がる勢いである。

これらの環境団体は潤沢な資金力にものを言わせて有名人を広告塔に利用、TVコマーシャルやYouTubeでフカヒレ反対キャンペーンを仕掛けている。NBAプロバス

ケットボールのスターだった姚明 (ヤオミン) 選手や俳優ジャッキー・チェン、ごく最近では英国ヴァージングループ会長のリチャード・ブランドソンも担いでいる。

NBAの中国人スタープレイヤー姚明をキャンペーンに利用した結果、中国の若者たちの多くが感化を受けたと思われ、中国の結婚式で伝統的に提供されてきたフカヒレスープが不人気になってきたという。それだけでなく、結婚式のメニューからフカヒレスープを外すとディスカウントする店も現れてきたらしい。つい最近では、ザ・ペニンシュラ香港が2012年1月1日からレストランでのフカヒレ料理提供を止めると宣言しており、背後には環境団体の圧力があったことは疑いようがない。

中国以外の国では、パラオがサメ・サンクチュアリーを設定し、周辺海域をダイビングのメッカにして観光客を呼ぼうと目論んでいる。このようなサメ類に対する動きは、鯨サンクチュアリーを海域ごとに設定し、ホエールウォッチングの観光収入の方が鯨を捕獲するより収入が多くなるという環境団体のキャンペーンとまったく同じ道を進んでいることを大いに危惧する。