

小さな哺乳類が語る北海道の自然と進化

鈴木 仁

1. はじめに

北海道にはヒグマやエゾシカを始め、多くの哺乳類種が生息していますが、もちろんどの種ももともと北海道にいたというわけではありません。そもそもは、彼らの祖先系統が他の地域から地表を移動して北海道に移動してきた結果、現在の生息に至っています。実は、当然といえば当然の話だと思いますが、北海道で生きているヒトも植物もすべての生物は、北海道で「自然発生」したわけではなく、他の地域からやってきて、現在に至っています。北海道の生態系は他の地域から移入した系統によって徐々に長い時間をかけて形成されてきました。

2. 分子系統のパワー

では、いったいどのようにしたら、過去の移入の歴史を知ることができるのでしょうか。私たちは、そのような場合、遺伝子の塩基の配列の情報を頼りにします。ご存知のように、遺伝子はDNA(デオキシリボ核酸)です。遺伝子は親から子へと伝えられていきます。DNAはヌクレオチドという化学物質が単位となってビーズのように長く連なった物質です。ヌクレオチドは「塩基」というパーツを持ち、アデニン(A)、グアニン(G)、シトシン(C)、そしてチミン(T)という4種があります。DNAはヌクレオチドの並びですが、私たちは通常、「塩基の並び」として、遺伝子の構造を表現しています。遺伝子が親から子へ渡される際に、DNAの塩基配列はほぼ忠実に複製されて伝えられていきますが、時として「間違い」が生じます。この塩基配列複製の間違いのことを「突然変異」と呼びます。突然変異の多くは、塩基がGからAに変わるといった「塩基置換」です。

「突然変異」自体は偶然の産物ですので、時間とともに蓄積されていきます。したがって、もし、同じ遺伝子を近い系統と遠い系統とで比較した場合、前者のほうが異なっている塩

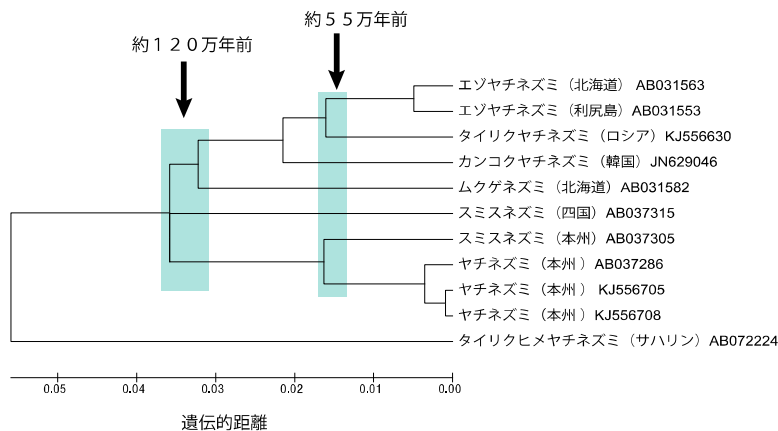


図1. ミトコンドリアDNAの塩基配列比較に基づく系統樹

基の数は少ないこととなります。このように考えると、逆に、異なっている塩基の数をカ

ウントすることで、比較した2つの系統の祖先系統が分岐した時間を予測することが可能になるということを理解することができます。

得られた塩基配列を論理的に比較し、図1に示すような種と種の間での分岐の関係、そしてその分岐が生じた年代の状況を可視的に示す図が系統樹です。大陸に分布する種と北海道の種、そして本州の種の配列を比較すると、北海道の種がいつ頃北海道にやってきたか推察することが可能となります。例えば、ムクゲネズミは北海道の哺乳類の中で唯一「固有種」的な種として位置づけることができますが（北海道・サハリン南部にのみ生息）、大陸の近縁な種と比較すると7%の塩基置換が認められます。塩基の置換は100万年あたり6%の頻度で生じると仮定すると、北海道には大陸からおおよそ、120万年前にやってきたらしいということが分かります。

3. 氷期間氷期の影響とは：アカネズミが語ること

遺伝子の塩基配列の情報を1つの種の中で活用することで、種内の進化的動態を知ることにも可能です。遺伝子の配列を「ハプロタイプ」と呼びますが、1つの集団（地域）内の個体のハプロタイプの塩基配列を決定し、ネットワーク法で調べると、集団の過去の歴史を知ることができます。ここでいう「ネットワーク」とは、図2の例で示されるように配列の類似性に基づきハプロタイプを連結したものです。その枝の長さは異なっている塩基数を反映します。例えば、北海道には温帯地域を起源に持つアカネズミとヒメネズミというネズミが森に生息していますが、鈴木祐太郎さんは、彼の当学院の修士課程研究において

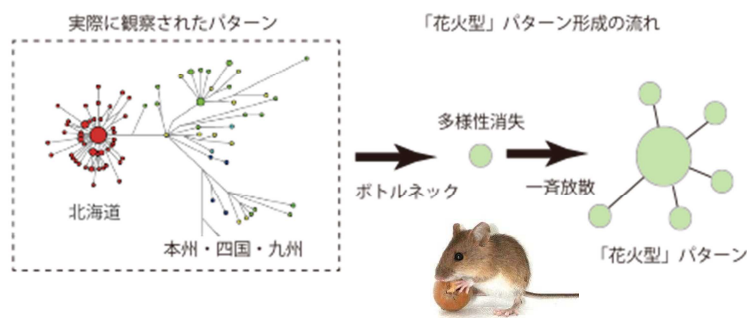


図2. ミトコンドリアDNAの塩基配列比較に基づくハプロタイプのネットワーク図。北海道産ヒメネズミのハプロタイプ（赤）は花火型パターンを示し、「一斉放散」が生じたことを示唆。写真はアカネズミ

これらのネズミ類のミトコンドリアDNAの配列を調査し、大変興味深い特性があることを発見しました。図2に示すような「花火型」パターンが2つの種で現れました（図2）。この放射状のパターンは、祖先型の配列が中央に位置し、その祖先型から他のほぼすべての子孫型のハプロタイプが連結しています。進化的に最近のタイムスケールで、個体数の激減（ボトルネック）が生じ、一斉に個体数が増えたということを示唆しています。北海道においてどのような状況で、ボトルネックが生じ、その後、一斉放散が生じたのかを考えると、唯一、考えられるのは、2万年前の氷期の最盛期に集団が著しく小さくなり、1万年ほど前の急激な温暖化に伴い森林とアカネズミ集団が拡大したという事象です。温帯地域から移入した生物種において北海道の環境変動は大きなインパクトをもたらすものであ

図2. ミトコンドリアDNAの塩基配列比較に基づくハプロタイプのネットワーク図。北海道産ヒメネズミのハプロタイプ（赤）は花火型パターンを示し、「一斉放散」が生じたことを示唆。写真はアカネズミ

ることを遺伝子の比較を行うことで理解することができると思います。

4. 遺伝子を変化させて環境適応：クロテンが語ること

さて上述のように北海道の哺乳類はさまざまな時期にやってきています。ただ本州や琉球列島に生息しているネズミ類に比較すると比較的近年にやってきたということが理解できます。実は北海道の生物の興味深いことは、まさしく近年の変化を観察することができるということです。この北海道という狭い空間に入り込んだ系統は、これまで大陸で生活してきた環境とは、生息環境、天敵、競合種といったさまざまな観点で異なり、生きていくために、つまりは環境適応していくために遺伝子を変化させる必要があります。

そのような例をテン類においてみることができます。北海道にはクロテンと呼ばれるイタチ科の仲間が生息しています。彼らは大陸から何度も渡来していると思われませんが、毛色

は大きく異なります。北海道のクロテンの毛色は多様です。なかには、全身真っ黄色の個体もいます。この全身黄色性の個体を調べていくと、たった1つの塩基の違いで説明できることが分かってきました。哺乳類の毛色は、色素生産細胞（メラノサイト）が作る黒色素（ユーメラニン）と黄色色素（フェオメラニン）で決まります。この2つの色素のどちらかが作られるかは、メラノサイトの細胞膜状にあるホルモンの受容体である **Mcl1r** によって制御されています。実は、この受容体を破壊してしまうような変異が生じると、メラノ



図3. 北海道産クロテンの全身黄色性を示す変異個体（写真）とその遺伝的背景。Mcl1r 遺伝子の突然変異によって生じることが明らかになっています。

サイトはもはやユーメラニンを作りだせなくなってしまいます。全身黄色にしてしまう変異は、大陸から最近北海道に渡ってきた遺伝子に生じたものであることも分かってきました。北海道という自然に息づく生物に、環境適応の遺伝的变化を容易に見いだせるという良い事例であると思います。

5. 先史時代の日本人の歴史：ハツカネズミが語ること

ハツカネズミという種はご存知でしょうか。実験用のマウスがいますが、元々の由来は野生として生息していたハツカネズミが起源です。野生のハツカネズミは、インド、パキスタン付近で自然分布していた種ですが、今から10万年前以降に、ヒトの祖先がアフリカを出発し、ヨーロッパへ、アジアへと分布を拡大しました。1万年前以降に人類は農業を

アジア地域においても展開し、それがハツカネズミの展開を後押ししたことが遺伝子の比較からも分かっています。最近の研究で多々興味深いことが分かってきたのですが、中でも、児玉紗也香さんの修士課程の研究は注目に値します。北海道のハツカネズミの遺伝子構成において、少なくとも由来の異なる4つの要素が存在し、それはハツカネズミの地域集団が人類の東への移動とともに、順次、交雑していく過程に起因することを明らかにしました。その4つとは、1) イラン西部 (DOM と呼ばれる系統)、2) インド北部 (CAS-A 系統)、3) 南中国 (CAS-D 系統)、そして4) 韓国 (MUS 系統) の4つです。ハツカネズミの歴史は人類の歴史とも密接に関連しているのは先に述べた通りです。日本人の起源の謎を解く上でも重要なヒントを与えてくれるものと期待しています。

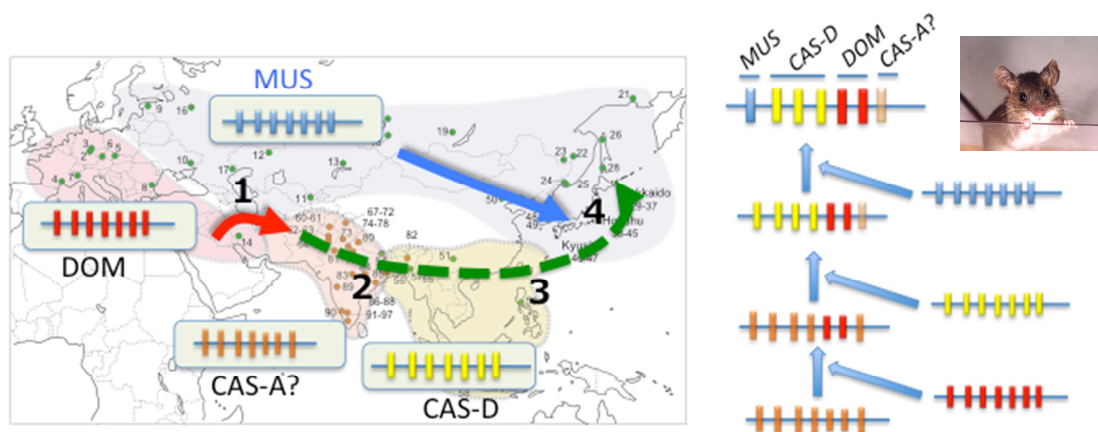


図4. 北海道産ハツカネズミの進化過程に関する作業仮説。北海道のハツカネズミは7つの遺伝子を比較すると、4つの異なる系統が混合したものであることが明らかになりました。最も簡潔な説明を考えると、図のように人類の農業の展開とともに東方に展開した過程との関連の中で4つの異なる系統を随時取り込んで東方移動したものと想定することが可能です。

6. おわりに

北海道の自然はあまりに身近すぎて、なかなかその重要性を認識することはありませんが、世界的にみて大変興味深い地域であると思います。北海道の小型哺乳類が持っている遺伝子の塩基配列の変異の調査を行うことで、その種がいつ、どこから北海道にやってきたのか、北海道に移入後、どのような進化的エピソードがあったのか、あるいは、北海道の環境に適応するためにどのような形質を進化させてきたのかといったことを多々教えてもらうことができます。これらのことはひいては、北海道という空間のユニークな特性とは何か、さらには人類は北海道の自然と歴史的にどのように関わってきたかも教えてくれます。今後、引き続き、北海道で目にする生物種について、いつ頃やってきてどのように環境適応しているのかについて、少しでも思いをはせてもらえると幸いです。