

エジプトのネブアメンの墓壁画（紀元前1350年頃）。人物の隣にネコがいる。三毛猫や茶トラ猫のオレンジ色（明るい茶色）の毛は、家畜化されたイエネコの系統でのみ生じた変異に由来する。【Research2より】

今号テーマ

## 進化を考える

DNAは個の形や機能についての「情報」が込められた分子であり、生きものの歴史のアーカイブでもあります。偶然に生じたDNAの変異が細胞を変え、個体を変え、世代を超えて集団に広がっていくという進化のプロセスは気が遠くなるほど複雑です。でも、制約だらけに見えて、時に驚くほどの飛躍を見せるのが生きものです。生きものを知れば知るほど、確かに進化のプロセスを重ねて今があるのかもしれないと感じます。科学の知を踏まえて考え、自分の眼で自然を観察し、生きものの世界を表現することは、人間らしい営みの一つかもしれません。私たちにとって、生きていることの本質に近づく作業です。

もくじ

### RESEARCH

#### 増えた遺伝子がひらいた生き方

海から川へ、遺伝子の数が分けたイトヨの進化

石川 麻乃 東京大学 大学院新領域創成科学研究科

#### 消えた塩基と増えた色

ネコのオレンジ毛ができるしくみ

佐々木 裕之 九州大学 高等研究院

### LETTER

#### 情報の生命誌— 今を見つめる

中村 桂子 JT生命誌研究館名誉館長

### SCIENTIST LIBRARY

#### 長谷部 光泰

自然科学研究機構 基礎生物学研究所  
生物進化研究部門 教授

#### 全ての陸上植物を体系化する

### CULTURE

#### マリア・ズィビラ・メーリアン

JT生命誌研究館  
表現を通して生きものを考えるセクター

### PAPER CRAFT

わたしたちから遡る進化の旅路

#### アルティアトラシウス

### BRH NEWS

常設展示「あなたの中のDNA展」  
リニューアル!

# 増えた遺伝子がひらいた生き方 海から川へ、遺伝子の数が分けたイトヨの進化



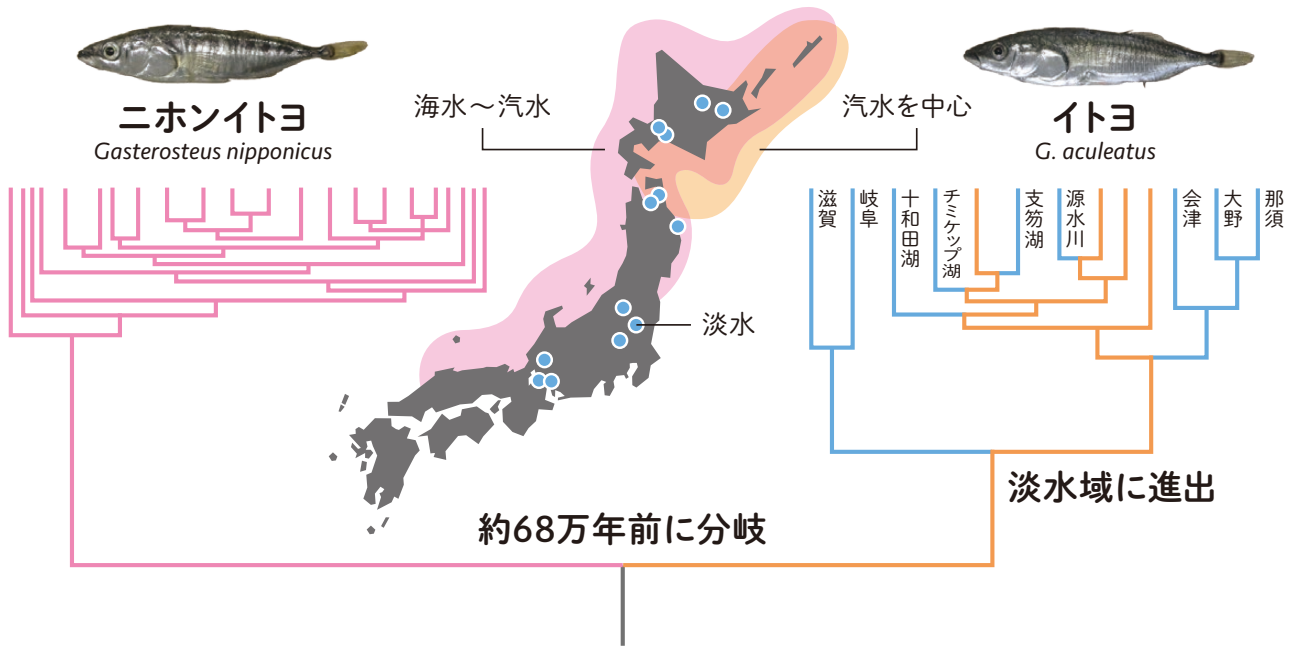
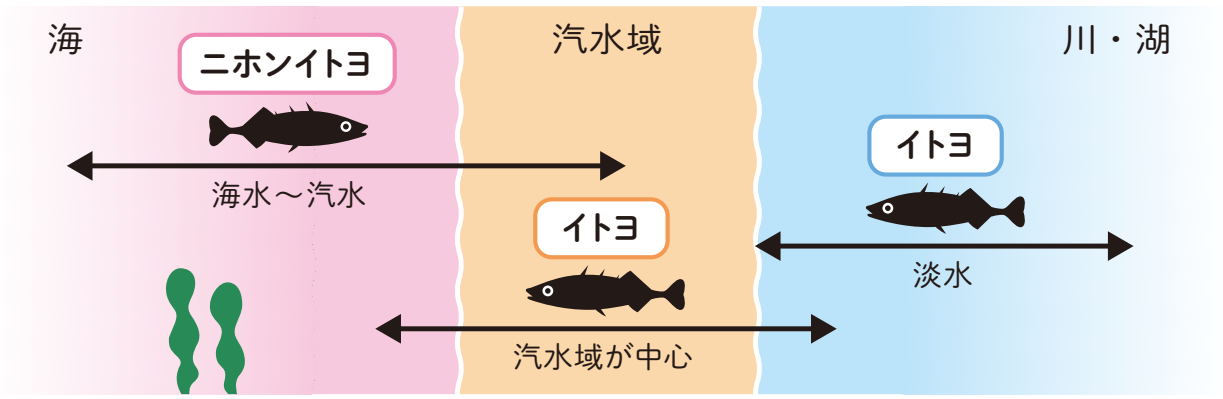
石川 麻乃 東京大学 大学院新領域創成科学研究科

海のみで生きるニホンイトヨと、海から淡水へと進出したイトヨ。同じ祖先をもつ近縁種でありながら、なぜ生きられる場所が異なるのだろうか。その分かれ道を探るため、私たちは海で暮らすニホンイトヨと、淡水にも進出したイトヨを比較した。そこで明らかになってきたのは、DNAに起きた小さな変化が新しい環境への進出を後押しした可能性だった。

- 
- |         |                            |                     |
|---------|----------------------------|---------------------|
| CHAPTER | 1. 海で生きる魚、川で生きる魚           | 2. エサの違いが示したもの      |
|         | 3. DHAをつくる <i>Fad2</i> 遺伝子 | 4. 遺伝子重複がひらいた新しい生き方 |
|         | 5. 進化の原因は一つではない            |                     |
- 

## 1. 海で生きる魚、川で生きる魚

魚類は海で誕生し、その多くは現在も海に暮らす一方で、一部の魚は川や湖といった淡水域へと進出し、生息域を広げてきた。新たな環境に適応できれば、繁栄の可能性は広がるが、全ての魚がこの新天地を開拓できたわけではなく、多くの魚たちは海にとどまり続けている。この違いは、いったいどこから生まれたのだろうか。その問いに迫るために、私たちはトゲウオ科のイトヨとその姉妹種であるニホンイトヨに注目した。イトヨは北半球の冷たい淡水域に生息し、サケのように海と淡水域を回遊する生活を送るが、それらの中から、さらに淡水域に進出し、それぞれの淡水環境に適応した地域集団が世界各地に分布している。この多様性が多くの進化生物学者の関心を惹きつけた結果、ゲノム解読や遺伝子組換え技術、ゲノム編集技術の適用などが進み、現在では進化生物学のモデル生物の一つとして研究が進んでいる。一方で、日本近海にはイトヨと非常に近縁でありながら、海から汽水域にのみ暮らすニホンイトヨが分布している(図1)。イトヨとニホンイトヨは約68万年前に共通祖先から分かれ、イトヨの中からのみ淡水域で生活する集団が現れた。海で暮らすニホンイトヨと、淡水でも暮らすイトヨ。同じ祖先に由来する近い存在でありながら、なぜ、イトヨは淡水環境でも暮らせるようになったのか。その違いを明らかにする研究が始まった。



(図1) 日本に生息するニホンイトヨとイトヨの生息域

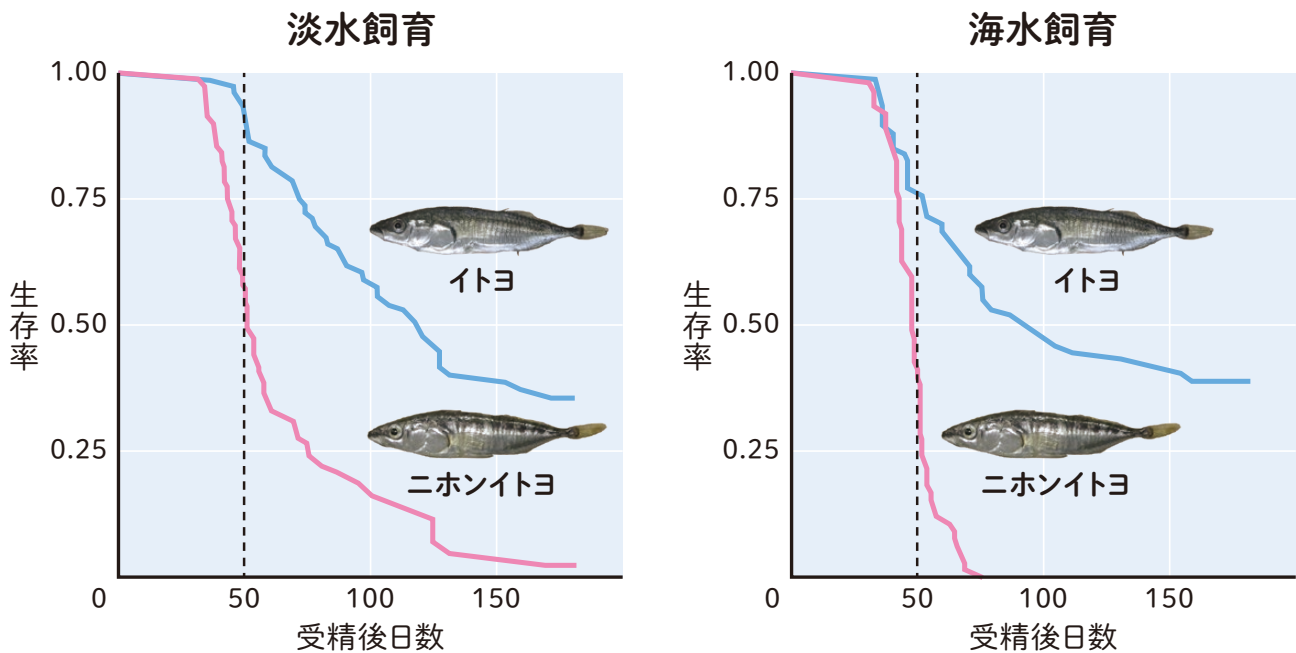
ニホンイトヨとイトヨの祖先は約68万年前に分岐した。元々海と淡水域を回遊して生活していたイトヨの中から、淡水へ進出するグループが出現し、生息域を広げた。ニホンイトヨの中には淡水域へ進出したグループはなく、海から汽水域で生活している。

【参考論文】



## 2. エサの違いが示したもの

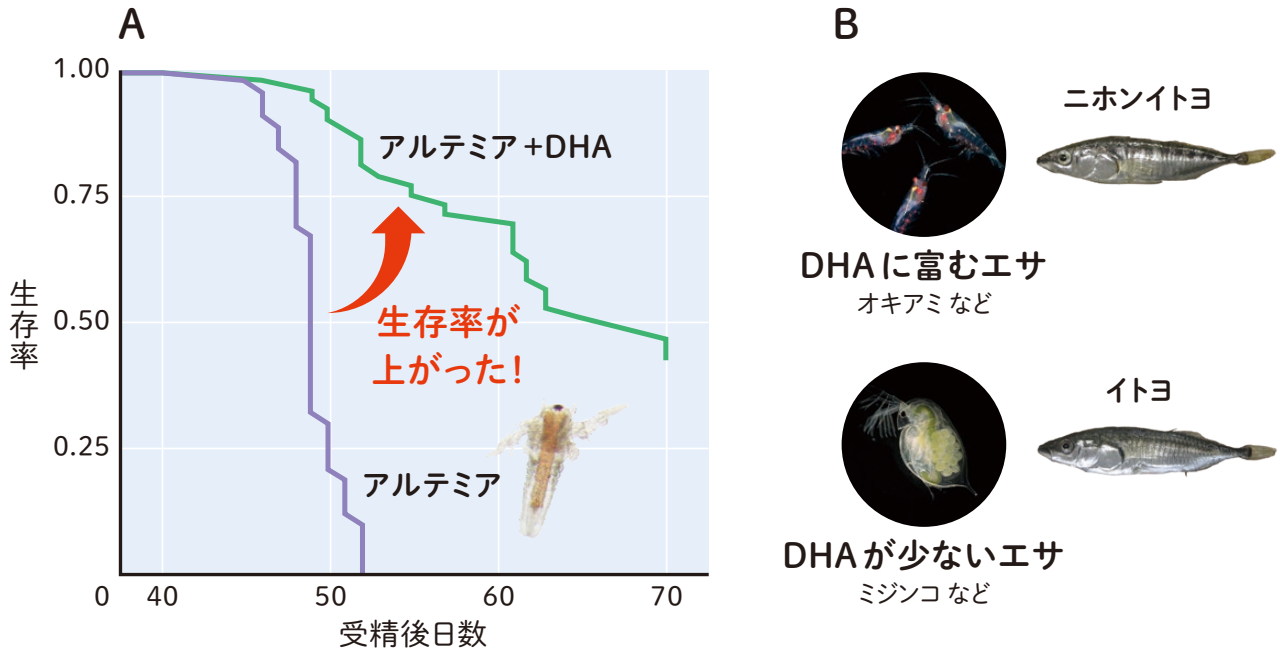
まずは研究室でイトヨとニホンイトヨを飼育することから始めたが、すぐにはうまくいかなかった。飼育しているニホンイトヨが受精後50日ほどで次々と死んでしまい、成魚まで育てることができないのだ(図2)。初めは塩分濃度による浸透圧が原因だと考えていたが、塩分濃度をどれだけ調整しても、状況は変わらなかった。



(図2) 飼育実験での稚魚の生存率

ニホンイトヨの稚魚は、淡水・海水環境に関係なく受精後50日で生存率が急激に下がる。

ふと、ニホンイトヨを飼育している共同研究先の水族館に連絡をすると、水族館で飼育しているニホンイトヨは元気に育っているという。一体、水族館と私たちの研究室で何が違うのか。飼育方法を比較していく中で分かってきたのが「エサ」の違いだった。研究室で与えていたのはイトヨの飼育でエサとして一般的なアルテミアというプランクトンだが、水族館で与えていたのはイワシのミンチやオキアミだという。両者の成分の違いを比較したところ明らかになったのが、DHA(ドコサヘキサエン酸)という脂肪酸の含有量だった。DHAは、細胞膜の柔軟性を保つなど、生きものの生存に欠かせない物質であり、稚魚の成長に必要な脂肪酸である。そこで実際に、飼育していたニホンイトヨの餌にDHAを加えると、それだけでも稚魚の生存率が上がることがわかった(図3A)。野生のニホンイトヨのエサとなるオキアミなどの海洋性の動物性プランクトンは豊富なDHAを含むため、海的环境では餌から自然とDHAを得ているのだろう(図3B)。では淡水のDHAの少ない餌で生活するイトヨは、稚魚の生存に必要なDHAを一体どのように補っているのか。



(図3)DHAの生存率への関係

A: DHAを餌に添加することで生存率が上がった

B: ニホンイトヨはDHAが豊富な海洋性プランクトン(オキアミなど)をエサとしてDHAを補っている。一方イトヨはDHAの少ない淡水性プランクトン(ミジンコなど)や水生昆虫(ユスリカなど)をエサとして食べている。

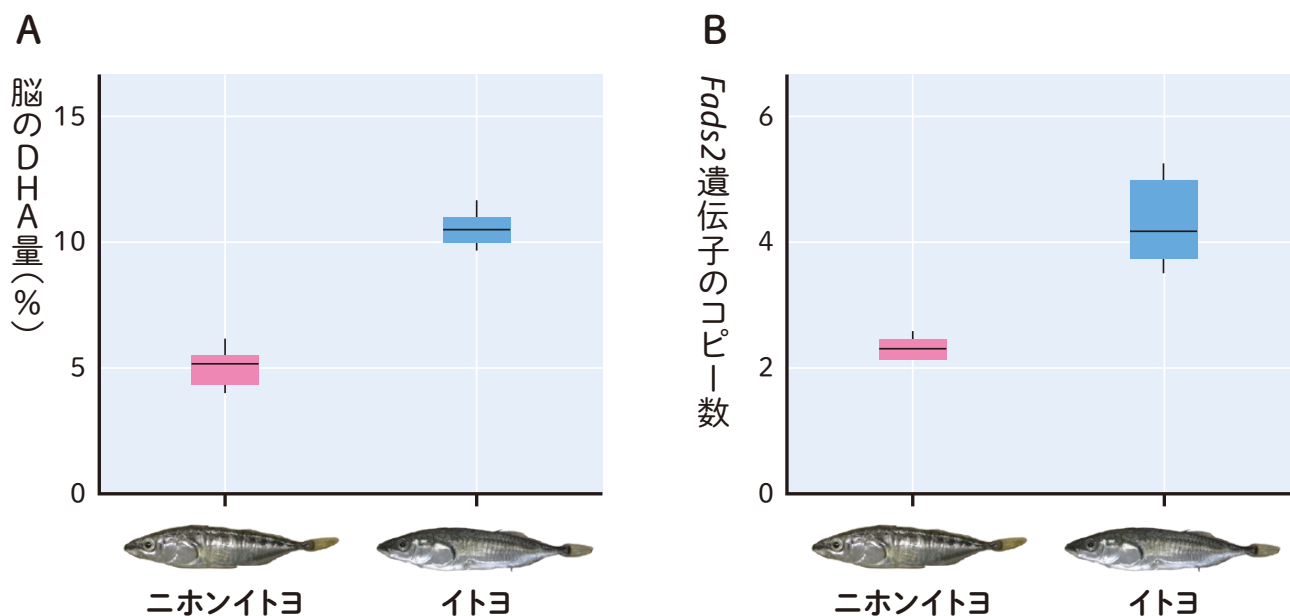
## column 1 フィールドで進化を追う

研究のため、私たちは毎年春になるとフィールドへイトヨを探しに行く。しかし近年は、環境の変化によって各地の河川や沿岸での個体数が減少し、調査そのものが難しくなつつある。水温、流れ、餌となる生物。フィールドでは、さまざまな要因が複雑に絡み合っている。実験室の中では見えなかった違いが、自然の中でははっきりと現れることもある。進化は、過去の出来事ではない。いまこの瞬間も、環境の中で静かに進んでいる。その現場に立ち会うことができるのも、フィールド研究の大きな魅力である。

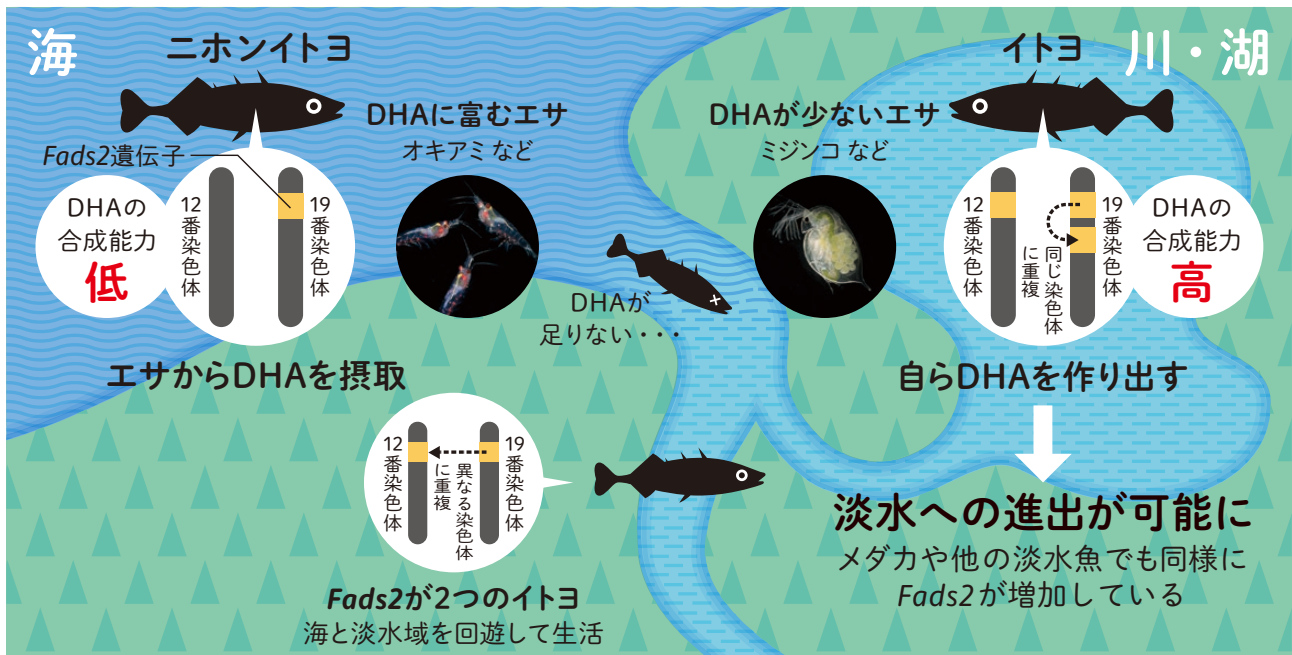


### 3. DHAをつくる*Fads2*遺伝子

DHAが稚魚の生存率の鍵だとすれば、淡水で生きるイトヨは、エサから得られないDHAをどこかで補っているはずだ。イトヨとニホンイトヨをDHAの含まれないアルテミアを与えて飼育し、それぞれのDHA含有量を比較すると、イトヨはニホンイトヨに比べて2倍近くDHAの含有量が多い事がわかった(図4A)。DHAは、もとなる脂肪酸を材料にしていくつかの酵素の働きによって合成される。その過程に関わる遺伝子のひとつとして注目したのが、*Fads2*遺伝子である。イトヨとニホンイトヨでこの遺伝子について解析した結果、見えてきたのは「数」の違いだった。淡水で生きるイトヨは、ニホンイトヨに比べて2倍以上多い*Fads2*遺伝子を持っていたのである(図4B)。全ゲノム配列を解析すると、ニホンイトヨは19番染色体に1つ*Fads2*遺伝子を持っているのに対し、汽水域を中心に生活するイトヨは19番染色体に加えて、12番染色体にも重複して*Fads2*遺伝子を持っていることがわかった。さらに、川や湖など淡水で生活するイトヨでは19番染色体*Fads2*遺伝子の縦列重複が起こっていることも明らかになった(図4C)。つまり、イトヨは、淡水域の餌から得られないDHAを自ら作り出すことで補っていたと考えられる。実際に、淡水へ進出したほかの魚類でも、海や汽水域にのみ生息する近縁種と比較し*Fads2*遺伝子を多く持っていることがわかってきた。海に比べてエサからDHAを得にくい淡水環境では、自らDHAを合成する能力が、生き残りに有利に働いた可能性がある。では、この遺伝子のコピー数の違いは、いつ、どのようにして生まれたのだろうか。



C



(図4) イトヨとニホンイトヨの *Fads2* 遺伝子の比較

A : DHAが重要な働きを持つ器官である脳の比較。イトヨの脳ではニホンイトヨの2倍以上DHAが存在していた。

B : *Fads2* 遺伝子のコピー数の比較。淡水で生きるイトヨでは、*Fads2* 遺伝子がニホンイトヨに比べて2倍以上に多い。

C : ニホンイトヨはDHAを餌から摂取しているが、イトヨは体内でDHAを合成することで淡水へ進出できるようになったと考えられる。

## 4. 遺伝子重複がひらいた新しい生き方

ゲノムの比較から見てきたのは、*Fads2* 遺伝子の重複が、少なくともイトヨが近年淡水に進出する最終氷期後よりも前の段階ですでに起きていたということだった。この遺伝子の変化が、偶然に生じたのか、それともさらに前の間氷期に淡水域で生じたのかは分からない。しかし、たまたま存在していたかもしれないこの遺伝子の数の違いが、環境の変化によって意味を持つことになる。海から淡水へと進出し、餌からDHAを摂取しにくい環境に変わった時、すでに*Fads2* 遺伝子を多く持っていた個体は生き残った。*Fads2* 遺伝子の「数」というわずかな違いが、新しい環境の中で「生き残れるかどうか」という形で現れる。このとき起きているのは、ただそれぞれの個体が置かれた環境の中で生きるか、死ぬかという結果の積み重ねに過ぎないが、その結果は世代を超えて引き継がれ、*Fads2* 遺伝子のコピー数が多い個体が、集団の中で次第に増えていく。これが進化なのだ。

## 5. 進化の原因は一つではない

ここまでの話では、イトヨの淡水進出が、*Fads2* という1つの遺伝子の重複が原因だと聞こえるかもしれないが、実際はそれだけではない。近年では、DNAの配列そのものは同じでも遺伝子の働き方が変化する「エピジェネティックな制御」も、進化に関わる可能性が指摘されている。さらに、温度や

光、餌の種類といったさまざまな環境要因が、複雑に影響しあっている。つまり、新たな環境への進出は一つの原因だけで起こるものではなく、遺伝子の変化、遺伝子の働き方、環境との関係、それらが重なり合った結果なのだ。今回のイトヨの研究は、そうした複雑な進化の一部である。進化は、単純な物語ではない。これからもイトヨという小さな魚を見つめながら、生きものに共通した進化のしくみを見つけていきたい。

## column 2

## 子育てと研究のあいだで

子育てと研究。どちらも、時間と体力、精神力が必要になる。私は仕事の都合上、パートナーと離れてワンオペ育児をしながら研究をしているので、ときには、子どもを連れて野外調査に出ることもある。子どもを水辺で放すのはとても危険なので、登山用のベビーキャリアで子どもを担ぎながら、イトヨを採集するトラップを投げることもある(写真)。近くの研究施設にシッターさんに来てもらったり、地元の保育園の一時保育にお世話になったりすることもある。研究は思い通りに進まないが、自然の中で過ごす時間は、私にも、子どもにとっても特別な経験になると信じて、そして、「諦めて、研究しないよりはずっとマシ!」と割り切って、もがきながら突き進むしかない。こうしたスタイルで研究と子育てを両立(?)できているのは、先輩の女性研究者が、子育てをしながら研究を続け、子連れでフィールド調査に出かける姿を見聞きしてきたからだ。「自分もこうやって続けていけるのかもしれない」、そう思ったことが大きかった。研究室のメンバーが子どもの面倒を見てくれることもあり、周囲に支えられながら研究を続けている。

また、研究と子育ては、必ずしも女性一人で背負うものではない。本当は、男性研究者も、同じように子どもを背負って研究できるはずである。最近、研究会などに子連れの男性研究者を見かけることも多くなってきた。私たちの姿を見て、また同じように勇気づけられる子育て中の研究者がいるかもしれない。子育てと研究の両立が今よりもっと当たり前になるかもしれない近い未来に向けて、研究だけでなく、このような経験や姿勢もまた、次の世代へと受け継がれてほしいと願っている。



### 石川 麻乃 (いしかわ・あさの)

北海道大学大学院環境科学院環境科学科博士課程修了。日本学術振興会特別研究員、国立遺伝学研究所特任研究員・助教を経て、2021年より東京大学大学院新領域創成科学研究科准教授、2026年より現職。生態遺伝学、進化発生生物学を専門とし、イトヨ類を主な研究対象として、生物の多様化や環境適応を支える分子・生態学的機構の解明に取り組んでいる。

# 消えた塩基と増えた色

## ネコのオレンジ毛ができるしくみ



佐々木 裕之 九州大学 高等研究院

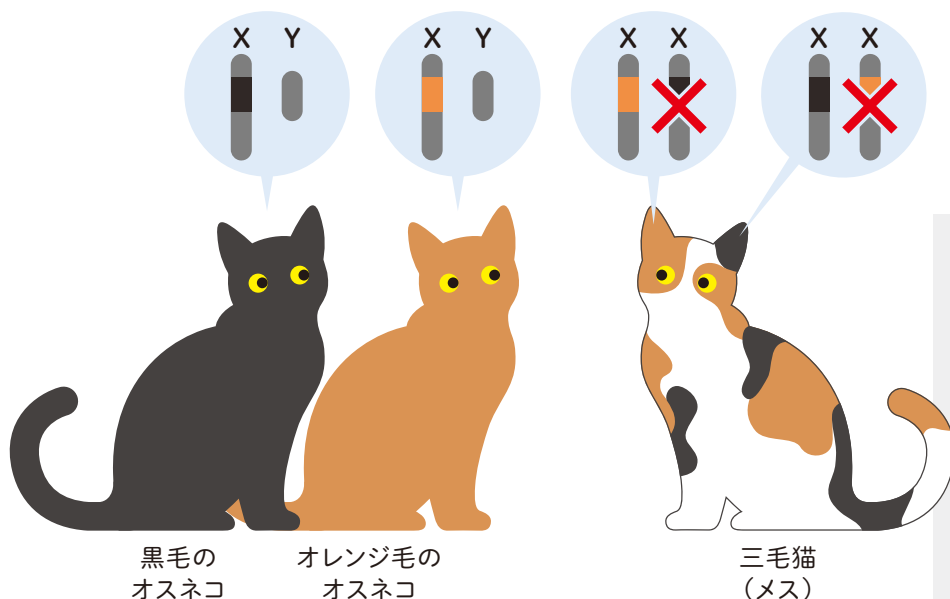
ネコの毛の色を黒かオレンジに決定する遺伝子がX染色体上にあることは、100年以上前から知られていた。しかし、長らくその遺伝子の実体は未解明だった。解明の鍵を握っていたのは、「塩基配列の欠失」。DNAの変異によって広がりを見せたネコの毛の色に注目してみましょう。

### CHAPTER

1. 三毛猫はメスばかり
2. 「オレンジ遺伝子」の実体は?
3. 変異によって毛色が変わるしくみ
4. X染色体不活性化の不思議
5. 付かず離れずのネコとヒト

## 1. 三毛猫はメスばかり

皆さん、三毛猫はメスばかりであることをご存知でしょうか。これは、3色の毛のうち、黒かオレンジかを決定する遺伝子がX染色体上にあることと関わっているため、サビ猫も同様です。白についてはオス・メスの区別なく決まる別のしくみがあり、のちほど少し触れます。オスはX染色体を1本しかもたないため、黒かオレンジどちらかになります。メスはX染色体を2本もっており、黒とオレンジ両方の遺伝子をもつことができます。しかし、メスの各細胞ではどちらか1本が働き、残る1本はその働きが抑制されます(図1)。毛に色素を供給する色素細胞の中で、どちらが選ばれるかは発生過程でランダムに決まるのです。この「X染色体のランダム不活性化説」を最初に唱えたのは遺伝学者のMary F. Lyonで、1961年のことでした。



(図1) メスのX染色体不活性化  
左: オスはX染色体を1本しかもたないため、黒とオレンジが混ざった模様はできない。  
右: メスはX染色体を2本もっており、胚発生の過程で、細胞ごと、領域ごとに、どちらか一方がランダムに不活性化する。

以来、これが定説として広く社会にも浸透することとなりました。しかし、X染色体上にあるとされ、オス・メスを問わず少数派であるオレンジの毛をもたらす遺伝子の実体は、ゲノム解読が盛んに行われている今日に至っても、依然不明のまま。いくら待てどもこの謎解きに挑む研究者は現れませんでした。「では、自分たちで解明しよう!」と私たちの研究が始まりました。

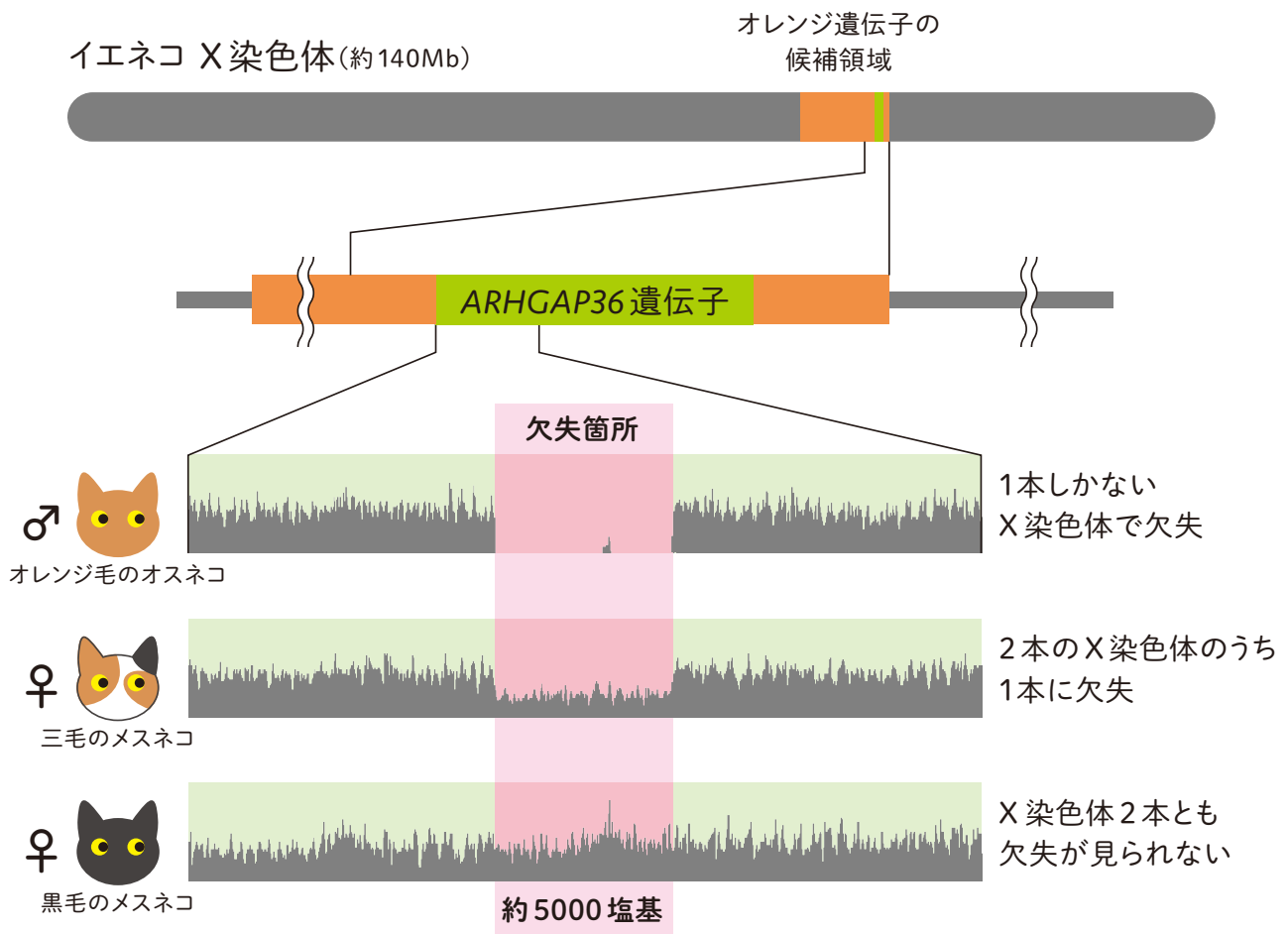
## 2. 「オレンジ遺伝子」の実体は?

先人たちの研究により「オレンジ遺伝子」がX染色体上のどのあたりにあるかは、大まかに絞り込まれ、その領域に遺伝子が12個あることまでは明らかにされていました。名前がわかっている遺伝子については、すでに情報が蓄積されているヒトやマウスなどのデータを参照することで、その働きをある程度推し量ることができます。ところが12個の候補遺伝子のリストには、毛色や色素合成に関する遺伝子の名前がありませんでした。ネコでは、いずれかの遺伝子が、マウスやヒトでは知られていないやり方で毛色の決定に関わっているのでしょうか?

ネコは実験動物ではありませんから、生体から採取した血液や皮膚の小片などからゲノム配列は解読できても、実験で、個々の遺伝子の働きや表現型への影響を確かめるようなことはできません。

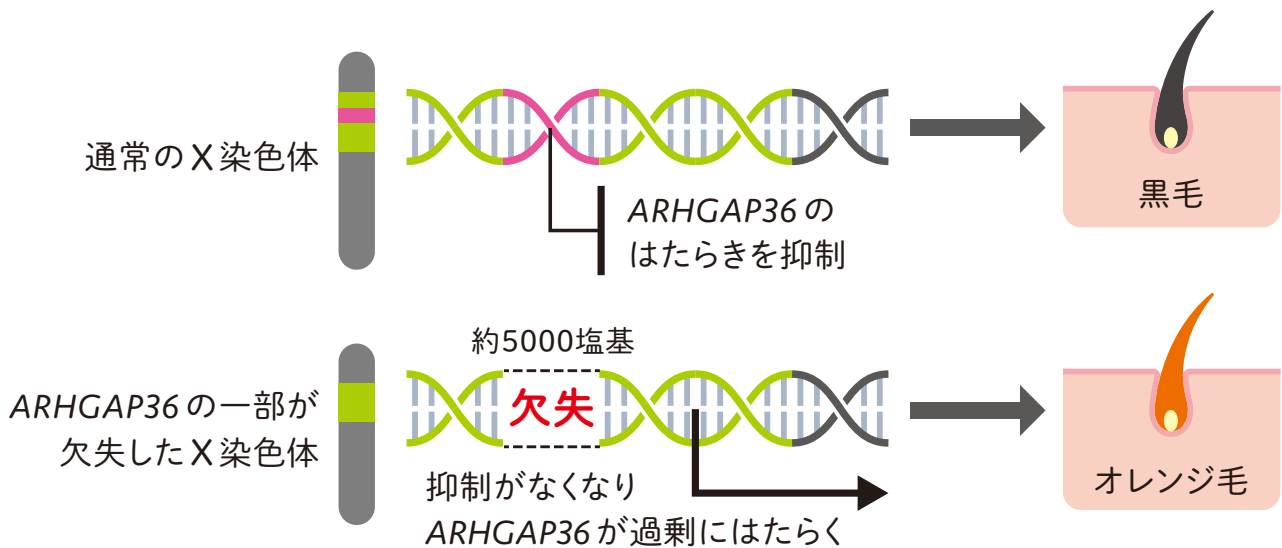
私たちは、まず福岡市内の獣医さんが診療で採取したネコの血液の一部を、飼い主の了解を得た上で譲り受けました。そして、三毛猫やサビ猫など模様の異なる個体でDNA配列にどのような違いがあるのか比べてみることにしました。18匹のネコの全ゲノムの配列を決定し、それらのデータを国立遺伝学研究所の中村保一教授らが作成した高精度イエネコ\*ゲノム配列にマッピングしました。18匹のネコの内訳は、三毛が8、サビが1、オレンジ毛が1、それに比較対照としてオレンジ毛をもたないネコが8匹です。

※私たちが日常、親しんでいるネコは生物学的にイエネコ (*Felis catus*) と分類されます。



(図2a) オレンジ毛をもつネコに特有の変異(欠失)を発見

解析の結果、12個の候補遺伝子のうちのARHGAP36遺伝子 (*Rho GTPase-Activating Protein 36*) に、オレンジ毛をもつネコにのみ約5,000塩基の欠失が確認されました(図2a)。欠失していたのは、ARHGAP36遺伝子の発現を抑制するように働く塩基配列でした。通常、遺伝子の近傍には、転写を促進する因子が結合するエンハンサーと呼ばれる配列や、反対に、転写を抑制する因子が結合するリプレッサー又はサイレンサーと呼ばれる配列があります。今回、欠失が確認された配列はリプレッサーだと思われました。この配列がなければ細胞内でARHGAP36遺伝子の発現が活発になるはずですが、どうやらこの遺伝子が、毛色を黒からオレンジに変える現象に関わっているようです(図2b)。



(図2b) 遺伝子を抑制する塩基配列の欠失により毛色が変わる

### 3. 変異によって毛色が変わるしくみ

では、白い毛はどのようにできるのでしょうか。体毛に黒やオレンジの色素を供給している色素細胞は、私たち脊椎動物で、初期胚の頃、頭部背側で生じる神経堤細胞に由来します。色素細胞は神経堤細胞から分化しつつ、その分布を背側から腹側へ徐々に広げていくので、体中に色素細胞が行き渡れば全身に色がつきます。しかし、三毛猫などがもつ白毛をつくる遺伝子はこの遊走に影響し、色素細胞が到達できない領域が白く残ります。三毛猫でも背側や顔の上部に色がつき、腹側に白い領域が多いのはこうした理由です(右写真)。この白毛の遺伝子は常染色体にあるので、性別とは関係しません。

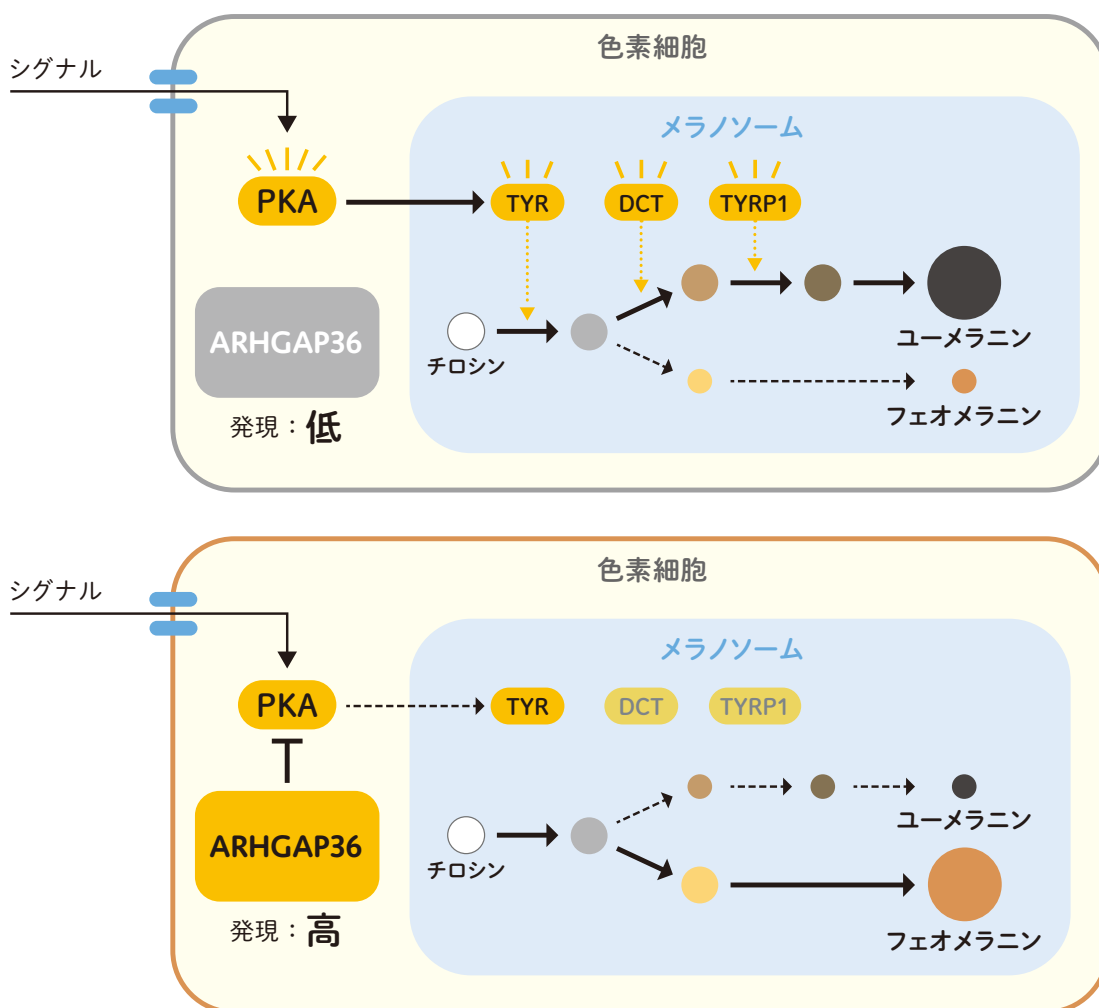


ARHGAP36遺伝子は、神経堤細胞に起源をもつ一群の細胞系譜で発現しており、細胞内のシグナル伝達を調節するプロテインキナーゼA(PKA)に結合して、その働きを抑制することが知られています。最近、ヒトのARHGAP36遺伝子が、先天性皮膚疾患や皮膚がんの原因遺伝子であることも報告されました。

そこで、細胞内のさまざまな代謝や化合物の反応経路についての情報を網羅したデータベース：KEGG(Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes)を参照して、ヒトやマウスではどのように色素合成が誘導されるのかを確かめました。

色素は、アミノ酸のチロシンを出発点として、酵素チロシナーゼ (TYR) などの反応により色素細胞にあるメラノソームという袋状の小器官の中で合成されます。黒い色素はユーメラニン、オレンジの色素はフェオメラニンという化合物で、前者の合成経路には、TYRのほかチロシナーゼ関連タンパク質1 (TYRP1) やドーパクロームタウトメラーゼ(DCT)などの酵素も関わっています。これらの遺伝子の上流でシグナル伝達を担うのがPKAです (図3上)。細胞内でARHGAP36遺伝子の発現が上昇すると、ARHGAP36タンパク質が結合してPKAの分解を促進するため、その下流の働きが低下すると考えられます (図3下)。

この経路がフルに働くと主にユーメラニンを合成しますが、オレンジ毛をもつネコの場合、ARHGAP36の発現増加によってPKAが媒介するシグナル伝達が阻害され、フェオメラニンが合成されるようになるのだろうと考えられます。



(図3) 色素細胞のメラノソーム内で色素がつくられるしくみ

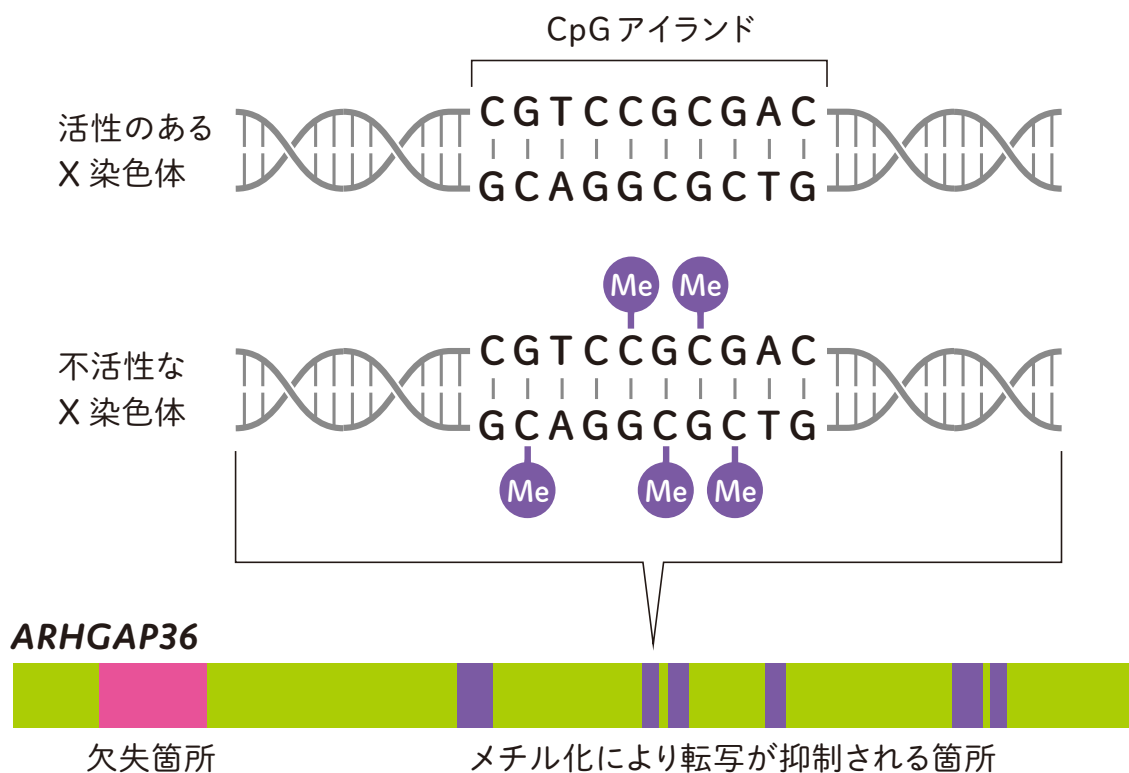
上: PKAの下流で活性化する色素合成に関わる酵素TYR, DCT, TYRP1の反応により、メラノソーム内で、アミノ酸のチロシンから2種類の色素ユーメラニンとフェオメラニンが合成される。この経路は通常、主にユーメラニンを合成している。

下: ARHGAP36の発現によりPKAの活性が抑制されると、ユーメラニン合成に関わる経路の働きが低下し、フェオメラニンをより多く合成するようになる。これは、本来ユーメラニンへ変換されるべきだった中間化合物が蓄積し、フェオメラニン合成に使い回されるためだと考えられる。

## 4. X染色体不活性化の不思議

ここでもう一度、X染色体不活性化について確認しましょう。この現象においては、遺伝子の抑制にDNAのメチル化が大事な役割を果たします。DNAの塩基A・T・G・Cのうち、C(シトシン)にメチル基が修飾されると、転写因子がDNAに結合できずに遺伝子の発現が抑制されるのです。特に塩基配列でCとG(グアニン)が連続するCpGアイランドと呼ばれる領域でメチル化(Me)が多く起こります(図4)。

まずは公開されているヒトとマウスのデータを再解析し、2つあるX染色体のうちのどちらか一方で、*ARHGAP36*遺伝子が不活性化されていることを確認しました。次に私たちのネコのサンプルを用いて、DNAメチル化の有無と分布について測定と解析を行いました。そして、オスとメスで*ARHGAP36*遺伝子のCpGアイランドのDNAメチル化状態を比較したところ、メスにのみX染色体不活性化の目印となるメチル化が確認されました。同様のメスに特異的なメチル化は、マウスでも確認することができました。つまり、ネコでもヒトやマウスと同様に、X染色体不活性化が起きていることが推測されました。



(図4) ネコ *ARHGAP36* 遺伝子のメスに特異的なメチル化

DNAメチル化状態を次世代シーケンサーにより解析したところ、メスでのみ *ARHGAP36* 遺伝子の CpG アイランド(紫色部分) に中等度(2本のX染色体のうち1本)のメチル化(Me)が確認された。

このようにメスの細胞の中に2本あるX染色体のうちどちらか1本は不活性化されます。これによりX染色体を1本しかもたないオスとの間で遺伝子の発現量を均等にしているのだと考えられています。メスの2本のX染色体のどちらが不活性化するかは、個体発生において、神経堤細胞から色素細胞へと分化していく過程で細胞ごとにランダムに決まり、その後は、その不活性化状態を維持したまま領域を占めるように増殖します。そのため、ある程度の広がりをもって黒毛、オレンジ毛の領域が生まれ、三毛猫の場合は色素細胞が到達しなかった白毛の領域も加わって、全体として、3色のまだら模様が描き出されるのだと考えられます。

X染色体不活性化は、X・Y性染色体をもつ哺乳動物に共通のしくみで、ヒトの女性でも起きています。ARHGAP36遺伝子も哺乳動物が共通にもつ遺伝子ですが、毛色の決定に関わるという機能は、今のところイエネコでしか確認されていません。マウス・ヒト・イエネコはゲノム上に同じ遺伝子をもちながら、その働き方を種ごとに柔軟に変える—共通のものから多様を生み出す進化のしくみを、ここにも見ることができるのではないのでしょうか。

## 5. 付かず離れずのネコとヒト

私たちの研究は多くの愛猫家の皆さんに支えられました。実は、この研究のスタート時点で私は定年退職を迎えたので、クラウドファンディングを通して研究目標を社会へ公開し、資金面でのご支援をいただきました。その際、多くの応援メッセージをもらえたことが、研究を進める上で大きな励みとなりました。サンプル提供や情報交換についても、一般の方々がすすんで協力してくださり、小さいながらも「シチズン・サイエンス」を実践できたことを嬉しく思っています。また研究目標を開示し、成果をいち早く共有したことで、様々な分野の先生たちとの相乗効果を得る「オープン・イノベーション」を実践できたようにも思います。

冒頭で述べたように、誰も取り組まないならば自分たちでと始めた研究でしたが、途中で、同じテーマに取り組んでいる研究グループがあるらしい、との噂が聞こえてきました。スタンフォード大学のグレッグ・バース先生の研究グループでした。彼らの専門分野は色素の生物学で、私たちはエピジェネティクス。専門分野が違うので、お互いに競合するのではなく協力する方がメリットがあると考えて、「情報交換しよう」と連絡したところ、即“OK”と返ってきました。早速、オンラインで話し合っ、双方の論文を同時投稿することにしました。独立に行っていた二つの研究が同じ結果を示したことで、信憑性も高まり、評価は上々、「オレンジ遺伝子解明」のニュースが世界を駆け巡りました。

イエネコのゲノムデータを確認すると、アメリカ・ヨーロッパ・アフリカ・アジアなど、世界中のオレンジ毛のネコがまったく同じ欠失をもっているため、オレンジ毛をもつネコの起源は一つではないかと考えられます。これについては、科学ジャーナリストの方が私たちの論文に寄せて書いた記事の中で、ネコの遺伝学の専門家であるレスリー・ライオン先生が、「エジプトにはオレンジ色のネコのミイラがあるようだ」と述べてくださっています。骨だと毛色はわかりませんが、ミイラなら毛の色

を確認できるかもしれません。いろいろな生きものが描き込まれた古代エジプトの壁画「狩猟の図」(図5)には、オレンジ毛のネコの姿も見えます。もしも、ミイラのゲノムが解読できれば、3千年以上前まで遡って確認することができるかもしれないので、なんとか実現できないかと、可能性を探り始めたところです。

イエネコは、今から1万年から8千年ほど前に、リビアヤマネコから分岐したと考えられています。生まれは西アジアから北アフリカにかけての中近東で、ヒトの歴史では農耕が始まった頃に重なります。イエネコは野生動物ではありませんし、狩猟採集時代からヒトの伴侶動物だったイヌとも生態が異なります。「付かず離れず」というヒトとネコとの関係が、もうこの頃から始まっていたかもしれません。こうしていろいろと思案していると、ネコとのご縁は、これからもまだまだ続きそう、いや深まっていきそうな気がします。



(図5)「狩猟の図」所蔵：大英博物館

エジプトのネブアメン(紀元前1350年頃)の墓の壁画。人物の隣にネコがいる。三毛猫や茶トラ猫がもつオレンジ色(明るい茶色)の毛は、家畜化されたイエネコの系統でのみ生じた変異に由来する。壁画の色が当時と同じかは定かではないが、ヒトは紀元前から、オレンジ色の毛をもつイエネコと共に暮らしてきたのかもしれない。



佐々木 裕之 (ささき・ひろゆき)

1956年福岡市生まれ。1987年九州大学大学院医学系研究科修了(医学博士)。1990年英国ケンブリッジのAFRC研究所及びウェルカム/CRC研究所で、ゲノムインプリンティングを発見したアジム・スラーニ博士とエピジェネティクス研究に携わる。国立遺伝学研究所教授、総合研究大学院大学教授、九州大学生体防御医学研究所教授・所長、九州大学副学長、九州大学高等研究院研究院長を歴任。定年退職後の現在もクラウドファンด์などを活用し、精力的に市民や社会と共創するサイエンスを実践している。著書に『エピジェネティクス』(編著, シュプリンガー・フェアラーク東京)『エピジェネティクス入門—三毛猫の模様はどう決まるのか—』(岩波書店)など。日本人類遺伝学会学会賞(2009)、日本遺伝学会・木原賞(2012)、紫綬褒章(2015)、上原賞(2018)、科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞受賞(2026)。



LETTER

# 情報の生命誌—今を見つめる

中村 桂子 JT生命誌研究館名誉館長



名誉館長の中村桂子が、情報と生命の関係を考えます。情報という切り口から、生きものたちの関わりを描く生命誌が始まります。

## 第1回

最近「AI社会」と言われ、AIが人間を凌ぐと言う人も少なくありません。しかしここで、AIと人間とはまったく異質なものという、あたりまえのことを忘れてはなりません。そもそも情報とは、生命体による認知や観察と結びついた「生命情報」であり、そこには意味があります（AIは意味を知りません）。

「情報」の誕生は、40億年前の生命誕生の時です。自己創出する存在である生命体を支えるDNA（ゲノム）は、その中にデータとプログラムを合わせもつ独特の情報体です。この情報は、物質の化学反応とつながっているところも独特です。

ゲノムの変化により、新しい能力をもつ生きものが生まれ、複雑な生態系ができる過程を、情報という視点から見ていこう。そこから生命とは何か、人間とは何かを考えよう。研究館は今ここにいます。

研究館のエントランスを飾るシンボル展示の一枚に「生命誌マンダラ」があります。中央の大日如来を受精卵に見立てて、細胞から個体、種、生態系へと、生きものがもつ階層を貫くゲノムの多様な働きを俯瞰する生命誌の表現です。そして今、生命情報という切り口で、原核生物から言葉や想像力（創造力）を生み出す脳をもつヒトへの進化をたどる、もう一つの「生命誌マンダラ」に挑戦したいのです。



「生命誌マンダラ」(2013年)  
生きものの個を形作る階層を表現。

# 長谷部 光泰

自然科学研究機構 基礎生物学研究所 生物進化研究部門 教授



## 全ての陸上植物を体系化する



写真：大西成明

### Biography

- 1963年  
千葉県生まれ
- 1987年  
東京大学理学部 卒業
- 1991年  
東京大学理学部 助手
- 1993年  
米国パデュー大学  
日本学術振興会海外特別研究員
- 1996年  
基礎生物学研究所 助教授
- 2000年  
基礎生物学研究所 教授
- 2014年  
総合研究大学院大学 生命科学研究所  
研究科長  
日本進化学会 会長
- 2020年  
基礎生物学研究所 副所長
- 2025年  
日本植物学会 会長

### Awards

- 2001年 日本学術振興会賞  
日本学士院学術奨励賞
- 2008年 日本植物学会学術賞
- 2013年 米国植物学会ペルトン賞
- 2016年 日本進化学会賞  
木村資生記念学術賞
- 2019年 黄金孢子賞 2019
- 2022年 紫綬褒賞
- 2023年 日本植物分類学会賞

# 両親の背中を見て育つ

3歳の頃には、両親が営む千葉市内の街の本屋で店番をしていました。レジを打っていると、荒っぽく小銭を投げ出すお客もいれば、大人に対するのと同じように丁寧に接してくれるお客もいる。世の中には実に色々な人がいるということ、自然と受け容れていきましたね。この経験が僕の土台にあるのかもしれませんが。今思えば、植物について子どもや学生の頃から知りたかったことが、色々な人との出会いをきっかけに研究へとつながってきた気がします。

本が入った大量の段ボール箱を運んだり、伝票を作ったりと、常に働く両親の姿を見て育ちました。僕のワーカホリックな性質は両親に似たのかもしれませんが。父は独立心が強い人で、故郷の山梨県を出て一から店を開きました。配達帰りに立ち寄った喫茶店で、「人に使われる仕事は面白くないから、自分でやるのがいいんだぞ」と語っていたのを覚えています。母は幼いころ東京の家を空襲で焼け出されたり、疎開先で弟妹を亡くしたりと壮絶な経験をしたそうです。そんな苦勞にも関わらず悲観的な面を見せたことはなく、どんな事も笑い飛ばしてしまう本当にすごい人です。今でも両親を世界で一番尊敬しています。

母は忙しい仕事の合間を縫って茶道と華道を習い、人に教えるまでになるほどで、自分ができなかったからと、僕には色々な経験をさせてくれました。切手やコイン、仮面ライダーカードの収集、エンジン模型飛行機作りや国体の鼓笛隊のトランペット奏者もやりましたし、ペットとして犬やジュウシマツ、タナゴ、さまざまな昆虫を飼育したり、習い事は絵画やそろばん、書道、剣道もやりました。中でも「あしのこ学校」というサマーキャンプは印象的でした。小学生から社会人までが一つのグループになり、キャンプをしながら議論して意見をまとめるというものです。年齢も職業も異なる人が対等に話し合えることが、子ども心に新鮮でした。色々な意見があっても、真摯に議論していくと、アウフヘーベン(注1)することがあるのだと知りました。母が経験させてくれたことはどれも、今も色々な場面で役立っています。

(注1)アウフヘーベン：対立する概念を、より高次のレベルで包摂すること。



両親と旅行中の1枚。父も母も働き者で、根っからポジティブな性格だった。



色々なものをコレクションし、怪獣のソフトビニール集めも好きだった。研究者になって、奇妙な形の植物や突然変異体を目にしたときのワクワク感は、この頃ガメラを見て感じたのとあまり変わらない気がする。



休日には、家族で近所の田んぼにオタマジャクシを採りに行ったり、潮干狩りに行ったり。



毎年数回は、家族旅行や書店の親睦旅行に出かけた。家族旅行では、妹がぐずって列車に乗り遅れたり、台風で船が欠航したりと想定外のことが次々と起きたが、両親が機転を利かせて対応する姿を、子ども心にカッコいいと感じた。

# 食虫植物との出会い

母曰く、2歳の頃から植物が好きだったそうで、小学校の頃にユリの鱗茎(注2)に心ときめいたのを今でも覚えています。ただ、それを次元が変わるほど高めてくれたのは、小学校から高校にかけての同級生、鵜澤(うざわ)武俊くん(現 大阪教育大学教授)との出会いです。小学5年の時、彼が手作りの温室で育てていたハエトリソウやウツボカズラなどの食虫植物に、一瞬にして魅了されてしまったのです。さっそく僕も父に手伝ってもらって、ヒヨコ電球で暖める温室を作り、食虫植物を育て始めました。以来、互いの家をよく行き来するように。何を話すでもなく、子供部屋で互いが持ち寄った園芸雑誌「ガーデンライフ」や食虫植物の本を黙々と読みふけていましたね。

(注2) 鱗茎：食用にする百合根。ユリの地下茎を葉が鱗状にとりまとめたもの。

鵜澤くんが入っていた食虫植物研究会にも入り、大人に混じってフィールドワークを楽しみました。食虫植物の研究者である小宮定志教授と助手の柴田千晶さんが中心になって運営する研究会で、愛知県の豊橋市にある湿地や、今は開発でほとんど無くなりましたが、千葉県南部にあった食虫植物の群落を見に行けたのは素晴らしかった。さらには、当時まだ珍しかった、ドロセラ・アデラエというモウセンゴケの仲間を大きく育てて展示会に出品し、第1回目の「食虫植物研究会賞」に選ばれました。しかし僕は、「植物が勝手に育っただけであり、自分は受賞に値しない」という趣旨の手紙を送って、受賞式を辞退。環境さえ合えば植物は自ずと育つのだという考えは今も変わりませんが、当時の僕はそこに「自分はいったい何をしているんだろう」と疑問を感じたのです。この時期から、食虫植物の栽培への興味が薄れていきました。

# 植物分類学を目指す

当時、県立千葉高校は学園紛争の影響が残っており、受験ばかりを視野に入れて学問をしない授業はタブーだという空気があ



小学校2年の夏休みの自由研究で作った初めての植物標本。



小学校の頃、ランドセルに入れて持ち歩いていた食虫植物の本。右の本は、熱を出して寝込んでいた日の朝に届き、読み終えた昼頃にはすっかり元気になっていた。左の本の著者の近藤勝彦先生には、大人になってモウセンゴケの分子系統解析で共同研究のお願いに伺った際に、サインをしていただいた。

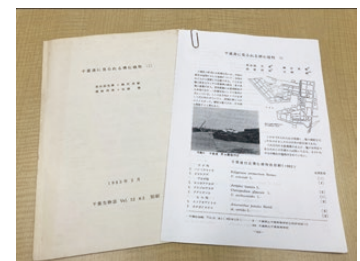




高校の生物研究同好会の仲間と。文化祭のポスターを横にするか縦にするかなど、ささいなことを徹夜で議論したりしたのは良い思い出。それぞれ異なった仕事についたが、今でも毎年集まっている。(本人：左から2番目)

りました。それでも皆はちゃんと受験勉強していたわけですが、それを素直に間に受けていた僕は、高校を卒業してそのまま浪人生活へ。予備校に通うのも楽しくて、「嬉しそうにしすぎだ」と父に嗜められたほどです。1年で偏差値が60上がるという経験をしました。

後から考えて浪人して良かったなと思うのは、この時期に将来の研究分野を決めることになったからです。高校時代は、生物研究同好会を作ってさまざまな本を読んだり実験をしたりして、柴岡孝雄先生に刺激されて食虫植物の電気信号の研究に興味をもったり、コンラート・ローレンツさんに影響されて動物行動学をやってみたいと思っていました。浪人していたある日、同好会の顧問だった岩瀬徹先生から、県立博物館の準備室に寄贈された植物標本の整理を手伝わないかと誘われたのです。この時、近所の千葉港に面白い帰化植物が色々あると教えてもらい、さっそく自転車で港に行き、片っ端から植物を採集、出版されたばかりの『日本の野生植物』という図鑑で種名を調べ始めたら、これが滅茶苦茶面白かった。特に、それまで一緒に見えていたイネ科の花を解剖すると、種ごとに顕著な違いがあることに感動しました。そして、今思えばあまりにも漠然とですが、「植物分類学」をやりたいと思うようになったのです。僕の思いを知った父が、本の配達先で紹介していただいた千葉大学の西田誠先生(元千葉大名誉教授)に進路を相談してくれ、東京大学に、岩槻邦男先生という気鋭の分類学者がくるから東大を受けなさいと言われたのです。



浪人時代に調査した千葉港の帰化植物リスト。これが最初の論文となった。

# 植物三昧がはじまった学生生活

無事に東京大学理科二類に入学し、生物学研究会というサークルに入りました。ここで知り合った、シダを得意とする先輩の鈴木武さん(現 兵庫県立人と自然の博物館研究員)、同級の牧雅之くん(現 東北大学教授)と一緒に紀伊半島から屋久島まであちこち採集旅行に行き、すっかりシダに魅了されました。同じサークルには、林学の宮下直さん(現 東京大学名誉教授)、鳥類の仲岡雅裕くん(現 北海道大学教授)や甲虫の濡木理くん(現 東京大学教授)、水生動物の坂本竜哉くん(現 岡山大学教授)など、今でも生物学で活躍している生きもの好きが勢揃いしていました。春から秋にかけて数回、仲間たちとテント生活をしながら、三岩岳や天狗原山にいる生物を全て調べる「総合調査」を行い、植物だけでも数百に上る生物種をリストにして、手作りのガリ版の冊子にしました。今でも貴重な資料ですよ。3年になると、無事に第一志望だった理学部の植物学教室に進級。午前は講義、午後は夜遅くまで実験、朝から晩まで分子生物学、生化学、生理学、遺伝学など、植物に関する全ての分野を学べて、もう天国でしたね。植物分類の先生は大場秀章さん(現 東京大学名誉教授)や邑田仁さん(現 東京大学名誉教授)、矢原徹一さんなどの達人ばかり。実習で日光、屋久島、大雪山などの植物を存分に採集し、学生時代に一万点近く植物標本を作りました。自分で採集して標本にすると忘れないもので、一つひとつを今も覚えています。また、シダ談話会という研究者の集まりで、形態学者の今市涼子さん(現 日本女子大学理事長)や化石学者の西田治文さん(現 中央大学名誉教授)たちと知り合い、いまだに多くのことを学ばせていただいています。

大学院生の時に、研究室の加藤雅啓先生に連れて行ってもらったインドネシア調査も忘れません。初日に「この調査の目的は何ですか」と先生に尋ねると、「馬鹿もん、行ってから考えるに決まってるやろ」と一言。人知を超えた熱帯雨林の自然を前に、その言葉の正しさがわかりました。人々の姿もカルチャーショックで、子供たちは日本なら考えられないような、激流や断崖絶壁で平然と遊んでいるし、大人たちは一週間後に船で



フィールドで植物を探すのは大得意で、ムカシベニシダ(上:大学3年)とオニメツタ(下:修士2年)という超珍品のシダを見つけてご満悦。

2016年、300万点の植物標本を所蔵する北京の中国科学院植物標本庫で調査をしていたところ、偶然開けた棚に見覚えのある標本が。大学4年の時に自分が採集した標本だとわかり、奇跡的な再会を記念して撮影。



迎えを頼んだのに二日も遅れてきました。それまでの自分の常識や行動規範とは異なった、しかしそれでもきちんと成り立っている世界があることを知りました。相手の背景にある思想や文化を理解して付き合うことを学ぶと共に、自分の枠組み・世界そのものが広がったように感じました。

## 植物分子系統解析の第一世代

1980年代、植物の分類には形態的な特徴が用いられていましたが、異なる系統で似たような形が進化する「収斂進化」を見抜くのが難しく、その分け方は文献によってずいぶん違っていました。そんな時、長谷川政美さんの『DNAからみた人類の起原と進化』という本に出会い、分子系統学を知りました。これまで形態を比べても結論が出なかった、オランウータン、ゴリラ、チンパンジー、そしてヒトの類縁関係が、分子系統解析によって、統計的な確率を含めて明らかになる研究史が、生き生きと書かれていたのです。さらにこの頃、大澤省三さんや堀寛さん（現名古屋大学名誉教授）が、生物の普遍的にもつDNA配列（5SリボソームRNA）を解析し、全生物界を包含する分子系統樹を作り上げました。塩基配列やアミノ酸配列なら、生物の類縁関係を統計的に推定することができる。ぜひ植物でやってみたいと思いましたね。でも当時は、植物からDNAを取り出すことすら至難の業。大学院試験の面接では、形態学のゼミでお世話になっていた原襄（のぼる）先生（元 東京大学名誉教授）に「そんなことが簡単にできているんですか」と散々に言われました。でも生意気な若者だったので、さらにやる気が出てきたんです。

当時の植物学教室には、卒業研究は大学院で進学予定の研究室とは、別の研究室で行うという決まりがありました。ここで、サルモネラ菌の遺伝子解析を行っていた飯野徹雄先生（元 東京大学名誉教授）の研究室に行けたことが、実に幸運でしたね。直接指導をしてくれたのは助手の沓掛和弘さん（現 岡山大学名誉教授）で、最初に「研究者はビジネスマンですから、朝8時に来て夕方



博士課程1年のインドネシア調査で、地元ガイドの方と。肩から下げているのは巨大な着生シダ。

05



5時まで実験をしてください。5時以降は論文を読んだり書いたりする、知的活動をしてください」と言われました。沓掛さんに実験の方法を手取り足取り教わり、実験ノートの書き方や論文の読み書きの仕方まで含め、たった半年で実験と研究の流儀を身につけることができたのです。



小石川植物園の地下に整備したDNA実験室。整備前の写真が無いのが残念。

晴れて大学院で岩槻先生の研究室に進みました。研究室がある小石川植物園の建物は古く、電気泳動槽にコオロギが泳いでいたこともありましたね。DNAを使って研究する人は僕以外にいませんでしたから、部屋の隙間を塞ぐことから始め、一から実験室を整備しました。岩槻先生は、大学院のテーマを相談に行ったら「やりたい事をやったらええで」とおっしゃって、後はセミナーで時々コメントをくれるくらいでした。でも必要な試薬や機器を買っていただいたことはもとより、助手の村上哲明さん（現 兵庫県立人と自然の博物館館長）と、アメリカの植物分子系統のラボを巡るよう旅費を工面してくれたり、葉緑体DNAの第一人者である杉浦昌弘先生のもとに実験を習いに行く段取りをしてくれました。大学院生の教育の真髄を、身を以て学ばせてもらいましたね。おかげで植物分子系統解析の第一世代として、小石川植物園の研究室には、全国から共同研究者が集まるようになったのです

## 分子植物地理

学部学生の頃から知りたかったシダ植物の系統をすぐに調べたかったのですが、DNAがうまく取れません。ワラビやゼンマイのぬるぬるした食感からわかる通り、シダ植物は多糖類が豊富に含まれているため、DNAを取り出すのが難しいのです。そこでシダのDNA抽出と並行して、たくさん材料が手に入り、比較的DNAが取りやすかったカエデを使って修士の研究をはじめました。

19世紀、ハーバード大学の植物学者エイサ・グレイは、黒船が日本から持ち帰った植物が、北米のそれと酷似していることに驚いたそうです。太平洋を挟んだ日本と北米で植物相がなぜ似

ているのかについては、二つの仮説がありました。一つは、かつて地球が温暖だった時代、北極に巨大な森があり、その森が寒冷化に伴って南下したため、北米にも日本にも同じ植物があるのだという説。もう一つは、氷期と間氷期を繰り返す間に何度も陸橋ができて、風や鳥によって種子が拡散し、大陸間を行き来したという説。僕はカエデ属の植物でこの仮説を検証しました。東アジアと北米に隔離分布している近縁なカエデのペアが分かれた年代を推定していくと、ペアごとに分岐年代が違っていました。つまりカエデの種子が何回も海を行き来したということであり、後者の仮説が支持されたのです。この成果を日本植物分類学会で発表したら、植物分類学者である清水建美先生（元 金沢大学名誉教授）が、「分類学会で始めての、分子生物地理の発表ですね」と褒めてくれたことを覚えています。



北米西海岸に生えるカエデの仲間 *Acer circinatum* (左)。日本のコハウチワカエデ (右) と形態がよく似ている

その後、世界各地に点在するモウセンゴケ属の分布や、横山潤くん（現 山形大学教授）や鈴木三男さん（現 東北大学名誉教授）と植物でもっとも顕著な隔離分布をするドクウツギ属の研究も行いました。これらと他のグループの研究からも、被子植物の分布はどれも大陸移動ではなく、長距離分散によって引き起こされた可能性が高いことがわかっています。

## 想定外の系統推定結果

本筋のシダについては、100種以上のシダを調べてハウライシダの素性が良いということ突き止めました。ハウライシダの葉緑体のDNAを採って遺伝子地図を作り、葉緑体ゲノムの全制限酵素断片を大腸菌にクローニングしました。それまでシダの葉緑体DNAのクローンバンクはなかったので、世界から反響がありましたね。博士1年の頃に、有名なシダ学者のデビット・コナンさんから国際電話がかかってきて、「プロフェッサー（教授）の長谷部はいるか？」と尋ねるので驚きました。シダのDNAのクローンを分けてほしいという連絡だったのですが、「プロフェッサーかあ」と、ちょっといい気分でしたね。



DNAが抽出しやすかったハウライシダ

博士過程では、自分で採集したシダ植物の、主要な属の系統解析を行いました。得られた結果は従来の仮説とは大きく異なり、目レベル以上の違いがあると考えられてきた、デンジソウとサンショウモが同じグループになってしまいました。岩槻先生も加藤先生も「長谷部くん、大丈夫かあ?」と半信半疑。しかし同じタイミングで、オハイオ州立大学のガー・ロスウェルさんが、デンジソウとサンショウモの共通祖先にあたる化石を発見したのです。アメリカのシダ研究の大御所ウォーレン・ワグナー先生が「クラシックな論文になるかもしれない」とおっしゃって、米国科学アカデミー紀要に推薦してくれたのは幸運でした。後に留学した際は、この論文が話題になってあちこちの大学にセミナーに呼んでもらい、アメリカ人コミュニティーの一員になれたことが、帰国後にとっても役に立ったのです。



デンジソウの仲間(上)とサンショウモの仲間(下)。シダ植物は、デンジソウ目、サンショウモ目、シダ目の3つに分かれると考えられてきたが、分子系統解析の結果、デンジソウ目とサンショウモ目は姉妹群でシダ目の中に含まれてしまうことがわかった。

シダと並行して解析した裸子植物の系統も、意外なものでした。この頃、植物園に来ていた植田邦彦さんや伊藤元己さん(現 東京大学名誉教授)たちと、裸子植物の形態進化について夜な夜な議論したのですが拉致があかず、DNAで系統をはっきりさせることになりました。ところが、現生の裸子植物が単系統になってしまったのです。つまり、針葉樹やイチョウやグネツム類など、葉の形も生殖器官の形もすごく異なる植物が、同じ祖先から派生したという結果となり、誰も信じてくれなかった。実は10年後にも同じことが起こったんです。ポストドクだった西山智明くん(現 富山大学特任准教授)が中心になってコケ植物の分子系統解析を行なったところ、なんとまた単系統に。形態のかけ離れたセン類、タイ類、ツノゴケ類が共通祖先から派生したことになり、案の定、誰も信じてくれませんでした。結局、前者の裸子植物については台湾の盟友である趙淑妙さん(シューミャオ・チョオ: 現 台湾中央研究院卓越研究員)らによって、後者のコケ植物についてはゲノムプロジェクトなどによって、どちらも発表後10年近く経ってから正しさが証明されました。



学生時代に針葉樹類に近縁という予想外の結果になった、グネツムのキソウテンガイと記念撮影(ナミビアのナミブ砂漠)。



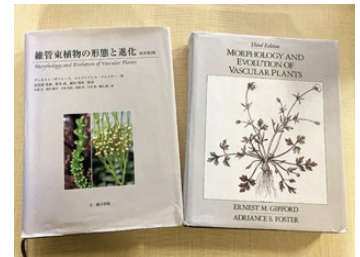
研究室の助手として引率した、屋久島宮之浦岳の学生実習にて。左から本人、当時学部生の三宅崇さん(現岐阜大学教授)、加藤雅啓助教(現東大名誉教授)。

# 分子系統解析からの新たな問い

# 08

このように分子系統解析の結果は、形を基準とした従来の分類を、予想外に覆すことになりました。僕は植物の形態が好きで、アーネスト・ギフォード先生とエイドリアンス・フォスター先生が著した『維管束植物の形態と進化』という教科書を翻訳して形態に精通していたこともあり、分子系統解析を行なった当時は自分自身が一番驚きました。解析は実験から統計処理まで自らの手でやっているのだから手違いはないはずなのですが、形態学者としての僕はとうてい信じるができなかった。一体、生物の形はどのように進化するのだろうかという新たな疑問が湧いてきたのです。

ドイツのマックス・プランク研究所のジェフ・シエル先生が、東大の植物学教室にセミナーで来てくれたことが転機になりました。彼はキンギョソウという左右相称の花が、たった1つの遺伝子の突然変異によって、アサガオのような丸い放射相称の花になるという話をされました。遺伝子一つの変化で植物の形が劇的に変わると知って、目から鱗でした。さらにこの時、『Plant Cell』という雑誌のエッセイに驚くべきことが書かれていました。花をつくる「ABCモデル」の主要な遺伝子である「MADS-box 遺伝子」が、花をもたないシダ植物の、リチャードミズワラビにもあるかもしれないという、未発表の結果が紹介されていたのです。形の進化の研究に転換するには環境を変えた方が良いと思っていたので、「花の咲かない植物で花の進化を探る」というテーマを瞬時に思いつき、これで日本学術振興会の海外特別研究員に応募することを決めました。さっそく、エッセイで紹介されていたパデュー大学のジョー・アン・バンクスさんに、そちらで研究したいとファックスを送りました。次の日に届いた彼女からの返信はたった一行、「ノープロブレム」。こうして、植物の形の進化を探る研究に舵を切ることになったのです。



学生の頃のバイブルだったアーネスト・ギフォード先生とエイドリアンス・フォスター先生の教科書。グネツム類が被子植物と同じように重複受精をすることを見つけ、被子植物とグネツム類は姉妹群であるという論文をNatureに発表したネッド・フリードマンさん（現ハーバード大学教授、樹木園長）とはたくさん語り合った。東大の博士論文審査会では分野外の先生から、彼の論文を根拠に僕の論文は間違っていると頭ごなしに言われたけど、何年後、米国植物学会のペルトン賞に推薦してくれたのはネッドだった。彼が私のオフィスに来た時、本棚にこの翻訳を見つけ「ギフォードの最後の学生だったんだ」と言って、すっかり意気投合した。

# 花の咲かない植物の花遺伝子

パデュー大学に着くと、さっそくジョディ(バンクスの愛称)が、リチャードミズワラビにMADS-box遺伝子があることを示すオートラジオグラムを見せてくれました。「ほら、ここにバントがあるでしょう」と言われて見ても、何も無い。こうやって見るのよと、フィルムを斜めにしてみせてくれても僕には何も見えず、本当なのかと不安になりましたね。自分で実験してみようにも、台湾の留学生チークワン・ウェンくん(現 中国科学院教授)に、「ねばねばしてDNAはほとんど取れないぞ」と言われる始末。でも学生の頃からの経験を活かし、DNAとRNAの抽出は半年で何とかクリアしました。しかし肝心のMADS-box遺伝子はその片鱗すら見つからず、1年半、さまざま実験を行いました。ネガティブな実験結果が出た寒い夜に限って、頑丈な鍵がレンチで切られて自転車が消えていたりと散々でしたが、ラボのポストドクは「ウェルカム トゥ ユナイテッド ステイツ!」と茶化してくれるし、僕もなるようになるだろうと楽観的な日々でした。

MADS-boxは、被子植物では花を作る遺伝子です。ある日、リチャードミズワラビにこの遺伝子があるとしたら、少なくとも、葉や生殖器官が分化する前の新芽の段階で発現しているはずだと思いつきました。でも新芽の原基は1本から数mgしかとれません。そこで、借りていた温室のスペースをこっそりと毎日少しずつ拡大し、温室一杯になるまで鉢を増やし、妻に手伝ってもらって全ての株から新芽を切除しました。1週間後、ついにパソコンの解析結果に、そらで覚えていたMADS-boxの配列が出てきたのです。すぐにジョディにメールすると、数秒で「コングラチュレーションズ!」と一言返信がきました。嬉しかったはずですが、もはやよく思い出せません。花の咲かないシダ植物に、花の遺伝子が見つかった瞬間です。

妻との植物探索旅行。アメリカ滞在中は、実験の合間に妻と二人で北米、南米各地へ、いろいろな植物を見に行ったことが一生の宝になった。ガラパゴス諸島(左)の単純な植生を見て、進化論を考えるのについてつけの場所だと納得できた。サボテンは日本で栽培していたが、アリゾナの自生サボテン(右)には度肝を抜かれた。



花の咲かない植物で初めてMADS-box花形成遺伝子の相同遺伝子が見つかったリチャードミズワラビ



ジョディと珍しく実験打ち合わせ。彼女は、朝、「みんな、なんか新しいこと見つかった?」とラボに来て、あとは幼稚園の娘の面倒を見ながら自分一人で実験をしていた。実験について議論することはほとんど無かったが、MADS-box遺伝子が取れた後、メイヤロヴィッツさんのところで実験するきっかけを作ってくれた。



実験の待ち時間が苦手だったので、最大7つの実験をうまく組み合わせ並行して行っていた。

# ヒメツリガネゴケをモデル植物にする

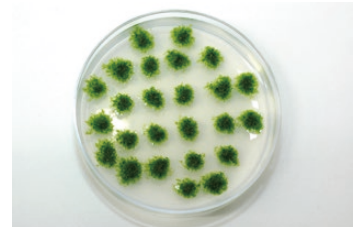
# 10

留学から植物園に戻り、MADS-box遺伝子の研究を続けました。リチャードミズワラビのMADS-box遺伝子がどこで発現しているのかを詳しく調べると、被子植物では機能分化しているA、B、C遺伝子に相当する遺伝子が、どれも同じ場所で発現していることがわかりました。シダ植物では花を作る遺伝子は機能分化しておらず、発現場所の変化が花の進化を引き起こしたのだろう。こう推測はできたのですが、現状では、発現している組織で本当に働いているのか、働いていたとしてもどんな働きをしているのかがわからない。論文を書きながらフラストレーションを感じました。遺伝子の機能を確かめるには形質転換をしないのはならないのですが、リチャードミズワラビではどんなに頑張ってもうまくいきませんでした。



ジョディは、家族とともにサバティカルで1年間基生研に滞在し、さまざまな共同研究を展開することができた。西表島で、ゲノムを解読したイヌカタヒバと記念撮影。

そんな時、偶然にも他の研究室から居候していた学生の藤原研二郎くんが使っていた、ヒメツリガネゴケに出会いました。容易に遺伝子ターゲティングができ、遺伝子と形の進化を知るのに最適な生物です。幸運にもこのコケに興味をもった大学院生の西山くん、榊原恵子さん（現 立教大学教授）、日渡祐二くん（現 宮城大学教授）たちと共に基礎生物学研究所（基生研）で一から実験系を確立しました。基生研の村田紀夫先生が、自身の主催したシンポジウムに、ヒメツリガネゴケ研究の開祖のデビット・コーブさんや、同僚のアンディ・カミングさんと呼んでくれ、彼らと深く議論し、国際コミュニティーの一員になれたことも研究を進める上でとても役立ちました。さらに、毛利秀雄所長が特例として雇用してくれた博士研究員の小藤累美子さん（現 金沢大学助教）が参入し、ヒメツリガネゴケのMADS-box遺伝子の機能解析を始めました。しかし遺伝子を壊しても何も起こらない。さまざまな試行錯誤の末、大学院生の越水静さん（現 遺伝学研究所助教）が、この遺伝子がコケの茎の長さを制御していることを突き止めるまでに、20年かかったのです。MADS-box遺伝子以外にも、シロイヌナズナやイネでは発生に欠かせないとされる重要な遺伝子をいくつも欠失させて機能を推定したのですが、どれも被子植物とは機能が全く違う。モデル植物と同じ機能の遺伝子は論文になりやすいのですが、違う機能だと、それが生物学的に



ヒメツリガネゴケ。大腸菌のシャーレで培養でき、酵母と同じ効率で相同組換えがおこる。基生研で確立した実験プロトコルはインターネットで公開し、国際スタンダードとなった。また、隔年で開いた国際トレーニングコースには海外からたくさんの研究者や学生が自腹で参加した。

面白くない限り、有名な雑誌には掲載してくれません。動植物の発生進化研究の全体像を理解して一般性のある問題点を把握することが必要になります。

この点で、基生研で研究できたことがたいへん役立ちました。基生研には動物の研究者と植物の研究者が同居しています。基生研に移った当時は、発生プロセスから進化を理解しようとする学問分野「進化発生生物学(エボ・デボ)」が、動物と植物で同時に芽生えつつありました。どちらも多細胞体制をもつ生物同士、その発生の違いを知ることは重要だと思い、エボ・デボを一緒に考える日本初の国際シンポジウムを開催。植物発生分野から塚谷裕一くん(現 東京大学教授)、動物発生分野から阿形清和さんを共同オーガナイザーとして誘いました。先導的な研究を行っていた海外研究者に加え、日本の植物と動物の発生学者の多くが集まってくれました。多くの動物研究者と知り合い、彼らとの議論を通して植物の特徴を再認識するとともに、動植物を合わせて、発生進化学の一般性のある問題点を整理することができました。

## 国際ゲノムプロジェクトから 見た植物の姿

2000年になるとミレニアム・プロジェクトとして、文科省のゲノム特定領域研究が始まりました。ちょうどヒメツリガネゴケのゲノム解読の国際コンソーシアムを立ち上げた時で、西山くんと藤田知道くん(現 北海道大学教授)が中心となり、関原明さん(現 理化学研究所チームディレクター)、篠崎一雄さん(現 理化学研究所グループディレクター)たちに完全長cDNAライブラリー、藤山秋佐夫さん(現 遺伝学研究所特命教授)、小原雄治さん(現 遺伝学研究所特命教授)たちにその配列決定やEST解析をしてもらいました。

ゲノム解読ができると研究室の全員で、それぞれが興味をもつ遺伝子から始めて被子植物の発生に関わる500近い遺伝子の系統解析を行いました。すると驚い



左はヒメツリガネゴケの野生型で、葉と葉がほぼ接しているため、毛細管現象で株元の色水が下の葉から上の葉へと運ばれ、先端部で受精がおこる。MADS-box遺伝子が無いと葉と葉の間が広くなり、水が運ばれず受精できない。被子植物以外ではじめてのMADS-box遺伝子の機能解明となった。ほとんどのコケが密に葉を付ける理由がわかって面白かった。



日本初のEvoDevoシンポジウムのポスター

ヒメツリガネゴケ国際ゲノムコンソーシアム。良く飲み、良く語り、良くメールし、国際共同研究の醍醐味を満喫できた。中央が本人、左から3人目が西山智明くん。





たことに、重要な発生遺伝子に相当する遺伝子の多くが、小葉植物のイヌカタヒバや、コケ植物のヒメツリガネゴケには無いのです。あったとしても、遺伝子数が大きく異なっていました。例えば、MADS-box遺伝子は被子植物では約40あるのに、イヌカタヒバでは3つ、ヒメツリガネゴケは6つしかない。これでは被子植物と同じ機能を担うことは難しいはずですが、個々の発生遺伝子を見ていた時から、陸上植物は系統ごとに異なった発生プログラムを持っているのではないかと考えていましたが、ゲノムの情報もそれを支持していました。

動物の場合、プラナリアもヒトも、形は違っていても基本的なボディプランは同じですが、植物の場合、コケも小葉植物も被子植物も平らな葉をもっているのに、それをつくるしくみは違っているようです。植物は雌雄同体で自家和合性のことも多いですし、倍数体になって遺伝子が増えることも多く、突然変異が固定しやすいのかもしれませんが。その結果、いろいろな遺伝子ネットワークが独立に進化して、光合成に最適な平らな葉を進化させてきたのではないかと考えています。



基生研の毛利所長が中心となって蝶類DNA研究会を設立し、会務や蝶の系統解析のお手伝いをした。2003年にJT生命誌研究館オサムシ研究グループと合併し、昆虫DNA研究会が設立され、現在に至っている。子どもの頃から昆虫採集や飼育が好きだったこともあり、多くの昆虫研究者と共同研究や交流を持てたことで研究の幅が広がった。写真は、2003年12月に開かれた昆虫DNA研究会とDNA考古学研究会の合同シンポジウム。



エリオット・メイヤロヴィッツさん（現 カリフォルニア工科大学教授）と。留学から帰る直前、彼の研究室で一ヶ月ほど実験させてもらい、その経験を活かして、帰国後、いろいろな植物に応用できる *in situ* ハイブリダイゼーション法を確立することができた。2025年に中国の学会で会った時、「おまえは一ヶ月うちのラボにいたから、いちおう同窓生だな」と言って、彼の研究室で活躍した伊藤寿朗さん（現 奈良先端科学技術大学院大学教授）と一緒に写真を撮ってくれた。

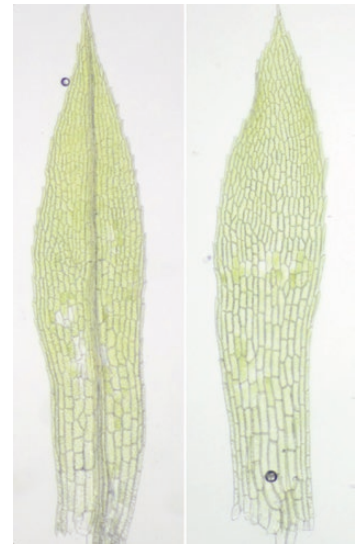
# 陸上植物の発生に共通性は無いのか

# 12

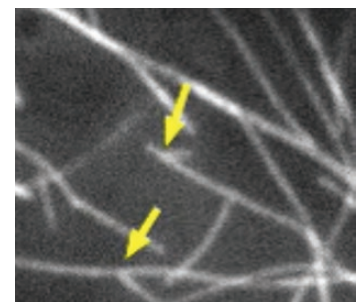
化石記録からは、陸上植物の共通祖先は、二叉に分岐する単純な茎のみからできた植物であり、コケ植物、小葉植物、シダ植物、種子植物でそれぞれ独立に複雑な茎と葉が進化したと推定されていました。僕たちが行った発生遺伝子の研究はまさにその仮説を支持していました。次の問題は、単細胞や糸状の体をしていた緑藻類から、どうやって陸上植物の共通祖先が進化してきたかです。裸子植物の単系統性に「オオ、ナイトメアー！」と言い続け、さんざん議論して仲良しになった古植物学者のピーター・クレインさん（現 オークスプリングガーデン財団理事長、元キュー植物園長）が、化石記録に基づき、陸上植物は生殖細胞である卵、精子、胞子を保護する組織（造卵器、造精器、孢子嚢）、水通導組織、そして厚みのある立体的な組織を持つ点で共通している、すなわち、これらの進化が陸上植物誕生の鍵になったという仮説を提唱していました。しかし、どうやっていくつもの独立な器官や組織が進化し得たのかが大きな疑問でした。

この答えは思わぬところから得られました。MADS-box遺伝子の研究に行き詰まった小藤さんが、造卵器と造精器の形成に重要な遺伝子の研究をはじめました。丁度、院生だった日渡くんが遺伝子トラップラインを作っていたので、造卵器と造精器に特異的に発現するラインを探し、トラップされている遺伝子を探しました。そこで見つかったのが、GRAS転写因子でした。研究は一筋縄にはいかず、結局、20年近くかかってしまいましたが、このグループの遺伝子を壊すとなんと、造卵器、造精器、葉脈ができなくなってしまったのです。

動物細胞と違って、植物細胞は細胞壁で覆われていて動けませんから、発生過程で細胞がどちらの方向に分裂して伸長するかで将来の形が決まります。単純な体制をもつヒメツリガネゴケは、発生過程の細胞動態をライブ観察できる利点があります。研究室を立ち上げて数年後、細胞の微小管をこよなく愛する村田隆さん（現 神奈川工科大学教授）に助教授として研究室に加わってもらい、細胞分裂の分子機構とその進化を研究室のテーマとして位置づけることにしました。



野生型(左)は葉の中央に葉脈ができるが、GRAS遺伝子を欠失すると葉脈ができなくなった(小藤累美子博士提供)

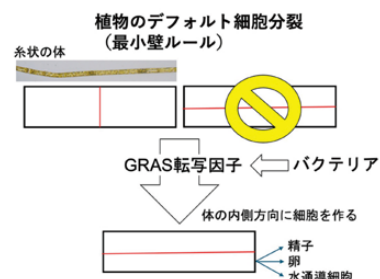


動物の細胞分裂では、中心体から微小管が伸びて紡錘体を作るが、植物の場合、紡錘体はできるのに中心体がないため、どうやって紡錘体ができるかは大きな謎だった。村田さんが蛍光タンパク質で微小管を可視化し、既存の微小管から新しい微小管が生じていることを発見し(黄色矢印)、植物では中心体が無くても紡錘体ができることがわかった(撮影：村田隆博士)。

村田さんと毎日顔を合わせていると、自ずと細胞から形を見る習慣が身につきます。細胞生物学者の目で、造卵器、造精器、葉脈という異なった発生過程を持つ器官の共通性が見えてきたのです。どれも、組織の表面に平行な細胞分裂（並層分裂）が表皮の内側に細胞を作っており、できた内側の細胞が生殖細胞になったり水を通す細胞になっているのです。植物細胞は分裂面の面積が最小になるように分裂するというデフォルトルールがあるのですが、数理生物学者の藤本仰一さん（現 広島大学教授）、鎌本直也くん（現 広島大学特任研究員）に細胞ごとのデフォルト分裂面を推定してもらったところ、GRAS転写因子は、このルールをやぶって無理やり並層分裂を制御する働きをしていることがわかりました。つまり、クレインさんの言う、植物の陸上化に必須だった器官や組織の進化は、GRAS転写因子の進化で説明できてしまうのです。さらに驚いたのは、GRAS転写因子は、土壌性バクテリアから陸上植物の祖先藻類に水平伝播したものだだったことです。バクテリアの遺伝子の水平伝搬が、現在の陸上植物の体制を進化させた原因になっていたのです。



壁谷幸子さん（元 基礎生物学研究所技術職員）が技術職員同僚の協力を得て、葉原基（上2枚）や造精器原基（下2枚）などの3次元細胞模型を作ってくれたおかげで、並層分裂（表面に平行な分裂）が見えてきた。赤い線が並層分裂面。葉原基の赤く色を付けて赤矢印で示した細胞が葉脈細胞、造精器原基の1N2bと書いた細胞が精子になる。銀色の丸いものは磁石。



バクテリアから水平伝搬したGRAS転写因子が、植物のデフォルト細胞分裂を打ち破り、並層分裂を引き起こすことで、陸上生活に必要な造卵器、造精器、水通導組織が進化した可能性が高い。

## 植物進化の残された大問題

子どもの頃から、自分が負けるのも人が負けるところを見るのも嫌いで、今でもスポーツやゲームは好きになれません。競争にならないよう、他の人がやっていない研究ばかりしてきました。おかげで分子生物地理、分子系統学、発生進化、どれも第一世代として分野を切り開くことができたと思っています。これらに加え、植物の進化を考える上で欠くことができないけど、うまく答えの出ていなかった4つの問題について、従来とは異なる植物や実験技術を使うことで、競争なく研究を進めてきました。分化全能性、形態の大進化、短期記憶、そして電気信号です。

### 分化全能性の進化

植物は、挿し木でクローンが簡単に増やせることからわかるように、いちど分化した細胞が、容易に多能性幹細胞に変化します。このような植物の分化全能性は前世紀から知られていましたが、分化細胞が未分化な状態に変化した後、どの細胞が幹細胞

胞になるのかを見極めるのが難しかったのです。分化全能性の綺麗な実験系ができないかと思っていた折に、思わぬところからチャンスを得ました。研究所で学生向けに実験生物のムービー集を作ることになり、ヒメツリガネゴケの再生過程を撮影することにしましたのです。日頃から、ヒメツリガネゴケの葉を切って再生増殖を行っていたのですが、改めてムービーを見て度肝を抜かれました。葉を切断すると、切り口に面した細胞が約1日で幹細胞に変化し、新たな植物体がによきによきと伸びだしてきたのです。これなら、葉が切断されてから幹細胞になるまでの遺伝子動態を追えるのではないか。ムービーを持ってERATOの面接に望んだらうまく採択してもらえました。5年間のプロジェクトの最後の年、ついに樋口洋平くん（現 東京大学准教授）と佐藤良勝くん（現 名古屋大学特任准教授）が、生体内で分化細胞を幹細胞に変えてしまうという想定外のパワーをもった、STEMIN転写因子を発見しました。研究を引き継いだ石川雅樹くん（現 基礎生物学研究所助教）たちが、STEMINはクロマチン構造を変化させることで、さまざまな遺伝子の転写を調節していることを見出したのです。

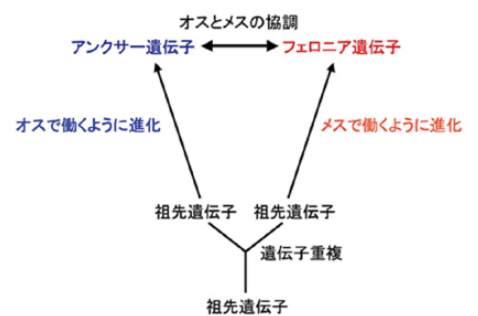


ヒメツリガネゴケの葉を切って水に浸しておく、切り口に面した細胞が1日ほどで幹細胞化し、2日ほどで伸び出す。切断後41時間後の写真（撮影：村田隆博士）。



ERATO「長谷部分化全能性進化プロジェクト」の発足時のメンバー。半分くらいの人数の基生研の研究室と同じ建物で連携しながら運営した。

また偶然にもアメリカの友人に頼まれて、ヒメツリガネゴケのCSP1（注3）というタンパク質を調べていた佐藤くんたちが、これがヒメツリガネゴケで幹細胞を誘導することに気づきました。しばらく後に哺乳類の研究で、iPS細胞化に重要なLin28というタンパク質が発見され、なんとCSP1と相同な遺伝子だとわかったのです。院生の李琛くん（リー・チェン：現 湖北医薬学院教授）と助教の玉田洋介くん（現 宇都宮大学准教授）たちが解析を進めると、植物と動物の幹細胞化のしくみの違いが見えてきました。動物と植物では幹細胞をつくる際、クロマチン修飾や転写因子のネットワークを用いるという基本的なしくみは似ているけれど、働いている因子はCSP1以外は全く異なっていることがわかったのです。



岡田典弘さんを代表とする「種形成の分子機構」特定領域研究で、宮崎さおりさん（現 静岡大学准教授）たちと遺伝子重複によってできた2つの遺伝子がシロイヌナズナの花粉（オス）と雌しべ（メス）で協調的に働くことで受精が可能になることを発見できた。この領域立ち上げのお手伝いをする過程で、岡田さんから面接のネクタイの色まで、いろいろなことを教えていただいたことが、自分が代表の新学術領域立ち上げに大いに役立った。

（注3）CSP

低温ショックドメインタンパク質（Cold Shock Domain Protein）の略称。大腸菌が低温に順応する際に作られるタンパク質として研究されてきた。植物や動物にも共通した構造をもつタンパク質が見つかっており、低温だけでなくいろいろな環境変化によっても誘導されることがわかってきている。

残った疑問は、植物はどうして動物より幹細胞化しやすいのかという点です。これも偶然に、共同研究をしていた陈春丽さん(チェン・チュンリー:現 華中農業大学教授)の院生だった顧南さん(グ・ナン:現 四川大学卓越副研究員)が、ヒメツリガネゴケはDNAが損傷すると、分化細胞から幹細胞になることに気づきました。植物は紫外線や高温などから逃げ出すことはできません。そこでDNAが損傷すると、体の一部を幹細胞化して新しい体を作って伸びだし、より良い環境へ逃げ出すことが適応的だったのでしょうか。これが、植物で容易に幹細胞化が起こるしくみが進化し、維持されている理由ではないかと考えています。



食虫植物サラセニア(ムラサキヘイシソウ)は壺型の葉で小動物を捕獲、消化、吸収する。たくさん葉を付けた自生株(左)と1枚の葉(右)。

## 形態の大進化

2つ目の問題は、形態の大きな進化です。食虫植物の袋型の捕虫葉は、平らな葉からどうやって進化できたのか。捕虫葉は平らな葉よりも光合成効率が悪いのですが、獲物から栄養を取れる点で適応的です。しかし、捕虫葉に進化しかけの段階では、周りの植物より光合成効率が劣る一方、まだ獲物から栄養を捕ることもできないので、適応度が下がって進化できないはず。小進化の積み重ねだけではうまく説明できない「大進化」はどうやって起こるのか。進化学に残された大問題の一つとして、倉谷滋さん(現 理化学研究所客員主管研究員)、深津武馬さん(現 産業技術総合研究所首席研究員)らと新学術領域を立ち上げました。運よく、食虫植物好きの福島健児くん(現 遺伝学研究所准教授)が大学院生として入学し、捕虫葉の原基では、表側基部で特徴的な並層分裂が起きていることを見つけました。基生研で数理生物学が得意な藤田浩徳くん(現 基礎生物学研究所助教)とともにシミュレートすると、原基での並層分裂による歪みが成長するにつれて大きくなり、袋状の葉ができることがわかりました。また、福島くんは食虫植物の消化酵素遺伝子は、普通の植物が菌類やバクテリアを殺すための耐病性遺伝子の相同遺伝子であることも見つけました。酵素の生化学的解析には朋友の鶴澤くんも加わり、共同研究として発表することができました。原基の特定の場所で細胞分裂方向を変えるだけで袋



北米の湿地に自生するハエトリソウ。

型の葉ができ、もともと持っている祖先的な因子を消化酵素として使うことで、適応度をそれほど下げずに、大きな進化をしていくことができそうだと納得しました。

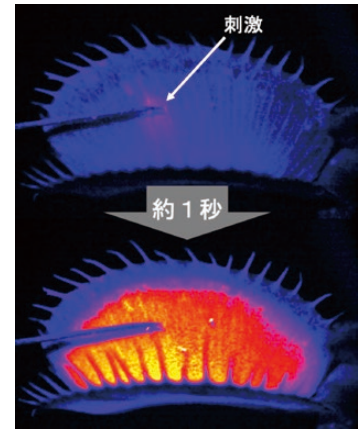
## 植物の記憶

3つ目の問題は植物の短期記憶です。ハエトリソウは、葉の上に生えた感覚毛に獲物が触れると葉を閉じ、獲物を捕まえます。しかし感覚毛に1回触られただけでは葉を閉じず、30秒以内に2回触られると葉を閉じます。つまり、1回目の刺激を30秒間だけ覚えていられるのです。隣のラボでマウスの短期記憶の研究をしている椎名伸之さん（現 基礎生物学研究所准教授）と立ち話をしていた時ふと、ハエトリソウは神経も脳も無いのに、どうやって覚えているんだろうと興味が湧きました。ちょうど、中学校のころに食虫植物の自由研究で相談に来たことがある須田啓くん（現 埼玉大学助教）が大学院に入学してきて、さらに運良く、北海道で開かれた内藤コンファレンスで、カルシウムシグナルを専門とする豊田正嗣くん（現 埼玉大学教授）に出会って意気投合。ハエトリソウにカルシウムセンサーを入れてみようということになりました。須田くんの2年半の奮闘の結果、ハエトリソウにカルシウムセンサー遺伝子を導入することに成功したのです。

ハエトリソウは感覚毛を1回刺激すると、まず葉全体にカルシウム波が伝播しますが、その1回だけでは葉を閉じる閾値を超えることはなく、2回目で閾値を超えることがわかりました。また、1回目の刺激によるカルシウムシグナルは時間と共に減衰するので、30秒以上たつと2回目の刺激でも閾値を超えないこともわかりました。動物の記憶形成と驚くほど似たシステムだったのです。

## 植物の活動電位発生伝播の分子機構と進化

小5のときに鵜澤くんの家で初めてハエトリソウを見た時以来、知りたいと思っていたけど最後まで残っていた疑問は、植物の電気信号、すなわち活動電位の発生・伝播のしくみとその進化でした。ハエトリソウの記憶の研究で印象的だったのは、カルシウム波の伝播速度が、活動電位の伝播速度とほぼ同じだっ



ハエトリソウの葉に刺激を与えると、刺激を与えた組織から葉全体にカルシウム波が広がることがわかった（須田啓撮影）。



ユーラシア温帯の湿地に広く分布するモウセンゴケ。コケではなく、ハエトリソウに近縁な被子植物。



獲物を捕らえたモウセンゴケの葉。葉に生えた触毛先端に獲物が触れると触毛が曲がり獲物は葉の中央に運ばれ消化されてしまう。

たことです。真野弘明くん（現 基礎生物学研究所研究員）たちが並行して研究を進めていたオジギソウでも同じ結果が得られていました。実は、植物に動物の神経細胞のような活動電位があることは、チャールズ・ダーウィンがハエトリソウを、友人の電気生理学者に送ったことで見つかったのです。その後、植物の活動電位について多くの研究が行われてきましたが、遺伝子操作のできるモデル植物では、活動電位に加え色々な電気信号が混在するなどの理由で、活動電位に関わるイオンチャネル遺伝子は一つも特定されていませんでした。しかも、植物は動物で脱分極を引き起こすナトリウムチャネルを持っておらず、電気生理学的研究から、塩化物イオンの流出で脱分極すると推定されていて、新規性を秘めた現象だと感じていました。しかし、ハエトリソウは組織が複雑なため、活動電位の研究をするのは一苦勞です。そこで注目したのが、食虫植物のモウセンゴケです。

モウセンゴケの葉には、粘性のある消化液を分泌する触毛がびっしり生えていて、獲物が触毛先端に触ると、触毛が葉の中央に向かって曲がり、獲物を包み込み消化してしまいます。50年ほど前に活動電位の研究がされており、触毛の先端部で活動電位が発生して柄を伝播、基部に伝わると、そこで運動を引き起こすことが知られていました。触毛の柄は2層の細胞があるだけなので、カルシウムイメージングと電位測定を同時にできるのではないかと考えました。ここでも苦勞しましたが、瀬上紹嗣くん（現 基礎生物学研究所助教）、大井祥子さん（現 基礎生物学研究所技術職員）が学生や技術支援員たちとともに試行錯誤して、モウセンゴケの遺伝子改変と同時測定の実験系を確立できたのです。ハエトリソウとオジギソウのカルシウム波伝播のムービーに希望を託して特別推進研究に申請し、無事採択してもらうことができました。モウセンゴケは大学院生の刘慧（リウ・フイ）さん、陈鹏（チェン・ペン）くん、2人を指導する张列弛くん（ザン・リエツ：現 基礎生物学研究所特任助教）と瀬上くんが、オジギソウは真野くんが解析を進めています。両種とも従来の仮説とは異なり、活動電位は細胞内へのカルシウムイオンの流入で引き起こされ、それを動物の神経細胞のシナプスで働いているグルタミン酸受容体と共通の遺伝子が担っているらしいことがわかってきたのです。定年までの1年半で、分子機構と進化の核心を明らかにできるのではないかと考えています。



触毛の赤色色素が自家蛍光を発し共焦点顕微鏡での観察が困難だったが、野生集団から単離した赤色色素が減少した変異体を用いることがブレイクスルーとなった。触毛先端を赤外レーザーで刺激すると、先端から基部にカルシウム波と活動電位が伝播し、触毛が曲がる。

# 陸上植物を体系的に理解したい

# 14

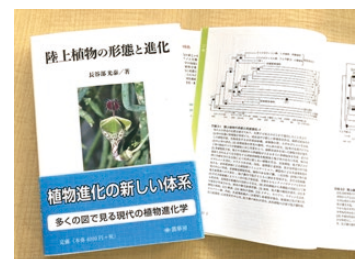
今までの研究を振り返ると、それぞれの研究を共にした人の顔と声が浮かびます。岩槻先生は「エデュケーションは教育やないで。人が育つのを妨げんことや」と言いました。まさしくその通りで、僕は学生と共同研究はしますが、これをやれと命じたことはないように思います。一緒に研究する中で何が必要かを話し合うだけです。それは子育ても同様で、子どもを見習って自分が変わったことは多くとも、子供に何かをするように言ったことはありませんね。植物のように、育ちたくなる環境をつくれれば自ら育っていくものなのかなと思います。

学生が自由にやりたいことをやる研究室の方式を「放牧型」と呼ぶことがありますが、僕の場合は、自身の知りたい事が研究室運営の中心にあります。相手と自身の興味が重なり合った時、研究が躍進するという経験を何度もしてきました。僕はこれを「惑星直列型」と呼んでいます。自分の興味という必然と、人との出会いという偶然の両方から、思いがけない答えに辿り着いてきたのかなと思います。

僕自身は、実は今が準備万端、出発点なんです。分類学は、分類(Taxonomy)と体系化(Systematics)という二つの分野に分けられます。前者の分野では新種を記載することが主な作業になりますが、僕は後者の体系化をずっとしたかった。浪人の頃、分類学から植物の世界に入ろうと思ったのは、植物を総体として理解したかったからです。これまで、33万種強ある陸上植物について詳細な記載が行われていますが、情報源があちこちに分散していることと、情報量が多すぎることで、人間には全体像を理解することが困難です。一方、分子系統学で系統関係が明らかになり、種の個別的な記載を、系統樹という地図の上に配置することで関連性をもって理解できるようになりました。また、発生進化学とゲノム生物学の進展で、進化のしくみと素材がわかってきたので、個々の種の形質がどのように進化してきたかを推定することもできます。全体像を体系的に理解できれば、伝統的な形態学、古生物学での問題点を整理し、何が残された問題なのかを見つけることも可能になります。



植物観察をしていたら小さな子どもが近寄ってきて(上)、同じように観察を始めた(下)。同じ興味を持った学生と教員が偶然出会い共同研究する、これが大学院教育の原点かなと感じた瞬間。



現生植物の目レベルの系統樹を出発点に、どの段階で進化の鍵となる形質が進化し、その後の進化に寄与したかを考察した教科書。植物のゲノム生物学、細胞生物学、発生学、形態学の知見に古生物学の知見を融合し、包括的に形態と進化を議論した点で、世界に類の無い本だと思う。出版後、何人かの気鋭の若手から、内容を十分理解した鋭いコメントや書評をもらった。他の人にも役立つようだ。

体系化という仕事は今だからできることなんです。若い頃に何回か試みたのですが、経験と知識の不足で満足なものができなかった。今はフィールドに出ても、見えるものが若いころと全然違う。ずっと多くのものがそれぞれ関連して見えるんです。既に、目レベルで進化を体系的に考える本は作りました。これでうまくいった方法を、世界に1万5000ある陸上植物の全ての属に拡張した、植物図鑑を作りたい。従来の図鑑のように同定のための記載を羅列するのではなく、系統樹に基づいて、どこでどんな鍵形質が進化したのかを語っていく。「千一夜物語」のようにできないかなと思っています。これまで、だいたい150回、合計6年ほど出かけた海外出張の折に、世界中で約10万枚の植物写真を撮ってきました。また、自宅と山小屋で2000種ほどの植物を育て撮影してきました。だいたい主要なものは見たかなと思うのですが、細かい点ではまだまだ足りません。今は形態学全盛時代の論文のアーカイブスや、世界中の人が協力して作った植物写真のデータベースもありますから、それらで資料を補えば十分な図解ができるのではないかと考えています。毎日こつこつ続ければあと20年で完成できる予定で、その後5年はそれをアップデートしながら楽しみたい。これからが研究の本番でワクワクしています。



ニューカレドニア固有の光合成をしない寄生性の針葉樹。どんな植物も、実物を自生地で見ると、文献からは気づかなかった形質に気づいたり、さまざまな疑問が湧いてきたりして、好奇心が爆発する。



研究所から車で40分くらいの場所に妻が見つけてくれた山林を購入し、野生動物の食害と戦いつつ、いろいろな植物を栽培し成長過程を撮影している。子どもたちが小さい頃は、良い遊び場にもなった。



# マリア・ズィビラ・メーリアン



JT生命誌研究館 表現を通して生きものを考えるセクター

マリア・ズィビラ・メーリアンは、17世紀のドイツ生まれ。画家・博物学者・昆虫学者・生態学者、自然科学者——現代の言葉で肩書を並べるより、下の絵を描いた人物、と言う方がずっと彼女らしいのです。虫を見つめ描き続けたマリアの眼差しと筆使いに迫ってみましょう。



## 虫を追いかける少女

1647年4月2日、フランクフルトで印刷業を営むメーリアン家に、第8子となる女の子が誕生します。マリア・ズィビラ・メーリアンです。実父のマテウス・メーリアンは、著名な銅版画家であり、メーリアン出版工房はヨーロッパ全域で成功をおさめます。2番目の妻となるマリアの実母は、異母兄弟たちと折り合いが悪く、実父が亡くなるとすぐに家を出て再婚します。この養父も小さいながら出版工房を経営し、静物画、特に花を専門とする画家でもありました。裏庭には草花が育ち、工房にはアクセントとして花に描き添えるための昆虫がおかれていたのです。マリアはこの小さな生きものに夢中になります。卵から幼虫が生まれ、蛹、成虫と形が変わっていく——現代では"変態"と呼ばれる成長過程を「見つけることのできたあらゆる幼虫を集めて」観察し、記録をとり、スケッチしていきます。虫は露や泥などから湧いて出る、イモムシとチョウは別の生きもの、と信じられていた時代です。養父は、彼女の才能に気づくと、工房に出入りすることを許し、専用の机まで与えたと言います。ここで、筆の使い方から絵の具の作り方まで、職人としての手ほどきを受けたのです。マリアの虫愛づる人生の始まりは、十代前半の頃。下図左の肖像画から少し歳を経た姿を想像してください。その少女の心をとらえた最初の虫は何だったのでしょうか？ 何色のドレスを着て、フランクフルトの街を駆け回り、イモムシを探していたのでしょうか？



**左：メーリアン一家の肖像画 (Matthäus Merian the Younger, 1642-43)**

作者は左端で胸に手を当てる長男。椅子に座っている実父は MARIA が3歳の時に他界。その隣は最初の妻。おそらく3男と3女がいたであろう右端に、実母と MARIA (2歳) が追加(上描き?) されている。影に潜む実母と、巨大な石膏を持つ MARIA。2人の居心地の悪さが表れている。異母兄弟たちの中で中央右の次男だけは、生涯 MARIA を可愛がってくれたという。

**中：花瓶の花 (Jacob Marrel, 1634)**

養父作。花瓶の横には、花を「活気づける」ための昆虫やカエル、貝が描かれている。

**右：17世紀のフランクフルトの街並み (Matthäus Merian, 1628)**

実父作。MARIA が1歳のときに30年続いた戦争が終わるが、フランクフルトは奇跡的に戦火に見舞われなかった。

養父の工房兼自宅もこの周辺にあり、右上には緑も見える。

## 南国スリナムとの出会い

18歳になると、養父の弟子の一人と結婚し、2人の子供に恵まれます。掃除洗濯、子育てに追われながらも、昆虫を描き続ける日々。夕食用の鶏に蛆虫を見つけ、ハエになるまで観察したというエピソードも残っています。当時は、虫に詳しいというだけで火刑に処される魔女狩りの最盛期。標的にならず済んだのは幸運でした。絵や刺繍を教えるための教室をひらき、教材として(通称)『花の本』や、代表作『スリナム産昆虫変態図譜』につながる(通称)『イモムシの本』を出版したのもこの頃です。しかし、しだいに夫婦はすれ違うようになります。MARIA は子供たちを連れて、逃げ込むようにキリスト教系の信仰団体(ラバディ教団)に入信します。当時のラバディ教団は、南米のスリナムに砂糖プランテーションを所有しており、そこから送られてくる舶来品の一つに、生きものの標本がありました。排外的な共同生活ではありましたが、熱帯の昆虫との出会いは、MARIA にとってスリナム行きへのきっかけとなったのです。教団を去った後は、オランダのアムステルダムに移ります。港には各国の帆船が停泊し、植民地支配や貿易ネットワークを通じて世界中から珍しい物が集まる国際都市です。収集家の間では"驚異の部屋"が流行しますが、そのキャビネットに並ぶ虫たちはすべて死骸で、生きた姿から得られる驚きはどこにもありませんでした。卵は何色で、幼虫は何を食べ、蛹はどんな手触りで、成虫はどのように翅を動かすのだろうか——この生きものが生きている世界へ行ってみたい! 1699年、52歳の母 MARIA と21歳の次女ドロテアを乗せた船は、スリナムに向けて出航します。



#### 左：現スリナム共和国

南米で最も小さく、面積は日本の半分ほど。17世紀にオランダが入植し、アフリカからの奴隷を労働力にタバコや砂糖を栽培。独立は1975年まで待たなければならなかった。

#### 中：ウォルサ城（Johann Andreas Graff, 1686頃、一部改変）

ラバディ教団の信者たちが、世間からの離脱を掲げ禁欲的な共同生活を送っていた場所の一つ。私財を寄付し、質素な食事と衣服で、350人もの人が自給自足の共同生活を送っていたという。マリアたちもここで5年間を過ごした。

#### 右：驚異の部屋（Ferrante Imperato, 1599）

15-18世紀にかけてヨーロッパで作られた、世界中の珍品を陳列する部屋。昆虫標本から化石、イッカクの牙、巨大な植物の根、医療器具から民族衣装まで、西洋人を驚かせるものであれば、自然物、人工物を問わずコレクションされた。現代の博物館の前身となる。

## 『スリナム産昆虫変態図譜』

2ヶ月後、親子は無事にスリナムに到着します。ここは高温多湿の熱帯気候で、一年中30度の暑さが続きます。湿度も80%と高く、雨季にはバケツをひっくり返したような雨が降ります。襟のある黒いドレスに帽子とヴェールをつけ、熱帯雨林を分け入っていく2人。虫を捕るための網とかご、標本セット、画材道具一式と、荷物もたくさんあります。ガイドの現地民たちがいるとはいえ、大変な重労働です。しかしそれ以上に、「見たこともないものに驚かされてばかりいた」のでしょうか。生まれて初めて食べたパイナップルをマリアはこう表現します。「ブドウ、アンズ、スグリ、リンゴ、ナシをすべて混ぜ合わせたような味」。仲良くほおぼる親子の会話が聞こえてくるようです。2年の滞在の後、マリアはマラリアを発病し、オランダに帰国します。このとき持ち帰った標本の中には、昆虫類はもちろん、ブランデー漬けのワニやイグアナまであったそうです。そして、スリナムでのスケッチを元に、代表作『スリナム産昆虫変態図譜』に着手します。巻頭の2枚を飾るのは、お気に入りのパイナップルです。

実際の作品を見てみましょう。下図中央の中心に置かれているレモンですが、蕾から花がひらき、果実は少しずつふくらんでいきます。そしてその上には、幼虫、蛹、成虫と成長するベニモンクロアゲハ。生きものの変化を一枚の絵の中に収める手法で、各々に流れる時間の連続性と、重なり合う時間の同時性の両方を感じます。また、成虫は花の蜜を吸い、蛹はじっと動かない、生きもの行動を描くことで、物語性が生まれます。さらに、幼虫が食べる植物（食草）は種によって決まってい

ますが、幼虫と食草をセットで描くのも、採集と飼育に基づくマリアの絵の特徴です。幼虫がかじった穴には、少女の頃から変わらない生きものへの眼差しが注がれているような気がします。よく見ると、樹液を狙うカイガラムシまで。下図右では、繭から「見栄えのしないハエ」(寄生バエ)が出てきます。食う食われるだけでなく、寄生や共生、擬態まで、生きもの同士のつながりが空間的に広がっていきます。自然から切り離され、標本箱に整列する姿からはイメージできない世界です。絵の傍には、採集場所や食草、蛹の期間、成虫の翅の模様などの解説が付されていますが、これは、現代の昆虫図鑑の原型とも考えられています。



**左：『スリナム産昆虫変態図譜』第2図**

マリアはパイナップルの絵を2枚、連番で載せている。

この南国らしい果物の描写からは、スリナムの空、太陽、風、匂い、土、緑、を愛していたことが伝わってくる。

**中：同上 第17図**

解説には、レモンの葉を与えたベニモンクロアゲハの幼虫は、1700年3月20日に蛹になり、4月2日に羽化した、とある。

几帳面な飼育の様子が伺える。

**右：同上 第57図**

解説には、右側の白い幼虫の繭から寄生バエが出てくること、毛は有毒で触ると炎症をおこすこと、などが書かれている。

「観察したままを忠実」なのは、個体の描写についてであり(後世に種を同定できるほど正確)、その大きさについては厳密ではない(白い幼虫は明かに大きすぎる)。この点が19世紀に評価を下げる一因ともなった。

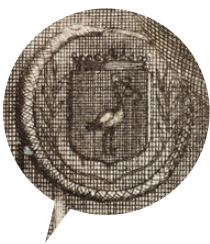
## 虫愛づる人生

『スリナム産昆虫変態図譜』が世に出ると、大きな評判となります。称賛と名声を得、ヘビやカエルをまとめた第2弾も計画していたようですが、1717年、マリアは息を引き取ります。69年間の生涯でしたが、長女が生まれたのが21歳の時ですので、虫愛づる人生のほとんどは、娘たちとの歩みだったのです。幼い頃から昆虫の採集と飼育、標本作り、そして絵の教育を受けた2人は、公私にわたり母親を支えています。3人の画風はよく似ており、どの絵が誰の手によるものかを判断するのは難しいそうです。作品に残るのはマリアのサインのみですが、そこには母娘の筆跡が混じりまです。絵の制作だけでなく、介護や死後の作品管理をしたのも娘たちです。各々の事情と感情を抱え

ながらも、母親の味方であり続け、どんな時も3人で力を合わせてきたのでしょうか。マリアはそんな娘たちに、財産を均等に分けるよう遺書を残しています。長女ヨハンナと10歳下の次女ドロテア、この2人の存在は、マリアにとってかけがえのない宝物だったのではないのでしょうか。

マリアの作品は死後も評価され、分類学の父と呼ばれるカール・フォン・リンネは、彼女の著書を100回以上も引用しています。チョウやガの仲間が共通祖先から受け継いでいる遺伝子セットを"メーリアンエレメント"と呼ぶなど、最新の科学でもその名前が登場し、生国ドイツでは旧紙幣の顔にもなっています。マリアを讃える文面では、17世紀のヨーロッパで、女性でありながら、年配になってスリナムへの過酷な旅をしたことが紹介されます。しかし、彼女の本当の勇敢さは、時代背景や性別や年齢ではなく、虫を見つめ描き続けた、眼差しと筆使いの中にあるのではないのでしょうか。作品を見てまず目に飛び込んでくるあの迫力。虫愛づる人生が、虫が好きだから、絵の才能があるから、だけで語ることのできない日常の積み重ねだったことが伺えます。19世紀に入ると、一時作品への評価は低迷しますが、その要因には、正確な分類や解析に重きを置き、専門化していく科学の方向性があります。画家・博物学者・昆虫学者・生態学者・自然科学者——彼女についてたくさんの肩書を並べなければならないのは、科学が細分化し、科学と芸術が大きく離れてしまった現代の一面を表しているのかもしれない。

科学のコンサートホールを称するJT生命誌研究館では、来館者をマリアが出迎えてくれています。『スリナム産昆虫変態図譜』を紹介する企画展を行い、チョウのための食草園もあります。これからも、マリア・ズイビラ・メーリアンと共に、小さな生きものへの眼差しと、科学を芸術で楽しむ感性を大切にしていってほしいと思っています。



**左：晩年の肖像画**（Georg Gsell, 1717頃）

生涯実父のメーリアン姓を名乗るが、作品がメーリアン出版工房から出ることにはなかった。

左上にはメーリアン出版工房のシンボルマークであるコウノトリの絵が飾られている。

**中：『スリナム産昆虫変態図譜』第56図**（左右反転）

2人の娘はどちらも画家の道へ。このホテアオイの絵は、次女ドロテア作と推測されている。

**右：JT生命誌研究館の食草園**

飼育中の幼虫に与えるため、マリアたちは庭に食草を植えていたという話が残っている。

当館にもチョウのための食草園があり、成虫が卵を産みにやって来る。タイミングが合えば、卵から成虫まで成長の様子が観察できる。また、捕食や共生など、生きもの同士の関係性に気づく場所でもある。

丸吹き出し、左からナミアゲハの卵（抜け殻）、ゴマダラチョウの幼虫、アブラムシのお尻から甘露をもらうアリ（相利共生）。

**参考文献**（本文中「」は引用となります）

- マリア・ジビラ・メーリアン 蟲愛づる女 芸術家 | 科学者 | 冒険家,  
サラ・B・ポメロイ & ジェヤラニー・カチリザンビー 著, Kohtaroh "Yogi" Yamada 訳, (株)エイアンドエフ.
- スリナム産昆虫変態図譜 1726年版,  
マリーア・ズィピラ・メーリアン 著, 岡田朝雄・奥本大三郎 訳, 白石雄治 製作総指揮, 鳥影社.
- 虫を描く女「昆虫学の先駆」マリア・メーリアンの生涯,  
NHK出版新書742, 中野京子, NHK出版.

# わたしたちから遡る進化の旅路 アルティアトラシウス



地球上に誕生した生きものは、約40億年という長い時間の中で進化を重ね、命を繋いできました。その変化と積み重ねの末に、地球上には私たちヒトを含む多種多様な生きものが存在しています。では、ヒトがヒトになるまでにはどのような過程があったのでしょうか。

## 1. アルティアトラシウス

私たちヒトは霊長類の生きものです。ヒトの進化を遡ると、約700万年前にはゴリラやチンパンジーと共通の祖先に辿り着きます。では、霊長類の歴史はどれくらい古くから始まったのでしょうか。

現在は砂漠となっているモロッコのワルザザート盆地。約5600万年前、そこは緑豊かな森でした。この森で、最古級の霊長類とされるアルティアトラシウス (*Altiatlasius koulchii*) が暮らしていました。



復元画：望月アミ

見つかった化石は10本ほどの左右の歯と下顎の小さなかけらのみですが、それぞれの歯の形から霊長類であること、果実や昆虫を食べる雑食性であったことが推測されています。歯は分類や食性を知る重要な手掛かりです。また、歯の大きさから、持ち主の顔のおおまかなサイズを知ることができます。

一方で、ほかの部分の骨は発見されていないため、アルティアトラシウスの正確な顔つきや体の大きさ、尾の長さなどはわかっていません。生きていた頃の姿を完全に復元するのは難しいですが、近い時代に生きていたほかのサルを参考にして、その姿を想像していきます。

## 2. 歯が教えてくれること

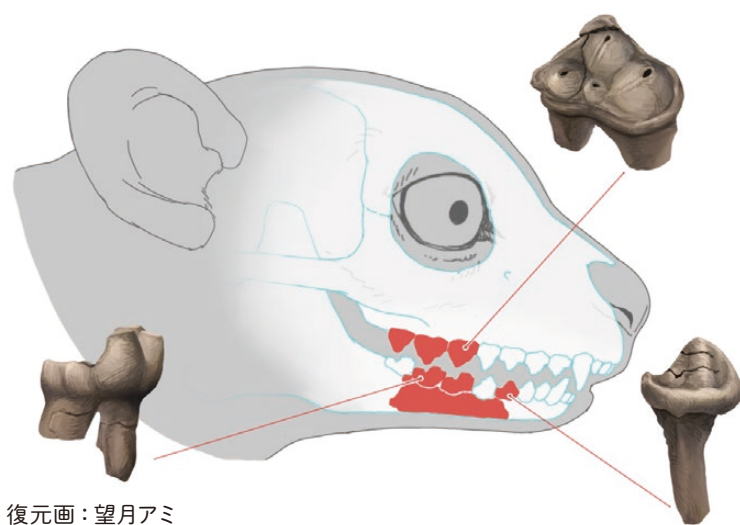
哺乳類の歯は、役割によって形が大きく異なり、切歯(せっし)・犬歯(けんし)・臼歯(きゅうし)の3つに区別することができます。現時点で見つまっているアルティアトラシウスの歯は全て臼歯です。

臼歯とはいわゆる奥歯。臼のように、口に入れた物を砕いたりすり潰すのに適した形をしています。口先側の臼歯を前臼歯、喉側を後臼歯といい、基本的に前臼歯は噛み砕くのに向いた形、後臼歯は潰すのに適した形をしています。

アルティアトラシウスの化石をより詳しく説明すると、上顎の後臼歯と、下顎の前臼歯、後臼歯が見つっています。下顎の化石は右の後臼歯が1本くっついた状態で発掘されました。歯は左右で揃っているものと、片方だけが見つっているものがあります。

これら臼歯は様々な形をしていますが、どれも膨らみが多く複雑な形状です。尖っている部分はあまり鋭くなく、起伏が穏やかで、すり潰すのに使う面が広いのが特徴です。こういった特徴を持つ臼歯は、ナッツや甲虫のような硬いものを砕いたり、柔らかい果実を押しつぶしたりすることに適し、さまざまな物を食べることができます。

このことから、アルティアトラシウスは昆虫や果実を食べる雑食性だったことが伺えます。



(図1) 化石によって明らかになった部分(赤)

10本ほどの歯が見つまっているが、ヒビや欠けが多く損傷が大きいものもあり、全体の形がわかるものは7本ほど。歯は左右で鏡合わせの形になっているので、左右の歯を見比べることで形を補うことができる。

実はこの臼歯、一番大きなものでも、米粒ほどの大きさしかありません。今地球上に生息している霊長類の生きものと比較するなら、ピグミーマーモセット(世界最小級のサル。体長14cm、尾長20.5cm)の臼歯と同じぐらいです。そこから察するに、頭のサイズもピグミーマーモセットとそこまで差のない大きさだったのかもしれませんが。体の大きさも大人の両手に収まるぐらい小さかったのではないのでしょうか。

では、その他の体の特徴はどのようなものだったのか。近い時代に生きた他のサルと比べながら考えてみましょう。

### 3. 化石になったサルたち

#### ティヤールディナ(*Teilhardina asiatica*)

約5500万年前、中国にはティヤールディナという霊長類が生息していました。ティヤールディナは歯に加えて頭骨の一部の化石が見つまっているため、正確性の高い頭部の復元がなされています。大きな目が正面を向いた、メガネザルのような顔立ち。両目が前を向くことで立体視が可能で、樹上で枝から枝へ移動したり、昆虫を捕らえるための距離感を図るのに役立っていたと考えられます。

#### ダーウィニウス(*Darwinius masillae*)

さらに時代を重ね、約4700万年前のドイツにはダーウィニウスという種が生息していました。ダーウィニウスの化石は今までに一度しか発掘されていませんが、見つまっている化石はほとんど全身の骨格が残っており、毛の痕跡すら確認できるほど非常に状態が良いものです。また、全長の半分を占めるほどの長い尾を持っていました。長い尾はバランスをうまく取るのに役立ちます。枝から枝へ、アクロバティックに移動する樹上生活には欠かせないものだったのでしょうか。



復元画：望月アミ

(図2)復元画 左：ティヤールディナ 右：ダーウィニウス

これらの特徴は数年、数百年で一気に変化してできたとは考えづらく、長い年月をかけて環境の影響を受けながら作られていったものだと思います。アルティアトラシウスがこれらの生きものの直接的な祖先だったのかは断言できませんが、後にこういった体の特徴を獲得する霊長類の先輩として、近い特徴を持っていた可能性もあります。

このように、情報の多い他の化石を参考にすることで、体のほんの一部しか見つからない生きものでも、おおよその姿の仮説を立てることができます。

## 4. 当時の環境

花を咲かせる植物である被子植物は、恐竜の生息していた白亜紀に出現し、勢力を広げました。今から6600万年前、大絶滅が起き恐竜の時代が終わって新生代に入ると、被子植物は環境の大きな変化の中でさらに多様化し、最も繁栄している植物群となりました。5600万年前のモロッコは、熱帯雨林から砂漠地帯へと移り変わりつつあり、現在よりも緑が多く、やや乾燥した環境だったと考えられています。

ワルザザート盆地から少し離れたハイアトラス山脈の南側の麓からは、マングローブ植物のニッパヤシによく似たヤシの木の化石が見つかっています。

アルティアトラシウスが生きていた森にも、ヤシの木やネムノキ科、フトモモ科、クスノキ科などの樹木が生い茂り、それらの果実を食べていたのかもしれません。

### 参考文献

- 土屋健 (2024) 『サピエンス前史—脊椎動物の進化から人類に至る5億年の物語』 講談社 (ブルーバックスB2255), p.141-153.
- 高橋正道 (2006) 『被子植物の起源と初期進化』 北海道大学出版会, p.224
- Sigé, B., Jaeger, J.-J., Sudre, J., & Vianey-Liaud, M. (1990) *Altiatlasius koulchii* n. gen. et sp., primate omomyid du Paléocène supérieur du Maroc, et les origines des Euprimates. *Palaeontographica*, Abt. A, 214 (1-2) : 31-56. (フランス語)
- Herbig, H. G., & Gregor, H. J. (1990) The mangrove-forming palm *Nypa* from the early Paleogene of southern Morocco: Paleoenvironment and paleoclimate. *Géologie Méditerranéenne*, 17 (2) : 123-137.
- Ni, X., Wang, Y., Hu, Y. & Li, C. (2004) A euprimate skull from the early Eocene of China. *Nature*, 427 : 65-68



アルティアトラシウス  
ダウンロードはこちら  
PAPER CRAFT DOWNLOAD





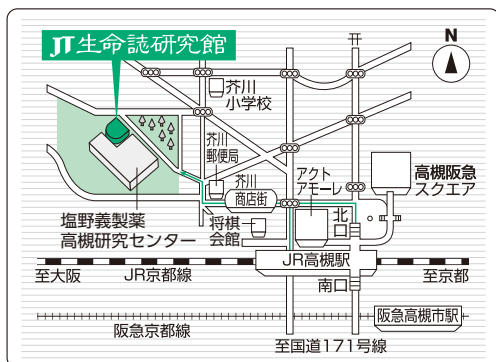
EXHIBITION

## 常設展示「あなたの中のDNA展」 リニューアル!

生きものの情報の源となる物質、DNAを知る展示「あなたの中のDNA展」をリニューアルしました。映像と模型、パズルを通して、DNAの美しい形や、核の中で生き生きとはたらく姿に触れてください。あなたの中のDNAも、全ての生きものに脈々と受け継がれてきたDNAと同じ物質。生きものの一つとしてのあなたを感じてください。



特設ページはこちら



### JT生命誌研究館

〒569-1125 大阪府高槻市紫町1-1

Tel:072-681-9750(代表) Fax:072-681-9743

開館時間 10:00-16:30 入館無料

休館日 毎週月曜日/年末年始(12月29日-翌年の1月4日)

最新の開館情報はサイト(www.brh.co.jp)でご確認ください。

交通 JR京都線高槻駅より徒歩10分

阪急京都線高槻市駅より徒歩18分

JRのご利用が便利です。