

Title	人類進化におけるレジリエンス
Author(s)	中野, 良彦
Citation	未来共創. 2021, 8, p. 85-107
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/83898">https://hdl.handle.net/11094/83898</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

# 人類進化におけるレジリエンス

中野 良彦

## 要旨

生命の誕生から現代人までの進化の歴史を、レジリエンスという視点から考察した。地球は約46億年とされるその歴史の中で大きな環境変化を何度も繰り返してきた。それにより、生物の大量絶滅が引き起こされ、そのたびに生き残った少数の種から新たな環境における適応放散が生じた。人類においても、その進化の始まりである樹上性から地上性への変化をはじめとして、何度も生活様式を環境に適応するように変化させ、その結果として現代のような全地球的な拡散と繁栄を導くことを可能とした。しかし、その現代における物質文明は副産物として多くの問題を抱えている。とくに、人類全体に関わる環境改変と現代病といわれる様々な疾患は、急速に変化した現代環境と深い関係がある。そのために、われわれがすべきことは何であるのかについて、生物が生き残ってきた過程を振り返ることにより、環境適応がなぜ可能であったのか、そのためには何が必要であるのかといった点を生物学的な視点を中心に考察した。

## 目次

- はじめに
- 生物進化とレジリエンス
  - 初期生命体の誕生
  - 地球環境の変化
  - 生物の多様化と大絶滅
  - 恐竜の絶滅と哺乳類の繁栄
  - 霊長類から人類へ
- 人類の進化におけるレジリエンス
  - 直立二足歩行の獲得
  - 仲間と暮らす
  - 道具の使用
  - 出アフリカ
- ホモ・サピエンスの環境適応
  - 道具の発達と大脳の発達
  - 地球全域への拡散
  - 生物学的適応と文化的適応
  - 農耕の開始と文明化
- 人類の未来は？
  - 環境を改変する奇異な動物
  - 進化史から考える
  - 生物多様性とレジリエンス
- まとめ 人間科学とレジリエンス

## キーワード

環境変化  
適応  
人類進化  
生物多様性  
心の免疫

## 1. はじめに

生物学で使われていた用語で、他の分野や一般生活で使われるようになったものは数多い。代表的な例が「適応」で、生物学における本来の意味は「環境にしたがって生物が形態や習性を変化させること」であるが、一般的には「個人が社会生活を問題なく送れるようになること」といった意味で使われている。「進化」もいうまでもなく生物学の用語であるが、社会の進化、技術の進化など、現在では幅広い場面で使われている。

それに対して、「レジリエンス(resilience)」という語はどうであろうか。元々は反発力などをあらわす工業的な用語であったとのことである。それが、心理学で使われるようになり、その他の社会科学や人文科学においても使われるようになってきている。しかし、生物学においては、生態学分野において使われてはいるが(Ennos 2015)、まだレジリエンスという用語はあまり用いられてはいない。

しかし、生物の進化史を考えると、現在の地球上に存在する生物自体が40億年にわたる長い地球の歴史の中で、何度も訪れた激しい環境変化に対してレジリエンスを発揮してきた結果なのではないかと思えてしまう。もちろんレジリエンスという用語が生物学の範囲に適用できるのかについては、まだまだ議論が必要であると思われるが、ここではレジリエンスの機能的側面との類似性から、生物の適応の歴史をレジリエンスの結果として論じていきたい。

古生代におけるスノーボールアースといわれる時期、数度にわたる大量絶滅、近年の氷河期の繰り返しといった時期には、実際に多くの生物種が絶滅している。しかし、どれほど劣悪な地球環境であっても、生き延びた生物たちがおり、そこからまた新たな系統進化が始まり、適応放散を繰り返していった。その結果として、ヒトをはじめとした生物たちが現在の地球上に存在しているのである。

それでは、そうした生き残った生物たちというのは単なる偶然の結果を示しているのだろうか。進化の結果が偶然か必然かというのは未だに議論がある問題であるが、どれほど幸運な偶然が作用したとしても、生き残るため

の必然的な要素、すなわちレジリエンスに相当する力を備えていなければ、絶滅という波を乗り越えることは不可能であったに違いない。そして、このことは生物の長い歴史においてのみではなく、現在の人間社会における様々な問題においても同様なのではないだろうか。

そうした意味を含めて、地球における生命の登場からわれわれ現代人(ホモ・サピエンス)までの長い生物進化の道筋についてレジリエンスという点を念頭に振り返ってみたい。ただし、生物の歴史を振り返る作業はその結果から考察するしか方法がない。そのため、レジリエンスという概念が当てはまるのかどうかについては、あくまで推測の域を出ない。

## 2. 生物進化とレジリエンス

### 2.1 初期生命体の誕生

2020年12月に小型惑星探査機「はやぶさ2」が地球に無事帰還し、小惑星からサンプルを持ち帰った。はやぶさ2のミッションの一つとして、初期の太陽系に近い状態を現在でも保っている始原天体からサンプルを持ち帰ることがあげられており(JAXA 2013)、このサンプルを分析することで、生命の原材料物質を解明するという大きな科学的意義があるという。地球上に生命体が登場したのは、約40億年前とされているが、その過程はまだほとんど解明されていない。生物の身体を形成する基本的な単位であるアミノ酸については、アンモニアなどを利用して実験的に合成が可能となっている。はやぶさ2のサンプルは、その合成の場が宇宙であったのか地球であったのかを教えてくれる可能性がある。もし、地球がその場であったとしたら、40億年前の地球環境は生命誕生のための壮大な実験場を形成していたのかもしれない。

地球は約46億年前に太陽系の形成とともに誕生したと考えられている。宇宙空間で塵やガスが凝縮していき惑星の原型となっていった。温度が下がってくると鉱物が固体化し、質量は小さいが密度が高いという特徴をもつ岩石型惑星となった。大気は、元々水素やヘリウムなどであったとされるが、それらは拡散していき、地表から放出された水蒸気、一酸化炭素、二酸化炭素、窒素などで占められるようになる。さらに、その後地球の温度が徐々に下

がっていき、水蒸気が液体すなわち雨となって、地表面に原始の海を形成した。ただし、大気が現在とは大きく異なっているのと同様に海も現在とは違い、多様な化合物が溶け込んだ有機体スープと呼ばれる高温の溶液であった。この化学実験の溶媒のような環境下で、約40億年前に原始生命体が誕生したとされる。この時代には遊離酸素はまだ存在せず、これらはすべて酸素を利用しない嫌気性細胞であった。

こうして誕生した生命体は海中の有機物や他の生命体を取り込んで栄養としていたが、やがて自主的に栄養分を作り出す生命体、光合成細胞が誕生した。光合成細胞は水と二酸化炭素から炭水化物を合成することにより、太陽からの光エネルギーを化学エネルギーに変換して栄養分として蓄え、その副産物として酸素を放出する。この光合成細胞の大量発生が地球環境を大きく変えることとなる。大量に放出された酸素は、まず海中の物質を酸化し、浄化した。海水の飽和量を超えると酸素は大気中に放出され、地表面の物質を酸化していった。たとえば地上の鉄と反応して酸化鉄、いわゆる赤さび状態となり、赤土の土壤を形成した。そのことから赤土の土壤はこの時代に形成された非常に古い地層であることがわかる。さて、酸素量の増加は酸素を利用してエネルギーを生み出す好気性細胞を繁栄させていく。逆に嫌気性細胞は酸素が増加するとその殺菌作用により身体自体を維持することすら困難となる。また、酸素を利用した燃焼エネルギーの方が、嫌気性細胞の発酵作用によるエネルギーよりも効率ははるかに高く、これらの理由から、徐々に嫌気性細胞は衰退していき、地球上のほとんど（すべてではない）の地域から姿を消すことになった。

## 2.2 地球環境の変化

酸素は地表面を浄化した後、成層圏でオゾン層を形成し、地球外からの放射線や強力な紫外線の入射を阻止するようになり、地球環境の安定化をもたらした。しかし、酸素と好気性細胞の増加には大きなマイナス面も存在した。酸素濃度が高まる以前の大気には嫌気性細胞の発酵作用により生産された温室効果の高いメタンガス（二酸化炭素の約25倍、JCCA）が大量に含まれていたのだが、酸素の増加によりメタンを生成する嫌気性細胞は減少していっ

たため、地球は急速に寒冷化していった。その結果、全球凍結（スノーボールアース）の状態となり、地表面全体が氷で覆われてしまったのである。この時期が地球生物にとって最初の大きな危機といえるであろう。そこで生物はどのようにしてその危機を脱したのか、そして、そこには生命体としてのレジリエンスが見いだせるのであろうか。

結果からいえば、偶然によってこの危機を脱したといえるかもしれない。全球凍結状態であっても地球内部はずっと高温状態を保っており、その排出口である火山やその派生物である温泉は地表面に点在していた。そしてその周辺では生物が生存することが可能であった。そうした場所で、生命体はその命をつないでいたのである。そして地球内部の活動が活発となる時期が訪れると地球各地で激しい火山活動が始まった。地表における火山噴火は二酸化炭素濃度を増大させ、急速に地球の温度を高めていった。その急激な温度上昇は氷を解かすだけでなく、大きな気象変化をもたらし、巨大ハリケーンや大きな津波などを発生させた。それにより、海底に長期間にわたって蓄積されていた有機物や栄養物質が海中に拡散されていき、生物はそれらを取り込むことにより、爆発的な進化を見せた。そして多様な種が登場し、の中には身体各部が異なる機能をもつ複雑な多細胞生物が含まれていた。こうした種は口と肛門をもつ体腔生物であり、また身体支持構造をもつ有骨格動物が進化していった。

### 2.3 生物の多様化と大絶滅

約5.5億年前のカンブリア紀において、カンブリア爆発と呼ばれる動物の急激な多様化と個体数の増加が進んだ。その中で生き残っていくためにそれぞれの種は身体構造における多様な戦略を進めていった。代表的な器官の発達が眼である。捕食者も被捕食者も眼をもたないものは生存競争に敗れていった。そしてもう一つが運動能力の発達である。運動を生起させるものは筋であるが、筋が発達するにはそれが付着する硬組織が必要である。そのため、いわゆる骨格や殻を獲得した生物が登場した。さらに、その中から外骨格性のものと内骨格性のものがそれぞれ進化していった。前者の代表が節足動物であり、後者の代表が脊椎動物である。

こうして多様化した生物はそれぞれのニッチの獲得に激しい競争を繰り返しながらも、生物全体としては繁栄を続けてきたかのように思われるが、実際にはその後も地球環境の大きな変化という試練が繰り返し課されてきた。そしてその時期に起きたのが生物の大量絶滅である。

大量絶滅は地球上5回（あるいは6回）起こったとされており、そのたびに地球上の全生物の約80～90%が絶滅したとされる。その原因は、まだ完全には解明されていないが、寒冷化や温暖化、酸素濃度の減少、火山活動の活性化などの説が出されている。いずれにしても、それぞれの絶滅期の後は生き残ったものから新たな適応放散が生じ、次の繁栄を示すようになる。

こうした過程により、生物群の入れ替わりが行われてきた。脊椎動物もこうした絶滅をくぐり抜けてきた生物群の一つであるが、その中でも、次々と進化の新たな段階へと階段を上っていったグループである。最初の脊椎動物である魚類は海中で進化したが、現在では一般的によく見られるようなタイプの魚類、いわゆる硬骨魚類が支配的となり、異なるタイプである軟骨魚類はサメやエイの仲間などに限られている。こうした状態に至るまでには独自の適応過程があるとされるが、その過程は硬骨魚類の祖先におけるレジリエンスの結果を示しているといえるかもしれない。

硬骨魚類の祖先はもともと海中では競争力が弱いグループであったとされる。そのため、生息環境として恵まれている海中での競争に敗れ、生息環境が厳しい淡水域である大河の河口などの水中の酸素濃度が低く濁った水域に追いやられたらしい。硬骨魚類は水中の酸素の少なさを補うため、大気を体内に蓄える器官として原始的な肺を獲得し、濁った水中で餌を採るため視力を発達させ、運動能力を高めるためしっかりとした骨格を獲得していった。そしてふたたび海中に進出し始めるとこうした発達した特徴により、海中でそれほど進化が進んでいなかった軟骨魚類を駆逐し、ほぼすべての水域を支配するようになったと考えられている。その後、海水は酸素含有量が大きいいため、肺は必要ではなくなったが、うきぶくろとして痕跡を残している。軟骨魚類であるサメやエイの仲間はうきぶくろをもたない。

こうした硬骨魚類の進化過程はレジリエンスの基本的なあり方を示しているように思われてしまう。危機的状況に追いやられても、その中で、生き残

れるような適応と進化を示し、その結果、以前よりも発達した身体的あるいは生態的特徴を獲得して、繁栄へとつなげていったのである。

## 2.4 恐竜の絶滅と哺乳類の繁栄

脊椎動物は両生類へと進化し、さらに爬虫類となって本格的な陸上への進出を果たした。陸上での生活は、水中とは異なり、むしろさらなる苦難の道であったといえるであろう。呼吸様式の変化、重力の影響、採食の困難さ、乾燥への耐性(とくに卵)など、克服すべき多くの問題が拮がっていた。そして、それを解決した脊椎動物が爬虫類である。

爬虫類は陸上を中心に、多様な適応放散を示し、多くのグループに分化していったが、今から約2億5千万年前のペルム紀末に地球史上最大といわれる大量絶滅が起きた。この絶滅の大きな要因はパンゲア超大陸の形成にともなう火山活動の活発化に起因した酸素の欠乏であったとされている。その状況下では、少しでも効率の良い酸素の取り込み機能を獲得したグループが生存に有利となる。そして、それを成し遂げたのが恐竜であった。恐竜は気嚢という一種のポンプのような器官により肺の中で空気を循環させていた。それにより、取り込んだ空気中の酸素を効率よく体内に取り込むことができたのである。この機能は恐竜の子孫であるとされている鳥類に受け継がれ、酸素の希薄な高い上空での運動を可能としている。

他の動物より有利な特徴を獲得した恐竜は、以降2億年近くにわたって地球の支配者として君臨する。しかしながらその支配も次の大量絶滅により終わりを迎えることとなる。その大量絶滅は外的な要因、すなわち小惑星の衝突によるものであったとされる。今から約6500万年前頃、直径約10kmの小惑星がメキシコのユカタン半島付近に衝突した。その影響は甚大で、恐竜や同時代の大型爬虫類をすべて絶滅に追いやってしまったと一般には考えられている。恐竜の絶滅は他の要因によるとする説もあるが、いずれにしてもこの時期に多くの生物種が姿を消した。そして、ここでもやはり生き残った生物群が存在し、その一つが哺乳類であった。

哺乳類はもともと爬虫類の系統の一つであったが、かなり早い時期に分化し、ペルム紀末の大量絶滅における酸素欠乏も独自の機能を進化させること

により乗り越えた。それが腹式呼吸である。腹式呼吸は恐竜の気嚢による空気の循環よりは劣るが、やはり他の動物よりは効率的な呼吸方法であった。肺に空気を吸い込むために横隔膜の収縮を利用するのである。この機能によりペルム紀末の大量絶滅を生き抜いた哺乳類の祖先であったが、恐竜の繁栄していた時代は苦難の時代であった。恐竜などの捕食者から逃れるため、小型の夜行性動物となり、生きるために何でも餌として食べ、常に隠れるようにして系統をつないでいた。ただ、その長い期間に、非常にユニークな特徴を獲得していった。それが胎生である。腹式呼吸を可能にするために腹部の肋骨が消失していったことが胎生を可能にしたとも考えられている。そして、恐竜が絶滅すると、小型で雑食性という特性が生き残る上で有利に働いた。小惑星の衝突により、植物が育たなくなっても、最低限の栄養をとることができたのである。こうして生き残った哺乳類は、恐竜の子孫である地上性の大型鳥類との競争に勝ち、次の時代へと繁栄していくことになる。鳥類は卵を産まざるを得ず、その卵を襲われれば、子孫を残すことができないが、胎生である哺乳類にはその危険がなかったのである。現生の鳥類の多くが、樹上や崖などに巣を作り産卵するのは、そうした危険を避けるための方策である。

新たな支配者となった哺乳類は多様な適応放散を示していった。その中で樹上空間という生活場所に適応したのが霊長類である。

## 2.5 霊長類から人類へ

約6500万年前頃、樹上へと生活場所を移した初期の霊長類は、地上での競争に敗れた弱々しい存在で、小型の夜行性で雑食性であり、巣を作り単独生活を行う、といった恐竜時代の哺乳類がもっていた基本的な、いかえれば原始的な特性を受け継いでいた。それが、樹上という生活場所で暮らすうちに独自の進化を遂げる。植物に関して、この頃から顕花植物が増加していき、樹上には栄養豊富な多くの果実が実るようになった。霊長類はこうしたご馳走を食するようになった結果、身体が大型化していった。また、樹上は地上に比べて安全な場所であったため、夜間にこわごとと活動する必要もなくなり、昼行性の種が増加していった。また、単独生活よりも繁殖に有利である群れを形成するようになった。そして、多様な種の中から約3000万年前

頃、アフリカの熱帯地域で類人猿が登場した。霊長類は種によって多様な樹上環境に適応しているが、類人猿は他の霊長類に比べて熱帯性の森林環境への依存度が高い。類人猿は他の霊長類より比較的身体が大きく、その分より多くの栄養が必要であり熱帯林の豊富な実りを必要としたのである。

しかし、今から1200万年前頃からアフリカ大陸で新たな地殻変動が起きる。いわゆるリフトバレー、大地溝帯の形成が始まったのである。このことが東アフリカの環境を大きく変化させる。本来、アフリカの赤道付近の熱帯雨林は大西洋から運ばれる湿った空気によって形成されてきた。しかし、リフトバレーの形成にともなって高山地帯が出現したことにより、この湿った空気が遮られ、東アフリカでは降雨量が少なくなっていった。また、地球全体において気温が低下傾向を示し、そうした要因も重なって、東アフリカでは徐々に森林が減少し、サバンナへと変化していった。そうになると、熱帯雨林に依存していた類人猿は危機を迎える。リフトバレーの西側に残った熱帯雨林にいた類人猿は、ゴリラやチンパンジー、ボノボへと進化していった。東側の森林の衰退に直面した類人猿は、草原での生活に適応せざるを得なくなり、おそらく、多くの種が適応できずに絶滅していったことであろう。その中で、地上での生活に適応した種が人類であった。それではなぜ、この大きな危機的状況を乗り越えて、人類への進化が可能となったのであろうか。

### 3. 人類の進化におけるレジリエンス

#### 3.1 直立二足歩行の獲得

人類の最も大きな特徴は直立二足歩行であるとされている。直立二足歩行を進化させたことが地上生活への適応に大きく関係していることは間違いない。しかし、多くの霊長類に見られるように樹上で四足歩行を行っていたものが、いきなり二本足で地面に立つようになったとは考えにくい。一般的な説として、まだ完全な直立性や二足歩行性を獲得する以前の運動様式(たとえばチンパンジーのナックル歩行やテナガザルのブラキエーションなど)で、樹上と地上との往き来を繰り返しているうちに、直立二足歩行を確立していったのであろうと考えられてきた。しかし、エチオピアの440万年前の地層か

ら発見されたラミダス猿人の化石の形態学的研究(White et al. 2009)によれば、樹上ですでに直立していた可能性が高いとされている。そのことから考えると、森林が消えていくという状況の中で、それに対応する準備段階ができていた種のみが地上生活に対応することができたのかもしれない。いわば形態的な適応的進化が、レジリエンス的な機能として備わっていたのであろう。

### 3.2 仲間と暮らす

人類が地上で暮らす上で重要な変化は形態的特徴だけではない。生活様式もまた変容していった。群れで暮らすことは樹上と同じであったが、厳しい生活を送らねばならない地上では、ますます仲間との絆が強まっていったに違いない。猿人の段階では、ゴリラなどと同じように強いリーダーを中心として群れ内に順位があったと考えられる。しかし、地上の厳しい環境で生き残っていくには、そのままでは困難であった。猿人から原人へと移り変わっていく頃には、新しい群れのあり方として、群れの成員同士の互いの助け合いの要素が非常に強くなっていたと考えられる。食料を得るための狩猟、骨盤の変化や脳の拡大によって難産となった出産など、他者の協力を必要とする場面が増加していった。そうなると年長者の補助や知識が重要視されるようになり(山極 2018)、食料獲得能力の向上と相まって寿命も延長していった。こうした中で、コミュニケーション能力も強くなっていったであろう。

### 3.3 道具の使用

地上で暮らす上で、人類の文化的発達の第一歩は道具使用の開始である。道具の使用もまた人類の大きな特徴であるとされる。おそらく最初は、落ちている木の枝や獣骨、石などを振り回したり、叩いたりしていたのであろう。現生の霊長類でもこうした行動はよく観察されている。そのうちに割れた石の断面が鋭利な刃物の役割を果たすことに気づき、さらに自分たちの手でそれを作り出すようになり、いわゆる石器を製作するようになった。石器の発明と利用は、生活とくに採食に関して重要な変化をもたらした。猿人の段階では霊長類と同様に植物食が中心であったが、死肉あさりなどで徐々に肉食が増加していった。肉食は良質なタンパク質の摂取という点で非常に重

要であり、そのことが脳の発達を促したとも考えられている。いずれにしても、原人になると、狩猟採集による肉食が中心となり、狩猟や解体、調理などの必要性から道具の発達は必要不可欠であった。

そして、最大の道具と呼べるものが火である。火の利用を始めたことにより、人類は生活様式を大きく変化させ、その生息域を拡大させていった。

### 3.4 出アフリカ

道具の発達は人類に栄養源の増加をもたらし、寿命の延長や人口増加をもたらした。そして、アフリカ大陸で誕生した人類は、アフリカ以外の土地へと進出していく。ジョージアのドマニシで発見された180万年前とされる原人化石がその最も古い証拠とされている。この原人は形態的にはすでに現代人とほぼ同じ構造と機能を有しており、長い距離を移動することも可能であった。そして原人は急速にユーラシア大陸の広い範囲へと拡がっていく。ただし、地域によっては道具の発達をはじめとする文化的適応がなければ生活が困難な場合もあったであろう。衣食住すべてにおける道具の発達がこの拡散の大きな要因であり、中でも火の使用がまさしく革命的な進歩であった。火の利用により、寒さをしのぐことが可能になり、夜間でも周囲を明るくし、捕食獣から身を守り、狩猟の道具としても有効であった。また火を調理に用いることにより利用できる食材は増加し、ある程度の保存も可能となった。有名な北京原人の発掘調査が行われた洞窟内では多くの炭素が含まれた場所が確認されており、そこで火が使われていたのであろうと考えられている。

さて、原人は分類学的にはわれわれ現代人（ホモ・サピエンス）と同じホモ属の種であり（猿人は異なる属に分類される）、われわれと同じ基本的な特質をほぼ備えていた。体表面からは体毛がほぼ消失し、発汗作用が発達し、運動機能もほぼ同じ程度であり、脳の大きさもほとんど変わらない範囲まで拡大している。われわれと原人を分けるものはさらなる文化的な発達と、それに関連する新たな人間性という点に集約される。

## 4. ホモ・サピエンスの環境適応

### 4.1 道具の発達と脳の発達

ホモ・サピエンスの生活圏の拡がりや石器を中心とした道具の発達とは高い関連性がある。時代が進むにつれて、石器の製作技術は発達し、洗練された石器が大量に作られるようになった。また、目的に応じて石器も細分化していき、その種類も増えていった。衣服に関しては、動物の皮を利用し、動物の腱を糸として骨製の針で縫い合わせたものを着るようになり、寒さや切り傷から身体を保護できるようになった。大きく皮を縫い合わせたものはテントとして住居に利用された。食においては、狩猟道具として弓矢やワナなどが使われるようになり、矢の先には細石器の矢じりがつけられるようになった。さらに狩った動物の肉を骨からそぎ落とすための石器も発達していった。

石器の発達は、生活を変化させただけでなく、脳における思考力や操作性などの発達にも寄与したと考えられる。石器を思い通りに作るためには、創造力や計画性が必要であり、視覚などの感覚器、運動系のコントロールなども発達させる必要がある。脳の発達は道具の進歩をもたらし、道具の進歩がまた脳を発達させるというように相互に関連させながら、ホモ・サピエンスは適応能力を高めていったのである。そこに他の動物とは異なるわれわれの独自性を見いだすことができる。

### 4.2 地球全域への拡散

アフリカおよびユーラシアの各地にはすでに原人の段階で拡がっていた。しかし、まだ彼らが到達しなかった地域がオーストラリアと、南北アメリカ大陸であった。オーストラリアには遅くとも5万年前頃には人類が到達していた。地質学的にはオーストラリア大陸は1億8000万年前頃にパンゲア大陸が南北に分裂して以降、ユーラシア大陸と陸続きになったことはない。そのため、人類は現在のインドネシアの島々を経由して到達したと考えられる。そのためには、当時の人々はすでに丸木船やいかだなどを製作する技術と航海術を獲得していたはずである。オーストラリアあるいはインドネシアの島々まで到達した人類はさらにニュージーランドや太平洋の島々へと生息圏を拡

げていった。

アメリカ大陸では、1万2000年前頃までに、シベリアから当時はまだ陸続きであったベーリング海を経由して北アメリカにわたった人々が徐々に南下していき、1万年前頃には南米大陸の最南端まで到達した。これにより、人類は極地方以外の地球上のすべての地域に拡がることになった。それらの中には高温多湿な地域や極寒の地域などの気温の問題やヒマラヤやアンデスのように高地における酸素量の低さに適応する必要もあった。人類の適応能力、これこそが地球全体への拡散を可能にした原動力、レジリエンスといえるものではないだろうか。

### 4.3 生物学的適応と文化的適応

さて、ホモ・サピエンスは今から30万年前頃、アフリカで誕生した後、世界中に拡がっていったとされている。この時期の地球ではいわゆる氷河期が繰り返し訪れ、寒冷な気候であった期間が長い。そのため、そうした寒冷環境に適応することが重要であった。DNA研究の結果から最近ではホモ・サピエンスの亜種であるとされているネアンデルタール人はヨーロッパから中央アジアにかけての地域で生活していたとされ、その復元図では頑丈な体つきや厳つい顔で描かれることが多い。それらの特徴はまさしく寒冷環境に適応した骨格から推定されている。寒冷環境に特化したことはネアンデルタール人の絶滅の要因の一つであったのかもしれない。後からやってきたより多様な文化的発達を遂げていたホモ・サピエンスとの競争に敗れていったのであろう。

ホモ・サピエンスは生物学的適応に関しても優れていたと考えられる。そうでなければ、これほどの全地球的な拡散と繁栄を遂げることはなかったであろう。その適応の一つとして、優れた体温調節機能があげられる。気温や湿度の異なる地球上の様々な環境にホモ・サピエンスが分布していくには、こうした機能の発達が必要であった。発汗作用、毛細血管の収縮、皮下脂肪の発達など、地域の気候に適応してそれぞれの特徴を獲得していった。

また、紫外線に対する適応も重要である。紫外線の必要以上の被曝は皮膚がんの発生や免疫機能の低下など身体に悪い影響を及ぼすが、逆に紫外線を

浴びる量が少なくと体内でのビタミンDの産生が不十分となる。ビタミンDはキノコ類などの食品にも含まれているが、その多くは体内で作られ、骨の正常な発育に機能している。そのため、紫外線の不足はくる病の発症などの危険を高めることになる。紫外線の被曝量の調節は皮膚細胞のメラニンの形成によって行われている。クマの仲間では北極圏に棲むホッキョクグマは皮膚色が白く、赤道付近にいるマレーグマは漆黒の皮膚色をしているのはこのメラニン量の違いによるものである。ヒトの場合も生活している地域の紫外線の量の差によってメラニンの量、すなわち皮膚色が異なっている。その他の生理的特徴でも同じことがいえる。皮膚色や体型、体質の違いは生活している環境に対する適応の結果であり、その集団ごとに優劣があるのでは決まてないということを肝に銘じるべきである。

当然ながら、現代では本来の居住地域と異なる場所で生活を送る人々も多く、異なる適応条件に対する対策が必要となる。たとえば、高緯度地域に住むアフリカ系の人はいくる病の注意が必要であるし、赤道付近で暮らすヨーロッパ系の人はい皮膚がんの危険性が高まる。このようにそれぞれがもつ基本的な特質を知っておくことが生物学的な意味でのレジリエンスといえるのかもしれない。

文化的適応についても同様に、各地域の集団が生活している場所に合わせて発達させてきたものである。よくいわれるように、日本の夏は暑く、冬の寒さは厳しい。地域によって積雪量の差は大きく、梅雨の時期はうとうしい。こうした気候風土に応じて、文化的な適応が進んできたはずである。しかし、そこに西洋的な近代文化が混入してきた結果、文化的適応の継続性は失われ、新たな適応が必要とされるようになってしまった。四季の変化に合わせて造られてきた日本家屋での生活から、コンクリートで構築された西洋建築による生活への変化はその一例である。他の地域でも、都市化により同様の変化が進んでいる。急激な変化により、それ以前には備わっていたはずのレジリエンスが通用しなくなり、また一からレジリエンスを構築する必要に迫られているように思われるのである。ただ、こうした変化は、人類の歴史において繰り返あったことなのかもしれない。

#### 4.4 農耕の開始と文明化

地球上のどの地域で生活していても、生存に関する原則的な問題が存在する。それは自然環境の変化による食料確保の不確実性である。日照りが続けば、狩猟対象となる動物は餌となる植物が少なくなり個体数は減少していく。長雨や台風、洪水なども同様に食料の欠乏に直結する。ホモ・サピエンスがどれほど生息域を広げたとしても、この点での自然の影響からのがれることは困難であった。

しかし、人類はその問題を解決する方法を発見した。それが農耕の開始である。農耕は約1万年前頃、中東のいわゆる肥沃な三日月地帯で始まったとされ、その後、中国の長江流域や中央アメリカでも行われるようになった。また、パプアニューギニアでも独自に農耕が始まっていた（Harris & Hughes 1978）。

農耕は植物の栽培化と動物の家畜化を中心としている。農耕の開始にともなって、狩猟生活の時代とは異なるまったく新しい道具が使用されるようになり、いわゆる新石器時代を迎える。石器の発達以外でも、土器が作られるようになり、さらには時代を経て金属器も使われるようになっていった。そして、文明化が進み、集落から都市へ、そして国家と階級が生まれていく。それらは農耕による食料生産の増加とその結果としての急速な人口増加がもたらしたものである。もちろん、洪水や干魃がなくなったわけではないが、それに備えておくことが可能になった。人類は、自然の環境変化への対抗手段を手に入れ、自然を恐れることがなくなっていったのである。藤井（2018）は、この時期の集落の再編や遊牧の開始といった社会の変容とレジリエンスについて論じているが、いずれにしても、さらに年代が進みヨーロッパでの産業革命を迎えるといっそうの拍車がかかり、人類の方が自然を大きく改変していくようにさえなる。そして、現代社会における様々な問題は一気に拡大していき、人類の歴史の中で非常に短期間に生じた変化は、適応する時間を与えることなく進行していった。それこそまさに現代的なレジリエンスを意識せざるを得ない状況を作り出したのではないだろうか。

## 5. 人類の未来は？

### 5.1 環境を改変する奇異な動物

生物にとって自分のまわりの環境が変化することは致命的な危機を生じさせる。いうまでもなく、新しい環境に適応するには大きな困難がともない、それができなければ絶滅するしかない。それに対して現代人は何の疑問も抱かず、わずかの間に環境を自らの手で大きく変化させてきた。その意味では、現代人は生物学的には不調和きわまりない特殊な環境で生活しているのである。その結果、本来ならばありえなかった様々な面での健康への影響を引き起こしている。森林伐採などの自然環境の破壊や様々な有害物質の排出による環境汚染、オゾン層の破壊や地球温暖化など全地球的な規模のものから、生活環境の変化がもたらした一般に現代病といわれる個人の身体に直接的に関わるものまで、様々な問題が生じている。

いわゆる現代病とされるものには、食習慣の変化が原因とされる生活習慣病、運動不足やデスクワークの過多による腰痛、さらにストレスに起因する心的疾患など多様なものが含まれる。急速に発達した現代産業は、労働環境を一変させた。狩猟や農耕では労働は立って行うことが通常であったのに対し、現代では机の前で座ったままの姿勢で作業を行う労働者が急速に増加している。そのことが、腰痛や肩こりなどを引き起こしているのではないだろうか。直立二足歩行の獲得以降、長期にわたって立って生活することに適応進化してきた人類にとって、現代社会の変化に対する身体の適応がまだ追いついていないことを示しているのかもしれない。

他の動物でも同様であるが、飢餓に対する備えとして、体内に栄養を蓄えようとするのは自然な反応である。ラクダは背中のこぶの中に脂肪を蓄積し、食料も水もない砂漠で長時間移動することに備えている。人類もまた、栄養を脂肪として蓄えるように進化してきた。農耕が始まり、徐々に貧富の差が開いていったとしても、ごく最近までほとんどの人々にとっては、体内に大量の栄養が脂肪として蓄積されるような状況は起こらなかった。しかし、現代ではとくに先進国とされる国々を中心に、過剰な栄養摂取や偏った食事に

よる疾患（糖尿病、高血圧、高脂血症など）が増加している。心筋梗塞などの循環器系の疾患もこうしたことが要因となる場合が多い。アレルギー性の疾患も食習慣の変化によって引き起こされているといえるかもしれない。動物は甘いものを栄養価が高いと認識し、摂取しようとする。逆に、酸っぱいものは腐敗物として、苦いものは毒性があるものとして認識されるため摂取されにくい。この進化過程で生じた生存戦略の基本的な生理的認識を変えることは困難であろう。ただし、われわれは他の動物とは違い、自らの意志の力で変えることができる。様々なダイエットが流行するというのもその表れであろう。健康管理のために適切な食事についての知識をすべての人が共有するということが、人類の未来に対するレジリエンスの一つであるように思える。

他にもまだ現代社会には多くの病気が存在する。代表的なものが悪性腫瘍、がんであろう。がん自体は昔からあり、遺伝子の突然変異によるものとされている。現代では、タバコやアルコールをはじめ、様々な化学物質、そしてストレスといった突然変異を引き起こす要因が増加している。また、がんは成人後に発症することが多いため、遺伝上の淘汰が働かない。そのため、がんにかかりやすい体質というものがあったとしても、その遺伝子が減少していくことはない。そうなれば、がんの発生要因とされるものを減らしていくしかない。喫煙、大量飲酒などは個人として気をつけることができるが、工業的に産出される物質は厳密な管理が必要であろう。しかし、世界的にそうした管理が行われているようには思えない。現実問題として途上国などでは、経済性が優先されてしまう。人類全体の問題であることはわかっていたとしても、目の前の問題の方が大事なのは仕方のないことであろう。

がん治療も含めた医療の分野で、これからさらに研究が進むと考えられるのが遺伝子治療である。商品作物における遺伝子改変は非常に進んでいるが、医療分野では端緒についたばかりである。iPS細胞の治療への応用など期待されているものも多い。最近のCOVID-19におけるワクチン開発にも遺伝子技術が利用されているとのことである。しかし、遺伝子操作には危険な部分も多い。ある目的で改変された遺伝子が、知らない間に問題のある作用をもたらすかもしれない。自然界における突然変異であれば、そうした異常な変異は淘汰されていくが、人工的な変異では気づかれずに放置されてしまい、い

つのままにか蔓延してしまうというような事態が起きるかもしれない。そうしたことを防ぐには、今後の研究発展の過程で、医学分野以外からのチェックがさらに必要となってくるであろう。

地球自体も氷河期が繰り返し訪れるように常に環境変化を起こしており、生物の生命に大きな影響を与えてきた。しかし、それは実際には非常にゆっくりとしたリズムで、生物が適応していくことは不可能ではない。大量絶滅が次に起きるとすれば、人類がその引き金を引くのではないか、あるいは、もうすでに引いているのではないかという議論がなされることもある。先に述べたようなことがその引き金に当たるのかもしれない。それでは、それを乗り越えるために、どのようなことが必要なのだろうか。そして、それは現代人、ホモ・サピエンスという種全体にとってのレジリエンスに当たるものなのかもしれない。

## 5.2 進化史から考える

生物進化について授業や講演などで話すと、その研究がわれわれにとってどのように役に立つのかと聞かれることがある。そのような質問をする人は、基本的に現代の物質文明における価値がすべてであり、科学はそれを発達させるためのものでしかないと考えているのであろう。しかし、物質文明は本当にこのまま永遠に発達し続けていくのであろうか。それには大きな疑問がある。過去に大量絶滅が何度も起きたように、この繁栄した人類の社会にも大きな危機が訪れることがあるに違いない。その危機を乗り越えるには、どのようにすべきか、あるいはどのような準備をしておくべきなのか。それは未来における未知な出来事であるがゆえに、簡単に答えが導かれるものではない。ただし、そのヒントを得るものがあるとなれば、過去の生物の進化史、とくに人類の進化と適応の過程であろう。人類が地球上の多くの地域に拡散し、繁栄していった歴史、その間には、自然災害、疫病、飢饉、紛争といった大きな危機が何度もあったはずである。生物学的適応、文化的適応の過程、それらに加えて現代人だけがもつようになった人間的適応といえるものが答えを教えてくれるのではないだろうか。

### 5.3 生物多様性とレジリエンス

SDGs (Sustainable Development Goals、持続可能な開発目標)という言葉が、盛んに叫ばれている。SDGsは2015年に国連で採択された2030年までに持続可能でよりよい世界を目指すための国際目標で、17のゴールと169のターゲットから構成されている。それぞれの目標について詳しい説明は省くが、私の理解では、地球上のすべての人々(動植物も含まれる)が、平等で豊かで健康的な生活を送ることを可能にするように、社会を変革していこうという概念であると思う。それが本当に可能になれば、レジリエンスなど意識しなくても生活していける世界になるのかもしれない。そのためにわれわれは努力を続ける必要がある。ただ、それは理想ではあるが、それほど容易な道ではない。

2019年に発生したCOVID-19による感染症の全世界的な流行は、まさに現代文明を享受していたわれわれの無防備さを明らかにした。詳しい分析は、今後、様々な分野において行われていくであろうし、次に備えての対策も考えられていくことであろう。しかし、それでは想定内のことしか対応できない。今回のように想定を上回る事態が生じたときについて、われわれは備えておくことができるのであろうか。

ここで、生物学の話に戻ってみたい。生物種というものは、実はそうした想定外の事態に備えるような仕組みを有している。それが、遺伝子の多様性である。有性生殖を行う生物は両親から半分ずつ遺伝子を受け継ぐが、その際に一定の確率で突然変異が起きる。変異した遺伝子が致命的なものであればそのまま失われ、少しでも生存に有利なものであれば種内に拡がっていく。実際には、大半の突然変異は有利でも不利でもないものであり、失われはしないが、とくに優勢にもならないとされる。しかし、こうした中立的な遺伝子が急激な環境変化が生じた際に有利な特徴となる場合がある。極端に言えば、その遺伝子をもっていったために絶滅を逃れることができたといったことが起きるかもしれない。どの遺伝子がそうしたものであるかは、当然ながら予測することはできない。ただいえることは、遺伝子の多様性が大きければ大きいほど、その確率が高まるということである。これは一つの種についていえるだけではない。すべての生物が生態系の一員として存在しているので

あるから、それぞれの種の多様性は他のすべての種にとって重要なものとなる。こうした生物多様性の重要性については、国際的な条約が締結されるなど、すでに世界的な共通認識となりつつある。そのこともまた、人類にとっての将来に対するレジリエンスを構築したといえるのではないだろうか。

## 6. まとめ 人間科学とレジリエンス

COVID-19という新型のコロナウイルスに対して、その流行を初期の段階で抑えることは困難であった。現代の世界的な人々の移動を考えれば、それは当然のことであろう。通常のインフルエンザも冬場になると、毎年のように流行していたが、その主な原因も海外旅行などによる人的交流であったという説もある。インフルエンザの場合にはワクチン接種により、ある程度流行を抑えることができてきた。ワクチンにより免疫を事前に獲得するわけである。免疫とは病原体に対して身体がもつ抵抗力である。免疫はワクチン接種以外にも、母親から受け継ぐものや以前に同じ疾患にかかったことにより獲得するものもある。しかし、免疫はもともと生物に備わっている機能であり、その本来の免疫力を高めることにより、自分の身体を守ることが基本である。もちろん、抵抗力の強さには個体差があり、強力な感染源にはワクチンも必要であろうが、そうしたものに頼る以前に免疫を高める努力を忘れるべきではない。そして、このことは個人の身体に関することについてだけではなく、社会全体についてもいえるであろう。渥美(2021)が論じている災害研究の分野はその代表的なものである。金菱(2020)が災害をインフルエンザととらえた説明は、まさに的を射たものといえよう。また、身体的な健康のみでなく精神的な面での健康についても同様かもしれない。いわば「心の免疫」とでも呼べるものがあればレジリエンスを発揮する糧となるのではないだろうか。そして心の免疫もまた、ワクチンのように外部から獲得する場合もあるだろうが、自分自身の免疫力を常に高めるようにすることが重要であると思う。その意味で、日高(2021)が試みているナラティブによるレジリエンスの理解は、非常に示唆的であり、その発展により心の免疫を高めるための方向性が示されることが期待される。

私は人間科学研究科に籍を置いている。この人間科学という学問分野こそ、社会的な発達における人類への様々な影響を見守り、また心の免疫について、深く洞察できるものであると考えている。小笠原とモハーチ (2021) が医療のレジリエンスという立場から述べているように、医学や工学における技術革新、遺伝子工学やAIの開発などにおいて、人間科学の視点を常に持ち続けることの重要性を最後に訴えておきたいと思う。

## 参考文献

渥美公秀

2021 「レジリエンスについて災害研究を通して考える」『未来共創』 8:109-121.

Ennos, R. A.

2015 Resilience of forests to pathogens: an evolutionary ecology perspective. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 88:41-52.

藤井純夫

2018 「食糧生産革命とレジリエンス」奈良由美子・稲村哲也 (編著)『レジリエンスの諸相—人類学的視点からの挑戦—』放送大学教育振興会 pp.95-111.

Harris, E. C. & Hughes, P. J.

1978 An Early Agricultural System at Mugumamp Ridge, Western Highlands Province, Papua New Guinea. *Mankind*, 11:437.

日高直保

2021 「人間のレジリエンスとナラティブ」『未来共創』 8:69-84.

JAXA

2013 はやぶさ2プロジェクト <https://www.hayabusa2.jaxa.jp/mission/goal/> (最終閲覧日 2021年3月10日)

JCCCA

2021 [https://www.jccca.org/chart/chart01\\_02.html](https://www.jccca.org/chart/chart01_02.html) (最終閲覧日 2021年3月10日)

金菱清

2020 『災害社会学』 放送大学教育振興会

小笠原理恵・モハーチ ゲルゲイ

2021 「医療とレジリエンス——感染症からの試論」『未来共創』 8:123-143.

White, T. D., Asfaw, B., Beyene, Y., Haile-Selassie, Y., Lovejoy, C. O. Suwa, G., & WoldeGabriel, G.

2009 *Ardipithecus ramidus* and the Paleobiology of Early Hominids. *Science*, 326:75-86.

山極壽一

- 2018 「霊長類の共通祖先から受け継いだヒトのレジリエンス」奈良由美子・稲村哲也  
(編著)『レジリエンスの諸相－人類学的視点からの挑戦－』放送大学教育振興会  
pp.36-55.

---

# A study about resilience in human evolution

Yoshihiko NAKANO

## Abstract

I examined the history of evolution from the birth of life to modern humans from the perspective of resilience. In its 4.6 billion years of history, the Earth has undergone many major environmental changes. This has caused mass extinction of organisms, and each time, a small number of surviving species have adapted and dispersed in the new environment. Humans, too, have changed their lifestyles many times to adapt to the environment, starting with the change from arboreal to terrestrial at the beginning of their evolution, which enabled them to spread and prosper globally as we know it today. However, this modern material civilization has many problems as a by-product. In particular, the environmental changes that affect humanity as a whole and various modern diseases are deeply related to the rapidly changing modern environment. By looking back at the processes by which organisms have survived, this paper discusses why environmental adaptation has been possible and what is needed to achieve it, mainly from a biological perspective.

**Keywords :** Environmental changes, Adaptation, Human evolution, Biodiversity, Mind immunity

---