

第6の大量絶滅の時代を救う知恵：人と自然、生物多様性の時空

宮下 直

## 第5回 多様な生物に、共通する仕組み

### 多様性が生じる背景に何が？

生き物は種数においても、生活スタイルにおいても、たいへん多様であることがわかった。だが、一方で全ての生き物には共通した性質があるのも事実である。後に詳しく述べるが、自己複製をする能力や、生命活動のための基本的な仕組みは驚くほど共通している。

多様性と共通性は、一見相反する現象で、たがいに相容れないように思えるかもしれない。実際、少し古い時代の生態学者や分類学者は、枚挙的な記述を重視するあまり、共通性や一般性を追求する理論生物学や分子生物学にやや距離を置く傾向があった。一方で、分子生物学者の一部には、生命現象を物質レベルで解明することのみに終始し、多様性が生じる仕組みに関心を払わない人もいた。しかし、この両者ともにやや視野が偏狭である。

すこし逆説的だが、多様性を理解するうえで共通性の理解は不可欠である。さまざまな形や生活史をもつ生物が生じた背景には、遺伝子やタンパク質などの変化が必ず関与しているからである。その仕組みの理解が、多様性の真の理解につながる。

### 「細胞」という共通性

全ての生き物が、細胞という小さな単位で構成されていることはよく知られている。子供のころ、理科の実験でタマネギやムラサキツユクサの葉を薄く剥がして、顕微鏡で細胞を眺めた記憶がある。また、自分の口の中に綿棒を突っ込んで、頬の内側をゴシゴシやって取り出した細胞を顕微鏡で観察した記憶もある。

植物の細胞には、細胞壁という固い外殻があり、長方形の細胞が整然と並んでいるが、動物の細胞は細胞壁がないので、採取した細胞は形が崩れたものも多い。また、植物には光合成をおこなう工場である葉緑体があるが、動物にはそれがない。しかし、動物でも植物でも、細胞の中には核とよばれる球状の物体があり、その中に遺伝子が格納されていることには変わらない。このように、細胞レベルでも多様性はないことはないが、それよりも共通性の方が目を引く。

植物と動物はともに生き物であるということは、頭では理解できるだろうが、やはり細胞のような細かなパーツに目を向けないと、それを実感できないだろう。外見からはまるで違う形をしていて、どこが親せき？ と思える植物と動物も、結局は細胞という小さな

パーツからできていることを顕微鏡は教えてくれる。

#### < 図 植物と動物の細胞 >

##### 全生命体にある遺伝子DNA

細胞の核の中にある遺伝子は、さらに共通性が高い。遺伝子は、DNA という物質からできていて、すべての生物が持っている。DNA は、デオキシリボ核酸の英名( Deoxyribonucleic acid ) の頭文字をとったもので、リン酸 ( 脂肪酸の一種 ) と塩基と糖から構成されている。遺伝子と DNA は、よく同義でつかわれているが、実は少し意味合いが違う。DNA は化学物質であり、かなり複雑ではあるが、水や二酸化炭素と同じく化学式で表すことができる。

一方、遺伝子は物質そのものというより、その役割を暗示している。親から子へと引き継がれるさまざまな性質、たとえば鼻が高いとか、色が白いとかいった性質を伝達するメディアそのものなのだ。このメディア性があるからこそ、DNA は遺伝子の本体とよばれるわけで、そうでなければ、わざわざ別名でよばれることはなかったはずだ。

#### < 図 DNAの模式図とその組成 >

二重らせんを描いてのびるそれぞれの鎖を 4 種類の塩基がつないでいる。

DNA を構成している塩基は、アデニン、グアニン、シトシン、チミンの 4 種類しかない。これはすべての生物に共通である。これらの塩基の長大なつながりが、多種多様な遺伝情報を提供しているのである。塩基の連続した 3 つの組み合わせが、まるで暗号のように 1 つのアミノ酸を指定している。この 3 つの塩基の組をコドンとよんでいる。アミノ酸をコードする単位、という意味から名付けられた。さらに、アミノ酸はタンパク質を構成する基本単位であり、いわば生物の体を作る元となっている物質である。全部で 20 種類の必須アミノ酸が知られている。塩基の種類は 4 つしかないが、3 つの連続した組み合わせの数は、 $4^3 = 64$  通りにのぼる。20 種類のアミノ酸をコードするには十分な数である。

##### なぜ「4種類の塩基」なのか

こうしたことは、高校の生物で当たり前のように習うのだが、よく考えると不思議なことが多い。他にも塩基はあるのに、なぜこの 4 種類が遺伝子としてつかわれるのだろうか。また、なぜ 3 や 5 でなく、4 なのか。3 種類でも  $3^3 = 27$  で、数字的には 20 種類のアミノ酸に対応できるはずだ。さらに、そもそも遺伝子がなぜ塩基という物質である必要があるのか？ 塩基がアミノ酸をコードする暗号であり、アミノ酸を構成する物質ではないのだから不思議である。こうした根本的問いは、まだよくわかっていない。というより、

おそらく塩基である必然性はそれほど高くないし、ましてや4種類の物質である必然性もたいして高くないのだろう。

最初の生命体が、たまたまこうした物質を遺伝子として利用したことが、後のすべての生命体に引き継がれただけの結果なのかもしれない。もし、生命が何度も独立に誕生したのであれば、おそらく4種類の塩基のみが使われたり、3つの塩基がコドンとして機能するという共通性はありえなかつただろう。

### 自己複製と活動能力を支えるATP

もうひとつ、生命体の共通性を紹介しよう。生物は遺伝子を通して自己複製できる能力があるが、さまざまな活動をおこなう能力も備わっている。無生物との対比でみれば、石ころは自己複製できないし、自力で移動することもできない。生物のさまざまな活動は、有機物を無機物に変える過程で創りだされるATPという物質で維持されている。ATPは、アデノシン三リン酸という物質で、アデニンやリン酸から構成されている点で、DNAと似た物質である。

ATPは、エネルギーそのものではないが、エネルギーを取り出す通貨のような物質である。以前に、酸素呼吸は発酵に比べてはるかに多くのエネルギーを取り出せることを述べた。これは、有機物が無機物に分解される過程で作られるATPの量が、酸素呼吸では発酵に比べて10倍以上も多いからである。私たちが含めたすべての生き物は、自己の遺伝子を残すために、ATPを生産する機械のような存在ともいえる。

## 第6回 共通のルーツから多様な誕生へ

### 突然変異からの進化

地球上の生き物のルーツが同じだとする説には、すでに見てきたような動かぬ証拠がある。では、どのようにして生き物は多様になったのだろうか。

同じものが違うものになる過程をみるには、ある性質の一部分だけが変化した生物を比較するのがわかりやすい。ネズミのような生き物からヒトが進化したと言われても、にわかには信じがたいのは無理もない。

変化の出発点は、突然変異とよばれる遺伝子の一部分が変化することで起こる。もっとも小さな突然変異は、DNAの塩基のあるひとつが別の種類の塩基に置き換わることである。塩基が変わると、必ずではないが、合成されるアミノ酸の種類も変わる。すると、さまざまな生命活動にかかわるタンパク質の種類も変わるので、生き物の性質自体が変わる

のである。

こうした変化の大多数は、ふつう生き物にとって有害で、突然変異した遺伝子をもった生物は生き残ることができない。ところが、ごく稀ではあるが、突然変異を起こす前の生物よりも有利な性質が現れることがある。このような個体は、ほかの個体より多くの子孫を残すことができるので、その性質が集団の中に広まり、やがて前の生物とは異なった集団が誕生することになる。これは自然選択ないしは自然淘汰とよばれる生物の進化の仕組みである。

#### <図 進化の仕組み>

この図のカニのように突然変異によってはさみが大きくなった個体は、メスをめぐると同士の争いに有利である。そのため多くの子を残し、しだいにはさみが大きな個体の数が増える。そして数世代後には、すべての個体が同様の性質をもつように進化する。

(図は、武内和彦+宮下直『人と自然の本』2004/ポプラ社より)

#### **その進化は偶然か、必然か**

ここで注目すべきは、突然変異と自然選択による進化は、どこまで偶然でどこまで必然なのだろうかという点である。

突然変異は、塩基の置き換わりだけでなく、染色体とよばれる遺伝子の集まりが、形を変える大規模なものもある。しかし、いずれにせよ、生き物が自発的に変化を望んで起こしているわけではなく、偶然の作用で起こる出来事である。

偶然で優れた作品ができるという確率は決して高くないが、その反面、まったくあり得ない話でもない。失敗と思った作品が、じつは斬新で思ってもみなかった革新につながることは、どの世界でも聞く話である。だが、それはあくまでラッキーである。偶然の積み重ねが、まったくもって想像できない結果をもたらす可能性があることを、「コイン投げ」の例で見てみよう。

#### **偶然が引き起こす「必然」**

コイン投げは外国人のジャンケンのようなものである。表と裏のどちらかに賭けて、順番などを決める。もちろん、ふつうのコインは表と裏の出る確率は1：1のイーブンである。

コイン投げを5回続けた場合、それら全部が表の確率は直感的にとても低いと感じる。その勘は間違っていない。正確な確率は3.1%に過ぎず、およそ32回に1度しか起こら

ない出来事である。だが、この程度なら偶然に起こっても、まあ納得しうる範囲かもしれない。

では、表が10回続けて出たとしたら、どうだろうか。今度はコインに仕掛けがあるのか、それとも投げる人が特殊な訓練を積んだ成果と考えたくなる。いずれにせよ、偶然ではなく必然の産物と考えるだろう。この感覚も間違っていない。表が10回出る確率は、0.1%であり、およそ1024回に1回しか起こらないからである。だが、この確率は、「10回しかコインを投げなかった」という縛りがあることを忘れてはならない。

もし、10回だけでなく、500回続けてコインを投げたらどうなるだろうか？ 実際にコイン投げをする根気はないので、エクセルというコンピュータ・ソフトを使って、乱数とよばれる偶然の数値を次々に発生させてコイン投げをシミュレーションした。その結果が次の図である。

驚いたことに、表もしくは裏が、5回以上続けて出たのが、計14回もあり、10回続けて裏が出た場合も1回あった。とうてい起こり得ないようなことが、繰り返しが何度もあると、必然に近い頻度で起こりうることを意味している。試行の繰り返しは、偶然を必然に転じる力を秘めていると言える。

<図 500回のコイン投げの結果の例>

連続して5回以上表「1」(青)か、裏「0」(黄)が出た場合。

左上から下に向かって順番に結果を示している。

### 自然選択の根拠

これを生物の進化に置き換えて考えてみよう。

生物の進化は、遺伝子の突然変異とその後の自然選択によって起こることは既に述べた。自然選択は、有利な遺伝子をもった個体が増える過程なので、必然である。水が重力によって、高いところから低いところへ流れるのと原理的には変わらない。しかし、突然変異は、ある塩基が別の種類の塩基に置き換わるような、遺伝子の偶然の変化によって起こる。

この世に完ぺきな生き物はいないが、滅びることなく長年にわたって綿々と生き延びてきたことを考えれば、偶然に起こる突然変異が、生命の体制を崩す有害なものであることは想像がつくだろう。だが、何万回も何百万回も突然変異が繰り返し起これば、そのなか

に、生存にとって有利な突然変異がたまたま混入していても不思議はない。

一見、起こりそうもないことが起こるという意味で、コイン投げの例と同じ原理である。これは、ある意味で必然ともいえる。気の遠くなるような偶然の積み重ねが必然を招くという、何やら宗教めいた文言も、それなりに科学的な根拠があるのだ。

< 図 ランの花に潜むハナカマキリの終齢幼虫 >

ハナカマキリはランの花にそっくり。ハナカマキリの生存にとって有利な突然変異が偶然に起こり、それが自然選択によって集団中に広まった結果と考えられる。

マレー半島で昆虫写真家の海野和男さんがとらえたハナカマキリが、ランの花のいったいどこにいるのか！？ 確かめたい方は、次のサイト「海野和男のデジタル昆虫記」へどうぞ。

## 第7回 多くの種が棲める理由 1

### イワナとヤマメの棲み分け

自然界には膨大な種の生物が共存している。だが、それらは平和的に手を携えて暮らしているわけではない。自分の子孫、もう少し正確に言うと、自分の遺伝子のコピーを後の世代に少しでも多く残そうと、日々しのぎを削っているのである。もちろん生物が意図してそうしているのではなく、自然選択という普遍的な「力学」がそうさせているのである。私たちが目にする生物に満ち溢れた世界には、そうした背景があることをまず念頭に置いていただきたい。

生物の共存のメカニズムとしてもっともポピュラーなのが、「棲み分け」である。棲み分けは、生態的によく似た近縁の種が、棲み場所を微妙に変えて生息している状態をいう。日本の清流に広く分布するイワナとヤマメは棲み分けの例として有名である。

イワナもヤマメも、サケやマスの仲間であるが、一生を上流で過ごす。イワナは河川の源流部の水温の低い場所に棲むが、ヤマメはイワナよりもやや下流に棲む。両種とも、肉食性で、水生昆虫や陸から落下する昆虫を餌としているので、同じ場所で2種が共存することは難しい。だから、河川に沿って、2種はきれいに棲み分けている。面白いことに、イワナがいない川では、ヤマメは水温の低い源流部にまで分布しているし、その逆にヤマメのいない川では、イワナはやや下流部にまで分布している。異なる種の共存は、種に固有の性質だけで決まるのではなく、種と種のせめぎあいの結果決まっているのである。

<図 イワナとヤマメ>

同じ川の源流部でも、イワナ(上)はやや上流に、ヤマメ(下)はそれよりやや下流に、という具合に2種の魚類はきれいに棲み分けて過ごす。

**カワスズメの多様な食い分け**

棲み分けと似た現象に、「食い分け」がある。これは文字通り、近縁の種間で食べ物の種類を分けて共存していることである。

アフリカのサバンナに棲むシマウマやガゼルなどの草食動物は、低木を好むものや草本を好むもの、さらに草本でも穂の部分を食べるものや茎を食べるものなどの違いがみられ、これが草食動物の共存を可能にしているらしい。

もっとすごい例は、アフリカの湖に棲むカワスズメという魚である。マラウィ湖では、200万年ほど前に侵入したカワスズメの祖先から、400種以上におよぶ膨大な種が進化した。これらの種には、餌の明瞭な食い分けが見られる。水中に浮遊するプランクトンを食べるもの、湖底の泥の中に棲む無脊椎動物を食べるもの、貝を専門に噛み砕いて食べるもの、ほかの魚を襲って食べるもの、さらにほかの魚の鱗を食べるものまでいる。同じ湖のなかでこれだけ多数の種が共存できるのは、多様な食い分けがみられるからであろう。

<図 アフリカ東南部にあるマラウィ湖に棲むカワスズメ類>

さまざまな餌を食べる種が共存している。

- |                      |              |
|----------------------|--------------|
| A:岩についた藻類を剥き取る       | B:昆虫などを拾い集める |
| C:湖底にいるミミズなどを掘り起こす   | D:固い貝殻をかみ砕く  |
| E:浮遊している動物プランクトンを食べる | F:ほかの魚を食べる   |
| G:ほかの魚の鱗を剥ぎ取って食べる    |              |

**多業種が駅前に共存できる仕組み**

棲み分けや食い分けによる種の共存の仕組みは、人間社会の職種と対比させるとわかりやすい。たとえば、駅前にあるさまざまな店舗を考えよう。喫茶店、食料品店、居酒屋、眼鏡屋、パチンコ屋、薬屋、本屋などがすぐに思い浮かぶ。これらの職種の間では、買い物に来る消費者をめぐって争うことはあまりないだろう。むしろ、違う物売る店が集まっていれば、買い物に便利なのでそこに客が集まるかもしれない。これが、いろんな業種が駅前に共存できる仕組みである。もし、喫茶店や居酒屋が何件もあれば、それぞれが客をめぐり熾烈な競争が生じ、やがてどれか一つの店が生き残るか、場合によっては共倒れになるかもしれない。

ところが、大きな駅になると、喫茶店や居酒屋が何件もある。大きな駅は当然利用客も多く、同じ業種の店があっても客の取り合いにならないからである。ただ、店ごとに何らかの特色を出すような工夫はみられるだろう。居酒屋でいえば、焼き鳥を専門にする店、海鮮を専門にする店、洋酒を専門にする店、などが考えられる。

さらに、小さな駅前ではとても経営が成り立たないような、マニアックな店も現れるだろう。このように利用客が多くなると、それだけ業種が多様化ないしは細分化される傾向にある。これは、生物の共存や多様性のパターンとたいへんよく似ている。いや、原理はほぼ同じと考えてよいだろう。

### 多くの種を生かす「資源分割」

利用客の数の多寡を生物の共存の文脈で考えると、ある地域で1年間に生産される植物バイオマスの量（これを「一次生産量」という）と置き換えることができる。生態系の基盤は植物の一次生産であり、これを草食動物が直接摂取し、肉食動物が間接的に摂取しているからである。一般に、気温が高く降水量が多い地域ほど、一次生産量が多い。極地から温帯、熱帯に向かうにつれ、一次生産が高まる傾向はよく知られている。業種の細分化の論理と同じく、一次生産量の高い地域ほど、生物は餌や棲み場所を細分化することができる。細分化しても、餌となる資源が十分得られるからである。温帯は寒帯よりも、そして熱帯は温帯より種の多様性が高い理由は、こうした論理で説明可能である。

生態学では、種によって利用する生息場所や餌が違うことを「資源分割」という。すでに述べたように、資源分割は多くの種が棲めるための仕組みである。店舗の場合でいえば、利用客はお金を落としてくれる「資源」に違いない。その資源をいかに上手に利用するか、自分のもっている技術や経験を勘案しながら、それぞれの店は日々しのぎを削っている。同じように、自然界の生き物も、有限な資源をめぐって、自らの生態的な特徴を生かしながら、他の種と日々しのぎを削っているのである。ここで生態的な特徴とは、体の大きさであったり、増殖率であったり、行動のスキルであったり、温度耐性であったりする。その結果として、私たちが目にする種の多様性の大枠が形作られているのである。

## 第8回 多くの種が棲める理由 2

### 「共存」する種の間柄とは・・・

共存とよく似た言葉に「共生」がある。両者はほぼ同義に使われることもあるが、よく考えると語感の違いは違っている。共存は「ともに存在する」というニュートラルな意味であるのに対し、共生は助け合いの精神が含まれている。つまり、「多様な意見が共存する」とは言うが、「多様な意見が共生する」とは言わない。違う意見が持ちつ持たれつの関係にあることは、

あまりないからである。

生物の場合、共存と共生はさらに明確に区別されている。共存は、潜在的には利害が対立する種と種の間で、資源の分割により、多くの種が暮らしている状態である。ヤマメはイワナがいなくても暮らしていけるし、むしろいない方が数を増やすことができるだろう。だから、共存関係にある種どうしは、ニュートラルまたはマイナスの影響を与える間柄にある。

### 協力関係が成り立つ「共生」

ところが、共生関係にある種では、相手の種がいることのメリットがデメリットよりも大きく、相手がいることがプラスに働く。例えば美しい花を咲かせる植物では、昆虫に花粉を運んでもらうことで雌しべが受精し、果実や種子を実らせることができる。トマト、キュウリ、スイカなどの野菜や、リンゴ、ナシ、ブルーベリーなどの果物は、ミツバチやマルハナバチなどによって花粉を運んでもらい、果実を作っている。

もちろん、これらのハチは無報酬で働いているわけではない。餌である花の蜜や花粉をせっせと収集する過程で、結果として体に着いた花粉を雄しべから雌しべへ運んでいるにすぎない。ようするに、自然界でみられる共生は、人間社会で時々みられるような自己犠牲を伴う純粋な親切心から成り立っているわけではない。ハチも植物も、それぞれ自分のメリットがデメリットよりも大きいから、互いに協力関係ができあがっているのである。この観点からすれば、人間が行う無報酬のボランティア活動は、人間以外の生物にとっては理解不能な行為と映るにちがいない。

#### <図 エゾノコリンゴの花の蜜を集めるミツバチ>

ミツバチの後ろ脚には、花粉だんごがついている。

花蜜は胃の近くにある蜜嚢に蓄えられ、巣に持ち帰る。

### 「細胞内共生」という関係

少し古い生態学では、自然界の生物の種間関係は、利害が対立する競争が卓越していて、共生はマイナーであるとされてきた。だから、種間での競争を緩和するための仕組み、すなわち共存の仕組みを解き明かすことが、自然界に多様な種が棲めることの説明とほぼ同義であった。だが最近では、共生はごくありふれていて、しかも生命進化や地球環境の形成の根源になっていると考えられている。なかでも衝撃的なのは、「細胞内共生」である。

細菌を除くほとんど全ての生物の細胞には、ミトコンドリアとよばれる小器官がある。これは酸素呼吸によって ATP (アデノシン三リン酸) を生産する工場のような働きをして

いる。また、緑色植物の細胞には葉緑体があって、ここでは光合成が行われている。ミトコンドリアも葉緑体も、生物にとって必須の小器官であるが、これらは原核生物とよばれる核をもたない生物に由来すると考えられている。その証拠に、ミトコンドリアや葉緑体には、細胞の核にある遺伝子（つまり宿主の遺伝子）とは全く別の遺伝子があり、もとは別の生物であったことを示唆している。いまでは、ミトコンドリアも葉緑体も宿主の細胞から抜け出して自立した生活を営むことはできない。長い年月をかけて、宿主とこれら小器官の間には、切っても切れない共生関係が築かれてきたのである。

ウシやシカなどの草食動物は、胃の中にセルラーゼを作る微生物を棲まわせている。セルラーゼは動物自身が生産できない酵素の一種であり、細胞壁を構成するセルロースを消化する働きがある。だから草食動物は、肉食動物や私たち雑食動物が消化できない植物繊維をブドウ糖に分解し、エネルギーを得ることができる。この微生物は草食動物の体内から抜け出しては暮らしていけないし、草食動物も細菌がないと生きてゆけない。

### 絶対ではない「随意共生」

自然界には、もう少しゆるい共生関係も広くみられる。アリとアブラムシ（アリマキ）は、その有名な例である。アリはアブラムシの腹部から出る甘露をもらうが、その一方でアブラムシを襲うテントウムシやヒラタアブの幼虫などの天敵を撃退し守っている。ただ、両者はお互いがいることで利益を得てはいるが、相手がいないと生存できないわけではない。

こうした関係は「随意共生」とよばれ、草食動物と腸内微生物のように互いの存在が必須である「絶対共生」と区別されている。

< 図 随意共生の関係にあるアブラムシとアリ >  
「海野和男のデジタル昆虫記」より

果実をつける植物と、果実を食べて種子を運ぶ鳥類の関係も随意共生である。私たちになじみのサクラは、花が終わると小さなサクランボをつける。それはムクドリやヒヨドリなどに食べられ、やがてサクランボの種子が糞として排泄される。サクランボの種子は、鳥によって親木から離れた場所に運ばれ、そこで発芽して成長できるので、鳥がサクラの分布を広げるうえで一役買っている。もちろん、これはサクラだけではない。

都会の庭でも手入れをせず放置しておくと、いつの間にか多種多様な植物が生えてくる。イネ科植物やタンポポなどの雑草、ケヤキなどの種子は風で運ばれてくるが、サンショウ、

シュロ、ネズミモチ、マンリョウ、アオキなどの樹木は、どれも鳥が糞として運んできたものである。ただ、鳥はこれら植物の分布の拡大に貢献してはいるが、鳥に運ばれなくても親木の近くで育つことはできる。鳥もいろいろな植物の果実や昆虫も食べることができるので、どれか1種の植物がなくても生き残れないわけではない。

< 図 ナナカマドの赤い実を食べる野鳥、ヒヨドリ >  
ツグミやムクドリも、ナナカマドの実を好んで食べる。

### 持続可能性を求めて

最後に共生の起源を考えてみよう。人間は、何をすれば得で何をすれば損か、試行錯誤はあったとしても、ある程度予見することができる。だが、多くの生物はそのような頭脳をもちあわせていない。だから、互いの利益を考えて協定を結んだわけではなく、最初は相手を利用するだけの搾取から始まったに違いない。

例えば、アリは最初、アブラムシを餌として食べていた可能性が高い。だが、甘露を出すこの虫を殺さずにうまく利用すれば、しばらくは餌に困らなくて済むだろう。さらに、アブラムシから搾取するだけでなく、その天敵を撃退してアブラムシの個体数の目減りを防げば、より長期にわたって餌の確保が保証されるに違いない。羊飼いや牛飼いが、オオカミを追っ払うのと同じである。もちろん、こうした「持続可能性」をアリが頭で考えたのではなく、アブラムシの天敵を撃退するという行動を起こす遺伝子が、たまたま突然変異により発生し、その遺伝子が自然選択により集団中に広まったからに違いない。

おそらく、細胞内小器官も草食動物の胃の中の細菌も、最初は栄養の一方的な搾取や「居候」が始まりだったと思われる。やがて、搾取のみで相手を衰弱させるより、相手にもメリットを与えつつ自分らの将来も保障するという「知恵」が、自然選択のプロセスに突然変異を生み出させたに違いない。これは人間社会の進歩の過程と似ている。

競争至上主義は、経済や住環境が上向きのフロンティア型社会には適しているだろうが、資源の枯渇が差し迫り、環境問題が顕在化し、人口減少が進んだ先細りの社会、不確実性の高い社会では、誰もが安心して暮らせる共生社会が理想像として映るだろう。生物における共生社会の構築との違いは、人間は頭で考えられる分、成り行き任せの突然変異に頼らなくて済むことである。その点で、人間はほかの生物に比べてはるかに効率的に共生社会の実現に近づくことができるはずである。