

目 次

Index

老 若 老 若
化 い 返 る
す な ク
る い ラ
人 ネ ゲ
間 ズ
ミ

はじめに——本書の内容について

老化とはなにか？ 15

利己的遺伝子と自殺遺伝子 17

老化はどうやって進化したか？ 19

老化遺伝子 21

貴族遺伝子 24

この本はどこに向かって進んでいくのか？

科学革命の機が熟す 28

進化の競争を演じるのは

個体か、コミュニティか？ 30

幼い頃からの不安と妄想が、いまのわたしをつくるまで

死そのものではなく、

死に対する恐怖が怖い 32

癌の不安と汚染パラノイア 33

アルファルファとアフラトキシン 35

直感的に真実を見抜く 38

スペム以前の時代から 41

専門家たちは正しかった 42

古いダーウィンと新しいダーウィン 44

挑戦のしがいがある科学パズル 46

第一章

chapter. 1

あなたは車ではない——体に“ガタ”はこない

そもそも老化とはなんなのか？ 49

体VS.機械 50

食物エネルギー 53

年をとらない植物と動物 56

古い車を修理に出すか、

新しいモデルで買い換えるか？ 58

損耗VS.自己破壊 59

エントロピーとあれこれ 60

誤り導かれたふたつの老化理論 64

オーネグの仮説 65

フリーラジカル説 68

抗酸化物質はなぜ

そこまで壮大な期待倒れに終わったのか？ 73

第一章のまとめ 73

73

第二章

chapter. 2

肉体の遍歴——老化のさまざま

生物の寿命 76

人口統計学者の定義する「老化」

老化のもうひとつの定義 81

ハミルトンの証明 81
ファウペルのインチキ

老化の軌道 87

85

第三章

chapter.3

なんでもひとつの型にはめこもうとする	90	逆方向の老化	103
劇的な老化、突然の死	94	太古の老化	105
タコの無食欲	98	老化のスイッチを切ることのできるハチ	106
長寿記録保持者は植物	100	生殖後の寿命	107
樹木は年をとるか？	102	第二章のまとめ	111
拘束衣を着させられたダーウィン——現代の進化論を俯瞰する	134		
なぜ人は そんなことを信じてしまうのか？	112		
ダーウィンはセックスを怖っていた	116		
ネオダーウィニズムの起源	117		
実験室での進化	122		
二車線上の科学	129		
	132	動物は個体数を管理するか？	143
	134	個体の利益	137
	136	集団選択論争	141
	138	第三章のまとめ	143

第四章

chapter.4

老化の理論と理論の老化

老化理論はダーウィンの拘束衣を着せられている 若者に場所をあけろ	146
——ヴァイスマンの理論	147
老化進化理論の父メダワー	150
理論その1——突然変異蓄積	153
突然変異蓄積理論の問題点	155
理論その2——拮抗的多面發現	158
遺伝子とタイミング	160
拮抗的多面發現の問題点	163
提唱した論文でなされた予測	165
ジョージ・C・ウェイリアムズの 八つの予測とその結果	166
繁殖実験で多目的遺伝子を探す 野生の集団の中にマルチ遺伝子を探す	170
頭脳明晰な理論家のすばらしい理論 ——しかし事実にはそぐわない	175
理論その3——「使い捨ての体」	176
使い捨ての体理論のさらなる問題	177
赤ん坊を産むとほんとうに老けるのか? 使い捨ての体とカロリー制限	178
使い捨ての体理論を救いだす? ホルミシス、もしくはユーストレス	181
第四章のまとめ	201
183	173

第五章

chapter.5

老化が若かつた頃——複製老化

老化はずっと昔に進化した 203

地球の生命の短い歴史

——社会が有機的組織体になる 205

代謝のほうが生殖より先だとする説

生殖のほうが代謝より先だとする説

細胞壁が個体をつくる 209

セックス 213

純血の罪を避ける 216

飴と鞭 217

原生生物の老化——遺伝子共有を

208 207

拒否するものは死刑 219

複製老化はいかにして発見されたか
なぜそんなことが起こったのか？

テロメアと細胞老化 225

細胞老化はあなたや

わたしの老化にどう寄与するか 229

テロメアと癌 233

総括的な展望

——相も変わらずいつもおなじ 224

第五章のまとめ 235

235

221

第六章

chapter.6

老化がさらに若かつた頃——アポトーシス

第七章

chapter. 7

自然のバランス——人口のホメオスタシス

細胞はよきサマリア人たりえるか？	237
殺人から自殺へ	244
——細胞暗殺者を飼い慣らす	249
アボトーシスとなんの関係が？	251
ハンガー・ゲーム——より大きな	253
筋力低下、パーキンソン病、閉経	253
第六章のまとめ	253
集団に仕えるために	244
アボトーシスと人間の老化との関係	249
広い視野に立つ	254
なぜ純粹な	254
利己主義を主張するのか？	257
なぜ安定した	260
生態系が存在するのか？	262
独断的な定説	262
ロッキー山イナゴ——モラルの物語	264
すべてはタイミングである	271
北極の狩猟地区が失敗に終わったわけ	271
捕食者は獲物の個体数を維持する方向へ進化する	275
協力的進化の理論を支持した唯一の数学学者	279
進化をもたらす力としての人口制御	279
地球上で軽やかに生きる	280
生態系の安定性？	283
第七章のまとめ	283
瓶のなかの生態系	283

第八章

chapter. 8

全員が一気に死ぬことがなくなる——黒の女王の策略

全員が一気に死ぬことがなくなる

285

ホルミシスという
奇妙な現象

287

数学的無秩序と生態学的無秩序

292

個体数制御が
すべての動物の普遍原理になる

299

296

進化は進化する
進化可能性と老化

305
309

第八章のまとめ

312
309

被食者種の老化
細菌に対する防御としての老化
——赤の女王と黒の女王
進化は進化する
進化可能性と老化
第八章のまとめ
301
302
309

第九章

chapter. 9

長生きをするには

「自然」を分析する

318

ホルミシスと、

体重を減らすというトリック

カロリーの問題ではない

326

321

断食

328

運動！

331

体が自分を壊す四つの方法

336

第一〇章

chapter. 10

老化の近未来

すぐそこまできている アンチエイジング薬の未来	350	ビタミンD	343
老化した細胞を除去する 小さな分子に大きな効果	357 355	テロメアを延ばす	344
胸腺の再生 バッキーボール	363 361	第九章のまとめ	348
炎症——赤ん坊と浴槽の湯	363		342
			337
アボトーシスの調節の改善 あなたの幹細胞	365		
テロメアは寿命時計なのか?	368		
異時性並体結合——ヴァンパイア治療法 エピジエネティックな寿命時計	370		
第一〇章のまとめ	385		
	382		

第一二章

chapter. 11

明日の地球のために

謎とパラドックス

長寿の社会的影響

391 388

寿命延長は人口増加につながるか？

392

わたしたちは地球の生態系を

破壊しているのか？

394

人類は地球上の生命を

すべて絶滅させてしまうか？

396

わたしたちは特別なのか？

398

人口のゼロ成長——人類の長期的未来は、成長のない未来である

401

わたしたちはそれを未来と呼ぶ。なぜなら、なにが起こるかはわからないからだ

403

一〇〇〇年

406

簡単に答えの出る問題もある

406

交響曲のように、

ふたたび冒頭へ

408

原注

421

索引

427

訳者あとがき

428

本文中の「」内は訳注を表す。本文横の注番号は巻末の原注を参照。

序 章

Prologue

幼い頃からの不安と妄想が、 いまのわたしをつくるまで

死そのものではなく、死に対する恐怖が怖い

わたしは三歳のとき、父から「おまえはいつか死ぬだ」と聞かされた。わたしは震えあがつた。何十年か生きたあとに待っている永遠の無のことが頭から離れなくなり、しょっちゅうパニックを起こしては、真夜中に両親のベッドにもぐりこむようになった。いまのわたしは、幼い子供がこうした恐怖を覚えることが珍しくないのを知っている。しかし、死の恐怖を抽象的な概念として認識する子供はそう多くないようと思う。

わたしはむきだしの恐怖に襲われ、とんでもなく激しいパニックを経験した。自分を耐えがたいほど苦しめているものが恐怖そのものであること——死それ自身ではなく、死に対する恐怖であること——は、誰に教えられることなくわかつていた。しかし、まだ幼かったわたしは、恥ずかしさのあまりそれを人に打ち明けられなかつた。恐怖にひどく敏感なのは自分がとくに弱虫だからだと考え、誰の助けも借りらず、ひとりきりで恐怖と折り合いをつけなければならなかつた。

やがてわたしは気をまぎらわすことを学び、死を頭か

ら締めだした。自分に対し、「いつの日か死と出合うことは間違いないにしても、いまのことろはとんでもなく不安だというにすぎないじゃないか」と言い聞かせたのである。そして、自分自身と協定を結んだ。いまは死に対する恐怖を忘れる贅沢ばざわを自分に許す。その代わり、三五歳になつたら死すべき運命の問題に立ち戻つて解決策を考える——そう自分に約束したのだ。まだ小学校にもあがつていなかつたが、わたしはその頃からかなり数字に強かつた。三五歳なら恐怖を感じないですむくらい遠い未来であると同時に、父が教えてくれた人間の寿命の半分でしかなかつた。

で、どうなつたか？　予測は一〇年ずれていた。三五歳になつたとき、わたしは養女に迎えた娘に夢中で、ほかのことなどにも目に入つていなかつた。しかし、四六歳になつたとき、内なる準備が整つたところに外的な要因が重なり、わたしは死を真剣に見つめはじめた。それはまず科学的な研究としてはじまり、ほかのさまざまな研究へと発展し、最終的にこの本へと結実した。と同時に、わたしはより若々しい体を手に入れ、エネルギーを回復し、健康的になり、かつてわたしを麻痺まひさせた恐怖は安らぎと自信に取つて代わつた。

癌の不安と汚染パラノイア

わたしが成人を迎えた一九六〇年代は、ちょうど「自然派志向」という言葉が流行りはじめた頃はやだった。当時のわたしは「健康＝長生き」であると信じていた。たぶん多くの人は、いまもそう信じているはずだ。その頃のわたしが考えていた健康維持とは、体が必要としているものすべてあたえることだった。ビタミン、ミネラル、完全タンパク質「すべての必須アミノ酸を含むタ

ンパク質」、じゅうぶんな休養、適度な運動、ストレスの少ないライフスタイル。多ければ多いほどいいはずだと考え、睡眠は九時間とるように心がけ、おなじ理由から、一日に一二〇グラムのプロテインの摂取——赤身の肉を五〇〇グラム近く食べること——を自分に課した。

わたしは不安に怯えていた。とりわけ癌が怖かつた。ほんのわずかな放射線、ちょっととした偏食、農薬、空気中の汚染物質などがきっかけで、癌を発症するのではないか？ いまのわたしは、癌は全身性疾患だと考えている。しかし当時は、たった一回の不運な遺伝子変異から生まれた変異細胞があつという間に増殖し、すぐにも命を奪われるかもしれない信じこんでいた。

この思いこみは、さらなるバラノイアを招き寄せた。現代生活によつて自分が汚染されていると考えると、強迫観念がどんどん襲いかかってきたのだ。大気汚染に不安を覚え、タバコの煙には気も狂わんばかりになつた。一九七〇年代には、誰もがいたるところでタバコを吸つており、カリフォルニアでさえ例外ではなかつた。

わたしはカリフォルニア大学バークレー校で天体物理学を専攻し、コンピュータ・モデルを使つて宇宙の研究をしていた。わたしは性格的にも職業的にも科学者だったが、老化の科学に目を向けることになるのはまだ何年も先だつたし、ライフスタイルと長寿の相互関係について医療科学がどんな見解を持つてゐるかにも、まだ興味を持つていなかつた。

わたしはグラノーラと全粒粉パンを食べてゐた。乾燥酵母やレシチンやスピルリナを試し、健康と長生きの奇跡を伝える記事を見つけると、そのたびにむさぼるように読んだ。当時、菜食主義を信奉しているのは、まだ一部の健康マニアと安息日再臨派のキリスト教徒だけだった。一九七二年にわたしがバークレーでヨガをはじめたとき、毎週開かれているヨガ教室がある街は、ア

メリカにごくわずかしかなかつたはずだ。長年にわたつてヨガに鍛えられたわたしは、自分自身の体に対する感覚を研ぎすましていった。

ヨガをはじめてから半年後のある夜、わたしが床に横たわつてサヴァサナ（完全に体から力を抜いた、いわゆる死体のポーズ）をしていると、誰からも敬愛されていた女性講師がクラスのみんなに声をかけた。

「これからは食事から肉を減らしていきましょう」と、彼女はいった。わたしはびっくりして目を開き、はつと起き直つた。

数週間まえから、その女性講師はコーヒーとアルコールとテレビとマリファナ（当時のバークレーでは誰もがマリファナをやっていた）とタバコをやめようと提言していた。わたしはそれをすべて無理なく実践していた。そうしたものに執着がなかつたからだ。しかし、酒やドラッグだけではなく肉まで我慢する？ いつたいどういうことだ？ タンパク質がきわめて豊富な食事は体を強くし、健康維持に役立つ——わたしはそう信じて疑つていなかつた。当時はまだ「ニューエイジ系のやつらのタワゴト」という表現は生まれていなかつたが、わたしの心が探していたのはまさにその言葉だつた。

六週間後、わたしは菜食主義者になつた。以来、肉は一度も口にしていない。死体のポーズをとつていたときにうけた催眠暗示は、動物を殺すことに対する潜在的な嫌悪感を目覚めさせた。科学とはまったく関係がなかつた。現在では、肉の摂取を抑えることが長生きにつながるというエビデンスがある。しかし、当時はそんなことなど知るよしもなかつた。

一九八二年、わたしはハワイー・フルムキンと友人になつた（現在、フルムキンはワシントン

大学公共健康医学専攻の学部長になっている）。気取らない温かさときらめく瞳の持ち主であるフルムキンは、医大を出たばかりだったが、堂々とした知性を感じさせる人物だった。わたしはペンシルヴェニア大学病院のオフィスで彼と会い、ものごころついてからずつと癌が心配で眠れないと告白した。

「癌は高齢者の病気だよ」と、フルムキンはいった。彼はわたしをすわらせてグラフを見せた。小児白血病をべつにすれば、若者が癌を発症する危険性は非常に低い。発症率は七〇代から九〇代にかけて急激に高まり、ピークを迎える。そのことをまったく知らなかつたわたしは、説明を聞いてホッとした。こうしてわたしは強迫観念から解放されたのである。

アルファアルファとアフラトキシン

一九八〇年代のなれば、わたしの「長生き計画」は新たな大転換を迎えた。きつかけとなつたのは、ブルース・エイムスが『サイエンス』誌に連載した天然殺虫剤に関する記事だ。エイムスは食品に含まれている発癌性物質を研究していたときに「エイムス試験」を考案して有名になつた。この試験は発癌性のある食品添加物をふるいにかける簡易な方法で、これが導入されたおかげで業界は何百万ドルも節約できたうえに、何千匹もの罪のないウサギが命を救われた。

わたしは典型的な自然志向派人間だった。食品に含まれる農薬と保存料が健康に対する最大の脅威だと信じていた。そこにエイムスが新しい知識をもたらした。殺虫剤を発明したのは人類ではないというのだ。この惑星に甲虫とバッタが登場して以来、植物は自分自身を守るために化学物質を製造してきた。こうした天然殺虫剤の一部は、マウスやラットを使つた実験で発癌性があ

ることが明らかになっている。しかし、食品医薬品局の管理方針によると、同局は禁止も規制もできないどころか、メーカーに表示を義務づけることさえできないのだという。こうした天然殺虫剤成分には、食品医薬品局合格証があたえられている。

エイムスの爆弾が投下されてから何年ものあいだ、わたしはさまざまな食材を食べることを拒否して家族をうんざりさせ、不便な思いをさせつづけた（もっととも我慢強かったのは妻だ）。黒胡椒、ビート、アルファルファ、ピーナッツバター（アフラトキシンを含むため）、ペースニップ、ジャガイモ（ソラニンを含むため）、バジル、セロリ、マスタード、ホウレンソウ（酢酸を含むため）——わたしが拒否したこうした食材は、エイムスが発癌性テストと摂取率から算出した「アメリカ食品危険度ランキング」の上位を占めていた。

そのリストにはブロッコリーも入っていた。しかし……ブロッコリーをあきらめることなどできるだろうか？

二〇一四年の春、それまでまったく交流のなかつた遠縁の女性が、父方の祖母の家系図をメールで送ってきた。彼女によれば、ブルース・エイムスはわたしの一世代離れたまたいとこにあたるのだという。わたしは喜んだ。エイムスは八五歳になつた当時もカリフォルニア大学バークレー校の研究室で精力的に研究を指揮し、これまで以上に目をきらめかせ、革新的なリサーチの成果を発表しつづけていた。

わたしはエイムスの仕事を深く尊敬してきた。しかし、食品に含まれる毒素に対する彼のアプローチには、それほど重きをおかなくなつっていた。食品に含まれる適度な毒素は人間にとつてよいものであり、毒素がまったくないよりもあつたほうが長生きできるようなのだ。

直感的に真実を見抜く

一九九六年一月、『サイエンティフィック・アメリカン』誌にカロリー制限と寿命に関する記事が掲載された。ウイスコンシン大学の生物学者リチャード・ワインドルッチ教授によるその記事には、食事量の少ない動物のほうが長生きするという調査結果が報告されていた。³これは実験用ラットの代謝作用がたまたま気まぐれを起こしたのではない。実験にはイヌ、クモ、酵母、トカゲも使われており、ワインドルッチ教授はさらにアカゲザルでも実験を行なっていたが、どの動物も飢餓療法を行なつたもののほうが長生きだった。

この驚くべき事實を知ったわたしは考え方を方向転換し、「老化とはなにか」という問い合わせする回答にたどりつくと同時に、老化の進化の起源や、健康との深い関係を理解するに至った。ワインドルッチ教授の記事を読んでからの数日間、わたしは公園を長々と散歩し、これまでの自分は間違った敵と戦っていたのだと考えながら、困惑のあまり頭をかきむしった。老化は内部の者の犯行であり、自己破壊のプロセスなのだ。わたしはこのメッセージを、「極端にカロリーが欠乏しているため、エネルギーを必死に節約しているとき、体は老化を出し抜くことができる」という事實から引きだした。ということは、食物が豊富にあるとき、体は老化を避けられるにもかかわらず、避けようとしていることだ。どうやら、老化はわたしたちの遺伝子のなかにプログラムされているらしい。

これに気づいたのは、まぐれ当たりかもしれない。もしくは、専門分野の人間ではないからこそ、全体的な眺望がつかめたのかもしれない。以来、老化は遺伝子にプログラムされているという説はわたしのリサーチの中心であり、この本の主要テーマにもなっている。

わたしは知らなかつたが、一九九六年の時点においても、この説を立証するエビデンスはいくつもあつた。現在ではさらに多くのエビデンスがそろつてゐる。老化をコントロールする遺伝子がいくつか発見されているし、老化を起こすエピジェネティック・メカニズムのいくつかが姿を現わしへじめている（エピジェネティクス＝後世遺伝学とは、遺伝子発現の変異を研究する科学のことである）。

この理論上の新説に行きついたのは、ちょうど実際的なセルフケアが必要になつてきたときだつた。全粒粉パンとオーガニックの豆腐をたっぷり食べておられたおかげで、生まれてはじめて腰のまわりに贅肉^{ゼイミ}がついてきたのだ。幸運なことにわたしは代謝がよく、体重を気にすることなく好きなものを食べてきただが、当時の体重は二〇代や三〇代の頃より五キロ近くも増えていた。わたしはすぐさまダイエットをはじめ、強い意志の力で減量した。体重を減らすのは思つていたよりもずっとたいへんだったものの、大きな達成感があつた。エネルギーがありあまつていたのでランニングをはじめ、その年の秋にはハーフマラソンに挑戦した。同時に、子供の頃からわたしをがっちりつかんでいた死の恐怖が、ようやくわらいでいった。

このときわたしは、自分が長生きの秘訣^{ひけ}を間違つたところに求めていたことに気づいた。それまでは、栄養の摂取を最大化し、毒の摂取を最小化することばかり考えていたのだが、それは間違つていた。健康維持の真理を見誤つていただけでなく、そもそも敵の本質を誤解していたのである。わたしの考えはすべて、「老化とはどんなもので、どんなふうに作用するか」という漠然とした理解に基づいていた。このときわたしのなかで、科学と健康と老化が、はじめてひとつにまとまりはじめた。

ここから浮かびあがってきたメッセージはひどく意外で、方向感覚を失わせるものだった。しかもこの物語には、わたしの知的興味をくすぐるべつの要素があった。わたしはカロリー制限効果をずっと不思議に思っていた。この効果はどういうふうに進化してきたのか？ 人間の細胞と器官の機能は、すべて進化の過程で形づくられたもので、その文脈においてのみ理解できる。飢餓への適応反応が、なぜ寿命が延びることにつながるのだろう？ カロリー制限をすると寿命が延びる動物種は多い。とすれば、食物が不足すると長生きすることに、普遍的な価値があるとしか考えられない。非常に多くの種が進化の過程でこの力を身につけたのなら、そこにはなにか目的があるはずだ。しかもその目的はとても普遍的で、酵母にもイヌにも適用できるにちがいない。

しかし、いったいどういう目的なのか？

飢えた動物が特別な力を身につけるべき理由を、わたしはいろいろ考えた。飢餓を生き延びるためにどうか？ そのときのわたしは、なぜ老化が遺伝子にプログラムされているのか、まだはつきりわかつていなかつた。しかしながらかの理由で、自然是偶然の変動に左右される寿命よりも、安定した予想のできる寿命を好むのではないか。長すぎも短すぎもしない寿命を自然選択が好むのなら、飢餓があつたときに、老化現象が一時的にとまるのは筋が通っている。非常に多くの生命がすでに飢えによって短縮されているからだ。逆にいえば、食べものが豊富にあるときは、老化は寿命をガツガツ食べなければならない。さもないと、状況が悪くなつたときに、寿命を延ばす余地がなくなつてしまふ。

スパム以前の時代から

老化とカロリー制限の関係をめぐるこうした推理に、わたしはすっかり夢中になってしまった。実際のところ、一〇年前に壮大な宇宙論に出会ったとき以来、最大の知的興奮だった。わたしは簡潔で、稚拙で、ちょっとばかり尊大なエッセイを書きあげ、それをオンライン上で見つけたメーリングリストで一〇〇人ほどの進化生物学者に送った。まだワールド・ワイド・ウェブの草創記だったから、テキストベース通信だった。Eメールは政府と大学から広まり、一般の利用へとつながつていった。その頃はスパムなど存在していなかつた。インターネットがまだ汚れていたかった時代を覚えているだろうか？そこには紳士協定があり、大多数のEメールは基本的に無料だつたけれど、当時のわたしたちは求められてもいらない広告メッセージでインターネットが汚されるのを許すつもりはなかつた。おかげでわたしのメールは、削除も無視もされなかつた。

返信は三〇ほどあり、そのうちのいくつかはとても寛大で気づかいに満ちていた。返信をくれた進化生物学者たちはみな、「あなたの考えは間違っている。進化は個体にのみ働くもので、コミュニティには働くない」といっていた。彼らはわざわざ時間を割いて説明してくれた。あなたはよくあるミスを犯している。ほかの科学者たちも以前にそれとおなじミスを犯したが、進化論者たちは一九七〇年代に自分たちの考え方を修正した。この世に「集団選択」などというものは存在しない。自然選択はあくまで個体にのみ働く。ジョージ・C・ウイリアムズの『適応と自然選択』を読んでみるといい——。

こうして、わたしの膝の上に純粹な科学上の謎が落ちてきた。わたしはすみやかにそれを投げ、その探究にだんだんと打ちこみはじめた。

「動物が苦境に陥ったときに備えて、進化はなんらかの力をあたえようとするはずだ」というのがわたしの考え方だった。この説は集団選択理論でなければ説明がつかないのか？もし説明がつかないとして、集団選択のどこが非科学的なのか？わたしには学ぶべきことがたくさんあった。質問に丁寧に答えてくれたその道の専門家たちのほうが自分より知識が豊富であることを疑うほど、わたしは傲慢ではなかった。しかし、明白なパラドックス——飢えた動物は、必要な栄養をすべて手に入れた動物よりも、より長く健康的な生を享受できること——に対して、彼らのうちの誰ひとりとして納得のいく説明を提供していないことが、わたしの好奇心を刺激した。専門家たちのいうように、わたしの考え方には欠陥があるのか？それとも、自分は専門家たちが見逃しているものを見ているのか？わたしは偏見のない心で見定めようと決心した。

専門家たちは正しかつた

科学者としてのわたしは、読むことより考えることに重きをおいている。新しい問題に直面したときは、長い散歩をして深い思索にふけったり、ノートに等式を殴り書きしたりする。ときには、メモ用紙に書きこんだ数字だけを相手に格闘することさえある。グーグルで答えを検索するのに較べ、このプロセスはとんでもなく効率が悪い。しかもすぐ道に迷ってしまい、正しい答えにたどりつくのとおなじくらいの頻度で間違える。それでもわたしは、まずはこの方法をつづけてみる。こうした時間の非効率的な使い方を、わたしはこう考えて合理化している。間違ったアイディアをいくつも試し、それを最後までたどっていくことは、自分の得た知識に確信をあたえてくれるだけでなく、この世界の仕組みをより深く理解する助けになるのではないか、と。

しかし、公園を何度も散歩したあとで、わたしは納得せざるをえなかつた。「もし進化が老化を選ぶとすれば、集団選択以外に方法は考えられない」とする専門家たちは正しい。個体選択の理論で考えた場合、長寿な個体と短命な個体が生存競争をすれば、長寿な個体のほうがより多くの子孫を残すから、彼らの遺伝子が短命な個体の遺伝子を押しのける結果になるはずだ。とすれば、生命の寿命はどんどん延びていかなくてはおかしい。

しかしこれは、老化は絶対に進化できないということではない。寿命が一定した個体の集団は、寿命の長さがてんでばらばらな個体の集団よりも、いろいろな意味で適応力が高いという可能性は残つてゐる。ただし、長寿が進化の要因になるためには、ひとつの集団とべつの集団の競争が必要となる。それが専門家たちのいうところの「集団選択」だ（読者のみなさんは、これをいますぐ理解する必要はない。わたしがこれからじっくり説明していくので、すこしづつわかつてくらはずだ）。

その夏、わたしは散歩をたっぷり楽しんだものの、明確な答えは得られなかつた。集団選択はなぜそこまで否定されるのか？ 集団選択は進化の道具箱に入つていないと、専門家たちはなぜあれほどまでに確信しているのか？ その問題をひとり考え抜いた末に、わたしは多くの進化論者が推薦するジョージ・C・ウイリアムズの本をようやくのことで読んでみた。それは刺激的で、示唆に富んでいた。ウイリアムズの本によつて目を開かれたわたしは、より具体的かつ本格的な方法で進化について考えるようになつた。しかし、わたしは集団選択のどこが悪いのかまだわからなかつた。専門家たちはすべて、たんに科学的な偏見にとらわれているのではないか？

古いダーウィンと新しいダーウィン

わたしはペンシルヴェニア大学生物学科の会員になった。自宅から近くで便利だったからだ。わたしは教授たちと話をし、進化の講義を受講し、進化論者たちがどのような考え方をするのか知るために本を読んだ。こうしてわかったのは、過去七〇年間、この分野は「集団遺伝学」として知られている方法論に支配されているということだった。これは「現代の総合」とも呼ばれるが、わたしは本書で三番目の名前を使うことにする——「ネオダーウィニズム」だ。

ネオダーウィニズムはダーウィンの進化論とおなじものではない。ダーウィンはナチュラリストで、自然に学び、自分の見たものを記述すると同時に、さまざまな観察結果を自然選択と結びつけようとした。彼の考え方は漠然としていて（わたしは正しい姿勢だと思う）、ときにはいささか自己矛盾気味でさえあつた。ダーウィンの同時代人であるサミュエル・バトラーは、それを“ピクピク動くイヌの鼻”と揶揄した。自然選択が当てはまるものを、ダーウィンがそちらじゅうに嗅ぎつけたからだ。

ネオダーウィニズムは一九三〇年代に起つた。これはダーウィンの理論をより厳格で計量可能なものにしようという試みだった。実際、ネオダーウィニズムは生物学の知識がほとんどない数学者によって確立されたものだ。物理学者であるわたしは、ネオダーウィニズムの考え方と方法論にすぐさまなじんだ。それはまっすぐで、論理的に説得力があった。

しかし、その理論にのめりこめばのめりこむほど、ネオダーウィニズムは現実の生物の諸相をうまく説明できていないことに気がついた。生物にとってごく普遍的な重大事項のいくつかは、ネオダーウィニズムのコンテキストにおいてはつじつまが合わない。たとえば老化と死だ——わ

たしは以降の章で、ネオダーウィニズムの枠組みのなかでは、老化に関する基本的事実を説明できることは思えない理由を示したいと思う。さらにいえば、ネオダーウィニズムは有性生殖を説明できないし、進化を可能にするために「設計された」としか思えないゲノムの構造も説明できない。また、ネオダーウィニズムには、エピジェネティクスや遺伝子の水平伝播「遺伝ではなく他個体や他種による遺伝子の取り込み」といった、近年になつて立証された現象をうけいれる場所がない。

ある日、わたしはベンシルヴェニア大学の生物医学図書館で、進化生物学の分野でもっとも尊敬されている学者のひとり、ジョン・マイナード・スミスの論文に目を通した。⁴論文のタイトルは「集団選択」。おそらく、マイナード・スミスの文章が、それまでに読んだどの論文よりも明快だったのだろう。さもなければ、わたしがようやくのことで、権威者に対しても公平な気持ちで接したのかもしれない。このときわたしは、向き合つたふたつの顔を描いた絵が、突然、壺の絵に見えた瞬間のように理解した。進化生物学の分野における最高の理論のどれもが、自然選択は集団に影響をあたえるという考えをなぜ認めないのかを。

進化的新奇性は、偶然によつて引き起こされる突然変異に依存している。突然変異は最初たつたひとつつの個体に現われ、それ以降、集団に広がっていくときもあるし、ことわざにあるように「一回限りの成功者」として死んでいくときもある。

個人の成功のためにはマイナスでしかないが、もしすべての個人がその特性を身につければ、共同体にとってはプラスとなる特性について考えてみよう。仲間同士の協力がいい例だ。この特

性はたったひとりが身につけても意味がない。仲間に協力する個人がひとりしかおらず、ほかの全員はそいつの助けでおいしい目を見ているだけで、見返りになにも差しださないとしたら、この特性は個人を不利な立場に押しやるものでしかない。もちろん、個人が自分のためにしか働くない集団に較べ、仲間同士が協力する集団は、グループ作業においてずっと効率的である。しかし、わたしたちはどうやってそこに至るのか？ 仲間同士で協力しあう遺伝子が誰かひとりのなかに生まれたとして、それがグループ全体に広がっていくと考える理由はなにひとつない。実際、自然選択はそもそもその最初からそれに反対する働きをする。そうした遺伝子がグループ内に広がつていけないのであれば——すくなくとも苦戦を強いられるることは明らかだ——それがグループのためになるかならないかは、決してわからないで終わるだろう。

わたしははじめて、専門家たちが集団選択に懷疑的である理由を理解した。図書館から自転車で家に帰るときの胃のむかつきを、いまでも覚えている。

挑戦のしがいがある科学パズル

これまでの説明でおわかりのように、わたしは樂々と勝利を手に入れたわけではない。それどころか、進化論の専門家たちには見えていないものを、自分が一瞬にして見てとったと知つて、ひとりよがりの満足を得ることさえできなかつた。しかし、しばらくするうちに、自分の手にしているものが純粹な難問であることがわかつてきた。挑戦のしがいがある科学パズルだ。進化が寿命を短くすることを選び、大多数の動物種のゲノムに老化をインストールしたことは、以前からはつきりわかつていた。しかし、いまやわたしはパラドックスを正しく認識していた。老化は

個体にとつては有害だが、集団にとつては有益だ。老化をコントロールしている遺伝子が集団全体にとつてプラスとなる効果を発揮するには、まずはすべての個体に広がり、集団を乗っ取らなければならぬ。では、老化をコントロールしている遺伝子はいったいどうやって広がったのか？突然変異で長寿化した個体が新しい支配者となり、老化遺伝子を持つほかの個体を駆逐してもおかしくないのに、老化はどのようにしてゲノムのなかで存続してきたのか？このパズルにわたしは深くのめりこみ、挑戦のしがいと満足を見出した。もし運がよければ、物理学の研究に役に立つた数学モデリングの技術を、新しい分野に応用できるかもしれないかった。

それとおなじ年、わたしは『ニューヨーク・タイムズ』の科学欄の特集記事に行き当たった。その記事は集団選択の研究に生涯を捧げてきたビンガムトン大学の教授に関するもので、こんなふうにはじまっていた。

デイヴィッド・スローン・ウィルソンは博士号を得たばかりの二〇代前半に、進化生物学を代表する理論家のところへ行き、ローマ教皇に無神論を売りつけるも同然のことをした。「彼のオフィスに入つていって言つたんだ。『わたしはあなたに、集団選択が正しいことを納得させてみせますよ』とね」とドクター・ウィルソンは回想する。しかし、この試みは失敗に終わった。ドクター・ウィルソンが標的に選んだニューヨーク州立大学のジョージ・C・ウイリアムズは、ほんの数年前の一九六六年に発表した『適応と自然選択』で、まさにその考え方を知的地図からすっぱり消し去つたことで有名になつた人物だったのだ。

わたしはデイヴィッドに手紙を書いた。デイヴィッドは親切にも、ビンガムトンにきて午後をいつしょに過ごさないかと誘ってくれた。つづく数カ月、わたしたちは緊密な共同作業を行なった。わたしにとってそれは、故郷に帰ってきたかのような経験だった。やがて彼は、友好的で協力的な進化生物学者コミュニティの左翼（集団選択のプロセスを研究、擁護している人たち）を紹介してくれた。わたしは探究すべき魅惑的なパズルを手に入れ、自分を導いてくれる師を持った。こうしてわたしは、老化研究の世界へと足を踏み入れたのである。

そもそも老化とはなんなのか？

わたしは誰かに老化の話ををするとき、いつも「あなたは老化をどんなものだと思っていますか？」と質問する。老化については誰もが考えたことがあるはずだ。すくなくとも、家族や自分自身の老いを意識したことがない人はいないだろう。老化とはなにか？　そして、それはいったいどこからやってくるのか？

進化生物学者たちを相手に講演をするときにこの質問をすると、たいていの場合は「老化とは生殖に関わる遺伝子の多面発現性が原因である」という答えが返ってくる。これは序文で挙げた老化の謎に対する二番目の理論（交換条件と妥協）にある。

しかし、大学で進化生物学を研究している専門家以外に、そんな答えをする人はいない。基本的に、老化に対する一般的な認識はふたつある。教養のある一般人の半分は、老化の意味を（わたしが唱えているように）正しく認識している。この章は、残る半分の人たちに向けて書かれたものだ。

第1章

chapter.1

あなたは車ではない ——体に“ガタ”はこない

若返るクラゲ 老いないネズミ 老化する人間
ジョシュ・ミッテルドルフ／ドリオン・セーガン・著
矢口誠・訳

発行：集英社インターナショナル（発売 集英社）
定価：2,700円（本体）+税
発売日：2018年10月26日
ISBN：978-4-7976-7354-8 C0045

ウェブでのご予約・ご注文は [こちらにどうぞ！](#)