

目次

Index

若返るクラゲ
老いないネズミ
老化する人間

序章

Prologue

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? 27

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シン 36

直感的に真実を見抜く 38

スパム以前の時代から 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？

49

エントロピーとあれこれ

60

体VS.機械

50

誤り導かれたふたつの老化理論

64

食物エネルギー

53

オーゲルの仮説

65

年をとらない植物と動物

56

フリーラジカル説

68

古い車を修理に出すか、

56

抗酸化物質はなぜ

68

新しいモデルに買い換えるか？

58

そこまで壮大な期待倒れに終わったのか？

73

損耗VS.自己破壊

59

第一章のまとめ

73

第二章

chapter.2

肉体の遍歴——老化のさきまひま

生物の寿命

76

ハミルトンの証明

81

人口統計学者の定義する「老化」

79

ファウベルのインチキ

85

老化のもうひとつの定義

81

老化の軌道

87

第三章

chapter.3

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

- 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
- なぜ人は
動物は個体数を管理するか？ 134
そんなことを信じてしまうのか？ 112
個体の利益 137
ダーウィンはセックスを怖れていた 116
集団選択論争 141
ネオダーウィニズムの起源 122
第三章のまとめ 143
実験室での進化 129
二車線上の科学 132

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 146
- 若者に場所をあける
——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——拮抗的多面発現 158
- 遺伝子とタイミング 160
- 拮抗的多面発現の問題点 163
- 拮抗的多面発現を
提唱した論文でなされた予測 165
- ジョージ・C・ウィリアムズの
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 170
- 野生の集団のなかにマルチ遺伝子を探す 173
- 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 181
- 赤ん坊を産むとほんとうに老けるのか？ 183
- 使い捨ての体とカロリー制限 187
- 使い捨ての体理論を救います？ 193
- ホルミシス、もしくはユーストレス 194
- 第四章のまとめ 201

第五章

chapter. 5

老化が若かった頃——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 207

生殖のほうが代謝より先だとする説 208

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

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? 224

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とおなじ 235

第五章のまとめ 235

第六章

chapter. 6

老化がさらに若かった頃——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
——細胞暗殺者を飼い慣らす 239
アポトーシスとなんの関係が？ 243
ハンガー・ゲーム——より大きな
- 集団に仕えるために 244
アポトーシスと人間の老化との関係 251
筋力低下、パーキンソン病、閉経 249
第六章のまとめ 253
- 広い視野に立つ 254
なぜ純粋な
利己主義を主張するのか？ 257
なぜ安定した
生態系が存在するのか？ 260
独断的な定説 262
ロッキー山イナゴ——モラルの物語 264
生態系の安定性？ 267
瓶のなかの生態系 268
- 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 273
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者
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
第七章のまとめ 283
- 276

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 296

捕食者種の老化 299

被食者種の老化 301

細菌に対する防御としての老化

——赤の女王と黒の女王 302

進化は進化する 305

進化可能性と老化 309

第八章のまとめ 312

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 321

カロリーの問題ではない 326

断食 328

運動！ 331

体が自分を壊す四つの方法 336

第二〇章

chapter.10

老化の近未来

- 抗炎症性プロゲラム
—— アスピリン・魚・カレー
メラトニンと体内時計 340
免疫システムを保護する 342
- 337
- ビタミンD 343
テロメアを延ばす 344
第九章のまとめ 348
- すぐそこまできている
アンチエイジング薬の未来 350
老化した細胞を除去する 355
小さな分子に大きな効果 357
胸腺の再生 359
バックキーボード 361
- 炎症——赤ん坊と浴槽の湯 363
- アポトーシスの調節の改善 365
あなた自身の幹細胞 368
テロメアは寿命時計なのか？ 370
異時性並体結合——ヴァンパイア治療法 377
エピジェネティックな寿命時計 382
第一〇章のまとめ 385

第二章

chapter.11

明日の地球のために

謎とパラドックス 388

長寿の社会的影響 391

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、

なにか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んだ」と聞かされた。わたしは震えあがった。何十年か生きて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に思う。

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——死それ自体ではなく、死に対する恐怖であること——は、誰に教えられないことなくわかっていた。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った。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った。

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。自分に対して、「いつの日か死と出合うことは間違いないにしても、いまのとこ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、自身と協定を結んだ。いまは死に対する恐怖を忘れる贅沢ぜいたくを自分に許す。その代わり、三五歳になったら死すべき運命の問題に立ち戻って解決策を考える——そう自分に約束したのだ。まだ小学校にもあがっていなかったが、わたしはその頃からかなり数字に強かった。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はなかった。

で、どうなったか？ 予測は一〇年ずれていた。三五歳になったとき、わたしは養女に迎えた娘に夢中で、ほかのことなどなにも目に入っていなかった。しかし、四六歳になったとき、内なる準備が整っ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って代わった。

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」という言葉が流行はやりりはじめた頃だった。当時のわたしは「健康Ⅱ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を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

ンバク質」、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。とりわけ癌が怖かった。ほんのわずかな放射線、ちょっとした偏食、農薬、空気中の汚染物質などがきつかけで、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まに増殖し、すぐにも命を奪われるかもしれないと信じこんでいた。

この思いこみは、さらなるパラノイアを招き寄せた。現代生活によっ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った。一九七〇年代には、誰もがいたるところでタバコを吸っており、カリフォルニアでさえ例外ではなかった。

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・モデルを使っ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ったし、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っているかにも、まだ興味を持っていなかった。

わたしはグラノーラと全粒粉パンを食べていた。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ったはずだ。長年にわたっ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ってサヴァサナ（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、はっと起き直った。

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（当時のパ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ったからだ。しかし、酒やドラッグだけでなく肉まで我慢する？ いっ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っていなかった。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ったが、わたしの心が探していたのはまさにその言葉だった。

六週間後、わたしは菜食主義者になった。以来、肉は一度も口にしていない。死体のポーズをとっ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った。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った。

一九八二年、わたしはハウイー・フルムキンと友人になった（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っ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ったわたしは、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。

アルファルファとアフラトキシン

一九八〇年代のなかば、わたしの「長生き計画」は新たな大転換を迎えた。きっかけとなったのは、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った。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っ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（もっとも我慢強かったのは妻だ）。黒胡椒、ピート、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）、パースニツプ、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（シュウ酸を含むため）——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らるだろうか？

二〇一四年の春、それまでまったく交流のなかった遠縁の女性が、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っ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、革新的なり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っていた。食品に含まれる適度な毒素は人間にとってよいものであり、毒素がまったくないよりもあったほうが長生きできるようなのだ。^{1,2}

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。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。実験にはイス、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っていたが、どの動物も飢餓療法を行なったもののほうが長生きだった。

この驚くべき事実を知ったわたしは考え方を方向転換し、「老化とはなにか」という問いに対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、これまでの自分と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」という事実から引き出した。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、避けようとしなまいことだ。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。

わたしは知らなかったが、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った。現在ではさらに多くのエビデンスがそろっている。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、老化を起すエビジェネティック・メカニズムのいくつかが姿を現わしはじめている（エビジェネティクスⅡ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ってきたときだった。全粒粉パンとオーガニックの豆腐をたっぷり食べてきたおかげで、生まれてはじめて腰のまわりに贅肉が^{せびね}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のだが、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っていたよりもずっとたいへんだったものの、大きな達成感があった。エネルギーがありあまっ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、ようやくやわらいでいった。

このときわたしは、自分が長生きの秘訣^{ひけつ}を間違ったところに求めていることに気づいた。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、それは間違っていた。健康維持の真理を見誤っていただけでなく、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。この効果はどのような進化してきたのか？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か？

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、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だろうか？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、まだはつきりわかっていなかった。しかしなんらかの理由で、自然は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、飢餓があったときに、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には、老化は寿命をガツガツ食べなければならぬ。さもないと、状況が悪くなったときに、寿命を延ばす余地がなくなってしまう。

スパム以前の時代から

老化和カローリ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合ったとき以来、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っていった。その頃はスパムなど存在していなかった。インターネットがまだ汚れていな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ったけれど、当時のわたしたちは求められてもい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った。おかげでわたしのメールは、削除も無視もされなかった。

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かない」といつていた。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・ウィリアムズの『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粋な科学上の謎が落ちてきた。わたしはすみやかにそれを拾いあげ、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った

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。グループで答えを検索するのに比べ、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おなじくらし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った。「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つ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、寿命の長さがで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っている。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、すこしずつわかってくるはずだ）。

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った。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っていないと、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・ウィ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。ウィリアムズの本によっ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った。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った。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。自宅から近くて便利だったからだ。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ムで、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った。ダーウィンの同時代人であるサミュエル・パトラーは、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、ダーウィンがそこ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こった。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ていう試みだった。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、近年になって立証された現象をうけいれる場所がない。

ある日、わたしはペ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・メイナード・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、メイナード・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、権威者に対して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、向き合っ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、偶然によって引き起こされる突然変異に依存している。突然変異は最初たったひとつの個体に現われ、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。仲間にも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かない集団に較べ、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っていけないのであれば——すくなくとも苦戦を強いられることは明らかだ——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、専門家たちが集団選択に懐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、わたしは楽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って、ひとりよがりの満足を得ることさえできなかった。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ってきた。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、以前からはっきりわかっていた。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

個体にとっては有害だが、集団にとっては有益だ。老化をコントロールしている遺伝子が集団全体にとっ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つ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、物理学の研究に役立っ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。5

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。

「彼のオフィスに入っていて言っただ。『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・ウィリアムズは、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、まさにその考えを知的地図からすっぱり消し去ったことで有名になった人物だったのだ。

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っしょに過ごさないかと誘ってくれた。つづく数ヵ月、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力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。

第 1 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？

わたしは誰かに老化の話をするとき、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。老化とは何か？ 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）にあたる。

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。

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！](#)