



はじめに 2

第1章 ビッグバンの水素と生命の原料

- 1 青いビー玉 15
- 2 ビッグバン——私たちが見る宇宙の始まり 16
- 3 冷えゆく宇宙 19
- 4 水素——すべての原子の母 20
- 5 私たちは皆、星の子孫 23
- 6 爆発する星と重い元素 25
- 7 化学の誕生 27
- ✓ 最初の旅を終えて 29
- もっと詳しく見てみよう 不透明な宇宙が38万年で透明になる 30

第2章 地球——生命のゆりかご

- 1 スターの誕生 33
- 2 ゴルディロックスと8匹のクマ 37
- 3 ちょうどいいサイズの地球 39
- 4 適切な大きさの太陽 40
- 5 月の誕生 43
- 6 居心地の良い地球 45
- 7 1000年降り続いた雨 47
- ✓ 2番目の旅を終えて 50

第3章 陸地の誕生

- 1 大地を動かす原動力、マントル対流 53
- 2 陸地の形成 56
- もっと詳しく見てみよう 地球は何でできているのか? 59
- 3 海の拡大 60
- 4 集まっては離れる超大陸 66
- ✓ 3番目の旅を終えて 69
- もっと詳しく見てみよう 沈み込みと地震の相関関係 70

第4章 生命の誕生

- 1 生命の基本単位、「細胞」 73
- 2 実験室で生命の物質を合成する! 74
- 3 鶏が先か卵が先か? 76
- 4 生命はどこで誕生したのか? 79
- 5 すべての生物の最初の祖先 81
- ✓ 4番目の旅を終えて 83
- もっと詳しく見てみよう 自ら組み立てられる細胞膜 83

第5章 地球環境と生態系のリノベーション

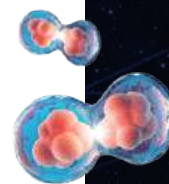
- 1 革命児——シアノバクテリア 88
- 2 酸素の急激な増加が地球の姿を変えた 91
- 3 生命誕生の第二段階——真核生物の出現 94
- 4 スノーボールアースと寒暖を繰り返した気候 98
- 5 生命進化の第三段階——多細胞生物の出現 102
- ✓ 5番目の旅を終えて 103
- もっと詳しく見てみよう 地球と生物の酸化・還元反応 103

第6章 生物の形成——古生代

- 1 複雑な体の基礎作業 107
- 2 カンブリア紀の生命大爆発 110
- 3 食うか食われるか? 112
- 4 植物の上陸 114
- 5 動物の上陸 117
- ✓ 6番目の旅を終えて 119
- もっと詳しく見てみよう 三葉虫の生存戦略 120

第7章 鍛えられる動物たち——中生代

- 1 大きく繁栄する動物たち 123
- 2 炭素の循環 126
- 3 古代動物のトップスター、恐竜 130
- 4 原始哺乳類の出現 134
- 5 花咲く被子植物の出現 135
- ✓ 7番目の旅を終えて 137
- もっと詳しく見てみよう カルシウムと生物 138



第8章 絶滅と進化

- 1 絶滅はなぜ起こるのか? 141
- 2 地球史上最も悲惨だったペルム紀大絶滅 143
- 3 白亜紀の大絶滅 147
- 4 進化の様々な道筋 151
- ✓ 8 番目の旅を終えて 157
- もっと詳しく見てみよう🔍 ダーウィンの性選択 157

第9章 哺乳類の繁栄と霊長類の出現

- 1 新生代の地殻変動と気候 161
- 2 新生代の主役、哺乳類 168
- 3 哺乳類食物連鎖の根源——被子植物 169
- 4 霊長類の成功と類人猿の登場 172
- もっと詳しく見てみよう🔍 クジラの進化 176
- ✓ 9 番目の旅を終えて 177

第10章 生命の本質 (I)

- 1 生命が持つ2大特徴 181
- 2 生物は養分と構成分子をどこで得るのか? 185
- 3 生物がエネルギーを得る方法 188
- 4 子孫を広める 191
- 5 体細胞と生殖細胞 194
- ✓ 10 番目の旅を終えて 196

第11章 生命の本質 (II)

- 1 DNAとゲノム 199
- 2 遺伝子とは何か? 203
- 3 生物の発生とエポデボ 205
- もっと詳しく見てみよう🔍 動物の姿はなぜ互いに異なるのか? 208
- 4 後成遺伝 (エピジェネティクス) 209
- 5 複製と転写——説明書と作業メモ 211
- もっと詳しく見てみよう🔍 後成遺伝の事例 212
- 6 分子生物学の中心原理 216
- ✓ 11 番目の旅を終えて 221
- もっと詳しく見てみよう🔍 ウイルスの種類 222

第12章 動物と脳

- 1 脳はなぜ出現したのか? 225
- 2 脊椎動物の脳 228
- 3 複雑で高性能な人間の脳 232
- もっと詳しく見てみよう🔍 鳥類の驚くべき知能 235
- 4 感情と記憶 237
- 5 脳はどのように情報を伝達するのか? 240
- 6 ネットワークとしての脳——微調整と刈り込み 243
- ✓ 12 番目の旅を終えて 247
- もっと詳しく見てみよう🔍 生まれたばかりのアヒルの刻印行動 248

第13章 ホモ・サピエンスの出現

- 1 人類のゆりかご、東アフリカ 252
- 2 ホモ属誕生の過程 258
- 3 ホモ属の外的特徴 261
- 4 ホモ属の行動の特徴——協力と社会性 265
- 5 すべての人類が近い親戚である理由 269
- 6 ホモ・サピエンスの全大陸拡散 272
- ✓ 13 番目の旅を終えて 275
- もっと詳しく見てみよう🔍 アジアのホモ・エレクトウス 275

第14章 人類成功の光と影

- 1 集合知 280
- 2 抽象的思考、そして文章言語 282
- 3 集団の大型化、高密度化 289
- 4 加速する集団化 291
- 5 文化の遺伝子 295
- 6 成功の光と影 297
- 7 人類と未来 301
- もっと詳しく見てみよう🔍 タスマニア先住民の悲劇 304

- 参考文献 306
- 結びの言葉 312
- 訳者あとがき 315
- 索引 316



宇宙カレンダー

138億年の宇宙の歴史を1年に換算したカレンダー

ビッグバンは1月1日深夜直後、現在は12月31日深夜頃

1月

2月

3月

4月

5月

6月

7月

8月

9月

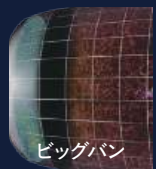
10月

11月

12月

宇宙観測装置と物理理論による把握

地質学の記録、遺伝子解析、生命の痕跡の把握



ビッグバン



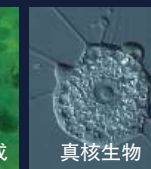
最初の星の形成



地球の形成、
生命の出現



最初の光合成



真核生物



多細胞生物

12月 (最後の1ヵ月)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15 生物化石の痕跡	16 骨、貝殻	17 骨、貝殻	18 脊椎魚の出現	19 植物の陸上進出	20 顎のある魚が出現	21 昆虫の出現	22 両生類の出現	23 爬虫類の出現	24 パンゲア超大陸	25 恐竜の出現	26 哺乳類の出現	27 鳥類の出現	28 花の出現
29 ティラノサウルス	30 夜明け 猿と類人猿の分岐	31のあの日 チンパンジーと 人間の分岐	21:25 人間の祖先の 直立歩行	22:30 ホモ・サピエンスの 脳が3倍に膨張	23:52 現生人類の出現	23:56~59 人類の全大陸進出							

12月31日 (最後の1分)

遺物、同位体連帯分析、骨、DNAなどで把握

歴史(記録)時代

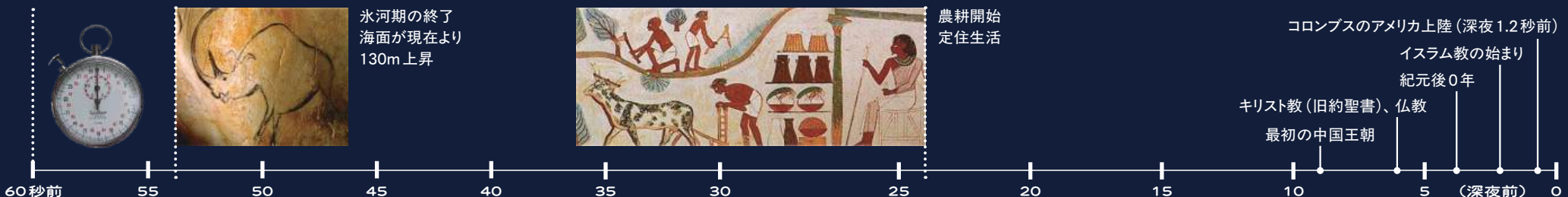




図 1-1 アポロ 17 号から撮影された「青いビー玉」の地球

2 ビッグバン——私たちが見る宇宙の始まり

私たちが夜空で目にする宇宙は、138億年前に起こった「ビッグバン」という出来事から始まったということが、様々な証拠によって明らかになっています。しかし、それ以前に何が存在したのかは、誰も知りません。世界的な物理学者たちがこの問題に取り組んでいますが、まだ正確な答えは見つかっていません。私たちの旅に同行する学生の中から、将来この問題に挑戦する科学者が多く現れることを期待します。

いったい「ビッグバン」とは何でしょうか？ アメリカで人気を博した『ビッグバン★セオリー』というタイトルのドラマがありました。カリフォルニア工科大学出身の物理学者たちが主人公で、12年間も放送されるほど人気を集めました。ビッグバンは、そのドラマの主人公たちのような^{そうそう}錚々たる学者たちでさえ、まだその謎を完全には解き明かしていない理論ではあります。しかし、そのような出来事があったという事実は疑う余地がありません。ビッグバンは「大爆発」という意味です。元々この名称は、ビッグバン理論に反対していた物理学者フレッド・ホイルが皮肉を込めて名付けたもの

ですが、現在では公式名称として広く使われています。

ビッグバンが通常の爆発とは異なるという事実が20世紀以降に明らかになりました。一言で言えば、ビッグバンは宇宙空間そのものが急速に「膨張」した出来事です。輪ゴムを急に大きく引っ張ると伸びます。輪ゴムは1次元の線ですが、ビッグバンは3次元の空間が膨張しました。より正確に言えば、空間だけでなく時間も合わせた時空が急速に膨張したのです。これは私たちの頭の中でイメージするのが難しい概念なので、膨らむ風船に例えられることもあります。正確な描写ではありません。

ビッグバンの膨張速度や規模は途方もないものでした。物理学者たちの計算によると、原子よりもはるかに小さかった宇宙が、1秒で光が10年で移動する距離（10光年）ほどに大きくなりました。地球から月まで、光の速さで1.3秒しかかからないことを考えると、ビッグバンの膨張がいかに途方もないものだったか、想像を絶します。どんどん大きくなっている宇宙の現在の直径は約930億光年です。しかし、これは確実に存在すると推定される宇宙（観測可能な宇宙）の大きさであり、おそらく私たちが知らない宇宙全体はこれよりもはるかに大きいでしょう。

現代の最先端科学技術のおかげで、科学者たちはビッグバン直後の1秒にも満たない瞬間から今日に至るまでの138億年の間に宇宙規模で起こった主要な出来事を詳細に把握しています。これは決して推測ではありません。ビッグバン理論は20世紀半ばに初めて提案されて以来、多くの議論がありましたが、1960年代に決定的な最初の証拠が現れ、今では証拠が溢れかえっ



図 1-2 ビッグバンと宇宙の始まり

私たちが知っている宇宙は、「ビッグバン」という最初の出来事から始まった。

5 脳はどのように情報を伝達するのか？

多細胞生物が単細胞から進化できた重要な鍵は、細胞間の緊密な通信でした。このため、多細胞生物は細胞が電気信号を互いにやり取りする独特な

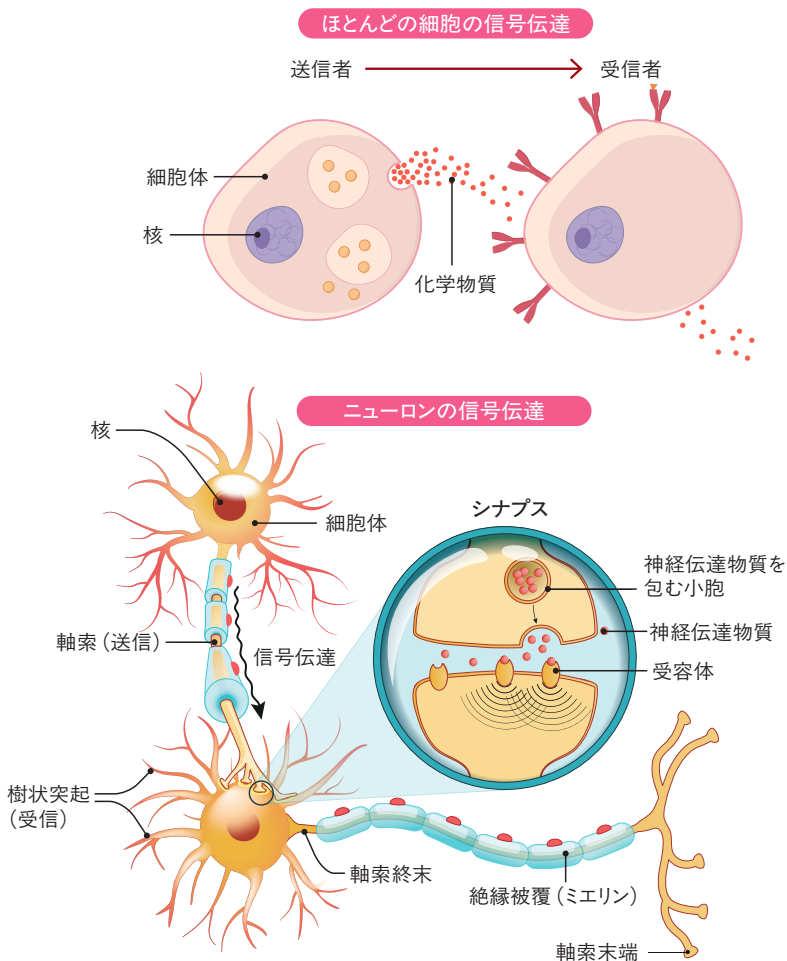


図 12-13 一般細胞と神経細胞（ニューロン）の信号伝達

近く他の細胞と化学物質の分泌を通じてコミュニケーションをとる一般細胞と異なり、ニューロンは電気信号を利用して化学物質を分泌することで、近くの細胞はもちろん、遠く離れた細胞ともコミュニケーションをとる。

「神経伝達」方法を発達させました。化学反応を利用して電気信号を伝達するのです。

細胞が利用する物質は、周囲に豊富にあるイオンでした。イオンとは、原子や分子が電子をいくつか（通常3個以内）失ったり得たりした状態を指します。つまり、電荷（電気的性質）を帯びた物質がイオンです。水や生物の体液に溶けた物質は容易にイオンになります。例えば、塩(NaCl)

は電気的に中性ですが、水に溶解すると陽イオン (Na^+) と陰イオン (Cl^-) に分かれます。細胞の内外には、塩が分解されたイオンだけでなく、カルシウム、カリウム、塩素、有機分子など、様々なイオンが存在します。これらのほとんどは、海水中に豊富に存在し、イオンになろうとする傾向が強い元素です。重要な点は、イオンの濃度が細胞の内外で異なることです。

したがって、細胞の周囲にあるイオンは、濃度を合わせようと細胞膜を挟んで移動します。このように電荷を帯びたイオンが移動すると、膜の両側に電位差（電圧）が生じ、電位が高いところから低いところへ電流が流れます。水が高いところから低いところへ流れるのと同じ原理です。細胞はこの時に発生する電気の流れを信号として利用します。これが可能なのは、両側のイオンの間にある細胞膜が半透膜だからです。細胞膜が分子を選択的に通過させるのです。さらに詳しく見ると、細胞膜には各イオンを選択的に通過させるタンパク質でできた小さな隙間が埋め込まれています。これらの通路（イオンチャネル）のおかげで電気信号が伝達されるのです。

脳にある神経細胞も同じ方法で電気信号を伝達します。「ニューロン」という愛称でも呼ばれる神経細胞は、体内の一般的な細胞とは形が少し異なります。神経細胞の周囲には、隣接する細胞と効果的に通信するために、電線のように長く突出した部分がいくつもあります。突出部には、電気信号を受

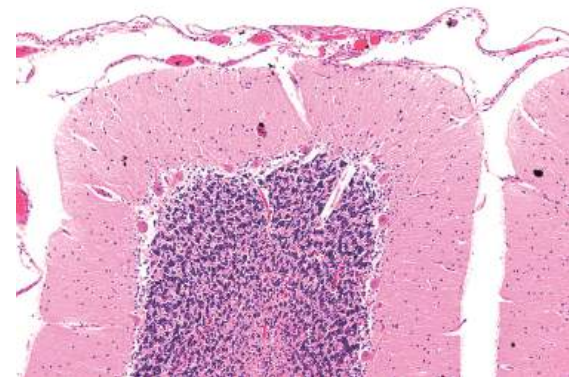


図 12-14 ニューロンの集合体である脳

小脳皮質を拡大した写真で、黒い点はすべてニューロンの核がある細胞体である。白質空間（ピンク色）ではニューロンの軸索が絡み合って信号をやり取りする。