

# 目次

・序	3
・サポートページのご案内	11
・本書の使い方	12
・Python 環境を整える	15

## 序章 物理・化学・数理的な生命のみかた 17

0.1 生命理解へのアプローチ	17
0.2 生物の多様性と一様性	17
0.3 生物共通の性質	18
0.4 生命を構成する物質	19
◆ 生物体をつくる元素の特徴 ◆ 水と有機化合物を結ぶ水素結合の重要性	
0.5 自由エネルギーの獲得と散逸	20
◆ 酸化と還元で自由エネルギーを獲得する ◆ 生体エネルギー通貨とも呼ばれる ATP	
0.6 自己複製	21
0.7 細胞の意義	22
0.8 環境への応答と恒常性	23
◆ シグナル伝達経路が応答の基盤 ◆ 制御のしくみから創発する「生き物らしさ」	
◆ 恒常性はシステムが生み出す	
0.9 生物の進化と系統	25
◆ 進化も生物の特徴の 1 つである ◆ 元素の分類とは異なる生物の分類	
◆ 生物の主な系統と細胞内共生 ◆ 細胞を利用するときの原核生物と真核生物のちがひ	
0.10 物質、駆動力、制御系からなる自己増殖系	27
序章 まとめ	28

## 1章 生体分子 —細胞をつくりあげる物質群— 30

1.1 細胞を構成する有機化合物	30
1.2 タンパク質	30
◆ タンパク質は複雑な立体構造を形成して機能を発揮する ◆ 例題 1-1: タンパク質の分子量と等電点	
◆ 電気泳動という実験方法 ◆ 例題 1-2: タンパク質の電気泳動パターンと分子量	
1.3 脂質	35
◆ 例題 1-3: 生体膜を構成する脂質分子の個数	
1.4 糖	38
1.5 核酸	39
《演習》生体分子が情報を伝達する	40
◆ 演習 1: 情報伝達物質と受容体の結合定数	
1章 まとめ	42
〔課題〕タンパク質の構造表示	43
◆ 課題 1: プリオンの構造をウェブ上で観察する ◆ 立体構造ビューア	

## 2章 生命活動の駆動力 —代謝と自由エネルギー—

48

2.1 生命活動と自由エネルギー	48
◆ 例題 2-1：ATP の自由エネルギー ◆ 例題 2-2：代謝反応の自由エネルギーと平衡定数	
2.2 自由エネルギーの保持物質としての ATP と NAD(P)H	52
◆ 例題 2-3：酸化還元電位	
2.3 基本的な代謝系	55
◆ 解糖系 ◆ フエン酸回路 ◆ 光合成の炭素固定回路（カルビン-ベンソン回路）	
2.4 酵素	56
◆ 酵素は 2 種類の特異性をもつ ◆ 酵素反応の特徴	
2.5 酵素活性の調節	57
◆ アロステリック制御 ◆ リン酸化による酵素活性の調節	
《演習》酵素反応のキネティクス	58
◆ 演習 2-1：ミカエリス-メンテンの式の導出と実験データへの適用	
《演習》代謝系のキネティクス	61
◆ 演習 2-2：一定の基質供給がある酵素反応	
2章 まとめ	62
〔課題〕酵素反応のシミュレーション	63
◆ 課題 2：一定の基質供給がある酵素反応のシミュレーション	

## 3章 遺伝情報

64

3.1 情報分子としての核酸	64
◆ 遺伝情報を担う DNA の特性	
3.2 遺伝子	65
◆ ゲノムと染色体と遺伝子 ◆ 遺伝子型と表現型を区別して考える	
3.3 DNA の複製	65
◆ 複製には鋳型とプライマーが必要である ◆ 複製とポリメラーゼ連鎖反応（PCR）	
◆ 例題 3-1：複製のしくみ—PCR を例に ◆ 複製はきわめて正確	
◆ 例題 3-2：DNA の情報量と複製のエラー率	
3.4 RNA への転写	71
◆ セントラルドグマ ◆ DNA 上には、転写の始まりと終わりの位置を指定する領域がある	
3.5 真核生物の mRNA プロセッシング	72
◆ スプライシングの意義	
3.6 リボソームはタンパク質合成（翻訳）の場	73
◆ 例題 3-3：遺伝子とタンパク質の関係	
《演習》細胞分裂の回数	76
◆ 演習 3-1：細胞分裂とテロメア	
《演習》逆転写酵素を使った検査法	78
◆ 演習 3-2：遺伝子発現量の測定	
《演習》ORF と制御にかかわる配列の関係	81
◆ 演習 3-3：塩基配列の情報量	

3章 まとめ	83
〔課題〕 ゲノム情報の表示	84
◆ 課題 3：遺伝情報データベースの利用	

## 4章 細胞の構造と増殖 88

4.1 細胞の構造と細胞小器官	88
◆ 細胞小器官が存在する ◆ 例題 4-1：細胞小器官の形態と物理的性質 ◆ 細胞骨格とモータータンパク質	
4.2 細胞の分裂と増殖	90
◆ 細胞分裂の準備には4段階ある ◆ 細胞周期はサイクリンとCDKが制御する	
◆ 細胞周期を進めてよいかのチェックポイント機構がある	
◆ 細胞増殖は個体群成長などにもつながる概念である ◆ 例題 4-2：細胞の増殖と競合	
4.3 細胞内小胞輸送	95
《演習》空間・時間・エネルギーの階層性	96
◆ 演習 4-1：生命の階層性	
《演習》細胞内の反応と試験管内の反応は異なる	98
◆ 演習 4-2：細胞内の混み合い	
《演習》細胞内における生体分子の拡散と輸送	100
◆ 演習 4-3：細胞内における生体分子の拡散と輸送	
4章 まとめ	101
〔課題〕 細胞内反応のモデル化	102
◆ 課題 4：細胞周期のシミュレーション ◆ 考え方：細胞内反応を微分方程式で表す	

## 5章 システムとしての生命の特性 106

5.1 生命のシステムにおけるネットワーク	107
5.2 遺伝子発現制御が形作るネットワークの基本形	109
◆ 例題 5-1：転写の自己制御 ◆ 例題 5-2：2遺伝子の相互制御	
5.3 代謝制御とホメオスタシス	114
◆ 考え方：ネットワークモチーフ ◆ 例題 5-3：転写ネットワークのモチーフ	
《演習》転写ネットワークとフィードバック回路	118
◆ 演習 5-1：正と負のフィードバック回路	
《演習》分解を考慮した転写制御	120
◆ 演習 5-2：転写制御のモデル	
《演習》分解を考慮した転写のフィードバック制御	122
◆ 演習 5-3：転写のフィードバック制御 ◆ 連続的な濃度効果を記述するためのヒル関数	
5章 まとめ	125
〔課題〕 応答が早まる制御回路	126
◆ 課題 5：インコヒーレントフィードフォワード回路による制御	

## 6章 生命のダイナミクスとパターン形成

128

6.1 正のフィードバック回路を含むシステム	128
◆ 例題 6-1：相互促進と相互抑制がつくる定常状態 ◆ 考え方：アイソクライン分析	
◆ 例題 6-2：正のフィードバック回路のアイソクライン分析	
6.2 要素の空間内移動を伴うシステム	134
6.3 反応拡散系	134
6.4 高次の形態パターンの形成	137
《演習》相互抑制の正のフィードバック回路例	138
◆ 演習 6-1：Notch-Delta 系による側方抑制	
《演習》細胞における反応拡散系	141
◆ 演習 6-2：2細胞のチューリングモデル	
《演習》初期発生におけるパターンニング	144
◆ 演習 6-3：胚のパターン形成	
《演習》植物ホルモンと発生・成長の調節	146
◆ 演習 6-4：オーキシンの極性輸送と形態形成	
6章 まとめ	148
〔課題〕ダイナミクスをシミュレーションする	149
◆ 課題 6：チューリングパターン形成のシミュレーション	

## 7章 マクロスケールのダイナミクス

150

7.1 生物間相互作用と生物群集	150
◆ 個体群の成長 ◆ ロトカ・ボルテラの競争系 ◆ 例題 7-1：競争関係の結末	
◆ ロトカ・ボルテラの捕食系 ◆ 現実的な捕食系	
7.2 進化と系統	156
◆ 自然選択と適応進化 ◆ 例題 7-2：最適成長スケジュール ◆ 発展：事前知識なしでの最適解探索	
◆ 自然選択によらない進化：遺伝的浮動 ◆ 例題 7-3：ハーディ・ワインベルグ則の導出	
◆ 分子進化の中立説 ◆ 分子系統樹	
《演習》変異の固定・消失	162
◆ 演習 7：遺伝的浮動のシミュレーション	
7章 まとめ	163
〔課題〕数理モデルや最適化計算と生物学のさまざまな接点	164
◆ 課題 7-1：海洋で見られるバイオマスの逆転	
◆ 課題 7-2：ポントリャーギンの最大化原理や動的計画法について調べてみよう	
◆ 課題 7-3：配列アラインメントと系統樹の作成	

・索引	168
-----	-----