



# 目 次

## 1 ブラウンの発見

- 1-1 花粉の中に生き物がある！ ..... 2
- 1-2 石炭の中にも生き物がある!? ..... 4
- 1-3 無機物の中にさえ生き物がある？ ..... 5
- 1-4 ブラウン粒子の集団は肉眼でも見られる ..... 7
- 1-5 ブラウン粒子は正規分布の形に広がる ..... 10

## 2 19世紀の原子論

- 2-1 今世紀初頭、アトムはまだ認知されていなかった ..... 18
- 2-2 ドルトンは原子をアボガドロは分子を考えた ..... 19
- 2-3 原子論は着実に進歩していた ..... 24
- 2-4 気体運動論は粘性も説明できた ..... 25
- 2-5 アボガドロ数の勘定もできた ..... 30
- 2-6 気体分子は突風のような ..... 34
- 2-7 20世紀の幕開けにプランクがいた ..... 35
- 2-8 それでも原子の概念は仮説にすぎなかった ..... 41

## 3 19世紀におけるブラウン運動の研究

- 3-1 ブラウンの研究はあまねく知れわたっていた ..... 44
- 3-2 ブラウン運動の性質がいくつか明らかにされた ..... 45
- 3-3 水の分子の衝突がブラウン運動の原因である？ ..... 47

|     |                          |    |
|-----|--------------------------|----|
| 3-4 | ブラウン粒子はエネルギー等分配則を満たさないか？ | 48 |
|-----|--------------------------|----|

#### 4 アインシュタインの理論

|     |                        |    |
|-----|------------------------|----|
| 4-1 | 1905年はアインシュタインの奇跡の年だった | 52 |
| 4-2 | 溶液の理論から浸透圧の公式を借用する     | 53 |
| 4-3 | 流体論からも公式を借用する          | 54 |
| 4-4 | アインシュタインの関係式を求める       | 56 |
| 4-5 | 不規則な変位を確率過程として扱う       | 57 |

#### 5 ペランの実験

|     |                        |    |
|-----|------------------------|----|
| 5-1 | 「誰か」は速やかに現れた           | 62 |
| 5-2 | 均等大きさの粒子を作る            | 64 |
| 5-3 | ブラウン粒子にもストークスの法則が適用できる | 67 |
| 5-4 | 気体の重さと平衡分布の関係を調べる      | 68 |
| 5-5 | ブラウン粒子も希薄度の法則に従う       | 71 |
| 5-6 | アインシュタインの理論が証明できる      | 74 |
| 5-7 | 原子の概念は完全に確立された         | 80 |

#### 6 ゆらぎと確率

|     |                        |    |
|-----|------------------------|----|
| 6-1 | 物理学は目覚ましく進歩していた        | 82 |
| 6-2 | ブラウン運動はゆらぎを目で見ていることになる | 84 |
| 6-3 | ブラウン粒子の速度はすぐに減衰する      | 86 |
| 6-4 | ランジュバンは不規則な衝突の項を取り入れた  | 88 |
| 6-5 | 力学的量とゆらぎの量とが関係づけられる    | 91 |
| 6-6 | 空の青さもゆらぎが原因である         | 94 |

- 6-7 ばね振動子もゆらぎ力が働くとブラウン運動をする .....98  
 6-8 気体中に吊るした小さな鏡もブラウン運動をする ..... 102

## 7 ブラウン運動の数学的モデル

- 7-1 独立誤差の和は正規分布になる ..... 108  
 7-2 酔っ払いは家に帰れるか? ..... 110  
 7-3 一様乱数の和も正規分布になる ..... 113  
 7-4 酔歩の連続モデルは拡散過程と等価である ..... 115  
 7-5 サイコロも酔っ払いも確率過程である ..... 117  
 7-6 ブラウン運動も確率過程である ..... 119  
 7-7 ブラウン粒子は十分酔っ払っているか? ..... 119

## 8 ブラウン運動の普遍性

- 8-1 系が大きいとマイクロなゆらぎは見られない ..... 124  
 8-2 エントロピーは増大する ..... 126  
 8-3 ミクロなレベルではエントロピーの減少も起  
     こりうる ..... 129  
 8-4 ゆらぎは抵抗の項とペアになっている ..... 131  
 8-5 抵抗力があるときはエネルギーの散逸が起こる ..... 131  
 8-6 アインシュタインの理論は非平衡統計力学の  
     発展を促した ..... 134  
 8-7 ブラウン運動の理論の応用範囲は広範である ..... 137  
     もっと勉強したい人のために ..... 141  
 索引 ..... 145