



# 目次

## ① 安定同位体地球化学の始まり 1

- 1-1 炭素同位体組成と生命の起源 1
- 1-2 硫酸還元バクテリアの偉業 4
- 1-3 酸素同位体による古環境の復元 9
- 1-4 大気酸素同位体比——ドール・森田効果 20 年の軌跡 18
  - 1-4-1 酸素原子量の不均一性 18
  - 1-4-2 ドール・森田効果と大気酸素の起源 21
  - 1-4-3 D-M 効果のモデル化 24

## ② 平衡における同位体効果 29

- 2-1 分子内同位体交換平衡 29
- 2-2 同位体交換平衡定数と同位体分別係数 30
- 2-3 同位体分別係数と換算分配関数比 31
  - 2-3-1 電子エネルギーの同位体効果 33
  - 2-3-2 酸素分子の振動エネルギーの同位体効果 34
  - 2-3-3 酸素分子の回転・並進エネルギーの同位体効果 35
  - 2-3-4 遊離酸素原子の並進運動エネルギーの同位体効果 36
- 2-4 換算分配関数比の温度依存性 37
- 2-5 同位体分別係数に関する一般法則 40
- 2-6 同位体分別係数の圧力依存性 44
- 3-7 結晶物質の換算分配関数比 44

## ③ 動的同位体効果 51

- 3-1 反応速度と活性錯合体 52
- 3-2 同位体効果の取扱い——レイリーの分別蒸留の式 56
- 3-3 動的同位体効果はなぜ起こるか 59

3-4 生物による酸化・還元サイクルと動的同位体効果 63

3-4-1 硫酸還元バクテリアと酸化・還元電位 63

3-4-2 硫酸還元バクテリアによる同位体効果——培養実験と天然環境 65

3-4-3 硫酸還元バクテリアの定常状態モデル 71

**4 酸素・水素同位体比から見た水循環 83**

4-1 水の3態と同位体分別 83

4-2 海水の同位体比 87

4-2-1 酸素・水素同位体比の測定標準 87

4-2-2 海水の同位体比の変化 88

4-3 循環水の同位体比 93

4-3-1 天水、地表水の同位体比 93

4-3-2 地層中の水の移動と同位体効果 100

4-4 温泉水の同位体比 102

4-5 島弧火山噴気の酸素・水素同位体比と安山岩水 112

4-6 酸素・水素同位体比から見た熱水系 117

4-6-1 熱水 - 岩石相互作用と天水・海水熱水系の同位体比の進化 117

4-6-2 マグマ水の酸素同位体比 120

4-6-3 熱水鉱床鉱化溶液の酸素・水素同位体比——地表水対マグマ水 126

**5 炭素の同位体地球化学 143**

5-1 物質循環と炭素サイクル 143

5-2 光合成に伴う同位体効果 146

5-2-1 C3, C4, CAM 植物の炭素同位体比 146

5-2-2 海洋植物プランクトンの同位体比とその緯度依存性 152

5-3 大気 - 海洋系の炭素サイクルと炭素同位体比 156

5-3-1 大気中の二酸化炭素の炭素同位体比 156

5-3-2 成層圏大気中の二酸化炭素濃度と同位体比 164

5-3-2-1 二酸化炭素の濃度と炭素同位体比の経年変化 164

5-3-2-2 成層圏二酸化炭素の酸素同位体比の異常 166

5-3-3 大気と海洋表層の炭素のやりとり 168

5-3-4 海洋表層から深層への炭素の流れと深層海水中の炭素同位体比 174

5-3-5 海洋は人為二酸化炭素をどれだけ吸収しているか? 177

- 5-4 有機物の分解過程における炭素同位体比の変化 181
  - 5-4-1 堆積物中の有機物の炭素同位体比——陸成有機物と海成有機物の識別 181
  - 5-4-2 化石燃料の同位体比 184
  - 5-4-3 海底堆積物中の間隙水の炭素同位体比 186
  - 5-4-4 メタン同位体比と炭化水素指標による石油資源の探査 197
- 5-5 変成作用と炭素同位体温度計 200
- 5-6 地球深部からの炭素とその同位体比 205
  - 5-6-1 上部マントルの炭素——カーボナタイト, キンバレイ岩,  
ダイヤモンド——の同位体比 206
  - 5-6-2 “軽いダイヤモンド”の謎——マントルと地殻の相互作用 212

## 6 硫黄の同位体地球化学 223

- 6-1 硫黄のサイクルとフラックス 223
- 6-2 大気中の硫黄化合物とその環境への影響 228
  - 6-2-1 大気中の硫黄化合物 - 硫酸エアロゾルの正体 228
  - 6-2-2 生物源の硫黄化合物の同位体比 230
  - 6-2-3 硫酸エアロゾルおよび降水中の硫酸の同位体比 234
  - 6-2-4 硫黄同位体比で酸性雨を測る 239
- 6-3 堆積岩, 蒸発岩中の硫黄の同位体比——生命の出現と海洋の進化 247
  - 6-3-1 先カンブリア紀の海洋——光合成生物と硫酸還元バクテリアの出現 248
    - 6-3-1-1 ストロマトライトの発見 248
    - 6-3-1-2 硫酸還元バクテリアの台頭と酸化的大気の出現 252
  - 6-3-2 顕生代蒸発岩(石膏, 硬石膏)の硫黄同位体比の経年変化 258
    - 6-3-2-1 海洋の同位体比を規制する因子 258
    - 6-3-2-2 蒸発岩の同位体比から海洋と大気の歴史を探る 262
    - 6-3-2-3 蒸発岩の同位体比が示す海洋の天変地異? 267
  - 6-3-3 化石燃料の硫黄同位体比 267
- 6-4 熱水鉱床の硫黄の起源——ネブツニスムとプルトニスム 270
  - 6-4-1 各種硫化物鉱床の硫黄同位体比 270
  - 6-4-2 硫化鉱物間の硫黄同位体交換平衡とその応用 274
  - 6-4-3 黒鉱鉱床の硫黄の起源——ネブツニスムの嵐 277
  - 6-4-4 熱水中の硫黄同位体システムティックス——大本・梶原モデル 279
  - 6-4-5 ネブツニスムとマグマティズムの調和 282
  - 6-4-6 現世海底熱水系の硫黄同位体比 285

- 6-4-6-1 現世海底熱水系の硫黄同位体比 285
- 6-4-6-2 海底熱水系の計算機シミュレーション——JSモデルとBTモデル 287
- 6-4-6-3 なぜ硫酸塩同位体比は海水より高いか? 292

6-5 マグマ過程と硫黄の同位体比 293

- 6-5-1 火山ガスの硫黄同位体比 293
- 6-5-2 各種火山岩の硫黄濃度と同位体比の概観 298
- 6-5-3 マグマレドックス電位と硫黄のスペシエーション 301
- 6-5-4 海底玄武岩の硫黄同位体比 303
- 6-5-5 島弧火山はなぜ<sup>34</sup>Sを濃縮するか? (1)  
——硫化物メルトの分離と脱ガス効果 306
- 6-5-6 島弧火山はなぜ<sup>34</sup>Sを濃縮するか? (2)  
——ネブツニスムの再来 308
- 6-5-7 背弧海盆海底火山岩の硫黄同位体比 310

**7 窒素の同位体地球化学 315**

7-1 窒素のサイクル 315

7-2 生物過程による無機態窒素の利用と同位体分別 318

7-3 海洋における窒素の循環と同位体比 322

- 7-3-1 溶存無機窒素の同位体比 322
- 7-3-2 海洋生物の窒素同位体比 326
- 7-3-3 海底堆積物の窒素同位体比 329
- 7-3-4 窒素同位体比から見た古海洋の生物生産性 I  
——氷期-間氷期における脱窒反応の消長 330
- 7-3-5 窒素同位体比から見た古海洋の生物生産性 II  
——植物プランクトンによるNO<sub>3</sub><sup>-</sup>同化率の変遷 333
- 7-3-6 陸上植物・土壌有機物の窒素同位体比 337

7-4 岩石中の窒素の同位体比 339

- 7-4-1 堆積岩, 変成岩, 深成岩中の窒素同位体比  
——変成作用に伴う窒素の同位体分別 339
- 7-4-2 マントル物質中の窒素濃度と同位体比 343

**8 酸素・水素同位体比から見た岩石の成因 347**

8-1 造岩鉱物と同位体分別 347

8-2 含水珪酸塩メルトの水素同位体分別 353

8-3 火成作用と酸素・水素同位体比 356

8-3-1	火成岩の多様性	356
8-3-2	地球の成り立ちと酸素・水素同位体比	363
8-3-3	岩石の部分溶融と結晶分化作用に伴う同位体分別	369
8-3-4	島弧のマグマ	375
8-3-5	花崗岩類の成因	379
8-4	熱水と岩石の反応の記録	385
8-5	地殻の表層で起きる過程と酸素・水素同位体比	392
索引		397