

目 次

第 1 部 宇宙と地球の進化と現在の地球の姿

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| 第 1 章 膨張する宇宙と軽元素の起源 | 3 |
| 1.1 膨張する宇宙の観測 | 3 |
| 1.2 ビッグ・バンと宇宙黒体放射 | 7 |
| 1.3 宇宙の始まり | 9 |
| 1.4 最初の重元素合成 | 10 |
| 参考文献 | 13 |
| | |
| 第 2 章 太陽系の化学と重元素合成 | 15 |
| 2.1 太陽と太陽系惑星の成り立ち | 15 |
| 2.1.1 太陽の構造 | 16 |
| 2.1.2 惑星の成り立ち | 17 |
| 2.2 太陽系の化学組成 | 19 |
| 2.2.1 太陽の化学組成 | 19 |
| 2.2.2 隕石の化学組成 | 21 |
| 2.3 恒星内での重い元素の合成 | 30 |
| 参考文献 | 42 |
| | |
| 第 3 章 太陽系の形成と隕石の年代学 | 43 |
| 3.1 太陽系形成の標準モデル | 43 |
| 3.2 太陽系前駆物質（プレソーラージェイン） | 46 |
| 3.2.1 プレソーラージェインの分類と分析法 | 46 |
| 3.2.2 炭素質プレソーラージェイン | 49 |

目 次

| | | |
|--------------------------------|----------------------------------|------------|
| 3.3 | 元素の年齢 | 50 |
| 3.3.1 | 連続合成モデル | 53 |
| 3.3.2 | 単一合成モデル | 55 |
| 3.4 | 太陽系最古の物質と始原的な隕石の年代学 | 57 |
| 3.4.1 | ウラン-鉛年代測定法 | 57 |
| 3.4.2 | 鉛-鉛法による CAI とコンドリユールの形成年代差 | 59 |
| 3.4.3 | アルミニウム-マグネシウム年代測定法 | 61 |
| 3.4.4 | アルミニウム同位体比による CAI とコンドリユールの形成年代差 | 64 |
| 3.4.5 | 普通コンドライトの年代学 | 66 |
| 3.5 | 分化した隕石の年代学 | 68 |
| | [補足] | 70 |
| | 参考文献 | 70 |
| 第 4 章 地球の誕生とその化学組成 | | 72 |
| 4.1 | 地球の年齢と地上最古の物質 | 72 |
| 4.1.1 | 地球の年齢 | 72 |
| 4.1.2 | 世界最古の岩石と鉱物 | 73 |
| 4.2 | 地球の年齢と隕石の年代 | 78 |
| 4.2.1 | 鉛同位体を用いた地球と隕石の絶対年代 | 78 |
| 4.2.2 | キセノン同位体を用いた地球と隕石の相対年代 | 81 |
| 4.2.3 | タングステン同位体を用いた地球と隕石の相対年代 | 86 |
| 4.3 | 地球を形成する物質 | 90 |
| 4.3.1 | 固体地球の物理的構造 | 91 |
| 4.3.2 | 固体地球の化学的構造 | 93 |
| 4.4 | 地球の構造と形成年代 | 98 |
| | 参考文献 | 99 |
| 第 5 章 固体地球の脱ガスと大気と海洋の起源 | | 101 |
| 5.1 | 地球大気の起源：初期脱ガスと連続脱ガス | 101 |
| 5.1.1 | 大気と海洋の連続脱ガス | 102 |

| | | |
|---------------------------|--|------------|
| 5.1.2 | 大気と海洋の初期脱ガスモデル | 105 |
| 5.2 | 脱ガスモデルの検証とヘリウム・フラックス | 109 |
| 5.2.1 | アルゴン同位体比による初期脱ガスモデルの検証 | 109 |
| 5.2.2 | ヘリウム同位体と放出フラックス | 112 |
| 5.3 | 脱ガスモデルと炭素および窒素のマントル・フラックス | 117 |
| 5.3.1 | 炭素同位体と火山ガス中の炭素の起源 | 117 |
| 5.3.2 | 炭素の混合モデルとマントル・フラックス | 119 |
| 5.3.3 | 窒素同位体と火山ガス中の窒素の起源 | 122 |
| 5.3.4 | 窒素の混合モデルとマントル・フラックス | 124 |
| | [補足] | 127 |
| | 参考文献 | 128 |
| 第6章 大気と海洋の進化と生命の起源 | | 129 |
| 6.1 | 初期大気と海洋の化学組成 | 129 |
| 6.1.1 | 原始大気の化学組成 | 129 |
| 6.1.2 | 原始海洋の形成 | 132 |
| 6.2 | 大気と海洋の化学進化 | 136 |
| 6.2.1 | 海水の化学進化—無機的環境 | 136 |
| 6.2.2 | 海水の化学進化—生物が存在する環境 | 139 |
| 6.2.3 | 大気の化学進化—生物が存在する環境 | 141 |
| 6.3 | 生命の起源とその年代 | 145 |
| 6.3.1 | 世界最古の生物化石 | 146 |
| 6.3.2 | 化学化石と隕石の絨毯爆撃 | 149 |
| | 参考文献 | 153 |
| 第7章 二酸化炭素濃度と気候変化 | | 155 |
| 7.1 | 地表温度と地球のエネルギー収支 | 155 |
| 7.2 | 氷床コア試料を用いた古気候解析 | 160 |
| 7.3 | より長期的な気候変化解析 | 163 |
| 7.4 | 地球化学的モデリングによる CO ₂ 濃度の変化曲線 | 167 |
| 7.5 | 地質学的時間スケールでの CO ₂ 濃度と地球環境の変化の関係 | 172 |

目 次

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.5.1 | スノーボールアース（全球凍結）仮説 | 172 |
| 7.5.2 | レイモ仮説 | 175 |
| 7.6 | 現在の大気中 CO ₂ 濃度の上昇 | 178 |
| 7.7 | 現在の地球温暖化と放射強制力 | 184 |
| 7.8 | おわりに | 188 |
| | [補足] レイリーの式 | 189 |
| | 参考文献 | 192 |

第 8 章 分子地球化学：元素の性質に基づく地球進化や物質

| | | |
|-------|---|------------|
| | 循環の考察 | 195 |
| 8.1 | 化学結合と元素の分配 | 195 |
| 8.1.1 | 電気陰性度 | 196 |
| 8.1.2 | 化学結合と元素の分配 | 197 |
| 8.1.3 | HSAB 理論 | 201 |
| 8.2 | 地殻への元素の分配と希土類元素パターン | 202 |
| 8.2.1 | 地殻への元素の分配 | 203 |
| 8.2.2 | 希土類元素パターン | 205 |
| 8.2.3 | セリウム異常・ユウロピウム異常と X 線吸収微細構造法 (XAFS 法) | 207 |
| 8.2.4 | イオン半径の意味 | 210 |
| 8.3 | 錯体化学・溶液化学に基づく元素の水溶解性の考察 | 213 |
| 8.4 | 水中の元素の化学種の考察 | 219 |
| 8.5 | 吸着反応と海水中の元素濃度や鉛直分布 | 222 |
| 8.6 | 吸着種の構造と元素の濃度・同位体比 | 228 |
| 8.6.1 | 微量元素の鉄マンガン酸化物への吸着のされやすさと吸 着種の関係 | 228 |
| 8.6.2 | 固液界面の微量元素の吸着と同位体分別 | 231 |
| 8.7 | 元素濃度・同位体比に基づく地球の酸化還元状態の変化の考察 | 234 |
| 8.8 | 微量元素の反応性に基づく生物地球化学 | 238 |
| 8.9 | 有害元素の環境挙動解析 | 242 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 8.10 微量元素存在度に反映される化学種の情報 | 245 |
| 8.10.1 希土類元素の固液分配パターン | 245 |
| 8.10.2 理論的解釈 | 248 |
| 8.11 おわりに | 249 |
| 参考文献 | 250 |

第2部 宇宙地球化学の基礎

第9章 宇宙地球化学の基礎知識 255

| | |
|-----------------------|-----|
| 9.1 元 素 | 255 |
| 9.2 原子核と同位体 | 259 |
| 9.3 放射壊変 | 260 |
| 9.4 年代測定 | 263 |
| 9.5 機器分析法 | 266 |
| 9.5.1 発光分析 | 267 |
| 9.5.2 吸光分析 | 270 |
| 9.5.3 質量分析法 | 272 |
| 参考文献 | 277 |

第10章 化学熱力学の基礎と地球表層での無機化学反応 279

| | |
|---------------------------------|-----|
| 10.1 熱力学の3法則 | 279 |
| 10.2 自由エネルギーと化学反応 | 282 |
| 10.3 化学ポテンシャルと平衡定数 | 284 |
| 10.4 錯生成反応と溶解度 | 286 |
| 10.5 固液界面の化学 | 292 |
| 10.5.1 巨視的な吸着モデル | 293 |
| 10.5.2 表面錯体モデル | 296 |
| 10.6 酸化還元反応 | 301 |
| 10.6.1 水の存在条件 | 302 |
| 10.6.2 鉄の E_H -pH 図 | 303 |

目 次

| | |
|-----------------------------|-----|
| 10.7 反応速度論 | 306 |
| 10.7.1 反応速度式 | 307 |
| 10.7.2 平衡に近づく過程 | 310 |
| 10.7.3 反応速度の温度依存性 | 311 |
| 参考文献 | 313 |

| | |
|-----|------------|
| 索 引 | 314 |
|-----|------------|

| | |
|------|------------|
| 欧文索引 | 318 |
|------|------------|