

目次

第 1 章	理論的および実験的原理	1
1.1	同位体の一般的特徴	1
1.2	同位体効果	5
1.3	同位体分別過程	6
1.3.1	同位体交換反応	7
1.3.1.1	分別係数 (α)	9
1.3.1.2	デルタ値 (δ)	10
1.3.1.3	蒸発-凝縮過程	12
1.3.2	動的同位体効果	13
1.3.3	拡散	15
1.3.4	同位体分別に影響を与えるその他の要因	18
1.3.4.1	圧力	18
1.3.4.2	化学組成	18
1.3.4.3	結晶構造	19
1.3.4.4	非質量依存同位体効果	19
1.3.5	同位体地質温度計	22
1.3.5.1	理論計算	24
1.3.5.2	実験に基づく校正	25
1.4	質量分析法の基本	27
1.4.1	連続フロー型同位体比質量分析計	31
1.5	標準物質	33
1.6	気体の試料調製法	36
1.7	新しい微量分析法	38
1.7.1	レーザーマイクロプローブ	38
1.7.2	連続フロー型同位体比質量分析	39
1.7.3	二次イオン質量分析	40
1.8	重元素の安定同位体分析	41

第2章 主要元素の同位体分別	45	第3章 自然界における安定同位体比の変動	113
2.1 水素 (H)	46	3.1 地球外物質	113
2.1.1 試料調製法と質量分析法	48	3.1.1 コンドライト (球粒隕石)	115
2.1.2 標準物質	49	3.1.1.1 水素	118
2.1.3 同位体分別のメカニズム	49	3.1.1.2 炭素	119
2.1.3.1 水素同位体の平衡交換反応	53	3.1.1.3 窒素	121
2.1.3.2 動的同位体効果	55	3.1.1.4 硫黄	121
2.1.3.3 その他の分別効果	55	3.1.2 進化した地球外物質	122
2.2 リチウム (Li)	56	3.1.2.1 月	123
2.3 ホウ素 (B)	59	3.1.2.2 火星	125
2.4 炭素 (C)	64	3.1.2.3 金星	128
2.4.1 試料調製法	64	3.2 上部マントル	128
2.4.2 標準物質	65	3.2.1 酸素	130
2.4.3 同位体分別のメカニズム	65	3.2.2 水素	132
2.4.3.1 無機炭酸塩系	66	3.2.3 炭素	134
2.4.3.2 光合成過程における炭素同位体分別	68	3.2.4 窒素	136
2.4.4 炭酸塩炭素と有機炭素のリザーバー間の相互作用	70	3.2.5 硫黄	137
2.5 窒素 (N)	71	3.3 火成岩	139
2.6 酸素 (O)	76	3.3.1 分別結晶作用	140
2.6.1 試料調製法	77	3.3.2 火山岩と深成岩の違い	141
2.6.2 標準物質	80	3.3.3 低温での変質過程	141
2.6.3 同位体分別のメカニズム	81	3.3.4 地殻岩石の同化作用	142
2.6.4 流体 (熱水) - 岩石の相互作用	87	3.3.5 テクトニックセッティングの異なる玄武岩	143
2.7 マグネシウム (Mg)	91	3.3.6 海水と玄武岩地殻の相互作用	144
2.8 ケイ素 (Si)	92	3.3.7 カコウ岩	145
2.9 硫黄 (S)	93	3.4 マグマ系の揮発性物質	146
2.9.1 試料調製法	94	3.4.1 ガラス	147
2.9.2 同位体分別のメカニズム	95	3.4.1.1 水素	147
2.9.2.1 異化型硫酸還元	96	3.4.1.2 炭素	148
2.9.2.2 熱化学的硫酸還元	99	3.4.1.3 窒素	149
2.9.2.3 同位体交換反応	99	3.4.1.4 硫黄	149
2.10 塩素 (Cl)	101	3.4.2 火山ガスと温泉	150
2.11 カルシウム (Ca)	104	3.4.2.1 水	150
2.12 クロム (Cr)	105	3.4.2.2 炭素	151
2.13 鉄 (Fe)	106	3.4.2.3 硫黄	153
2.14 銅 (Cu)	108	3.4.3 地熱系における同位体温度計	154
2.15 亜鉛 (Zn)	109	3.5 鉱床と熱水系	154
2.16 セレン (Se)	109	3.5.1 鉱床を作る流体の起源	157
2.17 モリブデン (Mo)	111	3.5.1.1 マグマ水	160
2.18 タリウム (Tl)	111	3.5.1.2 変成水	160

3.5.1.3	地層水	161
3.5.2	母岩の変質作用	161
3.5.3	化石熱水系	162
3.5.4	熱水性炭酸塩	163
3.5.5	鉱床の硫黄同位体比	165
3.5.5.1	fO ₂ および pH の重要性	165
3.5.5.2	中央海嶺の現在の硫化物鉱床	167
3.5.5.3	マグマ性鉱床	167
3.5.5.4	マグマ性の熱水鉱床	168
3.5.5.5	卑金属（ベースメタル）および貴金属の鉱脈鉱床	169
3.5.5.6	火山性の塊状硫化物鉱床	170
3.5.5.7	頁岩・炭酸塩を母岩とする塊状硫化物鉱床	170
3.5.5.8	ミシシッピーバレー型鉱床	171
3.5.5.9	生物起源の鉱床	171
3.5.5.10	變成鉱床	172
3.6	水圏	172
3.6.1	天水	173
3.6.1.1	δD 値と δ ¹⁸ O 値の関係	176
3.6.1.2	古代の天水	177
3.6.2	アイスコア	178
3.6.3	地下水	179
3.6.4	蒸発に伴う同位体分別	181
3.6.5	海水	182
3.6.6	間隙水	185
3.6.7	地層水	186
3.6.8	水和した塩鉱物の水	189
3.7	地質時代における海洋の同位体比	189
3.7.1	酸素	191
3.7.2	炭素	193
3.7.3	硫黄	195
3.8	海洋と淡水中の溶存および粒子状化合物の同位体比	198
3.8.1	水中の炭素化合物	198
3.8.1.1	海水の重炭酸	198
3.8.1.2	粒子状有機物	200
3.8.1.3	間隙水の炭素	201
3.8.1.4	淡水の炭素	202
3.8.2	窒素	204
3.8.3	酸素	205
3.8.4	硫酸態硫黄	205
3.9	大気	207

3.9.1	窒素	208
3.9.2	亜酸化窒素	209
3.9.3	酸素	211
3.9.4	二酸化炭素	212
3.9.4.1	炭素	212
3.9.4.2	酸素	215
3.9.4.3	濃度の長期変動	216
3.9.5	一酸化炭素	219
3.9.6	メタン	220
3.9.7	水素	221
3.9.8	硫黄	221
3.9.9	大気化合物の非質量依存性同位体効果	223
3.10	生物圏	224
3.10.1	生体有機物	224
3.10.1.1	全炭素	224
3.10.1.2	水素	226
3.10.1.3	酸素	227
3.10.1.4	窒素	228
3.10.1.5	硫黄	228
3.10.2	食物連鎖と代謝指標としての安定同位体	229
3.10.3	人類起源の有機汚染物質の追跡	230
3.10.4	化石有機物	231
3.10.4.1	個別の有機化合物の同位体組成	232
3.10.4.2	海と陸の有機物	233
3.10.5	オイル	234
3.10.6	石炭	237
3.10.7	天然ガス	238
3.10.7.1	生物起源のガス	239
3.10.7.2	熱分解ガス	240
3.10.7.3	非生物起源のメタン	242
3.11	堆積岩	242
3.11.1	粘土鉱物	243
3.11.2	砕屑性堆積岩	244
3.11.3	生物起源シリカとチャート	248
3.11.4	海成炭酸塩	249
3.11.4.1	酸素	249
3.11.4.2	炭素	254
3.11.5	続成作用	256
3.11.5.1	天水経路	256
3.11.5.2	埋積経路	257

3.11.6	ドロマイト	258
3.11.7	淡水産の炭酸塩	259
3.11.8	リン酸塩	261
3.11.9	鉄の酸化物	263
3.11.10	堆積性硫黄	264
3.12	古気候学	267
3.12.1	陸の記録	267
3.12.1.1	アイスコア	269
3.12.2	海の記録	275
3.12.2.1	サンゴ	277
3.12.3	最近 6500 万年間の特徴的気候大事変	277
3.13	変成岩	280
3.13.1	接触変成作用	284
3.13.2	広域変成作用	286
3.13.3	下部地殻起源の岩石	288
3.13.4	同位体温度計	290
参考文献		295
参考文献の追加		367
訳者あとがき		371
索引		375