



# 目 次

序

まえがき

序 章 放射性廃棄物処分と地質科学——課題と展望 .....	1
--------------------------------	---

## I 日本列島のテクトニクス

第1章 日本列島の地質と地層処分 .....	5
------------------------	---

1.1 はじめに .....	5
1.2 日本の地質の枠組 .....	6
1.3 岩種・岩質 .....	8
1.3.1 岩 種——8	
1.3.2 岩 質——11	
1.4 地殻変動 .....	12
1.5 活断層 .....	14
1.6 火山活動 .....	17
1.7 おわりに .....	19

第2章 活断層の浅～深部地下構造 .....	20
------------------------	----

2.1 はじめに .....	20
2.2 開始された活断層の地下構造研究 .....	21
2.2.1 サンアンドレアス断層系——21	
2.2.2 中央構造線——25	
2.3 活断層研究の新しい段階へ .....	34
2.3.1 地下活構造マップの試み——34	
2.3.2 浅層高分解能反射法地震探査による3次元 サイスミック・トレンチング——35	
2.3.3 求められる新しい研究スタイル——36	

## II 地下水流動と地化学特性

第3章 表層における地下水流動 .....	39
3.1 はじめに .....	39
3.2 地下水の循環と循環場に関する基本的事項 .....	40
3.2.1 表層部での地中水の存在——	40
3.2.2 降下浸透過程——	44
3.2.3 地下水の流向流速——	49
3.2.4 表層地下水と深層地下水の連絡——	51
3.3 地下水流動に関する計測と評価 .....	53
3.3.1 室内トレーサー試験——	53
3.3.2 野外トレーサー試験——	56
3.4 調査事例 .....	61
3.4.1 調査地域の概況——	61
3.4.2 硝酸性窒素，炭酸物質にもとづく地下水流動機構 の推定——	62
3.4.3 同位体分析にもとづく地下水流動機構の推定——	65
第4章 深層を含む広域地下水流動 .....	69
4.1 はじめに .....	69
4.2 立坑掘削に伴う地下水流動の影響 .....	69
4.2.1 場の理解について——	71
4.2.2 水理地質構造のモデル化——	73
4.2.3 地下水流動の予測と解析——	75
4.2.4 長期観測との比較によるモデルの検証とまとめ——	77
4.3 深部地下水の調査 .....	78
4.3.1 表層水理の調査——	81
4.3.2 深層水理の調査——	87
4.3.3 水理地質構造のモデル化——	94
4.3.4 地下水流動の解析と検証——	99
4.3.5 まとめ——	101

第5章 地層処分に関する岩盤割れ目系と浸透流解析 .....	104
5.1 はじめに .....	104
5.2 割れ目の形成, 再動の未来予測の重要性 .....	106
5.3 地質現象のリアリティの再現と浸透流解析モデル .....	108
5.4 Don-Chan モデル .....	110
5.5 地質構造とチャンネル .....	115
5.6 今後, 必要とされる地質技術 .....	120
第6章 地下水の地化学特性 .....	123
6.1 はじめに .....	123
6.2 水質の形成と変化 .....	123
6.3 地下水の同位体地球化学 .....	128
6.3.1 地下水の $\delta D$ および $\delta^{18}O$ ——	129
6.3.2 降水, 河川水, 地下水の研究例 ——	130
6.3.3 溶存化学成分の同位体比 ——	135
6.4 東濃ウラン鉱山地下水の地化学特性 .....	139
第7章 地下水・熱水移行シナリオとナチュラルアナログ研究 .....	147
7.1 はじめに .....	147
7.2 地下水移行シナリオ .....	148
7.2.1 従来の研究 ——	148
7.2.2 今回の研究 ——	149
7.3 変動シナリオ(熱水の影響) .....	151
7.4 ナチュラルアナログ研究 .....	154
7.4.1 熱水移行シナリオに対する研究 ——	155
7.4.2 地下水移行シナリオに対する研究 ——	157
7.5 まとめ .....	160

## III 岩石と水の相互作用

第 8 章 岩盤割れ目のセルフシーリング .....	165
8.1 はじめに .....	165
8.2 シリカの溶解度, 沈澱速度, および安定性に関する従来の 研究 .....	167
8.3 シリカの沈澱実験 .....	169
8.3.1 実験装置——	169
8.3.2 試料および実験条件——	170
8.3.3 採水および水の化学分析・岩石の走査型電子 顕微鏡観察——	172
8.3.4 実験結果——	173
8.4 シリカの沈澱挙動と pH および流速との関係 .....	175
8.5 割れ目内流れにおけるシリカの沈澱挙動 .....	177
8.6 処分場周辺条件における岩盤割れ目のシーリング .....	179
8.7 おわりに .....	181
第 9 章 岩石中の物質移動と岩石・水反応機構 .....	186
9.1 はじめに .....	186
9.2 岩石中の物質移動の定量的表現 .....	187
9.3 岩石・堆積物中の物質の移動速度と移動経路 .....	190
9.3.1 多孔質媒体中での拡散現象の定式化——	190
9.3.2 海底堆積物中の拡散と間隙率, 粒度, 屈曲度——	193
9.3.3 岩石間隙水中の拡散と間隙率, 間隙孔径分布——	195
9.3.4 岩石間隙の連続性——	198
9.3.5 岩石中の物質移動経路の屈曲度——	200
9.4 岩石/水相互作用の地球化学反応経路と速度 .....	204
9.4.1 岩石/水相互作用における鉄とアクチノイドの 挙動——	205
9.4.2 天然有機物と放射性元素の相互作用——	211
9.4.3 地球化学的反應速度論——	217
9.5 岩石中での放射性元素の挙動の予言 .....	218

第 10 章	熱水系における岩石-水相互作用の数値シミュレーション	…226
10.1	はじめに	…226
10.2	地熱地帯に見られる熱水の特徴	…227
10.2.1	地化学温度計の視点から	—227
10.2.2	熱水一相の化学平衡計算の基本	—228
10.2.3	分離した蒸気の補正	—232
10.2.4	鉱物の飽和度および活動度-活動度図	—232
10.3	水と岩石の相互作用	…236
10.3.1	熱水-鉱物間の化学平衡(多相平衡)の基本	—236
10.3.2	反応経路計算の原理	—237
10.4	数値実験のためのモデル化と実験	…239
10.5	計算結果	…241
10.6	考 察	…246
10.7	結びおよび今後の課題	…248
第 11 章	地質時代における大規模天水循環	…252
11.1	はじめに	…252
11.2	Skaergaard 貫入岩に伴う熱水循環	…254
11.3	Lake City カルデラにおける熱水循環	…257
11.4	浜田コールドロンの熱水循環	…263
11.5	濃飛流紋岩類における熱水変質	…267
11.6	おわりに	…273
第 12 章	地下深部における岩石の変質	…276
12.1	はじめに	…276
12.2	変質作用の種類と成因	…277
12.2.1	埋没続成作用	—277
12.2.2	熱変成作用	—281
12.2.3	熱水変質作用	—282
12.2.4	その他の変質作用	—286
12.3	日本列島の続成変質域	…287

12.3.1	先新第三系の続成変質域——	287
12.3.2	新第三系の続成変質域——	288
12.4	日本列島の熱変成域 .....	291
12.4.1	先新第三系の熱変成域——	291
12.4.2	新第三系の熱変成域——	292
12.5	日本列島の熱水変質域 .....	292
12.5.1	先新第三系の熱水変質域——	292
12.5.2	新第三系の熱水変質域——	294
12.5.3	活地熱地帯の熱水変質域——	297
12.6	日本列島のカルデラ型ゼオライト変質域 .....	301
12.6.1	先新第三系のカルデラ型ゼオライト変質域——	301
12.6.2	新第三系のカルデラ型ゼオライト変質域——	301
12.7	日本列島の白垂系・第三系の変質区 .....	301
12.7.1	地表と地下の変質作用——	301
12.7.2	変質区——	302
12.8	おわりに .....	304

#### IV 地下処分の現状

第13章	欧米諸国における研究の動向と地質環境 .....	309
13.1	はじめに .....	309
13.2	放射性廃棄物処理に関する内外諸国の動き .....	310
13.2.1	日本——	310
13.2.2	アメリカ合衆国——	314
13.2.3	カナダ——	316
13.2.4	スイス——	316
13.2.5	ドイツ——	317
13.2.6	ベルギー——	318
13.2.7	スウェーデン——	318
13.2.8	フランス——	319
13.2.9	イギリス——	320
13.2.10	国際的な動き——	320
13.3	地層処分地域の地質学的環境 .....	321

13.3.1	先カンブリア時代の花崗岩質基盤岩類	—322
13.3.2	変動帯の花崗岩質基盤(スイスアルプス)	—327
13.3.3	古第三紀の粘土層(ベルギー)	—330
13.3.4	岩塩(メキシコ湾岸の岩塩ドーム)	—332
13.4	おわりに	.....336
第14章	動力炉・核燃料開発事業団における地層処分研究	.....341
14.1	はじめに	.....341
14.2	高レベル放射性廃棄物の性質と研究開発の基本的な考え方	...342
14.3	地層処分研究開発の特徴と地層科学研究	.....345
14.4	地層処分の研究体制と進め方	.....348
14.5	地層処分研究開発の現状	.....349
14.5.1	わが国におけるシナリオ解析	—349
14.5.2	ニアフィールド環境に関する研究	—352
14.5.3	ファーフィールド環境に関する研究	—356
14.6	地層科学研究の現状	.....358
14.6.1	日本列島の地質単元とその特徴に関する研究	—359
14.6.2	地層科学研究の課題	—360
14.6.3	地質環境の長期安定性に関する調査研究	—369
14.6.4	地層科学研究にかかわる国際共同研究	—377
14.7	今後の研究課題	.....379
索引		.....383