

# 目 次

序 文	<i>i</i>
日本語版への序文	<i>iii</i>
訳者まえがき	<i>iv</i>
<b>1 章 はじめに</b>	<b>1</b>
1.1 定義と対象	1
1.2 水循環	2
1.3 地球規模水収支の推定値	2
1.4 方法と手順	5
1.4.1 統計解析とデータ変換	5
1.4.2 「物理的」アプローチと「システム論的」アプローチ	6
1.4.3 水平スケールとパラメタリゼーション	7
1.5 保存則：運動方程式	9
1.5.1 流体特性の変化速度	9
1.5.2 質量の保存：連続の式	10
1.5.3 運動量の保存：オイラーとナビエ・ストークスの方程式	12
1.5.4 キネマティック法	14

## I 部 大気中の水

<b>2 章 大気中の水 下部大気の流体力学</b>	<b>19</b>
2.1 空気中の水蒸気	19
2.1.1 全球的な特性	19
2.1.2 物理特性	20
2.1.3 飽和水蒸気圧	22
2.2 流体静力学と大気安定度	23
2.2.1 不飽和大気安定度	24
2.2.2 飽和大気安定度	26
2.2.3 条件つき不安定	27
2.3 水蒸気の乱流輸送	27
2.4 大気境界層	29
2.4.1 準均質状態	29
2.4.2 ABL の一般的な構造	30

2.5	乱流の相似則 . . . . .	33
2.5.1	乱流輸送のパラメタリゼーション . . . . .	33
2.5.2	いくつかの具体的な例：フラックス・プロファイル関数 . . . . .	34
2.6	地表面での境界条件：熱収支の制約 . . . . .	43
2.6.1	正味放射 . . . . .	45
2.6.2	層の下部境界でのエネルギーフラックス . . . . .	52
2.6.3	熱収支の小さな項 . . . . .	55
2.6.4	地表面熱収支の全球での気候値 . . . . .	55
<b>3</b>	<b>章 降 水</b>	<b>63</b>
3.1	降水の形成 . . . . .	63
3.1.1	メカニズム . . . . .	63
3.1.2	降水の種類 . . . . .	64
3.2	大きな降水をもたらす天気組織 . . . . .	65
3.2.1	温帯低気圧と前線 . . . . .	65
3.2.2	温帯対流性の天気 . . . . .	67
3.2.3	季節性熱帯システム . . . . .	70
3.2.4	大規模熱帯性対流システム . . . . .	70
3.2.5	地形効果 . . . . .	71
3.3	地表面での降水分布 . . . . .	72
3.3.1	空間分布 . . . . .	72
3.3.2	時間分布 . . . . .	75
3.3.3	流出計画のための降雨データ . . . . .	76
3.4	遮 断 . . . . .	79
3.4.1	定義と観測された大きさ . . . . .	79
3.4.2	植生の遮断損失メカニズム . . . . .	79
3.4.3	植生構造パラメータの実験による決定 . . . . .	82
3.4.4	実験式 . . . . .	83
3.5	ルーチン的な降水量測定の信頼性 . . . . .	84
<b>4</b>	<b>章 蒸 発</b>	<b>93</b>
4.1	蒸発のメカニズム . . . . .	93
4.2	質量輸送式 . . . . .	94
4.2.1	乱流変動による方法 . . . . .	94
4.2.2	平均量に基づく方法 . . . . .	94
4.3	熱収支および関係する式 . . . . .	98
4.3.1	標準的な適用 . . . . .	98
4.3.2	ぬれた表面からの蒸発：単純化した式 . . . . .	99
4.3.3	陸面に対する実用的な方法 . . . . .	104
4.3.4	陸面上の日変化：自己保存近似 . . . . .	110

4.4	水収支法 . . . . .	111
4.4.1	陸面の水収支 . . . . .	113
4.4.2	大気水収支 . . . . .	115
4.4.3	土壌プロファイル水収支 . . . . .	116
4.5	蒸発の気候値 . . . . .	117

## II 部 地表面の水

### 5 章 地表面上の水 自由水面流れの流体力学 129

5.1	自由水面の流れ . . . . .	129
5.2	水理解析法理論：浅水方程式 . . . . .	130
5.2.1	連続の式 . . . . .	131
5.2.2	運動量の保存 . . . . .	132
5.3	摩擦勾配 . . . . .	134
5.3.1	層流 . . . . .	135
5.3.2	乱流 . . . . .	136
5.3.3	摩擦勾配パラメタリゼーションのまとめ . . . . .	139
5.4	一般的考察と自由水面流れの性質 . . . . .	139
5.4.1	浅水方程式の完全系：小さなじょう乱 . . . . .	140
5.4.2	拡散との相似：第 1 の近似 . . . . .	148
5.4.3	準定常等流アプローチ：第 2 の近似 . . . . .	152
5.4.4	自由水面を有する流れに対する集中型キネマティック法：第 3 の近似 . . . . .	155

### 6 章 地表流 161

6.1	標準的な定式化 . . . . .	161
6.2	キネマティックウェーブの方法 . . . . .	162
6.2.1	側方からの非定常な流入 . . . . .	164
6.2.2	側方からの定常な流入 . . . . .	164
6.3	集中型キネマティック解析 . . . . .	170

### 7 章 河流追跡 175

7.1	大きな洪水波の伝搬における両極端の事例 . . . . .	175
7.1.1	サージ（動力学的な衝撃） . . . . .	175
7.1.2	単斜上昇波（運動学的衝撃） . . . . .	180
7.2	集中型キネマティック法：マスキンガム法 . . . . .	181
7.2.1	概念的な導出 . . . . .	181
7.2.2	解析解 . . . . .	184
7.2.3	標準的な実行方法 . . . . .	185
7.3	マスキンガム法のパラメータの推定 . . . . .	187
7.3.1	過去の洪水波事例を用いたキャリブレーション . . . . .	187

7.3.2	水路の物理的特性によるパラメータ推定	190
7.3.3	物理的根拠に基づいたキャリブレーションパラメータの調節	194

### III 部 地表面下の水

<b>8 章</b>	<b>地中の水 多孔体中の流体力学</b>	<b>203</b>
8.1	多孔体	203
8.2	空気存在下の間隙水の流体静力学	204
8.2.1	水分量と圧力の関係	204
8.2.2	保水メカニズム	207
8.2.3	ヒステリシス	210
8.2.4	土壌水分特性の関数型	217
8.3	多孔体中の水の輸送	218
8.3.1	間隙を満たす流体の力学：ダルシー則	218
8.3.2	不飽和流	223
8.3.3	ダルシー則の限界	226
8.3.4	透水係数と土壌水分の拡散係数の関数表現	227
8.3.5	透水度のモデル	229
8.4	質量と運動量保存場の方程式	234
8.4.1	剛性多孔体中の一定密度の流体	234
8.4.2	弾性多孔体中の 2 つの不混和流体の一般的な事例	234
<b>9 章</b>	<b>浸透および関連する不飽和流</b>	<b>251</b>
9.1	浸透現象の一般的性質	251
9.1.1	浸透能	251
9.1.2	降雨浸透	253
9.2	重力のない場合の浸透能：吸水	253
9.2.1	水平流過程の拡散型の定式化	253
9.2.2	第 1 の積分結果の適用例	257
9.2.3	強い非線形性土壌に対するほぼ厳密な解	261
9.2.4	中程度に非線形な土壌に対するほぼ厳密な解：線形化	264
9.3	浸透能	265
9.3.1	湛水の鉛直浸透の拡散式	265
9.3.2	重力の影響下の水平流としての鉛直浸透	266
9.3.3	級数解の閉じた形	267
9.3.4	付加的な効果	268
9.3.5	可能浸透強度に対する他のいくつかの式	269
9.4	降雨浸透	270
9.4.1	数学的な定式化	271
9.4.2	湛水までの時間	271

9.4.3	湛水開始後の浸透：時間圧縮近似	274
9.5	集水域スケールでの浸透と他の「損失」	278
9.5.1	浸透能法	278
9.5.2	損失率の概念	278
9.6	毛管上昇と土壌表面での蒸発	280
9.6.1	地下水面からの定常な毛管上昇	280
9.6.2	土壌の非定常な乾燥：脱水に基づくパラメタリゼーション	281
9.6.3	野外での適用	284
<b>10 章</b>	<b>地下水流出量と基底流量</b>	<b>297</b>
10.1	河畔域の不圧帯水層中の流れ	297
10.1.1	一般的な定式化	297
10.1.2	いくつかの一般的な近似式	299
10.1.3	飽和-不飽和混合流の性質	299
10.1.4	排水開始時の初期状態	304
10.2	自由水面を有する流れ：第 1 の近似	305
10.2.1	一般的な定式化	305
10.2.2	自由水面に対する解の性質	308
10.3	地下水に対する水理解析法理論：第 2 の近似	309
10.3.1	一般的な定式化	309
10.3.2	水理解析法理論により記述された定常流	311
10.3.3	標準的な水理解析法理論により記述される非定常流	315
10.3.4	短時間の流出の様子	316
10.3.5	長時間の流出の様子	318
10.4	地下水に対する線形化水理解析法理論：第 3 の近似	322
10.4.1	一般的な定式化	322
10.4.2	水平な帯水層からの流れ	324
10.4.3	傾斜した帯水層からの流れ	330
10.4.4	毛管水帯の結合	335
10.5	傾斜した帯水層中のキネマティックウェーブ：第 4 の近似	335
10.6	集水域スケールでの基底流のパラメタリゼーション	337
10.6.1	一般的な性質	337
10.6.2	指数関数的減衰過程としての基底流の平均的減水	338
10.6.3	基底流量の減少速度：減水勾配解析	339

## **IV 部 降水への応答としての流域スケールの水の流れ**

<b>11 章</b>	<b>水流発生機構 メカニズムとパラメタリゼーション</b>	<b>357</b>
11.1	河畔域と源流域	357
11.2	河畔域における洪水流出メカニズム	358

11.2.1	地表流	358
11.2.2	地中洪水流出	361
11.3	メカニズムとパラメタリゼーションの選択肢に関するまとめ	370
11.3.1	一般的な考察	370
11.3.2	いかにまとめるか？ 分布型アプローチと集中型アプローチ	371
<b>12章</b>	<b>集水域スケールでの河川流の応答</b>	<b>377</b>
12.1	定常線形応答：単位図	377
12.1.1	基礎となる概念	377
12.1.2	基本的な方法の拡張：他の応答関数	379
12.2	線形応答関数の決定	382
12.2.1	既存データの利用	382
12.2.2	線形洪水追跡法による簡潔なパラメタリゼーション	386
12.3	定常で非線形な集中型応答	399
12.3.1	非線形たたみこみ積分による関数解析	400
12.3.2	非線形流出追跡	400
12.4	非定常な線形応答	403
<b>13章</b>	<b>水文学における頻度解析の基本</b>	<b>413</b>
13.1	確率変数と確率	413
13.2	確率分布関数の記述子	415
13.2.1	モーメント	415
13.2.2	分位数	416
13.2.3	再現期間	416
13.2.4	経験的な確率プロット	417
13.2.5	理論的確率分布関数	420
13.3	離散型変数に対する確率分布	421
13.3.1	幾何分布	421
13.3.2	二項分布	423
13.4	連続変数に対する確率分布	424
13.4.1	正規分布	424
13.4.2	対数正規分布	426
13.4.3	一般化ガンマ分布	428
13.4.4	一般化対数ガンマ分布	429
13.4.5	極値に関する第Ⅰ種漸近分布	430
13.4.6	極値に関する第Ⅱ種漸近分布	434
13.4.7	一般化極値分布	436
13.4.8	べき法則（フラクタル）分布	438
13.5	利用できるデータの拡張	441
13.5.1	歴史的な情報	441

13.5.2	地域総合化	442
<b>14 章</b>	<b>おわりに 水循環の認識の歴史</b>	<b>453</b>
14.1	初期の概念：大気の水循環	453
14.2	古代ギリシャ	455
14.2.1	ソクラテス以前の哲学者	455
14.2.2	アリストテレス	459
14.2.3	後期アリストテレス学派	461
14.3	古代ローマ時代	462
14.3.1	ローマ人	462
14.3.2	西部ラテン社会の中世初期	465
14.3.3	中世盛期とルネッサンス	466
14.4	哲学から実験による科学へ	468
14.4.1	17世紀終わりにおける一般的な意見	468
14.4.2	初めての実験的な解析	469
14.4.3	長引く問題の解決と一般的意見の遅々とした受容	475
14.5	おわりに	480
<b>付録</b>	<b>役に立つ数学概念</b>	<b>485</b>
A.1	積分の微分操作	485
A.2	線形定常システムの一般応答	485
A.3	非線形システムの一般応答	491
<b>索引</b>		<b>493</b>