

このたび、新たに土木・環境系の教科書シリーズを刊行することになった。シリーズ名称は、必要不可欠な内容を含む標準的な大学の教科書作りを目指すとの編集方針を表現する意図で「土木・環境系コアテキストシリーズ」とした。本シリーズの読者対象は、我が国の大学の学部生レベルを想定しているが、高等専門学校における土木・環境系の専門教育にも使用していただけるものとなっている。

本シリーズは、日本技術者教育認定機構（JABEE）の土木・環境系の認定基準を参考にして以下の6分野で構成され、学部教育カリキュラムを構成している科目をほぼ網羅できるように全29巻の刊行を予定している。

A 分野：共通・基礎科目分野

B 分野：土木材料・構造工学分野

C 分野：地盤工学分野

D 分野：水工・水理工学分野

E 分野：土木計画学・交通工学分野

F 分野：環境システム分野

なお、今後、土木・環境分野の技術や教育体系の変化に伴うご要望などに応じて書目を追加する場合もある。

また、各教科書の構成内容および分量は、JABEE 認定基準に沿って半期2単位、15週間の90分授業を想定し、自己学習支援のための演習問題も各章に配置している。

従来の土木系教科書シリーズの教科書構成と比較すると、本シリーズは、A

分野（共通・基礎科目分野）に JABEE 認定基準にある技術者倫理や国際人英語等を加えて共通・基礎科目分野を充実させ、B 分野（土木材料・構造工学分野）、C 分野（地盤工学分野）、D 分野（水工・水理学分野）の主要力学 3 分野の最近の学問的進展を反映させるとともに、地球環境時代に対応するため E 分野（土木計画学・交通工学分野）および F 分野（環境システム分野）においては、社会システムも含めたシステム関連の新分野を大幅に充実させているのが特徴である。

科学技術分野の学問内容は、時代とともにつねに深化と拡大を遂げる。その深化と拡大する内容を、社会的要請を反映しつつ高等教育機関において一定期間内で効率的に教授するには、周期的に教育項目の取捨選択と教育順序の再構成、教育手法の改革が必要となり、それを可能とする良い教科書作りが必要となる。とは言え、教科書内容が短期間で変更を繰り返すことも教育現場を混乱させ望ましくはない。そこで本シリーズでは、各巻の基本となる内容はしっかりと押さえたうえで、将来的な方向性も見据えた執筆・編集方針とし、時流にあわせた発行を継続するため、教育・研究の第一線で現在活躍している新進気鋭の比較的若い先生方を執筆者としておもに選び、執筆をお願いしている。

「土木・環境系コアテキストシリーズ」が、多くの土木・環境系の学科で採用され、将来の社会基盤整備や環境にかかわる有為な人材育成に貢献できることを編集者一同願っている。

2011 年 2 月

編集委員長 日下部 治

水文学は「すいもんがく」と読む。水文学は、地球の水循環に関するあらゆる現象を包括した学問である。古代から哲学者たちが水の循環の説明を試みると同時に、技術者たちは巨大な水理構造物を建設した。紀元前 2800 年頃にはエジプトにダムが建設されているし、ハムラビ法典にも水に関する法律が記されている。水は多くの自然現象や人間活動に影響を与えるため、さまざまな学問分野で発展したのは当然であるといえる。現在まで水文学は、哲学に始まり、法律学、地理学、気象学、湖沼学、土木工学、農業土木、林学などで取り扱われてきた。最近では、生態学や水質工学に代表されるような環境分野や、経済学、政治学のような分野にも拡大している。

著者は、同時期に水理学の教科書の一部も執筆した。流体力学の一部である水理学の理論体系は強固で、自由度はほとんどなく、古典的な展開にならざるを得ない。一方、水文学はどの部分もさまざまな理論や知識が詰まっており、独立した視点から説明が可能であると同時にその体系化はひどく難しい。水文学が扱う分野は広範であり、1冊の本ですべてを書き表すことは無理である。その中でも、本書では実務に役立ちそうな基本的事項に絞って記すように心掛けたつもりである。本書は水文学の入門書であり、水文学の全体像を読者がつかめるような内容を目指した。寝ころびながら読んでもらいたい。数式や脚注など読みにくいと感じる項目は読み飛ばしても構わないし、水資源の問題に興味があるなら8章から読み始めてもよいし、コラムを先に読んでよい。もう少し詳細な説明が必要と思われた理論式の展開や考え方については、脚注や付録に記すこととした。物理や数学を得手とする人は、本文と付録を読んだ後、

専門書に進めばよいだろう。本書を足がかりに、統計確率水文学の専門書や境界層気象学の専門書、Ven Te Chow（周 文徳）らがまとめた“Applied Hydrology”のような洋書に取り組めば、さらに水文学の世界が広がるだろう。水文学を基礎として、水資源学や河川工学などの応用分野に進めば、人間活動と水のつながりをより密接に感じることができるだろう。

読者には本書を読むだけでなく、教室の外に出て実現象を見ることをお願いしたい。水の循環は自然現象であり、時々刻々とその様相を変える。風によって揺れている枝葉を見れば、乱流によって蒸散現象が促されていることを実感できる。雨上がりの溪流にいけば、復帰流や地表流を見ることができるだろう。現地（フィールド）観察は水文学の基本であり、教科書の出来事が具現化されるし、新しい発見もあるだろう。簡易な計測機器を持てば、より水循環を定量的に感じることができるはずである。五感によって水文学を感じてほしい。

このまえがきの推敲中に東日本大震災が発生した。水道が途絶えて、水に関して四苦八苦する生活を2週間以上過ごした。トイレに流す水が最も多いこと、雪は集めるのが楽だが大した量にならずしかも溶けにくいこと、20リットルの水を800メートル運ぶ労働力など、多くのことについて身をもって確認した。沿岸域の困窮に比べればたいしたことはないが、水のありがたさを体感した。水文学の知識は、水を手に入れるあらゆる場面で活用でき、実践的かつ有用な学問であることを再確認した。

最後に、本書を執筆する機会を与えていただいた神戸大学の道奥康治先生、下書きの段階から細部に注意して校正作業に協力してくれた川越清樹先生（福島大学准教授）、横尾善之先生（福島大学准教授）、学生の視点で不明な点やわかりにくい点を指摘してくれた糠澤 桂君、小野桂介君、天野文子君に深甚の謝意を表します。

2011年7月

風 間 聡

# 目次

## 1章 水の循環

- 1.1 水の役割 2
- 1.2 グローバル水循環 3
- 1.3 メソスケール水循環 6
- 1.4 さまざまな水文学量 8
- 演習問題 11

## 2章 蒸発散

- 2.1 蒸発散とは 13
- 2.2 水収支と熱収支 13
  - 2.2.1 水収支 13
  - 2.2.2 熱収支 14
  - 2.2.3 水蒸気量 17
- 2.3 蒸発散モデル 19
  - 2.3.1 バルク法 19
  - 2.3.2 渦相関法 21
  - 2.3.3 ペンマン・モンテイス式 22
  - 2.3.4 平衡蒸発量 23
  - 2.3.5 ソーンズウェイト式とハモン式 24
- 2.4 遮断蒸発 25
- 2.5 蒸発散の観測 26
- 演習問題 27

## 3章 降水

- 3.1 降水とは 29

3.2	雲 過 程	29
3.2.1	上昇流と雲の発生	29
3.2.2	雨滴と氷滴のでき方	30
3.2.3	大気的不安定	32
3.3	降雨と降雪の特徴	33
3.4	降水の観測	35
3.4.1	流域降水量	35
3.4.2	降水量の観測	39
	演習問題	41

## 4章 地 表 流

4.1	流出の基礎	43
4.1.1	さまざまな流出	43
4.1.2	流量の表記	44
4.1.3	有効降雨	45
4.2	流量の観測	46
4.3	流出モデル	50
4.3.1	流出モデルの分類	50
4.3.2	合理式	50
4.3.3	単位関法	52
4.3.4	応答関数	53
4.3.5	貯留関数法	54
4.3.6	タンクモデル	55
4.3.7	キネマティックウェイブモデル	57
4.3.8	流出モデルの性能評価	59
	演習問題	61

## 5章 地 中 流 出

5.1	地中流の成分	64
5.1.1	土 壌 水 分	64
5.1.2	土 壌 層	66
5.2	飽 和 流	67
5.2.1	不圧地下水と被圧地下水	67
5.2.2	ダルシー式	67
5.2.3	ポテンシャル流	69

5.2.4	準一様流	70
5.3	不飽和流	71
	■ リチャーズ式	71
5.4	浸透	73
5.5	地中流の観測	74
5.6	地下水資源の問題	75
	演習問題	76

## 6章 貯留

6.1	貯留とは	78
6.2	自然貯留	78
	6.2.1 積雪と融雪	78
	6.2.2 地中水	80
	6.2.3 湖沼	82
6.3	人工貯留	83
	6.3.1 ダムと貯水池	83
	6.3.2 貯留施設の区分	84
	6.3.3 水田	84
6.4	貯留の問題点	86
	演習問題	86

## 7章 確率統計水文学

7.1	確率統計水文学の歴史	88
7.2	頻度分析	88
	7.2.1 ヒストグラム	89
	7.2.2 確率密度関数と分布関数	89
	7.2.3 リターンピリオド	91
	7.2.4 さまざまな分布関数	92
	7.2.5 分布関数の選定	95
	7.2.6 その他の頻度分析	97
7.3	時系列分析	98
	7.3.1 時系列データの成分分類	98
	7.3.2 確定成分	98
	7.3.3 確率成分	102
	演習問題	103

## 8章 水資源の考え方

8.1 水資源とは	105
8.1.1 水資源の問題	105
8.1.2 河川法	107
8.2 水紛争	108
8.3 親水性	110
8.4 水の質の問題	111
8.4.1 汚染場	111
8.4.2 汚染物質	112
8.4.3 塩水問題	114
8.5 地球規模の問題	114
8.5.1 温暖化	114
8.5.2 砂漠化	117
8.5.3 水の市場化	118
演習問題	120

付録1 リモートセンシング	121
付録2 乱流拡散	129
付録3 気温減率	136
付録4 水理学の基礎	141
付録5 毛管現象と浸透能	146
付録6 確率密度関数の母数推定	150
引用・参考文献	154
演習問題解答	157
索引	160

# 1 章

# 水の循環

## ◆本章のテーマ

水文学の概要を知る。水循環をさまざまなスケールで見ると同時に、その仕組みを学ぶ。水文素過程の名称を覚え、諸量の具体的数値を知り、水の移動量をイメージできるようにする。

## ◆本章の構成（キーワード）

- 1.1 水の役割  
熱, 物質移動, 水資源
- 1.2 グローバル水循環  
熱帯収束帯, 南北鉛直循環, 氷河
- 1.3 メソスケール水循環  
自然循環, 人工循環
- 1.4 さまざまな水文量  
極値, 比流量

## ◆本章を学ぶと以下の内容をマスターできます

- ☞ 水循環の流れ（地球規模から日本規模まで）
- ☞ 太陽放射を駆動力とする地球規模の水循環から、流域規模の水循環までの仕組みの概要
- ☞ 自然の水循環とは異なる人工の水循環の仕組み
- ☞ 水循環に関する具体的数値

## 1.1 水 の 役 割

水全般を扱う学問が、「水文学」である。「すいもんがく」と読む。1964年にユネスコで「水文学とは地球の水を扱う科学，その発生，循環，分布，その物理的および化学的特性，またそれら特性の人間活動への反応を含めての物理的および生物的環境との相互関係を扱う科学である。すなわち水文学は地球上の水のサイクルのすべての歴史をカバーする分野である」<sup>†1</sup>と定義された<sup>1)†2</sup>。日本の水文・水資源学会は，自然科学だけでなく，社会科学の水に関する研究もカバーしており，水理学や気象学，地理学，陸水学などの理系科目はもちろんのこと，経済学や社会学，政治学などの文系科目も含んだ分野を対象としている。

水は地球を構成する重要な分子である。分子式で書けばただのH<sub>2</sub>Oであるが，その役割は大きい。“Water is life”という言葉がよく使われる。水は生命の源と訳されることが多く，すべての生物にとって必要不可欠なものである。人間の体の65%は水分であり，他の生物においても体を構成する基礎分子である。また，水は安定した生活環境または生息環境を提供する。例えば，後述するが地球の気温が約15℃とほぼ安定して，他の惑星と比べて温暖なもの水が存在するからである。

水は地球上を循環している。大気中ではおもに気体（水蒸気）として，地表面ではおもに液体として移動している。水が移動する際に，さまざまな現象を伴う。例えば，気化熱や融解熱のような相変化を伴って熱は移動するし，土砂や栄養塩などの物質移動だけでなく，魚やウイルスまで運ぶ。現在では，水は管路や船などの人工物を介して運ばれ，水道料金や生産物に変化して金銭とし

---

†1 Hydrology is the science which deals with the waters of the earth, their occurrence, circulation and distribution on the planet, their physical and chemical properties and their interactions with the physical and biological environment, including their responses to human activity.

Hydrology is a field which covers the entire history of the cycle of water on the earth.

†2 肩付き数字は，巻末の引用・参考文献番号を表す。

て移動すると考えることもできる。こうした観点から、水は資産や資源と考えることもできる。水文学は、水に対する人間活動を主目的とすれば水資源学と意味をほとんど同じとする。

**水の循環** (hydrological cycle) は、いくつかの過程によって構成されている。過程の一つを**素過程** (process) というが、おもに**蒸発散** (evapotranspiration)、**降水** (precipitation)、**流出** (runoff)、**貯留** (storage) の素過程によって水循環が構成される (図 1.1)。細かく見ると、蒸発散のうち、植物の呼吸によ

って大気に放出されるものを特に蒸散という。蒸発と併せて蒸発散という。降水についても、大気から降雨と降雪、凝結と異なる形態で水が地表面に達する。降雨は直接、地表面に達する場合もあるが、植物の葉や建物に保持されることもある。これを遮断という。地表面に達した水は、重力に従って地表流や地中流と

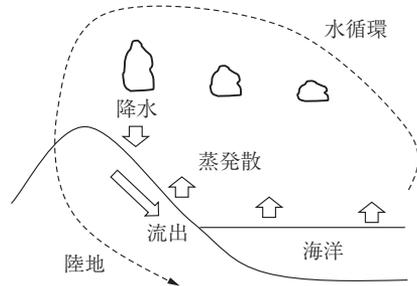


図 1.1 水循環と水文過程

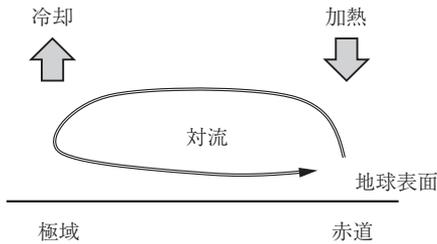
なって海洋に達する。これを流出という。地表流は川に代表される地上を流れる水であり、地中流は土壌や地盤中を流れる水である。一部の水は、自然の湖沼、地下水や、人工物のダム、ため池、水田に貯留される。こうしたそれぞれの素過程によって循環は構成されている。

## 1.2 グローバル水循環

水は地球上を循環している。今日、ニューヨークで降った雨は、メキシコ沖で蒸発した水かもしれないし、メキシコ湾の水は北極海から流れてきたものかもしれない。水は大気の大きな循環場に影響を与えている。この移動のエネルギー源は、おもに太陽放射である。地球上では、赤道付近と極域の間で3倍以上、入射する太陽エネルギーが違う。しかし、赤道付近の温度が上昇し続け、

1. 水 の 循 環

極域では低下し続けるということはない。これは、水を含む大気によって赤道から極域に熱が移動しているからである。味噌汁を鍋で加熱すると、加熱部分の味噌汁は熱膨張によって密度が減少し、鍋の中を上昇する。また、その脇では表面で冷やされた味噌汁が収縮して密度が増加し、沈み込む。この上昇と下降で構成される循環を対流というが、地球でも同じように赤道付近で上昇した



大気が極域で沈降し、大気上層では赤道付近から極域に、大気下層では極域から赤道付近に風が吹く (図 1.2)。こうした南北循環の考えは、1700 年代にハドレーによって考えられた。実際には図 1.3 に示すような三つの循環が発見され

図 1.2 南北循環による大気中の水の流れ

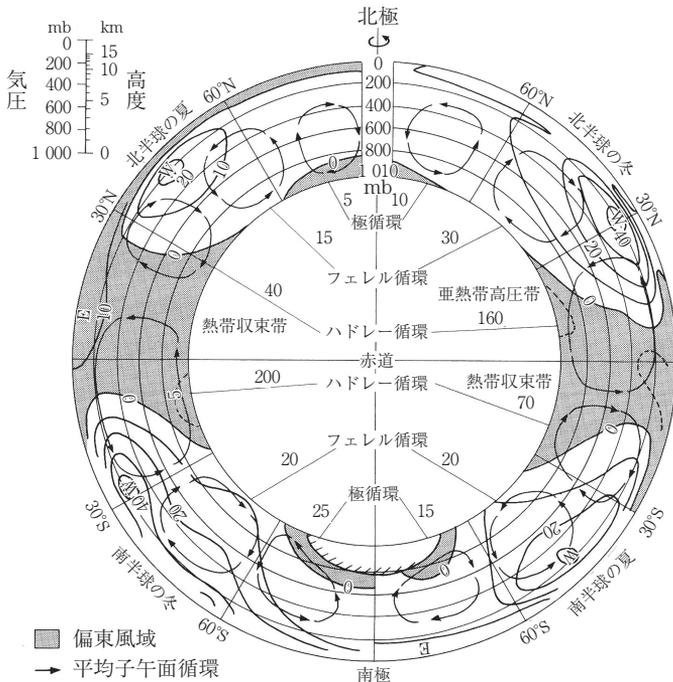


図 1.3 平均した南北鉛直断面循環<sup>2)</sup>

ている。北半球の夏の緯度  $10^{\circ}$  付近では、北半球と南半球のハドレー循環 (Hadley cell) がぶつかり、上昇流を促している。この上昇流は、多くの積乱雲を発生させ、多くの雨を降らすことが知られている。この領域を**熱帯収束帯** (intertropical convergence zone, **ITCZ**) という。北半球において台風はこの北側で発生し、海面から熱量を吸収して、水蒸気を巻き込みながら北上する。また、黒潮で知られるような海流も高緯度域に熱を運ぶ。こうして地球全体で見ると、赤道付近は放射加熱傾向<sup>†</sup>にあり、極域は放射冷却傾向にある。その熱が大気と海洋によって極域に運ばれるため、地球全体で見ても温暖な気候が成立している。

川も地球全体での水循環に貢献している。チベットは**第三の極** (third pole) と呼ばれるが、その意味は、大量の雪や氷河を蓄えており、多くの大河川がこの付近からの雪解け水を水源としているからである。つまり、海洋から供給された暖かい水蒸気が、チベットで水となって降下し、川となって海洋まで移動するさまが、南北循環に似ているからである。図 1.4 を見ると黄河、揚子江 (長江)、メコン、サルウィン、ブラマプトラ、ガンジス、インダス、アマダリア、シルダリアなどの大河がチベットからパミール高原付近を水源にしており、東西南方向に流出していることがわかる。高地は降雪や凝結によって氷河



図 1.4 チベット周辺を水源とする河川

<sup>†</sup> 太陽からの放射エネルギーによって加熱されること。高緯度では逆に、地球の熱が宇宙に向かって放射エネルギーとして放出されており、冷却されている。

を構成し、気温を調節する役割をもっている。気温が下降した際は、氷河を拡大することによって冷気をこの地域にとどめ、気温上昇期には融雪し熱を吸収しており、地球の安定した気候に貢献している。上記の河川は、モンスーン (monsoon, 季節風) の影響を受けて、明瞭な雨季と乾季を持つ地域を流下する。雨季には中流から下流にかけて、広い範囲で氾濫<sup>はん</sup>をもたらす河川がほとんどである。この氾濫はある地域では、肥沃化<sup>よ</sup>や水産資源のような恵みとなって大きな便益<sup>†1</sup>をもたらす。同時に膨大な水を地下に浸透させる。また、乾季には、雨はほとんど降らないが、この地下水の一部が流出に寄与して河川流量を保持することになる。

こうした地球規模の水循環を、グローバル水循環 (全球水循環) という。

### 1.3 メソスケール水循環

図 1.5 は冬季の日本の雲の配置を示したものであるが、シベリアからの冷たい

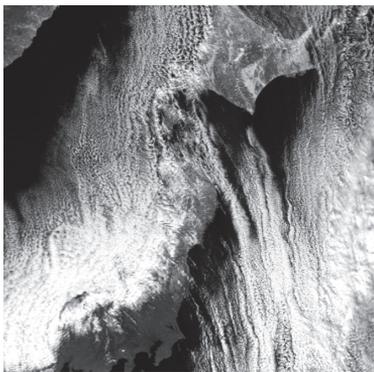


図 1.5 衛星画像から見る冬季の雲 (JAIDAS, 2009/2/1)

い風によって、温かい日本海からの水蒸気が北陸地方に降雪をもたらしている様子を表している。前節でとり上げたグローバル水循環の一部であるこのような現象の対象領域、数百  $\text{km}^2$  ~ 数万  $\text{km}^2$  スケールをメソスケール<sup>†2</sup> (mesoscale) という。日本海で蒸発した水蒸気は、日本海側の山地に降雪し、春から夏にかけて融雪流出によって日本海に戻るような循環が存在する。このようなスケールの

†1 有益なこと。ここでは、経済的に利益があることを意味する。

†2 気象学では  $4 \sim 400 \text{ km}^2$ ,  $400 \sim 40\,000 \text{ km}^2$ ,  $40\,000 \sim 4\,000\,000 \text{ km}^2$  をそれぞれ、メソ $\gamma$ スケール、メソ $\beta$ スケール、メソ $\alpha$ スケールという。ここではおもにメソ $\beta$ スケールのことを指している。

# 索引

## 【あ】

あられ graupel, small hail, snow pellets	34
アルベド albedo	15
安定成層 stable stratification	32

## 【い】

一般極値分布, GEV 分布 generalized extreme value distribution	94
異方性 anisotropic	69

## 【う】

雨域の面積 area	38
渦相関法 eddy correlation method	22
渦動粘性係数 kinematic eddy viscosity	130
宇宙航空研究開発機構 Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA	128

## 【え】

塩水浸入 salt water intrusion	114
堰 堤 weir	83

## 【お】

オイラーの連続方程式 Euler's equation of continuity	141
---	-----

応答関数 pulse response function method	54
オキープス O'Keyps	134
遅い中間流 late inter flow	44
温 位 potential temperature	33, 139

音波流速計 acoustic Doppler current profiler, ADCP	48
---	----

## 【か】

回帰日数 recurrent time	128
概念モデル conceptual model	50
化学的酸素要求量 chemical oxygen demand, COD	112
拡 散 diffusion	19
拡散モデル diffusion analog model	145
確定成分 deterministic component	98

確率成分 stochastic component	98
確率統計水文学 stochastic hydrology	88
確率密度関数 probability density function, PDF	90

可降水量 precipitable water	31
可視光線 visible ray	15

過剰係数 excess coefficient	152
----------------------------	-----

画 素 pixel	123
--------------	-----

仮想水 virtual water	120
----------------------	-----

画素値 pixel value	123
--------------------	-----

可能蒸発散量 potential evapotranspiration	13
---	----

可能蒸発量 potential evaporation	13
--------------------------------	----

可能浸透フラックス potential infiltration flux	73
--	----

カルマン定数 Karman constant	131
---------------------------	-----

環境用水 environmental water	105
-----------------------------	-----

間隙比 void ratio	64
-------------------	----

間隙率 porosity	64
-----------------	----

含水比 moisture content, water content	64
---	----

完全流体 perfect fluid, ideal fluid	70
------------------------------------	----

乾燥断熱過程 dry adiabatic process	33, 137
---------------------------------	---------

乾燥断熱減率 dry adiabatic lapse rate	137
------------------------------------	-----

涵養域 recharge area	67
----------------------	----

涵養ダム recharge dam	81
----------------------	----

涵養池 recharge pond	81
<b>【き】</b>	
気温減率 lapse rate	33
幾何補正 geometric correction	124
気候変動に関する政府間パネル Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC	116
基準点 ground control point, GCP	124
基底流 base flow	44
キネマティックウェイブモデル kinematic wave model	57
吸引圧 suction	72, 147
凝結 condensation	29
凝集力 cohesion	146
魚道 fish passage, fish pass	86
<b>【く】</b>	
空間分解能 spatial resolution	123
空気力学的な方法 aerodynamic method	133
グリーン・アンプト Green-Ampt	149
グレースケール gray scale	127
ゲンベル分布 Gumbel distribution	93
<b>【け】</b>	
経過時間 transit time	78

傾向性 trend	98
傾度法 gradient method	133
限界レイノルズ数 critical Reynolds number	68
顕熱 sensible heat	16
<b>【こ】</b>	
降雨 rainfall	29
降雨継続時間 duration	38
降雨量 depth	38
公害 common nuisance	111
降下浸透 percolation	73
工業用水 industrial water	105
降水 precipitation	3, 29
洪水流 flood flow	43
降雪 snowfall	29
合理式 rational method	51
国際河川 international river, international watercourse	109
国際大ダム会議 International Commission on Large Dams, ICOLD	83
コーシー・リーマン Cauchy-Riemann	70
コモンズ commons	119

混合比 mixing ratio	19
<b>【さ】</b>	
雑用水 reclaimed water	105
散乱 scattering	123
<b>【し】</b>	
時系列分析 time-series analysis	98
自然水循環 natural hydrological cycle	7
湿潤 infiltration	73
実蒸発散量 actual evapotranspiration	13
地盤沈下 subsidence	75
遮断 interception	13
周期性 periodicity	98
自由水 free water	65
自由地下水, 不圧地下水 unconfined groundwater	67
集中型モデル lumped model	50
終末速度 terminal velocity	41
重力水 gravitational moisture	65
樹冠遮断, 林冠遮断 canopy interception, crown interception	13
昇華 sublimation	13
条件付き不安定 conditionally unstable	139

- |   |       |  |        |                                   |     |
|---|-------|--|--------|-----------------------------------|-----|
| 蒸散<br>transpiration                                       | 13    | 生物化学的酸素要求量<br>biochemical oxygen demand, BOD     | 112    | 層流<br>laminar flow                | 129 |
| 蒸発<br>evaporation   | 13    | 世界気象機関<br>World Meteorological Organization, WMO | 56     | 素過程<br>process                    | 3   |
| 蒸発散<br>evapotranspiration                                 | 3, 13 | 赤外光線<br>infra-red ray                            | 15     | 粗度長<br>roughness length           | 132 |
| 人工水循環<br>artificial hydrological cycle                    | 7     | 積雪<br>snowpack                                   | 33     |                                   |     |
| 浸透<br>infiltration  | 73    | 積雪深<br>snow depth, SD                            | 34, 80 | <b>【た】</b>                        |     |
| 浸透トレンチ<br>infiltration trench                             | 82    | 積雪水当深<br>snow water equivalent, SWE              | 34     | 大気境界層<br>planetary boundary layer | 135 |
| 浸透能<br>infiltration capacity                              | 73    | 積雪比重<br>snow specific gravity                    | 34     | 第三の極<br>third pole                | 5   |
| 浸透ます<br>infiltration inlet                                | 82    | 積雪密度<br>snow density                             | 79     | 帯水層<br>aquifer                    | 67  |
|   |       | 積率<br>moment                                     | 150    | 体積含水率<br>water content by volume  | 64  |
| <b>【す】</b>  |       | 絶対安定<br>absolute stable                          | 140    | 対流<br>convection                  | 15  |
| 水蒸気圧<br>water vapor pressure                              | 17    | 絶対湿度<br>absolute humidity                        | 17     | 滞留<br>detention                   | 78  |
| 水分特性曲線<br>moisture characteristic curve, imbibition curve | 72    | 絶対不安定<br>absolute unstable                       | 139    | 滞留時間<br>residence time            | 78  |
| 水理学<br>hydraulics   | 141   | 接地境界層<br>surface boundary layer                  | 135    | たたみこみ積分<br>convolution            | 54  |
| 水利権<br>water right  | 105   | ゼロ面変位<br>zero-plane displacement                 | 132    | 多波長法<br>multi-channel method      | 125 |
| ストークスの抵抗法則<br>Stokes' law of resistance                   | 41    | 潜熱<br>latent heat                                | 14     | ダルシーの法則<br>Darcy's law            | 67  |
| スプリットウィンドウ法<br>split window method                        | 125   |  |        | 単位図<br>unit hydrograph            | 52  |
|   |       | <b>【そ】</b>                                       |        | 単位図法<br>unit hydrograph method    | 52  |
| <b>【せ】</b>  |       | 層位<br>horizon                                    | 66     | タンクモデル<br>tank model              | 55  |
| 生活用水<br>household water                                   | 105   | 相関係数<br>correlation coefficient                  | 60     | 断熱変化<br>adiabatic change          | 137 |
| 正規化植生指標<br>normalized difference vegetation index, NDVI   | 125   | 相対湿度<br>relative humidity                        | 17     | 短波<br>short wave                  | 15  |
| 成層<br>stratification                                      | 139   | 層理<br>bedding                                    | 66     |                                   |     |

**【ち】**

知覚 sense 121

地下水 ground water 64

地下水汚染 groundwater contamination 112

地下水面 water table 65

治水 flood control 107

地表流 surface flow 44

中間流 inter flow 44

中立成層 neutral stratification 33

超過確率 exceedance probability 91

長波 long wave 15

直接流 direct flow 44

貯留 storage 3, 78

貯留関数法 storage function method 54

**【て】**

ティセン法 Thiessen method 36

停滞 retention 78

デュピール Dupuit 70

点源 point source 111

テンシオメーター tensiometer 74

天水 green water 120

伝導 conduction 15

**【と】**

同位体水文学 isotope hydrology 81

頭首工 headworks 83

透水係数 hydraulic conductivity 68

等方均質 isotropic homogeneous 69

等方性 isotropic 69

トゥルー画像 true image 127

尖り係数 kurtosis 152

都市用水 municipal water 105

土壌水 soil water 64

土層断面 soil profile 66

**【な】**

ナチュラル画像 natural image 127

ナッシュ・サトクリフ効率係数 Nash Sutcliffe efficiency coefficient 60

**【に】**

ニューウォーター NEWater 119

ニュートン流体 Newtonian fluid 129

**【ね】**

熱帯収束帯 intertropical convergence zone, ITCZ 5

粘性 viscosity 129

粘性流体 viscous fluid 70

**【の】**

農業用水 agricultural water, blue water 105, 120

**【は】**

バイアス比 bias ratio 152

バイアス補正係数 bias correction coefficient 152

ハイエトグラフ hyetograph 43

背水 backwater 82

ハイドログラフ hydrograph 43

パイプ流れ pipe flow 68

配分 allocation 118

パーセンタイル percentile 153

速い中間流 prompt inter flow, early inter flow 44

反射 reflection 123

**【ひ】**

被圧地下水 confined groundwater 67

非均質 heterogeneous 69

比湿 specific humidity 19

比水分容量 specific moisture capacity 72

ヒステリシス hysteresis	72	フラックス flux	14	<b>【ま】</b>	
ひずみ係数 skewness	152	プラットフォーム platform	128	摩擦速度 friction velocity	131
非超過確率 non-exceedance probability	91	プラントルの混合距離の仮説 Prandtl's mixing length hypothesis	131	マンニングの式 Manning's formula	58
費用 cost	92	分布型モデル distributed model	50	<b>【み】</b>	
ひょう hail	34	<b>【へ】</b>		水の汚染 water pollution	111
標準最小二乗規準 standard least-square criterion, SLSC	95	平衡蒸発 equilibrium evaporation	23	水の循環 hydrological cycle	3
費用便益比 benefit/cost, B/C	92	ベルヌイの式 Bernoulli equation	143	水紛争 water conflict	108
標本 sample	152	便益 benefit	92	水みち pipe	68
表面張力 surface tension	146	ベンマン式 Penman equation	22	みぞれ sleet	34
比流量 specific discharge	44	ベンマン・モンテイス式 Penman-Monteith equation	23	<b>【む】</b>	
頻度分析 frequency analysis	88	<b>【ほ】</b>		無次元化した普遍関数 non-dimensional share function	134
<b>【ふ】</b>		放射 radiation	15	<b>【め】</b>	
不圧地下水、自由地下水 unconfined groundwater	67	飽和湿潤断熱過程 moist adiabatic process	138	メコン河委員会 Mekong River Commission, MRC	109
不安定成層 unstable stratification	32	飽和湿潤断熱減率 moist adiabatic lapse rate	138	メソスケール mesoscale	6
フォールス画像 false image	127	飽和水蒸気圧 saturated water vapor pressure	17	メディアアン median	94, 153
付着力 adhesion	146	飽和度 degree of saturation	64, 65	面源 non-point source	111
物理水文学 physical hydrology	88	飽和毛管水帯 saturated capillary water zone	65	<b>【も】</b>	
物理分解能 physical resolution	123	ボーエン比 Bowen ratio	21	毛管 capillary	146
物理モデル physical model	50	母集団 population	152	毛管圧 capillary pressure	147
普遍気体定数 universal gas constant	136			毛管水縁 capillary fringe	65
				毛管定数 capillary constant	147

毛細管 capillary tube	146
モード mode	94
モニン・オブコフ Morin-Obukhov	134
モンスーン monsoon	6
<b>【ゆ】</b>	
有効雨量 effective rainfall	45
有効放射量 net radiation	15
融雪 snowmelt	33
尤度関数 likelihood function	151
雪ダム snow storage dam	80
<b>【よ】</b>	
葉面積指数 leaf area index, LAI	25

<b>【ら】</b>	
ライシメーター lysimeter	27
ライン川汚染防止国際委員会 International Commission for the Protection of the Rhine, ICPR	109
乱流 turbulent flow	129
<b>【り】</b>	
利水 water use	107
リターンピリオド return period	91
リチャーズ式 Richards equation	72
リモートセンシング remote sensing	121
流出 runoff	3
流出係数 runoff coefficient	51

流出高 runoff height	44
流線 stream line	70
流体 fluid	129
流量 discharge	44
林冠遮断, 樹冠遮断 canopy interception, crown interception	13
<b>【れ】</b>	
レイノルズ応力 Reynolds stress	130
レイノルズ数 Reynolds number	68
レーザー流速計 laser Doppler velocimeter, LDV	48
<b>【わ】</b>	
ワイブル分布 Weibull distribution	94

<b>【A】</b>	
A層 A-horizon	66
<b>【B】</b>	
B層 B-horizon	66
<b>【C】</b>	
C層 C-horizon	66

<b>【D】</b>	
DAD 解析 depth, area, duration analysis	38
<b>【G】</b>	
GTD ground truth data	125
<b>【H】</b>	
HLS hue, lightness luminance intensity, saturation	127

<b>【I】</b>	
IDF 解析 intensity, duration, frequency analysis	38
<b>【O】</b>	
O層 organic horizon	66
<b>【R】</b>	
RMSE root mean square error	59

— 著者略歴 —

1990年 東北大学工学部土木工学科卒業  
1992年 東北大学大学院工学研究科博士課程前期修了  
(土木工学専攻)  
1995年 東北大学大学院工学研究科博士課程後期修了  
(土木工学専攻)  
博士(工学)  
1995年 東北大学助手  
1995年 筑波大学講師  
1997年 アジア工科大学講師 (JICA 専門家)  
2001年 東北大学助教授  
2009年 東北大学准教授  
2010年 東北大学教授  
現在に至る

水 文 学

Hydrology

©So Kazama 2011

2011年10月7日 初版第1刷発行

検印省略

著 者 かざ ま そう  
風 間 聡  
発 行 者 株式会社 コロナ社  
代 表 者 牛来真也  
印 刷 所 新日本印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-05628-0 (中原) (製本:愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします