

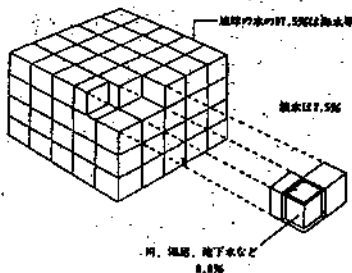
# 水循環

京都大学防災研究所  
池淵周一

## 地球規模の視点

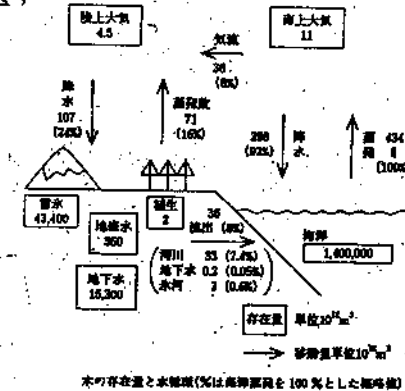
### 地球上の水の量；

地球の表面積のうち海洋が占める割合71%，陸地のそれは29%  
総量は概ね15億km<sup>3</sup>  
水の種類による割合



1

## 地球上の水循環；



## 地球上の水の循環のスピード；

海水(2500年), 地下水(1400年), 湖水(17年), 河川水(16日), 大気中の水(8日)

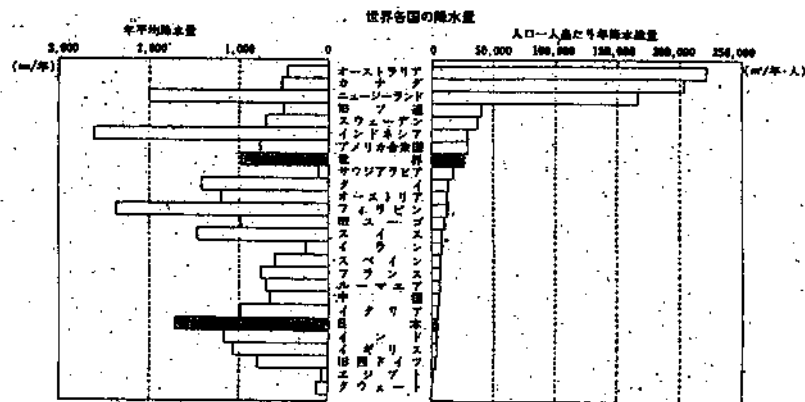
出典:水の気象学

2

## わが国の水循環と関連する諸特性

### 降水特性

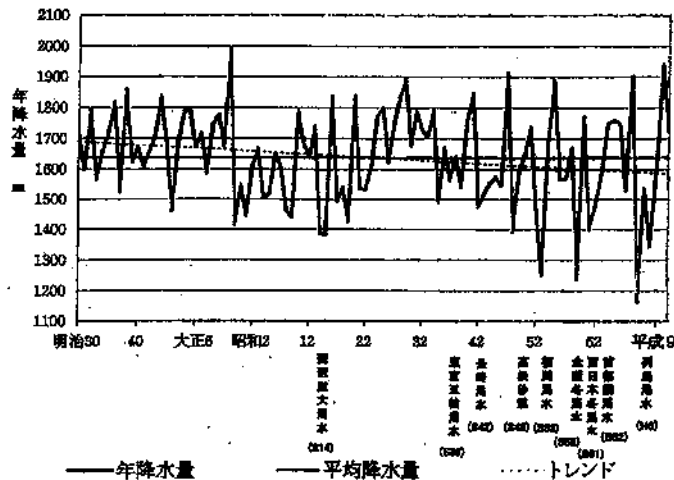
年平均降水量と人口一人当たりの年降水量



出典:水資源白書

3

## 日本の年降水量の経年変化



(注) 1. 気象庁資料に基づいて国土庁で試算。全国46地点の算術平均値。  
2. トrendは回帰直線による。

出典:水資源白書

4

**季節変動と時間的集中化**  
(梅雨, 台風, 前線, 降雪)

**地形特性**

堆積地形 (山岳地から扇状地, 沖積低平地)  
火山, 隆起・褶曲, 地殻変動と土砂生産  
流域面積小, 流路延長短, 斜面・河川勾配急

**土地利用**

上流森林域, 中流農地, 下流都市域  
森林面積率 66.7%,  
下流低平地に人口の 50%, 資産 75% 集中

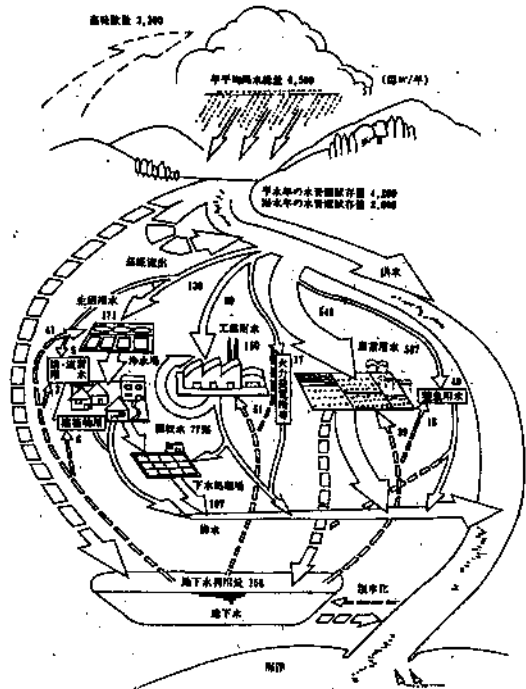
**流出特性**

流量変動 大, 洪水の継続時間 短,  
単位面積当たりの流量 大  
最大流量と最小流量の比 大

**人口・水利用**

過去 100 年に人口 4 倍  
水利用として農水, 発電, 工水, 上水  
農水 大  
取水量の水源として河川水等 86%, 地下水 14%

図 2-1-2 日本の水収支

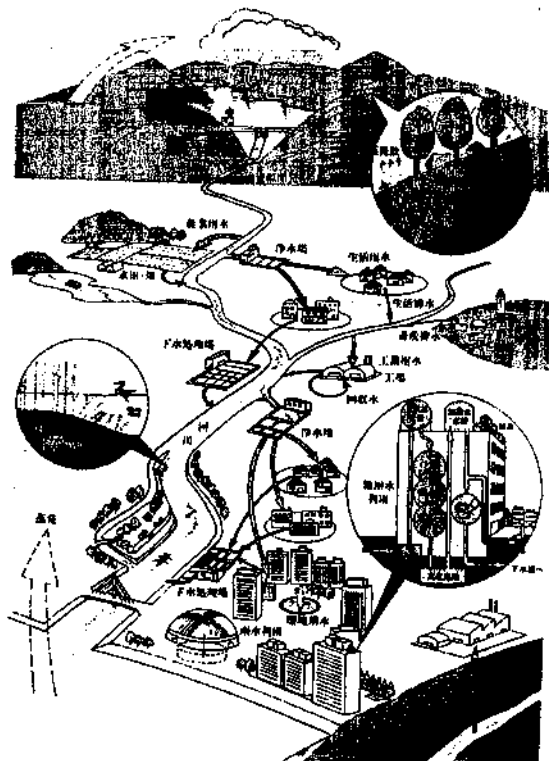


出典: 水資源白書

5

6

流域における水循環



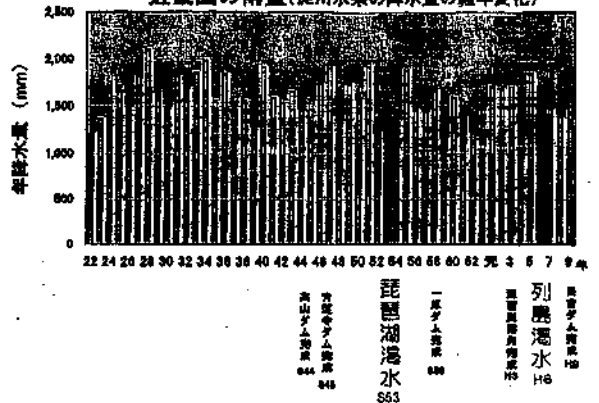
出典: 水資源白書

7

**琵琶湖・淀川流域の水循環**

琵琶湖流域における降雪・梅雨・台風  
木津川流域の台風  
桂川流域の梅雨  
淀川水系の降水量の経年変化

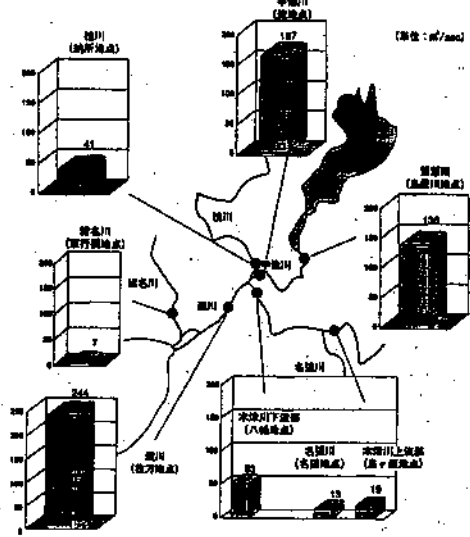
近畿圏の雨量(淀川水系の降水量の経年変化)



琵琶湖貯水量による流況変動緩和

8

琵琶湖・淀川流域における平均流況



琵琶湖・淀川流域における過去5年間の(平成2年~平成6年)平均流況  
 出典：『1994 日本河川水質年報』(建設省河川局監修・日本河川協会編)より改定

琵琶湖・淀川の上下流問題

淀川開削と新淀川

- 人口・資産の増大，都市化
- 中・下流域の遊水・保水能 減
- 安全・安定水準の確保と琵琶湖総合開発，上流ダム群，河川改修

降雨・流出現象のモデル化

流出モデル  
 短期流出(洪水流出)；貯留関数法

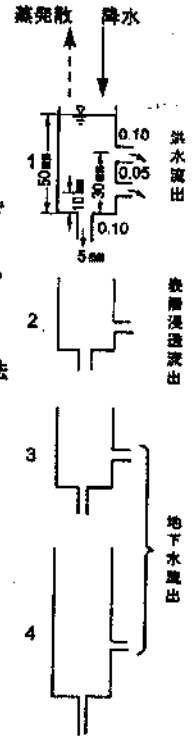
$$\frac{dS}{dt} = r - q$$

$$q = f(S)$$

S: 流域貯留量(流域面積で除した流域貯留高で表現することが多い)  
 r: 有効雨量  
 q: 流出量(流域面積で除した流出高で表現することが多い)

長期流出(低水流出)；タンクモデル法  
 流域の帯水層をタンクに置き換え、浸透と流出を通常4段の直列貯留タンクで表現

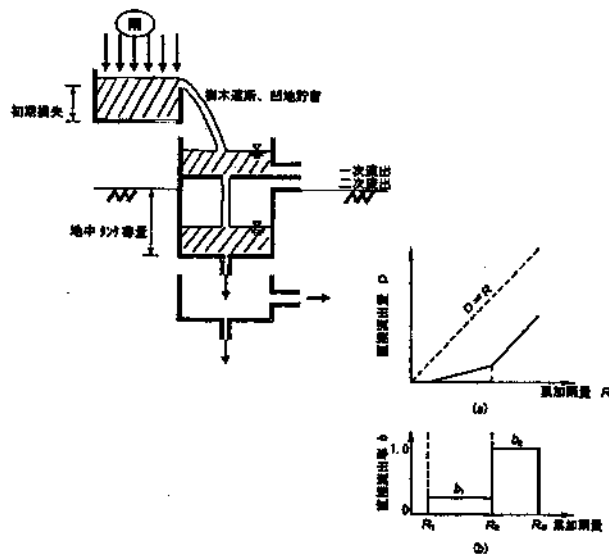
流域の大きさ、土地利用、施設位置などから部分流域、河道に分割し、上記モデルの連続系あるいは複数系で表現し、分布型化することが多い。



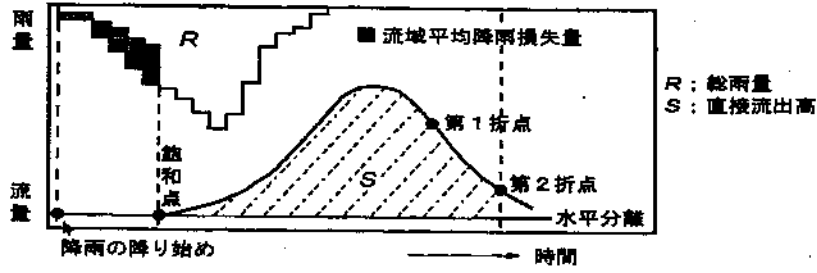
上流森林・ダム流域

- 森林の水源かん養機能
- 洪水緩和機能
- 濁水緩和機能
- 水質浄化機能

有効雨量の算定  
 累加雨量と直接流出量の関係



降雨ハイト～流量ハイドロ



12

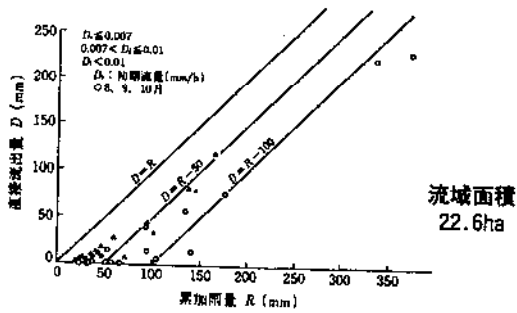


図 2.36 滝ノ口南谷における累加雨量  $R$  と直接流出量  $D$  の関係<sup>1)</sup>

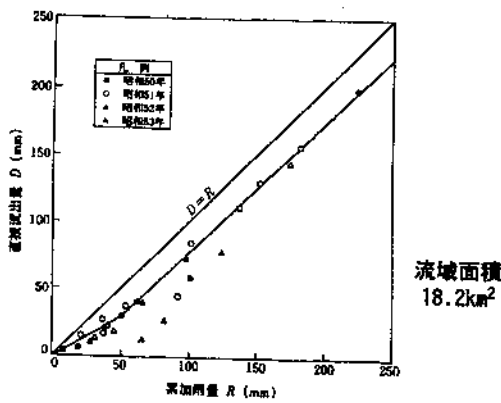
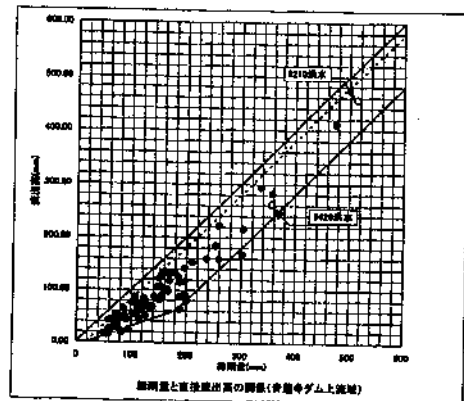
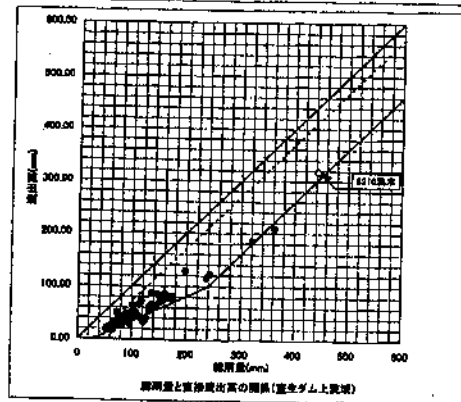


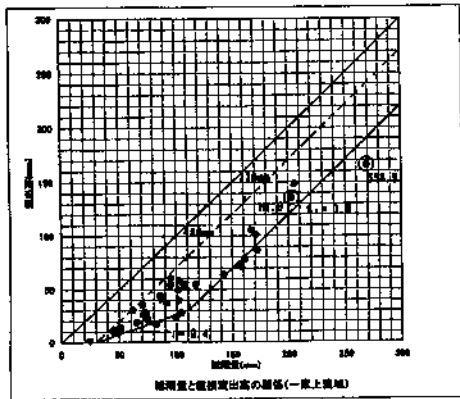
図 2.37 弥太南谷における累加雨量  $R$  と直接流出量  $D$  の関係<sup>1)</sup>



流域面積 102.7km<sup>2</sup>  
森林面積率 92.2%



流域面積 136.3km<sup>2</sup>  
森林面積率 74.4%



流域面積  
115.1km<sup>2</sup>  
森林面積率  
昭和22年  
82%  
平成10年  
75%

### 昭和30年代 高棟論文(森林の洪水調節機能)

森林と関係が深いA層が中間流出を支配することに着目し、森林土壌の洪水調節機能は、透雨降雨を流入量とし、A層土壌の空隙を貯水容量と見た場合「穴アキダムによる無操作の調節方式」と似ているとし、A層土壌の有効空隙率 $\gamma$ とA層厚Dの積 $\gamma D$ は、次のように表せるとした。

$$\gamma D = \{ \exp \lambda_2 (t_2 - t_1) \} \cdot i_0 / \lambda_2$$

ここに、 $\lambda_1$ は中間流出のてい減指数、 $t_1$ 、 $t_2$ はそれぞれ流量てい減における中間流出の卓越時刻と終了時刻、 $i_0$ は最終浸透能である。ここで、上式より $\gamma D$ を求めるためには、図-8に示すように、実際の洪水を片対数でプロットし、中間流出成分のてい減指数( $\lambda_2$ )とその卓越時間( $t_1$ 、 $t_2$ )を求め、最終浸透能( $i_0$ )を与えればよい。最終浸透能を推定する手法としては、Horton型の浸透能方程式を仮定し、累加浸透量を求め、それが近似的に累加損失雨量に等しいとして求める方法がある。

高棟はこの方法を日置川・殿山ダム上流域(293.0km<sup>2</sup>)、日高川・広井原上流域(128.4km<sup>2</sup>)及び由良川・大野ダム上流域(346.0km<sup>2</sup>)に適用し、 $\gamma D$ としてそれぞれ35、40、120mmを見出している。

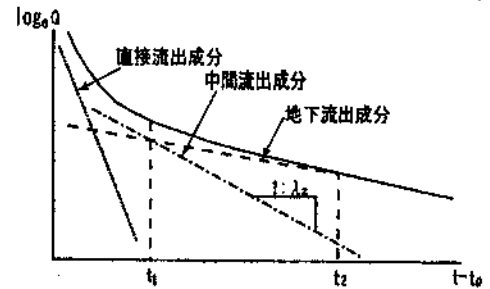


図-6 流量てい減曲線と流出成分

### 市街地を山地にした場合の流出量の変化

一庫上流域の市街地面積を山地にした場合、昭和28年9月の実績降雨でピーク流量値が16m<sup>3</sup>/s減少。概ね市街地が約10%山地になると流出量が1%減少か。

⇒ これらの実測ならびに計算から、森林は中小洪水に対してはかなりの洪水調節機能を有するが、大洪水となると、流域は流出に関して飽和状態となり、特にピーク流量の調節という面では大きくは期待できない。

森林は、水源かん養機能の他に土砂崩壊防止・土砂流出防止・雪崩防止といった山地災害防止機能、気象緩和・大気浄化機能といった環境保全機能、レクリエーション機能や生物多様性保全機能、業としての林産物生産機能などをあわせ持っており、森林の整備・保全が重要であることには変わりない。

### 飯のダム(森林)とダム貯水池の治水・利水機能

森林の洪水・湧水緩和機能をこえる洪水時や湧水時の状況にあって、発生頻度や被害の軽減をはかるには、ある程度の水準をもった治水、利水機能を確保することが不可欠である。

治水計画、利水計画は森林の機能でカバーできない状況変動に対して、ある水準までは安全、安定を保持したいとする要求への対応計画である。

治水、利水計画の策定にあたっては、実績の流量ハイドログラフやそれから設定した流出モデルが用いられており、そこには現況の土地利用(森林地が広汎に含まれている)から流れ出てくる流量を前提に洪水や湧水の頻度や被害の軽減をはかる形で計画が立てられていることになる。もともと流域内の森林の存在を考慮していることになる。

治水、利水機能のある水準を確保する効果的な施設計画としてダム貯水池があり、治水にあたってはダムの治水容量を活用して図-7のような形で大洪水にあってもピーク流量をカットし、河道改修とあわせて洪水被害をはかっている。利水にあっても図-8のように水需要の確保水準とともに、ダムの利水容量を活用して、その水準にまで年間を通じて安定した水供給をはかっている。

### 地球温暖化と変動の大きさへの懸念

世界各国にみる洪水、湧水災害の多発化  
時間雨量の集中化、局所化

### 健全な水循環系の構築

### 世界水フォーラムの開催

2003年3月 琵琶湖・淀川流域

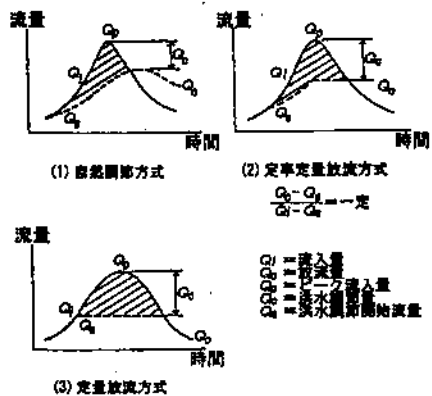
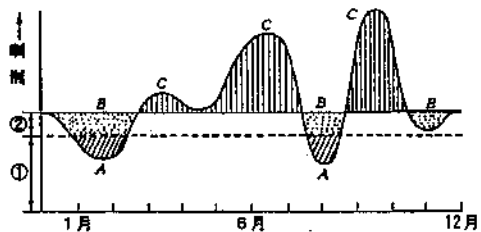


図 - 主な洪水調節方式



① 流水の正常な機能を確保するために必要な流量 ② 新規開発水量  
 A 流水の正常な機能を維持するために必要なダム補給量 } ダムによる補給量  
 B 新規需要量を満たすために必要なダム補給量 }  
 C の一部をダムに貯め込む

図-8 ダム貯水池による水資源開発