

- グラビア .....2  
現地調査に加えて 1/25,000 地形図と航空写真の判読から画いた水文地形図／竹富島のコテージ型宿泊施設／雨水貯留用のサッカー場

- 水 想  
驚異の旅  
国土交通省 水管理・保全局 入江 靖.....3

## 水循環 貯留と浸透

Journal of Hydrological System

2012  
VOL.

86

## ■ 特集

### 流域の保水浸透機能の見分け方

- ・ 内容紹介 ..... 4
- ・ 報文
  - 地理学的視点に基づき流域の水循環のあり方を推定する方法 千葉大学 教授 近藤 昭彦 ..... 5
  - 流域の水循環制御機能としての地形・土壌 千葉大学 名誉教授 新藤 静夫 ..... 10
  - 山地斜面の浸透と地表流 筑波大学 生命環境系 教授 辻村 真貴 ..... 19
  - 平野の地形が語る土地の歴史 早稲田大学 教授 久保 純子 ..... 23
  - 山地の土層構造と浸透保水（緑のダム）機能 筑波大学 生命環境科学研究科 飯田 智之 ..... 29

- 雨水貯留浸透に係わる事業への取り組み シリーズ No.44  
兵庫県における総合治水の取組 ～総合治水条例の概要～ 兵庫県県土整備部土木局 総合治水課 ..... 35

- 水循環レポート
  - ・ 計画設計者の現場再訪（31）  
離島での雨水処理 (株) シグマ開発計画研究所 竹本 清一 ..... 40
  - ・ 海外コーナー  
建築家向け住宅のためのガイドライン テルフト工科大学 客員研究員 笠 真希 ..... 43
  - UWCSEA イーストキャンパス（シンガポール）での水保全方法 五十嵐 隼 ..... 46

- トピックス
  - ・ 第 5 回雨水ネットワーク会議全国大会 2012in 東京 を終えて  
雨水ネットワーク会議 実行委員長 山本 耕平 ..... 49
  - ・ IWA 第 3 回「雨水収集管理国際会議」報告 (公社) 雨水貯留浸透技術協会 円山 敏男 ..... 53
  - ・ 研究の現場を訪ねて (33)  
ソウル大学土木・環境工学部 韓 (ハン) 研究室 (公社) 雨水貯留浸透技術協会 屋井 裕幸 ..... 57

- 協会活動の紹介
  - ・ 技術評価認定  
EGSM 工法 (Easy Ground Speed Machine 工法) スピーダーレンタル (株) ..... 58

- 雨水技術コーナー
  - ・ 若手の声 (30)  
雨水浸透施設の認知度向上について 国土館大学 茂原 卓哉 ..... 61
  - ・ 出版物・文献紹介コーナー ..... 62

- 雨水協会のページ
  - ・ 雨水協会の動き (2012.6.8 ~ 2012.9.10) ..... 63
  - ・ 「水循環 貯留と浸透」投稿のご案内 ..... 64
  - ・ 雨水協会の刊行物案内 ..... 65

- 次号内容予告・編集委員会委員名簿・編集後記 ..... 66

#### ■ 雨水協会ホームページのご案内

雨水協会ホームページでは、協会のプロフィール、刊行物、助成制度、技術評価認定、会員名簿、入会案内、協会案内図などを掲載しておりますのでご利用下さい。

(<http://www.arsit.or.jp>)

## ■特集／流域の保水浸透機能の見分け方

## 地理学的視点に基づき流域の水循環のあり方を推定する方法

The Way to Interpret Hydrologic Cycle in a Watershed Based on a Geographical Viewpoints

キーワード：流域、水循環、水収支、地形、地質、相互作用



近藤 昭彦

Akihiko KONDOH

千葉大学

環境リモートセンシング研究センター

## 1. はじめに

地理学は系統地理学、地誌学、地図学、地理学史から構成されるが、系統地理学は自然系諸分野と人文系諸分野から構成される。例えば、気候学、地形学、水文学、などの自然系の科目群と農村地理学、都市地理学、経済地理学、といった人文系科目群があるが、地理学者の認識はすべてを包含する。すなわち、自然のあり方、および人と自然の関わり（環境と言い換えても良い）を包括的な視点から解釈することが地理学的視点といえよう。また、地理学では地域の理解を重視するが、それは普遍的な知識は環境認識のベース部分にあり、その上に積み重なる地域ごとの個別性、地域性を理解することにより地域における問題の本質を理解し、問題の解決を目指すという態度である。したがって、地理学者は流域の地理的位置と外観、および地域を説明する様々な地理情報（主題図情報）と現地調査を通じて、その流域の水循環のあり方を推定できる力を持っているといえる。

ある地域あるいは流域を対象としたときに誰でもアクセス可能な地理情報には何があるだろうか。地形図、地質図、植生図、土壌図、空中写真、衛星画像、など様々な情報がすでにネットワーク上あるいは入手可能な状態で存在し、ある地域に対する解釈を行う情報源としては極めてデータリッチな状況にある。これらの情報を地理学的観点で解釈すれば流域における水循環のあり方を推定することは困難なことではない。

## 2. 流況を決める要因

流域の水循環のあり方を判読するキーポイントは水収支である。水循環に関わる観測情報がない場合でも、河川の流況に関する定性的な情報があれば流域の水循環の特性はある程度判断可能である。その際に重視したいのは河川の渇水量（あるいは基底流量）、すなわち無降雨が続いても安定して流れている流量である。

河川の渇水量と流域の諸特性を比較したほぼ同時期の優れた研究に志村（1980）<sup>1)</sup>と虫明ほか（1981）<sup>2)</sup>がある。志村（1980）では、減水曲線、豊水－渇水比の検討から第三紀・第四紀火山岩類、花崗岩類からなる流域は渇水量が豊富で水源涵養機能も良好であること（地質の効果）、緩傾斜面の多い流域は渇水量の値は大きな傾向にあること（地形の効果）、また地中水循環の重要性について述べているが、植生区分と渇水量の間には明確な関係認められないと記述している。虫明ほか（1981）でも冬期に積雪のない太平洋側流域を対象として、第四紀火山岩類流域で低水流出指標（流量要覧の渇水量ならびに自流水あるいは調整池式発電所の常時使用数量）が最も大きいこと、低水流出指標が大きい流域ほど逶減が緩やかであることを述べている。

以上の結果から、渇水時の流出は地質の影響を受けており、火山岩類や花崗岩類から構成される流域は豊かな水を育むといえる。地形についても志村（1980）は緩斜面の存在と渇水量の関係について述べているが、これは地中水の効果でもある。地中水循環の重要性を示した例として、松村（1972）<sup>3)</sup>は、多摩丘陵大栗川上流の小

流域で主帯水層である砂層の占める割合が増えると、低減係数が小さくなること、すなわち流況が安定することを報告している。

一方、植生については志村(1980)は関係が認められないとしているが、アメリカのカウイータ試験地の成果等(例えば、塚本、1998<sup>4)</sup>等に纏められている)を参照すると植生の存在や種類は明らかに流況に影響を与えているといえる。なお、本州島の日本海側の流域は渇水量が多い流域が多く、落葉広葉樹(ブナ林)が広く分布しているため、落葉広葉樹の水源涵養機能の評価の根拠とされることもある。西崎(2004)<sup>5)</sup>は国内の72カ所の山地流域について年降水量と渇水比流量の関係をプロットすると、渇水比流量は確かに落葉広葉樹の流域が常緑針葉樹の流域を上回っているが、最大積雪深との関係では、最大積雪深が大きな流域はほとんど落葉広葉樹流域であった。落葉広葉樹流域の主要な分布域は日本海側の山地流域であったが、そこでは積雪が多いため人工林の造成が行われなかったこと、積雪による寒冷からの保護がブナの生育に有利に働き、結果としてブナ林等の落葉広葉樹林が残されているが、河川の流況へ与える効果としては冬期の積雪量が大きく関係している。

このように流域内の水循環のあり方を推定するには、地形・地質・気候・植生および土地利用の相互作用を総合的に判断する経験知が大切であることがわかる。なお、土地利用については都市型洪水の例から重要な要因であることは明らかである。

### 3. 谷はなぜそこにあるか

山地や台地は谷によって刻まれ、長い年月をかけて削剥されていく。では、谷の機能とは何だろうか。単純に考えると、流域内の余剰水および生産された土砂を流域外に排出することである。流域における水および物質循環を最適化する様に谷は自己調整を行い、平衡状態に向かって変化していく。このような地形と水循環の相互作用を研究する分野が水文地形学である。地形は営力が働いた結果であるので、地形から営力を推定できる。その営力は水循環と関連し

ているため、地形から流域の水循環のあり方を推定することができる。

例えば、水系密度が小さな流域は地表水系を通じて排水すべき水量が少ない、言い換えると、地中水循環が卓越していると考えられる。図-1は千葉県、鹿野山周辺の水系分布である(古谷、大倉、1992)<sup>6)</sup>。鹿野山は周囲より標高が高く、水系密度が小さいが、南側に広がる九十九谷は標高が低く水系密度が大きい。砂層からなる鹿野山は降雨を浸透させ、地下水として流出させるため水系密度が小さい。また、泥層からなる九十九谷は地表水系を通じて余剰水を排水しなければならないために水系密度が大きいと考えられる。なお、鹿野山東麓の久留里は上総堀による自噴井が有名で、地下水を利用した地酒の種類も豊富である。

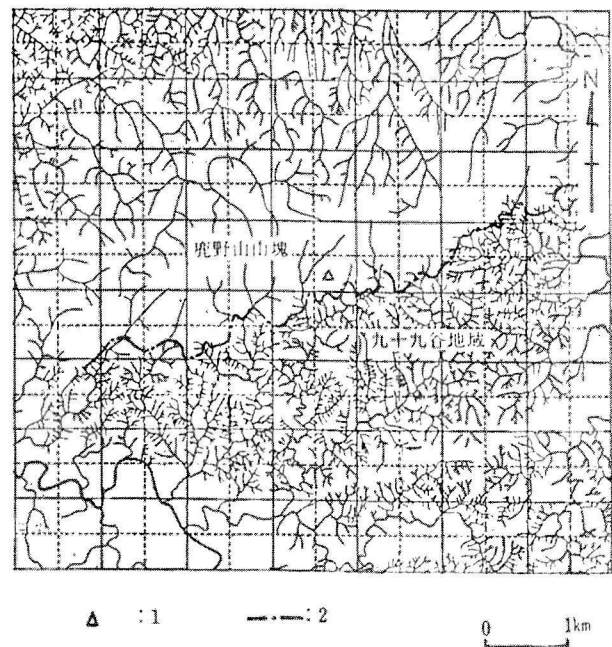


図-1 鹿野山周辺地域の水系分布  
(古谷・大倉、1992)

1:鹿野山、2:市宿層(砂層)と岩坂層(泥層)の境界

地形と水循環は平衡状態に向かって相互作用するが、この平衡状態を変えるイベントが時々発生する。河川争奪がその一つであるが、河川あるいは谷は争奪の過程で地表流域だけでなく地下水流域も争奪する。地表流域を争奪されると、地下水流域も変わる。隣接する流域が争奪されると、逆に地下水流域を得る場合もある。したがって、谷地形を良く観察し、上流が化石



谷になっているか、傾斜変換点（ニックポイント）がないか、判読すると、地下における水循環の様子が浮かび上がってくる。

近藤（1985）<sup>7)</sup>は下総台地南縁部の小流域において湧水比流量を計測し、トリチウムによる年代推定値と合わせて解釈した結果、湧水比流量の大きな谷は地下水流出と考えられる流出水の滞留時間が長いことを明らかにした。これらの谷の上流部には谷の傾斜変換点の上流が化石谷となっている流域が隣接している場合が多い。図-2に養老川下流域の右岸台地における水系と傾斜変換点（ニックポイント）の分布を示す。図の左端を養老川が北流し、東京湾に注いでいる。図中のI、G流域は比流量が大きい。上流側の隣接流域に化石谷が多数分布することから、C流域からも地下水流域を争奪していると考えられる。よって、地形による集水域から計算される比流量が大きくなる。このような谷の変化は第四紀の氷河性海水準変動に対応しており、地形と水循環の変化を地史的な観点から解釈することの重要性を示している。

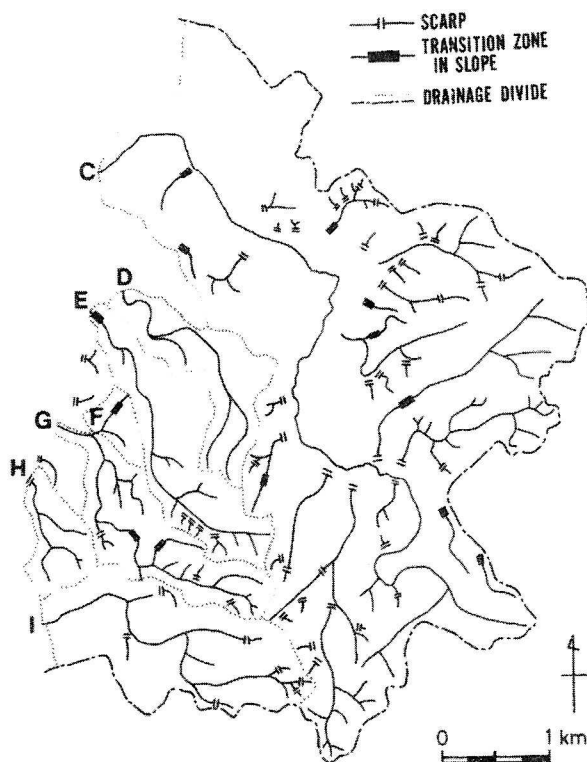


図-2 下総台地南縁部の台地を刻む小流域の水系と傾斜変換点(近藤,1985)

#### 4. 地質、地形の違いがもたらす水循環の違い

千葉県の上総丘陵は連続する厚い砂泥互層である上総層群から構成され、東京湾に向かって緩く傾斜する、いわゆる将棋倒し構造を呈している。砂がちの部分と泥がちの部分で明瞭な地形の差、すなわち水系密度、比高、斜面形の違いを生じている。一般に砂がちの部分は標高が高く、大きな山体を持つが、泥がちの部分は標高が低く、水系密度が高くなっている。千葉県茂原市付近の笠森層（上総層群最上位）は塊状の泥岩で、上位の下総層群が形成する台地より年代が古いにも関わらず標高が低くなっている。地形の逆転の例としても有名であるが（吉川ほか、1972）<sup>8)</sup>、泥岩である笠森層の透水性が低いために侵食が進んだ、すなわち表流水として余剰水を排水する過程で侵食が早まったと考えることができる。

侵食の主な営力は崩壊であるが、前述の九十九谷は崩壊地の分布密度が高いことがわかっている（古谷・大倉、1992）。海老塚・近藤（1990）<sup>9)</sup>によると、泥層からなる笠森層の斜面では基盤の上に細粒分の多い土層を形成し、降雨時に飽和帯が急速に成長する。これが基盤との境界で滑りが発生しやすくなる要因であると考えている。基盤地質と、それが形成する土層の性質との関係も水循環を推定する重要な鍵である。

一方、砂質層からなる下総層群からなる台地流域では水系密度、崩壊密度は泥質層流域より小さく、崩壊は地下水流出に伴う斜面基部の支持力低下を原因とする地すべり性崩壊が多い。このような崩壊の発生頻度や様式の違いも水循環のあり方と係わっている。

海老塚・近藤（1990）は図-3に示す千葉県市原市、長柄町における下総台地と上総丘陵の境界部に砂質流域と泥質流域の近接した二つの試験流域（図中のa、b）を設定し、水文観測を行った。この地域は先に述べた“地形の逆転”の模式地でもある。同じ降雨イベントに対するハイドログラフを図-4に示す。砂質流域では降雨に対する流出の増加および低減は緩やかであるが、泥質流域ではシャープに降雨にตอบสนองして流量は増加するが、低減は速やかである。これは、

砂質流域では降雨を受け止め、貯留し、徐々に排水する機能を持つが、泥質流域では降雨は速やかに排水される。その機能の違いは水循環と地形の相互作用を通じて地形に刻まれていくことができる。

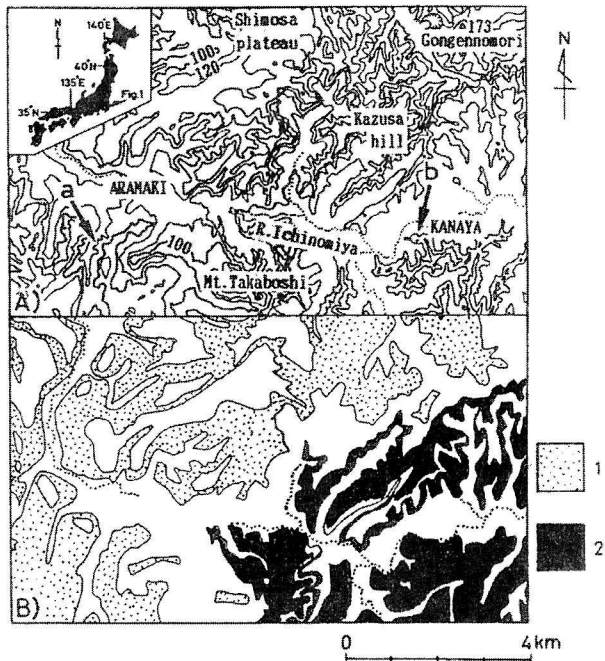


図-3 下総台地南縁部の地形と地質  
(海老塚・近藤, 1990)  
1:地蔵堂層(砂層)、2:笠森層(泥層)

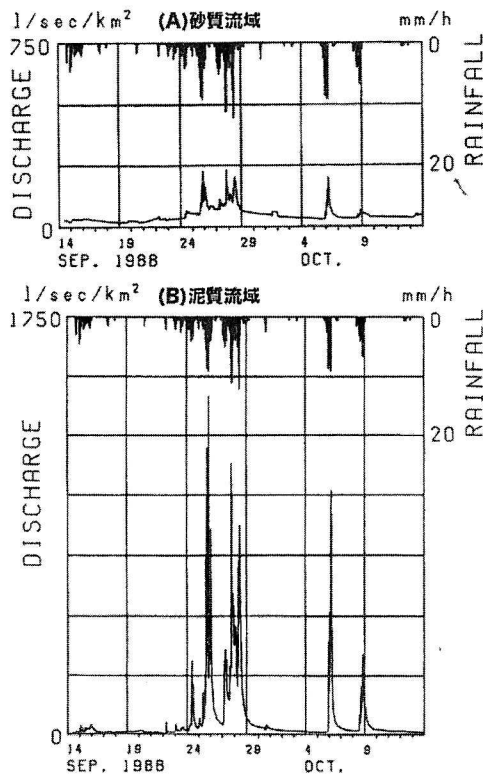


図-4 砂質流域(A)と泥質流域(B)における  
同一降雨イベントに対する流出の応答

このように、水循環と相互作用しながら平衡状態に向かって変化していく地形を観察すると、流域で生じている水循環のあり方を推定することができる。基本的にはある地質の透水性、また、ある地質が形成する土層の厚さと水分特性を想定し、比較的短期の水循環に関わる部分の容量(海老塚・近藤, 1990ではこの部分を「土層」と定義した)を経験的に推定することにより流域の水循環のあり方を推定することができる。

### 5. 水が存在することの意味

筆者の初めての海外調査はタンザニアの東アフリカ高地における地下水調査であった。サバナの大地は大地溝帯に平行に走る断層と、断層間の台地から構成されている。台地上には皿状の凹地があり、わずかな水を湛え、住民の生活用水となっていた。断層間の凹地は雨期になると湛水し、ブガと呼ばれる黒色粘土が堆積していた。断層線崖の緩い斜面は塩基性岩石起源のラテライト性赤色土で、台地上は蟻塚の分布する花崗岩起源の砂質土からなっていた(小野寺ほか, 1996)<sup>10)</sup>。

地下水は断層破碎帯から揚水するのであるが、その同位体組成は比較的軽く、台地上の花崗岩地帯の基盤直上の浅い地下水と同じだった。一方、台地上の池の同位体組成は蒸発の効果で重く、また、低地を構成するブガは容易に水を地下に浸透させないことがわかった。台地上の池は地下水の涵養池として機能するかわれたが、同位体組成から池は地下水涵養機能を持たず、“水が浸透しないから”池が形成されていると解釈できた。一方、普段は乾燥している花崗岩台地では強度の大きな降雨イベント後、水は速やかに浸透、浸潤し、蒸発の影響を受けずに深層地下水へ涵養されると考えられた。なお、花崗岩台地では密に分布するシロアリの塚が地表流を集中させ、効率的な地下水涵養を促進していると考えられた。現場では、その場の“個別性”が重要な役割を果たしていることも多い。

日本海側流域に多い山頂部の湿地は主に大量の積雪によって維持されているが、下部斜面で地すべりを引き起こしていることが多い。この

場合は、高標高部の湿地が地下水を涵養しているといえる。“水がある”から浸透、地下水涵養が生じていると考えられる。

このように、“水がそこにある”ということの解釈は流域における水循環を考える場合に二面性を持つ。河川の“流量が多い”ということと“流況が良い”ということが異なるニュアンスを持つことと同様に、総合的、包括的な視点から現象を解釈する習慣を普段から身につけておくことが大切である。

## 6. おわりに

流域に立ち、流域を眺めながら流域における水循環のあり方を考えるためには、水文・地形・地質・気候・土地被覆等および人間活動の間の相互作用を捉える総合的、包括的な視野を持つ必要がある。これには地理学や地質学の知識が役に立つ。考察を補助する地形図、地質図、そのほかの主題図情報は日本には豊富に存在するので、これらの情報を活用するリテラシーも日頃から身につけておく必要がある。

流域における水循環のあり方を知るためのいくつかの観点については本文中に記述したが、様々な事例を知ることが大切である。野外科学においては一般性はベースにあるもので、その上にある個別性を積み上げることにより、判断力が増してくる。演繹的に答えを求めるだけではわからないことも多い。地理学では地域の理解を重視するが、いろいろな地域の個別性、経験を積み上げることにより地域ごとの水循環の共通性と異なる部分が明らかになり、応用力が増していくことだろう。

## <参考文献>

- 1) 志水俊夫 (1980) : 山地流域における渇水量と表層地質・傾斜・植生との関係、林試研報、No.310、109-128.
- 2) 虫明功臣・高橋裕・安藤義久 (1981) : 日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果、土木学会論文報告集、No.309、51-62.
- 3) 松村好造 (1972) : 大栗川上流の規底流量について、ハイドロロジー、5、25-30.
- 4) 塚本良則 (1998) : 森林・水・土の保全—湿润変動帯の水文地形学、朝倉書店、138p.
- 5) 西崎貴子 (2004) : 流域の地形・地質・気候・植生が河川流況に与える影響、千葉大学自然科学研究科修士論文.
- 6) 古谷尊彦・大倉 博 (1992) 房総半島鹿野山周辺地域の斜面崩壊の地形. 地すべり, 28, 279-290.
- 7) 近藤昭彦 (1985) : 下総台地南縁部の小流域における渇水期の流量と地形との関係について、ハイドロロジー、15、114-121.
- 8) 吉川虎雄・杉村 新・貝塚爽平・太田陽子・坂口 豊 (1973) : 「新編 日本地形論」、東京大学出版会、415p.
- 9) 海老塚正朗・近藤昭彦 (1990) : 降雨流出過程における「土層」の効果、ハイドロロジー (日本水文科学会誌)、20、53-64.
- 10) 小野寺真一・近藤昭彦・佐藤芳徳・林 正貴・新藤静夫・松本栄次・池田 宏 (1996) : 東アフリカ、タンザニアの半乾燥地域における地中水循環、日本水文科学会誌「ハイドロロジー」、26、75-86.