

教科書でみる水環境・水資源のつながりを考える

三重大学教育学部教授 宮岡 邦任

1. はじめに

科学技術が発達する以前、人間の生活は地域の自然的基盤（自然条件）に適応する形で構築されてきた。その形は、現在でも生活様式、産業などに活かされ、地域特性として数多く存在する。私たちが地域特性を活かしながら日頃の生活や生産活動を行う上で、水に関係する部分は非常に多く、水の存在は不可欠のものである。地球上で私たちが使うことのできる水は、地表水、地下水、湖沼水をあわせて地球全体に存在している水量の1%にも満たない。その一方で、水は大雨や高潮など自然災害をもたらす存在でもある。社会科や地理の教科書には、世界や日本の水循環や水資源・水問題、自然災害など水に関する内容は数多く織り込まれている。これらの水に関する問題や課題は、SDGsの17の目標に関係するところも多く、水に関係する事項からアプローチすることで社会科や地理の教科書の内容から社会貢献を考えることは十分に可能である。一方、教科書の中で自然地理でみると地形や気候のようにまとまった形で記述や説明がされているページがないため、水（水文学）をベースにした知識の涵養や体系化が難しい状況にあると考えられる。本稿では、水文学的な視点で見た社会科教科書、特に地理教科書を読み解くのに必要となる水文学の基礎的な知識や内容の考え方について、いくつかの例を挙げながら示してみたいと思う。

2. 日頃の生活の一場面と地理教科書との絡み

まず、社会科や地理の教科書の内容から水の内容に関連して考えられる例を、身近な活動や風景からみてみよう。

街角の牛丼屋やステーキ店で、牛丼やステーキを食べたことがある人は多いと思う。これらの店の牛肉がアメリカからの輸入品であることはわかっても、この牛の生産に使った水の量がどのくらいになるのかまで考えながら食べている人はそうそういないのではないだろうか。さて、自分が食べた牛丼やステーキの牛肉は、アメリカのどこで飼育されていたのだろう？牛を飼育するための飼料はどこで栽培されていたのだろう？このような疑問を解決できる糸口が、教科書には織り込まれている。

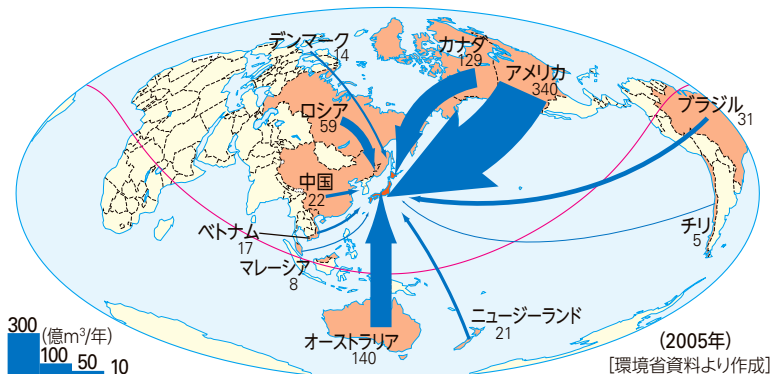


図1 日本のバーチャルウォーターの輸入
(二宮書店『新編詳解地理B 改訂版』 p.16 に掲載)

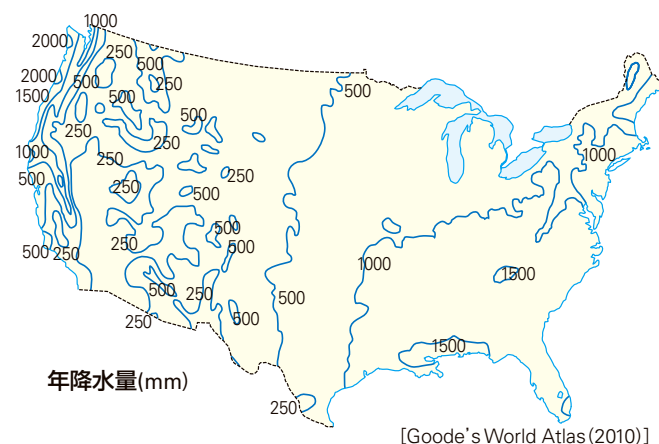


図2 アメリカの年降水量分布
(二宮書店『新編詳解地理B 改訂版』 p.18 に掲載)

二宮書店『新編詳解地理B 改訂版』をみると、地理情報の地図化という単元に「日本のバーチャルウォーターの輸入」の流線図(図1)が掲載されている。バーチャルウォーターは仮想水とも呼ばれ、直接的に使った水ではなく、私たちが利用する農畜産物を生産するために、現地で使用した水のことをさしている。つまり、輸入牛肉を食した時点で、その人はその牛を育てた過程において、外国の水を「使った」ことになる。

教科書の次のページには、アメリカ合衆国主要部における年降水量分布の等値線図(図2)が示されている。牛や牛の飼料が生産された地域の降水量はどのくらいあるのだろうか。生産に大量の水が必要であれば、当然降水量の多い地域で飼料は栽培されていると考える。さらにステップ気候や地誌的分野のアメリカのページには、アメリカの

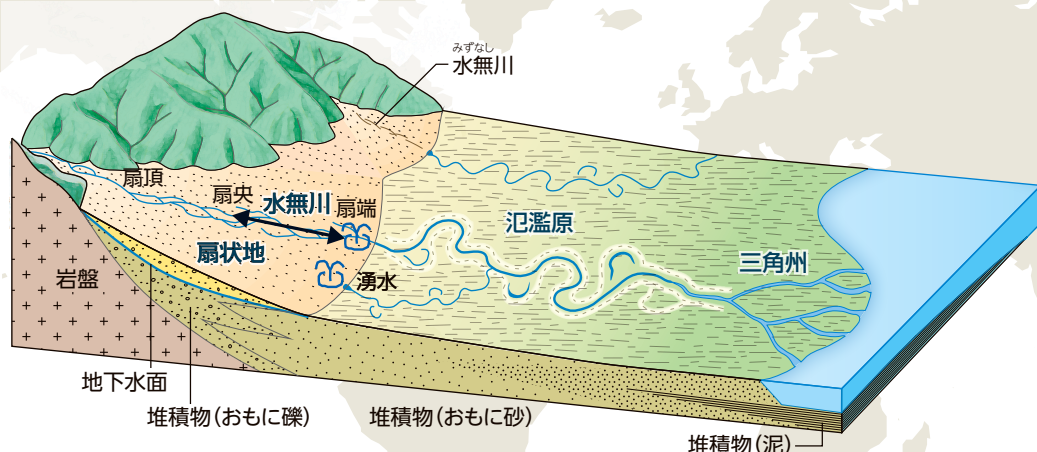


図3 扇端湧水と河川の水の流れない場所 (二宮書店『新編 詳解地理B 改訂版』 p.40 より改変)

次の例であるが、地形の形成でいえば、外的営力の一つとして侵食・運搬・堆積作用に影響しているのは「水」である。教科書『新編詳解地理B 改訂版』では、扇状地や河岸段丘などの河川沿いにみられる地形について、形状や特徴、内部(堆積物の)構造についての説明とともに、形成過程に寄与している水の存在に触れている。



写真1 アメリカにおけるセンターピボットによる灌漑農業の例 (二宮書店『新編詳解地理B 改訂版』 p.73 に掲載)

扇状地をはじめとした平野における地形の形成には、山地から水とともに運搬されてくる土砂の堆積がかかわっており、上流から下流にかけて様々な地形が形成される。その際、平野の上流に形成される扇状地では、相対的に大きな礫が堆積することにより、内部構造をみると空隙が多くなり水を通しやすい特徴が生まれる。その結果、扇中央での河川の水の流れない区間と扇端における湧水帯が形成される(図3)。扇中央における水無川や果樹園や畑地の分布、扇端における集落や水田の分布は扇状地特有の内部構造とそれに規制された水の流れによるものである。

以上、水と関係して教科書に取り上げられている二つの例を示してみたが、いずれも自然環境における水の存在状態と人間活動の密接な関係がみえてくる。



写真2 とうもろこしの栽培 (二宮書店『新編 詳解地理B 改訂版』 p.323 に掲載)

センターピボットによる灌漑農業の写真(写真1)があり、地下水を利用した小麦・とうもろこしの栽培の記述がある。巻末写真資料にはとうもろこしの写真(写真2)とともに、食料用と飼料用があることが示されている。

3. 教科書を理解するための水文学の基礎知識

図4は地球上で挙動している水循環を模式的に表したものである。自然状態における水循環は、降水－流動－流出－蒸発(散)となるが、このうち降水から流出までのプロセスは、私たちの生活や生産活動によってその形が大きく変化する。例えば、平野に町ができると、地表面の広い範囲で透水性のある土から、多くの場合は非(難)透水性のコンクリートやアスファルトに変わる。この変化は、降水があった後の水の動き方に大きな変化を与える。つまり、従来は浸透して地下水となっていたものが、道路の側溝などを通して短時間で河川に流れ込むようになる。また、稲は湿地などの水がたまりやすい低地に水田をつくり栽培されるが、元の湿地であった時には水が地下に浸透していたものが、水田になることで農閑期には畑地のように湛水しない状況が生じ、水が地下に浸透しなくなる。

これらのことは、従来地表から地下に浸透していた地下水への涵養量が大きく減少することを示しており、下流域での地下水位の低下につながる懸念される。

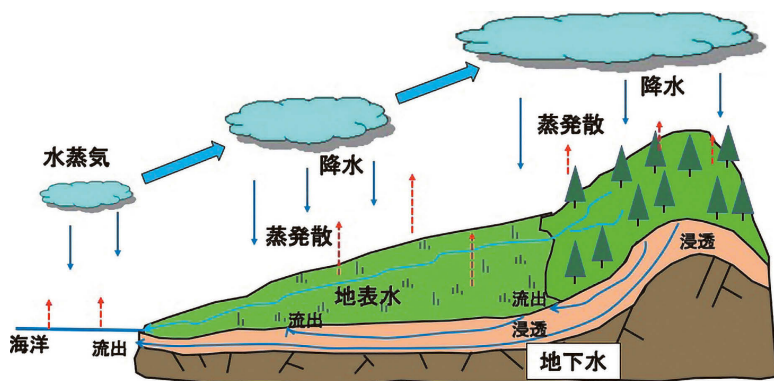


図4 地球上で挙動している水循環

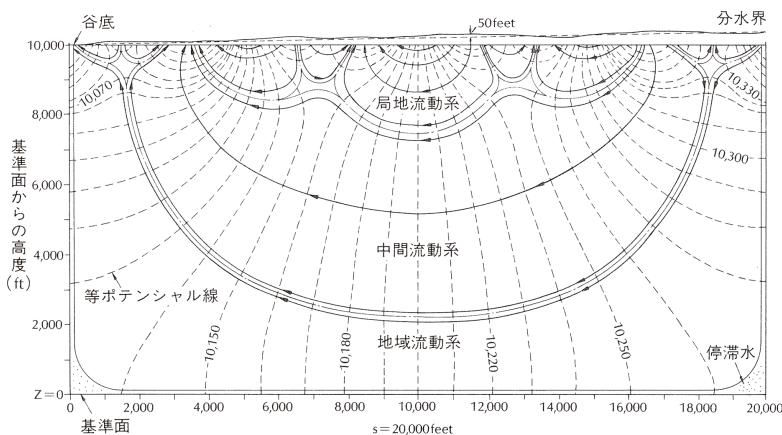


図5 地下水流動の概念 (山本編, 1986)



写真3 アメリカでのフィードロットのようす
(二宮書店『新編 詳解地理 B』 P.277 に掲載)

アメリカにおけるとうもろこしの主要産地は中西部(コーンベルト)であるが、この地域では灌漑農業のための過剰揚水による地下水の枯渇が深刻化している。この地域では、乾燥地域に位置しておりセンターピボットによる地下水を利用した灌漑農業が発達し、とうもろこしの他、大豆や小麦が栽培されている。グレートプレーンズの中でも西の地域にあたるハイプレーンズでの灌漑用水は、数mから100数十mの厚さのあるオガララ帯水層から採水されている。この地域の気候はステップ気候であることから、局地的な降水による地下水涵養は期待できないため、

安定した地下水の利用を目指すためには遠方の地域を涵養域に持つ滞留時間の長い地下水流動の存在とその利用を考えなければならない。涵養量に対して揚水量が多い場合には地下水が枯渇する可能性があり、現在そのような傾向が表れている。この地域では牧畜(フィードロット)も盛んに行われており、農作物の栽培と同様に地下水に依存している。

アメリカ中西部の地形は、全体的に西から東に向かって緩やかに低くなる勾配を持っている。地下水が流動する地質構造も同様の傾きを持っていることから、飼料の栽培やフィードロット(写真3)を行う際に使われている地下水は、ロッキー山脈など西部の相対的に標高の高いところで涵養された地下水が、この地域に流動してきたものと考えられる。

そもそも、地下水は地下のどこを流れているのだろうか。地下水が流れている土壌の構造は、三相分布といって固相(土粒子、砂礫)、液相(土壌水、地下水)、気相(空隙)からなっている。地表から水が浸透してくると気相に水が入り込み、気相がすべて液相に変わると、その境界が地下水面となる。

地下水の揚水量が流量を上回ったとき、地下水が流動していた部分には空隙ができる。採水深度が深深度であった場合、地下水の過剰揚水によって空隙が多くなると、上層の土や砂礫の重みに耐えきれず、空隙を押しつぶすように固相が沈下してくる。このような現象を地盤沈下とよんでいる。先述したハイプレーンズのほか、中国の華北平原など大規模な灌漑農業に地下水を利用している地域では、一部で地盤沈下が問題になっている。

牛の飼料であるとうもろこしや大豆の栽培には大量の地下水が使われており、さらに牛の肥育に

も地下水が使われている実態がある。一方、私たちが日本で食べているアメリカからの輸入牛肉に、これらの地下水の水質などの片鱗はもちろん全く見られない。バーチャルウォーターや先述した扇状地の土地利用を考えたとき、図3や図4に示したような水文学の最も基本的な部分である地球上で挙動している水循環や地下水流動に関する知識は持ち合わせていた方が、水資源をキーワードとした現象の理解が容易になると思われる。

4. 専門書の内容はどのように教科書に反映されているか

先述したように、教科書において、水(水文学)に関する情報は地形や気候のようにある程度一カ所にまとまって記述されているような形ではなく、あちらこちらに断片的に散らばっている。

地下水流動の模式図は、地理Bの教科書であれば「地下水の分布」という形で掲載されているものが多い。多くの場合は千葉県房総半島などの地域を例に不圧地下水、被圧地下水などの地下水の種類とその分布を二次元断面で示したものである。千葉県の例から、本稿で示したアメリカ大陸をはじめ授業で扱った地域や身近な地域に当てはめることができるかが大きな課題となる。

図5は地下水流動の概念を示したものである。地下水は、涵養されてから流出まで図に示された流線のように流動している。地上から浸透して地下水となった流れは、基本的には滞留時間の長い地域流動系、滞留時間の短い局地流動系、その中間の中間流動系の3つの地下水流動系に分類され、これらの流動系は交流することはない。図4に示した水循環の中の地下水の流れは、図5の地下水流動の概念をごく簡略にしたものである。2つの図において地下水流動系間の交流がないことは、それぞれの地下水流動系で地表から地下に浸透して地下水となる涵養域の保全を考えなければ、地下水の量や質は維持できないことを示している。

降水量の分布は、その地域の地下水涵養量に大きく関係する。降水量の少ない地域で水の利用を地下水に依存したとき、採水深度や地質構造、水質などのデータを収集することで、ある程度の涵養域から採水地点までの地下水の流動や滞留時間を推定することができるだろう。例えば扇状地の扇端湧水などの湧水は、地下水の流出口であり地下水の流動と密接に関係する。扇端湧水帯付近に集落が発達し水田が分布する土地利用は、地下水流動を通してまさに自然条件が人間の生活に強く影響していることを示している。降雨—浸透(涵養)—地下水流動(扇央では水無川)—流出(扇端湧水)という地域の水循環と土地利用の関係を考察するとき、基本となるのは図4であり図5である。このように私たちの生活の場の条件の一つとして水の分布を考えたとき、少なくとも河川や地下水の交流関係や挙動について、ごく基本的な物理化学的特性はおさえておいた方が教科書を読み解く助けになることは間違いない。

一方、現在出版されている水文学に関する専門書は、例えば杉田・田中編著『水文科学』(共立出版、2009)のように水文学の基礎的事項について網羅しているものはあるが、理料的な内容を多く含んでおり社会科の教科書の助けとして利用するにはハードルが高いものが多い。近年では

地域の「名水」と題して井戸水や湧水、河川水を紹介した本が数多く出版されている。その中で日本地下水学会編『名水を科学する』(続、新の3冊シリーズ、技報堂出版)は、国内外の地下水、湧水、河川水、温泉などについて、地域ごとに名水の由来や流動の場の地形地質の特徴、水質や流動プロセスなどについて平易に書かれており、地域学習の資料としても役立つ。その他にも地域を対象にした水の本は多く出版されているので、身近な水の話からアプローチをかけてみると、抵抗感無く水文学の基礎知識が修得できるのではないだろうか。

5. 水文学の立場から持続可能な開発を考えるにあたって

牛井、ステーキから端を発し、外国における水資源について話を進めてきたが、現在は技術の発展による灌漑施設の拡充によって、乾燥地域などの水資源に乏しかった地域でも生産活動が可能になっている。しかしながら、自然の状態で水が得られる地域は本来限定的だったと考えるべきで、気候や地形地質条件から地域の作物の栽培の形を適地適作とする向きもあるが、水の賦存状態から考えれば井戸の掘削をはじめとした灌漑技術の発展の恩恵を受けて作物栽培を行っている地域が非常に多いことに気づくべきである。近年のゲリラ豪雨や夏季の高温といった急激な環境変化や自然災害に対して、現在の灌漑施設で適応が厳しくなったとき、安定的な食料供給が行えるシステムが確保できているのかを考える材料の一つとして、水に関する問題が重要な働きをしていることと、そのことの理解を深めるために水文学の基礎知識が必要であることはいまでもない。

水資源や環境変化、自然災害などの水に関する問題や課題に対する解決に向けての取り組みは、冒頭にも述べたようにSDGsの17の目標に直接的、間接的に関係するところが非常に多く、その基礎的な内容や考え方は教科書に分散している水に関する記述の随所に含まれているが、水を主語にした記述ではない部分も多く、その関連付けが難しい場合も少なくない。

令和4(2022)年度からの高校地理必修化にあたり、水に関する事項について例えば水資源をテーマとした系統的分野と地誌的分野が融合したような形が構築されることがあれば、人間の生活に欠かすことのできない水からのアプローチによる地域の持続可能な開発についての新しい考え方と理解の方向性が見えてくることが期待できるかもしれない。