

大項目	2	持続可能な社会の実現に向けた地球的課題と国際協力			
中項目	2-2	持続可能な社会の実現と地球的課題			
小項目	2-2-1	世界の自然の大局を理解して地域多様性や地球的課題を考える基礎としての自然地理			
細項目 (発問)	2-2-1-12 水循環	水資源問題になぜ水循環の視点が必要か考えよう			
作成者名	山中 勤	作成日	2021/202/20243 年	Ver.	1. 2
キーワード 5~10 個程度	水資源 水循環 淡水 降水 蒸発散 地下水 河川 湖沼 水資源賦存量				

発問の意図と説明

(1) 地球上の水資源量は有限？

我々人間は飲み水なしに生きていくことはできません。また、飲み水以外にも炊事・洗濯などの日常生活、あるいは農業・工業・発電などの生産活動において多くの水を必要とします。水は人間社会にとって欠くべからざる資源であって、それが不足すれば大変困ったことになってしまいます。

地球上の水の総量は約 138.6 京トンと推計されています。その内訳は表 1・図 1 (10³ km³≒1 兆トンで 1 京トンはその 1 万倍) に示されていますが、97.5%は塩水で、一般に水資源とみなすことのできる淡水は 2.5%に過ぎません。しかも、その淡水の約 2/3 は大陸氷床や山岳氷河などの氷雪で、これらも水資源としては通常利用できません。比較的利用しやすい河川や淡水湖沼の水量はあわせて 93 兆トン程度しかありません。

20 世紀末時点での推計では、人類による世界全体の水利用量は年間約 3.76 兆トンとされています。93 兆トンを 3.76 兆トン/年で割り算すると、24.7 年という値が得られます。つまり、もし利用可能な水資源量が 93 兆トンしかなかったならば、約 25 年で枯渇することになってしまいます。実際は、もちろんそのようなことにはなりません。なぜならば水は利用しても消滅するわけではなく、自然界を循環することで再利用可能となるためです。言い方を換えれば、水資源は再生可能あるいは更新性の資源ということが出来ます。しかしながら、水資源量は無限というわけでもありません。この一見矛盾する事実について、以下に順を追って説明していきます。

(2) 水循環とは？

「水循環」という言葉を聞いて、どのようなイメージを持つでしょうか。モーター駆動の循環装置がついた熱帯魚の水槽や、ぐるぐると周回する流れるプールのようなものを連想する人もいるかもしれません。しかし、ここでいう水循環とは図 2 のようなものです。【参照 url1】海を起点として説明すると、まず海水が蒸発して水蒸気になります。水蒸気は風や上昇気流に運ばれてどこかで凝結し、雲をつくり、雨や雪として陸上あるいは海上に降り注ぎます。液体・固体を問わず天から降ってくる水（あるいは水が降ってくる現象）を降水といいます。陸の雨水や雪解け水の大部分はいったん地中に浸みこみます。そして、その一部は土壌面などで蒸発したり植物に吸われて蒸散したりすること（蒸発と蒸散を併せて蒸発散といいます）によって再び水蒸気として大気中に戻っていきます。残った水はさらに地下深くに浸みこんでいき地下水となります。地下水は多くの場合高所から低所へ向けて流れ、谷筋や窪地で湧き出て河川や湖沼といった地表の水体を形作りますが、遠く旅して海底で湧き出すこともあります。河川や湖沼の水は水面からの蒸発によって量を減らしながらやはり低所に向けて流れ、最終的に海に戻ります。これが自然界の水循環あるいは水文循環と呼ばれるものです。

水循環の駆動力は太陽からの放射（光）エネルギーと地球の重力です。太陽放射によって温められた水は気化し、持ち上げられ、上空で冷やされて液体に戻ります。重力が水滴を落下させ、河川水や地下水を陸から海へと導きます。太陽と地球が現在のような姿で存在する限りこの水循環は止むことがなく、半永久的に蒸留水が作り続けられ、我々のもとに送り届けてくれます。農業用水として田んぼに引かれた水や飲み水として人体に取り込まれた水も、そうした水循環の環（わ）の一部を構成しているのです。

図表のページ

表1 地球上の水の量

貯水体	貯留量 (× 10 ³ km ³)
海洋	1,338,000
氷雪	24,064
永久凍土層中の水	300
地下水	23,400
(うち淡水)	(10,530)
土壌水	16.5
湖沼水	176.4
(うち淡水)	(91)
湿地の水	11.5
河川水	2.12
生物中の水	1.12
大気水蒸気	12.9
合計	1,385,984
(うち淡水)	(35,029)

(杉田・田中 (2009) より)

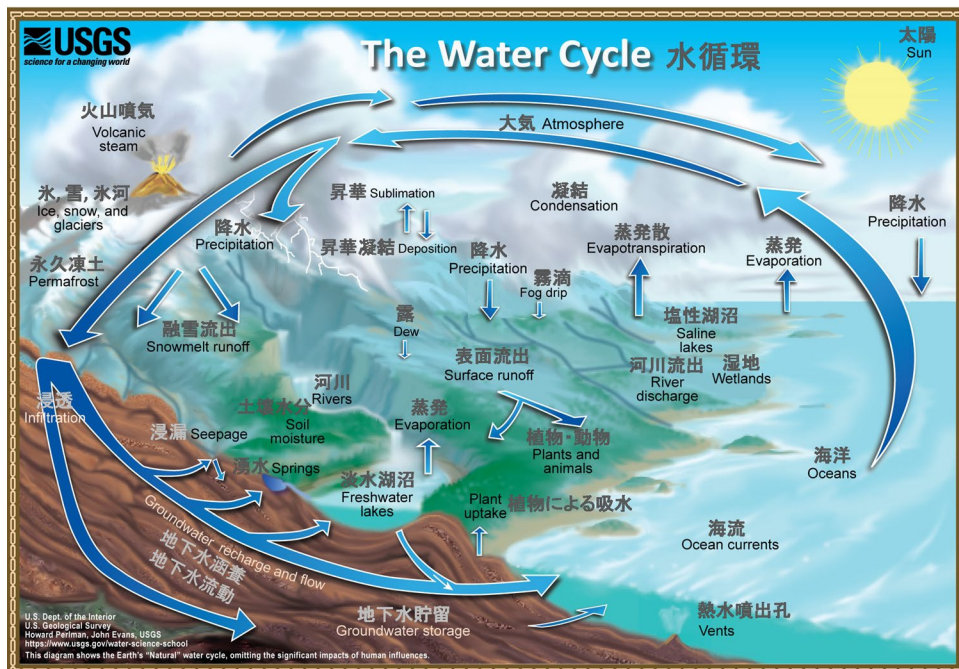
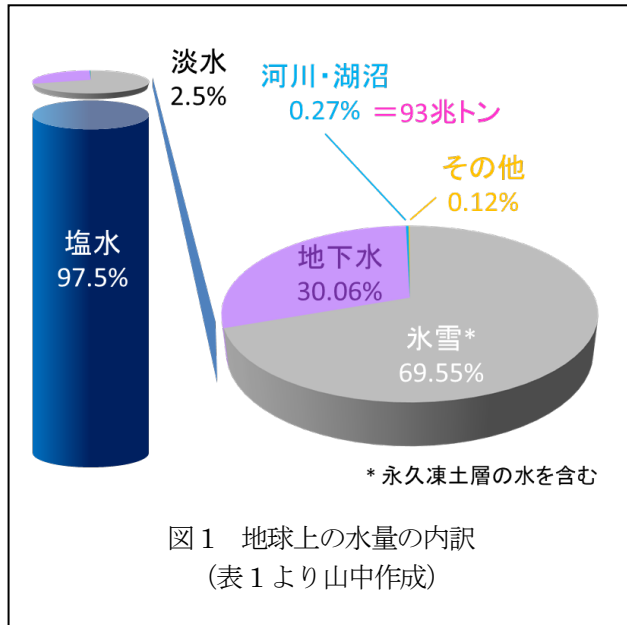


図2 水循環の模式図

<https://www.usgs.gov/media/images/natural-water-cycle-0>

より引用 (山中和訳) 参照 2024年1月

(3) 水資源の量を制限するものは何？

水循環を1つのシステムとしてみた場合、それは様々な貯水体（ストック）とそれらをつなぐ水の流れ（フロー）で構成されていることとなります。表1に内訳を示したのはストックで、降水・蒸発散・湧水などはフローです。河川や地下水はストックとしてみることもできますが、単位時間あたりの流動量としてみればフローとも言えます。実は、水資源の量を制限しているのはストックではなくフローなのです。水の流動速度が、水資源の再生速度・更新速度となっているわけです。

図3は大気・海洋・陸域における水の貯留量とそれらの間の流動量を示したもので、球の体積と矢印の幅がそれぞれ貯留量と流動量の大きさに比例するように描かれています。陸域には47,971兆トン（ 4.7971×10^{13} ）の水が貯留されていますが、上述の通りこのストックを水資源量と捉えることはできません。人類が資源として利用可能な水量は、降水量から蒸発量（この図では蒸散も蒸発に含めています）を差し引いた44.8兆トン/年となります。この水量は河川や地下水として海洋に流出する量に等しく、水資源賦存量と呼ばれます。図3では地球全体での数値が示されていますが、地域ごとに水資源賦存量を求めれば概ねそれが利用可能な水資源量の上限であると考えられます。発電に利用した水を下流で農業用水として反復利用したり、あるいは海水を脱塩して淡水化したりすれば、理論上は水利用量が水資源賦存量を超えることもあり得ますが、実際には極めて稀なケースと言えます。

(4) 日本は水資源に恵まれている？

地球上の降水量の分布（図4a）を見てみると、低緯度の熱帯で日量10mmを超える地域があるものの、陸域の多くで1~6mmの範囲にあります（1mmとは、 1 m^2 あたり 10^3 m^3 、すなわち 1 kg/m^2 のこと）。一方、蒸発量（図4b）は亜熱帯の海洋で多いですが、陸域では3~4mm以下です。降水量から蒸発量を差し引いた水資源賦存量（図4c；以下、賦存量と略記）は、低緯度熱帯の東南アジア・南米北部・中央アフリカなどで多く、亜熱帯の乾燥地域で極端に少なくなっています。また、高緯度では蒸発量が少ないため賦存量がやや多いです。日本は降水量が多く蒸発量が中程度であるため賦存量は比較的多いほうです。

図4に示された水量は単位面積あたりの値ですが、一人あたりの水量としてみると印象は変わってきます。図5は人口1,000万人以上の国々について、年間一人あたりの賦存量と水利用量の関係を示したものです。カナダは国土が広いわりに人口が少ないため、一人あたりの賦存量は突出して大きくなっています。また、水利用量も他の国々と比較して多いほうです。アメリカの水利用量はカナダと同程度ですが、人口が多いゆえに中西部に乾燥地域を抱えているため、一人あたり賦存量はカナダの $1/9$ 程度となっています。乾燥地域にあるイラクでは賦存量が少ないにもかかわらず利用量が極めて多く、賦存量と水利用量がほぼ拮抗しています。したがって、水資源に余裕がほとんどないと言えます。

日本では、上述の通り単位面積あたりの賦存量は比較的多いのですが、国土が狭く人口密度が高いため一人あたりの賦存量はアメリカの $1/3$ 程度です。一方、文化やライフスタイルの違いによって一人当たりの水利用量はアメリカの半分程度となっています。結果として、賦存量に対する水利用量の割合は20%程度でアメリカよりやや大きく、図4に示された国々の中央値（10%程度）の約2倍となっています。つまり、日本は気候的には水資源に恵まれていると言えますが、水利用とのバランスで見れば必ずしもそうではないのです。

(5) 水不足はなぜ起こる？

図4に見られるように降水量と蒸発量は空間的に均一ではなく、結果として水資源賦存量の空間分布もかなり偏った様相を呈します。つまり、水の流れは空間的に偏在しており、地球全体として水資源賦存量が水利用量を上回っていたのとしても、地域規模では水不足に陥る状況が発生してしまうのです。

図表のページ

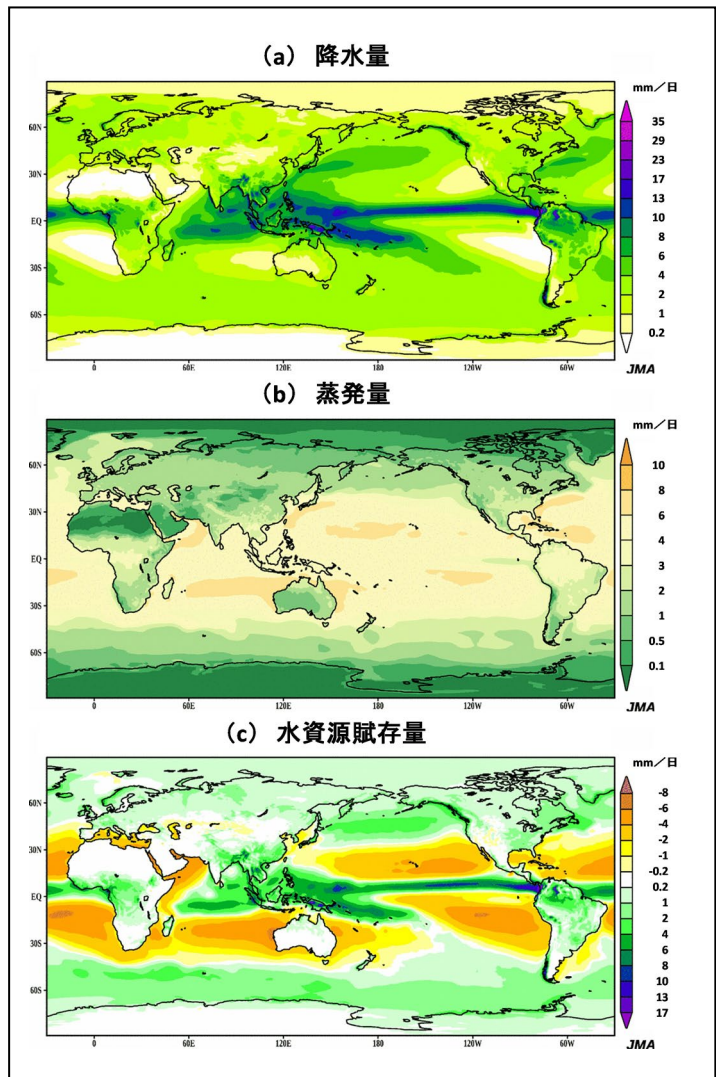
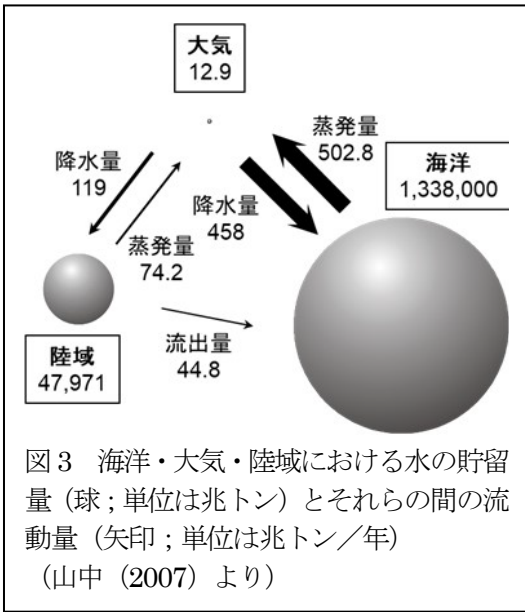
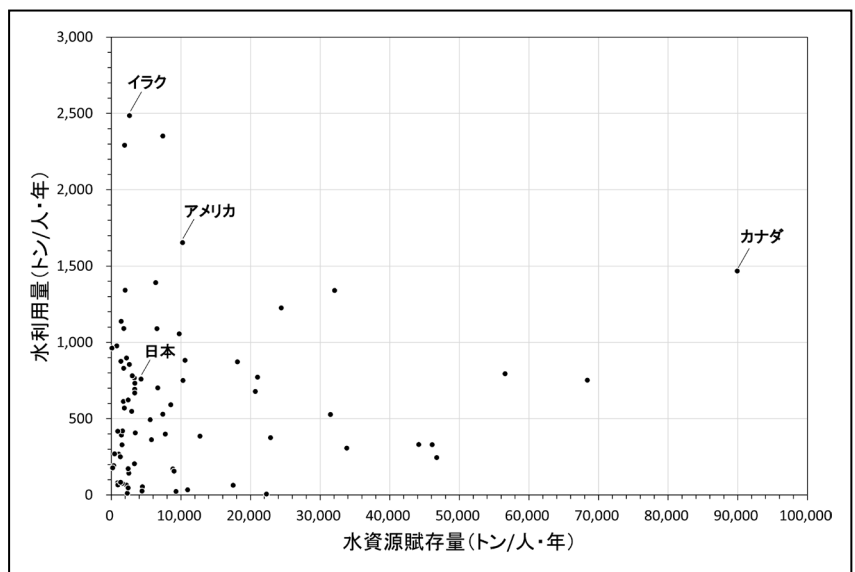


図4 降水量、蒸発量、及び水資源賦存量の空間分布 (年平均値; 1981~2010年)
<https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/atlas/jp/index.html>
より引用 (山中一部改変)
(2021年6月閲覧)



水不足を考えるうえでは、水循環の空間的偏在性だけでなく時間的偏在性も重要です。図6は、日単位の河川流量（山梨県笛吹川の例）を示していますが、平常時の流量が100万～200万トン/日であるところ、通常の降雨時にはその数倍、大雨時には数十倍に達していることがわかります。これに対して、人間社会による水利用は平常時の流量を想定して行われますので、かなりの水量が利用される機会なく短期間に海へと流出してしまっていることとなります。実は、ダム建設などによる水資源開発とは、水を作り出したり、降水量を増やしたりするわけではなく、こうした河川流量の時間変化を平均化することで利用可能な水量を増やすことを意味します。そしてそれは、水不足を回避するという効果のほかに洪水を防ぐという効果も持ち合わせています。

ところで、乾燥地域ではそもそも降水量が少なく蒸発量が多いうえに、降水量の時間的偏在性も激しく、たった数日しかまとまな雨が降らない地域もあります。しかしながら、そのような地域で常に水不足が生じているかという点と、そうではありません。1つにはそうした地域には人口が少なく、水をあまり消費しない文化やライフスタイルが確立されているからです。しかしそれ以上に重要なのは、山岳域に降る雨や雪で涵養されて流下してきた河川や地下水が乾燥地域における外来性の水資源となっている点です。特に、チベット高原やパミール高原の氷河の融解水は周囲の地域における貴重な水源となっており、水が余っている地域から不足している地域へと河川や地下水の形で再配分されていることとなります。

実は、同じような構図が日本国内にも当てはまります。日本の国土は山地（火山・丘陵を含む）が73%を占め、平地は27%に過ぎません（表2）。その狭い平地に人口の79%が居住しており、山地の人口は残りの21%です。ここで、国土全体の年間水資源賦存量を単純に山地と平地の面積比で按分してみると、山地は2.993億トンで平地は1,107億トンとなります。また、日本全体の年間水利用量を人口比で按分すると、山地は171億トン、平地は644億トンとなります。この場合、賦存量に対する水利用量の割合は山地で約5.7%、平地で58.2%となり、実に10倍の違いがあります。平地におけるこの数値を図5のデータと比較してみると、モロッコ・チュニジア・アルジェリアなどと同程度ということになります。これらの国々はサハラ砂漠の北縁に位置します。つまり、日本の平地だけを切り出してみると、水資源のひっ迫度は乾燥地域並みであり、山地からの水供給によってそれが緩和されているというわけです。したがって、もし山地からの水供給が途絶えるようなことがあれば、平地の都市群はたちまち水不足に陥る危険性があります。

（6）水資源を賢く使うには？

以上で述べてきたように、利用可能な水資源量は水の循環速度によって概ね決まっており、無限に使えるわけではありません。それでは、水不足に陥ることなく安定的に水資源を利用していくためにはどうすればよいのでしょうか。降水量は（年々の変動はあるものの）その地域の気候条件によってほぼ決まっており、人工的に増やすのは極めて難しいです。一方、蒸発量も気温や湿度などの気候条件に左右されますが、地表の状態にも依存しますので、水資源賦存量は土地利用に依存します。また、水資源賦存量が同じでも不透水性のコンクリートで覆われた地面などでは地下水の貯留量が減りますので、安定的に利用可能な水資源量は減ってしまうこととなります。つまり、水資源と土地利用は密接に結びついており、これらを統合的に考える必要があります。そして、地理的な見方・考え方がそのようなときにこそ威力を発揮するわけですが、特定の地域を題材として具体的に考えてみてはいかがでしょうか。

参照 URL (2024年1月参照確認)

参照 URL1 米国 USGS (米国地質調査所) のサイト 科学、プロダクツ、ニュース等のコンテンツ提供
<https://www.usgs.gov/>

参考文献

杉田・田中 (2009) 『水文科学』 共立出版, 275 pp.

山中 (2007) 第13章 水循環の変化が災害を引き起こす: 地球規模水循環と自然災害. 『地球環境学—地球環境を調査・分析・診断するための30章—』 (松岡憲知ほか編), 古今書院, 49-53

山中 (2019) 第23章 水不足で生じる諸問題. 『改訂版 地球環境学—地球環境を調査・分析・診断する—』 (松岡憲知ほか編), 古今書院, 96-99.

統計情報研究開発センター編 (2001) 『土地形状別人口統計とその分析』 17 pp.

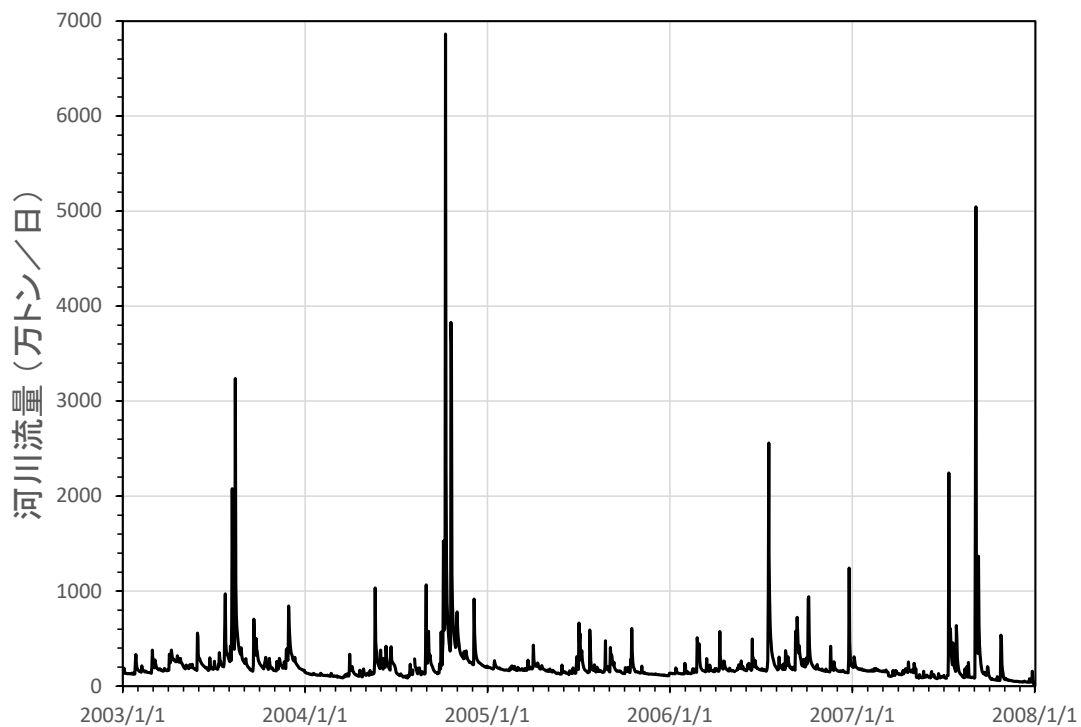


図6 桃林橋水位・流量観測所（山梨県中央市）における笛吹川の日河川流量（2003～2007年）
（国土交通省観測データをもとに山中作成）

表2 日本の山地と平野における水資源賦存量・利用量（山中作成）

	山地	平地
面積 ⁽¹⁾	73%	27%
人口 ⁽¹⁾	21%	79%
水資源賦存量 ⁽²⁾	2,993 億トン/年	1,107 億トン/年
水資源利用量 ⁽²⁾	171 億トン/年	644 億トン/年
利用量／賦存量	5.7%	58.2%

(1) 統計情報研究開発センター（2001）

(2) 『平成 25 年版 日本の水資源』

(https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo_mizsei_fr2_000004.html)

；

2021 年 6 月閲覧)