

1 循環する水資源



沖 大幹
OKI Taikan

東京大学生産技術研究所
教授

水の惑星と呼ばれる地球上には私たちの利用に十分な量の水が循環している。それにもかかわらず生じる水問題は、水資源の時間的・空間的な偏りや安価な資源であることに起因する。解決には安全な水を安定して供給できる施設の整備や、国内では社会基盤のコンパクト化などが必要である。

水の惑星

水の惑星と呼ばれる地球だが、海や氷床、地下水として地球の表面付近に存在する水は地球全体の重さの約0.02%、1/5,000に過ぎない。地殻やマントルにも水が大量に含まれていてそれらの流動を助けていると推定されているが、いったいどのくらいの水が含まれているのかについてはまだ良くわかっていない。

地球表面を覆う海の水は蒸発して水蒸気になり、凝結して雲となり、雪や雨として地上に降り注ぎ、再び蒸発したり地中に浸み込んで川となったりし、いずれは海に戻るといった水循環を構成している。たとえ地球全体に比べると量としてはわずかでも、すべての生き物が暮らす地球の表面付近にはふんだんに存在し、循環し、数千年、数万年といった時間スケールではその総量は変化せず、けっして増えも減りもしないのが地球の水である。

分布の偏りが問題

それなのに、なぜ今、世界では水が問題になっているのであろうか。

例えば、世界には2010年時点で、いまだに8億人弱の人々が安全な水にアクセスできないという。自宅に水道がなくとも、自宅から1km、歩いて約15分のところに安全な水を得られる井戸や共同水栓などがあれば「安全な水

にアクセスがある」とみなされるので、8億人弱の人々は往復30分以上かけて安全な水を得ているか、身近だが安全ではない水を飲んで健康リスクを負っている。

また、高収量品種の開発、人工的な合成肥料や病虫害防除剤の普及、そして灌漑施設の整備などによって、人口増大の伸びを超える食料増産を人類は成し遂げ、絶対的な食料不足を克服した。しかし、その代償として人類の水使用は増え続け、1900年には年間600km³にも満たなかった全世界の水資源取水量は、人口が



写真1 エジプト・アスワンのナイル川河畔のナイロメータ。右側の壁に刻まれた溝でナイル川の水位が計測されていた。上への階段は10m以上つながっている（2004年10月著者撮影）

約3.7倍に増えた2000年には約4,000km³と約6.7倍にも増えている。この伸びには工業用水使用量の増大の寄与も含まれており、2025年には年間5,000km³を超えるという推計もある。

それでも全陸地を合わせると年間40,000km³以上利用可能だと推計される最大限利用可能な水資源量に比べると人間が利用している量はごく一部であり、たとえ世界人口が100億人に増えても世界には十分な水資源があるように一見考えられる。それなのに水が足りなくなるのは、利用可能な水資源の分布が季節的にも地理的にも偏っているからである。

安すぎる水の価格

季節的な偏りに関しては、利用可能な水資源量が多い時期に貯留して足りない時期に使えばよいではないか、地理的な偏りに関しては水資源量が多い地域から少ない地域に運べば解消するのではないか、と思われるかもしれない。

しかし問題は、水が非常に安価だ、という点にある。日本における重さ1tあたりの価格は上水道で約170円弱、工業用水で20数円、農業用水は従量課金ではないのが通常であるが利用量と負担金から算定すると3～4円程度となる。古新聞や古雑誌が1kgで約10円、1tなら約1万円、鉄くずスクラップが2～3万円程度であるのに比べると、たとえリサイクルされるとはいえ、いわば「ゴミ」である古紙や鉄くずの約1/100の価格で安全な飲み水が供給されているのである。

もちろん、ペットボトルなどに詰められた瓶詰め水は水道水の約1,000倍、1tあたり10～30万円であり、「ゴミ」よりは高いが、瓶詰め水は水というよりは甘くないジュース、カフェインの入っていない珈琲、あるいは味のな

地球上の水文循環量と貯留量

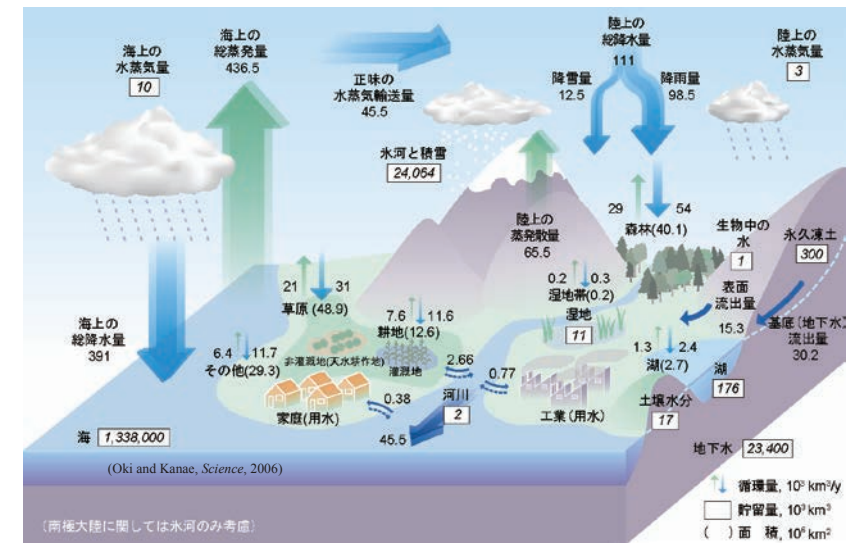


図1 地球上の水循環の模式図で循環量(1,000km³/年)と貯留量(1,000km³)が示されている。南極大陸に関しては雪氷のみ算入されている。大きな矢印は陸上と海洋上における年総降水量と年総蒸発散量(1,000km³/年)を示し、陸上の総降水量や総蒸発散量には小さな矢印で主要な土地利用ごとに示した年降水量や年蒸発散量を含む。()は主要な土地利用の陸上の総面積(百万km²)を示す。河川流出量の約10%と推定されている地下水から海洋への直接流出量は河川流出量に含まれている(Oki and Kanae, Science, 2006)

流出量(mm/年)=年水資源賦在量に相当

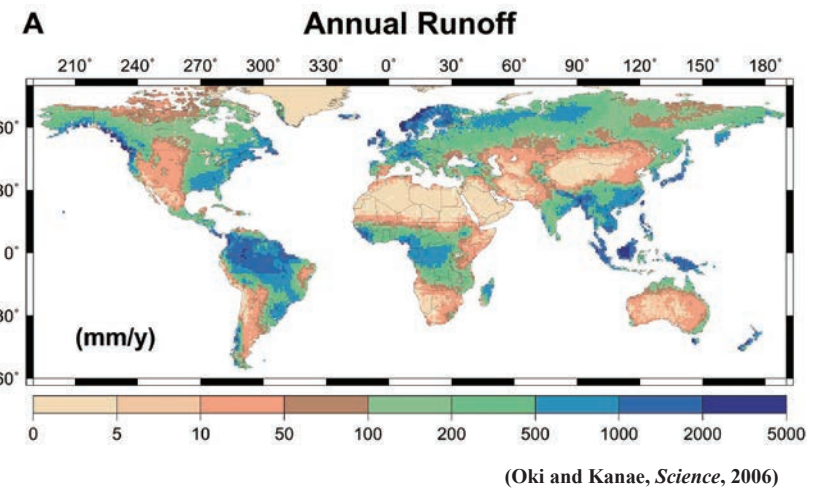


図2 年水資源賦在量(潜在的に最大利用可能な水資源量)に相当する流出量(mm/年)。河川へと流れ込む量であり、長期間平均では降水量と蒸発散量との差に相当する。Kim et al. (2009)に基づき、1979～2007年の29年間の平均値である

いお茶、すなわち清涼飲料だと考えるべきである。

水道水などが安いのは悪いことではないが、貯留や輸送のコストが相対的に高くつてしまうのが問題となる。例えば、東京から大阪に物資をトラック輸送するには重さ1tあたり1万円弱かかる。瓶詰め水ならば数%の

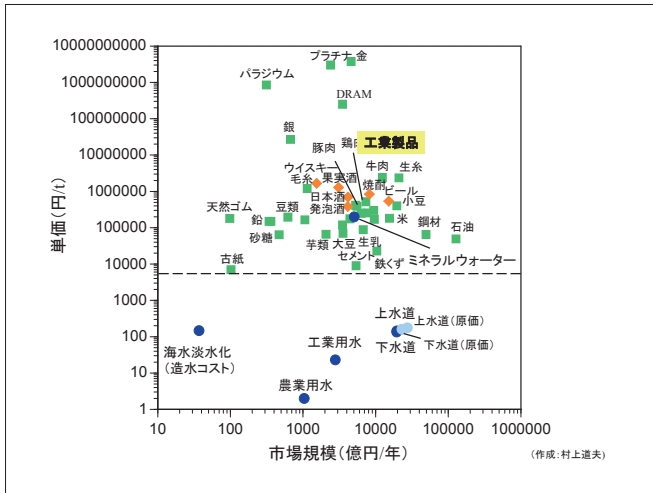


図3 重さ1トンあたりの価格(円)と日本におけるおおよその市場規模(億円/年)。新聞やWebなどから著者等作成

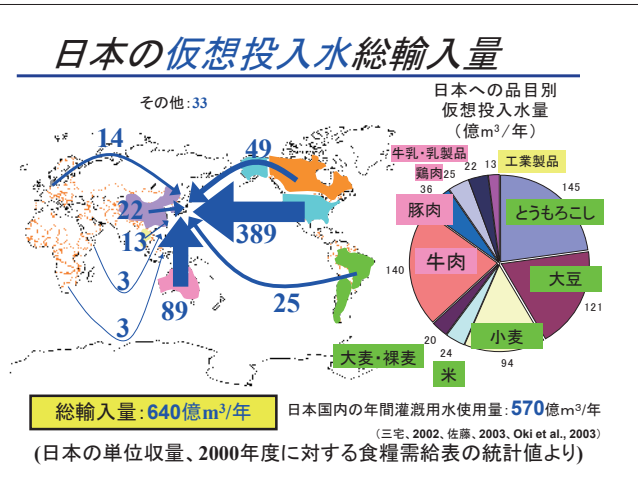


図4 主要な穀物や肉類などに伴う日本の仮想水輸入量。日本の単位収量、2000年度に対する食糧需給表の統計値より算出された(佐藤、2003より)

コストの上乗せで済むが、水道水であれば原価には関係なく輸送費が運んだ後の水の価格を決めることになる。流体を安価に輸送可能なのがパイプラインであり、重さあたりではやはり安価な資源である天然ガスや原油と同様、水もパイプラインを敷設して輸送するしかコストを抑える方法はない。

水道専用としては大規模な小河内ダムによって作られた奥多摩湖には約1億8,500万m³の水が貯められるが、満杯の水の価値は水道料金で換算しても300億円あまりに過ぎない。これに対し、1m³の金は比重が約19で1gが5,000円だとすると約1,000億円近くの価値がある。生態系に多少なりとも影響を与え、大規模なダムを作っても、溜められる水の価値は1m³の金の1/3なのである。

このように、水資源を安定して利用するために効率よく輸送したり貯留したりするためには、大規模なインフラ整備のための初期投資が必要となる。逆に言うと、慢性的な水不足に悩む世界の地域は、気候的に水が足りないのではなく、必要な水質の水を必要な量だけ安定して供給する社会基盤(インフラ)施設が整っていないのである。

インフラが水不足を解消

現在では日本は水に恵まれた国である、と一般に考えられているのも、貯めたり運んだりして水の時間的、空間的な偏在を平準化する貯留施設や水路、取水施設、さらには安全な水を届ける浄水施設、給水施設が長年にわたる投資の末に概ね整備された結果に他ならない。

日本でも高度成長期には、それぞれの地域の水供給能力には関係なく全国の都市に人口が流入して水が足りなくなり、1964年には東京都大湯水に見舞われ、東京オリンピックの開催が危ぶまれたほどであった。

日本の降水量は世界平均の約2倍であり、しかも、夏も冬もそれなりに雨や雪が降るという点では確かに恵まれているが、人口密度も高いため、1人あたりの水資源量では世界平均の年間約8,000m³/人の半分以下の年間約3,200m³/人に過ぎない。特に、関東臨海部では年間約250m³/人と、慢性的な水不足に悩む北京市の年間約120～130m³/人の2倍程度の値である。それなのに普段の暮らしでなぜ水で困らないかというと、関東臨海部の場合には、多摩川の水に加えて利根川上流部に貯水池群を設け、河口には堰も設置して最大限利用可能な水資源を周囲からかき集める仕組みを築いたからである。

なお、人類の幸せのためならば自然に多少負荷をかけてもよい、というのはいわば20世紀型の考え方であり、生態系が健全に保たれている状態が人類にとっても好都合である、という風に生態系サービスを尊ぶのが21世紀の考え方である。生態系サービスの恩恵を将来にわたって受け続けられるように、注意して水を利用していく必要がある。

現在すでに慢性的な水不足で困っている途上国の都市では、人口増加や経済発展に伴って増大する水需要を満たすように水資源開発を進めざるを得ないであろうが、地域で供給可能な水や食料、安全な土地面積などに応じた「環境容量」に人口規模を抑える、という

施策も検討の価値がある。

仮想水貿易

また、水利用の大半は食料生産に使用され、コムギやトウモロコシなどの生産にはその可食部の水が必要であり、肉類では5,000～20,000倍もの水を使って育ったエサが必要となると推計されている。そのため、原油や天然ガスはあっても水が足りない中東のような国や地域では、水を輸入して食料生産するよりは、水が利用可能な地域で生産して輸送するほうが運ぶ重さは1/1,000、1/10,000で済むのではるかに合理的である。この場合、水が豊富な他の地域で生産された食料を輸入すればそ

の分の水供給は不要になり、食料の輸入はあたかも水を輸入しているようなものだ、という見方から、仮想水貿易(ヴァーチャルウォータートレード)とも呼ばれる。

ちなみに、日本は水資源が足りないからというよりは、飼料の生産農地や放牧地が少ないことから、大量の飼料用穀物や肉類を輸入している。また、東京臨海部のように一人当たり水資源量が少ない地域では食料生産用の水資源は絶対的に不足するため、域外の水を使って生産された食料を移入して需要を満たしている。そういう意味では、人口密度の高い都市部では、水と食料に関しては地産地消、循環利用、ゼロエミッションは無理であり、都市部の持続可能性の構築にあたっては、水や食料を供給する周辺部と一体的に考える必要がある。

長期的な視点で水資源を利用

さて、安定した水供給のための社会基盤施設がそれなりに整備され、長期的には人口が減り水需要の逓減が見込まれる日本では、将来の水需給の心配は不要なのだろうか。まず、日本では気候変動によって豪雨が増えるのに対し降水回数が平均的には減少し、年降水量は同じか微増でも、利用可能な水資源量が実質的には減少する可能性が高い。さらには、社会基盤施設が徐々に老朽化していくのに対し、人口減少で財政的余裕がなくなるため、減りゆく人口に併せて戦略的

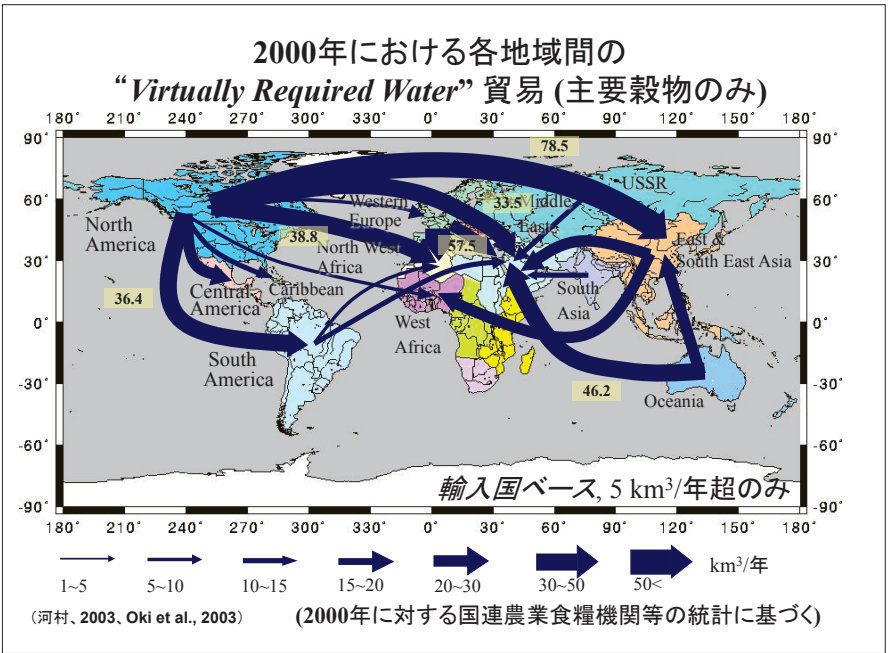


図5 2000年における各地域間の仮想水貿易。国連農業食糧機関のデータ等に基づいて推計(河村、2003より)

な集約を進めて的確な維持補修更新をしていく必要が生じる。

そういう意味では、コンパクトシティの利点を国土全体に活かす「国土のコンパクト化」が今後必要になるのではないだろうか。すなわち、水に限らず、エネルギーや通信、交通や物資輸送、医療や教育、行政や金融など、健康で文化的、安心で快適な生活の維持には必須である広義の社会基盤サービスを現状の人口減少下でそのまま維持し続けるのは難しいため、長期的な国土利用計画を定め、2100年にもそうした広義の社会基盤サービスを維持する地域としない地域を明らかにするのである。これにより、国土全体として維持管理が経済的に可能で、エネルギー使用量が少なく、自然環境への負荷が低く、自然災害へのリスクが低く安全で、かつ幸福感の感じられる住まい方に誘導可能となるだろう。

水の恵みを最大限に生かし、水の災いを最小限に抑えるための努力を、我々は今後とも長期的な視点に立って続けていく必要があるのである。

参考文献

- 1) 沖 大幹、2012:水危機 ほんとうの話、新潮社、pp.334。
- 2) 沖 大幹、2014:東大教授、新潮新書、pp.206。
- 3) 「水の知」(サントリー)総括寄付講座編、沖大幹(監修)、村上道夫、田中幸夫、中村晋一郎、前川美湖(著)、2012:水の日本地図―水が映す人と自然―、朝日新聞出版、pp.112。
- 4) Maggie Black, Jannet King(著)、沖 大幹(監訳)、沖 明(訳)、2010:水の世界地図第2版―刻々と変化する水と世界の問題、丸善、pp.128。