

2 世界の水問題



楠田 哲也
KUSUDA Tetsuya

九州大学 / 東アジア環境研究機構
特別顧問 / 名誉教授 / 工学博士

世界の水問題は、水利用可能性を表す指標「水ストレス」をとおして俯瞰すると見通しがつく。中国黄河流域で実際に生じた地下水位の低下等の問題を概観するとともに、水利権市場の整備などのすぐれた水マネジメント手法を採用したオーストラリアの事例を紹介する。

水資源の本質

降水量は時間的にも空間的にも偏在している。降水量から蒸発散量を差し引いた水資源賦存量も同様である。水資源を海水まで拡大しても空間的に偏在している。ヒト以外の生物は与えられた環境の中で生存リスクを受容しつつ生き延びているが、ヒトは生存リスクを減少させるとともに生活を快適に、そして僅かながら他の生物に配慮しつつ、種々の工夫を凝らして生きてきている。

その工夫とは水資源の時空間偏在を平準化するための貯水施設・送水管渠・水質変換施設、さらに水の使い方等である。人為的に変わりゆく社会環境のみならず気候変動のような長期的現象にも対応を迫られている。水資源となり得る水は、その質が利用目的に合うものに限られる。河川水や湖沼水を直接利用する灌漑用を除くと取水された水は目的に合わないことが多いので、水質変換が必要となる。水質変換の実施可能性はその用途における費用対便益に依存する。

水問題の特性

水問題にはtoo much water と too little water の両者がある。前者は洪水や津波に代表される量の問題で、後者は飲料水や灌漑用水の不足であり、量と質が問題となる。too much water 問題の発生は社会インフラ（治水ダムや堤防など）の計画値と時間単位、日単位の降水量に依存し、too little water 問題は供給を上回る需要により生じる。この供給量は、その地域の利用可能な貯水量（ダムや湖沼の貯水量、積雪量や地下水量）、河川水量、送水機能、水質変換性能に左右される。

また、需要量は人の営み、つまり、その地域の文化、生活形態や習慣、これらを生み出している気候に依存する。最貧国でも一人一日の水利用量として60ℓは欲しい。GDP（生活水準）と水利用量には生活形態等によるばらつきはあるものの、GDPが上昇すると水利用量も増加する（図1）。地域の水利用量は人口に比例するので、都市への人口集中は供給制約の下では一人一日当たりの水利用量を減少させることに帰着する。

さらに、我が国の水田地帯の都市化は水使用量を減少させたことが知られている。水利用は水質汚染を生み出すだけで水は消費されないといわれるが、これは生活用水や工業用水使用の場合であって、灌漑用水ではほぼ半分が蒸発散してしまう。開発途上国におけるインフラの不十分さによる水不足は我が国の人口減少市町村の将来と同根である。

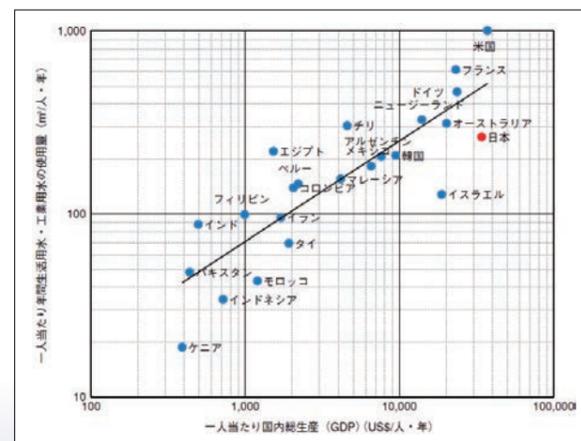


図1 GDPと都市用水使用量（出典：平成16年版『日本の水資源』）

水ストレスの削減

水ストレスと呼ばれる水利用可能性を表す指標がある。水資源賦存量の40%以上の水資源を利用する場合と、年間一人当たり1,700m³以下の水資源賦存量である場合には水ストレスが高くなるとされている。このストレスを低下させるには、貯水施設や送水施設の整備や個人的な水資源節約も必要であるが、節水機器の進歩、個別循環の拡大も大きな効果を与えている。水質を変換すれば水資源増加に繋がる（図2）。最たる例は海水淡水化技術で、我が国が得意とする膜濾過技術である。

その際に必要なエネルギーは、浸透圧に比例するので海水を使うよりは河口付近の汽水を用いる方が省エネルギーとなる。海水淡水化の必要エネルギーは60MJ/m³程度であり、通常の浄水処理では11 MJ/m³程度である。海水淡水化技術の進化により消費エネルギーは低下しているが、地球温暖化抑制上はやむを得ないときにのみ使う技術である。水質変換技術は我が国の出番であるが、性能8割、価格半分、あるいは、性能半分、価格2割というような技術（環境中間技術または適正技術）の市場の方が大きいことも確かで、現地生産化水ビジネスの将来は明るい。

水紛争

国際的な水を巡る紛争は不公平感によるものが多い。国際河川の上下流問題や左右岸問題があり、国境線直上流地点におけるダム建設（例えばメコン川における中国側のダム）や下流側国による上流地域の占領などの例がある。この種のダム建設は戦力、経済力等、圧倒的な差があるときになし得るので、表面的には激しい紛争に至ることは少なく、経済援助を含む複数の手段による不公平感の解消、あるいは泣き寝入りで治まる。国内的には、開発途上国で見られるように富者は水道を使い、貧者は水売りからより高価な水を購入していることは珍しくない。この種の問題にはJICA（国際協力機構）のODA（政府開発援助）やJBIC（国際協力銀行）の借款による支援が問題解決に有効である。

流域水マネジメント

水問題の解決には流域単位でのマネジメントが必要とされる。流域内で各水利用セクターが持つ不満感の総和を最小にすることが、水資源行政の基本である。流域が経済的に閉じているときには、この手法で目的を達成できる。しかし、水が不足する流域で輸出（移出）工業生産を増やして農地をかなり削減し、農業から

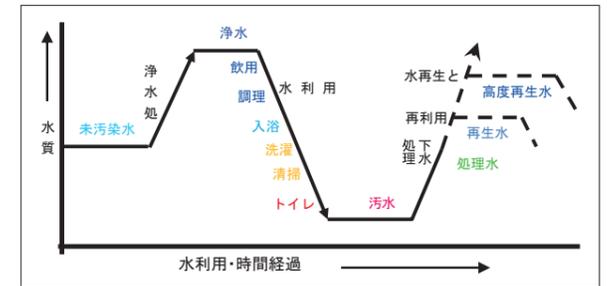


図2 水利用と要求水質

労働力を振り替えて、地域の所得を増やしつつ水利用量の削減を図り、その代わりに不足食料を輸入（移入）することを考えると、水資源利用可能性と生活水準を向上させることが可能になる。所得上昇、食糧安全保障、水の有効利用は互いに深く関係している。また、農業用水の技術的水質改善は費用が掛かりすぎるので、流域単位でのマネジメントにより解決するしかない。

水問題の解決には水資源の所有形態も大きく左右する。地下水、降水いずれも公水である時には全体としての利益を最大にすることが計画的に可能になる。公水でありながら売買可能などときにはfull-cost pricing（費用積上げ方式）が可能となり、自由主義経済下での最適解に至る。我が国では農業における慣行水利権は権利としての扱いを受けつつ、都市用水、工業用水、農業用水の一部は水使用の認可を受けて使っている不整合的な非近代的状況にある。

中国黄河流域の事情

黄河はチベット高原から5,500km流れて渤海湾に注ぐ河川で、75万3千km²の流域面積を有する。中下流域は古の文化的先進地である。黄河の水源はチベットにあり、中流は流出土砂の源である黄土高原、下流から河口にかけて天井川になっている（図3）。水利権は国有であり、国が水利用形態を決定できる権限を有している。

黄河断流はかつて良く知られ、1997年には断水流長800km、断流日数265日となったが、政府（黄河水利委員会）の取水量一律削減の1998年指示により2000年以降発生していない（図4）。また黄河の水質は工業の進展と共に悪化を続けているが、近年規制が強化されて来ている。黄河中下流域では懸濁物質が多いために重金属や難生物分解性化学物質が吸着され、水質は100km程度の流下できれいになり、その代わりに底質が汚染されることが観察されている。黄河流域の水資源賦存量は2,200m³/年/人と少なく、地下水利用は避けられない。そのため2000年までは地下水位は低下を続

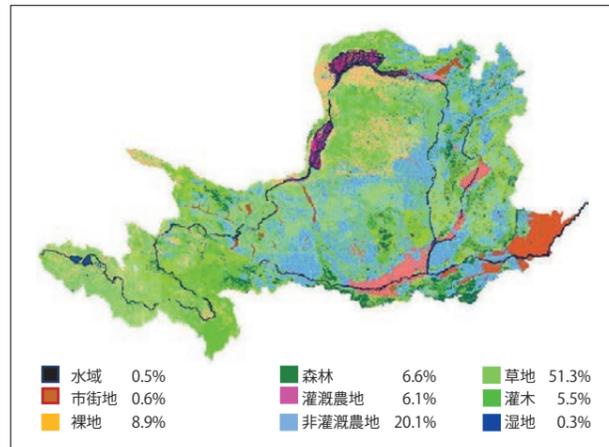


図3 黄河流域の土地利用

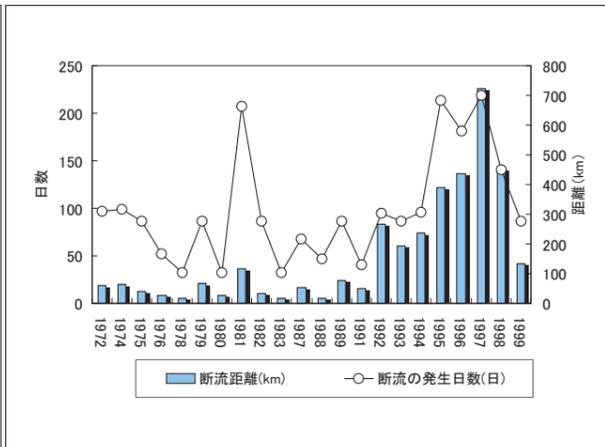


図4 黄河の断流日数と断流距離の変遷

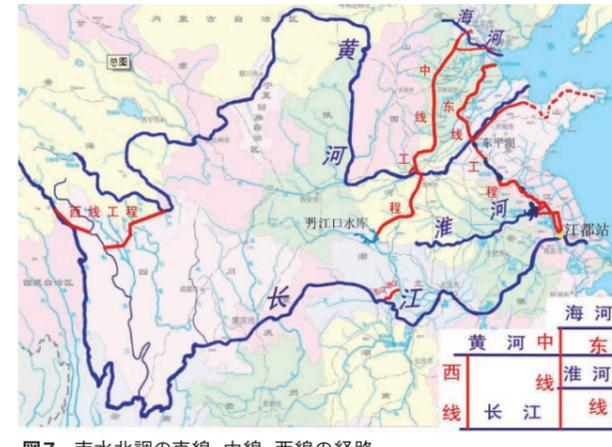


図7 南水北調の東線、中線、西線の経路



写真1 東線の済平幹線渠

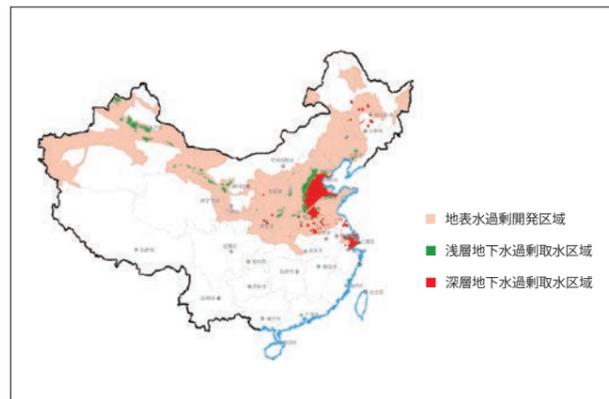


図5 中国の地下水汲み上げ過剰区域 (2012年)

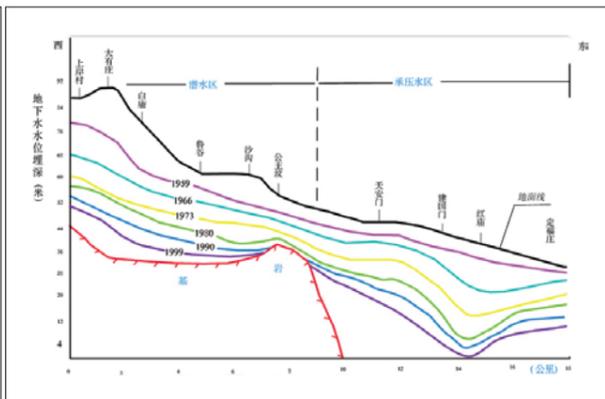


図6 北京近郊の地下水位変遷 (1999年まで)

けた。
最新データは公表されていないので詳細は不明であるが、2012年の状況は図5や図6のように、黄河の北に隣接する海河流域が過剰揚水地域になっている。北京や西安でも同じ状況である。2012年の北京市の一人当たりの供給可能水量は年間200m³、西安では262m³である。西安でも2000年までは年間30cm地下水位は低下し、ひどいところでは地表面から30m下というところもあったが、地下水の汲み出しは徐々に禁止され、2000～2010年まで地区によって2.0～6.5mと水位が上昇している。しかし、地下水を依然として利用し、地下水位の低下が続いているところも見られる。なお、地下水の水質については公表されていないが、農業地帯では硝酸塩濃度が高い。工業化による水利用量の減少は、70%近い農業用水量を左右するにはまだ至っていない。
北京周辺や海河流域の水不足を緩和するために、長江水系から海河に送る東線水路と中線水路がすでに一期工事を終え運用を開始している。両方で送水量は年間184億m³に及んでいる。長江から黄河上流に送水

する西線も検討されている。四横三縦（長江、淮河、黄河、海河と東線、中線、西線水路を繋ぐ意味）プロジェクトでは、東線は江都駅から天津に至る延長1,156km、途中黄河まで65mを揚水している。中線は長江支流にある丹江口ダムから黄河の下を潜り北京に至る延長1,267km、ほぼ自然流下で流している。この送水は環境影響の大きさは無視できないとする意見も少なくない（図7、写真1）。

オーストラリア マレー・ダーリング川流域の事情

オーストラリア東南部の乾燥地域にあるマレー川（延長3,375km）とダーリング川（延長2,350km）流域では、飲料水や灌漑と生態系保全のために、河川の流量、水質の確保、土壌中の塩分の地表面近傍への析出防止と河川への溶出防止が主要課題になっている。流域の統合的マネジメントとしては極めて優れた例になる。

マレー・ダーリング流域の年間降水量は200～1,200mm程度で、平均は425mmである。年間流出量は24兆m³である。この流域の地下水は塩水である。2010

年の流域人口は210万人、この水に依存している流域外の人口は130万人である。2012年の農業生産額は67億AUS（6,500億円）でオーストラリアの50%を生産している。関係州はNew South Wales、South Australia、Victoria、Queenslandの4州である（図8）。

ヨーロッパからの入植後、開拓が進み、市街地を除くと牧草地や農耕地となっている。開発のために樹林（特に根の深いユーカリ）を伐採したために浸透水量を増し、その結果、地下水の河川への流出量が増え、河川水の塩分を一層増加させることになった。この流域の河川水は下流ほど塩分が高くなる。現在の状況がそのまま進展すると、2020年には地下水面が地表面下2mまで近づき、地表近傍の塩害を招くと予測されている。

そのために、各州の閣僚がメンバーである流域委員会では水資源配分、塩分・排水方策、地下水分布図の製作等を実施し、流域の利害の調整を図っている。2012年には流域計画が承認され、取水可能上限13兆m³のうち11.5兆m³が灌漑用となっている。また、塩分・排水方策として塩水を汲み上げて地下水位を下げるとともに、塩水ラグーンにおける蒸発残渣の塩を野積みすることもなされている（写真2）。さらに、南部流域では灌漑マネジメント方策として環境に配慮した水利権市場を整備しており、生産物、特に米と綿花の購入希望者の意向を受けて、農家は前年度に翌年の水利権を入札、購入することが行われている。この地域の生態系保全方策は極めて優れており、ヨーロッパのものを手本にしながら独自のものとして発展させている。



図8 オーストラリア マレー川、ダーリング川流域



写真2 ニューサウスウェールズの塩分除去プロジェクト

<図・写真提供>
図7 黄河断流及其生態環境影響 黄河水資源管理
写真2 Arthur Mostead