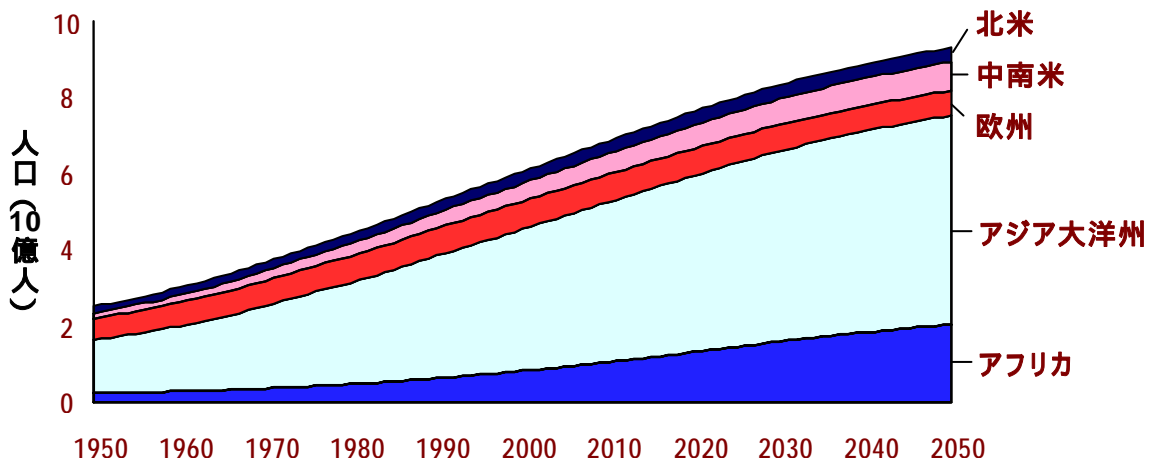


1.3 水循環変動と水問題

1.3.1 水問題の現状と予測、今後の論点

(1) 水需要の現状

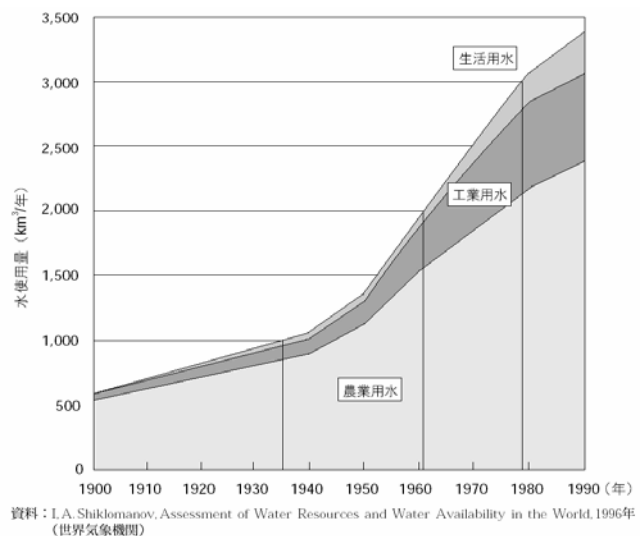
20 世紀は石油の世紀、21 世紀は水の世紀とも言われ、今後も続く世界人口の爆発的増加と社会経済の発展が、さらに一層、水資源の需要に拍車をかける恐れがある。人類の大規模な水使用の歴史は、古代四大文明における河川水を利用した農耕の発達に遡ることができる。古代以来、水の使用量は増え続け、世界の水の使用量が $1,000\text{km}^3/\text{年}$ に達するのに数千年を要したが、その後、その倍の $2,000\text{km}^3/\text{年}$ に達するのに、わずか約 30 年、さらに $3,000\text{km}^3/\text{年}$ に達するには、20 年もかかっていない【図 2】。



【図 1】増加する世界の人口 (国連の推計による)

国連の推計によると、世界の人口は、2000 年には 60.6 億人で、2050 年にはその約 1.5 倍の 93.2 億人に増加すると予測されている【図 1】。これは、100 年前にあたる 1950 年 (25.2 億人) の約 3.7 倍である。

世界の人口は、1950 年から 1995 年までの 45 年間で約 2.2 倍に増大しているが、同様に世界の水の年間使用量も同期間に約 2.6 倍に増大している。【図 2】に示すように、人口 1 人当たりの目的別水使用量で見ると、この間に生活用水は約 3 倍、工業用水は約 1.8 倍に伸びたのに対し、農業用水はほぼ横這いである。しかし、この間に、農業用水が全体の水使用量に占める割合は、8 割から 7 割に低下したものの、依然として高い割合を占めている。

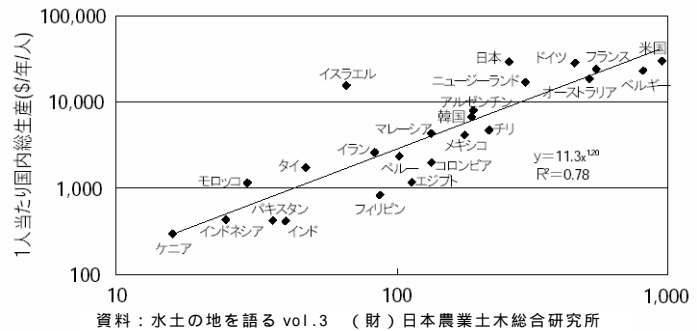


【図 2】世界の水使用量の推移

世界各国の1人当たりの水使用量は、経済成長につれて増える傾向にあり、1人当たりの国内総生産額と生活用水や工業用水の使用量には、強い正の相関関係がある【図3】。

また、世界の年間穀物消費量は、1961～1999年の38年間に、約8億トンから約18億トンへと約2.3倍に増大しており、同時期の人口の増加割合約1.9倍を上回っている。

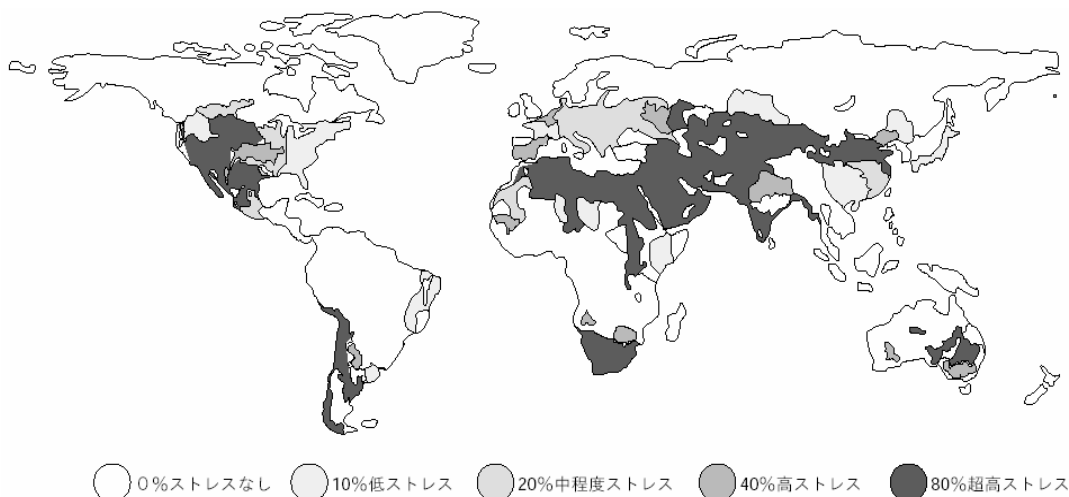
その理由は、経済発展とともに肉類の消費量が増え、飼料用の穀物が大量に消費されたからである。肉類1kgを穀物肥育で生産する場合、必要な穀物の量は、鶏肉では4kg、豚肉では7kg、牛肉では7～11kgとされている。1970年以降の30年間で、肉類消費量は、世界平均では約1.4倍に増大しているが、先進国の約1.2倍の伸びに対し、開発途上国では約2.4倍と急激に増えている。



【図3】1人当たりGDPと水使用量の関係

(2) 水需要の将来予測

世界気象機関(WMO)は、2025年の世界のかんがい耕地面積と農業用水の使用量は、それぞれ3.29億ha、3,162km³(3兆1,620億m³)と予測している。また、国連食糧農業機関(FAO)による穀物消費量の予測値とかんがい耕地面積の過去のすう勢などから、それぞれ3.54億ha、3,505km³(3兆5,050億m³)と試算することもできる。以上から、農業用水は、1995年の約2,504km³に加えて、2025年までに少なくとも新たに658km³(27%増)必要になると見込まれる。



注：・世界水会議：世界銀行、国連開発計画(UNDP)等の国際機関や水に関する国際学会等が参加して1996年に設立されたNGO(World Water Council:WWC)
 ・第2回世界水フォーラム(2000年3月にオランダで開催)
 ・現状維持シナリオ：現在の政策が維持され、現在の傾向が将来に向けてそのまま延長されたとした仮定

資料：世界水会議「世界水ビジョン」、2000年

【図4】現状維持シナリオにおける2025年の世界各地の水ストレス

また、WMO は、2025 年の世界の工業用水と生活用水の使用量は、それぞれ 1,106km³ (1 兆 1,060 億 m³)、645km³ (6,450 億 m³)と予測している。これは、1995 年時点より、それぞれ 392km³ (55%)、291km³ (82%)の増加となっている。これらを合わせると、2025 年の世界の水使用量は、1995 年時点より約 1,340km³増加し、約 1.4 倍の 4,912km³に達する。

一方、水資源の賦存量は、この間に温室効果ガスによる地球温暖化が進んでも、世界全体としては数%程度の変動と考えられる。水資源の需給逼迫は、主として人間活動の拡大によって生じ、地域によってはさらに気候温暖化等の影響を受けるという構図が描ける。2000 年に発表された「世界水ビジョン」は、水ストレス比(水資源賦存量のうち、人間が取水する水量が占める割合)が 40%を超える高い水ストレス(不足)の状態の国に居住する人口が、2025 年までに 40 億人を超えると予測している【図 4】。

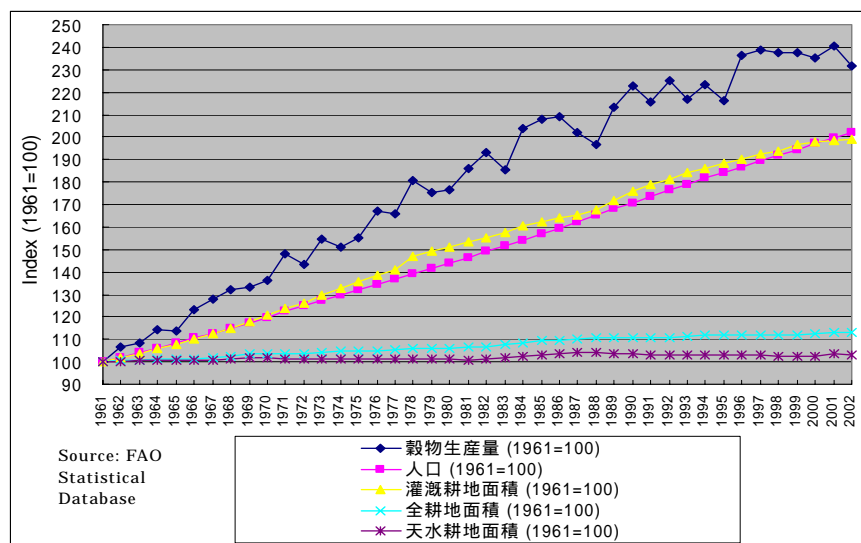
(3) 世界各地の水問題と日本の関わり

平成 16 年版水資源白書によれば、1975 年以降 2001 年まで、日本の年間水使用量は、850～894 億 m³の範囲内で大きく変化していない(2001 年は 859 億 m³)。このうち、工業用水は 166 億 m³から 129 億 m³にやや減少し、農業用水は 570～590 億 m³程度でほぼ横這いである。また、国民一人一日平均の生活用水使用量は、1965 年の 169 から 1990 年まで増加し続けて 318 に達したが、その後は現在まで横ばいである。

このように、日本では水資源の需給は概ね安定しており、将来的にも大きな問題はなさそうに見える。ところが、世界に目を転じてみると、上述したように、各国の 1 人当たりの国内総生産額と生活用水及び工業用水の使用量には、強い正の相関関係がある。このため、経済成長による水需要量の急速な増大、あるいはそのための不適切な水資源の利用により、大きな社会問題が発生しているケースがある。

例えば、世界の年間地下水取水量は、約 600～700km³(6,000～7,000 億 m³)、1 人当たり 106～124m³で、生活用水の全取水量の約 5 割は、この地下水に依存している(農業用水は同約 2 割、工業用水は同約 1 割)。乾燥地域での過剰なポンプ揚水によりこれらの地下水が枯渇する問題は、

次世代への負の遺産である。あるいは、アラブ海へ注ぐアマダリア川、シルダリア川流域での不適切な農業用水の利用による深刻な塩類集積の被害はあまりにも有名である。塩類集積は古代文明以来、乾燥地域の灌漑農業で人類が悩まされてきた問題であり、現在でも世界各地で発生し、



【図 5】世界の耕地面積(天水、灌漑)、穀物生産量、人口の推移

農業生産に打撃を与えている。塩害を受けている灌漑農地の推定面積は、世界全体で 4,800 万 ha (日本の耕地面積の 10 倍) と言われている。

1961 年から 2002 年までで、世界の穀物生産量は 8 億 7,700 万トンから 20 億 2,900 万トンへ、約 2.3 倍に増加した。この間に、全耕地面積は 1 割程度しか増加しておらず、灌漑耕地面積が 1 億 3,900 万 ha から 2 億 7,700 万 ha へと倍増したことが増産に大きく寄与している【図 5】。

現在、全耕地面積の 18% の灌漑耕地が、世界の穀物の約 4 割を生産していると考えられ、灌漑農業が穀物増産の屋台骨を支えている。ところが 1996 年以降、世界の穀物生産量は頭打ちとなっており、灌漑耕地面積の増加率も鈍化している。その結果、2000 年時点で 30% 程度であった世界の穀物期末在庫率は、年々低下して現在は適正在庫率と言われる 17% を切ろうとしている。

日本の食料国内自給率は、カロリーベースで 40%、穀物だけで見ると 29% しかない。農業生産には耕地と水が不可欠である。日本国内で消費する農産物を生産するためには、日本の現在の耕地面積 470 万 ha の約 3.6 倍、1,700 万 ha の耕地が必要であり、同様に、現在の農業用水利用量 570 億トンの約 2.1 倍、1,200 億トンの農業用水が必要であると言われている。

今後世界の穀物需要が増大する一方で、世界各地での水資源の需給逼迫や、塩類集積被害の圧力増大が懸念される。世界の穀物需給が逼迫すれば、穀物価格が上昇し、生産を刺激して需給は緩和すると結論づける研究者もいる。しかし、こうした需給均衡経済モデルには、市場経済から取り残された 8 億人とも言われるアフリカやアジアの飢餓人口への悪影響が忘れ去られている。日本が需給逼迫下で世界中の食料を買い漁れば、発展途上国の飢餓問題にさらに拍車をかける。日本は、国家として最大のアキレス腱のひとつである食料自給問題、世界レベルでの食料安全保障の問題を通じて、世界の水問題に重大な関わりを持っているのである。

(4) 都市化と水災害

人々は、自然の水循環の過程で人為的に水を利用するので、水循環が恒常的に一定ならば都合がよい。しかし実際は自然現象と人間活動の両面の作用を受けて水循環が変動するため、人間の身の回りの水が少なすぎたり、多すぎたりすることで災害が生じる。

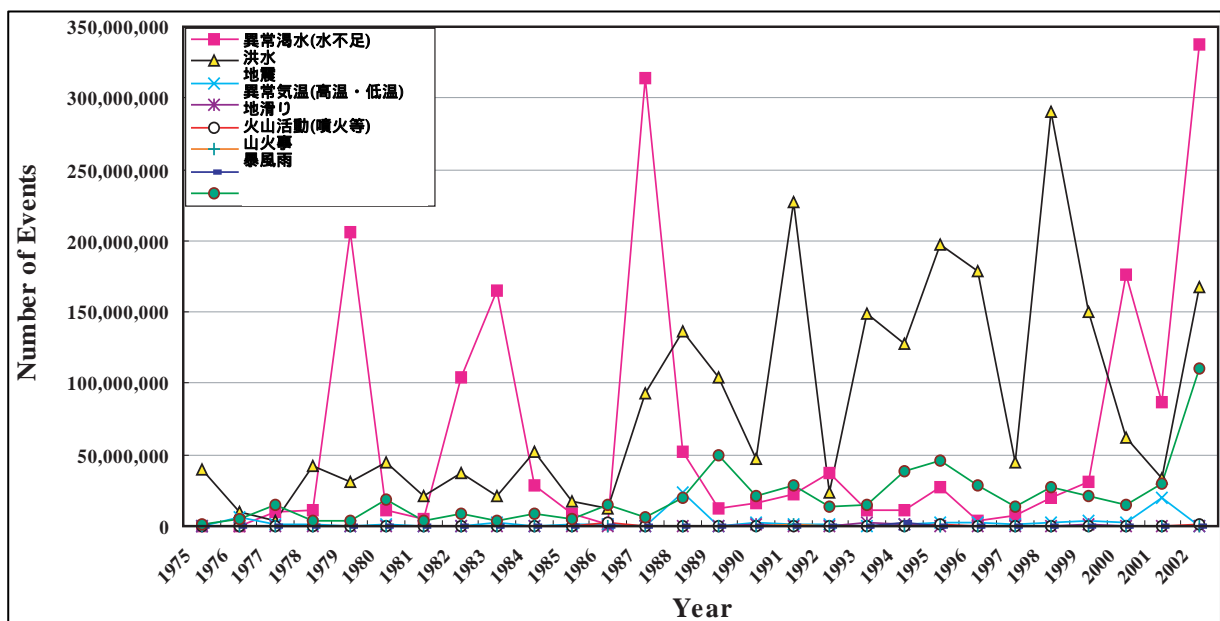
水災害は予告無く発生し、多くの人命を奪い、経済的なダメージを与えている。2003 年だけを見ても、【図 6】に示すように、毎月のように洪水や渇水が世界の各地を襲っている。水は人々の暮らしに不可欠であるが、逆に水を利用する暮らしが進展し、便利になればなるほど、これらの水災害を受けるリスクが高まるというパラドックスが存在する。

まず、水の利用に関しては、年降水量の振れ幅が増大する等の自然現象にも影響を受けるが、人間活動により受ける影響はさらに大きい。例えば、アジアなどでの急速な都市化は、都市用水の需要量を急増させると共に、河川水の汚染等により水の供給力を低下させ、水の需要量と供給量のバランスを崩す大きな要因となる。さらに、人口が急増する都市は、食料生産に必要な農業用水の需要量も増大させる。こうして水需要の圧力が増大したなかで、降水量が変動して水供給力が影響を受けると、水需給の逼迫、すなわち渇水のリスクが高まる。



【図6】2003年に発生した世界の主な洪水・渇水被害（国土交通省による）

次に、洪水に関しては、豪雨の発生頻度が増大する等の自然現象にも影響を受けるが、森林の伐採、耕地の潰廃など土地利用の変化により、同流域で同じ豪雨があっても出水が早くなり、洪水のピーク流量が増大する。これにより河川氾濫や堤防の越流・決壊等のリスクが高まる。加えて、都市への人口集積は洪水発生時の影響人口、被害額を増大させる。アジア工科大学での研究によれば、1975年から2002年までの世界の自然災害のうち、洪水による被害は発生回数で33%、影響人口で49.7%、被害額で19.5%を占めており、これらは他の自然災害に比べて増大傾向にある【図7】。



【図7】各自然災害により影響を受けた人口の推移

水の利用に関しても、洪水に関しても、降水量が多い地域では水を利用した生活が高度に発展する可能性を有する一方で、水循環の変動幅も大きくなるので、降水量が少ない地域よりも水災害のリスクが高まる可能性がある。

(5) 水資源・環境の管理とガバナンス及びソーシャル・キャピタル

石油の世紀と呼ばれた20世紀に対し、21世紀は水の世紀であると言われている。豊葦原瑞穂の国と言われ、水と深く関わる長い歴史を経てきた日本が、その経験と知恵を活かし、21世紀の持続可能な社会づくりを目指す世界の舵取りに貢献するときである。

乾燥地域でゆっくりと循環する地下水資源を上手に利用することは、当然ながら重要なことである。ゆっくり循環する資源は、その代表格である石油資源のように、代替資源の開発も併せ、枯渇しないように利用する必要がある。ここでは、効率性と持続性がひととき強く叫ばれ、問題解決の方策として市場メカニズムが重視されやすい。市場の価格シグナルを通じて資源の最適配分が達成されるという思想は、欧米など、個人主義的な社会の経験が長い地域で受け入れられやすい。いわば、牧畜狩猟民族の文化であり哲学である。

一方、降水量の多い地域特有の循環が速い（回転率の高い）水資源はいかに上手に利用すればよいのであろうか。循環速度が速いので、枯渇の心配はない。しかし、循環は一定ではなく必ず変動する。しかも需要開発が進むと、時変性による水需給逼迫のリスクは、乾燥地域よりむしろ高くなる。リスクを恐れて需要開発を抑制すると、豊水時に水資源を十分に使い切れず、無効放流が増大する。さらに加えて、洪水という水資源過多のリスクが伴う。

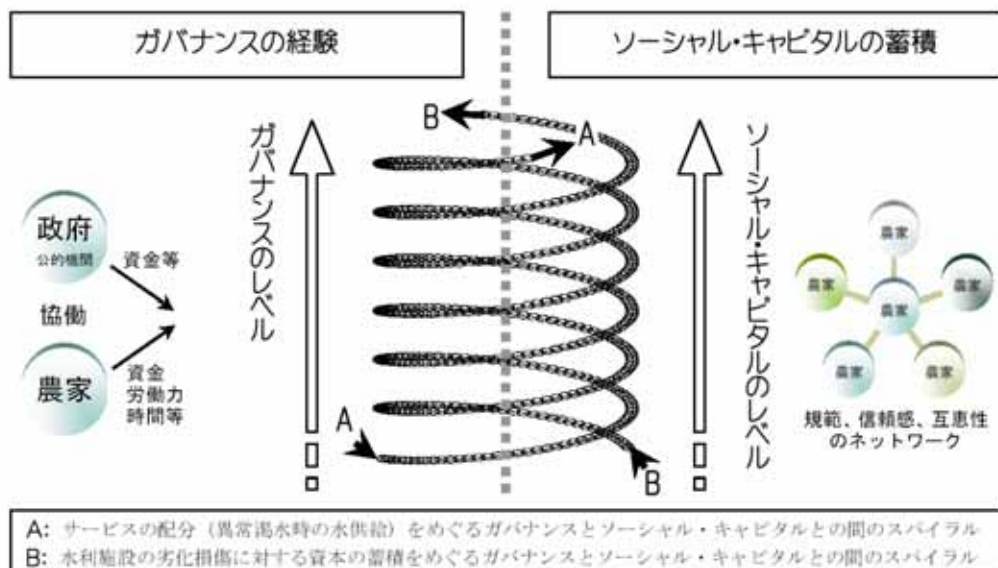
したがって、降水量の多い地域では、渇水時や洪水時など、極端事象発生時での対応方策の優劣が水資源管理の優劣を決定すると言える。さらに、平時は潤沢な水資源に恵まれているため、水を多目的に利用し易いことに加え、労働力や時間を節減するために水をできるだけ潤沢に利用し、結果的に水が多面的な機能を発揮し易いという特徴がある。これらの地域では、水循環をダイナミックなものとして捉え、水循環の変動を科学的に解明し、人間活動と水循環との相互影響を正しく評価して、対策シナリオを樹立することがひととき重要となる。

また、湿潤地域では、変動性とリスクを伴う水利用であることから、問題解決手法として価格シグナルによる需給調整といった市場メカニズムを過信することは危険である。なぜならば、極端事象時に個人にリスクを負わせ、勝手な行動に走らせれば、その度に社会的な個人格差が拡大するであろう。しかも、極端事象は少なからぬ頻度で発生するので、その都度個人が利己的に対応するよりも、集団で組織的に対応して全体のリスクを軽減し、できるだけコストを公平に負担することが合理的である。すなわち、社会でリスクを共有し、それを軽減するための人々の協調行動を活発にする仕組みが重要である。

水循環変動を念頭に置いた水資源の管理は、単純な私的財として個人に独占管理を委ねるべきではない。共有財的な資源を各人が利己的に管理するときに陥る「囚人のジレンマ」、「フリーライダーの問題」、「コモンズの悲劇」等の集合行為のジレンマ、あるいは市場の失敗を避けるために公的部門の関与が必要である。しかし、今後は資源利用の効率性が益々重視されるので、公的部門の独占による政府の失敗は避けたい。そのため、公的部門と私的部門の協治による良きガバナンスを実現し、社会の効率性を改善することが重要である。

具体的には、水ユーザーの管理への積極的な参画を促し、水に関するソーシャル・キャピタルを形成・蓄積していくことである。異常渇水や洪水のような事態でのガバナンスの経験によって(それが一種の投資となって)、集団内部または集団間の協力を円滑にする共通の規範、信頼感、互恵性などのネットワークや好ましい社会的仕組み(ソーシャル・キャピタル)を醸成することである。困難な局面でのガバナンスの経験という投資により蓄積され、厚みを増したソーシャル・キャピタルは、それ以降のより困難な渇水や洪水の局面を迎えた際の円滑なガバナンスの実現を可能にする。これと同様の現象が、水ユーザー達による水利施設の共同建設という、困難な利害調整を伴う投資行為においても成立する。

結局、ダイナミックな水循環という環境が、個人よりも集団での水及び水利施設の管理対応を促し、それぞれの管理に関するガバナンスの経験と、水ユーザー間のソーシャル・キャピタルの蓄積との間に二重の正のスパイラルを発生させる。湿潤地域の水の利用と管理は、平時における水の多目的利用と多面的な価値の発揮、並びに渇水・洪水という極端事象及び水利施設への建設投資の経験毎に新たなステップを刻む正のスパイラルが相まって、まさに千年紀を跨ぐほどの高い持続性を実現してきたのである【図8】。



【図8】水管理のガバナンスとソーシャル・キャピタルの蓄積をめぐる二重の正のスパイラル

このメカニズムは、日本の農業用水など水管理の現場で歴史的に培われ、現実に機能してきた。こうした社会メカニズムは、日本以外でも変動帯地形の河川小流域が発達した島嶼国で頻繁に見られ、モンスーン・アジア各地で広く類似の事例が報告されている。いわば、水田稲作地域の水文地文風土に根ざす農耕漁撈民族に共通した文化であり知恵である。これらの知恵を人類の未来に活かすため、水循環変動を総合的に研究し、科学のメスを入れる(すなわち、科学的に整理し社会に普及させる)ことができよう。