

1.2 水問題の諸相と最新の論点

1.2.1 水の惑星 - 地球の不思議

(1) 淡水と海水

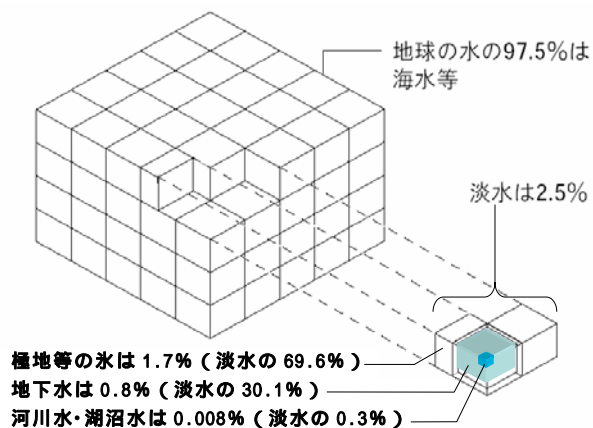
1961年4月、人類初の宇宙飛行を行ったユーリ・ガガーリンは「地球は青かった」という名言を残した。この青は、地球表面の約2/3を覆う海洋の水の色である。地球上には、およそ14億km³、琵琶湖(湖面積670km²、平均水深41m)の貯水量の約5千万倍の水が存在する。しかし、その97.5%は海水(塩水)が占める。残りわずか2.5%の淡水のうち69.6%が北・南極や大陸氷河の氷、30.1%が地下水として存在する。

結局、湖、沼、河川のような利用しやすい形で地表に存在している淡水は、地球上の水のわずかに0.008%(一般家庭の風呂の湯船に対し、大さじ2杯の分量)の10.5万km³に過ぎない【図1】。

地球は、太陽系で唯一、液体の水を湛える青い惑星である。太陽に最も近い水星の平均表面温度は約330、次の金星も200なので、水は全て蒸発している。3番目の地球は15だが、次の火星が零下50、木星、土星、天王星などは零下130～零下200なので、水は完全に氷結している。月は地球に近いのに、引力が弱いので大気や水は宇宙空間に逃げてしまい、昼間は110まで上昇する一方、夜は零下180まで冷え込む。隣の火星では、地表面の痕跡から考えて、大昔は今よりもずっと温暖で、海洋や流水が存在していた可能性があるが、今はない。

もし、地球に大気がなければ、平均表面温度は零下18になる。しかし、大気中の水蒸気と二酸化炭素が、地球表面から宇宙に逃げようとする熱(赤外線)を捕まえ、その一部を地上に向けて放射する温室効果を発揮しているので、15前後となっている。地球の大気中の二酸化炭素は、何億年というスパンで考えると、マントルから供給され、海中で炭酸塩として固定され、それがプレート運動によりマントルに戻る。もしこの固定の働きが弱ければ、大気中の二酸化炭素分圧の上昇が続き、温室効果が効き過ぎて海洋は蒸発してしまったかも知れない。あるいは逆に、雪や氷は太陽光の反射能(アルベド)が高いので、地表面がこれらに覆われ始めると益々地表温度が下がり、全海洋が凍結するまで温度低下が続いていたかも知れない。

雨が降り、川が流れ、井戸からは地下水が得られ、水道栓を捻れば水が出る。私達の身の周りには当たり前のように水(淡水)が存在する。しかし、宇宙や地球の規模で見れば、生物の進化に必要な何十億年もの間、地表面のアルベド値と大気中の二酸化炭素分圧が適



資料：V.I.Korzun and A.A.Skolov, World Water Balance and Water Resources of the Earth, 1977年(国連水会議資料)

【図1】地球上の水の割合

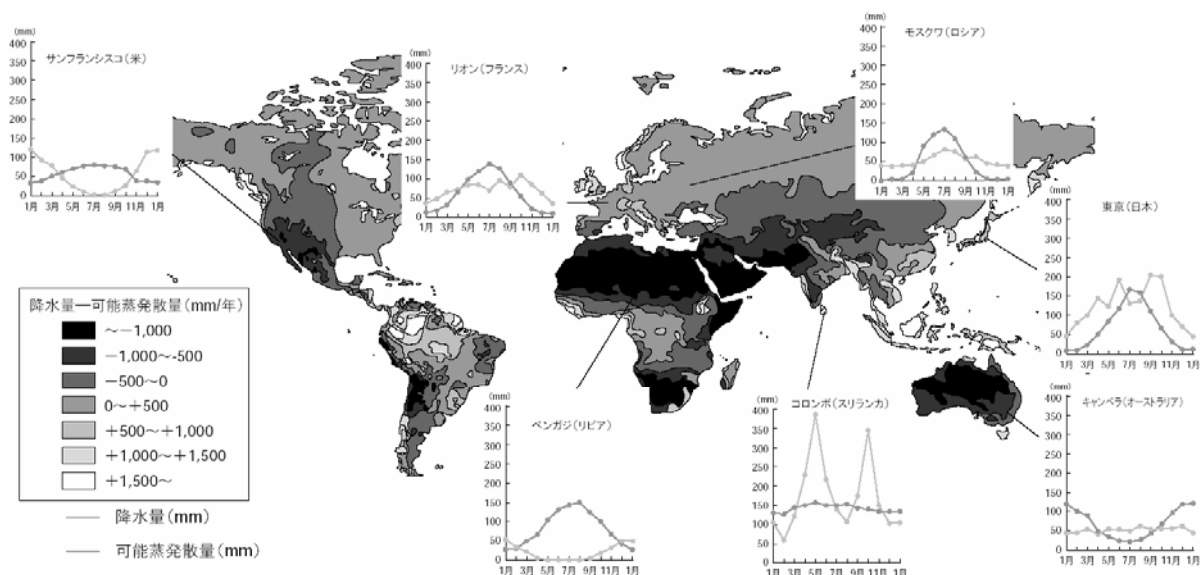
正範囲に保たれ、海洋が全面的に蒸発も凍結もせずに存在できたのは幸運なことである。そのうえ、地上に広く淡水が存在することは、微妙なバランスのうえに成り立つ、宇宙では極めて例外的な環境である。私達が湿潤で温暖な土地の上で暮らせるのも、水のお陰であるが、水が多すぎて地球上に陸地がなければ、雨以外の液体の水は全て海水となってしまう。使い易い淡水の存在には、大気循環と陸地の適切な組み合わせが欠かせない。

(2) 大気循環と水資源の偏在

山頂は下界より寒い。標高が 100m 高くなると気温が約 0.6 下がることは、登山家なら誰でも知っているだろう。3,000m 上空の気温は、地表付近より 20 近く低い。冬の寒い朝、吐く息が白く見えるのは、息の中に含まれる水蒸気が冷やされ、細かい水滴が生じて空中に浮かぶからである。上空に浮かぶ雲も同じ原理で発生する。海洋の水も地上の水も、太陽熱を受けてその一部が蒸発すると、気流に乗って上昇し、上空で冷やされて雲になる。水滴の密集度が低ければ、雲のまま浮かんでいるが、水滴同士が沢山集まり大きくなると、雨や雪となって海洋や地上に降り注ぐ。

地球上の年間降水量は、ほとんどゼロの砂漠から 4,000mm を超える熱帯の多雨地域まで地域差が大きい。その平均は約 973mm で、陸上には年間約 11.9 万 km³ の雨や雪が降る。雨や雪の一部は蒸発するが、一部は淡水のまま湖沼水や地下水となり、あるいは河川水として地表を流れ、海に流れ出る。これらの蒸発散や地上の水循環の割合は、気候や地形条件に大きく左右される。

東・東南・南アジア（アジアモンスーン）地域の多くでは、水収支（年間降水量から年間可能蒸発散量（ET）を差し引いた値）が一般的に 500 mm を超える。年間の水収支がプラス 500 mm を超える地域は、世界でもそれほど多くない【図 2】。



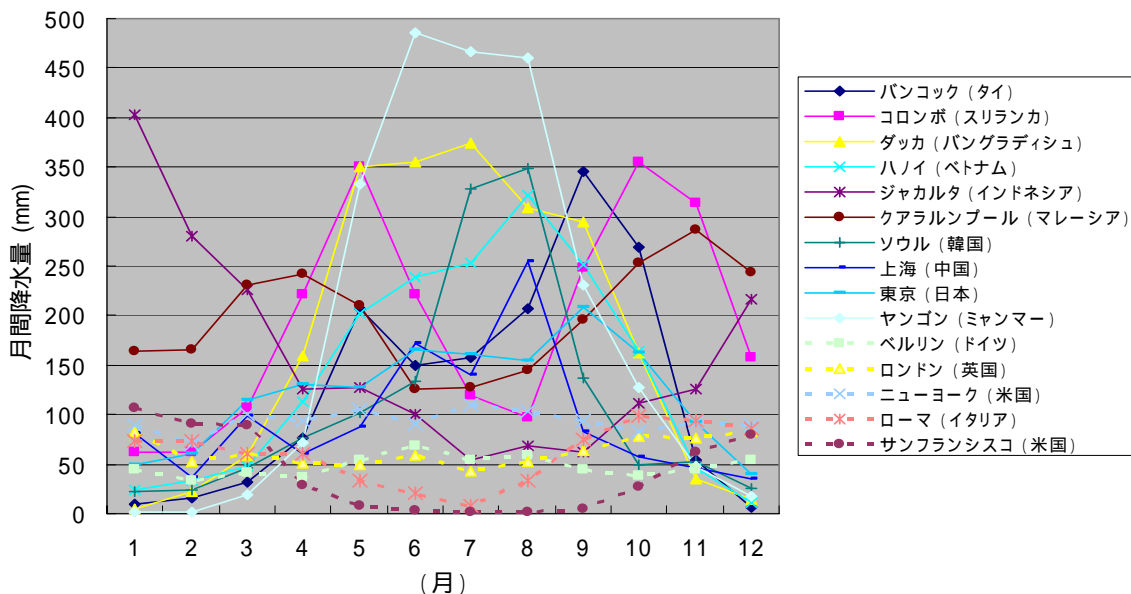
注：ここでは年間の降水量と可能蒸発散量が比較してあるため、降水パターンや水の使用状況により、地域ごとの実際の水収支は変わってくる

資料：Climate Data Sets, GNV183 - Tateishi Monthly Potential and Actual Evapotranspiration and Water Balance (国連環境計画のホームページより引用)

【図 2】各地の降水量と可能蒸発散量並びに年間降水量と年間可能蒸発散量の差の分布

これに対して、アフリカのサブサハラや中央アジアなどでは降水量が少ないうえに気温が高く、可能蒸発散量が大きいため、地上は極端に乾燥する。ヨーロッパ・ロシア・北米の中西部も降水量が少なく、特に夏期は可能蒸発散量が降水量を上回り乾燥する。

湿潤気候のアジアモンスーン地域では、一般的に明瞭な雨季と乾季が見られ、通常数ヶ月間続く雨季の降水量は極めて多く、頻繁に洪水も発生する。年間降水量は、緯度が比較的高い東アジアではやや少ないが、全般的に概ね 1,500mm ~ 2,500mm の範囲にある【図 3】。



【図 3】アジアモンスーン地域及び欧州・北米の主要都市の月間降水量

これは、海洋から蒸発した水蒸気を多く含む暖かい季節風（モンスーン）が山岳地域、前線付近で上昇、あるいは地表付近で熱せられて上昇気流となり、雲を発生して陸地に大量の雨を降らせることによる。島嶼部や半島部などでは、季節風の向きが変わることにより雨季が数ヶ月ずつ年に 2 回発生する地域もある。一方この地域では、可能蒸発散量が大きいため、乾季には土地の乾燥が進み、農作物の栽培には一般的にかんがいを要する。

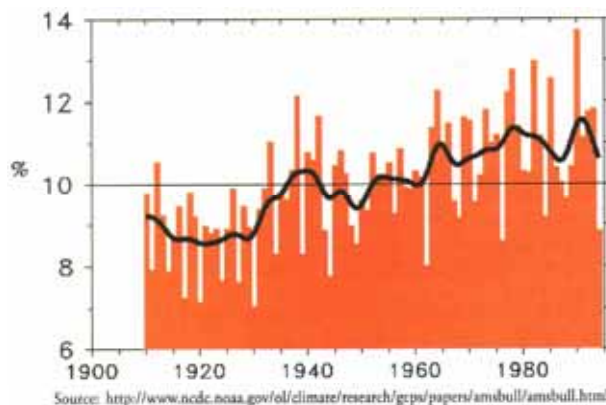
このように、空間的・時間的に大きく偏在する水資源に対して、水需用者が欲しい場所で、欲しい時に水を手入れできるように、貯水、揚水、導水、配水などの手法でこの偏在を平準化して利用する行為が、水資源開発である。水はまた、量が確保できても、汚れがひどいと利用できなくなることがある。人間が利用する資源として、水と空気は似ているところもあるが、淡水資源は空間的にも時間的にも、偏在が激しい資源であるという特徴がある。さらに、水は少なすぎても多すぎても困る。歴史的に人間は常にそれを肌身に感じ、水を利用する工夫を重ね、生活の場を築いてきた。しかし、利便性を追求し分業が進んだ現代の都市社会では、このことを忘れた生活が当たり前になっている。

(3) 地球規模での水循環の変動

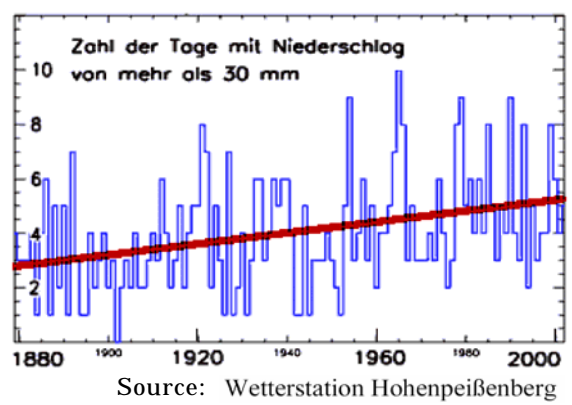
水資源は空間的・時間的に偏在が激しいので、水問題は、基本的には、地域毎に処方箋を作成し解決に取り組まねばならない問題である。しかし、淡水資源の偏在性に大きく関わる水循環の機構は、地球規模の大気大循環に連動し、陸域と海域にまたがる広域性を有

する。しかも水循環は、広域的でありながら一定ではなく、ダイナミックに変動して、人間活動に大きな影響を与える。この水循環の変動を捉えるには、地域毎に自然現象を観測してモデルを作成するだけでは全く不十分であり、流域や国家の領域を超えた観測やモデリングが必要である。

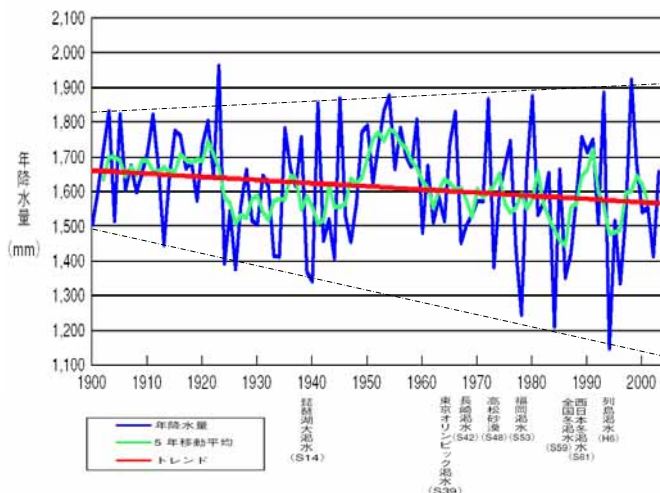
さらに、現代では、地球環境にインパクトを与えるほどの人間活動の拡大により、人間活動が逆に水循環変動に影響を与えるに至っている。例えば、この一世紀ほどの間、北米や欧州で豪雨の発生頻度が徐々に増大しているというデータがある(【図4】、【図5】)。日本でも、年降水量の振れ幅が増大しているというデータがある【図6】。これらは、温室効果ガスの大規模な排出が、地球温暖化を促進し、地球規模で降水量などに影響を与えている問題である可能性が高い。



【図4】米国での豪雨発生の経年変化



【図5】ドイツでの豪雨発生の経年変化



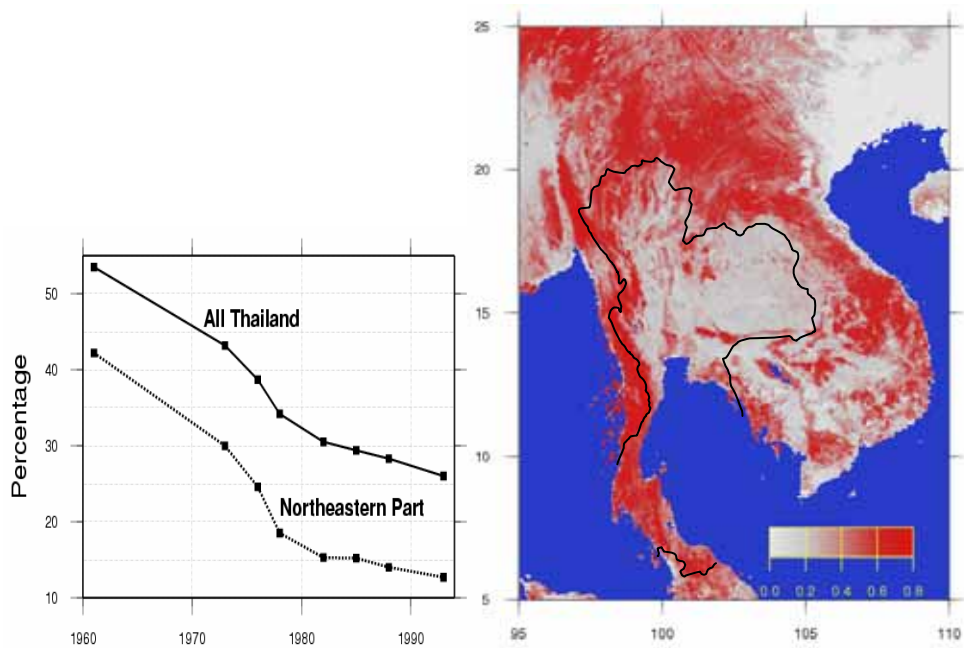
【図6】日本での年降水量の経年変化

- (注) 1. 気象庁資料に基づいて国土交通省水資源部で試算した以下の全国51地点の算術平均値
 地点名：旭川、函館、札幌、帯広、札幌、青森、秋田、宮古、山形、石巻、福島、
 仙台、長野、宇都宮、福井、高山、松本、前橋、熊谷、水戸、敦賀、岐阜、
 名古屋、飯田、甲府、津、浜松、東京、横浜、埼玉、千葉、京都、彦根、下関、
 呉、神戸、大阪、和歌山、福岡、大分、長崎、熊本、鹿児島、宮崎、松山、
 多度津、高知、徳島、名瀬、石垣島、那覇
2. 折れ線(青線)は年降水量、折れ線(緑線)は5ヶ年の移動平均、直線はトレンド(同局直線による)を示す
3. 各年の観測地点数は欠測や観測開始年等により必ずしも51地点ではない

また、森林 耕地 裸地 都市化という広範囲での土地利用の変化が、地表のアルベドを変化させ、太陽エネルギー収支や蒸発散量、地下浸透量を変化させる。例えば日本の約1.4倍の国土面積を有するタイでは、1961年から1993年にかけて、森林面積の割合が54%から26%に、特に東北部では42%から13%に急減した【図7】。同様に約26倍の米国では、新大陸発見当時には森林が現在の国土面積の約8割を覆っていたと言われるが、今ではわずか22%、散在する灌木林等を含めても30%に減少している。このような形で、各国における人間活動が、地球規模での水循環変動に短期間で大きな影響を与えている。し

か一方で、水を利用する人間活動も恒常的ではない。社会経済の発展に応じて、水利用の目的（セクター）、水利用技術等がダイナミックに変化する。

もはや、大気圏、地圏、水圏、生物圏だけで水循環を捉えることは不適當である。ましてや水循環の変動を論じるには、新しいサブシステムとして人間圏を加えることが不可欠である。人間圏の登場により、水循環変動の科学は、単に自然科学の領域にとどまらず、社会科学との総合化を視野に入れた学際的科學への昇華が求められている。地球規模での水循環変動の科學を發展させ、適切な対策シナリオを見出すことは、人類の未來の命運を握る重要な仕事である。



【図7】タイ国の森林面積率の推移と衛星画像による現在の状況