

# 水とエネルギーの相互依存問題に関する俯瞰的一考察 —水問題の基本情報と、エネルギー問題との複雑な相互関係—

戦略研究ユニット 国際情勢分析第1グループ 研究員 須藤 恭伴

## はじめに

水は地球上のあらゆる生物に様々な形で関わっている。従って、水がもたらす影響は概して広範なものとなり、論点は複雑な様相を呈する。水はエネルギーとも強い関連性を持っている。例えば、燃料採掘から発電まであらゆる分野で水が使われており、水の安定供給なしにはエネルギーの安定供給も困難である。一方、水の供給に不可欠なポンプには電力が使われており、エネルギーなしには安定的な水供給も不可能である。つまり両者は相互依存の関係にあり、一方の供給不足は必然的に両者の安定供給を脅かす。

世界的な人口増加と経済発展が継続する中、水もエネルギーと同様に需要増加が著しく、安定供給は益々重要な課題となってきた。水はエネルギー生産にとって不可欠な要素だから、これはエネルギーの安全保障にとっても忌々しき課題である。両者の需要増加が見込まれる中、水とエネルギーを繋げる問題意識は今後益々重要になると考えられる。

水とエネルギーが関わる論点は複数存在するが、本レポートでは特定のテーマを掘り下げるのではなく、水の基本的性質を整理し、「水とエネルギーの関連」を意識しつつ、両者の関連性を包括的に捉え、その相互関係の複雑さに光を当てる事に主眼を置く。

## 1 水に関する基本情報

### 1-1 水の需給バランス

#### 豊富な水、足りない水

水は、人間のみならず、地球上の生物が生命を維持していくために必要不可欠な物質である。水の確保は我々の最優先事項である筈にも関わらず、現在、世界で約11億人が安全な水の供給を欠いており、その所為で毎日4,500人以上の子供が尊い命を守れずにいる<sup>1</sup>。

しかしながら、地球上には多くの水が存在する。古代に見られる氾濫農耕は豊富過ぎる水と農耕を巧みに結びつけた典型例であろう。農業に於いて天水が不足するという意味での水不足は確かに大きな問題ではあったが、歴史上の長い期間に於いて、一般的には河川の洪水をどうコントロールしつつ利用するか、つまり治水と利水に係る技術上の課題が水に関する問題意識の主軸であった。ところが近代以降、人口の大幅増加、経済発展等が相俟って水需要が大幅に拡大し、水不足の問題が恒常的問題として認識されている。但し、水不足は『水という物質』が不足しているという意味ではない。そうではなく、『安全』で

<sup>1</sup> UNICEFの報告書によると2004年に220万人が不衛生な水で死亡、内90%が4歳以下の子供

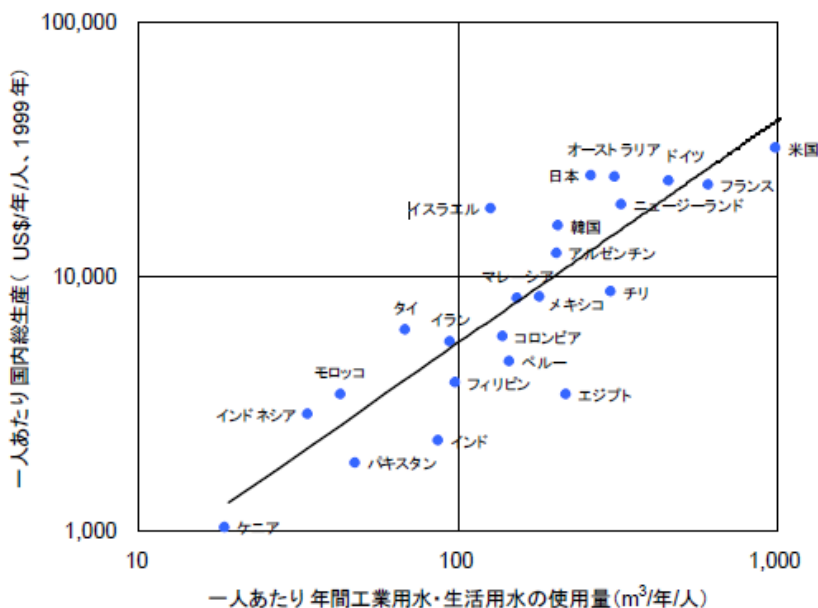
『安価』な『淡水』が不足している事を指す。我々が使える水は極めて限定的な為、条件を満たす水が不足している事が問題なのである。

### 世界の水需給

地球上の水の総量は約 14 億 km<sup>3</sup> と言われ、そのほとんどは海水として存在する<sup>2</sup>。淡水は全体の 3%程度に過ぎない上、そのほとんどが氷河として存在するため、人間が利用可能な淡水は総量の 0.8%程度に過ぎない。また、利用可能な淡水の大部分は地下水として存在する。河川と湖水を合わせても水の総量の 0.006%程度にしかならない。

ユネスコの統計によれば世界の水使用量は 1995 年時点で 3752km<sup>3</sup>/年で、2025 年には 5139km<sup>3</sup>/年になるとされる。その内、農業用水が約 70%<sup>4</sup>、工業用水が約 20%、生活用水が 10%程度の割合を占める。生活用水は全体に占める割合は相対的に低いものの、1950 年から 1995 年の間の人口増加が 2.25 倍程度なのに対し、生活用水は同期間で 6.76 倍と急増している。1 人あたりの水使用量は国によって大きく異なるが、先進国の方が使用量が大きい傾向<sup>5</sup>がある。(図表 1) 例えば、東京の一般的な家庭では 1 日 1 人当たり約 240ℓの水を使用しており、内訳は 28%がトイレ、24%が風呂、23%が炊事、17%が洗濯となっている。

図表 1 1 人あたり GDP と水使用量



出典：国土交通省、水資源に関する世界の現状、日本の現状

<sup>2</sup> 地上の海水は 7 億 5000 万年前から減少し続けており、10 億年後には消失するという説がある  
<sup>3</sup> 最近の研究ではマントル遷移層及び下部マントルに海水の 5 倍以上の大量の水が含まれている可能性が指摘されている。通常の隕石には質量の 2%程度の水分が含まれるが、地表の水をすべて合わせても地球の質量の 0.02%程度にしかならない。前脚注の水の減少の原因の 1 つとされている  
<sup>4</sup> 地域によって差が有る。欧州では工業用水が約過半を占め、北米でも 4~5 割程度が工業用水である  
<sup>5</sup> 例えば英国王立協会の報告書 (“People and the planet report”) では、先進国の子供は発展途上国の子供の 30~50 倍の水を消費しているとのデータが有る

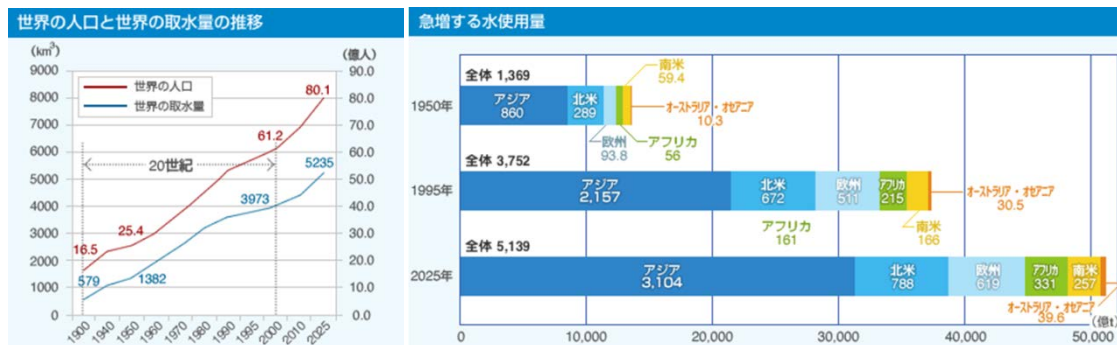
## 人口増加と水需要

エネルギー消費と同様、水需要は人口増加と正の相関関係にある。人口増加に伴い食糧需要は一般的に増加するが、1人1日分の食糧生産には農業用水が3,000程度必要になる。毎年1億人程度の人口が増加している中、人口増加が水の需給バランスに与える影響は大きい。また、食糧増産は耕地面積の拡大ではなく、主に作付面積当たりの収穫量の増加によって実現されている。農作物の収穫量と水消費量の間には正の相関があるから、水消費の密度が増加する。つまり、人口増加に対応する為には、高層マンションへの給水と同様に、狭い範囲に多くの水供給を可能にする高度な灌漑施設が必須となる。つまり総消費量だけの問題ではなく、水関連施設に対するインフラ投資が必要となる。

## 経済成長と水需要

経済成長が水使用量を増加させるとの主張も見られる。若干ステレオタイプな見解となるが、経済成長に伴い食事の肉食化や乳製品の消費拡大が進むと、飼料作物を通じて穀物・野菜中心の食生活よりも水消費量が増加するからだ。また、経済成長に伴うシャワー、水洗トイレ、洗濯機の普及は水の消費量を押し上げる。尤も、更なる経済成長により節水技術を取り入れた機器の普及や菜食主義者の増加が認められれば、この傾向は必ずしも当たらない訳である。正確には肉食化や水消費型ライフスタイルへの変移が水消費を増加させる。但し、大雑把に見れば経済成長に伴って水の消費量が増加していると言える。

図表 2 世界人口、水消費量、地域別水消費量の推移



出典：国土交通省<sup>6</sup>

## 1-2 水の偏在性

### 偏在性と仮想水

水の需給に関して偏在性の問題がある。本来、水は都市の必需品であるから、水のある所に人間は住んでいた。だが、上水道の発達、農業・交易・物流の発達により、或る地域

<sup>6</sup> 国土交通省、国際的な水資源問題への対応

に本来住めない程の多くの人が住む状況が生じている。例えば、東京の人口を自給自足で支える事は不可能である。しかし、東京都民の生命は他地域の生産物によってしっかりと維持されている。主要な水消費である農業用水は、農作物の移動という形式で間接的に賄われている。これは国際取引にも言える事で、農作物の輸入は間接的に水を輸入している事と等しい。この様に輸出入される農畜産物や工業製品に使われた水を仮想水<sup>7</sup>と呼ぶ。日本は年間 630 億 m<sup>3</sup> 程度の仮想水を輸入していると試算<sup>8</sup>されている。

### 長距離送水とローマ帝国

水供給が都市全体で絶対的に不足する場合には、水を遠隔地から輸送する必要が出てくる。給排水設備は多くの古代文明<sup>9</sup>に於いて整備されていたが、遠隔地からの大規模な水輸送を初めて本格的に推進したのはローマ帝国である。ローマには 11 本の水道が引かれており 100 万 m<sup>3</sup> 以上の水供給能力があった。これは 1 人あたり 1000ℓ の計算となり、現代の先進国諸都市の水使用量を凌いでいたと言える。遠隔地からの輸送に必要な莫大なエネルギーを、電気が使えなかった筈の古代ローマでそれが可能であった理由は非常に単純である。水が高い所から低い所へ流れるという古代からの知恵を活用したのである。その背景にアーチを活用した高度な建築技術が有った事は特筆すべきであろう。高度に計算された傾斜で水の位置エネルギーを巧みに利用し、大量の水輸送を可能にしていたのである。

但し、長距離送水によって水の偏在性への対策がなされても、これによって必ずしも水の安全保障の問題が解決する訳ではない。送水に必要な大規模なインフラ投資は水供給上のコストとなって、価格面から水の安全保障にとっての脅威となる。この他の偏在性を克服する為の手段として、海水淡水化、深い地下からの取水などがあるが、これらもインフラコストが掛かる。また、往々にしてエネルギー消費をとまなう為、エネルギーの安定供給が地域の生命線となる。これに関しては第 2 章でより詳細に触れる事とする。

## 1-3 水と環境

### 水の過剰摂取とアラル海問題

水問題は環境問題とも関連する。通常、水不足に至る前に川や地下水からの取水量を増やす。これらは普通の消費では問題は起きないが、現代の技術で過剰取水をすると川や地下水の構造に影響が出てくる。アラル海はその典型例である。パミール高原や天山山脈からの融雪水が、アムダリヤ川とシルダリヤ川を通じて此処に流入し、嘗ては世界第 4 位<sup>10</sup>の

<sup>7</sup> Virtual Water の訳語。輸出国側で実際に使われた水を直接水、輸入側で仮に生産した場合に想定される水を間接水と区別して呼ぶ場合もある。一般的には直接水の方が間接水よりも少ない事が多く、仮想水の取引による節水効果が認められるケースが多い

<sup>8</sup> 農林水産省(2007)、平成 19 年度食糧・農業・農村白書

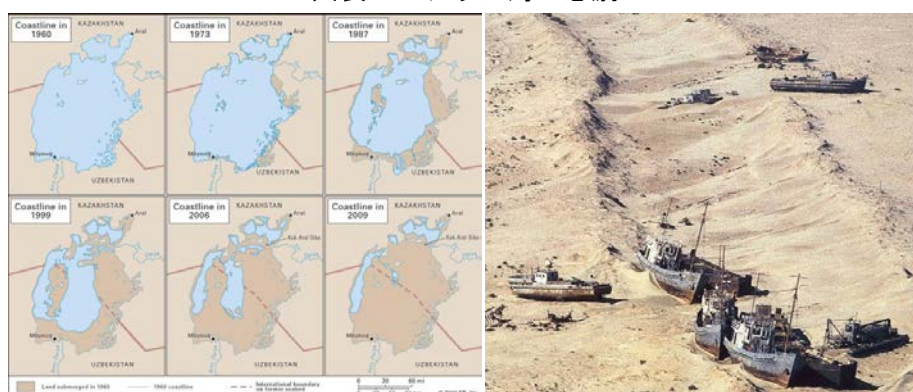
<sup>9</sup> エジプト、インド、古バビロニア、クレタ島などで給水或いは給排水設備が確認されており、特にモヘンジョ=ダロに於いては家庭用の浴室や高度な排水システムまで整っていたとされる

<sup>10</sup> 1960 年まで面積は約 66,000~68,000km<sup>2</sup> で、これは琵琶湖の面積の約 100 倍に相当する

大きさを誇った。中央アジアのオアシス的な存在であったが、大量取水によって水位は25m低下し、湖の面積は約5分の1にまで縮小してしまった。この直接の原因となったのが流入河川に於ける灌漑用水の過剰摂取である。例えば、カラクーム運河はアムダリヤ川の水量の約25%を取水し綿花農場<sup>11</sup>の灌漑用水に充てた。アラル海への水流入量は激減し、結果として湖は縮小し、これに伴い塩分濃度が増加し、周辺の生態系<sup>12</sup>バランスが大きく崩れた。従来、生息していた水生生物の多くが死滅、植物は枯死し、渡り鳥は飛来を止めた。湖水の減少で降雨は更に少なくなり、気温の年較差が拡大した。

アラル海の問題は特異な例ではなく、チャド湖やウルミエ湖でも類似の問題が発生している。安定した水源がある地域でも、水消費の増加が河川や湖沼の縮小や消滅という形で現れると、その影響は生態系の破壊、気候変動、人間の疾病にまで及ぶ。人口が増加すれば農作物の栽培の為に灌漑が重要になるが、安易な灌漑はその地域の土壌を悪化させ、却って農業を困難にしてしまう結果を招く事にも留意が必要である。

図表 3 アラル海の悲劇



出典：Encyclopedia Britannica<sup>13</sup>

## 死に絶える河川

湖と同様に河川の水に関わる様々な問題も確認されてきている。黄河、コロラド川、ナイル側の断流は周知の事実である。黄河の断流は主に下流の山東省で発生する。1972年以降度々発生するようになり、1996年までの25年の内の19年で断流が発生した。90年代の断流は特に深刻で、1997年には断流日数は226日に達し、700kmも河川に水流の無い状態となった。一般市民に節水が義務付けられただけでなく、影響は農業や工業にまで及んだ。

<sup>11</sup> グレートゲームや綿花需要の拡大をきっかけに始めた戦略的な綿花栽培であったが、元々海底で土壌の塩分が多かった事に加えて、運河の防水対策の不備などが祟り、深刻な塩湖塩害を引き起こし多くの農地が放棄される結果となった。この無謀な計画はスターリンの自然改造計画の延長だが、シベリア河川流転計画がアラル海の問題を解消するという根拠なき楽観主義の存在が指摘できる。この計画はオビ川やエニセイ川の水をアラル海やカスピ海へ向けて流す計画であったが1986年に計画中止となった

<sup>12</sup> 干上がった湖底から吹く砂嵐は、北風に乗って500kmもの範囲に被害を与えた。周辺住民の間で呼吸器疾患、目の疾患、ガンなどの病気が増加し、飲料水に含まれる微量の砂は腎臓疾患を誘発した

<sup>13</sup> Encyclopædia Britannica, Aral Sea



上流での灌漑の規制した結果、1999年以降断流は生じていないものの水が不足傾向である事には変わりはない。

図表 4 黄河の断流



出典：山東黄河河務局／鳳凰博報

### 水質汚染問題

河川や湖の水に関して水質汚染も深刻な問題である。水資源の3要素の1つである『安全』に関する脅威である。取水量が増加すれば、一般的に排水量も増加する。つまり、より多くの汚染水を輩出する。従って、取水量が多いほど下水処理の必要性が高まる。汚染がひどければ下流での水の使用は不可能になり、結果として水不足に繋がる。汚染の主な原因は排水設備の不備や、ゴミや産業廃棄物の投棄である。水質汚染が深刻な場合、魚の生息が不可能なのは勿論の事、水に触れた人が入院<sup>14</sup>したケースまでである。

深刻な汚染が確認出来ない状態であっても、生物濃縮で影響が大きくなる危険性があるので注意が必要である。ダイオキシン、水銀、DDT等が好例である。海の汚染は薄まって対流する為に発見されにくいので注意が必要だ。また、汚染と影響のタイムラグにも留意すべきである。地表流は即効的な汚染源となる一方、浄化や対策の効果もすぐに現れる。しかし、地下水は汚染の影響が10年以上遅れて出てくるケースがあり、その浄化には更に長い時間<sup>15</sup>が必要だと言われている。従って、対策がスムーズに機能しても汚染から即座に解放される訳ではない。

### 生活污水と企業の水消費

工業化が著しい発展途上国で、工業部門の不適切な排水による深刻な水質汚染の問題が見られる。一方、欧米を中心とした先進国では、危険度の高い工業排水には一般的に対策がなされている。しかし、生活排水の下水道整備は不完全な場合も多く、水質汚染は全世界的な問題であると言える。河川へのゴミの不法投棄は政策や規制による管理が困難である。例えば、ドナウ川は欧州の河川の中では比較的綺麗な方だと言われるが、環境悪化が

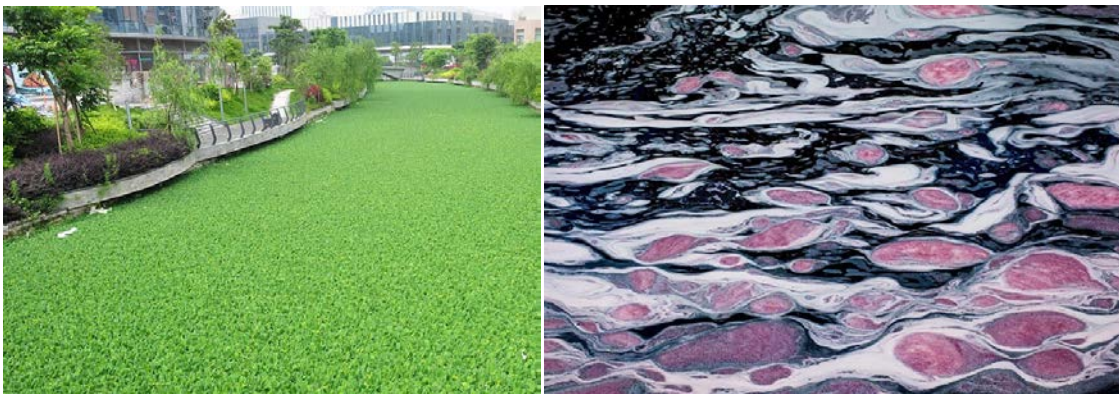
<sup>14</sup> グリーンピースの報告によると、インドネシアのチタルム川で排水の採取を行った所、サンプルの一部からpH14という結果が出た

<sup>15</sup> 汚染がひどい場合には100～200年という時間が必要だとの指摘がある

指摘されている。実際に、スロバキア付近を流れるプラスチックごみは年間約40tに上る。下水処理だけでは問題は解決しないのである。

水を大量消費する企業も大きな影響を与える。例えば、インドのケーララ州やマハーラーシュトラ州では、コカ・コーラ社の大量取水により周辺の井戸は干上がり、住民は生活用水を失い農業にも支障が出た。さらに、BBCが住民からのクレームを元に工場周辺の水質・土壌調査を行った所、工場周辺の水から多量のカドミウムが検出<sup>16</sup>された。これは10年以上前から問題となっているが、現在でも類似の問題が残っており、2014年ウッタル・プラデーシュ州の州政府は同州内メディガンジにある同社の工場の閉鎖を命じた。

図表 5 河川の汚染



出典：中国網／Greenpeace

### 重要水源『地下水』

地下水とは表流水の対義語で、地表面よりも下を流れる水全般<sup>17</sup>を指す。地下水は安定した重要な水源である一方で、地滑りなど自然災害<sup>18</sup>の原因にもなる。地下水の主な問題は地盤の問題と汚染である。地下水は雨や雪由来の水の涵養<sup>19</sup>によって自然に蓄えられるので、適度な利用であれば持続的利用が可能<sup>20</sup>である。しかし、需要増加によって取水と供給のバランスが崩れ、難透水層の水分が帯水層へ流出し収縮すると地盤沈下が起こる。地盤沈下は一度発生すると回復が容易ではない。だからといって、地下水を保全すべく取水を極端に抑えて水位が上昇すると、地下水の回復現象と共に地盤隆起、揚圧力の変化に因る地下施設での漏水等が起こり、地上を含めた施設の安全性を損なう恐れがある。従って、単純な地下水の使用制限ではなく、適切な水位維持のために管理する姿勢が重要である。

<sup>16</sup> 付近には他に稼働している工場が無かったが、コカ・コーラ社は自社の責任を否定している。この他にも販売製品の中に発がん性が指摘される殺虫剤成分が基準値を超えて含まれているなど話題に事欠かない。ペプシコも類似の問題が指摘されている

<sup>17</sup> 狭義には帯水層に飽和した水に限定し、不飽和の土壌水と区別する

<sup>18</sup> 2011年にスペインのロルカで起きた地震は地下水の汲み上げによる地盤沈下が原因とする研究もある

<sup>19</sup> 嘗ての海水の残留水である化石水は化石燃料と同様に使用すると復活しない

<sup>20</sup> 逆に利用しないとどこかで再び地表に表出する。海へ直接流出する場合だと淡水が無駄になる

## 地下水汚染問題

地下水汚染は主に産業廃棄物や農薬が雨と共に地下へ浸透する事によって引き起こされる。地下水汚染は目視や嗅覚による発見が困難な為に、汚染行為の認識が生じにくい。また、実際の汚染行為と汚染が顕在化する間にタイムラグがある。ただ、地下水上部の土地は一般的に私有されており、公的に取水や汚染の規制する考えと、私的財である地下水の自由利用を認めようとする考えの間で矛盾<sup>21</sup>がある。水の公共財としての性質と所有者が地下水を無制限には支配できない点、社会や地域に与える影響の大きさを勘案すれば、単に私的財に付随する権利と言うだけの論拠で濫用は正当化されないだろう。工業用水法、温泉法、地下水保全条例が各地で制定されているが、今後も多くの議論が予想される。

### 1-4 水と保全

#### 水の保全、質と量の観点

水質汚染は実質的に水の供給減少を意味する。従って、水の保全には水質の側面から汚染防止が必要なのは言うまでもない。加えて、水量の側面から水源涵養と濫用防止が求められる。つまり、水の保全は水質と水量の観点から考える事が出来る。但し、量と質は相互に影響し合っている。使用量の増加は汚水を通じて品質へ、品質の低下は使用可能水量という観点から量に、両者とも最終的に『安全で安価な淡水』の安定供給に影響を及ぼす。

#### 排水処理費用と水道民営化

まず、水質保全には汚水処理が重要である。生活排水<sup>22</sup>の対策は費用や危機意識の欠如から、対策が後手に回りがちである。事実、日本下水道協会のデータによれば、2014年時点、日本の下水道普及率は77%で、未普及地域では河川の汚染が見られる。水は米・英・仏などを除く多くの国家で公的主体が供給を行い、価格を政策的に低く抑えている。しかし、この事で水の濫用・過剰消費に繋がり、汚染を深刻化させている側面がある。排水処理は費用が掛かるだけでなく、その便益を享受するのが費用負担者とは限らない為、シンプルな価格メカニズムによる解決は困難である。そこで、規制による排水処理の義務化、水道民営化による価格の適正化、排水処理の費用を含めた価格制度が導入されるケースが多い。この「利用者が水の採取・集積・処理・配分と廃水の回収・処理・処分にかかる費用を全額支払う」価格をフルコスト・プライシングと呼ぶ。しかし、『水メジャー』或いは『水男爵』と呼ばれる大企業<sup>23</sup>を中心とした水道民営化は、下水処理による環境改善が期待される一方、水価格の上昇が貧困層の水の入手を困難にしているとの批判もある。東京では水道

<sup>21</sup> 公水論と私水論の問題。民法第207条の土地所有権の範囲の概念と、地下水の環境機能を念頭に置いた公共性の概念が対立しており、公共性を認める判例もあるものの定説はない

<sup>22</sup> 例えば200mlの油を川に流した場合、安全なレベルにする為には60tの水が必要だと言われる。思慮を欠いた生活排水は確実に河川を汚染し下流の水質を悪化させる。尤も、廃油は下水管に流す事も厳禁である事は言うまでもない。これらはオイルボールとなって水環境を悪化させる要因となる

<sup>23</sup> フランスのVeoliaやSuez、イギリスのThamesが代表格で、水に関する国際会議の多くを主催



費用は上下水道共に 0.15 円/ℓ程度<sup>24</sup>掛かるが、その約半分は初期投資関連費用である。1日に水 100ℓを使用すると月に約 500 円が下水処理<sup>25</sup>に掛かる計算だが、これが後発発展途上国の貧困層にとって大きな負担である事は疑いようがない。不採算地域に水道管を敷設しない、料金滞納者に対する迅速な供給停止など、利益追求の姿勢が生命を支える社会インフラとして適切か、徹底的な議論が必要だろう。オランダでは水道事業に民間企業が関わる事が禁止され、イタリアでは水道民営化が国民投票で否決されるなど、再公営化を進める国もある。一方、民営化はせずに運営委託という形式で民間企業のノウハウを活用しようとする動きもあり、官民連携を含めた多様化の動きが見られる。ただ、民間企業には資本の限界があり、民間企業の投資だけでは世界の水道普及に数百年掛かるとの試算がある。この意味で、民営化による問題解決には限界があり、政府の協力が不可欠である。

## 国際河川問題

品質の保全是自分の努力だけではどうしようもないケースもある。例えば、河川は一般的に下流に行けば行く程汚染が深刻になる為、国際河川では上流の国家の汚染の影響が必然的に下流の国家に現れる。上流の国家に汚染源がある場合、下流の国家は排水の処理以前の問題として、汚染による影響を免れない。このような場合、水質汚染対策は大気汚染と同様に国際的な視点が求められる。国際河川の周辺には世界人口の約 8 割が住んでおり、これは世界的に大きな論点である。上流の国は自国の便益だけを考えるのなら、国境付近の最下流の地点で汚水を流す事で、自国の損失はなく汚水処理費用の最小化が可能である。このような事態に陥るのを避ける為にも、国際的な枠組み<sup>26</sup>で対応する必要がある。

## 水源涵養費用

水源地域で大量に高品質の水を消費する事業者がいる。彼らの活動は下流域全体に影響するから、汚染防止だけでなく、水量の観点から水保全活動が重要になる。例えば、山梨県はミネラルウォーター生産量が日本一で、毎年、数十億円規模の費用が森林涵養に支出されている。そこで、この費用に充てる為に、ミネラルウォーター税の導入が検討されている。課税対象を絞った事の是非に関しては意見が分かれる<sup>27</sup>が、山梨県地方税研究会の報告書には「良質な地下水資源を守る為の費用」という明確な記述がある。熊本県ではより直接的に「水とみどりの森づくり税」と銘打って、「森林による水源涵養及び山地災害防止などの公益機能の維持増進」を目的として、年 500 円を県民税に上乗せする形で課税している。この他にも森林環境税や水源税を制定する自治体が多く存在する。

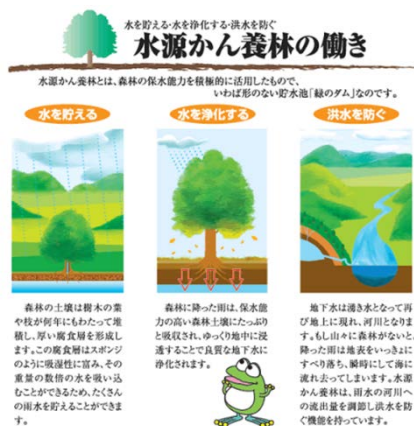
<sup>24</sup> 水道料金は設備、人口密度、水の綺麗、総使用量等によって左右され、下水料金の方が高い地域もある。東京の家庭で湯船（約 200ℓ）に浸って、そのまま水を流せば約 60 円を消費している計算となる

<sup>25</sup> 平成 10 年以降の料金設定によると、8m<sup>3</sup>/月以下の使用の場合、料金は一律 560 円である

<sup>26</sup> 通常は関係国で条約を締結する。原則的には流域国家は合理的で衡平な配分を受ける権利を有するが（ヘルシンキ規約）、一方で開発に際して他国の事前了解は不要との認識がある（ラヌー湖事件）

<sup>27</sup> ミネラルウォーター協会を始めとした業界だけでなく、県民からも反対の声があり、現在議論凍結中

図表 6 水源涵養林



出典：横浜市水道局／山形市上下水道部

### 水源土地購入問題

日本は木材を輸入に大きく依存しているが、国内の木材需要は1973年をピークに減少傾向で、価格も低下傾向で、国内の林業は徐々に衰退<sup>28</sup>してきた。山の所有者には管理の手間や税金の徴収を嫌がり、土地の売却を望んでいる者が存在する。日本では外国人でも日本国民と同様<sup>29</sup>に土地所有が可能なため、これに目を付けた外国資本が水源に近い土地を購入しているという指摘がある。林野庁の報告書に拠れば、外国法人又は外国人と思われる者による森林買収の事例は2006～2013年の間で980ha・79件あり、2013年は単独でも194ha・14件と近年増加傾向にある。この他に国内の外資系法人や、ダミーの日本法人やファンドを通じた取引も考えられ、実際の取引はより多いと思われる。また、これらの数字は森林法や登記など届出に基づいた数字である為、捕捉出来ていない取引が大量にある可能性がある。海外へ水を運搬すれば価格が高くなる事は当然である。しかし、良質な水は運搬費用が掛かってもビジネスになる。例えば、日本でもよく見られるDanoneのEvianやVolvicといったミネラルウォーターの採水地はスイスやフランスである。日本の水も同様に中国へ宅配されている例<sup>30</sup>がある。地下水は既述の通り原則土地に権利が付随しており、公水論と私水論の問題はまとまっておらず定説がない。さらに、地下水は水量の把握が困難で、利用のコントロールが大変難しい事にも留意すべきである。

### 水保全に求められる秩序

尤も、外国資本が水源確保を目的して土地を購入しているとは限らないだろう。また、外国からの投資によって、衰退する林業や過疎化する山村で何らかの産業が生まれれば、

<sup>28</sup> 林野庁のデータに拠れば、2012年の1人あたりの木材需要量は1973年のほぼ半分(0.55 m<sup>3</sup>)である。同様に2007年の林野一個当たりの林業所得は29万円/年で、経営状態が厳しい事が見て取れる

<sup>29</sup> 民法第3条：「外国人は、法令又は条約の規定により禁止される場合を除き、私権を享有する。」外国人土地法も存在するが、戦後これに基づく政令が制定された事はなく、相互主義の原則も形骸化している

<sup>30</sup> TOKAIホールディングスのグループ企業である托海商貿有限公司は、静岡県富士宮市で採水した水を『富士思源』ブランドとして上海で宅配事業を進めている

雇用の創出及び地域の活性化が期待<sup>31</sup>される。だから、外国人の林地売買を一律に禁止するべきではなく、水保全の観点からコントロールする姿勢が肝要である。土地の所有者と取引の明確化。地下水取水の許可制化と取水量の管理。地下水涵養への責任の基準化。下水や廃棄物等の水質汚染に対する規制基準の制定。以上の4点を押さえて、どの『主体』がどの程度の水量を『消費』『涵養』していかを把握・管理し、『汚染』させない事が水保全の基本となると考えられる。現在は、自治体レベルでの水源規制が主だが、地下水の保全と利用への見解が自治体間だけでなく自治体内でも異なる事、行政訴訟リスクを恐れて厳しい条例制定が難しい事、一方で影響が自治体内だけに留まらない事を考慮すると、国全体の利益を踏まえた、国家レベルでの水保全の根幹となる法整備<sup>32</sup>が期待される。

### 1-5 水に関するその他の課題

水に関して『偏在性』、『環境』、『保全』のと3つの観点から『需給』に与える影響を軸に基本的な課題を整理してきた。ここでは上記3要素以外の水に関する幾つかの論点を整理して、水の基本情報の締め括りとする。

#### 水と紛争

水不足に因ってもたらされる最大の悲劇は脱水による人間の死であるが、そこに至らずとも生命を危険に晒す。卑近な例として紛争が挙げられるが、最もよく知られた例として2000年にボリビアで起きた『コチャバンバ水紛争』がある。世銀の後押しを受けた上下水道の民営化の後で、同市の水道料金は5倍以上に上昇し、労働者最低賃金の1/4の水準となった。ストライキから暴動へ発展し、死傷者が出る事態となった。水紛争はウォーターストレスの高い中東やアフリカ地域で特に深刻である。例えば、ルワンダ虐殺やダルフル紛争は水の争いが原因の1つである事が指摘されている。水紛争は食糧問題やエネルギー問題、或いは土地問題や難民問題の様に、間接的形式を取る事もある。水が直接の原因で戦争になる例は多いとは言えないが、国家間の緊張を高め紛争の遠因になり得る<sup>33</sup>。水問題が孕む安全保障の側面を看過する事は出来ない。

実際の戦争でも水の供給を断つ戦術はしばしば取られる。米軍が朝鮮戦争で水豊ダム<sup>34</sup>を攻撃した事は有名である。また、ベトナム戦争でもダム及び堤防決壊による人工洪水を企

<sup>31</sup> 孀恋村の吾妻川上流の土地がシンガポール人に購入された際、別荘やキャンプ施設の建設の他に、ミネラルウォーター輸出の構想があったが、地元の人には不安だけでなく雇用への期待もあったと言われる

<sup>32</sup> 平成26年に『水循環基本法』が成立し地下水を含めた循環に言及している。2015年、第180回国会に於いて176回提出の『地下水の利用の規制に関する緊急措置法案』が審査されている

<sup>33</sup> 例えば、ユーフラテス川、ナイル川、メコン川流域などでは水の消費量に関する摩擦が見られた

<sup>34</sup> 1937年に鴨緑江の日本（現在の北朝鮮）と満州の国境附近に両国の電力確保の為に建設され1944に竣工。併設の水力発電所は発電能力60万kWと当時の世界最大規模だった。朝鮮戦争でアメリカ軍の攻撃を受けたが、堅牢なつくりの為に決壊しなかった。2015年現在でも発電を継続していると思われる。ちなみに、7基あった発電機のうち5基はソ連の赤軍に略奪され、イリティッシュ川上流で見られている

図していたとの指摘<sup>35</sup>がある。目的は多少異なるが、最近ではISISが治安部隊を攻撃の為にユーフラテス川の水位を下げようとダムを閉門したため、下流のイラクに於ける旱魃が危惧された。このような手段は民間人、非戦闘員の被害に繋がる為、ジュネーブ諸条約の追加議定書(1977年)に於いて禁止<sup>36</sup>されている。湾岸戦争に於いても米軍の浄水施設や水道施設<sup>37</sup>への攻撃が報道され、条約違反を指摘する論者もいるが、米国はこの追加議定書(Protocol I)に参加していない。いずれにしても水の重要性を示す事例と考えられる。

## サイバー問題

また技術の進展から最近浮上してきた問題として、ダムなどの管理システムのサイバーセキュリティの問題がある。アメリカには堤高6フィート以上のダムや堰が7万箇所以上あり、貯水容量は約6,000億m<sup>3</sup>と日本の約28倍の容量を誇る。これらは水資源確保及び治水の観点から重要なインフラであるが、ダムを管理するシステムに攻撃が仕掛けられている事が明らかになっている。最近のハッキングは単純な情報窃取に留まらず、システムのコントロールを乗っ取るケースもあり、そのリスクは大変大きい。幸い日本では大きな事件が発生していないので関心を集めていないものの、日本の水道施設ではイランの核施設で使われていたと同様の制御システムが使われており、一部がウイルス<sup>38</sup>に感染した<sup>39</sup>事がある。電力では実際にサイバー攻撃が原因と思われる被害が出ている為、今後、社会のスマート化が予想される中で、この問題はより重要性を帯びてくる事になるであろう。

## 節水技術

また、節水に関しては余り触れなかったものの、今後の人口増加がほぼ確実な中、需要を抑える上で節水技術の進展が期待される。例えば、トイレで使用する水の一回当たりの使用量は、40年前と比較して凡そ20%以下の40未満<sup>40</sup>にまで効率化されている。この他にも節水ノズルや節水シャワーヘッドなどで、効果の高いものでは90%程度の節水が可能な技術が出てきている。これらの技術は水の希少価値が高まり、価格が上昇するのに比例してその費用対効果が向上する為、更なる技術の進展と普及が予想される。

水消費の多い農業分野では、点滴灌漑が例として挙げられる。配水チューブを利用して

---

<sup>35</sup> Yves Lacoste の 'Bombing the Dikes on the Red River, North Vietnam' など。一方で、北ベトナムが堤防上に対空兵器を設置していた事にも留意する必要がある

<sup>36</sup> It is prohibited to attack, destroy, remove or render useless objects indispensable to the survival of the civilian population, such as foodstuffs, agricultural areas for the production of foodstuffs, crops, livestock, drinking water installations and supplies and irrigation works, for the specific purpose of denying them for their sustenance value to the civilian population or to the adverse Party, whatever the motive, whether in order to starve out civilians, to cause them to move away, or for any other motive.

<sup>37</sup> 実際には水関連施設の狙い撃ちではなく、電気・ガスなど社会インフラ全般への攻撃が認められる

<sup>38</sup> Stuxnet と呼ばれるウイルスでUSBを経由して感染する。このウイルスによりイランのNatanzにある核施設では1,000台程度の遠心分離機が破壊されたと言われている

<sup>39</sup> WEDGE Infinity、狙いはインフラサイバー攻撃で水道が止まる

<sup>40</sup> TOTO、超節水&節電でお財布にもやさしい

ゆっくり且つポイントを絞って灌漑する手法である。尤も、この技術自体は新しいものではなく、原理としては19世紀から研究されていた。水だけでなく肥料の節約が可能であり、土壌侵食の低減や人件費の削減等の効果もある。一方、初期投資が大きくスプリンクラーよりも高価な場合すらあるため、資金力ない農業従事者の導入は困難である。

以上の様に、水に関するテーマは他にも水の需給周りを中心として、環境、地球温暖化、ビジネス、食料、最新科学技術、法整備、医療、天文学、スポーツ、戦争、貧困問題など正に無限の広がりを持つと言える。水の重要性と影響力の大きさというレンズを通して、今後の人口増加や環境に関する社会問題に目を向けると、そこにはそれまでの問題意識と異なる風景が広がっている事であろう。水は人間だけでなくこの世界の根源とも言える物質なのである。



## 2 水とエネルギー

前章では水の基本的性質を、需給を中心に整理した。本章では水とエネルギーの関係性に注目して関連情報を整理する。両者は基本的に別分野の分析対象であって、それぞれの問題意識には大きな隔たりがある。しかしながら、両者の特徴を重ね合わせてみると協働できる共通点の存在、或る意味で対極にある様な相違点から、両者の今後の指針への示唆が得られる可能性がある事に気付かされる。

さらに、水はエネルギーに、エネルギーは水に対して相当な影響を及ぼしているが、それぞれ自らの領域の中で分析に終始しがちで、相互の影響に対する分析が疎かになりがちである。この様な状況では専門性が深まる一方、合成の誤謬から社会的に好ましくない結果をもたらす可能性が有る。従って、限界がある事は十分意識しつつも、問題意識を出来る限り広く取り、俯瞰・微視の両面から分析を進める事が重要と考える。本章は斯様な問題意識に基づき、水とエネルギーの関係を共通点や相違点、両者の交点、エネルギーから水の視点、水からエネルギーの視点等の見地から相互関係を整理する。

### 2-1 水とエネルギー

#### 共通点と相違点

水とエネルギーは共に社会の基盤の役割を果たしており公共性が高い点で共通している。エネルギーも水も人口やGDPの増加と比例関係にあり、安定供給、経済性、環境性、安全性が求められる点も共通している。また、両者共に身近に豊富に存在するものの、利用できる条件や形態が限定的な為に、資源の希少性や偏在性が問題の1つとして捉えられる。また、現代社会に於ける大規模且つ変化のある需要に応えるには、共に高度な輸送手段や関連施設等のインフラ整備が必要である。

一方、供給のメカニズムが大きく異なる。水は蒸発と降雨を通じて循環する為、需要増加によって不足する事態に陥る事はあっても、永続的枯渇という心配は大きくない<sup>41</sup>。その反面、河川や地下水を利用するのが基本で、降雨が少ない時期の水不足など、自然条件に供給が大きく左右される。一方のエネルギーは、現在主流の化石燃料は使用によって消滅するが、その賦存量は年間の消費量を大きく上回る。水とは異なり自然に依存したエネルギー供給の割合はまだ少ない。従って、自然要因による供給不足が短期的に発生するという可能性は少ない。一方、ロジスティクスの重要性に加え、地政学リスクや人為的事故によるリスクが相対的に大きくなる。但し、現在の消費構造が変化しなければ、かなり先の話ではあるが長期的に資源の枯渇が懸念される事になるだろう。

---

<sup>41</sup> 河川や地下水脈の流れが変化した場合などは根本的枯渇が発生する

## 人口増加の影響

上述の共通・相違点から考えられる点が幾つかある。まず、共に人口増加と経済発展の中で消費が増加し、需給逼迫、価格上昇、環境悪化などの影響をもたらす。これらは、それぞれのビジネス主体は別として、安定供給、経済性、環境の観点からは望ましくないと考えられる。人口の急激な減少は社会の高齢化から、経済や財政を始めとして、多くの社会問題に繋がる事が懸念されるが、世界に於ける人口は急激な増加傾向であり、これは人口減少とは別の問題を誘発する危険性がある。

日本の場合、国内では人口減少による福祉や経済を中心とした社会問題の顕在化に直面しつつある一方で、グローバルな人口増加によるエネルギーや水に関連した、安全保障、価格上昇、環境問題に晒される可能性が有り、国内外の人口問題に関する二重苦の状態に陥る可能性がある。従って、国内と世界の視点で政策を明確に切り分けて対策をしていく柔軟な姿勢が必要となってくるだろう。

## 自由化に関わる問題

また、両者とも希少性や偏在性の問題がある事が、経済性の観点からは国際協力と共に自由競争が進む事が望ましいと考えられる一方、共に社会の基盤を支える資源である為、安定供給や安全の観点から供給の自由化が必ずしも望ましいとは言い切れない点も指摘できる。生命維持に直結するライフラインの国家運営は、財政負担という問題はあるながらも、富の再配分や社会保障の側面があり、貧困層の多い発展途上国でその意義は特に大きい。根底に存する公共性と市場競争原理の根本的な哲学的相克は、国家や社会状況に応じた柔軟な判断が重要であり、民営化や市場原理の導入が普遍的に是であると一概には断言できないだろう。この成立条件に関する更なる研究が望まれる。

## 両者の相互接近

エネルギーに於ける自然エネルギーの増加は、水の供給メカニズムに近づく事を意味している。エネルギーでは既に議論されている通り、自然の影響による供給途絶対策としてのバックアップの論点が益々重要になるだろう。水力発電の割合が大きいベトナム<sup>42</sup>やミャンマーでは、増加する需要に対して乾季の電力供給が不安定になる為、国内で石炭火力の建設を進めている。石炭火力発電が供給の観点から水力よりも安定的である事は間違いない。だが、水力ほどではないにせよ、石炭火力発電も水の影響を大きく受ける事には留意が必要である。一方で、水の長距離輸送や淡水化による供給拡大は、自然の影響を受けにくくなる反面、エネルギー消費に起因する安定供給や環境リスクの拡大、水関連施設の投資コスト、海水淡水化に関しては海洋環境を中心とした想定外のリスクが生じる可能性も念頭に置くべきである。

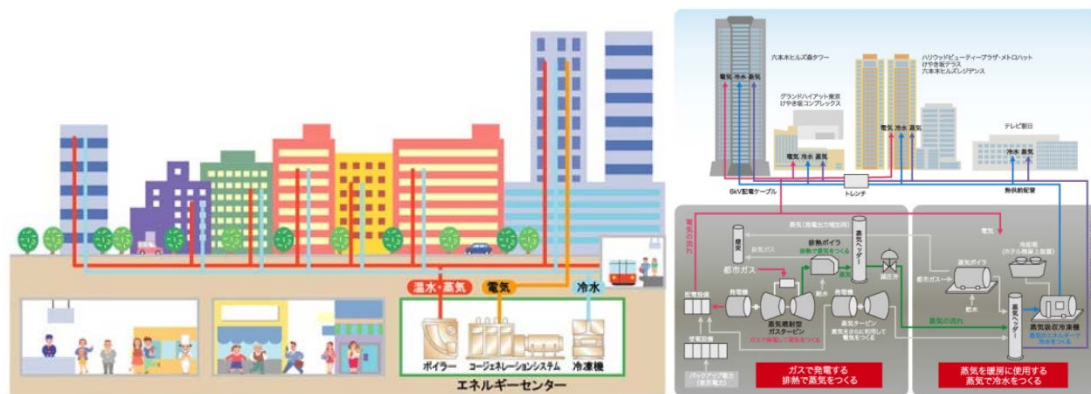
---

<sup>42</sup> ベトナムが2011年に策定した『第7次国家電力マスタープラン』では、石炭火力/水力発電の電力生産に於ける電源構成をそれぞれ2020には47%/20%、2030には57%/9%にする計画である。ちなみにIEAのデータに拠ると2013年の同割合は18%/43%である

### 水とエネルギーの象徴『給湯』

水とエネルギーが関わる部分として、給湯は注目すべきポイントである。日本の家庭部門のエネルギー消費に於いて給湯は28%<sup>43</sup>を占め、その割合は冷暖房を合わせたものとほぼ等しい、もしくはそれ以上の消費量を示すデータも存在する。家庭部門はエネルギー消費全体の16%程度であるから、給湯は同4~5%程度の割合となる。一方、家庭で風呂に使われる水の割合は水消費量全体の約3%程度である。従って、節水シャワーヘッドの使用やバスタブに入れるお湯の削減で、合わせて30%程度の節水が出来れば、単純計算で水とエネルギー共に1~1.5%程度の節約が可能な計算となる。エネルギーの節約は冷暖房の節約に目が行きがちであるが、冷暖房は通常の使用をしている場合に3割もの節約は困難<sup>44</sup>であり、通常は省エネエアコンへの買い替えや断熱工事など少なくない投資が必要となる。水消費の観点からも、節水タイプの機械を導入しない限りトイレや洗濯で3割の節水を実現するのは困難である。もし、高い意識に基づいた行動だけで3割の省エネや節水を実現するのであれば、脱水症状を避けるべく40℃近い部屋の中で換気と団扇と給水だけでやり過ごす、トイレの臭いを我慢して流す回数を減らす<sup>45</sup>、水を使う料理を制限した献立ばかりにするなど、エネルギーと水以外のマイナス面に目を瞑って、苦行とも言える凡そ現代文明人の文化的行動から逸脱した生活をするしかない。その点、給湯は意識だけとは言わないが、シャワーヘッドや湯張りの際の多少の工夫など、機器や改修と比較して格段に小規模な投資で節約が実現可能である。

図表 7 地域冷暖房の構造と実例



出典：東邦ガス／森ビル

<sup>43</sup> 日本エネルギー経済研究所、エネルギー・経済統計要覧 2015

<sup>44</sup> エアコンの状態や使用方法に問題が多い場合はある程度改善が可能である。フィルターと内部の清掃、室外機の適正な設置と対策、送風機の活用、温度・風向設定、窓及びカーテンを閉める等がある。但しエアコンは起電時から冷えるまでの消費電力が高いので、小まめなスイッチオフなどは効果が乏しい

<sup>45</sup> 全てを「大」で流している場合は「小」にするだけで1~20/回程度の節約が可能である

## 地域熱供給システム

より効率的に給湯する為の手段として、地域熱供給の存在を指摘できる。このシステムは地域冷暖房プラントから温水・冷水を供給する事で、給湯・冷暖房などを効率よく行うシステムである（図表 7）。水は比熱が大きく熱伝導効率と流動性が共に高い為に熱の運搬に適している。また高温<sup>46</sup>の場合でも水蒸気として熱を伝え凝縮熱も大きい為に効率が良い。加えて環境負荷が無く、安全に扱える点で媒体として優れている。

地域熱供給の利点は以下の点に整理できる。まず、安全保障の観点から省エネルギーに貢献している。このシステムを活用する事によって一般的なビルと比較して、最大約 20%<sup>47</sup> エネルギー消費を削減する事が出来る。経済性であるが、個別熱源方式と比較してライフサイクルコストはより効率的<sup>48</sup>であるとの試算がある。また、機器の総設置面積の縮小と共に、設置場所が通常地下である為に、従来多くのビルで屋上に置かれていた室外機のスペースが活用できる。このスペースを緑化したりヘリポートを置いたり、或いは太陽光パネルを置いたりする例が見られる。但し、コストに関して初期投資のファイナンスに課題があるのは事実であろう。また、大規模なエネルギープラントの効率がよい一方で、熱の搬送ロスを考慮する必要があるだろう。このシステムを有効に活用する為には、高密度な需要家の存在が求められる。そうでなければ、搬送に関わるエネルギーロスや配管の敷設費用の増大から全体効率は低減するだろう。この他、実際の導入には高い環境意識、エネルギー安全保障への意識、政府のイニシアチブが必要だろう。

地域熱供給システムはエネルギーの観点から注目されているが、工場や焼却場などの排熱の他に、河川や下水だけでなく地下水などの未利用エネルギーにも注目が集まっている。水は冷却の観点からも暖房の観点からも有用な資源である為、排水を含め今後の利用が進んでいく可能性がある。エネルギーにとっても重要な資源になる可能性を秘める水を、エネルギーだけでなく水の観点からも如何に効率的に活用していくかという視点が、両者の安全保障や経済性にとって循環的にプラスの効果をもたらすであろう。

## 2-2 エネルギーから水

エネルギーと水の関わりとして、次に水供給に使われるエネルギーに注目する。エネルギーは水供給に関わる取水、導水、浄水、送配水、下水処理など多くの場面で使われており、エネルギーの安定供給が崩れれば水の安定供給も脅かされる事となる。ここではエネルギーが如何に水生産に関わっており、またこの事からどのような脆弱性や課題が考えられるかに関して、具体例を交えながら考察する。

<sup>46</sup> 水は蒸気圧が高い為に加圧が必要で高温といっても 200℃程度が限度である

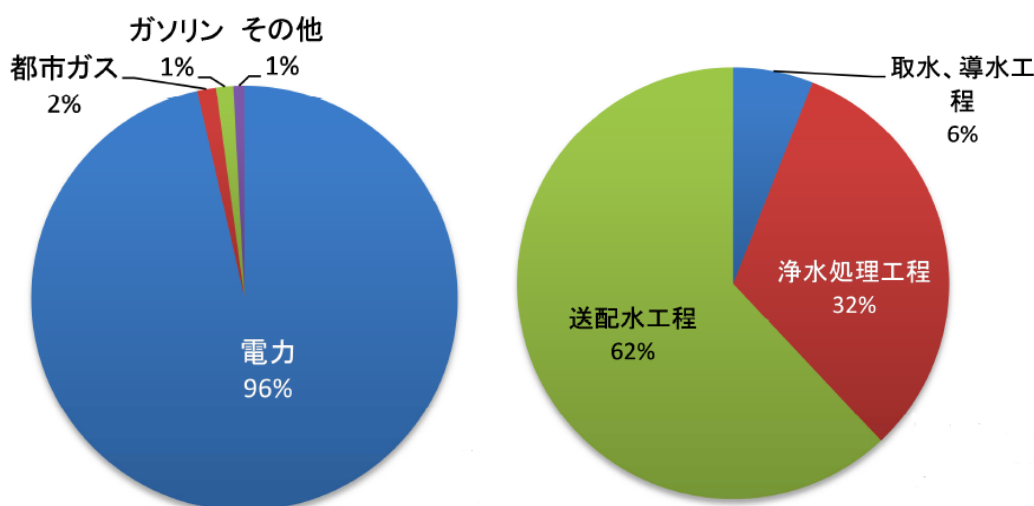
<sup>47</sup> 経済産業省 資源エネルギー庁、未利用エネルギー面的活用 熱供給の実態と次世代に向けた方向性

<sup>48</sup> 丸の内熱供給株式会社、地域冷暖房のメリット

### 一般的水供給とエネルギー

日本において、一般的な上水道施設で 사용되는エネルギーの96%は電力である。(図表 8) 消費対象としては送配水が6割程度、浄水が3割程度、残りが取水・導水である。何故電力消費が圧倒的に多いかと言うと、水を移動させる為にポンプを使った圧力を利用しているからである。ポンプに使用される電力は消費量全体の9割以上を占めている。以上より、水供給に使用されるエネルギーの大半は水を移動させる為のポンプと考えて良いだろう。厚生労働省がまとめた報告書<sup>49)</sup>によると、平成13年度の上水道全体の電力使用量は79億7300万kWhで1m<sup>3</sup>当たり0.5kWhであった。これは全国の電力使用量の約0.8%<sup>50)</sup>を占める。しかし、実際にはお湯や冷水の需要が多い為、適当な水供給に必要なエネルギーという意味で必要なエネルギー量は更に多い。また、水価格に与えるインパクトは各水道施設の状況や電気料金によって様々だが、日本に於いては水道費用全体の約3~10%となる。

図表 8 水道施設で消費されるエネルギー内訳と用途



出典：環境省<sup>51)</sup>

一方、下水処理施設でのエネルギー消費は、電力がほとんどを占めるという点では同じだが、用途では水処理が5割程度、汚泥処理が2割程度とその大部分を占める。上水施設に於いて主要な電力消費対象であったポンプは1~2割程度となる。これは送配水の必要がない為であろう。しかしながら、電力使用量の原単位は約0.5kWh/m<sup>3</sup>で上水施設とほぼ同等の電力消費水準である。しかし、これは前章の環境や水質汚染の課題で確認した通り、水の保全を考えた際に不可欠な工程であると言える。つまり、水の保全にはエネルギーが必要であって、我々の生活に不可欠な生活用水は安定したエネルギー供給に支えられているのである。

<sup>49)</sup> 厚生労働省、水道事業に係わる環境対策

<sup>50)</sup> 米国では3~4%程度になる。下水は1%程度で日本とそれほど大きく変わらない

<sup>51)</sup> 上水道・工業用水道、下水道部門における温室効果ガス排出等の状況

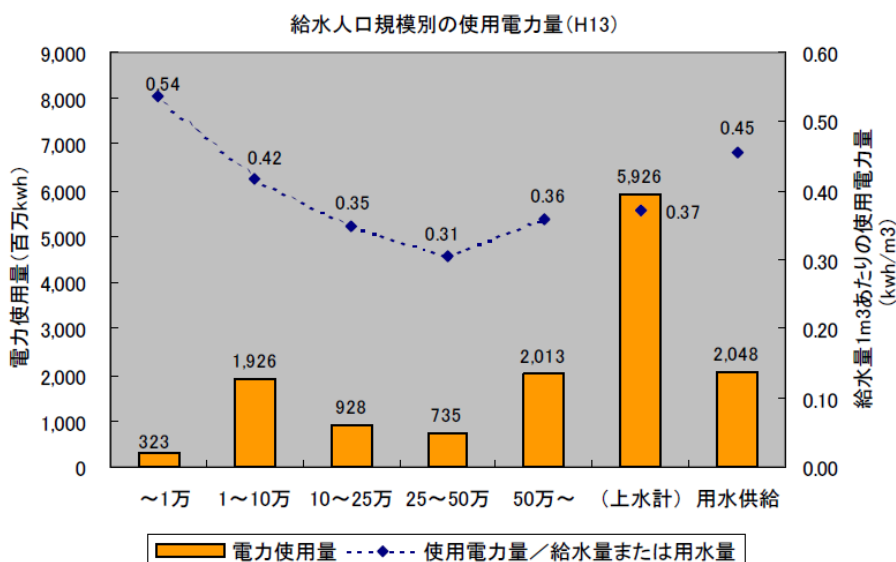


## 送水とエネルギー

水道施設のエネルギー消費は大きいので、様々な省エネ対策がなされている。基本方針としては、ローマ帝国の様な自然流下法の活用、配水区域の変更、高効率ポンプの導入、余剰圧力の活用等が中心となる。例えば、東京都は貯水池と浄水場の高低差を活用した水車発電を導入している他、配水池までの引き入れ圧力を活用した直結ポンプと水力発電を組み合わせたハイブリッド方式の導入検討している。川崎市も浄水場と配水池の間で同様にマイクロ水力発電をしている。これ以外にも、送水ポンプから送られるポンプ場の受水側余剰圧力を回収して発電するケースや、太陽光発電、コジェネレーションシステム、NAS電池、燃料電池等を活用して、自家発電を組み合わせながら省エネルギー、エネルギー効率改善に取り組んでいるケースが見られる。

送水に必要なエネルギーの特徴として、送水先が分散しているとエネルギー効率が低下する傾向がある。河川の下流域に位置する大都市は多く、水質の悪さや高層マンションの多さから、浄化や送水コスト<sup>52</sup>が高くなるが、人口密度も高い為に送水効率が良く、実際には全国の他の地域と比較して必ずしも水道料金が高くはなっていない。これを裏付けるかの様に、人口規模別の電力使用量としては、人口が1万人未満の事業体に於ける効率が悪く単位当たりの上水道使用料が最も大きくなっており（図表9）、人口密度の低さが輸送効率を低下させ、エネルギー消費を押し上げていると考えられる。水道の価格には都市の構造も大いに関係してくる訳だが、これは電力、ガス、道路、鉄道等、エネルギーに限らず他のインフラ一般に言える傾向であろう。

図表 9 人口規模別にみた上水道事業体の電力使用量



出典：厚生労働省<sup>53</sup>

<sup>52</sup> 大都市では高度浄水処理の導入が進み、浄水工程が増える事による影響も指摘できる

<sup>53</sup> 第4回水道ビジョン検討会、水道事業に関わる環境対策（資料6）より

## 大規模送水『南水北調』

上述の通り、送水は都市内でも大きなエネルギーを消費する。だが、これがもし都市内を大きく上回る規模で行われたらどうなるか。中国で、ローマ帝国を遥かに上回る地域間送水計画が南水北調という形で現れている。南水北調は1952年の毛沢東が言った「南方は水が多いが、北方は水が少ない。もし可能であれば、少し水を借りても良いだろう」という発言から始まった。東線<sup>54</sup>、中央線<sup>55</sup>、西線の3つのルートで水の豊かな南方から、水が相対的に不足している北方へと水を輸送する計画である。より具体的に言えば、長江の水を黄河の流域地帯へ輸送する事を指す。

方針決定から50年以上の時間をかけて計画を進め2002年に着工。総投資額約5,000億元(約10兆円)をかけて、4億4千万人への水供給を視野に、448億m<sup>3</sup>/年規模<sup>56</sup>の送水を進める計画であり西部開発の大規模プロジェクトである。総延長は4,350kmを見込んでおり、中央線第一期工事の総延長距離は2,889kmで、この開発で約35万人が立ち退きを余儀なくされた。2014年12月、その最初の送水が湖南省丹江口より北京へ向けて流された。3つある輸送ルートの内、中央線は古代ローマと同様に傾斜を活用して自然の流れで輸送する為、輸送コストを低く抑える事が可能である。しかし、東線と西線は重力に逆らう移動を伴う為、取水や水処理以外に揚水に多くのエネルギーが必要となる。例えば、東線は第一期で13段トータル34のポンプステーション、4,500m<sup>3</sup>/秒のポンプ総容量を駆使して、トータルで65m引き上げる設備となっており、その電気容量の総和は37万kWにも上る。西線はまだ検討段階であるが、山岳地帯で高低差が80~450mと大きく、汲み上げに相当のエネルギーが掛かるだけでなく、険しい山岳地帯の為、水路の確保にも課題があり非常に困難な工事となる事が予想される。南水北調は若干特殊な例であるが、水供給の為に大量のエネルギーを活用している好例と言える。

図表 10 中国の南水北調



出典：産経ニュース<sup>57</sup>

<sup>54</sup> 東線は揚州から既存の京杭大運河を利用して黄河へ繋がる。その後は北方と東方へ分岐し、北方は天津へ、東方は済南を通過し青島や煙台に至る。途中の湖沼を活用して水量調節も行う

<sup>55</sup> 中央線は漢江(長江最大の支流で漢水とも)の丹江口ダムから鄭州を通過して黄河へ繋がる。最終的には北京と天津に至る

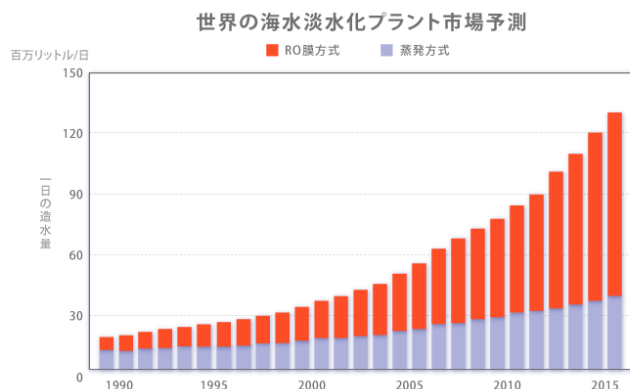
<sup>56</sup> 日本の年間水消費量は約800億m<sup>3</sup>である

<sup>57</sup> 産経ニュース、中国の「南水北調」アラル海の「悪夢」の再現か

## 海水淡水化

しかし、水が不足している国に常に長江の様な大河が都合よく有る訳ではない。この様な場合、もし沿海部で有れば海水淡水化を活用する事が出来るかも知れない。海水淡水化とはその名の通り、地表上の水の大部分を占める海水を淡水にして利用する技術である。淡水化の方法は主に2種類<sup>58</sup>有る。1つは海水を蒸発させた水蒸気を再凝結させる方法で、もう1つは目の細かい膜や電気を使って不純物を濾過する方法である。前者は水の減圧蒸発に、後者は膜に掛ける水圧や電圧にそれぞれエネルギーを必要とする<sup>59</sup>。蒸留による淡水化は、熱や電力が余る場所では有効な余剰エネルギー活用法で、原子力潜水艦や原子力発電所<sup>60</sup>では淡水化して艦内及びプラント内の真水需要を満たしているケースも見られる。

図表 11 淡水化プラントの市場予測



出典：TORISHIMA<sup>61</sup>

蒸留による淡水化は特に大きなエネルギーを活用する為、一般的には逆浸透膜 (RO) を活用した濾過の方が省エネ的<sup>62</sup>で主流である。エネルギー源の豊富な中東諸国でも RO の大型プラントの建設が増加傾向にあり、世界的に見ても RO を採用するケースが増えてきている (図表 11)。RO にはホウ素の除去が出来ない事や、目詰まりの発生など幾つかの欠点があるが、一番の課題は大量の電力消費だと言える。膜に海水を通して濾過するのに 50 気圧以上の大きな圧力が必要である。効率を上げる為の工夫は日々進んでおり、具体的には膜の品質の向上、膜透過後の水の圧力の再利用や温水の活用、濾過によって取れるマグネシウムの活用等、エネルギー効率の改善だけでなく、自らシステムの中でエネルギー生産を

<sup>58</sup> 細かい技術の違いで正浸透膜、電気透析、ナノフィルター、多段フラッシュ法、多重効用法、海水グリーンハウスなど多くの手法があるが、基本的な考え方は同じである

<sup>59</sup> この為、中東で良く見られる蒸留式淡水化プラントでは火力発電所や製油所に隣接させそのオフガスを利用するのが通例である

<sup>60</sup> プラントによっては余熱を活用する事によってエネルギーの消費を抑えている。具体的には日本では大飯、高浜、伊方、玄海が、アメリカでは Diablo Canyon 等が淡水化装置を併設している

<sup>61</sup> TORISHIMA、ポンプ市場の動向は？

<sup>62</sup> オフガスが利用できるのであれば、追加コスト・エネルギーという意味では蒸留が経済的な場合もある

目指す工夫も見られる。これによって、現在では  $3\text{kWh}/\text{m}^3$  を下回る高効率のシステムが出現してきている。例えば 2007 年にドバイで新型淡水化装置の建設計画があったが、 $270\text{万 m}^3$  の日産量の淡水化装置に必要な電力は 900 万 kWh であった。これでも電力消費量は約  $3\text{kWh}/\text{m}^3$  なので比較的高効率なものであると言える。それでも人口増加と経済発展による水不足の深刻さは相当なものであるから必要な電力総量は膨大になる。2025 年には 30 億人分の水が不足するという報告があり、不足分を全て RO で補おうとすると年間 9 兆 kWh の電力が必要となるという試算もある<sup>63</sup>。これは現在の世界の電力消費量の過半に迫る電力量であり、その影響の大きさが判る。また、造水コストは低下傾向にはあるものの、プラント資材や薬品の投入量に大きく影響され  $70\sim 240\text{円}/\text{m}^3$  程度となっている。今後水不足が拡大し水の価格が全体的に上昇する事となれば、これは飲料水だけでなく農作物や工業製品の価格にも影響を及ぼすだろう。

### 高コストな水供給

南水北調の様な  $1000\text{km}$  以上の輸送は極めて珍しいが、水の供給は正に死活問題なので、都市レベルで水が不足している場合には、遠隔地からだろうと輸送で対応せざるを得ない事を示している。また海水淡水化も、世界に溢れる海水を利用するという点に於いて、水不足解消の有望な手段であると考えられる。だが、これは単純な水の供給という点では都市にとってプラスかもしれないが、水の安全保障にとっての大きな課題に繋がる。

水不足とは『安全で安価な淡水』の不足を指す。これらの手法では送水や淡水化施設の建設費用が不可避免的に発生する。水自体は本来比較的安価なものであるが、遠隔地から輸送したり、淡水化したりする事によって安価な水ではなくなる可能性がある。この場合、貧困層を中心に水不足の解消が実質的になされない事となる。

次に、水の輸送に使うエネルギーの問題である。送水も淡水化も基本的にエネルギーを消費する。つまり古代ローマの様な自然流下法を採用していない限り、水の輸送はエネルギーの消費を増大させるし、淡水化は送水と異なり自然流下法の様な方法はなく必然的にエネルギー消費を伴う。この様に、送水にしても淡水化にしても、費用という点で水の安全保障を脅かすだけでなく、エネルギー消費という側面がある。

### 気候変動と水の安全保障

また、温室効果ガスの排出による気候変動による水の安全保障への影響も懸念されている。IPCC 第 5 次評価報告書に於いても、極端な気象現象によるインフラサービス機能停止、旱魃や洪水に伴う食糧不足等と共に、飲料水及び灌漑用水への不十分なアクセスがリスクとして挙げられている。河川流量に関しては、温暖化によって増加すると予想される地域もあるが、地中海沿岸から中近東などの様に減少が予想されている地域がある。これらの

<sup>63</sup> 松永栄一、太陽光を利用した低消費電力の淡水化装置

気候変動による降水量や河川流量の変動は、対応インフラとの不一致などから混乱や新たなコストに繋がる事が懸念される。

## 2-3 水からエネルギー

ここからは逆に、エネルギー供給に使われる水という観点から両者の関係性に注目する。水供給の至る所でエネルギーが使われていた様に、エネルギー供給に於いても多くのフェーズで水が消費されている。例えば石油に於いては掘削や精製に水が使用されるし、石炭では採掘、洗炭、輸送、炭鉱再植生に水が用いられるし、発電ではボイラー給水、冷却、脱硫等が典型例だ。これらのインパクトは大きく、2010年にエネルギー生産に供された水量は、世界全体で取水量の15%<sup>64</sup>に相当すると言われている。これらの事から考えられる課題に関して、前節と同様に具体例を交えながら考察する。

### 化石エネルギーと水

我々が世界で消費するエネルギーの8割は化石燃料由来である。そしてこの化石燃料の生産には水が使われている。化石エネルギーの中で水の消費が最も少ないとされるのは天然ガスであるが、それでも掘削に水を用いており、多いケースでは1,000 m<sup>3</sup>あたり500以上の水が使われている。実際、アルバータ州では水使用ライセンス全体量の4~5%をガス部門に割り当てている。

また、消費される量は天然ガスと同様に比較的少ないが、石油生産にも水が使われている。前章で取り上げた黄河の断流の際、勝利油田への地下注水は黄河の水に依存していたので、一部プラントが開発停止を余儀なくされた。また、生産量が低下してきた油田における二次回収やEORに於いて、水攻法や水蒸気攻法などで水が大量に使用される。使用される水量は油田の状態や油の種類によって異なるが、通常の石油生産よりも多量の水を消費する。(図表13)「水と油」は交わらないものの不可分の関係でもあるのだ。

石炭も切り出しの際の冷却や潤滑の他、粉塵防止、輸送や廃坑等、多くの場面で水が使われる。必要な水の量は露天掘りか坑道掘りか、炭鉱の種類によって大きく異なるが、採掘だけで50~500l/t程度の水を消費する。また、石炭は品質を維持する為に洗浄が重要だが、これにも80~160l/t程度の水が使われる。

最近ではシェールガス開発に伴う水の消費も大きな注目を集めている。シェールガスは頁岩に含まれるガスである。頁岩は粒子が極めて細かく、空隙率や浸透率が低い為、自然の状態では商用資源とはならない。2000年代以降、水圧破碎法によってガスを採取する技術が進展し、水平掘削技術も実用化された事で生産量が飛躍的に増加し、シェール革命の到来となった事は周知の事実だが、この水圧破碎には水、砂、化学物質が用いられる。井戸1

<sup>64</sup> このデータも国によって大きく異なり、モンゴルでは全取水量の35%がエネルギーに関わるとの事



本当たり 1,000~3,000 万ℓ程度の水を使用する。シェール開発に使用する水量が水使用量全体の 1~2%程度にのぼる地域もあり、相当の水を消費している事が窺われる。

現在は水を使わない技術も研究されているが、我々の主要エネルギー源である化石エネルギーの生産は基本的に水を消費しており、水の安定供給無しにはエネルギーの安全保障もままならないと言える。

図表 12 石炭炭鉱とシェール開発



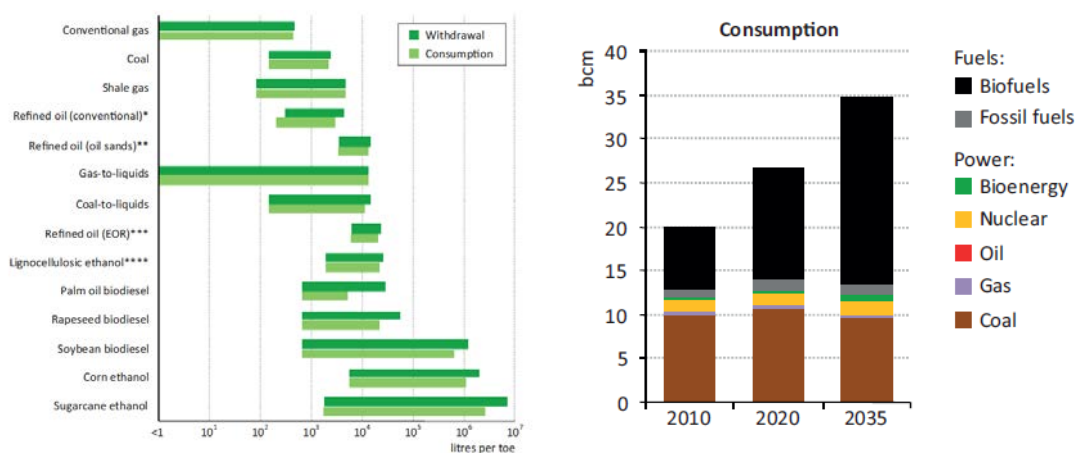
出典： USGS, ABC

### バイオエネルギーと水

エネルギー生産に関わる水としては化石燃料との関わりに意識が行きがちであるが、植物由来のバイオ燃料も水を大量に消費するエネルギーとして、今後は今まで以上に注意を払う必要が出てくる可能性が有る。バイオ燃料は原料となる農作物の栽培の他、燃料にする過程で水を消費する。一次エネルギー生産に必要な水量（図表 13）に目を向けると、バイオ燃料が突出している事が判る。サトウキビを原料としたバイオ燃料では、多い場合には同熱量の石炭やシェールガスの約 1~10 万倍の水を消費する。

COP21 でのパリ協定合意を受け、今後地球温暖化への取り組み強化が予測される中、バイオ燃料の急増は食料だけでなく水の安全保障の観点からの課題が懸念される。IEA の予測では 2035 年には、エネルギーに関わる水消費の約 6 割をバイオ燃料が占めており、今後のエネルギーと水との関係を大きく変える台風の目となる可能性が有る。

図表 13 一次エネルギー生産に必要な水と水消費シェア予測



出典：IEA, Water for Energy

### エネルギー生産と排水問題

エネルギー生産に相当の水が消費されているが、エネルギー生産が水の安全保障に与える影響はこれに留まらない。鉱山には伝統的に坑廃水の問題が有るが、石炭もこの例に漏れない。炭鉱では酸性鉱山廃水（AMD）が問題視される。これは廃石の中に含まれる黄鉄鉱等の硫化物が酸化した事で強い酸性を示す廃水である。通常は浄化処理が行われるが、そうでないケースもあり周辺地域の水の安全保障を大きく脅かしている。

また、シェール開発に於ける排水問題に関して、現在多くの議論が行われている。2013年、米国のシンクタンクがマセラス・シェール周辺の水質が悪化し、細かいごみのような浮遊物が増え、塩素化合物の濃度が高くなるとの研究結果を発表した。シェール生産の水圧破碎には化学物質を用いるが、その排水にはメタノール、ヒ素、ベンゼン、カドミウム、鉛、塩素、水銀等の有害物質の他、放射性物質であるラジウムが含まれる場合がある。報告された水質の悪化は、一部の汚染水が処理されないまま流出している事に加え、浄水施設に於いて塩素の除去が困難である点などが関係していると考えられる。

これは安全性の観点から水の安全保障に影響する。EPAは弱点があるとはしながらも、井戸が堅牢で排水が適切に処理<sup>65</sup>されていれば、フラッキングが飲料水へ広範な影響を与える事はないと公表<sup>66</sup>した。また、汚染を防止の為、帯水層よりも深い深度までサーフェスケーシングを実施する事は勿論、この他にも蒸留やROを用いて廃水浄化したフローバックの再利用、水の代わりにLPGを利用したフラッキング、廃水の地熱発電<sup>67</sup>への活用する研究、農

<sup>65</sup> 汚染水の処理に関しては、地中への高圧注入に因る地震の増加が懸念されており、米中部では2009年頃から地震が急増し、従来の5倍以上の頻度で地震が発生している

<sup>66</sup> EPA, EPA's Study of Hydraulic Fracturing for Oil and Gas and Its Potential Impact on Drinking Water Resources

<sup>67</sup> 1バレルの石油生産に7バレルの熱水が出ると言われ、これを熱源として発電する方式。既存の地熱発電機にパイプで送水する方式。全米の250億ガロンにも及ぶ廃水を利用できれば、石炭火力発電所3基分の発電が可能との試算が有る。ノースダコタのバッケンでプロジェクトが進められている

業用水への転用等、多くの対策がなされている。しかし、シェールのガス成分が溶け込んで、蛇口から出る水道水が引火する例が米国の各地で報告される中、ニューヨーク州、メリーランド州、バーモント州ではフラッキングを州全域で禁止している。フランス、ドイツ、ブルガリア等でも水圧破碎を法律で禁止している他、禁止していなくとも厳しい規制を課している地域が多数存在する。シェール開発と水の安全保障の問題は、話題を集めているトピックで、今後の議論の行方が注目される。

### 燃料運搬・加工と水

通常、化石燃料は採掘後に需要家の所まで運搬する必要がある。この場合に我々が想像するのは輸送に関わるエネルギー消費だが、ここでも水が使われるケースが有る。石炭スラリー（CWM）は固体である石炭の運搬コスト低減の為に、石炭を粉末状にした上で水<sup>68</sup>や添加剤を混ぜたものである。スラリー製造に石炭の半分程度の量の水が使用されるが、各種添加剤の開発に因ってより経済性の高い、高濃度で且つ低粘度のスラリー開発が進められている。石炭は固形のまま利用しようとした場合でも、運搬や貯蔵時に低温酸化の発熱から自然発火<sup>69</sup>したり、或いは粉塵が飛散したりする為、これらの予防に定期的に散水をして発火の予防措置を取っている。

石油は基本的に精製して使用するが、その際にも大量の水が必要となる。使用する水の量は条件によって異なるが、10の原油を精製するのに1~20程度の工業用水をボイラーや冷却塔の水として使用している。また、冷却水として海水をこの10倍程度使用している。EPAのデータでも、石油精製には石油の1~2.5倍程度の水を消費しているとの指摘があり、全米で1日10~20億ガロンの水が石油精製に使用されている。

また、オイルサンドの場合、水と燃料を使って砂と油を分離する必要がある、その抽出と加工に大量の水が使用されている。IEAのデータによると、10のオイルを抽出するのに約5~60の水を消費している。但し、油層内回収法<sup>70</sup>の場合は20程度と大幅に節約が可能である。オイルサンドにはシェールと同様に、加工に過程で出てくる油、化学薬品を含む廃水処理の問題が有る。オイルサンドの生産がさかんなカナダ等では、オイルサンドの増産と同時に問題への対処の必要性が高まると考えられ、日立や明電舎などは油水分離システムや水処理膜の事業や実験を現地で展開している。以上の様に、エネルギーはその加工に際しても多くの場面で水を消費しているのである。

### 中国石炭産業と水

此処までのエネルギーと水の議論を踏まえて、中国の石炭化学産業の例をここで1つ取り挙げたい。中国では一次エネルギーに於ける石炭消費の割合が圧倒的に多く、これが国内の環境問題に繋がっているとの認識が強い。これに対して石炭ガス化（CTG）、石炭液化

<sup>68</sup> 水の代わりに石油（重油）を混ぜるものもあるが、安全性の観点から基本的に水が使用される

<sup>69</sup> 2003年、赤穂セメント工場。2011年と2013年、磯子火力発電所で火災が発生している

<sup>70</sup> オイルサンドを採掘せずにその場で水蒸気の熱などで油分を抽出する。in-situ recovery method

(CTL) 等が主要な対策<sup>71</sup>の1つとして採られてきた。しかしながら、石炭液化には1tの最終製品を作る為に4tの石炭に加え、10t以上の水が消費され、約5tの汚水が排出される<sup>72</sup>。中国で石炭の埋蔵量が多いのは圧倒的に北部で、山西省、陝西省、内蒙古自治区の3地方で全体の約6割以上を占め、実際の生産量に於いてもこれらの地域が突出している。一方、水資源が多いのは長江流域を中心とした南部である。ここでエネルギー、環境、水という3つの要素が解決困難な難問に繋がるであろう事は直感的に判るだろう。

神華集団は1995年設立された中央企業で、石炭液化や石炭化学工業を中心に事業展開する、中国で最大、世界でも有数<sup>73</sup>の石炭企業である。本企業が、内蒙古自治区のオルドスで神華 CTL プロジェクトを行っている。このプロジェクトはオルドスから近い、陝西省の神東炭田の石炭を使ってCTLを行うものであった。2004年に建設が開始され、2008年に中国唯一の大規模 CTL として運転を開始した。このプロジェクトは水を大量に使用するもので、神華集団の報告書によると年660万t、地方政府の主張では年1,000万t<sup>74</sup>の取水を必要とした。当地では周辺で石炭の採掘も行われており、ここでも多くの水が使われていた為にCTLに必要な水が十分に得られなかった。2006年、100km程離れた浩勒報吉へ採水の拠点を移し、そこからのパイプライン送水で水を調達する事とした。だが、そこでも大量の水を消費し、地下水の水位が場所によっては100mも低下した。多くの農民<sup>75</sup>は井戸が使えなくなり、同地域の蘇貝淖爾湖が60%以上縮小、植生を始めとする附近の生態系を著しく傷つける結果<sup>76</sup>となった。このプロジェクトの問題点を批判するのは容易である。確かに問題はあろう。だが、世界でも有数の経済成長率を背景に急増するエネルギー需要を前に、石炭による大気汚染、地方経済の活性化等、他の重要な課題との間のジレンマへの洞察なしに、プロジェクトの問題点を論ずる事は不当であろう。中国環境保護部は2015年12月、石炭化学の参入条件試案を通知しているが、この中でCTLプロジェクトの規制に関して、大都市の他に水の欠如した地域での規制厳格化を明言しているだけでなく、地下水の利用を制限する他、節水に関しても多くの条件を加えている。

## 水力発電と水

電力は現代社会にとって重要なエネルギーとなっているが、この発電にも水が大いに関わっている。水と発電の語から即座に連想されるのは、河川の高低差を活用した水力発電、或いは波力や潮力を始めとした海洋発電であろう。水力発電は世界の年間電力発電量約22兆kWhの約16%を水力発電が占めており、これは石炭火力、天然ガス火力に次ぎ、原子力よ

<sup>71</sup> この他に低品位炭(LRC)の活用、地域経済の活性化などの狙いもあると考えられる

<sup>72</sup> この他に電力消費も500~2000kWh/t程度になるというデータが有る

<sup>73</sup> Arch Coal, Inc.のデータによると2012年時点では世界第2位。1位はコール・インディア

<sup>74</sup> 採水量に関しては企業側と研究所の間に大きな差があるが地下水の性質上確定は困難である

<sup>75</sup> 地方では農民や遊牧民が移住もしくは退去させられるケースがある。例えば内蒙古自治区の西烏珠穆沁旗の烏蘭図嘎嘎查では炭鉱の外郭か1kmを禁牧地区に設定し、この地域に基礎を置く牧民を都市へ移住させたことが、那木拉の『内モンゴル草原における大規模炭田開発構造の特徴』に記されている。

<sup>76</sup> 神華集団は排水の大部分を再利用または無害化しており環境汚染はないと主張している

りも大きい第3番目の構成割合となっている。規模が大きいものでは、例えば中国の三峡ダム<sup>77</sup>の水力発電所の発電容量は2,250万kW<sup>78</sup>である。水力発電は循環型で環境負荷が少ないクリーンなエネルギーで、世界における未開発のポテンシャルはまだ相当に大きいと考えられている。また、ダム式水力発電の場合、洪水と渇水の防止<sup>79</sup>といった水の安全保障の観点からも重要な役割を担っており、エネルギーと水の両面から意義が認められる。一方、建設に関わる費用と期間の問題、生態系<sup>80</sup>への影響、ダムによる事故の誘発、ダムからの送電線に関わるコスト等の課題が指摘されている。だが、水は循環して天から雨として降って来る為、その膨大な位置エネルギーを有効に利用する事は、エネルギー問題にとっても重要な鍵である。

## 発電と水

発電所の多くは水にエネルギーを媒介させ、水蒸気タービンを回転させる事で発電している。また、冷却にも多くの場合水が使われている。この原理は原子力発電所や地熱発電所でも同様である。つまり風力や太陽光などを除いて、ほとんどの発電には何らかの形で水が使われている。例えば、原子力発電所では大きさにもよるが、冷却用に1日2500t程度の水が使用されている。日本の場合、発電所が沿岸にあるのは海水でこの冷却水を賄うためであるが、もし内陸に原子力発電所を作るのであれば河川や地下水を利用する必要がある。また、石炭火力発電も水を大量に消費し、50万kW程度の発電所でも1日3,000t程度の水を消費する。発電所が内陸に位置し冷却塔を使用する場合であれば、この数字は10～15倍程度にまで増加する。発電の太宗を火力、原子力、水力に依存している場合、水無しでは発電は不可能と言っても過言ではないのである。

---

<sup>77</sup> 尤も、このダムの主目的は水力発電ではなく、西側諸国の文献では250～400万人の犠牲者が出た事もある、発生頻度が高く被害が大規模になりがちな長江の洪水抑制であった

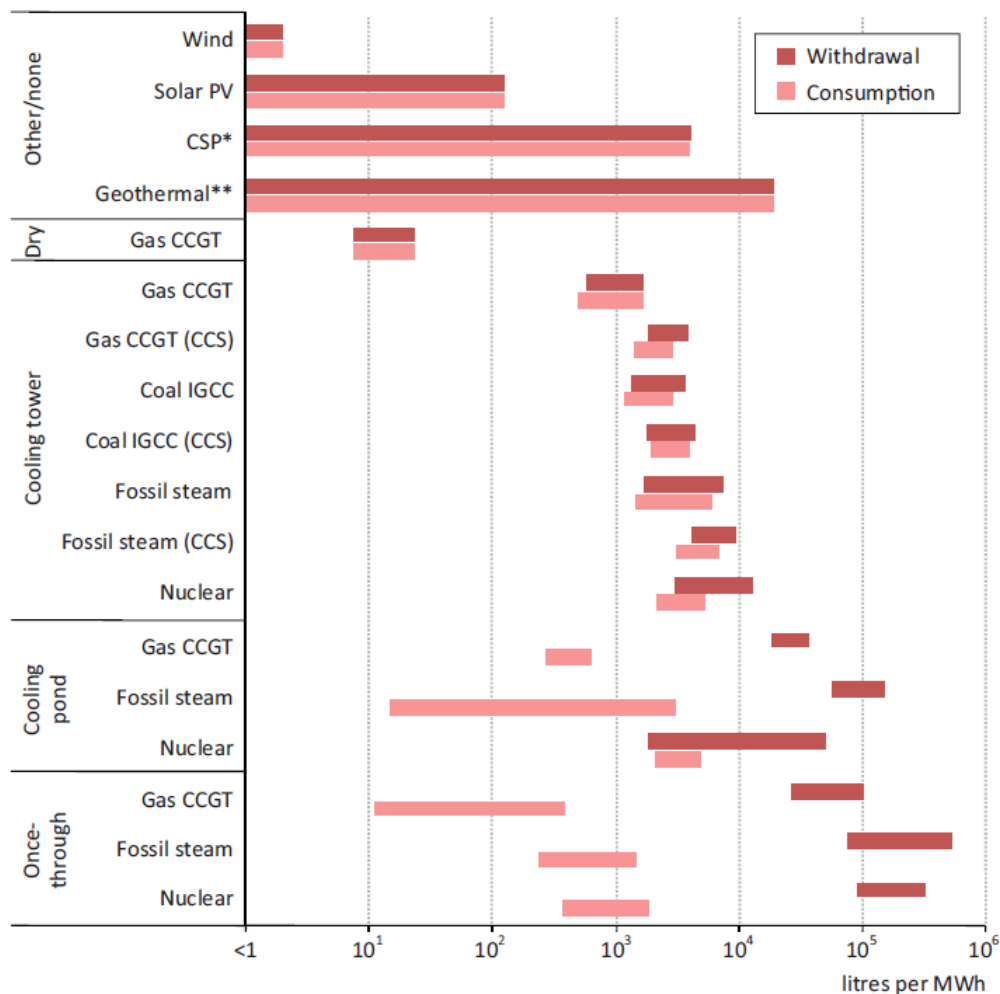
<sup>78</sup> AFP通信、中国・三峡ダムが全面稼働、発電量は原発15基分

<sup>79</sup> 洪水・渇水防止の効果を疑問視する専門家も存在する。また降雨傾向の変化も対応を困難にしている

<sup>80</sup> 河口の海岸線後退、上流部での洪水多発の他、河川及びその周辺に生息する生物への影響が指摘される



図表 14 発電冷却に於ける水消費



出典：IEA, Water for Energy

### 水不足と停電

インドでは電力不足が深刻である事が指摘されるが、人口の増加と共に水の供給も厳しくなっており、水不足によって石炭火力発電所の停止に繋がるケース<sup>81</sup>が近年見られる。水は農業にとっても重要な資源である為、2007年、オリッサで増加を続ける工業用水に対して農民約3万人が抗議行動を起こし大きな話題となった。結果として州政府は大規模発電所に対して冷却水として海水を使用するように求めた。水資源の不足は、ブラジルやミャンマーの様に水力発電を主体としている国とは別の構造で、同様に計画停電を引き起こす事がある。例えば2015年、台湾で水不足による電力制限の危機があった。この際、エネルギー局の呉玉珍副局長は理由として、水不足による給水制限で水力発電が使えない事だけでなく、冷却水を使用する火力発電所の発電効率の低下を挙げた。水が不足する時は温

<sup>81</sup> NDTV, Maharashtra: Parli power plant shuts down after severe water crisis  
THE TIMES OF INDIA, Water scarcity may hit power supply

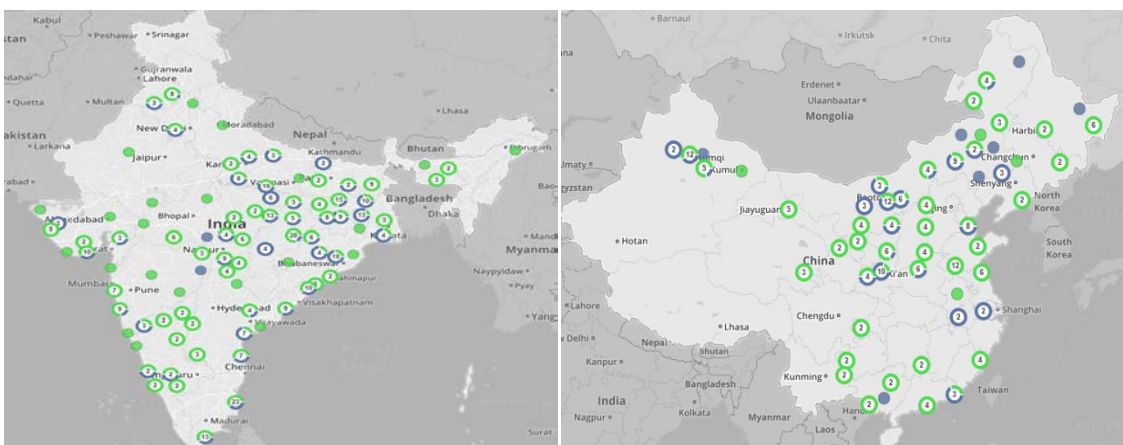
度が高く降雨が少ない事が多い。そうすると冷房や灌漑用のポンプの使用が増加する為により多くの電力が必要な状態となる。その一方で水が不足すると水力発電の出力が低下するだけでなく、冷却水不足及び過熱によって火力発電の発電効率が低下するために、電力不足がより深刻な状態となる訳である。

### 水とエネルギーの安全保障

ミャンマーやスリランカ等の様に水力発電の発電構成量が多い国では、安定供給の為に火力発電所の建設計画が見られる。しかし、エネルギー安全保障の為に、単純に水力を避けて石炭火力を推進する事は本当に良い事なのかは難しい問題である。確かに、一般的な状態であれば、火力発電の方が出力調整が容易である事は間違いない。しかし、中国のCTLの例で見たように、石炭事業の推進は水不足を助長し、環境を破壊する危険性がある。実際、ヴァーヘニンゲン大学と IIASA の共同研究チームによると、温室効果によってもたらされる水不足のインパクトは、水温上昇も手伝って、水力発電より寧ろ火力発電にとって広範なものとなるであろうと分析をしている。

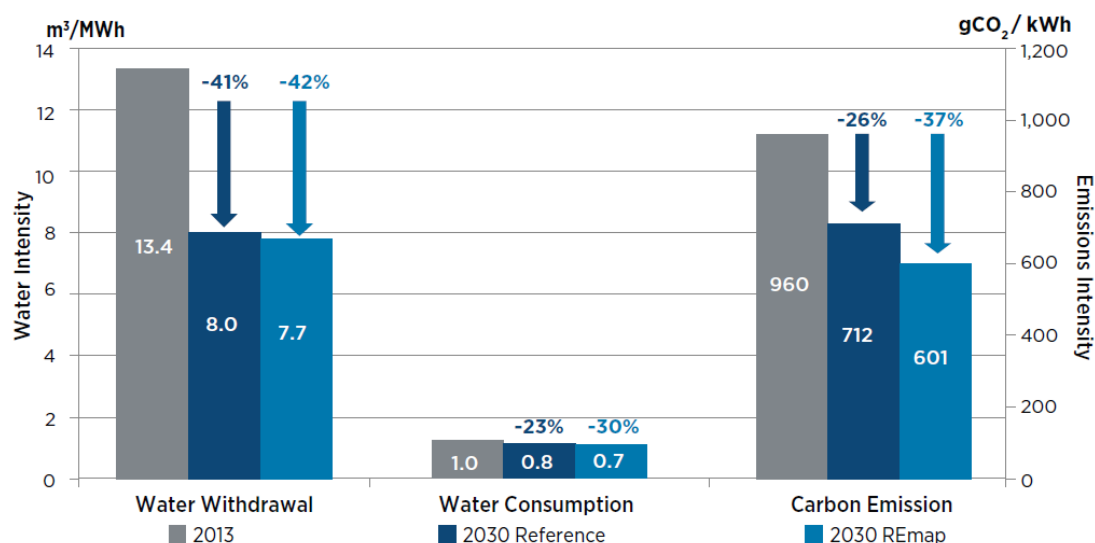
水の火力発電への影響は目に見える形で現れている。石炭火力発電の増加傾向は変わらないが、予定されていた石炭プラント建設の中止や遅延が発生している。これは全世界的な傾向ではあるものの、インドと中国ではその数が際立って大きい。インドに於ける石炭火力発電所建設に対する最も大きな阻害要因は市民の反対運動だと言われている。反対の理由には環境破壊を理由とするものが一般的であるが、その中でも灌漑用水の枯渇や水質汚染に伴う農業や漁業への悪影響が主要な理由となっている。これによって、インドでは完成したプラントよりも中止や遅延されたプラントの方が多いという現象が起きている。石炭の採掘に関しても同様に禁止されるケースが見られ、環境だけでなく水も同様にエネルギーのチョークポイントになり得るという認識が必要だ。

図表 15 2010年以降に中止・遅延された石炭プラント



出典：Coal Swarm

図表 16 中国の発電に於ける水消費効率の予測



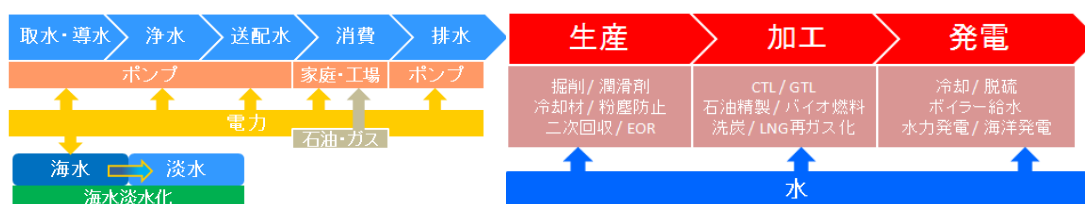
出典：IRENA, WATER USE IN CHINA'S POWER SECTOR

水不足への対策の基本は貯水である。一般的な火力発電所には上水・純粋タンクを設置する事で有事の際の水供給の確保を図っている。しかし、今後はそれだけでは根本的な問題解決とはならない可能性が出てくる。積極的な対策として水の消費を抑える、或いは無くす方法も検討すべきだろう。例えば、発電所の冷却で多くの水が使われる事は既述の通りであるが、中国では空冷の火力発電所の建設も進めており、新規案件の3分の1程度にこの技術<sup>82</sup>が使われている。但し、乾式冷却技術の課題として発電効率が落ちる問題があり、燃料使用量の増加に繋がる為、エネルギー効率の向上は今後の大きな課題である。また、太陽光発電や風力発電の推進は化石燃料の使用量、脱硫や冷却に関わる水消費の減少を通じて、水の安全保障に大きく貢献するであろう。(図表 16) また、水を所与の条件として考えるのではなく、水保全の観点から植林などへの投資で水を主体的に生産する観点も求められるだろう。これは最終的にエネルギー安全保障の観点からも重要な事である。

ここまで見てきたように、水はエネルギーにとって極めて重要な要素である。ほとんどのエネルギー源が生産、加工等の過程で水を消費している。今後アジアを中心に、エネルギー消費と水消費が共に増加していく事が予想される中で、水の安全保障の重要性はエネルギー安全保障の観点からも益々高まって行くだろう。また、両者は共に人間の生活にとっての必需品である事から、それぞれの供給リスクは人口増加や経済発展などに対するキャップとなる可能性があり、その意味で両者の将来を見据えた政策は、領域横断的に相互の政策により不可分な形で大きな影響を与え合う事となって行くであろう。

<sup>82</sup> この他冷却効率の向上や、循環式冷却システムなど節水技術の開発が続けられている

図表 17 水とエネルギーの相互依存



筆者作成

### おわりに

水とエネルギーは共に我々の生活にとって極めて重要な存在であるのみでなく、両者に多くの共通点があり、相互に影響し合っている事は本レポートに記した通りである。両分野の研究者が共同で研究作業を進める機会が増える事が望まれるが、仮にそういう機会が有ったとしても、それぞれ自らの専門分野の視点を離れる事は容易なことではない。これは何も水に限った話ではなく、この様な『水』的存在は無数に存在している事だろう。そしてその間には得も言われぬ断絶が厳として有る。

エネルギーにしても水にしても幅が広く、奥が深い。だが、社会が発展しそれぞれが扱う分野の範囲や規模が拡大する中で、他分野とオーバーラップする部分が増えてきている様に感じられる。安全保障、経済性、環境性、安全性と云った問題意識の枠組みは共有しているが、その意識の在り方はそれぞれ微妙に異なっている。この意識のずれはお互いに欠如した視点を授ける新たな知恵の源泉となるかもしれない。このレポートではそれら具体的な論点、課題に関して掘り下げる事は出来なかった。今後は全体像を踏まえつつ、特定の相互依存領域における意識の差異や、その克服の為の課題、他の領域との関連性に関してより詳細に問題点を明らかにしていく必要があるだろう。

もし今後、相互の重なりがより大きく強まるのだとするならば、水とエネルギーはそれぞれ独自に問題解決に取り組みながら、ある時にはその相互関係から、双方の問題を調和的に解決することを目指すことができるかもしれない。仮にそうなれば、それは音楽における崇高で美しいフーガが、多様な主旋律が不協和音を奏でることなく調和を持って聞く人に幸せを届けるのと同様、人類の将来に貢献する事だろう。

お問い合わせ：report@tky.ieej.or.jp