

第 1 部

なぜ地球規模水循環変動研究が必要か

1. 1 概要

地球規模水循環変動

「21世紀は水危機の時代」と言われている。そのもっとも大きな理由は、前世紀から続いている世界的な人口の急激な増加と人間活動の拡大である。CO₂など温室効果ガスの増加は、地球規模の気候変動をもたらし、水需要の増大に伴う水不足、廃水の増大に伴う水質汚濁と衛生問題、被災ポテンシャルの増大による水災害の激化、人間の生産・生活活動の拡大による自然生態系の破壊など、世界各地で水問題がますます深刻になっている。また、水問題が国際紛争の種になることも懸念されている。こうした水問題の解決のためには、水循環系と人間との関係の構造を明らかにし、両者の好ましい関係を築くという視点が重要と考える。

ここで“地球規模循環”とは、地球規模で起こっている気候変動や気候変化による水循環系の変動だけでなく、世界的な広がりの中で、各地域や各流域で起こっている様々な水循環系の変動を含んでいる。

国際的な動き

1992年にリオデジャネイロで開催された国連環境開発会議で採択された行動計画『アジェンダ 21』の第18章に『淡水資源の質と供給の保護』が謳われた。国連では、1997年の国連環境開発特別総会（いわゆるリオプラス5）で『アジェンダ 21の一層の実施のための計画』が議論され、第6回持続可能な開発のための委員会（1998年）では、『淡水管理への戦略的アプローチ』として1998～2002年の行動計画を議論している。

2000年に開催された国連ミレニアムサミットでは『ミレニアム開発目標』に「2015年までに、安全な飲料水を継続的に利用できない人々の割合を半減する。」という明確な行動目標が設定された。第一回世界水フォーラムが1997年にマラケシュで、2000年にはオランダのハーグで第2回世界水フォーラムが、また2003年には京都で第3回世界水フォーラムが開催され、世界の水に関わる政策決定者、学識専門家、技術者、企業、NGO等様々な立場の人々が一堂に会し、将来の水問題の解決についての議論が行われた。

2002年にヨハネスブルクで開催された「持続可能な開発のための世界サミット」と2003年エイビアンで開催された「G-8サミット」を踏まえて、2003年ワシントンにて第1回地球観測サミットが開催された。ここでは健全な政策決定のために時機を得た、品質の高い、長期の、地球規模の情報が必要とされ、包括的で、協調的で、持続的な地球観測システムの確立へむけて、調整機能を改善し、データ空白を最小にするための措置を、サミットへの参加国・機関が努力することが宣言された。地球観測に関する作業部会（GEO）が組織され、我が国は、米国、南アフリカ共和国、欧州委員会とともに共同議長国を務めることとなった。この作業の中で「全球的な水資源管理の向上及び、水循環の理解」はユーザー要求及び利用促進の面から重点項目のひとつに取り上げられている。

アジアの水循環変動

地球規模で水循環を見たとき、我が国の位置するアジア地域は、アジアモンスーンという気候条件と変動帯に位置する土地条件とを自然的な与件として、欧米等とは異なる多様な水問題を持っている。たとえば、降水の顕著な季節変動、沖積氾濫原への人口の集中と都市の立地、水田稲作を中心とした農業などに対応し、特有の水利用と水災害対策および水環境問題がある。

一方、アジア地域は、前世紀後半から急激な人口増加が続き、現在約 36 億人（世界人口の 60%）を養っている。2050 年にはさらに 17 億人増加すると予想されており、様々な水問題がますます深刻化している。湿潤アジアに位置し、世界的に稀な人口増加と深刻な水問題を経験した日本は、これらの問題の解決に貢献する資質を備えている。

水循環イニシャティブ

平成 13 年 3 月に閣議決定された、第二期科学技術基本計画（平成 13～17 年度）では、基礎研究の推進とともに、国家・社会的課題研究として、ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料の 4 分野の重点化が明示された。同年 9 月には、内閣府の下にある総合科学技術会議により、4 重点分野に関し、各分野別推進戦略が打ち出された。

環境分野に関しては、シナリオ主導型の研究の構築、総合的視点、社会科学と人文科学の融合、予見的・予防的な側面の重要性が指摘された。これを推進するため、環境分野では、5 つの研究イニシャティブが創設された。その 1 つが地球規模水循環変動研究イニシャティブである。

地球規模水循環変動研究イニシャティブは、地球規模での水資源需給・水循環変動とその影響を自然および社会の視点から予測し、国際的規模における最適な水管理手法を開発する事を目的として活動している。その目的を達成するためには、(a) 水情報を正しく把握し、(b) 科学的に信頼できるモデルを開発、それに基づいて、(c) 水循環変動による影響を評価し、(d) 変動に対して適切な対策を提示することが重要である。総合科学技術会議のイニシャティブにより、従来は個別に実施される傾向が強かった産官学の関係プロジェクトがこの 4 つのプログラムに統合化され、水問題の解決のための地球規模水循環変動研究が効率的に推進されている。

水循環観測体制の構築

水問題の解決を目指した研究を推進し、成果をあげるためには、効率的な観測体制の構築が必要である。このためには、観測に基づく水循環の実態の把握・変動メカニズムの解明・モデル並びに予測技術の開発から、食料増産や都市開発に伴う水利用・土地利用・災害リスク・水環境変化の実態の把握と将来予測・影響評価・対策シナリオ策定・技術開発まで、一貫した共同研究、技術開発、定常運用体制を構築する必要がある。

これにより、自然変動と社会的要因による変動の実態を明らかにし、それを包括的に記述するモデルを開発することによって予測能力を高め、社会的利益に資する水情報の創出が可能となる。また、全地球的な変動と、流域・局所的な変動を統合した観測・研究・技術開発あるいは定常観測体制を構築・推進することにより、広域変動が比較的ローカルな領域の水循環・水資源変動に与える影響を、また逆にローカルな影響が広域変動に与える影響を、双

方向的に把握・解明することが可能となる。

これらの課題に応えるため、衛星観測分野において、熱帯降雨観測衛星(TRMM)に搭載された降雨レーダによって高精度の全球降水マップが作成されるとともに、米国衛星 Aqua に搭載された高性能マイクロ波放射計(AMSR-E)によって地域規模の高精度の土壌水分観測手法が開発された。我が国が世界に先駆けて開発したこれらの衛星センサによる地球規模水循環データが取得さるという目覚ましい成果を得た。また、衛星データの同化による現業の数値気象予報の精度向上において着実に進歩した知見が得られるとともに、地上および衛星観測データと数値気象予測モデル出力を組み合わせた地球規模水循環のペタバイトクラスのデータ統合・情報融合システムのプロトタイプが開発されるなど新たな成果も出始めている。

第3回地球観測サミットにて、「複数システムからなる全球地球観測システム(GEOSS)」を今後10年間にわたって国際協力の下で整備していくことを謳った実施計画文書が決議された。GEOSSの目的は、地球の状態の監視を改善し、地球プロセスの理解を増進し、そして地球システムの振る舞いの予測を向上するために、包括的で調整され持続的な地球システムの観測を達成し、「水循環のより良い理解を通じた、水資源管理の向上」を含む9つの公共的利益分野への取り組みのための健全な意思決定の基礎となる高品質で、長期的な全球情報を適宜提供することである。

水循環変動予測のための数値モデル

水循環変動に関する数値モデル研究は、水循環やエネルギー輸送の変動あるいは関連する自然変動の機構解明と量的な予測を目指している。具体的には降水や蒸発散、河川流量・物質輸送の変動が予測対象である。これらの予測には人間による水利用の変動も考慮する必要もある。

洪水などの水災害の視点からは数時間から数十日といった短期の予測、水資源の有効利用の視点からは、数年から数十年といった長期の予測が求められる。長期予測では平均値だけではなく、洪水・渇水対策などのために、年々の確率的な変動幅の予測も重要である。空間的には、ダム・灌漑・土地利用など人間活動の影響予測を直接の目標とした地域・流域の数値モデルから、地球全体の気候変動を予測する数値モデルまで必要である。

水循環の数値モデルは蒸発散や降水を予測する大気モデルと河川流量、土壌水分等の陸面水収支を予測する陸面水文モデルによって構成されている。数値モデルにより水災害(洪水・渇水)や土砂災害のリスク、水質変化、生態系への影響、影響を最小に軽減するために必要な水管理施策などに関する情報が提供可能となる。

ここ数年間の研究の進展により、短期の予測を目指した気象モデル・水文モデルの開発や精度向上の研究分野では、アンサンブル予報の導入や衛星データ等のデータ同化などにより、数値予報の精度向上に確かな成果がみられた。地球シミュレータ等の大規模かつ高速計算能力の活用により、数値モデルの空間解像度を極めて高くすることが可能となり、流域規模の気候変動予測に道が開けつつある。さらに降水の予測に飛躍的な精度向上が期待されている雲解像の大気大循環モデルの構築も開始された。また地球温暖化に伴う気候変動が世界の水資源に及ぼす影響評価も可能になりつつある。

影響評価と対策シナリオ・技術開発

地球規模での水資源需給・水循環変動とその影響の予測は大気・陸面水文モデルによる変動予測だけでは、不十分である。これらは基本的には自然変動の予測を目指すモデルであり、人間社会への影響を評価するためには多様な人間社会と水との関わりそのものの理解が必要である。水循環の変動が人間社会へ与える影響や、人間の行為が水循環に及ぼす影響、さらに対策・技術との関わりとの理解が基本となる。たとえば、水循環の変動に関わる水問題は食料生産の問題でもあり、さらには農業だけではなく人間の生産システムの問題でもある。

水問題の構造的な理解には、問題の発生する地域や流域の水循環の変動を個々に理解して、それぞれの地域における解決に立ち向かうことがまず重要であろう。水循環の観測やメカニズムの把握に始まる地域的な水循環の理解と、人間社会との関わりとの評価の積み重ねが、長期的な問題の解決への基本となる。

人間社会への影響評価の観点からは、水循環と人間社会の相互作用とそのメカニズムを明確にするような定量的プロセス研究、予見的シナリオの分析的な研究が必要である。広範・的確な観測や、様々な局面を対象とする物理・化学・生物学的なプロセスモデル、さらには人間活動が水循環に及ぼす影響を表現できるモデルや社会経済モデルなどを相互に連携させ、政策提言に結びつくような研究を進めることが求められる。

こうした研究を、様々な地域や流域において、また特徴ある切り口で実施する中から、洪水・渇水・土砂流出が人間社会にもたらすリスク、水・物質循環に与える人間活動の影響評価の定量化が進み始め、アジアにおける多様な水利用・管理と食料生産の相互影響評価なども行えるようになってきている。さらに、これまでの知見を総合的に活用した気象予測情報をリアルタイムで流域水管理に反映させる手法なども開発され、実用に向かって確実に進んでいるといえよう。こうした試みや成果を確実に積み重ねることで、きちんとした評価に基づいた対策や技術の検討が行えるようになっていくものと考えられる。

影響評価と対策シナリオから見た我が国の水循環研究

我が国で進められている様々な研究を集計すると、研究の対象地域はアジアを中心にしつつ地球的広がりを持っているのが特徴である。また水の量に関わる問題への取り組みが多く、生態系、生物多様性に関わる問題への取り組みがこれに続いていることがわかる。一方、水の質にかかわる問題や食糧確保を中心とした国際的な課題への取り組みは、これらに比べやや少な目である。水に起因する社会問題を対象にしている研究はさらに少なくなり、たとえば、水と生活にかかわる女性の役割の問題への取り組みは現時点では計画されていない。また、水の質にかかわる問題であっても、自然災害時や医療における安全な水の確保も対象にされていない。ここからは、水循環現象との“距離”が小さい研究、生物多様性保全にかかわる研究が手厚く、逆に、水循環現象からの“距離”が大きくなる分野、あるいは水循環現象ともう一つの現象・事象との接点にかかわる分野が手薄になる傾向がうかがえる。

しかし、こうした分野の研究は「手薄」とはいえ、全く進んでいないのではない。水循環研究を総合的に進める上で、とくに情報や考察の統合化を急ぎ進めることが求められる領域として認識できるということである。また、アジアを中心に進められている水循環研究ではあるが、これまで開発途上国の河川流域では水問題と水循環の関係に関する情報が欠落・散在していたために、その情報の集積と問題の理解は十分ではなかった。しかし、上でも述べ

たように、近年では、関係研究者や研究機関、研究プロジェクトの努力によって、様々な制約の中でも情報の集積と問題の理解が着実に進められ、さらに、こうした努力と並行して、研究者と実務者のネットワークも少しずつ拡大・強化されているのである。こうした個別の地域や流域における問題の理解と総合的なアプローチが統合的水資源・流域管理の提案に活かされていくことになる。

