

### 1.3.4 地球規模水循環変動研究の意義

これまでに水循環と水問題の様々な側面や望ましい水管理へ向けての世界的な動向について述べてきた。ここでは、関連する用語の概念を整理するとともに、このように多様な水問題を「地球規模水循環変動研究」として捉える意義について述べる。

#### (1) 水循環システムとその変動という視点で捉える意味

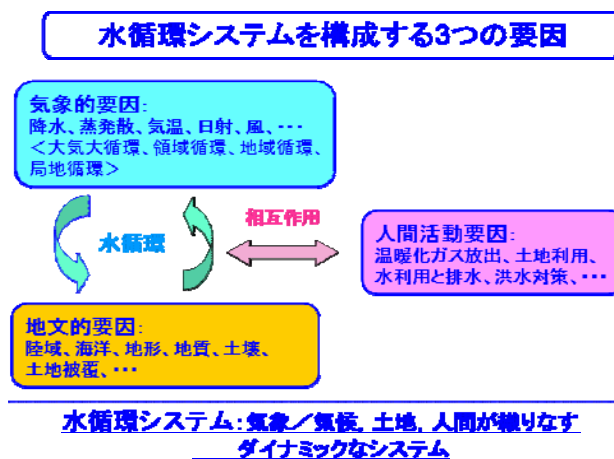
周知のように、水の存在の仕方の最も基本的特徴は、一部の化石水を除いて常に循環していることである。水の循環は種々の物質の循環をともなっており、人間を含む地球上のあらゆる生物が、その循環過程にある水と係わっている。そして、その循環の仕方の特徴として、次の2つが人間と水との係わりを考える上で重要である。

- 1) 自然現象として時間的・空間的に偏って変動する—ある時、ある場所に、集中的な豪雨があったり、あるいは逆に、少雨の期間が続くことなど—。
- 2) 人間活動によっても変化する—これについては以下に詳述。

水の循環は、【図1】に示すように、大別すると気象的要因と地文的要因そして人間活動要因によって構成され、さらにそれぞれの要因が多く要素によって構成されている。それら構成要素の複雑な相互関係を系統的に捉えようとする立場から、「水循環系」あるいは「水循環システム」という用語を使う。最も広い意味では、3つの要因を含めて水循環系とするのが適切である。ただし、人為的要因は気象的要因と地文的要因の中に与件としてすでに含まれているという立場から、人間活動要因は除いて気象的要因と地文的要因の2つで構成されるシステムを水循環系という場合も多い。例えば、「水循環系と人間との係わり」という表現は後者の立場である。

最も大規模で閉じた系をなすのが、地球規模の水循環である。その主な駆動力となっているのは、太陽エネルギー、地球の自転に伴うコリオリ力、それに重力の作用である。そうした駆動力の下に、地球上の海洋や陸域と大気圏、それぞれの多様な要素の相互作用により地球規模の水循環システムは構成されている。地球規模の水循環においても、氷河期、間氷期、温暖期と言った地球歴史的な気候変動による変化やエルニーニョのような数年周期の自然的な海水面温度変動による変化に加えて、特に今世紀後半の産業活動の飛躍的な拡大による二酸化炭素等の温室効果ガスの増加など、人為的影響が顕在化しつつある。

人間と直接的に係わりが深いのは、流域を単位とした水循環系である。流域には河川流域と地下水流域（地下水盆ともいう）があり、湿潤地帯では河川流域、乾燥地帯では地下水盆をそれぞれ単位とした水循環が重要である。



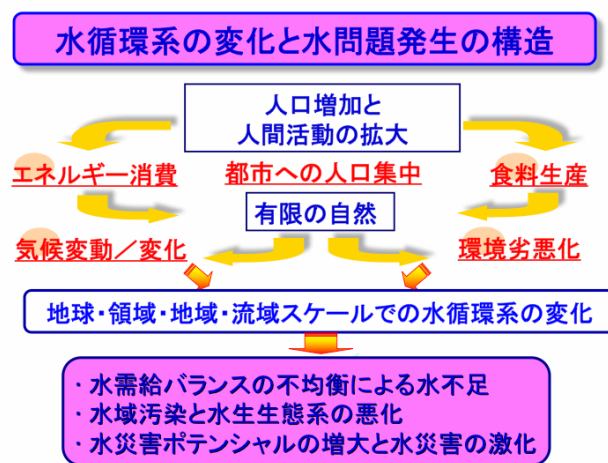
【図1】 水循環系を構成する3大要因

河川流域とは、分水界を境として降水が集まってくる区域を言う。流域では、地上に達した雨の一部は地中に浸透・保留され、地中に入りきれない部分は地表面を流れて河川に流入し、地下水となった成分の一部もゆっくりと河道に浸出して河川水を涵養する、また、地表付近に保留された水は蒸発と蒸散により大気に戻り再び降水の成因となる。こうした自然の水循環系に加えて、都市化や農地開発などの土地利用変化、ダムによる貯水、農業用水、生活用水、工業用水など各種用水の河川からの取水と排水、地下水の利用、築堤等の河川改修など、河川流域には様々な人工的水循環要素が関与していること、言い換えれば、人間が水の循環過程に働きかけ、それを大きく変化させていること、また、変化した水循環系によって人間側が大きな影響を受けている。

特に 20 世紀後半からの始まった急激な人口増加と人間活動の拡大は、グローバルからリージョナル、ローカルに至る様々なスケールで水循環系に影響と変化を及ぼし、解決が必要な多様な水問題を発生させている

【図 2】。

具体的には、CO<sub>2</sub>等温室効果ガスの増加に伴う気候変動と水資源の季節的・地域的分布の地球規模での変化、森林伐採や都市化の拡大による水環境の劣悪化と水災害の激化、安全な飲料水へのアクセスの不足、食糧生産のための水需要の増大と水不足、地下水の枯渇、水域生態系の保全・回復などの問題である。



【図 2】 水循環系の変化と水問題発生構造

人口増加による水需要の増大は水不足の頻度を高め、氾濫原における社会経済活動の展開と資産の集中は水害の危険度を押し上げている。一方で、水循環は季節内、季節間、年々、あるいはそれより長い時間スケールで自然的に変動している。社会的要因により水災害のリスクが増大する中で、水循環の大きな自然変動(極端事象)が生じると大災害が発生する。また、温室効果ガスや微細粒子 (エアロゾル) の大気への放出や大規模な土地利用の改変によって水循環の平均的な場とその変動性が変化しており、それが様々なスケールの水問題に大きな影響を与えている。

このように、水問題は水循環系の変動と人間との係わりの中で生じている。これが、この研究領域のキーワードを「水循環変動」とした理由である。そして、各種の水問題を人間活動と水循環系変動との相互作用の連鎖の中で追跡することにより、系統的、総合的に水問題発生構造を捉えることができ、人間と水循環系との好ましい関係を模索するためのヒントが得られる。水問題を水循環系の変動という視点で見る重要な意義がここにある。

(2) 「地球規模」で捉える意味と意義

前項で述べたように、最も大きく閉じた系をなすのが、地球規模の水循環であり、これは大気・海洋大循環と連動して起こっている。近年の気候変動研究の時空間解像

度の向上により、地球規模で生じている変動が地域／流域規模レベルでの水循環変動に及ぼす影響をかなりの確からしさを評価できるようになった。特にここ1、2年の間に、わが国の気象分野では地球シミュレータの活用によって、日本とその周辺においても、地球温暖化による気候変動が季節別あるいは月別降水量さらに日単位降水強度などの水循環要素に与える影響を科学的に議論（例えば、水文・水資源学会、2005）できるようになったのは、画期的である。わが国でも、地域／流域レベルの洪水や渇水などへの対応に地球規模の水循環変動の影響を取り入れる時代に入った。つまり、水管理において、地球規模の水循環変動を考慮に入れることができる段階に達しつつあるといえる。

一方、これまで述べてきたように、人口の増加と人間活動の拡大によって、人間活動が水循環系に好ましくない影響を及ぼし、また水循環変動が人間活動に悪影響を与えるという水循環変動と人間活動との相互作用の中で、世界各地で様々な水問題が起こっている。「地球規模水循環変動研究」では、このように「世界的な広がり」で地域／流域／局地レベルで生じている水問題を研究の対象として含んでいる。つまり、日本国内はもちろん、世界とりわけアジアの様々な水問題について、1.3.3に述べた国際協力の視野の中でそれらの改善と解決に向けて科学技術面から有効に貢献することを目指している。

### (3) 地球規模水循環変動研究の多様性を踏まえた総合的なアプローチ

これまで見てきたように、地球規模水循環変動は、きわめて多様な側面を含んでいる。その多様性の理解なしには研究の総合化は図れないという考えから、多様性の中身について整理を試みる。

【図3】は、【図1】にそれぞれの要因の多様性に関するコメントを付けたものである。気象的要因では、大気大循環から地域／局地循環にいたる空間スケールをカバーし、熱帯から寒帯、あるいは湿潤地帯から乾燥地帯まで様々な異なる気候条件を含んでいる。地文的要因では、海洋と陸域といった大区分からローカルな土地条件まで様々なスケールをもっているし、陸域においては、地形・地質、土壌、植生や土地利用による土地被覆の違いによって異なる水循環形態が現れる。人間活動要因は、それぞれが多様性に富んだ気象的要因と地文的要因とを含んで構成される水循環系への人間の働きかけであり、地域により、また、地域社会の発展段階すなわち時代によっても様々な違いがある。



【図3】 水循環変動と水問題の多様性

したがって、これら3つの要因からなる水循環系は、きわめて複雑で多様性に富んだ研究対象といえる。

水循環変動と水問題に関する研究の多様性は、研究対象として含まれる様々な問題が異なる性格を持っていることに起因している。それらの性格の違いを、普遍性／一般性、地域性、個別性に分けて説明するのが、ひとつの方法であろう。

例えば、気候変動や水循環変動の物理的メカニズムやモデリングに関する研究では、空間スケールによって、また対象とする地域の気候条件と土地条件の違いによって、どの物理則が卓越するか、あるいはどのようなパラメータを採用するかに違いはあるものの、普遍性／一般性を追求する立場が強いと考えられる。しかし、一般性を追求しているとはいえ、現象が極めて複雑な要素からなっているために、研究者の立場によって現象に対する解釈とモデリングに違いがあるのも事実である。

また、水利用、水環境、水災害等に係わるグローバルなデータセットを構築し、それらを用いて統一的な基準のもとに、地球規模で水循環と水資源や水災害との関係性を評価する研究などのように、世界の水問題を俯瞰する研究は、地球全体としての問題の広がりとその解決へ向けての包括的な方向性を理解するうえで重要である。

これに対して、水問題の発生プロセスの解明や問題解決へのアプローチに関する研究では、第3回世界水フォーラム閣僚宣言で指摘されたような世界の水問題の分類などに関する共通認識に一種の一般性は認められるが、地域的な特徴や条件に対する認識が極めて重要である。

例えば、日本を含むアジアの水循環変動や水問題が、欧米やアフリカ・中近東とは異なる地域的特徴をもっていることについては異論がないであろう。アジアの水循環系の地域性については、【図1】の3つの要因それぞれに対する特徴を検討することによって、「モンスーン・アジア変動帯」という水文地域区分が提案されている(虫明ら、2002)。すなわち、アジアの特徴を表す気象的要因としては、従来から指摘されているように、明瞭な雨季と乾季を示し、雨季にアジア大陸縁辺部や島嶼国に世界的にも稀な湿潤多雨をもたらすアジア・モンスーンという気候条件が重要である。それに加えて、地文的要因として、地震活動と火山活動をともなうプレートテクトニック運動によって形成された脆弱な山岳地帯とその下流に洪水氾濫によって形成された沖積平野を持つという変動帯特有の土地条件が、欧米の大陸内部やアフリカ大陸内部の安定帯とは異なる土地利用や水に関わる災害を生じさせている。典型的な例が、沖積低地における水田稲作農業の発展とそこへの集落、町、大都市の立地である。モンスーン・アジアには、山腹傾斜地農業と山地崩壊、地すべり、土石流などの山地災害、水田農業と水管理、氾濫低地への人口集中の問題など、この地域に共通な水問題がある。

このようなモンスーン・アジアの水問題といったマクロな地域性の下に、それぞれの国やさらに細かな地域に特有な水問題、つまり個別的な水問題がある。研究対象が特定のより具体的な水問題の理解とその解決へのアプローチに向かえば向かうほど、普遍性や地域的共通性とは離れた、個別性の強い課題が重要となる。これは医学で言えば、臨床医学に譬えられるであろう。難病を治療するには、個々の患者の病状を的確に診断し、それぞれの患部の治癒だけを考えるのではなく、ひとつの生命体として捉えた適切な処方が必要である。これには、様々な診断技術とともに、種々の医学分野を統合した知見が必要である。地球規模水循環変動研究においても、特定の事例を対象とした問題解決型の研究では、“様々な分野の知見を統合して”その事例に特有な

地域的／個別的課題を理解し、その解決策を探求することに対して重要な価値尺度を置くことが大切である。

“様々の分野の知見を統合して”と言ったが、これが、この地球規模水循環変動研究イニシアティブの多様性のもうひとつの側面である。すなわち、特に水問題の発生や解決へのアプローチに関する研究においては、自然科学や工学だけでなく、様々な人文社会科学、例えば、法学、経済学、社会学、行政学、経営学、心理学などの立場からのアプローチが不可欠であり、それらを研究目的に則して如何に有効に統合化できるかが重要である。

この研究イニシアティブでは、普遍性／一般性を追及する研究、地域性を明らかにする研究、個別的問題の理解と解決策に関わる研究など、性格とレベルが異なる様々な研究の意義と役割を的確に認識し、自然科学・工学と人文社会科学からの多様なアプローチを適切に統合化させることが肝要である。

## 参考文献

国土交通省土地・水資源局水資源部（2004）：平成16年版日本の水資源

虫明功臣ほか（2002）：グローバルな水問題、水分野援助研究会報告---途上国への水問題の対応、国際協力事業団・国際協力研修所，2002年11月

Riota Nakamura(2004) : Development of Sustainable Agriculture Founded on Rice, Water and Living Environment, World Rice Research Conference 2004 Abstract, 5-7 November 2004, Tsukuba International Congress Center, pp.4-9

世界水アセスメント計画（2003）：国連世界水発展報告書

「水土の知」を語る・第3巻編集・執筆委員会（小林英一郎・山岡和純他）（2003）：水土の知を語る Vol.3—世界的な水議論の場への日本／アジアからの発信，（財）日本農業土木総合研究所，pp. 37, 39, 42-52, 99-102

水文・水資源学会（2005）：気候変動が水資源に与える影響評価研究調査、平成16年度国土交通省委託業務成果報告書

寶 馨（2004）：世界の水問題の動向と研究展望、土木学会論文集 No.761/11-67、pp.1-18

