

水と社会の相互作用に関する 研究の世界的動向と日本の特徴

中村 晋一郎¹

¹正会員 名古屋大学専任講師 工学研究科土木工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail: shinichiro@civil.nagoya-u.ac.jp

西洋文明の近代化とその世界への波及とともに、人々の生活や経済活動は自然環境へ多大な影響を与えるようになった。いまやその活動は、地球全体の気象・水循環システムへと影響を及ぼすほどまで拡大・膨張を続けている。地域社会においても、水資源管理の近代化とともに地域風土に根差した元来の水管理手法とそれを支えた自治は衰退し、水循環は高度なインフラシステムの一部として管理されるようになった。今後、持続可能な水管理を検討するためには、以上のような長期的且つ連続的な水と社会の相互関係を理解する必要がある。近年では欧米を中心として水と社会の相互関係を扱う研究が盛んに行われている。本論では水と社会の相互関係に関する研究の世界的動向を整理するとともに、そこから日本の水管理の特徴と研究的課題を導き出すことを目的とする。

Key Words: socio-hydrology, human-water system, review, Japan

1. はじめに

西洋文明の近代化とその世界への波及とともに、人々の生活や経済活動は自然環境へ多大な影響を与えるようになった。いまやその活動は、地球全体の気象・水循環システムへまで影響を及ぼすほどに拡大・膨張を続けている。地盤沈下、淡水の塩水化、河川上下流での水争いそして紛争、森林減少や降水パターンの変化に伴う流出量の変化といった、水に関する課題群は世界各国で報告されている¹⁾。

日本においても、水資源管理の急激な近代化とともに地域風土に根差した元来の管理手法とそれを支えた自治は衰退し、水資源は近代インフラシステムの一部として管理・利用されるようになり、上に挙げたような課題が各地で観察されている²⁾。今後、地域における持続可能な水管理を検討するためには、以上のような人間社会が水循環へ与えるもしくは与えてきた影響を、長期的且つ人間社会と水循環の相互的な関係の中で理解する必要がある。

近年、欧米を中心として人間社会と水循環の相互関係を扱う研究が盛んに行われるようになってきており、特に 2010 年代に入り Sivaparan らを中心に「社会水文学」

(socio-hydrology) が提案されて以降³⁾、人間活動と水循環の相互関係を中心課題として扱う研究・学問分野が体系化されつつある。これらの一連の関連研究は日本の水

循環や水資源管理を考える上でも、極めて有益と考えられる。

一方でアジアモンスーン域に位置し、過去 1 世紀で急激な近代化を果たした日本において、社会水文学に関する事象は欧米諸国で観察されているそれとは異なると考えられ、既往研究で指摘された欧米各国での現象やその観察によって構築されたモデルが日本へどの程度適用・応用可能かについて検証が必要である。

そこで本論では水と社会の相互関係に関する研究の世界的動向を整理するとともに、そこから日本の水循環・水管理の特徴と研究課題を導出することを目的とする。社会水文学については、Pande and Sivapalan (2016)⁴⁾、Blair and Buytaert (2016)⁵⁾といった総論が既出であることから詳細はこれらの論文に譲ることとし、本論の前半では社会水文学の特徴を概説した上で、洪水に関する特徴的な研究事例とその学問体系系を紹介する。そして後半において、社会水文学のこれまでの展開を踏まえた上で、日本における社会水文学研究の可能性と課題について考察する。

2. 社会水文学とは何か？

(1) これまでの水文学と社会水文学の違い

水文学とは、「地球の水を扱う科学、その発生、循環、分布、その物理的および化学的特性、またそれら特性の

人間活動への反応を含めての物理的および生物的環境との相互作用を扱う科学である。すなわち水文学は地球上の水のサイクルのすべての歴史をカバーする分野」として定義されている⁹⁾。水文学は、元来、自然現象としての水循環に合わせて、その人間活動への反応や生物環境を扱う学問であり、これまでも水文社会学 (hydrosociology) や水文経済学 (hydroeconomics) といった、人間活動と水循環を関連付けた研究が行われてきた。水文社会学は、自然現象としての水循環が社会へと与える影響 (例えば、洪水が起こると地域はどのように対応するかなど) を主題として扱い⁷⁾、水文経済学は、地下水とインフラの統合的利用⁸⁾、環境用水の費用対効果⁹⁾、そして水源涵養とインフラ拡張の最適化¹⁰⁾といった、水システムの経済利用への最適化とその運用について研究が行われてきた。

以上のような既往研究では、水管理という人間活動の中に水システムを取り込み、それを管理 (操作) 可能にすることを主な目的として行われてきたとよい。よって、このような研究では、例えば、ダムを建設したら河川環境や社会へどのような影響があるのか、水質を改善したら社会経済へどのような影響があるのか、といった「もし~したら (what if)」というシナリオにもとづく分析が主体である。これらのシナリオは「外因的」、すなわち所与の境界条件として与えられている点に特徴がある。

しかし、実現現象がシナリオ通りには進まないことは歴史的に自明である。例えば、ダムを建設したら河川環境が変わるが、その河川環境を改善するための別の対策や活動が実施されたりダムの運用方法が改善され、河川環境が再び変わる。つまり、人間活動は水循環を変えるが、水循環が変わると人間活動が変わるといった相互間のフィードバックが存在する。実現現象としての水管理や水循環を長期的な視程で捉える際、このような人間活動と水循環を一体的に捉え、それらの相互のフィードバックを考慮する必要がある。社会水文学の試みとは、このような人間と水循環を一体的に捉え、それらの相互のフィードバックを「内在化 (シナリオの自己生成)」することに他ならない (以降、人間活動と水循環の総体を「人間-水システム」と呼ぶ)。この社会水文学の概念とこれまでの水文学を比較すると図 1 のようになる。

(2) 社会水文学研究の事例

以上で述べたような社会水文学研究の特徴を具体的に見るために、洪水管理の分野で知られている Levee Effect に関する研究事例を紹介する。Levee Effect とは、堤防を設置することで氾濫原の浸水頻度が下がり、氾濫原内の開発行為が促進され氾濫原の脆弱性が高まり、より高い治水安全度が必要になって更なる堤防の嵩上げや新設を

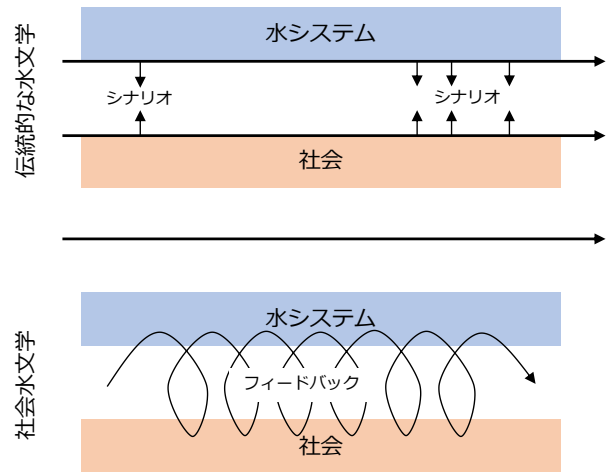


図-1 社会水文学とこれまでの水文学との違い (参考文献 11) を筆者改変

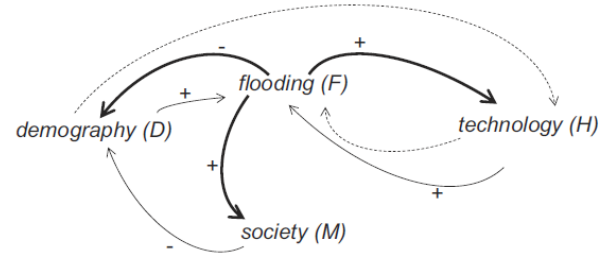


図-2 Di Baldassarre ら¹¹⁾による Levee Effect を考慮した洪水-技術-人口-社会のループモデル

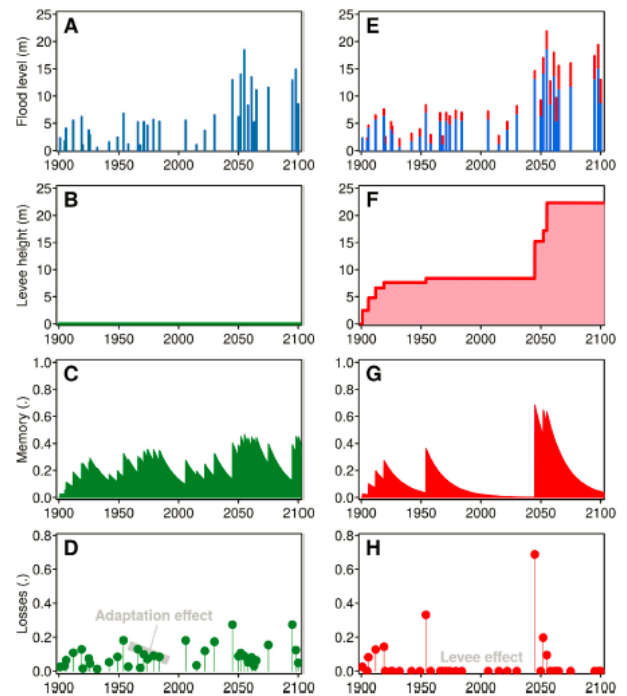


図-3 Di Baldassarre ら¹¹⁾による Levee Effect を考慮した各要素の推計結果 (左 A~D: 緑の社会, 右 E~H: 技術の社会, 上から順に洪水水位, 堤防高, 記憶, 被害を示している)

行うという、人間活動と洪水の相互関係を伴う代表的な現象である。この現象は 1940 年代に White によってミシシッピ川での観測をもとに報告され¹²⁾、世界的に認められるようになった。

Di Baldassarre らはこの Levee Effect に着目し社会水文学のアプローチにより説明することを一連の研究の中で試みている¹¹⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。Di Baldassarre らは各国の事例を参照することで Levee Effect を図 2 のようなループモデルとして整理した。このモデルは洪水 (flood)、技術 (technology)、人口 (demography)、社会 (society) という 4 要素から構成されており、それぞれ、年最大洪水位、堤防高、氾濫原内の人口密度、社会の洪水への記憶という数値指標へと代替される。それぞれの要素は相互関係にあり、例えば、洪水が発生すると堤防が高くなり、洪水頻度が下がり、社会の洪水への記憶が失われ、氾濫原の人口が増加し脆弱性が増加する、そしてさらなる堤防が嵩上げされる、といったようなサイクルを説明している。それぞれの要素間の関係は数値式で表現される。

Di Baldassarre (2015)¹¹⁾ではこのモデルを用いて、堤防のない「緑の社会 (green society)」と堤防のある「技術の社会 (technological society)」という二つの仮想社会において、それぞれの要素の長期変動をシミュレートした (図-3)。洪水位は両方の社会において同じインプットを用いているが、技術の社会の洪水位が年々増加しているのは堤防整備による洪水量の増加分 (赤色) を加味している。緑の社会には堤防はないため堤防高はゼロを維持し、技術の社会は水害の発生ごとに堤防高が増加しているのが分かる。特に特徴的なのは水害への記憶であり、緑の社会では洪水ごとに記憶が跳ね上がるが次の水害がすぐに発生するため水害への記憶が継続しているのに対して、技術の社会では水害が発生と同時に記憶が増加するが暫時的に減少していき、次の水害時にはほぼゼロとなり、より甚大な被害が発生するという現象を表現できている。仮想社会での数値実験ではあるが、概ね一般的な感覚や理解と相違ない現象を捉えられている点は特筆すべきである。

なお、本モデルはイタリアやバングラデシュといった実社会への適用と検証も既に進んでいる¹⁵⁾。さらなる精度向上につながれば、現在では評価しにくい市民参加型の減災の取り組みや災害教育の効果など、ハード対策との統合的な評価が可能になるだろう。

(3) 社会水文学の体系

このように、社会水文学は、具体的な水管理問題の解決を目的としたこれまでの典型的なアプローチとは異なり、人間活動と水システムを一体的に捉えその動態を理解しようとする、より実証的なアプローチが用いられている。つまり、社会水文学とは、個々の事例研究や比較

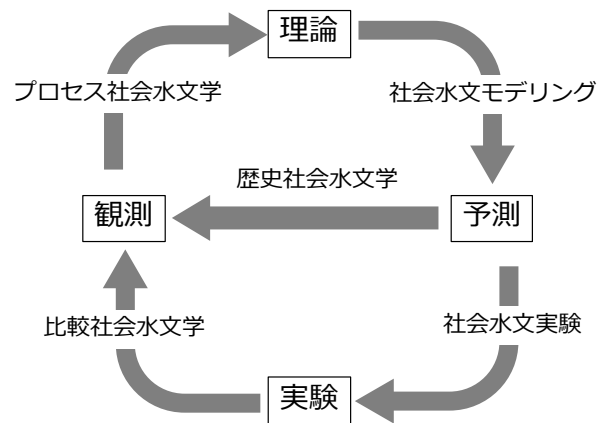


図-4 社会水文学の体系
(参考文献4) を筆者改変

研究を通して「仮説の構築→観察→仮説の更新」を繰り返すことで、水に関する社会行動や開発またはその変化における「規則性」または「再現性」を見出す学問である¹⁾。

図-4 は Sivaparan ら³⁾に示された社会水文学の体系を近年の研究の同行を踏まえて Pande ら⁴⁾が図化したものを改変したものである。社会水文学の研究体系は、大きく「歴史社会水文学」、「比較社会水文学」、そして「過程社会水文学」3つに分類される。以下では、これらのアプローチについてその役割と特徴について述べる。

a) 歴史社会水文学 (Historical Socio-Hydrology)

人間-水システムの相互関係に関する個々の事例研究や比較を行うことは即ちそれらの歴史を観察することにはほかならない。よって歴史学は社会水文学研究の一つの中心的アプローチとなる。歴史社会水文学は、過去から現在に至る人間-水システムの相互関係を観察し理解することを目的とする。ある場所に表出する現象を記録し、そこから明らかとなるメカニズムを仮説化し、この仮説から歴史的なパターンを見出すことを目指す。

b) 比較社会水文学 (Comparative Socio-Hydrology)

比較社会水文学は、異なる社会経済、気候、そして他の条件における人間-水システムを比較対比することを目的とする。比較社会水文学では、複数の場所において同じ現象を比較研究し、水文および社会経済的条件において現れる現象の類似性および相違に関する仮説を立て、さまざまな場所から抽出されたデータを使用することで検証する。

c) プロセス社会水文学 (Process Socio-Hydrology)

プロセス社会水文学は、人間-水システムの異なる部分がどのように相互接続されるかについての仮説を立てることを目的とする。結合された人間-水システムの動態に寄与する観察された社会的および水文学的過程の性質について理解し、仮説を立てる。

図4では、プロセス社会水文学によってもたらされた理論（仮説）が、歴史社会水文学や比較社会水文学へとフィードバックされ更新されることを示している。これらの3つの分析経路は連続的であり、この一連のサイクルを繰り返すことで、異なる条件下で起こる現象を一貫した体系化の中で「規則性」または「再現性」を見出すことが可能となる。

3. 社会水文学の日本への適用可能性と課題

以上の社会水文学の体系を踏まえて、日本における社会水文学の適用可能性と課題について述べる。

(1) パラダイムシフトをどのように捉えるか

明治以降、日本は西洋技術の導入により、劇的に人間一水システムの動態が変化した。治水でいうと輪中や霞堤といった面的（分散的）に洪水を軽減する不連続堤防方式から、線的（集中的）に洪水を防御する連続堤防方式へと変わり、水利用では廃藩置県に伴う都市への人口集中によって近代水道と貯水地や下水道が整備された。これらの近代技術の導入によって、近世と近代の間には人間一水システムの動態には完全な相違が存在すると考えられる。さらに、戦後になると新たにダム貯水池という水資源管理における画期的なイノベーションが発生し、戦前と戦後でもその動態に明らかな変化があったと言える。

ここ数年で実施された社会水文学研究を見ると、先に紹介した事例も含め、異なる条件を持つ社会（場所）間での比較や分析は実施されているが、日本が経験したような同一社会における劇的な動態の変化（パラダイムシフト）は考慮されていない。むしろ、日本ほど短期間で人間一水システムが劇的に変化した国はないと言ってよく、このパラダイムシフトをどのように捉え概念化するのかが日本における中心課題となり得る。この課題は、ひいては水分野における日本の近代とは戦後とは何だったのかという俯瞰的且つ本質的な議論へと接近することになるだろう。

(2) 学際的な議論の場の形成

幸い日本では土木史や農業土木史を中心として歴史社会水文学へ貢献するであろう基礎研究の積み重ねがあり、これらの既往研究を整理・分析することで、世界的な社会水文学のコミュニティへ提示することが第一の課題である。そのためには、上に挙げた土木史、農業土木史以外にも技術史や都市史、経済史、政治史といった歴史学分野に合わせて、これまでの水文学や気象学といった自然科学系分野との統合的・学際的な研究・議論の場が不可欠である。

一方、これまでの土木史、農業土木史では記述型（描写型）の分析が主な手法として採られてきたが、このような学際的な議論に際しては比較可能性の高い数値データが重要になると考える。よって、記述以外にも歴史的な数値データの整理・統合の必要性についても付記しておく。

(3) アジア社会水文学への展開

日本が経験した人間一水システムのパラダイムシフトは、東南アジアを中心とした発展途上国で今まさに進行している現象とみられ、それらの国での今後の人間一水システムの変化を捉える（予測する）ためにも日本での社会水文学の推進が有益であると考えられる。

ここまでの社会水文学研究は欧米諸国での事例が中心であり、多雨型のアジアモンスーンに位置し、かつ稲作を中心とした水社会を形成してきたアジア諸国での研究は皆無に近い。よって、アジア各国における人間一水システムの分析とそれらの比較を通じた「規則性」または「再現性」の検証が中期的な課題となるであろう。

4. おわりに

本論では、近年、欧米を中心として人間社会と水循環の相互関係を扱う学問「社会水文学」の世界的動向を整理するとともに、そこから日本の水循環・水管理の特徴と研究課題を導出することを目的に、社会水文学の特徴を概説した上で、洪水に関する特徴的な研究事例とその学問体系を紹介し、日本における社会水文学研究の可能性と課題について考察した。考察の中では、日本が経験したようなパラダイムシフトの重要性とそれを明らかにするための学際的な形成の必要性、そしてアジア域への展開の可能性について指摘した。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 18K13836 の助成によって実施されました。

参考文献

- 1) Maggie Black and Jannet King (沖大幹監訳, 沖明訳): 水の世界地図 第2版, 丸善, 2010.
- 2) 東京大学総括プロジェクト機構「水の知」(サントリー)総括寄付講座編: 水の日本地図, 朝日新聞出版, 2012.
- 3) Sivapalan, M., H. H. G. Savenije, and G. Blöschl: Sociohydrology: A new science of people and water, *Hydrol. Process.*, 26, 1270–1276, 2012.
- 4) Pande, S., & Sivapalan, M.: Progress in socio-hydrology: a meta-analysis of challenges and opportunities, *WIREs Water*, 2016.
- 5) Blair, P., & Buytaert, W.: Socio-hydrological modelling: A review asking “why, what and how?”, *Hydrology and*

- Earth System Sciences, 20(1), 443–478, 2016.
- 6) 風間聡：水文学，コロナ社，2011.
 - 7) Falkenmark M . Main problems of water use and transfer of technology. *GeoJournal*, 3:435–443, 1979.
 - 8) Harou J , Lund JR: Ending groundwater overdraft in hydrologic - economic systems, *Hydrogeol J*, 16:1039 - 1055, 2008.
 - 9) Medellin - Azuara J , Lund JR , Howitt R: Water supply analysis for restoring the Colorado River Delta, Mexico, *J Water Resour Plann Manag*, 133:462- 471, 2007.
 - 10) Rosenberg D , Howitt RE , Lund JR: Water management with water conservation, infrastructure expansions, and source variability in Jordan, *Water Resour. Res.*, 44, W11402, 2008.
 - 11) Di Baldassarre, G., & Viglione, a.: Debates—Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes, *Water Resources Research*, 2015.
 - 12) White, G. F.: Human adjustment to floods, Doctoral thesis, The University of Chicago, 1945.
 - 13) Di Baldassarre, G., Viglione, a., Carr, G., Kuil, L., Salinas, J. L., & Blöschl, G.: Socio-hydrology: Conceptualising human-flood interactions, *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 3295–3303, 2013.
 - 14) Di Baldassarre, G., Saccà, S., Aronica, G. T., Grimaldi, S., Ciullo, A., & Crisci, M.: Human-flood interactions in Rome over the past 150 years, *Advances in Geosciences*, 2017.
 - 15) Ciullo, A., Viglione, A., Castellarin, A., Crisci, M., & Di Baldassarre, G.: Socio-hydrological modelling of flood-risk dynamics: comparing the resilience of green and technological systems. *Hydrological Sciences Journal*, 62(6), 880–891, 2017.

(2018. 4. 27 受付)