

水資源システムのリスクマネジメント—課題と展望*

Risk Manamement of Water Resources Systems -a Literature Survey *

多々納裕一**、岡田憲夫***

By Hirokazu TATANO** and Norio OKADA***

In Japan, facilities for water utilization are designed to meet the demand even if the river flow decreases to the flow which happens once in ten years. Nowadays, social and economic activities which operate assuming that sufficient water supply is secured, have become more vulnerable to droughts if they occur. Therefore, it is required to improve the safety of water utilization systems against droughts or to reduce the damages caused by an extraordinary drought, which happens less frequently than once in ten years. In order to meet these requirements, the methodology of water resources planning and management should be improved with due reference to risk management. This paper addresses the need for such methodological developments and reviews the related literature.

1. はじめに

近年のライフスタイルや産業構造の変化により社会の水に対する依存度は極めて高くなってきている。このため、一度渇水が生じるとその際に生じる社会経済的な損失は甚大なものとなると考えられる。すなわち、水使用機器の普及や住居や事業所の中高層化に伴って、現代社会の渇水に対する脆弱性が増してきている。また、現在までに行われてきた水資源開発によって河川の利用率は高度化している地域も少なくない。河川の利用率が高まると同一規模の渇水流況が発生してもその影響は河川の利用率が低い段階に比べて深刻となる¹⁾。従って、このような状況下では以前にも増して安定的な用水の供給体制を確立すること

が要請され、利水安全度の確保・向上や異常渇水対策が注目されるようになってきた。

これは、リスクマネジメントとして見ても、興味深い問題を含んでいる。すなわち、このような状況下では、水資源開発が対象とするいわば安全度としての計画基準である「10年に1位相当の渇水流況」を確保しつつ、計画規模を超える渇水に対しても何らかの水資源計画上の対応が必要となってきた。これは、土木計画において現在まで前提としてきた制度的な与件自体の見直しや設定されてきた計画の範囲を超える現象に対する対応が必要となる典型的な事例である。すなわち、この事例は今後の土木計画の対象を広げて考えていく必要性を示唆しており、その意味で極めて意義深い題材であると考えられる。本稿では、水資源計画の観点から土木計画における課題を明らかにするとともに、過去の研究・報告事例をレビューし、今後の展望を述べることにする。

*キーワード：リスク、異常渇水、渇水被害

**正員、鳥取大学助手、工学部社会開発システム工学科
(鳥取市湖山町南 4-110)

***正員、京都大学教授 防災研究所水資源研究センター
(宇治市五ヶ庄)

2. 水資源計画の課題

従来の水資源計画・管理の方法論は、「10年に1位相当」の渇水を基準として、基準渇水流況を設定し、この流況下で水需要が充足されるように貯水池容量を定めるという方法によっている²⁾。従って、計画上は、「10年に1位相当」の渇水流況よりも厳しい渇水（異常渇水）の方は考慮されておらず、異常渇水は管理の場面对応することとなっている。このために、異常渇水のリスクや人為的に渇水を引き起こしてしまうリスク等、計画で考慮していない全てのリスクが実管理に委ねられている。従って、水資源システムの管理は極めて多くのリスクを負わされる状況となっており³⁾、計画と実管理のかい離を招いている。このことが現実の渇水の頻度が計画に想定している水準よりも高くなる要因となっていることが報告されている⁴⁾。水利用の高度化にともない、渇水の社会経済的影響は増大しており、水資源計画・管理にける「安全性」の水準の確保・向上が要請されている。従って、管理の場面に集中しているリスクを計画段階からできるだけフィードフォワード的に吸収し、計画及び管理場面でのリスクを適切に処置していけるようなマネジメントの方法の構築が求められている。

このようなマネジメントを行うためには、実操作の場面でリスクに適切な対応ができるように、計画の段階からリスクに対応するためのゆとり（冗長性）を設けておくことが有効である。従って、このようなゆとりを積極的に評価し、計画・管理に活かしていく方法論を開発することが重要である。このためには、計画を策定するに際して、「ゆとりを持つことの効果」を分析する必要がある。

異常渇水が生じると、これによって生じた流況の低下は、水源の状況を悪化させ、取水制限が実施される。取水制限が実施されると、これを受けて、節水PR、減圧給水、時間給水等各種の給水制限が実施され、水需要が抑制される。給水制限の結果、水使用の環境が平常時の環境から渇水時の水使用環境へ変化することに伴って、水消費の主体である家計や企業は自己の水消費計画の修正を余儀なくされる。このことによって、被害が生じることとなる。異常渇水時に生じる被害は、水資源管理者や水道事業者によって行われる各種の施設運用や渇水対策に依存している。

従って、異常渇水に対応するための水源やあるいは水道等の水利用システムにおける施設のなゆとりの効果を把握するためには、これらの渇水時の対応とその際の施設構成や被害を被る主体の状況と渇水による被害との関連関係を明示的に考慮した分析を行う必要がある。このためには、まず、水道事業者によって行われる渇水時の対応（減圧給水、時間給水等）と、それに伴う水使用者の被る被害・影響とを結び付けていく必要がある。さらに、水道事業者の対応を規定する取水の可能性や水道施設の状況と施設のなゆとりの関連を分析しなければならない。水資源開発や水道計画の段階での施設のなゆとりと、水資源管理者や水道事業者によって行われる操作・渇水対策とが被害の発生確率に及ぼす影響を与えるかについてトータルシステムとしての渇水に対する信頼性の分析を行うことが必要である。

3. 異常渇水対策に関する既往の研究

(1) 水源レベルでの渇水対策に関する既往の研究

水源レベルでの渇水対策の評価に関連する研究としては、水資源システムの信頼性評価に関する研究^{5) 又は6)}や貯水池操作の最適化に関する研究⁷⁾がなされてきている。水資源システムの信頼性評価に関する研究は、貯水池からの放流が水需要を満たす場合を正常状態とし、水需要を満たさない場合を渇水状態として、渇水に対する信頼度や渇水からの回復度、渇水の深刻度等、貯水池の規模や操作、需要等と件として貯水池の渇水に対する信頼性を解析する方法を研究している⁶⁾。貯水池操作に関する研究のうち、信頼性評価に関する研究ではとされていた貯水池の操作を操作変数として、いかなる操作が望ましいかが検討されている。この際、操作の検討に際しては、シミュレーションモデルによる試行錯誤的な分析や、DP、LPといった最適化手法が適用される⁷⁾。ただし、通常、期待被害額の最小化が図られるが、被害関数の設定に関しては十分な議論がなされていない。

渇水対策ダムについての調査研究は、これらの分析の適用事例として行われている。例えば、渇水対策ダムを想定したシミュレーション分析を実施し渇水対策ダムの位置特性と必要容量の関連を分析した中安ら⁸⁾の研究や、渇水対策ダムと通常ダムの操作方法に関して複数の対象流域において広範なシミュレーション

ン分析を実施した建設省河川局・土木研究所の研究⁹⁾、渇水に対する信頼性指標⁶⁾が渇水対策ダムの容量の違いによっていかなる影響を受けるかをシミュレーション分析により検討した宝¹⁰⁾の研究等がある。

渇水対策ダムの整備の方法論に関しては、渇水対策ダム整備効果を求め、費用便益便益分析により、渇水対策容量を求めてくるアプローチ⁵⁾と他の災害のリスクと比較することによって、異常渇水対策のための整備目標水準を設定しようとするアプローチ¹¹⁾がある。しかしながら、費用便益分析を用いるアプローチでは、便益を被害軽減額で評価しているが、被害の発生機構を内生化しておらず、渇水時の水道事業体レベルでの対応の違いや水使用の状況の変化による影響を評価することができていない。また、後者のリスク分析的アプローチは、まだ分析・評価の技法や方法論が未整備であり、今後、具体的な整備目標水準の設定を行う上で方法論上の論理的精密性を高める必要がある。

(2) 水道事業体レベルでの渇水対策に関する既往の研究

水道事業体レベルでの渇水対策に関する研究事例のほとんどは、大規模渇水時の対応事例の解析に関するもの^{例えば12)}であり、これらは実際の対策の有効性に関して重要な知見を与えている。しかし、水道事業体レベルでの対策の効果分析については体系だった議論は比較的少ないようである。

建設省河川局河川計画課・建設省土木研究所⁹⁾は、配水池容量の大きさや水需要特性(時間給水量の構成比率)の違いが、取水制限と給水制限との関係にいかなる影響を与えるかに関して分析を行っている。その結果、配水池の規模が大きいほど、また、水の需要特性が時間的に均質であるほど同一の取水削減率に対して給水削減率が小さくなることを示している。異常渇水時を念頭においた配水・給水設備の整備や管理の方法論に関する分析は、配水設備の最適運用に関する研究^{例えば13)}を除けば、現在のところ余り見られないが、中川らは住民の意識調査をもとに給水管理手法の評価を試みている¹⁴⁾。この研究では、住民の意識レベルでの被害感覚を「受認度」として表し、これをもとに各種給水管理手法の評価を行っている。

(3) 渇水の被害計測に関する既往の研究

渇水による被害の計測方法としては、確実性下の状

況を想定した分析として、直接被害額(臨時出費+家事労働単価×家事労働時間増加)を用いる方法¹⁵⁾、直接聞き取り調査によるW.T.P. 値(willingness to pay, 支払意志額)の推定¹⁶⁾、渇水時の水消費行動をもとに家計の厚生減少を推定する方法¹⁷⁾などがある。不確実性下の状況を想定した分析法としては森杉ら¹⁸⁾の研究がある。

ここで、渇水時に行われる種々の渇水対策の効果を分析するためには、それぞれの渇水対策と被害の関連関係を表現することが必要である。渇水時には、家計をとりまく水使用環境が平常時の環境から渇水時の環境へ変化する。この水使用環境の変化に対して水消費行動が変化し、その結果、家計の厚生損失が生じる。渇水時の水使用環境は、水源レベル、給水レベルの対応によって変化する。従って、これらの渇水対策の影響を評価し、渇水対策を立案していくためには、水使用環境の変化と水消費行動の関連関係の分析は不可欠となると考えられる。

直接被害額を用いる方法と直接聞き取り法によるW.T.P. 値の推定による方法はいずれも既往の渇水における事後的なアンケート調査の結果から直接的に被害を推計し、これと実際の取水制限率との関係を求めている。このため、水道事業体レベルでの対応や水使用環境が異なれば、求めた取水制限率と被害の関係を直接適用することは出来ないという問題を持っている。また、多々納ら¹⁷⁾は、減圧給水下の家計の水消費行動をミクロ経済学的にモデル化し、給水圧の削減が家計の水消費行動に与える影響を分析し、家計の厚生変化を推計する方法を示した。しかしながら、この研究は、減圧給水という極めて限られた状況しか想定し得ていないし、理論的な研究に留まり実証研究には至っていない。また、森杉ら¹⁸⁾は貯水池の整備等による渇水頻度の低下による便益の計測を試みている。等価変分(equivalent variation)の概念を不確実性下の便益測定に応用しているが、これは事前的評価としてoption price とほぼ同様な指標を導出していると考えられる。森杉らは渇水時の家計の行動に関しては特に分析は行っていないが、渇水対策ダム等のプロジェクト評価を行う際には有効な方法の一つであろう。

4. おわりに

本稿では、水資源計画において、計画の対象外とさ

れてきた異常渇水対策が重要な今後の水資源整備の課題としてクローズアップされてきているという事例に着目し、既存の研究・報告事例をレビューし、今後の研究上の課題を指摘した。本稿で行った議論を要約すれば以下のようである。

水利用の高度化によって、渇水が生じた場合の社会経済的影響は増大しており、渇水に対する安全性に対する要請が高まってきている。

現行の水資源計画では、異常渇水のリスクを計画時点で考慮していないため管理場面にリスクが集中し、計画と実操作の間にかい離生じている。そして、これが計画時に想定した渇水の頻度を実際には上回るような弊害を生じる一因となっている。このため、異常渇水のリスクを考慮した水資源計画が必要とされるようになってきた。

さらに、異常渇水のリスクを考慮した水資源計画・管理の方法論の構築のためには、水資源計画・管理のそれぞれの場面で決定される政策に対して、社会経済的な影響をいかに評価するかが重要であり、渇水による被害を渇水時に行われる各種の政策に対応させて求める方法に関する研究やトータルシステムとしての渇水時の水利用システムの信頼性を推計するための研究が望まれることを指摘した。

この他にも、水資源計画・管理に伴う種々のリスクをマネジメントするかが、利水・親水・治水を問わず、ますます重要になってきており、そのための科学的な分析・評価の技法や方法論を開発していくことが今後の大きな課題である。

参考文献

- 1) 今村瑞穂、中沢式仁、中村昭: 渇水被害の分析と水管理への適用に関する研究、第24回水理学講演会、pp.59-64、1980。
- 2) 建設省河川局: 河川砂防技術基準(案)計画編、山海堂、1985。
- 3) Nogami, , Okada, N. and Ishihara, Y.: Real Time Operation as Part of the Integrated Regional Water Management System : A Systems Analysis. Case Study of the Tone River Basin, Experience in Oeration of Hydrosystems, Water Resources Publications, pp.129-152, 1982。
- 4) 今村瑞穂、大内忠臣: 水管理における利水安全度、第2回水資源シンポジウム講演集、1982。
- 5) 杉村淑人、大内忠臣: 利水安全度と異常渇水対策に関する一考察、第42回建設省技術研究報告、1982。
- 6) Hashimoto, T., Stedinger J.R. and Loucks D.P.: Reliability Resiliency and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation, Water Resour. Res., Vol. 18, No. 1, pp.14-20, 1982。
- 7) Yeh, W, W-G : Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review, Water Resour. Res., vol.21, no.12, pp. 1797-1818, 1985。
- 8) 中安正晃、松下越夫: 水資源計画におけるダム の位置特性に関する一考察、土木技術資料 26-11、pp.611-616、1984。
- 9) 建設省河川局、土木研究所: 渇水時における水供給施設の最適運用手法に関する研究、1986。
- 10) 宝 馨: 水資源システムにおける確率論的モデルと手法の評価に関する研究、京都大学博士論文、1989。
- 11) 今田俊彦: 異常渇水対策のための目標設定に関する一考察、NSC 研究年報、Vol. 16-10、pp.109-119、1991。
- 12) 平 信雄: 福岡市における渇水と今後の対策、水道協会雑誌、Vol. 538、pp.42-47、1979。
- 13) 小館英実: 上水道送水系の最適運用の一方法とそのシミュレーション水道協会雑誌、Vol.510、pp.2-11、1977。
- 14) 中川芳一、蔵重俊夫、小棚木修、清水康夫: 渇水時給水管理手法の評価モデル、NSC 研究年報、Vol. 15-7、pp.93-102、1990。
- 15) 建設省土木研究所: 渇水時の水管理に関する計画的な研究、土木研究所資料、No.1509、1979。
- 16) 建設省土木研究所: 渇水被害の計測について、土木研究所資料、No.1502、1979。
- 17) 多々納裕一、岡田憲夫、小林潔司: 給水制限が水消費行動に与える影響に関する研究、京都大学防災研究所水資源研究センター報告、Vol.10、pp.43-59、1990。
- 18) 森杉寿芳、大島伸弘: 渇水頻度低下による世帯享受便益の評価法の提案、土木学会論文集、Vol.359/IV-3、pp.91-98、1979。