

第6章 結論

本論文は、新規ダムの積極的な建設が困難な情勢にある中、今後、地球温暖化に伴う気候変動等により、極端現象が顕在化する恐れが強いことや近年、全国各地で激甚な水害が頻発していることを踏まえ、超過洪水等の洪水の発生に対して、合理的かつ効果的なダム操作手法を提案することにより、流域の治水安全度の向上を目指したものである。

もとより、流域の治水整備を行う上で、新規ダムの建設は多くの水系における治水施設整備の根幹をなすものであり、計画的に整備を行っていく必要があることは言うまでもないが、現在、なおその整備水準が高くはなく、今後ダム、堤防等の整備に時間を要することを考え合わせれば、現在有するダム等のストックを有効に活用する手法を検討することは、重要な課題である。

以上の状況を背景に、本論文では、近年、技術革新の著しい全球モデルによる解析技術に基づいた気候モデル、とりわけメソスケール気象モデルとして、米国において現業、研究用に開発され、公開されている WRF (Weather Research and Forecasting Model) を基に降雨予測を行った。そして、地中保水能を考慮しつつ、ダム流入量の予測を簡便に実施して、ダム空き容量と比較することにより、最適な放流操作を行って、下流域の被害を最小化することを提案した。

さらに、この方式の短所であるすり付け操作時の下流河道水位上昇速度の超過や治水容量内における操作規則で規定された流量以上の流水の貯留、いわゆる過貯留、超過洪水発生時にあって空き容量が少なくなった状況下において散見される放流量の増大を補完すべく、今村¹⁾により提唱されている水位放流方式によるすり付け操作、裏戸²⁾、³⁾によって提唱されている VR 方式による但し書き操作を付加的に用いることを試みた。具体的には、これら3つの手法の適用性について、国土交通省、(独)水資源機構、県管理の延べ27ダムを対象にそれぞれの解析に適した過去の大小さまざまな洪水の事例を基にシミュレーションを行い、その有効性を確認するとともに、改良策を考案した。以下に各章毎に簡単に取りまとめる。

第2章においては、国土交通省、(独)水資源機構管理ダムにおける管理所を対象にダム管理に関して顕在化している問題点の聞き取りを国土交通省河川環境課が行った結果について取りまとめた。治水、利水、環境面でさまざまな課題が浮き彫りになったが、このうち、治水については、但し書き操作に伴う下流被害の発生や放流の遅れ操作の発生、事前放流、予備放流、後期放流が必ずしも円滑に、もしくは十分に実施できていないこと、治水容量が洪水時に十分には活用されていないことなどが上げられた。これらの課題は、現在、気象庁による降雨予測が配信されているものの、未だその精度が信頼性に十分ではないため、洪水を迎えるにあたって、ダム管理者がその高精度なハイ

ドログラフを事前に把握できないことに主に起因している。このため、ダム流入量の実績に応じた定型的な操作、いわゆる「固定ルール調節方式」を採用せざるを得ない状況にあるが、WRF による降雨予測の信頼性が相当程度向上してきている現在、降雨予測と地中保水能の算定による損失雨量の算出、分布型流出モデルの適用と相まって、ハイドログラフの予測が相当の精度で可能となってきた。

さらに、現在採用されている一定率一定量調節方式に代わる合理的かつ効果的なダム洪水調節手法について、過去に研究者によって提案された文献を取りまとめた。水位放流方式や VR 方式の適用性の検証については、大谷ら⁴⁾、松浦ら⁵⁾によって試みられたが、検証の洪水事例が少ないことなどから、実際のダム管理に導入するには時期尚早と考えられた。山田ら⁶⁾は、気象庁の降雨予測や洪水到達時間内降雨を含め、相当の精度で把握可能なダムへの流入量について、これを事前に放流し、治水安全度を向上させる手法を提案している。この手法は、リスクが小さく実践的ではあるものの、ストックの実力を十分に発揮させる観点からは、前述したダム管理所から指摘された課題に十分には応えていない。このほか、小尻ら⁷⁾他は、ファジィ理論やニューラルネットワークなどの数学的理論を用いた操作支援システムの構築を図っているが、これまでに経験していない異常な規模又は波形の洪水への対応の安定性を解明することが現場への導入にあたっては必要となろう。

このほか、WRF の開発と改良の歴史について概説し、同化技術や GPS^{えんべい}掩蔽法による技術革新などについて触れた。また、ダム流入量を推定するにあたって重要となる流出解析手法について、近年、盛んに導入されている分布型流出モデルの開発状況についても説明した。

第3章においては、WRF による降雨予測の設定手法について検討を行った。実績降雨量に対する WRF の予測降雨量の誤差については、未だそれを明らかにした研究が存在しないことから、気象予測データの利用可能性に関する研究⁸⁾において示された気象庁の予測降雨量の上限誤差及び下限誤差を援用して予測降雨を設定した。さらに、吉野川流出解析検討⁹⁾を参考に、地中保水能やその回復について規定し、降雨損失とダム流入量を簡便に予測する手法を提案した。

次に得られた予測ダム流入量と空き容量を比較して、その大小に応じて、事前放流や、無害流量、最大計画放流量あるいはこれを超える流量を放流し、下流域の水害を最小限に抑える洪水調節手法を考案した。特に事前放流にあつては、人工的に流量を増大させることから、須賀¹⁰⁾による人の河川内歩行特性に関する研究成果を参考に、放流にあたって留意すべき水深、流速に関する規定を設定した。

これらの手法を用いて、国土交通省、(独)水資源機構、県所管 12 ダム 69 洪水を対象にシミュレーションを実施したところ、激甚な水害であった矢作ダム H12.9 洪水のように $1,404\text{m}^3/\text{s}$ もの流量を低減し、洪水被害を抑えるケースがある一方、鶴田ダム

H18.7洪水のように主に海上の水分量の把握が不十分なために、WRFによる降雨予測が過小であり、結果的に操作実績よりも改悪となってしまう例も発生した。しかし、全般的には、WRFの降雨予測量をそのまま使用したケースにあっては、69洪水のうち、57洪水において事前放流を実施するなどして無害流量のみの放流により被害を皆無に抑えることができしており、有用性は高い。但し、早明浦ダム H16.8洪水のように洪水末期の降雨予測が鈍く、無害放流量以上の放流を強いられるケースや豊平峡ダム H12.5洪水のように融雪による出水が予測できず、放流増を招いたダムも見られた。

これらの結果を踏まえて、改良策について、個々に検討を行った。WRFによる降雨予測誤差の縮小は、本研究の重要なポイントである。WRFによる解析の初期値、境界値を与える気象予測については、WRFによる降雨予測の誤差の多くを支配するが、衛星を用いたGPS^{えんべい}掩蔽観測により、相当程度精度向上が図られ、WRFによる降雨予測についても良い結果となることが鶴田ダム H18.7洪水の事例で把握できた。さらに、ここでは、今後の研究の礎とすべく、WRF解析による予測降雨量と実績降雨量との誤差について、10ダム14洪水の事例で算出したが、今後は米国によって開発されたGFSや気象庁のGSM20の利用も含めて、多くの豪雨に関する予測降雨の誤差のデータ取得に務めて、WRFによる降雨予測の上限、下限誤差の回帰式の確立を図ることが求められる。このほか、融雪量の推定やダム容量の一定率を留保して洪水調節を行う手法を試みて、一定の効果があることを確認した。ここに、融雪量の推定式は未だ実測値に合わない部分も多く、その精度向上に関する研究が待たれる。また、治水、利水双方のリスクに配慮した放流方法選択手法について、4つのケースに分けてその対応を明示するとともに、5ダムの事例からリスク分析を行い、1ダムを除いてメリットの方が大きいことを確認した。さらには、超過洪水発生時にあって許容される最大放流量の設定手法について、阿木川の例を基に数種類の提案を行ったほか、放流設備能力の小さなダムにおける設備改善効果も把握した。

第4章においては、迎洪水位が低い状態で洪水が襲来した場合に問題となるすり付け操作の円滑な実施について、ダム管理者を支援する手法を確立すべく、今村¹⁾の提案した水位放流方式について、現場への適用を視野に12ダム19洪水を対象としてシミュレーションを行い、その有用性を確認するとともに問題点の解明と改良策の検討を行った。

すり付け操作において、問題となる治水容量内における過貯留については、低標高部における放流設備が不十分な早明浦ダムを除いてほぼ解消できた。早明浦ダムについても、実績操作に比べれば大幅に過貯留量を減少できた。一方、下流河道の水位上昇速度については、まちまちで、実績操作よりもかえって水位上昇速度を上げる結果となる洪水も12洪水（最大値で比較）発生した。すり付け操作開始時刻については、国土交通省所管ダムにあっては、ほとんどが実績操作においても早めの操作に入っていることが

確認されたが、県管理ダムなど4ダムにあっては、本方式で定める時刻の方が実績操作よりも1時間以上早いことが判明し、現場においてダム操作に携わる技術者に対して、限界流入量到達がすり付け操作開始時刻の到来を知らせる「アラーム」として有効であることが確認できた。

本方式の採用により、水位上昇速度が増大する点については、限界流入量や下流河道水位上昇速度の規制値を縮小することにより、10～50%程度の低減を行うことができた。この課題の完全な解決手法として、操作は煩雑になるものの、下流水位が河川利用者の存在する可能性のある1m以下までの期間について、操作規則を遵守し、その後は本方式の放流関数による手法を考案し、過貯留の解消と水位上昇速度の遵守という2つの課題の両立を実現した。このほか、放流関数のべき数を変化させる感度分析も試みた結果、今村が提案するべき数2には必ずしもこだわる必要もなく、早明浦ダムにあっては、むしろ2.5の方が適用性に優れていることを見いだした。現場への適用にあたっては、放流関数の適合性の確認はもちろんのこと、限界流入量到達時刻の把握について、警報、巡視に要する時間の確保も含めて検討が必要である。

第5章においては、超過洪水発生時において、適用される但し書き操作による下流氾濫被害の軽減を目指して、裏戸²⁾、³⁾が提案するVR方式の適用性について8ダム16洪水を用いて検証した。結果は、流入量がピークを迎える前に設計洪水位に到達する祝子ダム2洪水を除いて、VR方式の適用が可能であり、ダムの空き容量をほぼ使い切ることができた。また総雨量が極めて大きな長雨洪水や計画波形を用いた弥栄ダム、いわゆる「神様運転」を行った祝子ダムの3洪水を除いて、最大放流量の低減を図ることが可能であり、その平均は、約38%に達した。

VR方式が基準流入波形（VR曲線）を策定し、必要な貯水容量を推定して放流率を定めていることから、基準流入波形と異なる洪水が到達した場合や空き容量が少ない状態で洪水が流入した場合に最大放流量が増大する傾向があることを確認した。この短所を補正すべく、洪水ピーク時の貯水量の治水容量に対する比率をさまざまに変化させて祝子ダムに3洪水について検証したところ、貯水率が70～90%の場合について、最大放流量を低減させる効果があった。同様の分析を4ダムを対象として貯水率をさまざまに変化させて感度分析を行った結果、空き容量が治水容量の5～20%の状態でVR方式を適用することは、実績操作よりも最大放流量を増大させ、かえってリスクが大きいことがわかった。基準流入波形の式の中で流量の低減割合を支配するパラメータである b については、裏戸¹⁾は1.12を基本として検討していたが、祝子ダム5洪水を対象に b を変化させてシミュレーションを実施した結果、 b の値は、1.10～1.35の範囲内で設定することが適していることが把握できた。現場への適用にあたっては、VR方式を適用すべき貯水率や基準流入波形について、ダム毎に過去の洪水等を用いた詳細な検討を行うほか、特に洪水ピークの把握について、警報、巡視に必要な時間の確保を含めて今後検討する必要がある。

第3章に記述したWRFによる降雨予測を軸とした洪水調節手法にあっては、洪水初期のすり付け操作、洪水ピーク時から末期にかけて、ダム空き容量が小さくなった状態で超過洪水が発生した際の但し書き操作移行について、課題が見いだされたが、以上、第4章、第5章の検討により、水位放流方式、VR方式を補完的に活用することにより、その課題を相当程度克服することが可能となった。3つの手法を組み合わせた合理的なダム洪水調節手法のフローは、図-6.1に示すとおりである。

今後は、WRFによる降雨予測の誤差の精度向上を早期に行うとともに、その他の諸課題を解決することにより、これら3手法の現場への導入を図り、重要な社会資本であるダムをより効率的かつ効果的に運用し、超過洪水を始めとする水害に的確に対処することが期待される。

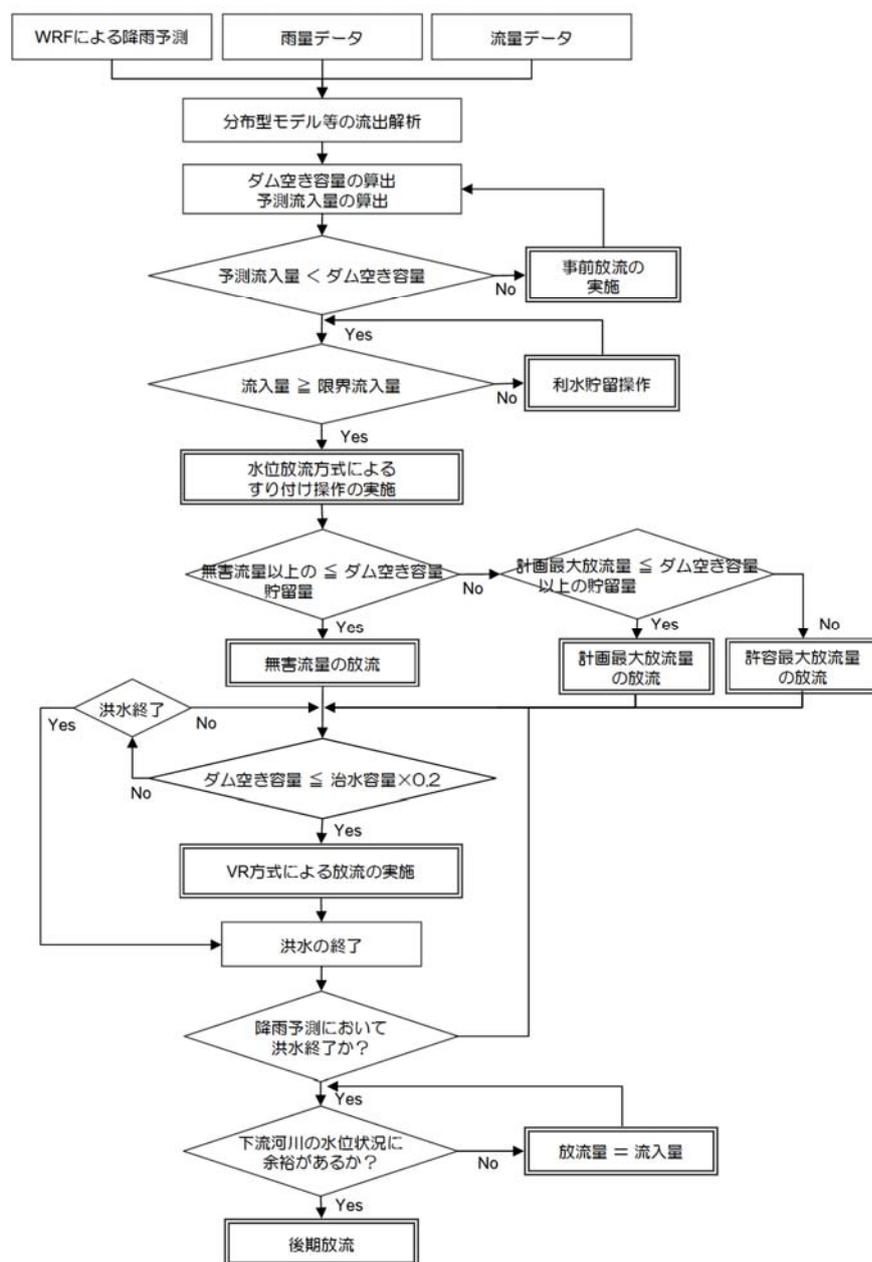


図-6.1 3手法を活用した新たな洪水調節手法

参考文献

- 1) 今村瑞穂、ダム貯水池における洪水調節の工学的特性の分析と改善に関する研究、九州大学博士論文、1998.
- 2) 裏戸 勉、洪水時のダム操作について、ダム技術 No.86 pp.4-12、1993.
- 3) 裏戸 勉、異常洪水時のダム操作手法について、ダム工学会第 10 回研究発表会講演集、pp.40-42、1999.
- 4) 大谷知樹、一ノ瀬泰彦、竜澤宏昌、水位放流方式に基づく低貯水位条件下でのダム放流操作シミュレーション、第 15 回水資源機構関東ブロック技術研究発表会、2003.
- 5) 松浦 旬、宮内茂行、流入量の逡減予測を用いた洪水調節方法の検討、平成 19 年度水資源機構技術研究発表会発表論文、2007.
- 6) 北田悠星、菊地 慶、岡部真人、山田 正、降水短時間予報を用いた新しいダム放流手法の効果検証、土木学会第 64 回年次学術講演会、PP.317-318、2009.9
- 7) 小尻利治、池淵周一、十合貴弘、ファジィ制御によるダム貯水池の実時間操作に関する研究、京都大学防災研究所年報、第 30 号、B-2 PP.323-339、1987.
- 8) 国土技術政策総合研究所、気象予測データの利用可能性に関する研究、国総研資料第 329 号、2006.
- 9) 日本建設コンサルタント、吉野川流出解析検討業務委託報告書、2001.
- 10) 須賀堯三他、水害時の安全避難行動（水中歩行）に関する検討、水工学論文集 第 39 巻、pp.829-832、1995.
- 11) 裏戸 勉、異常洪水時のダム操作手法とその運用について、土木学会中国支部第 52 回研究発表会発表概要集、pp.117-118、2000.