

農業用水利用からみた利根川上流域水資源施設群の 高度一括管理の現状と展望

増本隆夫*・袁 新*・吉田武郎*・久保田富次郎*・堀川直紀**

目 次

緒 言	115	ダム群の運用方式の検討	122
農林水産省関連の貯水池操作の現状と課題 ...	116	1 現在の運用曲線	122
1 ダム管理の実態	116	2 夏期制限水位の変更の可否	122
2 利水運用	117	3 制限水位を変更するための前提条件	123
3 洪水管理	118	高度一括管理の可能性	124
4 流域総合管理	119	1 施設の弾力的管理・運用の試み	124
利根川上流域における水資源施設群の現状 ...	119	2 洪水予測精度の向上	124
1 利根川上流域の概要	119	3 検討課題	124
2 水資源施設の建設.....	120	結 言	125
3 ダム群の管理	120	参考文献	126
4 課題と問題点	121	Summary	128

緒 言

21世紀の水問題は、総合科学技術会議が指摘するように、都市と農村との共生と流域圏や地球規模の視点からの検討が必要である(地球規模水循環イニシャティブ, 2005)。しかし、流域全体として対応が求められている中で、これまでの主要な検討は、都市の再生のために何を行えば良いかという視点からのみ行われ、農業・農村の果たす主体的な役割についての検討は決して多くはない。また、広域規模の視点として近年頻繁に取り上げられる「地球温暖化」の影響予測に関しては科学的な側面のみが強調され、灌漑や水管理といった農業等の視点からの検討は行われていない状況である。

灌漑や農業用水管理と渇水及び洪水は相互に関連し、しかもそれらは農業等の人間活動に最も影響を与えている。特に、ダムを利用した洪水・利水管理は、人の手を通して行われることから、その結果として出てくる農業活動や流域住民への影響が大きいといえる。

過去の渇水を例に見ると、程度の差はあるが、災害は忘れたころにやってくると言われているとおり、毎年発

生するものでもない。1都5県の水瓶を擁する利根川流域において過去35年程度で取水制限を行ったのは、昭和47, 48, 53, 54, 55, 57, 62の各年、平成に入ると2, 6, 8, 9, 13年となっている。その中でも、平成6年には日本全国で大渇水の様相を呈し、渇水に対する備えや対策技術に対する検討が行われた。一方、平成13年の利根川流域あるいは平成17年の早明浦ダムでの貯水率は、平成6年の渇水被害に匹敵する状況になると心配されたが、実際には十分な雨の供給があり、問題にならなかった。

しかし、地球温暖化に伴って水蒸気の大気対流性が増し降水がより集中的になり、その結果、強雨が増える一方で弱い降水は減り、干ばつの頻度も高まって両極端の気象状態が現れやすくなると指摘されている(服部, 2005, 吉田, 2005)。そこで渇水に対する備えを怠っていると、大変なしっぺ返しを受けることになりかねない。

本稿では、農業用の利水安全度を向上させるための水資源施設群の高度一括管理手法の開発のための前段として、農林水産省関連の貯水池操作の現状及び利根川流域水資源施設群の高度一括管理の現状と検討すべき課題について述べる。ただし、ここでいう水資源施設は、ダム、遊水地、頭首工、河川、用排水路、水田等の総称である。

なお、本研究の一部は、農林水産省関東農政局利根川水系土地改良調査管理事務所の支援を受けた。記して謝意を表す。

* 地域資源部水文水資源研究室

** 農地整備部水管理研究室

平成18年1月10日受理

キーワード：ダム管理，貯水池運用，農業用水，渇水，洪水，運用曲線，流域管理，利根川流域

農林水産省関連の貯水池操作の現状と課題

近年、農業水利施設は大規模化・高度化し、地域に与える影響が大きくなり、その管理も複雑かつ高度になっている。また、これらの施設を取り巻く社会情勢の変化や技術革新は急激かつ複雑であり、施設操作、流域内の安全管理等施設管理の技術的側面における適切な管理が重要な課題となってきた。特に、貯水池操作に関連しては、安全性の高い管理として、洪水管理技術の向上が求められ、さらには水資源の有効利用を図るために、渇水時における利水管理技術の向上も必要とされている。ここでは、農林水産省関連の貯水池操作に関わる実態や実管理上の問題点を中心に、農業用ダムに対するダム管理に関するアンケート結果（堀川ら，1993）ならびに農水省が直轄管理を行っている事例について述べることにする（増本ら，1997）。

なお、農林水産省関連のダムや貯水池は土地改良施設管理基準（ダム編）に基づいて管理されている（農林水産省農村振興局，2004）。

1 ダム管理の実態

a 農業用ダム

検討の対象となるダムは、農林水産省が行う土地改良事業（農業農村整備事業）により新築または改築されたダムで、基礎地盤から堤頂までの高さが15m以上のものである。総数でみると、農業用ダムや農業用関連ダムを含めると2,344（平成17年ダム年鑑）となる。

国営造成施設の管理は、主に土地改良区あるいは都道府県や市町村に対して管理委託を行っている。Table 1は管理主体別の基幹的ダム施設数である。農林水産省が行う直轄管理事業は10施設であるが、これらは「利水面の公共性を有し2県以上にまたがる施設管理」や「水系単位の基幹水利施設群の一元的管理」が採択要件となっている。

管理の実際としては、土地改良法で求められる管理規定、河川法で定められる操作規定、その他の関係法令を遵守して操作が行われる。ダムの管理体制については、従来人手に頼っていた部門の機械化を図った管理システムの導入により、各種合理化が行われており、管理施設機器や管理の高度化に伴い、管理技術の向上が求められている。ただし、貯水池運用は、洪水、地震等の予期しがたい自然現象を対象とするため、災害防止の観点からも適正な貯水池運用が望まれる一方で、現在の技術や機械の信頼性の面から、相変わらず人の判断に頼っているのが現状である。管理制度における問題点・課題としては、土地改良区等への委託先におけるダム管理主任技術者の高齢化、直轄管理事業における管理技術者の管理技術の向上等が挙げられる（農林水産省農村振興局，2004）。

b 管理システムの現状

ダム管理や貯水池操作を適正に行うため、ダム地点ならびにダム近傍において気象・水象の観測を行う必要があり、観測項目が決められている。また洪水吐ゲートを有するダムではさらに短時間間隔の値が要求される。

例えば、予備警戒時や洪水警戒時には、常時満水位を超える可能性がある場合は、放流開始時刻と予定最大放流量を調べ、貯水池運用を決定する必要がある。そのためには、気象・水象情報を的確かつ迅速に収集することが基本となる。最近の管理システムでは、ダム流域内の雨量局や水位局の観測値をテレメータで収集しているのもその一例である。急激な流出増加が見込まれる地区においては観測時間を短縮し、10分間毎の値が分かるようにもなっている。ダムによっては自動警報システムも導入されている。そこでは、各観測局の雨量、貯水位、流入量のいずれかが一定の基準値に達すると、管理所の警報アラームを鳴らすとともに、自動的に電話で統括管理事務所と管理職の官舎に通報することになっている（塩田，1993）。また、このシステムは音声応答にもなっていることが多い。

その他、雨量を把握するための補助手段として、気象協会の気象情報システムや河川情報センターの情報サービスから、今後の台風の進路や当該地域の雨量予測情報（雨雲の飛来状況、降雨強度等）を利用している例もある。これらの情報契約を結んでいるダムは44ダム（次項の調査参照）ある。

c ダム管理実態調査

ダム施設の運用の実態及びダム管理における問題点の把握を行うために、国営事業により築造されて運用が行われているダムを対象にダム管理実態調査（農業工学研究所施設管理システム研究室，1993）がダムの管理主体へのアンケートとして1992年に行われた（以下、実態調査と呼ぶ）。最大有効回答数は78である。管理施設、堆砂、運用、操作等ダム管理に関連して行われた調査の中から、貯水池操作に係わる項目について述べる。

利水運用としては、多くのダムで2、3年に1回以上の節水対策が行われてきた。また、操作水位や貯水量と節水時期の関係等、節水対策を行う上での目安を作成しているダムは半数程度である。一方、洪水時の操作はダム管理の中でも重要なものであり、操作規程にも定義されている。洪水の頻度は、数年に1回又は年に1、2回のダムが多く、操作上の困難な点として、警報・巡回のタイミング、予備放流の判断、流量増加時の操作が挙げ

Table 1 国営造成基幹ダムにおける管理主体別の施設数
Number of key agricultural dams constructed by the Government according to their management sectors

国	都道府県	市町村	土地改良区	委託協議中	計
10	22	6	53	7	98

（農林水産省構造改善局（現在：農村振興局）調べ：平成5年度）

られている。出水予測は多くのダムで行われているが、予測の方法として、過去の経験からの予測方法をとっているところが多い。

上記の他にも、ダムや貯水池の流水管理に関するアンケート調査の例もある（角屋ら，1996）。

2 利水運用

a 利水運用実態

実態調査によると利水運用を行っている地区のうち、約2/3の地区で2，3年に1回以上の取水制限（節水）を経験している（有効回答数65）。通常ダム貯水量が低下すると土地改良区等の管理主体は理事会や委員会等での協議の上、節水を実施する。期別の水位や貯水量等の節水実施の目安を作成、準備している地区は節水対策を行っている53地区中39地区（74%）である。14地区（26%）は特に目安となる基準を定めていない。基準としては計画基準年の貯水量が12地区（23%）、独自に定めた期別貯水量が27地区（51%）である。

b 貯水池の運用ルール

利水のための貯水池操作においては、利水の必要な時期までである安全率で貯水を残すような貯水池運用を行う必要がある。そのため、運用のための客観的基準が必要となり、これを「貯水運用ルール」と呼んでいる。

計画的な貯水池運用は、二つの相対立する目標を調整しながら行わなければならない。その目標の第一は、有効放流を促進して下流受益値の水需要に積極的に答えていくことである。しかし、有効放流の促進は、結果として貯水量の減少を加速する。第二は、渇水対策の必要性である。現在あるいは将来の渇水に備えて、むしろ放流を抑制する。貯水量の保存ないし回復増加がその目標となる。

これらの相対立する2目標が、利水ダムの貯水池管理を難しくしている。農業用ダムで用いている基準はFig.1に示す貯水運用ルールである。これは、時期別に一定の貯水量レベル（基準貯水ライン）が設定され、これを境界にして、上記の2目標を明確に区分して貯水池運用を行っている。基準貯水ラインより上位の貯水域では需要に応じて放流が促進され、これより下位の貯水域では渇水の対策のために放流が抑制される。需要サイドの要請が尊重される前者を「需要主導型」、供給サイド（ダム管理者）のイニシアティブが卓越する後者を「供給主導型」と呼んでいる。ただし、需要主導型の場合には、期待できる降雨が一定でないこともあって農業用水需要量の時間変動の把握が難しいという特徴がある。

基準貯水ラインの確率年には10年が採用されることが多い。

c 節水ルールと渇水調整

実際の利水管理では、放流制限ラインに加えて、取水制限に重点をおいた「取水制限ライン（節水ルール）」が作成されることもある（千賀，1984，角道ら，1997）。

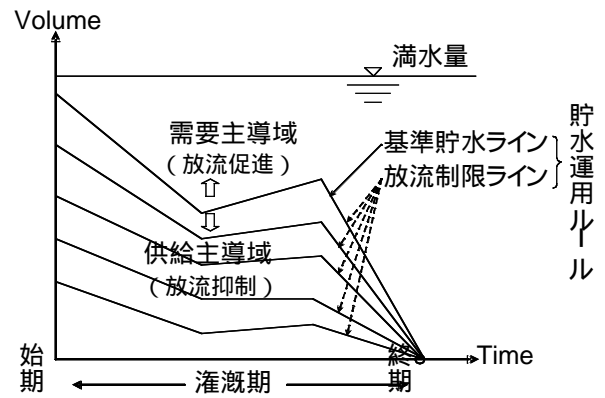


Fig.1 貯水域（灌漑期）の区分と貯水運用ルール
Classification of irrigation period and rules for dam operation

基準貯水ライン：灌漑期末日までに貯水量が0とならないことをある確率で保証する各期の貯水量を示すライン
放流制限ライン：実際の貯水量が基準貯水ラインを下回ったときに、貯水の欠損の程度に応じてとるべき領域を示すライン

Fig.2は、基準貯水ラインと取水制限ライン（取水制限率10，20，30，40%）の運用ルールの例である。貯水量がP1になれば、制限率10%の取水制限に入り、貯水量がP2まで低下すると、20%の取水制限がかけられる。その後、貯水位の回復を待って、P3で10%の取水制限に緩和され、P4では取水制限が解除されることになる。

平成6年の渇水時には、十津川紀の川地区では2回取水制限が行われた。運用される一般的な取水制限率は、10%から始めて渇水が厳しくなるにつれて上げていく方法であるが、当地区では最初から一律30%の取水制限率が採用された。同じ節水率であれば、土地改良区等が同様な節水体制や方法をとることができ、迅速かつ容易に渇水対応ができる（農業土木技術研究会，1995）。すなわち、それは節水率を固定して節水期間で調整する

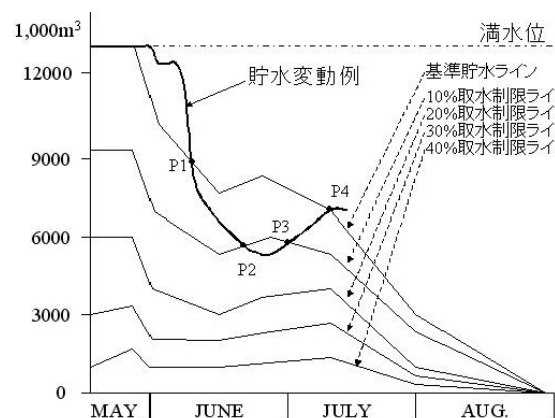


Fig.2 ルールラインに基づく貯水運用例
An example for reservoir operation according to rule lines

方法である。この例にみられるように貯水池運用に関連して、以下のような節水の考え方を明らかにする必要がある。

取水制限にみられる節水により、被害の出現の仕方は農業・工業・水道の間でどのように違うのか。特に、農業分野における被害(迷惑曲線)の検討が必要である。また、取水制限のやり方をどのように決めるのか。すなわち、上水・工水・農水の間で取水制限率に傾斜を付けるべきか。10% 20% 30%.....と0% 40% 80%.....とでどちらが適切な節水法か。さらに、渇水による被害が出た場合の算定の仕方はどうか。ここで、ダム建設(計画)段階では水を一様に使うとして被害を算定しているが、節水の場合の被害算定はどうするのか。

渇水に対処するための、長期的な雨の予測や渇水期待値の考え方はどうか。これらの課題はいずれも運用ルールと大きく関連している。これらの一部は、平成6年の渇水を契機に、木曽川・豊川水系の渇水対策として検討されている(木曽川・豊川水系渇水対策検討委員会, 1994, 1995, 1996)。ここでは、確率動的計画法を用いた検討等も行われている(堀川ら, 1993)。

d ダム群の合理的運用方法

同一水系内の複数ダムから受益地に水を供給する場合には、複数ダムの合理的な運用が必要になる。その運用ルールとしては、できるだけ簡単な方法で利水管理ができ、しかも各地域の用水確保について偏りがないものにする必要がある。しかし、単独ダムの運用ルールではなく複数ダムの運用ルールについては、検討すべき系が複雑になるうえに渇水対策が継続的に検討されないため、未だ明確な回答が得られていない。

3 洪水管理

a 洪水管理の実態

洪水の頻度

実態調査によると年に1回以上「洪水時」に伴う管理体制に入ったことのあるダムは全体の約1/3ある(有効回答数78)。ただし、竣工後、10年以上経過したダムのなかにも、過去に洪水(管理規定に定められた流入量)が生じていないダムの割合が約1/4もある。

洪水時操作の種類

ダムの中には洪水吐ゲートを持つものと持たないものがある。洪水吐ゲートを持たないダムの操作は、基本的に取水の停止と放流開始の警報である。洪水吐ゲートを持つダム(調査ダムの約半数)はこれに加えて洪水吐ゲートの操作を行わなければならない。それらのうち約1/3にあたるダムで予備放流の規程がある。

洪水吐ゲートを有する利水ダムの操作法として2つの型が主に採用されている。一つは、流入量が洪水量に達した後は流入量に等しい値を放流する方法であり、もう一つは10~60分程度前の流入量を放流する方法である。ただし、前者は後者より流量上昇時の操作の把握が困難

であり、特に後者で設計洪水水位と常時満水位が等しい場合には予備放流を行うことが必須条件となる。

操作の困難性

洪水時の操作で最も困難と考えられるものは、洪水吐ゲートを持たないダムでは警報及び巡回の時期を把握することである。洪水吐ゲートの有るダムでは洪水期間中は操作規程にしたがってゲートの開閉を行う。洪水ピーク後あるいは洪水終了後に維持すべき貯水位として、常時満水位と予備放流水位が指定される場合がある。後者の予備放流水位が指定されているダムでは洪水の心配のなくなった時点で、貯水位を常時満水位に回復させることを義務付けられているが、貯水位が回復するかどうかの判断は難しい。ただし、その水位回復を開始できる時点は通常操作規程に明示されている。また、操作規程は設計洪水を安全に流下させる方法を記しているが、農業用ダムの多くは洪水のための貯留容量をもっていないという現実がある。

出水予測

流入量予測は多くのダムで必要と考えられており、特に、ピーク流入量の予測が最重要と考えられている。流出予測時間については、1時間前の予測が重要とされ、5時間以上前の予測を必要とする地区もある。使われる流出モデルとして、主に貯留系モデル(タンクモデル、長短期流出両用モデル、貯留関数法)を利用している。ただし、分布型流出モデルを実管理に利用している所はないようである。また、流入予測を行っている場合も、ダム供用開始後ある程度の年数を経た人間の経験を活かした的確な判断を行うことが大変重要であるとの認識もある。

b 洪水吐ゲートの有無と洪水管理

洪水吐ゲートを有するダムでは、洪水発生時に貯水位が予備放流水位(予備放流水位が規定されていないダムについては常時満水位)に達すれば操作規程により洪水中は一意的に操作方法が規定されていることが多い。達していなければ、放流しないことも可能である。しかし、貯水量が予備放流水位または常時満水位を越えた時点では規定された流量を流さなければならないが、放流量を増加させる範囲は指定されている。そこで、ダム貯水位が常時満水位または予備放流水位を下回っている間でも適当なときに放流を開始し徐々に放流量を増加させなければならない。

このため、洪水ゲートを有するダムでは、ゲート敷高(越流頂)に水位が上昇するまで、利水放流用バルブからその能力一杯の流量を放流し、越流頂を越える水位になってからゲートを徐々に開き、放流量が流入量に近くなるまでに徐々に放流量を増加させる。

一方、洪水吐ゲートを有しないダムにおいて、特に問題となるのは、洪水吐からの放流開始時点と洪水ピークが合致した場合に、突然洪水吐から相当量の放流量が発生することである。そのような場合には、下流河川の水

位上昇速度が、無害放流と呼ばれる30cm～50cm/30分を超えないかどうかの検討を行い、越えると予想される場合には警報区間を設定し、警報を行う必要がある（農林水産省農村振興局，2004）。

c 流出特性の把握と洪水予測

放流開始時刻と最大放流量をできるだけ早くかつ正確に予測することは、警報活動や下流の防災上重要である。そのためには豪雨の特性や流出特性の把握が必要である。特に、洪水吐ゲートを有するダムにあっては、流出予測の手法やそれに基づくダム流入量の実時間予測システムの構築も不可欠である。

d 利水ダムにおける洪水調節

利水専用ダムは、一般に洪水調節機能（容量）を持っていない。そこで、貯水容量を変えなく、ある程度の洪水調節機能を持たせる方式が検討されてきた。貯水池操作においては、常時満水位を越えて貯水できないため、操作遅れによる貯留量の増加に対する対策が必要となる。そこで、実際には以下のような工夫例が見られる。例えば、満水状態の期間を最大利水時直前に限り、極力短くする、また、出水期には制限水位を設け、常時はこの水位を上回らないよう、また非洪水期には警戒時における予備放流水位を定め、常時満水位で管理する、放流開始前の関係機関への通知所要時間を考慮して、常時満水位より3.0m低い管理水位を設定している、等の実例がある。また、利水用ダムの貯水容量の変更を行わずに洪水調節を行う方法として、洪水調節ダムに見られるコンジット（オリフィス）を設けることの提案もある（農業土木技術研究会，1995）。ダム堤体の中央部からゲート放流できる構造のため、早い時点で利水放流能力以上の放流が可能となり、早急に洪水調節容量が確保できる。

4 流域総合管理

a 流域管理の必要性

水資源開発の進んだ水系においては、用水計画が広域的で複雑になるとともに水需要の逼迫に伴い、渇水時において利水の競合等が発生し易くなる。こうした時、水資源の有効化を図り水利利用の調整を円滑に進めるためには、水系全体の雨量、流量、用水量等の情報を総合的に把握した総合管理主体による一元的・効率的な管理が必要となる。洪水時においても、ダム放流は流出予測等高度な判断による操作技術が要求される。特にダムが複数ある水系では、下流の防災上、個々のダムの密接な連携の下に洪水予測、流出予測を的確に行い、ダム放流による河川の洪水量の増幅等がないよう操作しなければならない。

これらの施設の管理を各地区毎に土地改良区等が行うのでは、その調整は容易でないため、総合管理主体は農業水利施設の公共性、安全性、利益の確保を図るとともに外部の組織等との協議調整が対等に行える主体である

ことが重要である。このような管理主体による総合管理により次のような効果が期待される。すなわち、施設群を総合的に操作することにより、水系単位での渇水時の利水調整や洪水時の安全管理に寄与する。農業用水の安定的かつ最適供給が可能となり他種用水を含めて水系全体として水資源の有効利用が図られる。なお、複数の既設貯水池を最適に総合運用管理し、水資源の有効化を図ることにより新たな水資源開発を行うことも可能である。その検討にDDCルールカーブを用いた改良法（及川ら，1990，渡辺ら，1991）、線形計画法、動的計画法等を用いた運用方法（堀川，1993，1994）、知識情報を活用した施設管理法（増本ら，1994，増本，1994）、ファジィ化ニューロ法を用いた簡易流量予測法（増本ら，2002，2003，農業工学研究所水文水資源研，2003）等も提案されている。総合管理主体に管理人を効率的に配置することにより、省力化、施設の適正な維持保全が図られ、水系全体としての管理費用の節減につながる。

今後、総合水管理は水系内水資源開発の進展に伴いその必要性は増大していくものと考えられる。こうした趣旨に添って、農林水産省自らが総合管理主体になって管理することができる「広域農業水利施設総合管理事業」制度が創設され、平成2年にはこの制度に沿って具体的に「加古川水系地区」が発足している（福川，1994）。

b 流域総合管理の課題

流域を単位とした総合管理の場合、洪水管理や利水運用にみられる貯水池運用の課題に加えて、農業・工業・水道間の水需要の把握と水利調整が必要となる。渇水に対する総合運用においても、河川上の基幹水利施設の線としての管理のみならず受益地帯の取水量の配分・決定等、面的な管理の必要性もでてくる。こういった総合的ではあるが複雑な水管理に対する合理的な管理についての問題は、管理者の経験を有効に利用したり、利害者の損得を考慮する必要があるために、将来的に各種のAI技術やゲーム理論等にみられる意志決定方法を用いて検討、解決されるべき課題となっている。

利根川上流域における水資源施設群の現状

1 利根川上流域の概要

利根川は群馬県北部の大水上山（標高1,834m）に源を発し、関東平野を西から東に貫流し、支川を含めた流路延長は約6,700km、流域面積は16,840km²に及び日本最大の河川である。流域全体は東京都、群馬県、栃木県、埼玉県、茨城県、千葉県という首都圏の1都5県にまたがり、日本の社会・経済活動の中核となっている。

そのうち利根川の中流部、渡良瀬川の合流付近の栗橋地点より上流を利根川上流域と称し、その流域はおおよそ奥利根流域、吾妻川流域、烏・神流川流域、渡良瀬川流域の4地域に大別されている。全流域を水系ブロック



Fig.3 利根川上流域における水資源施設 (多目的ダムまたは農業用ダム堤高15m以上, 主要取水施設等)
Water resource facilities in the Upper Tone River Basin
(Multi-purpose dams and/or agricultural dams with dam height of 15m or more, and main intake facilities)

に分割し, 岩本上流, 利根大堰上流, 渡良瀬川, 中川, 思川等に分割している例もある(例えば, 農業工学研究所, 2003)。栗橋より上流域面積は約8,588km², 本川流路延長は約192km, 栗橋地点における年間総流出量は約75億m³(河口では約140億m³)である。

2 水資源施設の建設

利根川の水利用は古くから農業用水を主体として利用されてきたが, 上流域の農業水利は, 水源山地河川を除くほとんどの河川において, 昭和以前から既に安定的な取水が確保され得ないものであった(農業土木学会, 1987)。洪水防御, 食糧増産のための農業用水の確保, 電力の供給等戦後復興の中核として, ダム等の建設による新たな水資源開発が必要となった。このため, 利根川は昭和37年水資源開発促進法による水系指定を受け, ダムによる洪水調節計画に応じ, 建設省や水資源開発公団によって, 計画的に多目的ダムや取水堰, 調節池, 導水路等が建設され, 急増を続ける水需要に応じている(国土開発調査会, 1981, 建設省関東地方建設局, 1987)。

多目的ダム, または, 堤高15m以上の農業用ダム, 主要取水施設や導水路等を含む利根川上流域における水資源開発施設の位置は, Fig.3に示すとおりである(利根川水系土地改良調査管理事務所, 1999)。首都圏の人口集中や更なる経済成長の影響による水需要の増大に伴って, 昭和37年の利根川における水資源開発基本計画

(次フルプラン)を基に, 昭和45年に 次フルプラン, 昭和51年に 次フルプラン, さらに, 平成2年に 次フルプランが決定された。既に完成した施設の供給能力は, この計画された水需要量の7割未満にとどまっているのが現状である(水資源開発審議会, 1999, 国土交通省, 2004)。

3 ダム群の管理

利根川水系における水資源開発施設は, それぞれの成立時点において, 河川法・特定多目的ダム法・水資源開発促進法等を根拠として, 施設の利用者と利用の方法を特定し, 費用の負担や管理の方法を定めていることにより, それぞれ管理主体や利用の対象を異にしている。

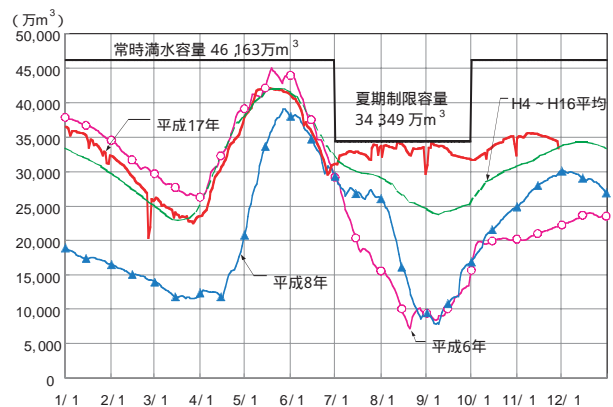


Fig.4 7ダムと遊水地の統合貯水容量図 (インターネット情報を独自情報で加工)
Total storage lines of 7 dams and 1 retarding basin

個々の施設管理は操作規則を基本に行うが、水系全体として洪水調節や用水供給をより有効かつ適切に行うには、水系内のダム群を統合した管理が必要となる。このため、利根川上流域においては、昭和39年に利根川ダム統合管理事務所が設置され、国土交通省、水公団（現水資源機構）ダムを含め完成ダムを順次統合管理し、平成4年から現在7ダム（藤原、相俣、菌原、矢木沢、奈良俣、下久保、草木）と1調節池（渡良瀬遊水地）の計8施設の統合管理が行われている。

7ダムと1遊水地の合計利水容量は、洪水期（7月1日～9月30日）では約3.4億m³、非洪水期（10月1日～6月30日）では約4.6億m³であり、常に全ダム合計の貯水率で水の運用管理が実施されている。8施設のリアルタイム情報はFig.4に示すようにインターネットでも公表されている（利根川上流河川事務所、利根川ダム統合管理事務所）。

4 課題と問題点

a 降水量変動

利根川栗橋上流域の年降水量を1900年から約100年間解析した例では、近年、降水量の減少傾向が見られ、多雨と少雨の年の変動幅が拡大しているとの報告がある（利根川ダム統合管理事務所）。その結果、従来想定していなかったような異常な洪水や渇水が発生する可能性が大きくなり、今後の施設の安全運用や水資源の不安定化が懸念される。

b 頻発する渇水

利根川では、水資源開発施設の建設の当初、基準渇水年の設定については、大正7年から昭和39年までの47年間の流況に基づき、1/5年の利水安全度が確保されながら、ダム群貯留量がほぼ0となる昭和35年が基準渇水年となった。すなわち、現在のダム等施設は、昭和35年渇水時の降雨レベルで安定的に取水できるよう計画されている。しかし、利根川流域では、近年は2～3年に1回の割合で渇水が頻発し、計画の利水安全度1/5に達していない現状のようである。

Table 2には利根川における既往渇水の状況を示している。利根川では、昭和47年から平成17年までの34年間で16回の取水制限が実施された。その中、1ヵ月以上の取水制限が10回も発生し、特に、平成6年、8年の夏期に30%取水制限を実施した大渇水が社会生活、経済活動に大きな影響を及ぼした。

c 洪水期と農業用水必要時期との競合

ダムの洪水調節容量は過去の基準となる降雨を基に決定され、その運用は、ダムの運用曲線を用いて行われる。特に、利根川の治水計画の計画規模は、本川については既往最大洪水（カスリン台風規模、1947年）をもたらし実績降雨より推定されるピーク流量と超過確率1/200年の降雨から推定されるピーク流量を比較し、いずれか大きい方が採用され、支川については1/100年が

Table 2 利根川本川における既往渇水一覧（1972～2005）
List of record droughts in the mainstream
of the Tone River

年	取水制限 期間	取水制限 日数	最大取水 制限率
S47	6/6～7/15	40	15%
S48	8/16～9/6	22	20%
S53	8/10～10/6	58	20%
S54	7/9～8/18	41	10%
S55	7/5～8/13	40	10%
S57	7/20～8/10	22	10%
S62	6/16～8/25	71	30%**
H2	7/23～9/5	45	20%
H6	7/15～9/19	67	30%
H8	1/12～3/27	76	10%
	8/13～9/25	44	30%
H9	2/1～3/25	53	10%
H13	8/10～8/27	18	10%
H14*	6/25～7/10	16	10%
H16*	7/17～8/2	18	10%
H17*	6/29～7/8	10	20%

*渡良瀬川のみ実施

**渡良瀬川では農水60%、上水40%

基本とされている。

洪水量の基準としては、ダムの下流河川に影響がない流量、下流河川の指定水位、1年に1～3回程度発生する高水流量を考慮しながら決定される。利根川においては、基準地点の八斗島地点（Fig.3参照）での1/200の安全度と、ダムを造る河川における1/100の安全度の両方を確保するために過去の洪水を基に様々な降雨条件（降り方、降る地域等）を考え、いくつもの洪水に対し

Table 3 利根川上流における洪水一覧（1970～2004）
List of record floods in the mainstream of the Tone River

年	月	洪水原因	降雨規模 (mm/3日)	観測 地点
S56	8月	台風15号	409	足尾
S57	8月	台風10号	329	足尾
S57	9月	台風18号	302	万場
S61	8月	台風10号	151	足尾
H3	8月	台風18号	294	雨見山
H10	8月	集中豪雨	300	雨見山
H10	9月	台風15号	263	足尾
H11	8月	熱帯低気圧	419	万場
H12	9月	台風17号	220	倉淵ダム
H13	9月	台風15号	467	足尾
H14	7月	台風6号	377	足尾

て洪水調節計算を行い、ダムを造る場所に適したものと
なるように、洪水調節方式や洪水調節容量等が策定され
る。さらに安全にするために、その必要な洪水調節容量
の20%上乗せした量を実際のダムの洪水調節容量として
いる(建設省河川局, 1993)。

現在は、既往降雨デ-タから各年の梅雨や台風といっ
た洪水期(期間幅)に生じた3日間雨量や一雨雨量等の
最大値を抽出し、確率値を定めて計画降雨を設定し流出
解析および計画上の放流操作を行って定めている
(Table 3の既往洪水一覧を参照)。

その洪水調節容量をとる期間幅はオールサーチャージ
方式として通年(1~12月)に設定されるか、降雨の
多い期間(通常7~9月)を洪水期として設定するが、
後者の例が多い。その場合、その時期は農業用の水利用
量が増大する灌漑期と競合することになる。そのため、
利水容量の多くを洪水貯留のために放流することにな
り、利水容量の不足や渇水が生じやすくなる。

d 過去の操作ルール(制限水位曲線)

利根川上流域では、洪水に対する安全性を高める水施
設の整備や安定した水供給のために一層の水資源開発お
よび利用の合理化等が重要な課題となっている。そこで、
利根川の現利水計画は、水系内に配置される多目的ダム
等の貯水池群を一元的に管理する構想のもとに立てられ
ており、これらの貯水池群を有機的・効率的に運用する
ことを前提に水の貯留・放流の計画が立てられている。
そこでは、事前放流が可能な放流設備があることから、
予備放流方式をとっているため事前放流と同様な操作を
通常業務で行っている。

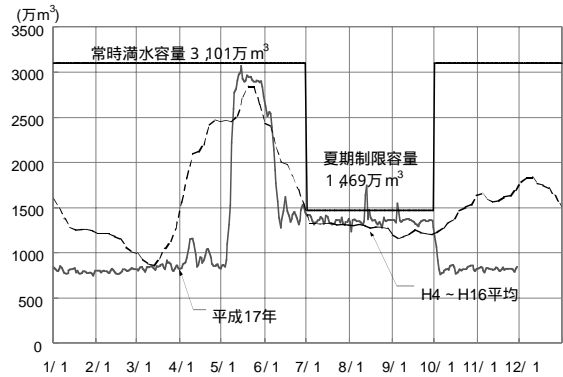
ダム群の運用方式の検討

1 現在の運用曲線

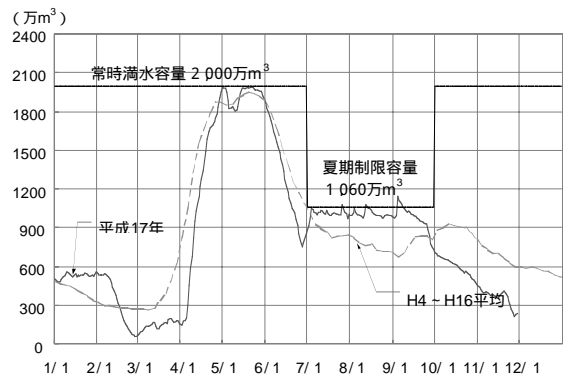
過去の降雨資料から利根川上流域における降雨の地域
分布状況を見ると、その平均値は奥利根流域0.252、吾
妻川流域0.358、烏・神流川流域0.390となっており、
烏・神流川流域に降雨が集中したことによる洪水が多い
ことがわかっている(国土交通省河川局, 2002)。

ここで、前述の7ダムと1遊水地の内、貯水容量が小
さい割に流入量が多いことが特徴である利根川上流の最
北部の奥利根流域に位置する藤原、相俣、葦原の3ダム
を採り上げる。それらのダムの特徴をTable 4に示す。
藤原と相俣の両ダムに比べて、葦原ダムの夏期制限水位
は高く設定されていることが分かる。また、Fig.5は藤
原・相俣両ダムにおける貯水容量である。夏期制限水位
の設定により、その期間のダム貯水位は、そのラインま
で下げられている。

一方、渇水は夏期制限期間前の6月から発生するもの
と、8~9月に発生するものがあり、冬期にも発生する
ことが分かる(Table 2)。



(a) 藤原ダム (Fujiwara dam)



(b) 相俣ダム (Aimata dam)

Fig.5 貯水容量の比較

Comparison of reservoir storage

Table 4 藤原・相俣・葦原3ダムの特徴
Characteristics of 3 dams (Fujiwara,
Aimata and Sonohara)

ダム名	藤原	相俣	葦原
基本諸元等			
集水面積 (km ²)	138.2	110.8	493.9
間接流域(外数値)	262.8	-	113.7
総貯水容量(千m ³)	52490	25000	20310
有効貯水容量(千m ³)	31010	20000	13220
治水容量(千m ³)	16320	9400	10220
サーチャージ水位(E.L.m)	654	565	565
常時満水位(E.L.m)	651	565	564
最低水位(E.L.m)	624	535	543.5
予備放流水位(E.L.m)	639	563.5	543.5
制限水位(E.L.m)	639	553.5	550
完成年度	1958	1959	1966
洪水調節方式	自由越流 定置放流	自由越流 定置放流	定率放流 定期放流
計画高水流量(m ³ /s)	1320	650	2350
計画最大放流量(m ³ /s)	520	330	1550
調節流量(m ³ /s)	800	320	800
調節開始流量(m ³ /s)	28	10	1000
洪水流量(m ³ /s)	500	200	1000
調節放流量(m ³ /s)	流入量 < 520m ³ /s 放流量 = 自由越流量 流入量 = 520m ³ /s 放流量 = 520m ³ /s (constant)	流入量 < 330m ³ /s 放流量 = 自由越流量 流入量 = 330m ³ /s 放流量 = 330m ³ /s (constant)	流入量 < 1000m ³ /s 放流量 = 流入量 1000m ³ /s 最大流入量 1000 × (流入量 - 1000) × 0.296 最大流入時以後 最大流入時の一定割合放流

2 夏期制限水位の変更の可否

気象庁のレポート「近年における世界の異常気象と気
候変動(1999)」によると、近年の傾向として異常少雨
の発生数が増加していることが報告されている。また、
全国の年降水量の平年比を見ると、観測開始から1970

年頃までは多雨であったが、それ以降は少雨となり、長期的には過去100年あたり約7%減少していることが報告されている(気象庁, 1999)。わが国の水資源開発は原則として10年に1度程度発生する少雨年で利水者が取水可能となる水量を開発水量としてきた。しかし、近年の少雨化傾向により、地域によっては安定的な供給ができなくなり、渇水が発生する等水利用の安定性が損なわれている可能性がある。新しい計画を策定するに当たっては、近年の降雨状況を踏まえた供給施設の実力の点検を行うことが必要である。一方、少雨の年については、渇水による取水・給水制限や被害の状況を整理し、シミュレーション結果と実態との比較検討も行う必要がある。新しい計画において、水利用の安定性を確保するためには、水資源開発施設の建設や水源の複数化、改築や再開発等による既存施設の有効活用、施設運用の弾力化、水の回収・反復利用の強化、節水の強化等供給と需要の両面から対応施策を検討することが必要である。

これまで開発計画を推進した結果、多くの水資源開発施設が完成したため、今後はこれらを有効利用することが必要と考えられる。渇水調整等の運用論についても計画論とあわせて議論を行ってみる必要がある。渇水時における開発水量の弾力的運用を可能とするための検討も必要となる。ダム群の効率的な統合管理、安全に事前放流ができること等を条件とした洪水調節容量の一部活用、堆積土砂の除去等によるダムの再開発等、ダムの運用や管理を効果的かつ弾力的に行うことにより、水利用の安定性を向上させることが重要である。

一方、多目的ダムの有効容量は治水容量と利水容量に分かれており、限られた貯水容量をより有効に使うためには、治水および利水両方の安全度が各時点で最大になるように設定することが望まれる。

許士ら(2003)は、Fig.6に示すように、通常洪水期と非洪水期に分かれている治水容量をさらに細かく期間別に分けて設定する方法を検討した。計算方法としては、ある時点を中心に一定の期間幅を考えて、その期間内に各年で生じた3日間降雨や一雨降雨の最大値の確率値をとって各時点に対応した必要治水容量を算出するものである。その結果、北海道札幌管区の降雨データに対する分析より、7~15日間隔で各時点の確率値を表現することができたと報告している。このように、実現は難しいかもしれないが、運用曲線を多段階に動かすことできめ細かな貯水池運用ができ、安全な洪水管理と利水容量の増大が同時に確保できる可能性もある。

洪水予測に基づくダム管理では、降水量の実績値に基づく経験的な水管理が行われているのが現状である。洪水管理については、各ダムともそれぞれの操作規則に基づいて実

施されている。しかし、利根川では、河川管理の参考値として、水文情報、レーダー情報に加え、気象情報をリアルタイムで収集し、大型計算機を用いて今後の降雨予測や洪水予測等を行っている。さらに、平成14年度から、国土交通省関東地方整備局および気象庁予報部が共同で洪水予報を実施している。そこでは、従来に比べて気象庁の降雨予測技術の向上により、週間天気、3日、1日、6時間程度先の降雨情報等が分かるようになった(近藤, 2003)。また、国土交通省のレーダー雨量計等により、さらにきめ細かい降雨状況の把握ができ、事前放流するタイミングを早めから決定できるようになってきた(村瀬ら, 2004)。その上、レーダー雨量計や衛星による降雨の分布情報を分布型流出モデルによる洪水流出解析に活かしてダム操作の洪水管理に関わる影響(流入量・水位)解析も可能となってきた(小池ら, 2001, yangら, 2004, 佐山ら, 2005, SAAVEDRAら, 2006)。また、ダムの管理技術の向上として、コンピュータ導入により雨や水位等のリアルタイム観測から、流入量やその流入量に対して適切に洪水調節したときの放流量を迅速に計算できるようになり、より正確に放流の操作ができるようになってきた。これらの先進的な科学技術、洪水予報レベルの上昇、操作方法(予備放流、一時的に超過貯水)の導入により、従来と比べてダム管理に係わる降水予測技術・洪水予測技術・観測設備の向上かつ安全有効な管理操作に基づき、制限水位の高めへの変更が可能となってくる。

3 制限水位を変更するための前提条件

ここで考えられる洪水期の渇水対策として、制限水位の変更に関して以下の方法が考えられる。i)貯水池の洪水期に同一水位で運用する方式を時期別に水位を設定する運用方式に変更する、ii)制限水位を上昇させることにより各種利水容量を増大させる。

これらを実行するための前提条件としては、ダムの各種機能を変えない、治水安全度を変化させない、新たな治水工事を発生させない、設計洪水を変化させないことが必要である。ただし、同時に、洪水予報(洪水確率・流量・予報日数)、洪水調節支援(操作判断)、雨量予報(水文解析、レーダー情報利用)、天気予報、安全かつ有効な操作管理、事前放流操作等の各技術の向

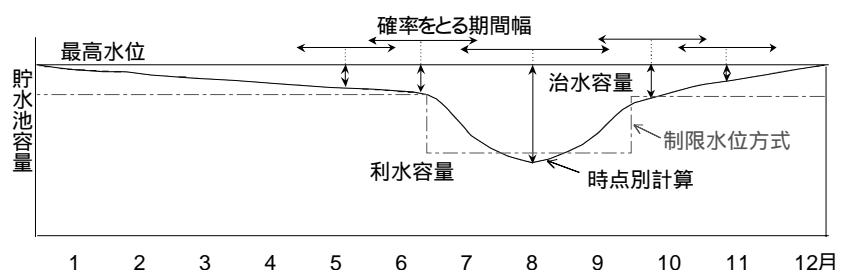


Fig.6 多段階制限水位の設定
Introduction of multiple dam control lines

上や短期降水予測に基づく洪水予測等の精度向上が不可欠である。さらに、洪水のリアルタイム予報、洪水予報に基づく洪水頻度解析、その他の監視等の情報伝達等のための情報機器の導入も必要となる。

高度一括管理の可能性

1 施設の弾力的管理・運用の試み

ダム群の効率的な統合管理のために、安全に事前放流ができること等を条件とした洪水調節容量の一部活用等、ダムの運用や管理を効果的かつ弾力的に行うことにより水利用の安定性を向上させることは、既存ダムの運用方法として重要な課題である。

近年、水利用は増加傾向にある反面（将来需要予測では、過去に想定された程の伸びではなくなってきているといわれるが）、頼みの雨は少雨傾向にあり、毎年のように渇水問題が浮き彫りになる。一方、環境保全や行財政改革への関心の高まりから新規ダム建設は完成までに長い年月を要し、ダム建設によって渇水問題を解決することは困難な状況となっている。このような背景を踏まえ、国土交通省では、平成9年度より、「洪水調節に支障を及ぼさない範囲で、洪水調節容量の一部に流水を貯留し、これを適切に放流することにより、ダム下流の河川環境の保全、改善を図ること」を目的として利根川水系の園原ダムを含む全国7ダムを端緒に、「ダムの弾力的管理試験」を実施している。この試行で弾力的管理方法の問題点を把握し解決することにより、治水と利水の相反する機能を既存のダム管理方針を見直し、将来のダムの有効運用を目指している。引き続き、平成12年度に「ダムの弾力的管理指針(案)」を定め、本格的なダムの弾力的管理を開始した。平成14年度時点には、弾力的管理試験の実施は全国20ダムに加えられ、うちの16直轄ダムでその効果について調査も併せて実施された（国土交通省河川局河川環境課流水管理室、2002）。

弾力的管理における貯留とは、Fig.7に示すように洪水調節容量の一部に活用水位を設定し、一時的に貯留を行うものである。すなわち、洪水が発生する恐れのない時に制限水位等の所定の水位より高標高に活用水位を設定し、活用水位を超えない範囲で流水を貯留する。この新たに生み出された活用容量を用い、河川維持流量の増量放流、フラッシュ放流等の活用放流に使用する。フラッシュ放流とその効果は、通常よりも多くの水の放流を短時間行い、人工的に流量の緩急をつけることで、河川をリフレッシュし、ダム下流の河川環境を改善することである。ただし、その弾力的管理試験による放流効果については、フラッシュ放流による付着藻類の剥離・更新、よどみ（臭気、景観障害）掃流、及び維持放流による景観向上、生物の生息環境改善等の活用効果の事例として報告され（羽原ら、2001、谷田、2003、大杉ら、2002、2004、前田ら、2004、田代ら、2004）、環境

改善の検討が主で、農業用水等の利水への影響を論じたものは少ない。また、弾力的管理試験が指定されていないダムでも、洪水調節容量に活用容量を設定し、維持放流量を確保して河川環境の改善を図り、弾力的な貯水池運用を実施している例がある（福崎ら、2004）。さらに、国土技術政策総合研究所では、これらの実績を踏まえ、各貯水池とその下流河川で求められている環境目標を設定するまでの手法、貯水池・流入河川・下流河川の環境に応じた適切な貯水池運用手法の提案を行おうとしている（藤田ら、2004）。

2 洪水予測精度の向上

気象庁では、気象レーダーや大気予測モデルを活用することで、降水ナウキャスト情報を提供し、平成17年からは降水域の移動状況をもとに、全国内を1kmメッシュで10分ごと、1時間先までの予測結果を提供してきた。さらに、平成18年からは大幅に改良された予測システム（4次元変分法等）の導入によって、高頻度、長時間、高密度の雨量情報の提供を行い、将来的には局地的被害を発生させる集中豪雨の予測も可能になるという。

気象衛星等による気象観測が充実するとともに、上記のような気象予測モデルの進歩等により、降水量の予測精度が向上しつつある。このため、予測降水量を誤差の影響を加味したうえで水管理に活用する技術を開発することができれば、災害や渇水の発生を事前に予知し、被害の防止・軽減を図ることができる（和田、2005、和田ら、2005）。

3 検討課題

(1)運用曲線変更の解析手順

ダム群の運用曲線を変更してその効果を検討する手順としては、夏期制限水位の段階的の低下の可能性（例えば、水位を洪水期初期日に一気に下げるのではなく段階的に下げる）、夏期制限水位上昇（一定）の可能程度、水位上昇の効果を検討するが、同時に、下流側の洪水防止能力の確認、洪水予測日数の確定（短期洪水予報精度：数時間、天気予報精度：1～2日、気象庁の台

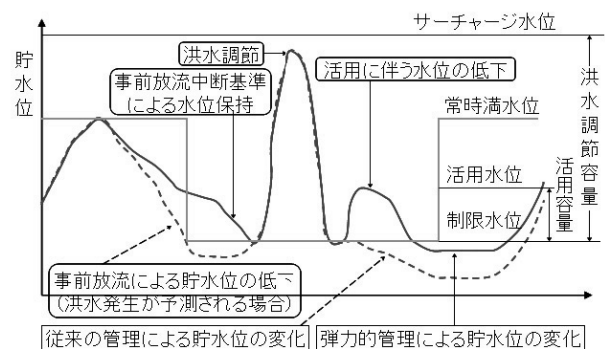


Fig.7 ダムの弾力的管理のイメージ図（国土交通省）
Image of flexible management of dam reservoirs

風予測：3日前)、洪水調節容量の検討、等を考える必要がある。一方、水位を高く維持したとしてもゲート等が構造上問題ないことも検討する必要がある。また、利根川の上流側と下流側の治水安全度を維持するために、ある確率年において、どの程度制限水位を変更できるかを検討する。さらに、ダムからの放流量を決定するために、何日先までの流入量を推定するかの検討、さらに流入量の確率評価の概念の導入等も必要になるかもしれない。

(2)運用曲線の変更

農業用水が必要な時期は、地域によって違いがあるが、5～9月のまさに制限水位としてダムの水位を下げる時期に重なっている。同様に、上水道用水にしても夏期の気温の上昇により需要量も増大する。しかし、制限水位を設けた運用を行っているダムについては、運用曲線は建設時に決められたものであり、これまでに連続した渇水や大きな取水制限を行ったとしても、それらの変更は行われてこなかった。

前述の弾力的管理にしても、運用曲線の変更までには至っていない。さらに、試行的な管理に関しても、洪水期に入る7月に一気に制限水位を下げていいる中で、貯水池水位を段階的に(例えば1ヵ月程度)制限水位まで下げる運用方式では最終の貯水量がどの程度変化するか、また利水容量確保にどの程度効果的か、あるいは制限曲線の水位を従来のもから一律高めに設定する場合、どの程度の上昇が許容できるか等のさらなる検討が必要であろう。

ダムにおける流入量予測の向上とともに、ダムの実時間操作についても、人間工学的な技術発展がなされた今の時代にあっては、制限水位を必要に応じて変更する等、一層弾力的に運用してもいい時代にきているのではないかと(増本, 2005)。さらに運用曲線を前述のように変更する方式の検討を行い、農業だけでなく、上水や工業用水等も含めた利水者の利益がどの程度のものなのか、の評価が行われることを期待したい。上記のようなダムの弾力的な運用は渇水には好都合でも、洪水に対する対策は万全かとの疑問に対しては、渇水と洪水を一体としてとらえることがますます重要となってくる。

(3)流域管理としての洪水対策

前述のような運用を行うと、流域を上流域と下流域に分けた場合の上流域の洪水の処理に対する安全度が低下し下流側に影響を及ぼす事態が発生する可能性もある(大熊, 1987, 池内ら, 2003)。そこで、下流側の洪水管理は、従来のダムを利用して洪水安全度を高めたり、雨水を集めて河道で迅速に流下させる方式から、総合的な流域管理、すなわち低平水田地帯が持つ洪水緩和機能や遊水地機能を活用するものに移行する。この方策は、下流側の洪水に対する安全を高めるために、超過洪水時には積極的に水田を遊水地として活用するもの(増本ら, 1998)であり、そこでは水田主体の低平農地が持つバ

ッファとしての洪水貯留機能を洪水管理に利用することになる。その効果は、流域レベルの洪水防止機能をマクロ的に評価する2種類の方法(ハイドログラフ波形を直接利用する方法、模擬発生雨量を用いて機能評価する方法)(増本ら, 2001, Masumoto, 2003a, 2003b)で評価することができる。さらに、水田域が持つ洪水貯留能力を遊水地の貯水量として代替評価する経済評価法も開発され、その方法を利用して各種対策との比較検討も可能となる。Fig.8は、低平水田の洪水防止機能を利用した流域管理を評価する手順を示している(増本, 2004)。

結 言

農業用の利水安全度を向上させるための水資源施設群の高度一括管理手法の検討の一部として、農林水産省関連の貯水池操作の現状ならびに利根川上流域ダム群の高度一括管理の現状と検討すべき課題について述べた。得られた分析結果ならびに提言を要約すると以下ようになる。

- 1) 農林水産省関連の貯水池操作に関わる実態や実管理上の問題点を中心に、農業用ダムの管理に関する状況及び農水省が直轄管理を行っている施設の管理事例について述べた。今後、複雑な水管理を合理的に行うためには、将来的に各種のAI技術やゲーム理論等にみられる意志決定方法を用いた検討も必要である。
- 2) 洪水調節のため貯水位を下げる期間は、降雨の多い期間(通常7～9月)に設定されることが多いが、その時期は農業用の水利用量が増大する灌漑期と競合することになる。そこで、運用曲線を様々に変えて、農業用水の有効利用が可能かどうかの抜本的な運用方法の変更の提案や詳細な検討が必要なことを述べた。
- 3) 利根川上流域におけるダム群の現状を見つめつつ、ダムの運用や管理を効率的かつ弾力的に行う水資源施設群の高度一括管理の現状と検討すべき課題について整理し、農業用水の安全度の確保を目指した運用曲線の変更の必要性を指摘した。さらに、下流での水田の洪水

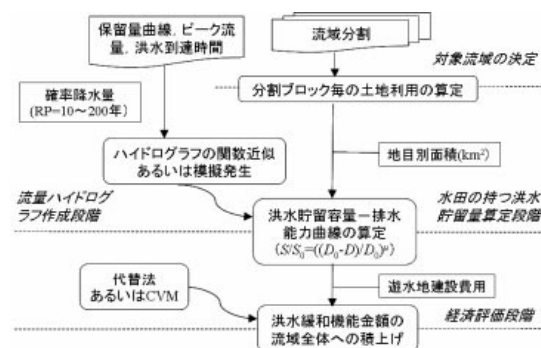


Fig.8 低平水田の洪水防止機能を用いた流域管理 Watershed management using flood prevention function of low-lying paddies

防止機能を積極的に利用し、上下流一体となった水資源施設群の管理の提案を行った。

洪水と利水の安全度を高めるため水資源施設群の高度一括管理手法の開発が求められる今日、農業用水の利水安全度の向上等既存ストックの有効活用のためには、当面はダム弾力的管理をとりあえず行って、将来的には運用曲線の変更等、管理の基礎となっている規則もさらに効果的なものに変えていくことが望まれる。

参考文献

- 1) 地球規模水循環変動研究イニシャティブ (2005): 地球規模水循環変動研究の最前線と社会への貢献, 170p.
<http://www.jamstec.go.jp/ipccwg1/water/>.
- 2) 服部文昭 (2005): 近年の日本の気候変化 猛暑と強雨増加の実態, 水資源シンポジウム「国連水の日 - 気候変動がもたらす水問題」, 15-19.
- 3) 堀川直紀 (1993): 貯水池群の分類と利水運用特性の解明, 応用水文5, 67-72.
- 4) 堀川直紀 (1994): 水管理制御施設の計画策定支援システム, 農林水産技術研究ジャーナル, Vol.17, No.10, 23-27.
- 5) 藤田光一・大沼克弘・鈴木宏幸 (2004): 下流河川の環境を考慮したダム貯水池の適切な水管理, 国総研アニュアルレポート2004, 32-33.
- 6) 福崎彰・上野直哉 (2004): 貯水池運用試験 (弾力的管理試験) の実施に向けた検討, 平成16年度九州国土交通研究会.
- 7) 福川和彦 (1994): 加古川水系におけるダム群の管理について, 平成6年度農業土木学会地方講習会 (テキスト), 農業土木学会, 81-93.
- 8) 池内幸司・西村政洋・金尾健司・塚原浩一・内藤正彦 (2003): ダム事業の現状と課題について, 河川, 2003-6月号, 日本河川協会, 13-35.
- 9) 角屋睦・永井明博 (1996): ダム貯水池の流水管理に関するアンケート調査の概要, ダム工学, 22, 50-56.
- 10) 角道弘文・千賀祐太郎・兒島洋一郎・西田倫子 (1997): 紀ノ川水系における農業用ダム群統合管理計画に関する研究, 水文・水資源学会誌, Vol.10, No.2, 174-180.
- 11) 国土開発調査会 (1981): 利根川 - その治水と利水, 昭和56年, 139p.
- 12) 建設省関東地方建設局 (1987): 利根川百年史, 2304p.
- 13) 建設省河川局 (1993): 利根川水系工事実施基本計画 (改定案).
- 14) 気象庁 (1999): 近年における世界の異常気象と気候変動, 異常気象レポート'99 (総論), 大蔵省印刷局, 3-1 - 3-22.
- 15) 木曾川・豊川水系渇水対策検討委員会 (1994, 1995, 1996): 平成6, 7, 8年度検討委員会資料, 水資源開発公団中部支社, (財) 豊川用水振興協会.
- 16) 小池俊雄 (2001): 地球水循環の変動性と水管理, 河川, 2001-6月号, 日本河川協会, 3-10.
- 17) 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.
- 18) 国土交通省河川局河川環境課流水管理室 (2002): ダムの弾力的管理試験の実施について, <http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/05/050618.html>.
- 19) 近藤悟 (2003): 地球規模の気象予測技術の向上と水管理技術, 国総研アニュアルレポート2003, 32-35.
- 20) 大熊孝 (1987): 日本における多目的ダムの洪水調節機能に関する一考察, 水資源・環境研究, Vol.1, 84-92.
- 21) 許士達広・柴田佳和・小倉勉 (2003): ダム治水容量の時点別決定法に関する研究, 北海道河川防災センター研究所紀要, 161-169.
- 22) 前田俊郎・田代信明・中島宏幸 (2004): 一庫ダム下流河川環境復元に向けての取組, 水の技術, No.12, 19-32.
- 23) 増本隆夫 (1994): 用排水の最適管理への知識情報の活用, 農林水産技術研究ジャーナル, Vol.17, No.10, 18-22.
- 24) 増本隆夫 (1998): 水田の貯留機能評価と水資源の流域管理にみるパラダイム・シフト, 水文・水資源学会誌, 11 (7), 711-722.
- 25) 増本隆夫 (2004): 農地防災にみる環境経済評価, H15年度地域資源研究会資料, 農業工学研究所, 22-31.
- 26) 増本隆夫 (2005): ダムの弾力的管理・運用に求められるもの, リザーバー, No.8, (財) ダム水原環境整備センター, 1-2.
- 27) 増本隆夫・豊田勝 (1994): 知識情報を用いた出水予測支援システム, 応用水文6, 1-6.
- 28) 増本隆夫・堀川直紀 (1997): 農林水産省関連の貯水池操作の現状と課題, 「AI技術による水資源システムの管理支援」研究会.
- 29) 増本隆夫・高木東 (1998): 流域レベルの洪水防止機能の評価, 「農林水産業及び農林水産物貿易と資源・環境に関する総合研究 水資源に関する農業環境指標 (MI) 研究会」資料, 農林水産技術会議事務局・農業工学研究所共催, 19-33.
- 30) 増本隆夫・久保田富次郎・松田周 (2001): 水田域の洪水緩和機能評価に用いる豪雨の模擬発生法, 応用水文14, 38-48.
- 31) 増本隆夫・久保田富次郎・松田周・袁新

- (2002)：時空間情報を用いた異常渇水時の流況予測支援，第6回水資源に関するシンポジウム論文集，325-330.
- 32) 増本隆夫・袁新・相澤顕之・久保田富次郎・松田周(2003)：利根川の異常渇水管理のための簡易流量予測法，農業工学研究所技報，No.201，128-134.
- 33) Masumoto, Takao (2003a): Multi-functional Roles of Paddy Irrigation in Monsoon Asia, Proceeding of the 3rd World Water Forum (WWF3) "Agriculture, Food and Water", S1-8-1 - S1-8-12.
- 34) Masumoto, Takao (2003b): Indices to Evaluate Food Prevention Function of Paddies, Japan/OECD Expert Meeting on: Land Conservation Indicators, Kyoto, Japan, 1-6.
- 35) 水資源開発審議会利根川・荒川部会議事録(1999)：<http://www.mlit.go.jp/singikai/shingigiz/mizu/tonetone68.htm>.
- 36) 村瀬勝彦・國友優・村幸一郎(2004)：降水量予測技術の向上と水管理への適用技術，国総研アニュアルレポート2004，46-49.
- 37) 農業土木学会(1987)：利根川水系農業水利誌，農水省関東農政局利根川水系農業水利調査事務所・編集，989p.
- 38) 農業土木技術研究会(1995)：「農業土木技術の変遷」X-5ダム管理技術の課題と対策(塩田克郎)，水と土臨時増刊，542-547.
- 39) 農業工学研究所水文水資源研究室(2003)：平成14年度依頼研究「利根川水系における渇水流況予測」報告書，農水省関東農政局利根川水系農業水利調査事務所.
- 40) 農業工学研究所施設管理システム研究室(1993)：ダム管理実態調査結果について，依頼研究調査報告書，1-37.
- 41) 農林水産省農村振興局(2004)：土地改良施設管理基準-ダム編-，農業土木学会発行.
- 42) 及川正則・土達広・工藤喬(1990)：ダム群の最適容量配分及び操作，第33回北海道開発局技術研究発表会講演概要集(3)，303-308.
- 43) 大杉奉功・浦上将人(2002)：ダムの弾力的管理による下流河道環境改善手法，平成13年度ダム水源地環境技術研究所所報，68-77.
- 44) 大杉奉功・名波義昭・岡野眞久(2004)：ダム下流河川への維持流量放流が魚類の生息状況に及ぼす効果についての考察，平成15年度ダム水源地環境技術研究所所報，52-58.
- 45) SAAVEDRA, Oliver, Toshio KOIKE, Dawen YANG (2006): APPLICATION OF A DISTRIBUTED HYDROLOGICAL MODEL COUPLED WITH DAM OPERATION FOR FLOOD CONTROL PURPOSES, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.50, (印刷中).
- 46) 佐山敬洋・立川康人・寶馨・市川温(2005)：広域分布流出予測システムの開発とダム群治水効果の評価，土木学会論文集，No.803/ -73，13-27.
- 47) 千賀祐太郎(1984)：渇水要貯水量曲線法による単一貯水池運用の計画理論とシミュレーション，農土論集110，39-49.
- 48) 塩田克郎(1993)：十津川・紀の川地区のダム管理技術，水と土，第95号，9-21.
- 49) 寶馨・小尻利治(1993)：地球温暖化による流域水文応答の変化に関する数値実験，土木学会論文集，No.479/ -25，1-10.
- 50) 谷田広樹(2003)：ダムの弾力的管理について，河川，2003-6月号，日本河川協会，70-76.
- 51) 丹治肇(1992)：農業水利計画における流域水利システム解析に関する研究，農業工学研究所報告，No.31，1-76.
- 52) 田代信明・中島宏幸・前田俊郎(2004)：一庫ダム下流河川環境復元に向けての取組，ダム技術，No.215，57-74.
- 53) 利根川上流河川事務所HP：
<http://www.tonejo.go.jp/jiten/index.htm>.
- 54) 利根川ダム統合管理事務所HP：
<http://www.ktr.mlit.go.jp/tonedamu/>.
- 55) 利根川水系土地改良調査管理事務所(1990)：利根川・荒川水系基本台帳.
- 56) 利根川水系土地改良調査管理事務所(2002)：鬼怒川流域水循環解析(中間報告書)，サンスイコンサルタント.
- 57) 羽原伸・尾澤卓思・大杉奉功(2001)：ダムの弾力的管理試験，平成12年度ダム水源地環境技術研究所所報，54-62.
- 58) 和田一範(2005)：地球規模水循環に対する水管理技術に関する研究(未定稿)，国総研.
- 59) 和田一範・村瀬勝彦・富澤洋介(2005)：河川の高水管理における予測降雨情報の適用性，土木技術資料、VOL.47 NO.3.
- 60) 渡辺和好・許士達広(1991)：ダムによる低水管理について，土木学会北海道支部年次論文報告集第47号，21-32.
- 61) Yang, Dawen, Toshio Koike, Hiroshi Tanizawa (2004): Application of a distributed hydrological model and weather radar observations for flood management in the upper Tone River of Japan, Hydrological Processes, 18, 3119-3132.
- 62) 吉田等(2005)：近年の日本の洪水と渇水，水資源シンポジウム「国連水の日 - 気候変動がもたらす水問題」，21-28.

Status Quo and Perspectives in Integrated Management of Water Resource Facilities for Agricultural Water Use in the Upper Tone River Basin

MASUMOTO Takao, YUAN Xin, YOSHIDA Takeo, KUBOTA Tomijiro
and HORIKAWA Naoki

Summary

Problems on changes of water cycles, of which solutions are required to be watershed ranges, have much interests from only urban perspectives, so that there are few analyses from the viewpoint of agriculture and/or rural regions. In addition, just modeling of water cycles keeps its popularity, then quite a few analyses from regional-scale aspects have been done in irrigation and water management or in the assessment of impact on water cycles. Especially dam operation is one of the keen human activities in that dams are operated by humans and in that their operation/maintenance affects people downstream. However, while concerns on droughts and floods for dam controls ebbed away easily due to irregular occurrence (not every year), it is anticipated that, because of global warming, extreme events occur constantly in the respect of the decrease of week rainfalls and the increment of drought events as well as the increase of record heavy rainfalls.

In this report, therefore, status quo of reservoir management and control for agricultural use are summarized and present situation and perspectives in integrated management of water resource facilities for agricultural use in the Tone River Basin are analyzed. The final target is to set up technologies of integrated family control for a series of water resource facilities and to stabilize and/or secure agricultural water use in future. As a result, the following outcomes and suggestions are obtained: 1) In order to perform rational management for complex facilities, decision-support frameworks such as various AI technologies and/or game theory are of great promise. 2) It is necessary to carry out the proposal of essential modification to the operation rule curves for reservoirs and detail analyses for those for performing effective agricultural use. 3) Taking facilities in the upper-stream of the Tone River Basin as an example, problems to be resolved for integrated management of water resource facilities are extracted and a basin-wide watershed management of a series of water resource facilities by utilizing low-lying paddy areas as retarding areas (water storage) was proposed.

Keywords : dam storage management, agricultural water use, drought, flood, operational curves, watershed management, Tone River basin