

生態的なフラッシュ流量に関する考察と貯水池の連結操作による流況の改善について

*A study of ecological flushing discharge and
an improvement scheme of river regime by reservoir operation*

江村 敏* 玉井信行** 松崎浩憲**
Yoshi EMURA Nobuyuki TAMAI Hironori MTSUZAKI

ABSTRACT: The Tonegawa River serves as a major source of water supply for south part of the Kanto region where total population amounts to 32 millions. Main eight multipurpose reservoirs are all located in the upstream catchment of the Tonegawa River basin. In recent years, environmental and ecological aspects of reservoir construction and operation have attracted higher and higher concern. Special attention should be paid to ecosystems in rivers. It is necessary for benthos in rivers to flush silt deposited on cobbles according to experiences of ecologists and inland fishermen. This discharge which keeps desirable condition of substrate is called ecological flushing discharge in this paper. The purpose of this study is to clarify a change of river regime in the upstream catchment of the Tonegawa River basin before and after reservoir constructions by using the index "ecological flushing discharge". After that a network operation among several reservoirs is formulated to enhance flow regime. As a result of a simulation, it turned out that better river regime could be restored by the network operation of reservoirs.

KEYWORDS : ecological flushing discharge, benthos, river regime, time series analyses,
a network operation among reservoirs,

1. はじめに

大規模貯水池は治水・利水・発電など多様な用途に利用されているが、また一方では、貯水池下流での流量の減少、流況の単調化、魚の種類の減少など、河川環境への悪影響も指摘されることが多い。このような現実の課題を踏まえ、本研究は利根川水系を対象とし約 40 年間にわたる流況データを使用し、流況特性が貯水池建設前後においてどう変化したかを実証的に分析した。分析過程において、河川生態環境面からの考察を加えることにより新しい指標を導き、さらに、貯水池間導水ネットワークを導入することにより流況の改善策を提案するものである。本研究は、河川の生態系にとっては単調な流れが長期間続くのは望ましくない、という生態学者の考えをもとに、洪水の生起形態の変化に着目して流量時系列を検討した。その方法としては、ある基準の流量を設定し、それを上まわる流量が河床に沈積したシルトを掃流するために効果があると考えた。この臨界流量を生態的なフラッシュ流量と定義し、その年間生起回数や持続期間、生起間隔などを検討した。この結果、環境面から河川流量を増強することが求められていることが判明したので、複数

* 東京大学大学院研究生 Graduate Reserach Student, University of Tokyo

** 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 Department of Civil Engineering, University of Tokyo

の貯水池を導水パイプで結ぶネットワークを構成することにより改善策を検討した。利根川支川の貯水池群を対象に、送水シミュレーションを行った。その際、利水や発電など現在の水利用には影響を与えないことを基本とし、無効に放流されている流量を対象とした。

2. 利根川流域の流況特性

図2は各小流域毎の河川流出量の特徴を表したものである。水源を降雪量の多い山間部に持ち、雪解けとともに河川流量が著しく増加する奥利根流域では、4月から5月にかけて大きなピークが見受けられる。また同じ奥利根流域に属しながらも片品川は水源を日光に近い多雨地域にもつために雪解け以外に台風期の降雨による影響も大きい。またやや緯度の低い渡良瀬川流域では雪解けの影響はほとんど受けず、もっぱら台風期に河川流量が増加する。

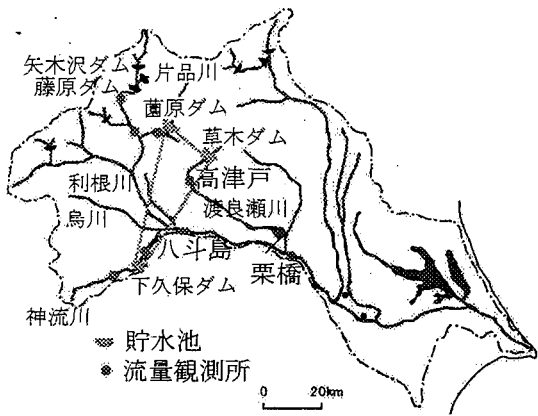


図1 研究対象領域概要図

このように、あまり距離が離れていないのにも関わらず、河川流況の季節性がこれほどまで異なる流域が存在するというのは利根川上流域の大きな特徴であり、またこれは、ある流域では水が足りないときでもひとつ山をこえた隣の流域では比較的水が豊富にある可能性を有しているとも言える。この事実は後で導入する貯水池間ネットワークの考えの根底となるものである。

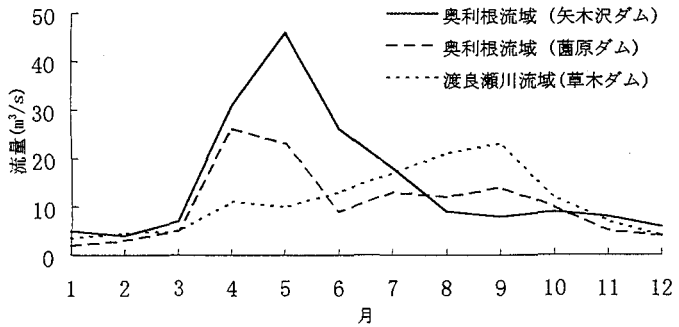


図2 各流域での月平均流出量

3. 流況データの分析方法と時系列的性質の必要性

河川流況を特徴づける試みは、各種統計量の算出・流況曲線 (flow duration curve) による分析・自己回帰モデルによるパラメタ推定など、多く行われている。代表的な統計量としては、主に1次から3次までのモーメントが用いられることが多い。流量の年間平均値、および分散はもちろんのこと、3次モーメント (歪度) の分析は、異なる流域の比較に有用である。流況が安定して流況曲線が滑らかになるような河川では、歪度は比較的小さなものとなるが、例えばダム操作などにより非洪水期には長期間にわたり一定流量が続くような河川では、流況曲線に歪みが生じ歪度も大きくな

る傾向にある。図3は利根川本川中流部で流況が安定している栗橋と、支川渡良瀬川の草木ダム下流約20Kmにある高津戸における日平均流量データについて計算した歪度の値である。ダム下流にある高津戸では栗橋と比較して歪度が大きくなっていることが読み取れる。

しかし、このような統計量の計算では、流量データの持つ時系列性は失われている。また、自己回帰モデルのような分析方法は、いわば外れ値とも言える洪水流量に大きく左右されるために、河川流況の分析への適用には問題が残る。そこで、流量データの時系列性を保ちつつまた洪水流量にあまり依存しない分析方法が望まれる。

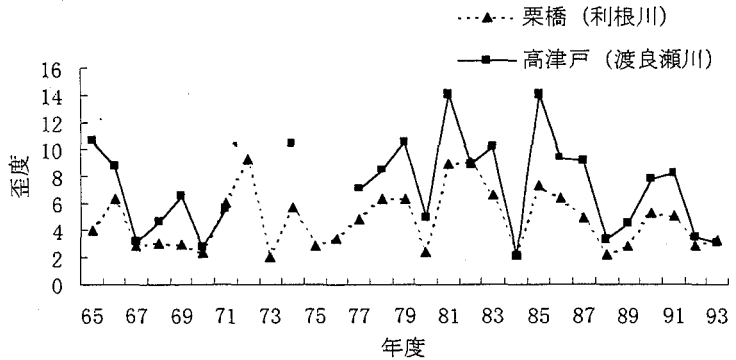


図3 高津戸と栗橋における流量データの歪度の比較

4. 生態的フラッシュ流量の導入とそれを用いた分析

4.1 Crossing Property の分析

流量時系列の特徴を捉える際に、1次から3次モーメントなどの値は非常に重要であり、その河川の流況を支配するパラメタには違いないが、そこには時系列的な情報は含まれない。しかし、河川管理においては流量の絶対値もさることながら、流況変動の様子を知ることが必要である。そこで、ある基準の流量を設定し、それを上回る流量の生起回数や頻度、およびインターバルなど、いわゆる Crossing Property を検討する必要がある。そして、その基準の流量を決定するにあたり、次節でのべるように生態学的なアプローチを用いた。

4.2 生態的なフラッシュ流量の導入

生物学者の間では、河床の藻類にとっては月に1回ほどは中規模洪水が起こるのが望ましいといわれている。適度な出水は藻類に付着した泥土を取り除く効果があり、単調な流れが長期にわたって続くような流況は、藻類の生育状況の悪化につながる⁽¹⁾。このような一回の中規模洪水の持続日数を経験的に5日間と仮定すれば年間12回、60日間河床を掃除するような出水があればよいことになる。よって、年間60番目に大きな流量である Q_{60} を前節で考えた基準ラインとし、それよりも大きな流量を河床のクリーンに対して効果がある流量とみなし、これを生態的なフラッシュ流量とする。そして、この生態的なフラッシュ流量、すなわち基準ライン以上の流量の連続をひとつの判断基準として各河川流況の特徴を検討した。

4.3 生態的なフラッシュ流量を用いた貯水池建設前後の流況比較

図4は高津戸(渡良瀬川)および栗橋において、生態的なフラッシュ流量の持続が年間何回起こったかを表したものである。草木ダムは1976年に竣工したので、左図はダム建設前、右図は建設後のものである。

図 4 から明らかなように、草木ダム建設前の年間生起回数の平均は約 10.1 回なのに対して、建設後では約 7.3 回と大幅に少なくなっている。これに対して、栗橋など上流貯水池の影響が比較的少ない地点では、生態的なフラッシュ流量は安定して年に 10 回ほどは実現している。つまり、高津戸ではダム建設により今

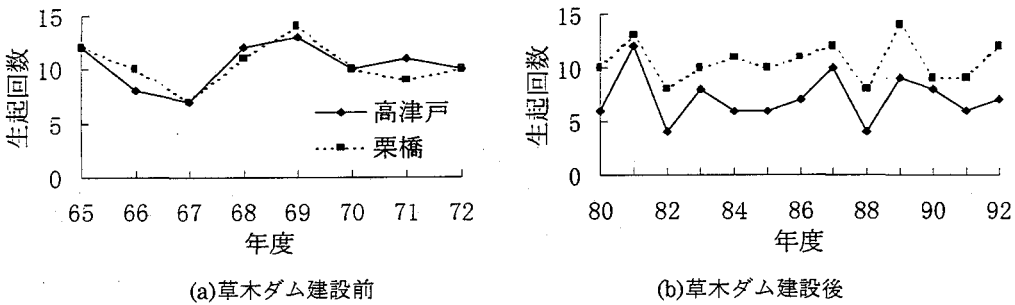


図 4 生態的なフラッシュ流量の年間生起回数（高津戸と栗橋の比較）

までの流況が変化し、まとまった洪水の生起回数が減っていることがわかる。これより、生態的なフラッシュ流量の生起回数は、貯水池建設による河川流況への影響を表す指標のひとつになることがわかる⁽²⁾。

5. 貯水池連結操作を考慮した流況改善案とシミュレーション結果

5.1 本研究における流況改善の捉え方

前章までの統計的な分析の結果、貯水池下流の河川流況は大きく変化していることが明らかになったが、この変化は前章で述べた河床の生態系から見れば悪い影響であるのはほぼ間違いないであろう。しかし、貯水池のおかげで洪水のピーク流量はカットされ新たな利水が可能になり、大量の電気が発電されているのも事実である。そこで、本論文における流況の改善とは、洪水ピーク流量のカットや渇水時の貯水池からの放流さらには発電など、現在効果をあげていると考えられている貯水池の諸機能はそのままにして、その上で生態環境面の悪化を抑えることに限定することにする。さらに、生態環境面の改善自体も非常に複雑な問題であるが、ここでは生態的なフラッシュ流量に着目し、最も安定し自然の流況に近いと考えられる栗橋地点での流況に近づけることを当面の目標とする。栗橋地点の流況を自然に近いものとする理由は、ダムの支配率が約 18% と低く、8 割以上の水はダムよりも下流地点からの流出であるということである。

5.2 貯水池連結を用いた送水シミュレーション

ここまで述べてきたように、利根川水系（利根川に限ったことではないが）の生態環境を考慮すればより多くの中規模洪水が時々起った方が望ましい。そこで、生態環境の保全を主目的とした放流ができれば、貯水池群はさらに効果を発揮すると考えられる。しかしながら、現在の利根川上流貯水池群の利水容量及び貯留可能な水の絶対量を考えれば、環境保全のためにある程度まとまった水を放流することは、容易なことではない。環境保全を目的とした、環境用ダムを新たに作るのも難しい。そこで、浮上してくるのが貯水池間ネットワークの考え方である。先に見たように、利根川上流域は距離的にはあまり離れていなくても、出水パターンを異にする小流域が存在する。奥利根流域では雪解けの期間に流量が増大するのに対して、烏神流域および渡良瀬川流域などでは台風期の流量増加が顕著である。そこで、複数の貯水池間に導水パイプ

を通し、水の余っている貯水池から不足している貯水池へ導水すれば、現状では無効に（環境用の用水としては）放流してしまっている用水を、生態環境用の用水として放流することが可能になる。つまり、各貯水池の余剰用水を環境用水として出し合って、必要な貯水池へ転送するということである。本研究では、表 1 に示すような貯水池連結操作を考えた（図 1 参照）。

表 1 において○で示されたのが連結する貯水池である。

表 1 貯水池の連結

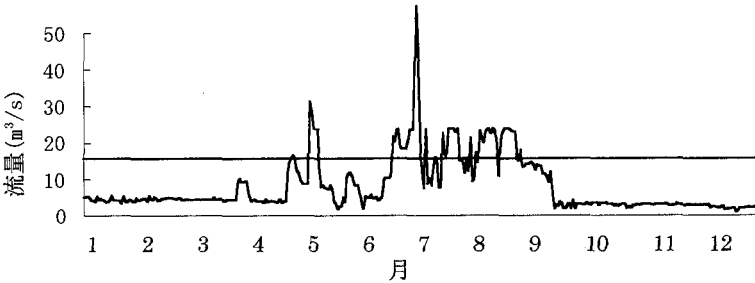
	下久保	藤原	菌原	草木
Case1			○	○
Case2		○	○	○
Case3	○	○	○	○
Case4	○		○	○

各小流域の流出の季節特性と、位置関係および標高などを検討した結果、神流川の久保ダム・利根川藤原ダム・片品川の菌原ダムおよび渡良瀬川の草木ダムの 4 貯水池を導水ネットワークの対象とすることにした。そして、各貯水池で生じた無効放流分を生態的なフラッシュ流量を必要としている他の流域へと送水するシミュレーションを行った。

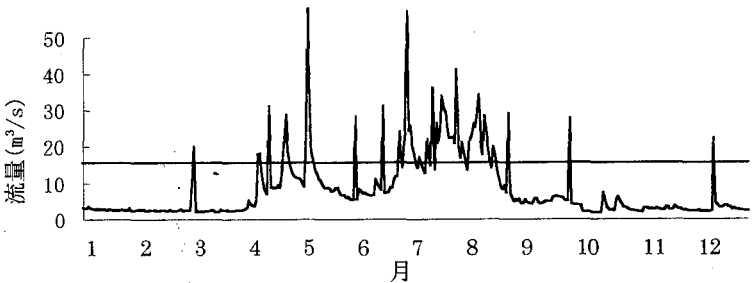
5.3 シミュレーション結果

結果のなかから送水の効果がよく見て取れる例として、Case4 による 1984 年の高津戸における実際の流量とシミュレーションによる流量の比較を示す（図 5）。ただし、グラフ中の横線は Q_{60} である。この図から、生態的なフラッシュ流量の生起回数は数回増加し、非洪水期にも何回か起こっていることがわかる。

中規模洪水は 5 月から 9 月の間に集中しているのが現状だが、貯水池群の総合運用を行い、環境用水の導水を行うことによって、年間通してある程度の中規模洪水を起こすことは可能である。またシミュレーション結果のような流量変動が激しい流況は、貯水池建設以前の流況、または栗橋・八斗島などダムの支配率が比較的小さな地点での流況と類似するものである。このように、貯水池間導水ネットワークを取り入れることによって、貯水池建設前の自然に近い流況を取り戻せる可能性があることがわかった。



(a)実際の流量



(b)シミュレーション結果

図 5 高津戸における実際の流量とシミュレーション結果

6. おわりに

前章まで述べてきたように、河川流況の特徴を捉えるためには、流量の大きさだけでは不十分であり、流量時系列としての扱いが必要不可欠である。そこで、データの持つ時系列性を反映させる指標として、生態的なフラッシュ流量という基準を導入した。それを用いた分析の結果、貯水池建設による河川流況の変化を比較的定量的に捉えることができた。貯水池の下流では、ダム操作により洪水の大きさは緩和されているものの、中小規模の生起回数は大幅に減少していることがわかった。またこの問題点は、貯水池連結操作を用い、余剰水を送水することによって、かなり解決できることもわかった。今後は流量データのより定量的な分析と、河川流況が生態系に与える影響のより詳しい追求の両方が必要であると考えられる。

参考文献

- (1) 全国内水面漁業協同共同組合連合会,1989:魚を育む豊かな流れ・河川生物資源保全流量調査報告書.
- (2) N.Tamai and Y.Emura, Changes in flow regime by reservoir construction,. International conference on aspects of conflict in reservoir development and management,pp641-649,1996.
- (3) 建設省河川局編,日本河川協会,流量年表,1950-1994.
- (4) 足立敏之,高橋和也,1996:ダム運用に伴う下流河川の河床状態及び底生動物群集への影響と環境影響評価の課題,環境システム研究,Vol.24,pp336-342.