

環境用水の概念整理と水文統計的 設定手法の利用可能性について

CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL FLOW REQUIREMENTS AND APPLICABILITY OF HYDROLOGICAL APPROACH

白川直樹¹・玉井信行²
Naoki SHIRAKAWA and Nobuyuki TAMAI

¹正会員 工博 東京大学助手 工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

²フェロー会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920-8667 金沢市小立野2-40-20)

There is a growing concern over river environment degradation related to artificial flow control. Many countries in the world are now trying to develop appropriate environmental flow setting methodologies to handle this problem. Leaders in this field are U.S., Australia, South Africa and some European countries. Current methodologies used in those countries are reviewed and categorized into four groups. Most basic methodology is the one based on hydrological indices. Environmental flow requirements are classified into three types according to their objectives. Relationship with flow regime components is now clear.

Availability of hydrological approach is then discussed. The Tennant Method and the Range of Variability Approach (RVA) are applied to Japanese rivers. Result of macroscopic application of the Tennant Method suggested that some action should be taken at least 30% of Japanese rivers to enhance low flow. RVA is tested in the Kitakami River basin and it turned out to be a useful approach to assess the flow regime alteration by reservoir control.

Key Words : Flow regulation, environmental flow, hydrological approach, Tennant method, RVA

1. はじめに

流量は河川環境の基本的かつ重要な要素である。日本の河川計画では、旧河川法下の「河川維持水」概念を引き継いだ「維持流量」および「正常流量」でこれを考慮してきた。河川維持水は曖昧な概念だが取水および河川施設の保護を念頭に置いたものだったようである¹⁾。正常流量ではその目的を景観や動植物の保護等いわゆる十項目に定義し、国レベルでの標準的な設定法も示されている²⁾。しかし、1988年の建設省通達では水力発電所における維持流量を流域面積100km²あたり0.1~0.3m³/sの目安に従って放流することが求められていた。現実には正常流量が必ずしも確保されていなかったことがうかがえる。また標準的な設定法と別に目安値が提示されたことも、放流の目的と意味を曖昧なものにしている。平成初期の実施例をみるとほぼこの目安範囲内に収まっているケースが多く、逆に最近はこの範囲を超えるものも多い。すなわち、標準的な設定法は建前(理想)として定められているのに対し、通達の目安値は本音として関係者(この場合は発電者と河川管理者)が妥協できる値を示

していたとみなすことができる。

正常流量を、環境を含む河川セクターと発電、上水などから成る人間活動セクターの水資源配分問題ととらえれば、標準的な設定法は河川セクターの需要量(要求量)を反映し、人間活動セクターとの調整を経て落ち着いた均衡点が目安値であったとみることができよう。河川セクターの要求量は環境状態で決まる量だが人間活動セクター側の要因は社会状態に依存するため変化が速い。最近の放流量が増えているのは、建設省通達から15年ほど経って社会の環境認識(自然環境を重視する程度)が変容し、より大きな放流量が社会に受容されるようになってきたことを表している。

本論文では維持流量や正常流量など河川環境を保全するための流量を環境用水と呼び、諸外国の状況を整理し目的や要素など概念を明確化する。そして広範囲な基準設定や現状と事後の評価を行う方法として水文統計的手法に注目し、適用を試みて利用可能性を検討する。

表-1 諸外国で用いられている環境用水量設定法

	標準的に使っている国	部分的に使っている国	検討・初期段階の国
①水文統計法	米国 (Tennant法, ABF, 7Q10他) カナダ (Tennant法) ドイツ (平均年最小流量等) イタリア (Tennant法他) デンマーク (Median Minimum) スペイン (Tennant法, Basic Flow) ポルトガル チリ (Tennant法)	イギリス (Q95等) スイス オーストラリア (Tennant法等) ブラジル	ベネズエラ
②水理指標法		米国 (潤辺法) イタリア (潤辺法)	
③生息場モデル法	米国 (IFIM) カナダ (IFIM, HABIOSIM等) オーストラリア (IFIM) ニュージーランド (RHYHABSIM, IFIM) ノルウェー (RSS) フランス (EVHA, AGIRE等) イタリア (IFIM)	イギリス (IFIM等) ドイツ (CASIMIR) オランダ スペイン (IFIM) フィンランド (EVHA) オーストリア チェコ (IFIM)	スロベニア コロンビア
④包括的手法	南アフリカ (BBM, DRIFT, FMP, FSR) オーストラリア (Holistic Approach, Benchmarking Methodology, 他)	イギリス (River Babingley法等) ドイツ スイス オーストリア (Guiding View)	ジンバブエ (BBM, DRIFT) ナミビア

2. 諸外国における環境用水量設定手法の潮流

人間活動の取水にともなう河川の減水が、河床堆積、河口閉塞、水質悪化、魚類等生物資源の減少といった悪影響を及ぼすことは1970年ごろから世界各地で問題視され始めた。後に述べるTennantの手法は1970年代中頃に大規模な現地調査に基づいて提案されたものである。この対策として流量再調整の目的で河道内に確保されるべき流量はinstream flow (河道内流量) あるいはminimum flow requirementsなどと呼ばれている。

現在この分野の取り組みが進んでいるのは、北米、欧州、南半球諸国（主にオーストラリアと南アフリカ）である。ほとんどが半乾燥地帯、プレート内部の安定大陸や古生代以前の古期造山帯が中心である。一方アジアモンスーン地帯では環境用水に対する関心があまり高まっていない。これには気候、地質、社会の各要因があろう。欧州等では近代文明の発達過程で河川に大きな取水負荷がかかったこと、雨の少なく気温も低い条件下では一度質の低下した自然環境がゆっくりと少しずつしか回復しないこと、経済発展が進んだため自然環境に対する相対的な価値意識が高まったこと、などである。これまで開発されてきた環境用水量設定法はそういった地域の特性を暗黙の前提としている部分がある。日本に適用する際にはアジアモンスーン域の湿潤変動帯という特性を踏まえて手法の選択・改良をする必要がある。

現在使われている環境用水量の設定手法は、大きく4つの種類に分けられる³⁾。

- ① 水文統計法：水文統計量（主に日流量）を指標とする方法。Tennant法、流況曲線法などがある。日流量データがあれば設定できる。
- ② 水理指標法：流量と関連づけられる水理量を用いる方法。潤辺法がその代表である。流量よりは生物や景観等に与える意味が明確である。地形データ（断面形、勾配など）が必要となる。
- ③ 生息場モデル法：流量変化に伴う水理量の変化を生物生息場の評価値につなげる方法。IFIMが代表例で、その主要部分たるPHABSIMは世界各国で改良の努力が続けられている。生息場の評価という意味が最も明確で、詳細な評価が可能だが要求されるデータ量が多い。
- ④ 包括的手法：複数の目的にそれぞれ流量要素を対応させ、全体を総合化した流況を求める方法。BBM, DRIFT, River Babingley Methodなどがある。多くの手法は総合化の段階でワークショップを活用しており、データの不足は専門家の知見で補う。オーストラリアと南アフリカで盛んに研究されてきた。

最近の資料^{3), 4)}により各国で採用されている手法をまとめたのが表-1である。米国・カナダ・オーストラリアなどは州ごとに標準的手法を選んでいる。単一の方法で押し通している国は少なく、先に分類した4種類の手法を段階に応じて使い分けようとする傾向がどの国にもみられる。水文統計的手法で大枠を定めたのち、具体的な設定には包括的手法、さらに詳細な検討の必要がある場合には生態モデル法を使うという順番である。米国

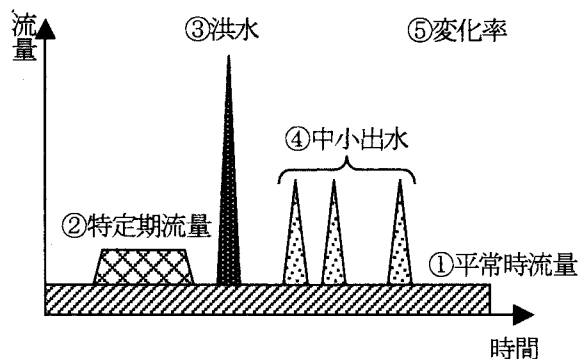


図-1 環境用水の流量要素

やカナダでは包括的手法の適用例がみられないが、これは独自の合意形成手段が確立されていること（包括的手法には関係者間の合意形成プロセスが重要なステップとして含まれている）、すでにデータの蓄積も多いという新たな調査費用を許容するだけ社会意識が成熟していることが背景にあらう（データが不十分でも比較的迅速な意思決定を可能ならしめることが包括的手法の大きな売りの一つである）。

3. 環境用水の目的別分類

日本語の維持流量は、河川砂防技術基準（案）に「渇水時において維持すべきであるとして定められた流量」とあるように「維持すべき」流量と理解できるが、元来の意味は「何かを維持するための」流量である。英語の用語をみるとわかるように目的が強く意識されているのである。旧河川法の「河川維持水」の方がこの意味は明確である。すなわち茫漠とはしているが「河川を維持するための用水」なのである。維持流量という用語は一定流量の持続を印象付けてしまうおそれもあるので、ここでは環境用水という言葉を用いる。

環境用水は、絶対量 (Magnitude)、時期 (Timing)、継続期間 (Duration) の三要因から構成される。より具体的には図-1に示す5つの流量要素が抽出できる。第一に、通常期に確保されるべき最低流量である。これは、生物の日常生活（採餌・休息・移動など）に必要な流量であり、季節変化もあるにせよ基本的には一定流量があればよい。第二は特定の成長段階において必要となる流量であり、産卵期や遡上・降下期のものである。第三は年に1回あるいはそれ以下の頻度でしか発生しない洪水である。第四は年に数回～十数回発生する中小規模の出水である。そして第五の要素は細かい時間スケールでみた流量変動で、調整池式および揚水式水力発電所における日内流量変化、洪水初期や減衰期の増加（減少）速度がこれにあたる。発電所で昼夜間に起きる流量変動サイクルは自然界にはないものだし、洪水初期の避難時間、減衰期の復帰時間は水中動物の生存を左右する。

表-2 環境用水の目的と流量要素の関係付け

	河道 維持流量	生態系 維持流量	人間環境 保全流量
① 平常時流量	○	○	◎
② 特定期流量		◎	△
③ 洪水	◎	○	×
④ 中小出水	○	○	×
⑤ 変化率	△	△	△

◎：強く関係、○：関係あり、△：やや関係あり
×：負の関係

一方、環境という言葉が多義性をもつように環境用水の目的にも性質の異なる事柄がいくつも含まれている。そのため、他用水との関係ばかりでなく環境用水内部にも利害対立があり、しばしば混乱を招く。そこで、質の似た目的ごとに3つのグループに分け、先ほどの流量要素との対応を整理して内容を明確化したい。

第一のグループは、河川地形に関するものである。土砂輸送力の低下は堆積傾向を促進し、河道内流路の固定化は高水敷を陸地化させる。これは世界中多くの場所で生物への影響もさることながら取水困難、河口閉塞、航路阻害、水質悪化など人間活動にもさまざまな被害をもたらした。生物生息や人間活動の物理基盤となる河川地形とその変動性を保全するための流量を河道維持流量と呼ぶことにする。英語でいうChannel Maintenance Flowに相当し、土砂動態を中心とした地形変動のシステムを保全するための流量である。

第二に、生物生息に関わるものがある。生物といってもここでのいうのは本来ある自然（潜在自然）の状態で存在する生物のことである。つまり、有用種や経済的な資源として意味のある種といった区別をせず、「原生自然」や「動植物の権利」といった特別視もせず、流量操作や養殖等人為的はたらきかけを一切排除したときに現出する生物相を想定する。その相互依存システムを維持するのに必要な流量を生態系維持流量と呼ぶことにする。英語ではHabitat Maintenance Flowという用語で堆積物の除去などを指しているが、ここでは水質等も含めたより広義の概念とする。

第三に、人間に関係する全ての目的に対応する流量を一括して扱う。景観、水質、レクリエーション、構造物の維持、航行などが含まれる。同じ環境という言葉を使っている、暗黙のうちにこれらを含意するケースもあれば排除するケースもある。これらの要素はいかなる場合でも明確に分離されるべきである。例えば漁業なら、生計を立てる第一次産業としての漁業もレクリエーション手段としての釣りも伝統文化としての漁業もすべてここに含む。これらを一括して人間環境保全流量と呼ぶ。

さて、これらの目的グループと流量要素は表-2のように関連づけられる。河道の地形は多くの河川で低水路満

杯流量や平均年最大流量、2-3年確率洪水と関係が深いことが報告されている^{5)・8)}ことから河道維持流量は第三流量要素(洪水)に最も関係が深い。ただし、微地形および中規模河床形態に影響を及ぼす第四要素(中規模出水)も考えねばならない。生態系維持流量は全ての要素と関係するが、中でも第二要素(特定期)は致命的で、現行の正常流量設定法²⁾における動植物の配慮項目はこれと第一要素(通常期)に相当する。これからは第三要素(洪水)と第四要素(中規模出水)の検討が求められるだろう。実際、フラッシュ放流として全国各地で試行例が増えつつある。人間環境保全流量は主として第一要素である。

表-2からわかるのは、人間環境保全流量はいわゆる「利水」と共通な面を多くもつことである。実際レクリエーションは利水に含まれることもある。これらの目的は環境から切り離し、むしろ利水の概念を拡張して「水の利用」と「河川空間の利用」に分けた方が扱いやすいだろう。河道維持も生態系維持も結局は人間のためになるが、直接役立つ用途とは明確に異なる。

4. 水文統計法による環境用水量の設定

(1) 水文統計法の意義

過去の流量データから環境用水量の基準を設定するのが水文統計法である。1988年通達で示された目安値(0.1-0.3m³/s/100km²)はこの最も単純な形式とみることができる。入手しやすい流量情報を基礎にするとことから汎用性が高く、広範囲に基準を設定するには適した方法である。

水文統計法はそれだけで環境流量設定に十分なことも多い。環境配慮といってもかけられる費用と時間は限られるため、人口密度や富の蓄積密度の低い諸国ではそれ以上の検討を要しない(環境を含んだ資源配分が非効率になる)ケースも多いだろう。また、他の手法(たとえば包括的手法)をとるにしても水文統計は欠かせない材料になる。

水文統計法を用いた基準設定には、二つの大きな意味がある。一つは時間と資源の節約である。逆にいうと、詳しい生態学的検討や地質調査等を省くことができるのがメリットなのだから、いたずらに手法を複雑化するのは得策ではない。ある程度以上の精緻さを求めるならば生態場モデル法など別なアプローチに向かうべきである。もう一つの意味は全体性の保持である。生態場モデルなどbottom-upなアプローチでは目的とする要素は達成できてもそれ以外に見落としが生じ得る。また、未知のものに対応できない。流量変動をtop-downに扱うことによりこのリスクを多少なりとも軽減できる可能性がある。包括的手法では、この点をワークショップにおける各分野の専門家の総合判断で補っている。

表-3 RVAで用いられる流量指標(IHA)

量(12)	1~12月の各平均流量
極値の量(10)	1, 3, 7, 30, 90日間最大・最小流量
極値の時期(2)	最大・最小流量の発生日
中規模変動(4)	中出水・中渇水の発生頻度と持続期間
小変化(4)	流量増加・減少速度の平均値、頻度

※括弧内は指標の数

日本の場合、稠密な人口および経済活動、十分な富の蓄積、環境意識の高さなどの条件がそろっているため、生態場モデル法や包括的手法に資金と労力を費やすことが許されよう。そこで水文統計法の役割は、詳細検討の結論が出るまでの暫定的な流量設定、および事後のモニタリング評価に求められる。そこで、こういった目的に使用できそうな手法を次節以下で探る。

(2) 現行の実用手法

現在最も広く用いられている有名な手法がTennant法である。これは自然状態の年平均流量との比で表現する方法で、10%が最低値、30%が良好値、60%が理想値などとなっており、最大値についても200%という目安が示されている⁹⁾。見た目は単純だが多数の現地調査から導き出された基準であり、水理量(水深、水面幅、流速等)その他の生息場構成因子(水温、砂州、カバー、移動等)を考慮した魚類生物学者との共同研究の成果である。米国内および海外でも多くの実績があり国家レベルで採用しているところも多いが、もともと米国中西部の河川を対象に開発された方法であることを忘れるべきではない。また、表-2にいう①要素にしか対応していない(最大流量の言及はあるが)、暫定設定には有用だが、モニタリングに利用するには単純すぎるだろう。

流況曲線を使う方法では95%超過確率流量が米国やイギリスなどで採用されている。また、平均年最小7日流量、再渇水月の日流量中央値などを使っているケースもある¹⁰⁾。しかしいずれも単一の指標が導かれるだけであり、変動性(表-2における③~⑤の要素)のヒントは得られない。

変動性を扱う手法には、最近注目を集めているRVA(Range of Variability Approach)がある¹¹⁾¹²⁾。自然状態と流量調整後のさまざまな流量指標(Indicators of Hydrologic Alteration, 表-3)を比較して流況を評価するものであり、表-2で整理した枠組ともよく合致する。値だけでなく許容幅と年々変動を明示的に扱うのも特徴で、自然状態の平均値を中心にして幅をもった目標範囲を定めるが、渇水年や豊水年にはこれを逸脱することも認められる、というよりむしろ推奨される。各指標の目標範囲は生態学的知見を利用して設定されることが望ましいが、約20年分の統計値から得られる標準偏差でもよい近似を与えるとされている¹²⁾。放流量を直接規制するというよりも与えられた操作規則がもたらす流量変

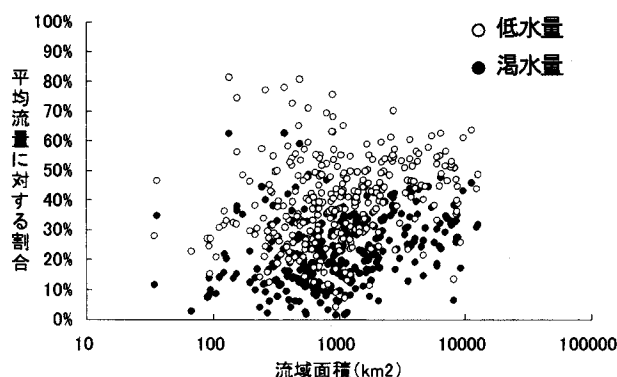


図-2 低水量と渇水量の平均流量に対する割合

動を評価することに力点があり、毎年指標の適合度をチェックして新たな生態学的知見とともに許容範囲の見直しや操作規則の修正を行うよう求めている。つまりこれはadaptive managementの一種ということができ、前節の最後で設定した目的によく適合する。

5. ケーススタディ

(1) Tennant法—マクロな視点から

Tennant法の適用性をみるため、日本の河川で渇水量（355日流量）および低水量（275日流量）と平均流量の比をとったのが図-2である。流量年表記載の全国観測点について、比較的人為影響が少ないとみられる1970年以前の年平均流量を分母に、1971年以降の平均渇水量・低水量を分子にとった。分母は完全に人為影響を排除したものではないし、分子も全てが流量操作を受けているわけではないが、およその傾向はみてとれる。

平均流量の10%は現状の渇水量でもクリアしているところが多く、全体の87%を占める。ただし渇水量でなく最小流量となるとこの割合は12%に激減し、大河川の下流などに限られてくる。つまり、Tennant法の最低値を「絶対下回ってはいけない値」と解釈すれば約9割の地点で放流規則の変更などなんらかの対策が必要となる。

一方、渇水量が平均流量の30%を上回っている地点は全体の29%ある。これらの地点では現状でも良好なレベルにあり、これ以上の対策は不要と判断される。60%前後にも4点が達しているが、これらは大湖沼の下流など特殊な条件にある地点である。低水量でみると10%未満の点が3点、30%未満は全体の27%あり、これらの地点では大掛かりな対策が必要になるだろう。また、最小流量が平均流量の30%を上回っている点はなかった。

(2) RVAの適用—北上川

北上川上流部の多目的ダムを対象にRVAの適用を試みた。用いたダムの諸元を表-4に示す。多目的ダム管理年報のデータを利用し、ダム流入量を自然流量、放流量を

表-4 計算対象ダムの諸元

ダム名	河川名	目的	流域面積 (km ²)	有効貯水量 (百万m ³)	平均流入量 (m ³ /s)	洪水調節 (回)
四十四田	北上川	FP	1196	35.5	36.9	16
田瀬	猿ヶ石川	FNP	740	101.8	20.9	5
湯田	和賀川	FNP	583	93.7	42.5	49
鳴子	江合川	FNP	210	35.0	13.6	11

注) 流入量および洪水調節は1968-1991年の実績値

人為操作流量とみなして前者から定めた基準で後者を評価する。対象期間は1968年から1991年の24年間とした。四十四田ダムは流域面積が大きいものの雨量が少ないため流量はさほど多くなく、発電以外の利水目的をもたない治水ダムである。田瀬ダムは流量が少なく有効貯水量は大きい。洪水調節実績はほとんどない。和賀川と江合川は流域面積の割に流量が多いが、湯田ダムが鳴子ダムよりも規模が大きい。またいずれのダムも融雪を主たる水源としており、4月前後に流量が最も多くなる。

計算結果をまとめたものが表-5である。自然状態の平均値プラスマイナス1標準偏差を基準変動範囲とし、人為操作状態の平均値がそれを逸脱した項目（増加は○、減少は●）、および逸脱頻度が著しく増加（24年間で8回以上）ないし減少（24年間で1回以下）した項目に印をつけている。すなわち、△▽ならば増加傾向、▲▼ならば減少傾向、△▼ならば変動激化傾向、▲▽ならば変動平滑化傾向と読み取る。ちなみに自然状態では逸脱回数はほとんど2～7回の範囲に収まっている。極値の時期は1月1日からの日数で、「増加」「上方」とはより遅い時期に、「減少」「下方」とはより早い時期にシフトすることを意味する。中規模変動は自然状態における75%および25%超過確率流量を閾値とし、75%流量を上回ったら出水発生、25%流量を下回ったら渇水発生と定義してそれぞれの生起回数と平均継続期間をカウントした。小変化に関する指標では、Richterらの指標に増加日数と減少日数を新たに加えた。

まず量指標をみると、各ダム共通の傾向として6月の流量増がみられる。田瀬・湯田・鳴子では、4月の流量減、10-11月の流量減、1-2月の流量増も共通である。6月は夏期制限水位に向けた水位調整と灌漑水補給を兼ねた放流操作、4月は融雪出水の貯水の影響である。極値の量をみると、比較的流量の少ない四十四田と田瀬では渇水量が、流量の多い湯田と鳴子では洪水量が影響を受けていることがわかる。表-4に示した洪水調節実績では四十四田も少なくないが、四十四田と田瀬では自然状態での洪水量の変動範囲が大きいために逸脱回数が少なくなるという背景もある。極値の時期は、おおまかに言って最小値生起日はばらつき、最大値生起日はまとまる方向に動いている。例えば四十四田では7月によく発生す

表-5 RVAの結果（自然状態から大きく逸脱した項目）

		四十四田	田瀬	湯田	鳴子
量	1月平均値		○ △ ▽	△ ▽	
	2月平均値		○ △ ▽	△ ▽	▽
	3月平均値		● ▲ ▽	▲ ▽	● ▲ ▽
	4月平均値		● ▲ ▽	▲ ▽	● ▲ ▽
	5月平均値		○ △ ▽	○ △ ▽	△ ▽
	6月平均値	○ △ ▽	○ △ ▽	○ △ ▽	△ ▽
	7月平均値				▽
	8月平均値		▲ ▽	▲ ▽	
	9月平均値				
	10月平均値	▽	▲ ▽	▲ ▽	
	11月平均値				▽
	12月平均値		▽		▽
極値の量	1日間最小値	● ▲ ▽	● ▲ ▽	● ▲ ▽	● ▲ ▽
	3日間最小値	● ▲ ▽	● ▲ ▽	● ▲ ▽	● ▲ ▽
	7日間最小値	● ▲ ▽	● ▲ ▽	● ▲ ▽	● ▲ ▽
	30日間最小値	● ▲ ▽	● ▲ ▽	● ▲ ▽	● ▲ ▽
	90日間最小値			▽	
	1日間最大値	▽	▲	▲ ▽	▲ ▽
	3日間最大値				
	7日間最大値				▲ ▽
	30日間最大値			▽	▽
	90日間最大値				
極値の時期	最小値発生日	△ ▽	△ ▽	△ ▽	△
	最大値発生日		△ ▽	△ ▽	△
中規模変動	渇水回数	△ ▽	○ △ ▽	○ △ ▽	● ▲ ▽
	出水回数		○ △ ▽	○ △ ▽	● ▲ ▽
	渇水継続期間	▽	● ▲ ▽	● ▲ ▽	○ △ ▽
	出水継続期間	△ ▽	○ △ ▽	○ △ ▽	○ △ ▽
小変化	平均減少速度	△ ▽	▽	○ △ ▽	○ △ ▽
	平均増加速度		○ △ ▽	○ △ ▽	○ △ ▽
	増減回数	○ △ ▽	○ △ ▽	○ △ ▽	○ △ ▽
	減少日数	● ▲ ▽	● ▲ ▽	● ▲ ▽	● ▲ ▽
	増加日数	○ △ ▽	○ △ ▽	○ △ ▽	○ △ ▽

○：平均値が大きく増加 ●：平均値が大きく減少
△：上方逸脱回数多し ▲：上方逸脱回数少なし
▽：下方逸脱回数少なし ▼：下方逸脱回数多し

る渇水状況が軽減された結果、最小値発生日が2月頃と10月頃に二極分化するようになった。田瀬では春と秋に同じくらいの割合で発生する最大流量のうち、春の出水は貯水されることが多く秋の出水のみが残る。湯田では逆に、8月の洪水が頻繁にピークカットされることにより融雪出水時に最大流量が発生することが増えている。

中規模変動および小変化にもダム操作の影響がはっきりみられるが、中規模変動の現れ方はダムにより異なる。中規模出水、いわゆるフラッシュ放流（表-2の④）の回数は湯田と鳴子では確かに減少しているが、四十四田では格別の変化がみられないし田瀬ではむしろ増えている。鳴子では中規模渇水の回数減少もみられ、継続期間の伸びとあわせて中規模変動の緩慢化が示唆される。一方田瀬と湯田では短期間の中規模渇水が数多く発生する傾向を示している。小変化は比較的各ダム共通で、平均増加速度の低下と減少日数の減少は洪水調節によるものである（ピークカット及び逓減曲線の消失）。注目されるのは増減回数がはっきり増えていることで、ダム操作が流況の平滑化どころか細かい変動の激化を招いている可能性を想起させる。ただし鳴子ダムでは減少日数も増加日数も少なくなり、流量一定の期間が増えている。

ここでは紙面の制約もあり表-5のまとめを示したが、Richterらは全指標の変化を数値で表示するよう推奨している¹⁰⁾。表-5からも放流量操作における着目点や改善方向の示唆は読み取れるが、より詳しく数値を検証することによって代替案の比較を定量的に行うことができる。

6. 結論

諸外国で用いられている環境用水量決定法を整理し、対象となる流量要素と目的を明確にした。水文統計的アプローチのうちTennant法とRVAを取り上げ、日本の河川に適用して可能性を探った。Tennant法でいう10%条件は渇水量としては甘いのが最小流量とすると日本ではたいへん厳しい。RVAは自然変動の激しい我が国の状況を反映することもでき、モニタリングや対策改善に定量的な判断基準を与える有用な手法と評価される。日本の気象・地質条件と選択指標の関係をさらに追究する価値がある。

謝辞：本研究の一部は平成13年度河川整備基金の補助を受けて遂行されました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 新沢嘉芽統：河川水利調整論，岩波書店，1962.
- 2) 建設省河川局：正常流量検討の手引き（案），1992.
- 3) Thame, R.: An overview of environmental flow methodologies, with particular reference to South Africa, *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*, JM King, RE Thame and MS de Villiers (eds.), WRC Report No: TT 131/00, pp.15-40, 2000.
- 4) Conference abstracts on: *Environmental Flows for River Systems, incorporating the Fourth International Ecohydraulics Symposium*, Cape Town, South Africa, March 2002.
- 5) Church, M.: Channel Morphology and Typology, *The Rivers Handbook, Volume 1*, Calow, P. and Petts, G.E. eds., Blackwell Scientific Publications, pp.126-143, 1992.
- 6) Lewin, J.: Floodplain Construction and Erosion, *The Rivers Handbook, Volume 1*, Calow, P. and Petts, G.E. eds., Blackwell Scientific Publications, pp.144-162, 1992.
- 7) Reiser, D., Ramey, M. and Wesche, T.: Flushing Flows, *Alternatives in Regulated River Management*, Gore, J. and Petts, G. eds., CRC Press, Boca Raton, pp.91-135.
- 8) 山本晃一：沖積河川学，山海堂，1994.
- 9) Tennant, D.: Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources, *Fisheries*, Vol.1, pp.6-10, 1976.
- 10) Petts, G. and Maddock, I.: Flow Allocation for In-river Needs, *The Rivers Handbook, Volume 2*, Calow, P. and Petts, G.E. eds., Blackwell Scientific Publications, pp.289-307, 1994.
- 11) Richter, B., Baumgartner, J., Powell, J. and Braun, D.: A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems, *Conservation Biology*, Vol.10, pp.1163-1174, 1996.
- 12) Richter, B., Baumgartner, J., Wigington, R. and Braun, D.: How much water does a river need?, *Freshwater Biology*, Vol.37, pp.231-249, 1997.

(2002. 9. 30受付)