

## 水循環系の健全度指標に関する基礎的検討

福島大学共生システム理工学類環境システムマネジメント専攻 木内 豪\*  
 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水資源研究室 川崎 将生\*\*  
 富澤 洋介\*\*\*

キーワード 水循環・健全度・指標

### 1. はじめに

近年、流域における水循環の健全化は、水資源の質や量の確保、洪水被害の軽減、河川における環境の保全を図る上での包括的・基本的概念として定着しつつある。水循環健全化の概念を個々の流域に適用してマスタープランを策定する場合などにおいては、過去からの水循環系の変貌や現在抱える課題を整理しながら流域の水循環系をより客観的に定量化（診断）し、将来を予測した上で、望ましい水循環系の到達点とそのための改善策を定めることとなる。

一方で、健全な水循環系とは果たしていかなる状態を示すものであるかについて、一律に当てはめることの出来る確固とした定義があるわけではないため、個別事例ごとに水循環系の健全度を推し量る様々な評価指標が考案されてきた。例えば、米国環境保護庁（EPA, 2002）は流域の水質を表現できる環境指標として Index of Watershed Indicators (IWI) を 1996 年より開発してきたが、その目的として、1) 流域における水質の状態と脆弱性を特徴づける (characterize), 2) この情報を市民が入手できるようにして、自分が利用している水資源についての学習を促す, 3) 環境政策の決定や優先付けにおいて、より良い意思決定の支援ツールとして用いる, 4) 全ての流域が健全 (healthy) で生産的な場になるという EPA の目標に対する進捗度を測定する、という 4 つを挙げている。

本稿における水循環系の健全度指標検討の目的も EPA と同様であるが、その範囲は水質にとどまらず、広く水循環系全体を捉えようとするものである。ここで

は、特に IWI の目的としても挙げられている 1) や 2) を意識して、まずは全国の一級河川流域における水循環系に関する実情について、いくつかの指標を用いて整理した結果について紹介する。なお、ここではダムの影響に着目した指標を中心に構成されていること、ここで取り上げた指標のみで水循環系の健全度を表現できるものではないことを予め断っておく。

### 2. 水循環系の健全度指標について

上述の EPA の事例の他にも、既往の水循環系の健全度指標について杉浦・村瀬 (2004) がいくつか紹介している。また、それ以外にも多くの事例が散見される。最も新しいものでは、UNESCO (2006) により水循環や水環境、水質、水資源の賦存や利用の他、水の価格、水の配分などに関して、国家間、地域間等において比較のできる指標の開発が行われた。ここでその詳細には触れないが、基本となる考え方は、杉浦・村瀬 (2004) にも紹介された水循環系の健全度評価の枠組み (DPSIR と呼ばれる; Driving force, Pressure, State, Impact, Response の頭文字を取ったもの) である。水循環系の健全度指標を構成する要素になり得ると考えられるものをこの枠組みに当てはめてみたのが表-1 である。これらの構成要素の組み合わせあるいは単体によって最終的な健全度指標となる。

指標はあくまでもある事象を数値で表した結果であり、その数値の捉え方によって正反対の評価が生まれる。例えば、後述するダムによる貯留量 (S) と河川の流出量 (Q) の比 (S/Q) は、水資源や洪水調節の観点からは大きいほど良いと言えるが、環境や水質、流況への影響という点では小さいほど良いということになる。このような指標の二面性について配慮するにあたっては、「その数値がいくつのとき、何にとっては良くて、何にとつ

\* 助教授

\*\* 主任研究員

\*\*\* 研究員

表一 水循環系の健全度指標の構成要素例 (生態系・生物影響については本稿では対象外とした)

	Driving force (要因)	Pressure (圧力)	State (状態)	Impact (影響)	Response (対応)
利 水	流域内の人口 気候変動	降雨量 水使用量 河川等取水量 流域外導水量	渇水発生頻度 渇水継続期間 流況 (河川流量) 水資源賦存量 瀬切れ	都市用水等の不足 生物の生息域	ダム等による貯水
治 水	流域内の土地利用 気候変動	降雨量 洪水流量 発生頻度	浸水・氾濫	水害被害額	各種治水対策 ダム等の洪水調節
水 質	流域内の人口 経済活動, 生産活動 気候変動	汚濁負荷発生量 汚濁負荷流入量	河川水質 湖沼・ダム湖の水質	飲料用水の質 レクリエーション 臭気 生物の生息域 農作物の生育・質	下水道整備 浄化槽等普及 富栄養化対策

では悪い」というような数値目標が存在しなければならない。したがって、健全度指標の検討は、1) 計測が容易あるいは既存データベース等から入手可能な情報を用いてどのような指標を導くのか、2) 指標の数値に応じて水循環系の健全度の状態をどう表現するのか (ある事項に関して良好か、否か、などの段階評価) の2つによって為される必要がある。指標に意味づけを行う後者の重要性は言うまでもないが、元来難しい課題であり、現段階ではこれに比べると客観的な検討が進んでいない。したがって、本稿では、最初にも述べたように、一級河川流域における水循環系に関する実情をいくつかの簡便な指標を用いて整理するにとどめた。

### 3. 水循環系の健全度指標の定量化

#### (1) 水資源・水利用

水資源の量の多寡は、降水量から蒸発量を差し引いた水資源賦存量によって評価するのが一般的である (国土交通省土地・水資源局, 2004)。ここでは、年降水量の長期平均値 (1953 ~ 1982 年) から地域別の蒸発散量 (国土庁水資源局, 1983) を差し引き、流域内の人口 (平成12年国勢調査) で除して、人口1人あたり水資源賦存量を算出した (図-1)。利根川, 荒川, 多摩川, 鶴見川, 庄内川, 大和川, 淀川の各流域において、人口1人あたり水資源賦存量が1,000 m<sup>3</sup>/年を下回る結果となった。また、一級水系全体の水資源賦存量は約3,570 m<sup>3</sup>/年/人であり、南東北~北関東の流域, 中部圏, 近畿圏や瀬戸内海に注ぐ流域, 九州北部の流域等で平均以下の賦存量となっている (図-1 下図)。Falkenmark (1989) の水ストレス指標 (Water Stress Index: WSI = (降水量 - 蒸発散量) / 人口) は国家レベルの水資源評価の指標として知られ、先進国での実態を勘案の上、WSI < 1,700 (m<sup>3</sup>/年/人) で水ストレスが日常的に広範囲で発生し、

WSI < 1,000 では経済発展や人間の健康の制約因子に、WSI < 500 (= 1,370 lit./日/人) で生活・生命を脅かすとされている。日本全体では WSI = 3,340 (m<sup>3</sup>/年/人) と算定されているが、世界的には156カ国中91位と決して水資源に恵まれている国とは言えない (国土交通省, 2004)。WSI が1,000 (m<sup>3</sup>/年/人) を下回る流域は大都市圏を中心に存在し、現実にも、三大都市圏における渇水発生年数が他の地域よりも多いことから、利水状態を評価する指標としてある程度有効であると考えられる。ただし、年間の水資源賦存量だけでは評価の難しい水資源の時間的な偏在性やダムによる流況の平準化効果、流域をまたがる導水の影響、水を大量に利用する産業の多少 (水田での水利用など) 等についての考慮も必要である。

地球温暖化の進行による豪雨頻度の増大や無降雨日数数の増加による水資源や洪水への影響が予想されている (国土交通省, 2005)。Gleick (1990) はこのような気候変化・気候変動に起因する渇水や洪水に対する米国の脆弱度を S/Q を指標として評価している。ここで、S は貯留量、Q は水資源賦存量 (年流出量) である。Gleick (1990) によると、S/Q が60%以下だと将来の地球温暖化に対する水資源確保の観点からは脆弱と判断している。一方、Nilsson ら (2005) は、世界の大河流域を対象にダムによる河川の分断と流況調節について論じ、ダムによる流況調節を表す指標として S/Q を用いて、数値が高いほどダムの影響が大きいことを意図している。

一級河川水系に対して、各流域内のダムの総有効貯水容量を S、前述の水資源賦存量あるいは各流域の代表地点における年間河川流出量を Q として算出される S/Q を算出した (図-2)。ここで、流域別のダムの有効貯水容量は国土数値情報に掲載されている個別ダムの有効貯水容量データを基本に、中止ダムや完成ダムの情報を

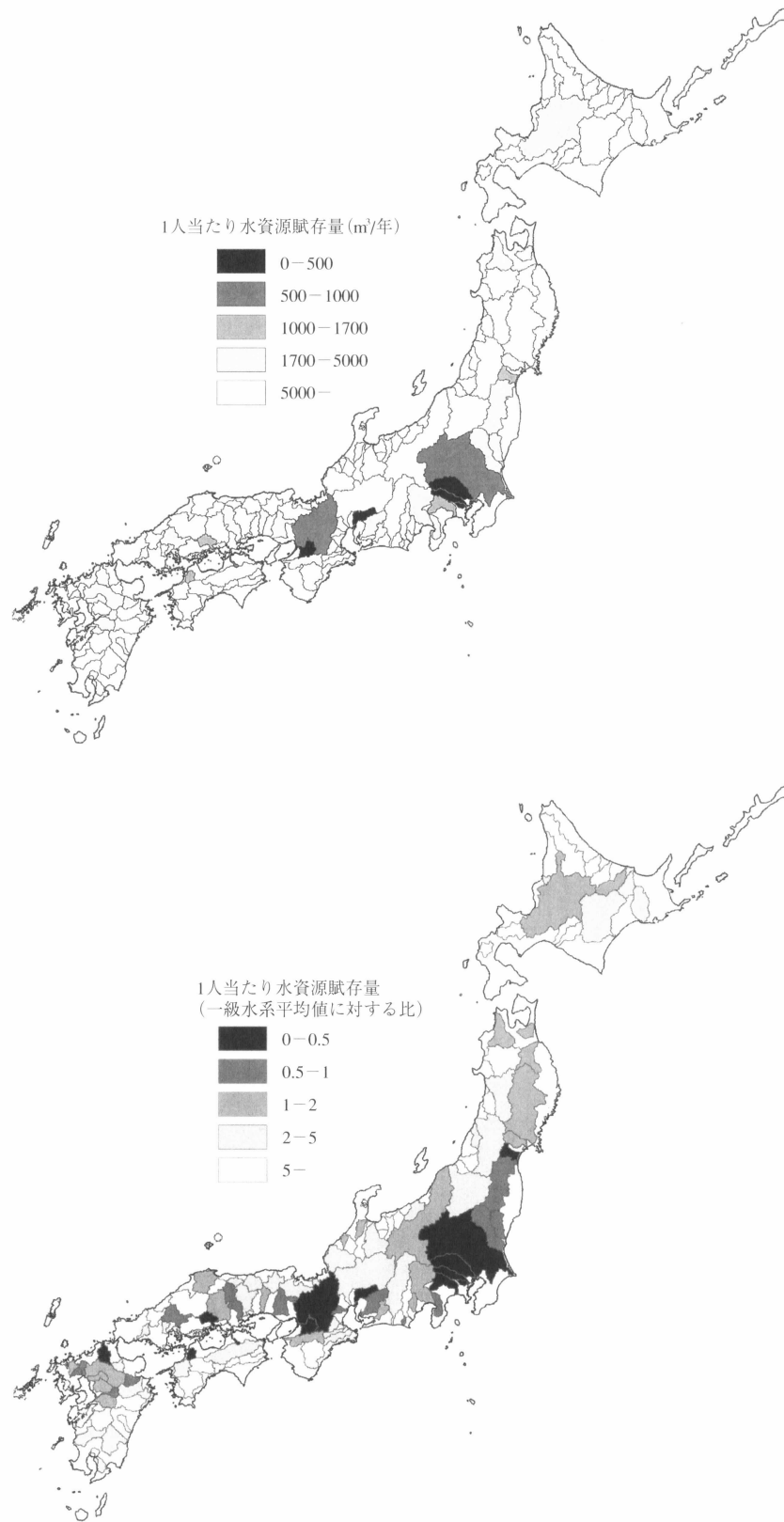
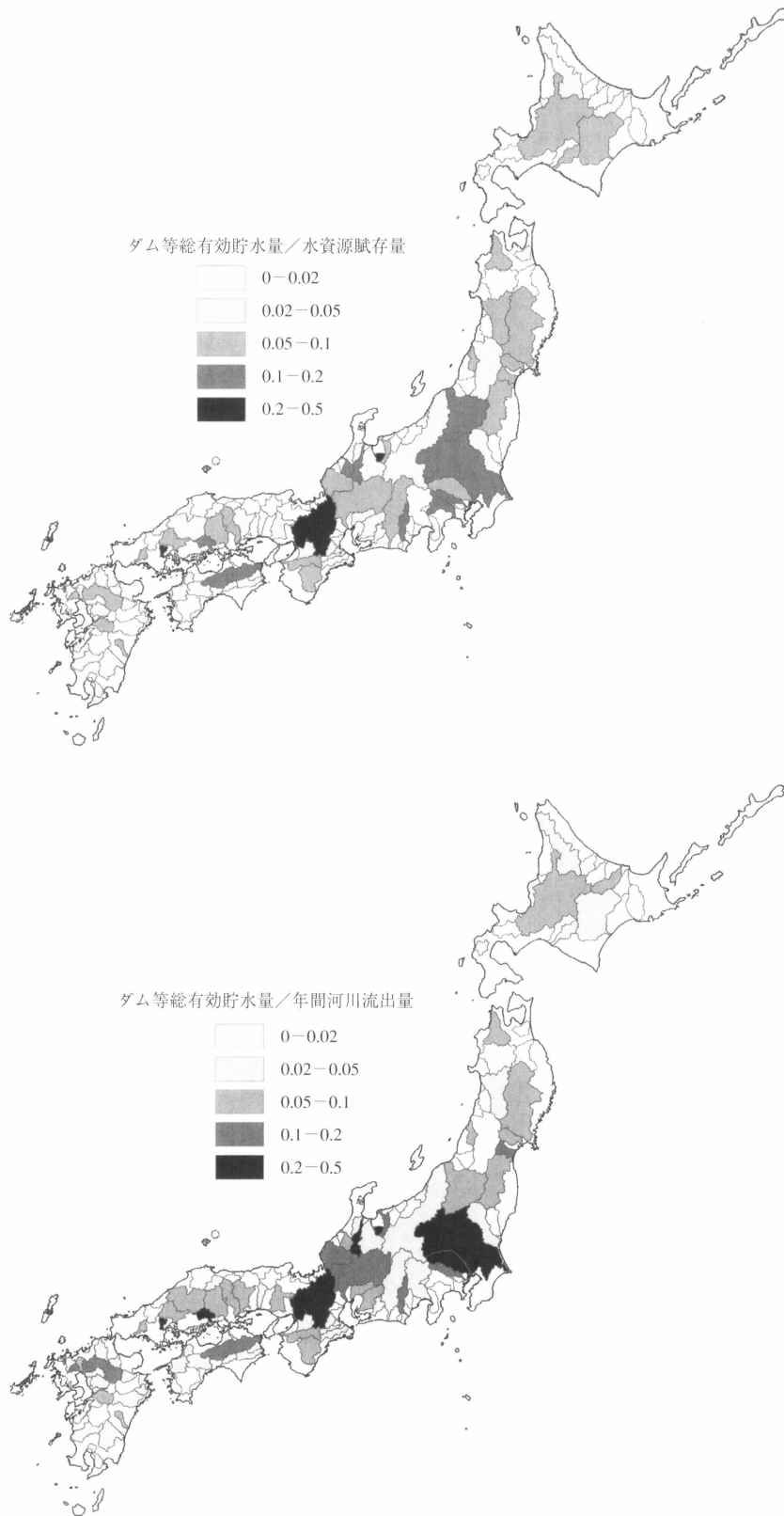


図-1 1人当たりの水資源賦存量と一級水系平均値に対する各流域の1人当たり水資源賦存量の比率



図一 水系別の水資源賦存量に対するダム等の総有効貯水量の割合と水系別の河川流出量に対するダム等の総有効貯水量の割合

加味しながら算出した。水資源賦存量と年間河川流出量のいずれをQとした場合も、S/QはGleick(1990)による脆弱性の閾値60%を下回り、最大で常願寺川の42%(年間河川流出量をQとした場合)であった。このことは、わが国の一級河川流域が季節性降雨に恵まれており、小さなダム容量でも水資源の確保が効率的に行われていることを表しており、大陸性の河川とは異なる閾値による評価が必要であると言える。なお、ダムの効果は、治水、利水、正常流量の維持、発電など多目的であることから、ここで用いたダムの有効貯水量情報のみから利水面での水循環系健全度評価を行うには限界がある。

実際の水利用を表現する指標としては、例えば、水資源利用率(=水使用量/水資源賦存量)が用いられている(国土交通省, 2004)。ここでは、同様な指標として、河川便覧(国土開発調査会, 2004)に掲載されている流域別の水利使用許可水量(上水道、鉱工業、灌漑用取水量の合計で、慣行水利権は含まれない)の水資源賦存量(流量換算値)に対する比率を算定した(図-3)。この指標は流域全体として利用可能な水資源量に対する河川取水量の割合を指標化したもので、取水の時空間的偏在性は考慮していない。なお、取水量は単年度の統計で、水資源賦存量は30年平均である。加古川、利根川、土

器川、常願寺川ではこの比率が200%を上回っており、河川水による水利用が高度化していることが伺える。このうち、土器川や常願寺川については、流域面積が小さいにもかかわらず灌漑取水が多いことによる。一方、渡川、新宮川、高津川等では非常に低い水利用の比率となっている。各河川流域における利水に関する健全性評価にあたっては、取水量(Pressure)や水資源賦存量(State)、貯留量(Response)、渇水や流況など(State)の間の関係について、より実態に近い数値を用いた分析が必要であり、今後の課題である。

## (2) 河川流況

ダム等の河川構造物は下流域を洪水から守るとともに安定的な水資源の供給に寄与する反面、それらが無かった場合に比べると中小洪水頻度の減少や安定的な平常時の流量となり、河川流況が平準化(定常化)される傾向をもたらすと考えられる。平準化は、流水による河床等の浄化機能の低減、洪水時の沿岸域への物質供給頻度の減少、河岸や高水敷上における植生繁茂などの原因にもなると考えられる。このような河川流量の平準化を表す指標としては平水、豊水、低水、渇水の各流量を用いて、例えば、豊水流量と渇水流量の比や低水流量と渇水流量の比で表すことが考えられる(図-4)。ここで、それ

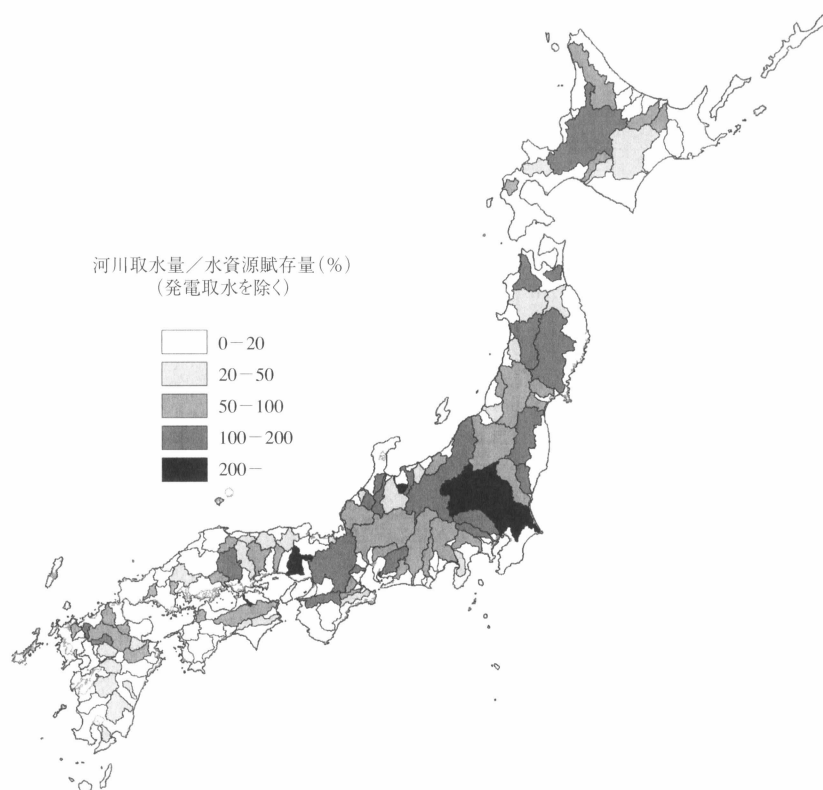


図-3 水系別の水資源賦存量に対する取水量の比率(発電取水は取水量として計上していない)

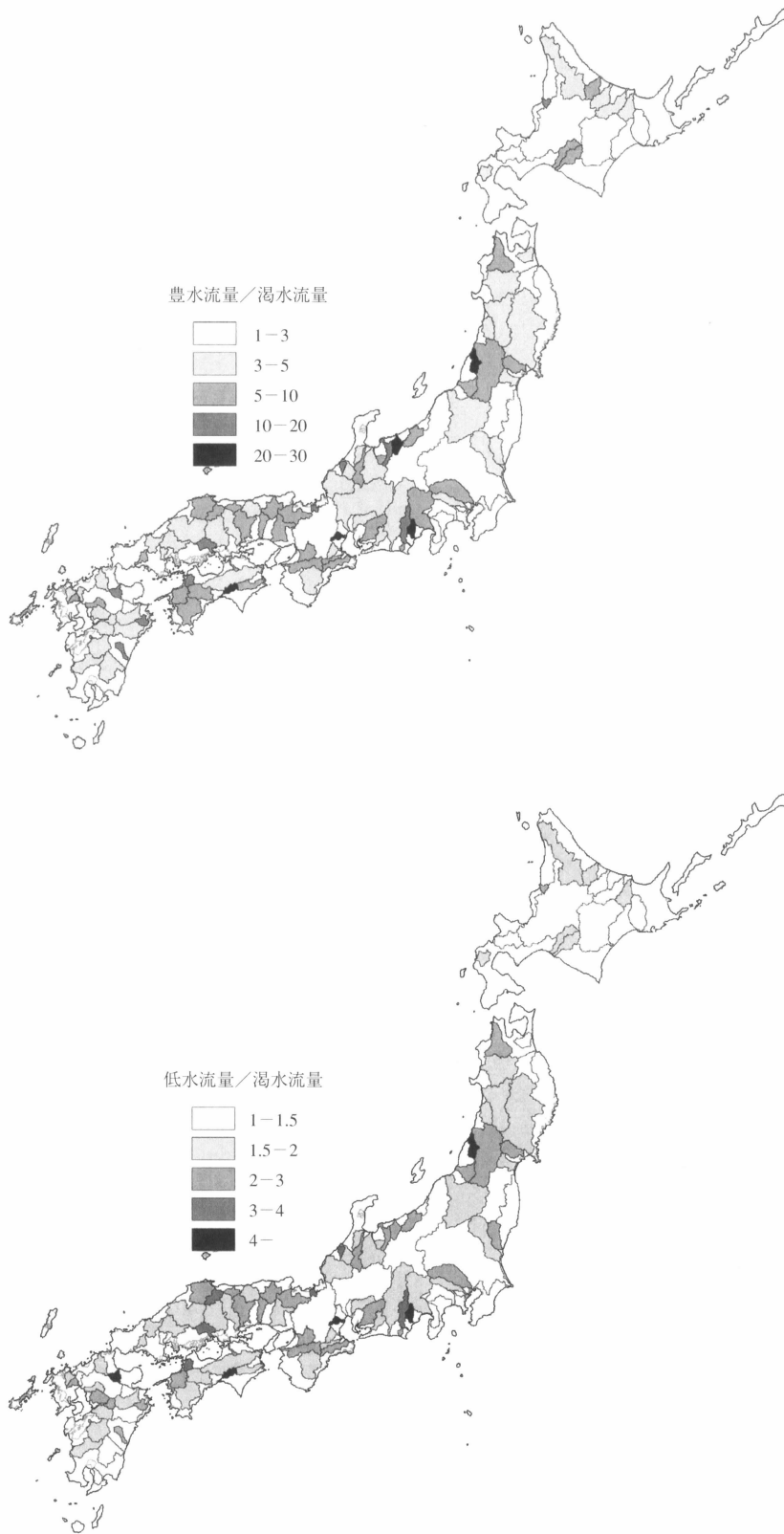


図-4 水系別の豊水流量と渇水流量の比率及び低水流量と渇水流量の比率

ぞれの流量は流量年表（国土交通省）に掲載されている流況表の統計値を用い、対象地点は各流域の最下流地点とした。豊水流量と低水流量の比率を見てみると、石狩川、十勝川、阿武隈川、利根川、信濃川、木曾川、淀川、筑後川などの大河川流域で低い傾向を示していることがわかる。また、低水流量と渇水流量の比率でも同様の傾向が見られる。図-2で河川流出量に対する有効貯水量の比率を示したが、この比率の大小と図-4の比率の大小は必ずしも合致していないことから、下流域では、ダム、貯水池、湖沼、導水等による流況の平準化よりも、流域の大小など他の要因に依存していることが伺える。

他にも河川流況を表す様々な指標が考え得るが、ここでは、オーストラリアにおいて流域の変化に伴う河川の流量やその時間変動の変化が水圏生態系に及ぼす影響を評価する指標として用いられている Hydrological Disturbance Index (Norris et al., 2001) を一級河川流域内のダム流域に適用してみた。Hydrological Disturbance Index (*HDI*) は次式で表される単一指標で、流域の変化に伴う年平均流量の変化 (*A*)、流況の変化 (*M*)、流量の年変動幅の変化 (*SA*)、最大・最小流量の発生時期の変化 (*SP*) に関する指標を統合化したものである。

$$HDI = 1 - \frac{\sqrt{(1-A)^2 + (1-M)^2 + (1-SA)^2 + (1-SP)^2}}{\sqrt{4}}$$

$$A = Q_{MAc} / Q_{MAc} \text{ if } Q_{MAc} > Q_{MAc}$$

$$A = Q_{MAc} / Q_{MAc} \text{ if } Q_{MAc} \leq Q_{MAc}$$

$$M = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \frac{Q_{ic}}{Q_{in}} \text{ if } Q_{in} > Q_{ic}$$

$$M = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \frac{Q_{in}}{Q_{ic}} \text{ if } Q_{in} \leq Q_{ic}$$

$$SA = \frac{Q_{HMc} / Q_{HMn} + Q_{LMc} / Q_{LMn}}{2}$$

$$SP = 1 - \frac{|HM_c - HM_n| + |LM_c - LM_n|}{12}$$

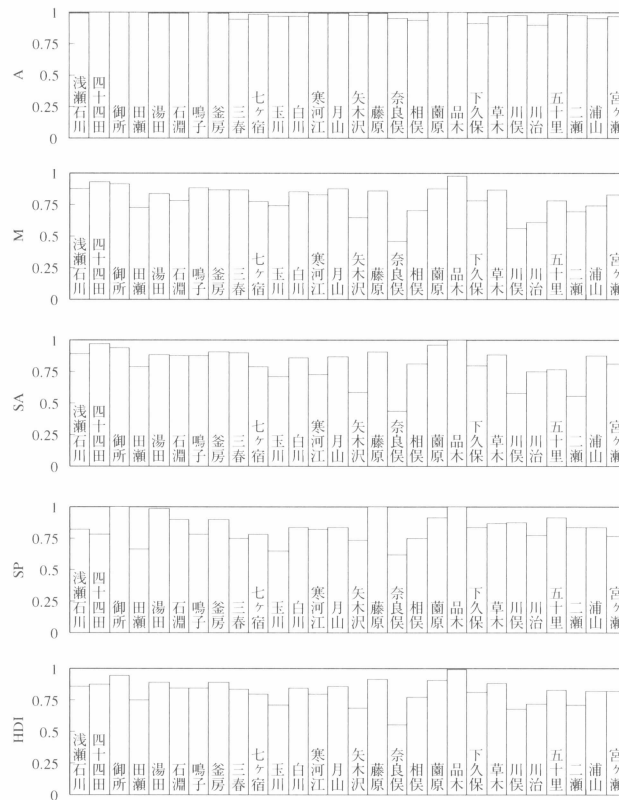
ここで、 $Q_{MA}$ :年平均流量、 $Q_i$ : $p$ 個の流量データのうち、 $i$ 番目の流量、 $Q_{HM}$ :月平均流量の最大値、 $Q_{LM}$ :月平均流量の最小値、 $HM$ :月平均流量の最大となる月の序数 ( $HM_n$ は常に1とし、 $HM_c$ の最大は7)、 $LM$ :月平均流量の最小となる月の序数 ( $LM_n$ は常に1とし、 $LM_c$ の最大は7)で、添え字  $n, c$  は自然状態と現在の状態を意味する。ダムへの流入量が自然状態を、また、放流量が現在の状態を表していると考え、1999年から2003年ま

での東北地方整備局及び関東地方整備局管内の直轄ダムを対象に5年平均の *HDI* と *A, M, SA, SP* を算出した。なお、流況の変化 (*M*) を算出するにあたっては日流量を用いた。結果を図-5に示す。流量の変化 (*A*) はダム流域間で大差ないが、流況の変化 (*M*) は最小の奈良俣ダム流域 (0.46) から最大の品木ダム流域 (0.98) まで大きな開きがある。流量の年変動幅の変化 (*SA*) も流域間で違いが大きく、最小値は奈良俣ダム流域 (0.43) で、最大が品木ダム流域 (1.0) であった。最大・最小流量の発生時期の変化 (*SP*) の最小は奈良俣ダム流域 (0.62) で、最大は御所ダム、藤原ダム、品木ダムの各流域 (1.0) であった。なお、ここで示した各ダムの上流にダムが存在する場合には流入量自体が上流ダムの影響を受けているため、厳密な意味での *HDI* の評価にはならないことを断っておく。なお、Norrisら (2001) は *HDI* の値に応じて、次の4分類で評価している。

- 1) Good  $0.75 < HDI < 1$
- 2) Poor  $0.5 < HDI < 0.75$
- 3) Very poor  $0.25 < HDI < 0.5$
- 4) Extremely poor  $0 < HDI < 0.25$

*HDI* および4つのサブインデックス (*A, M, SA, SP*) が我が国のダム下流域における流況変化と水圏生態系への影響を関連づける有益な指標になるかは今後検討を要するが、本結果より、*HDI* が小さな値 (0.75以下) を示す田瀬ダム、玉川ダム、奈良俣ダム、矢木沢ダム、川俣ダム、川治ダム、二瀬ダムの7流域では、他の流域に較べて、ダムにより相対的に大きな流況変化が生じていることが言える。

ダムには、放流量を制御することによって水資源を蓄え、また、下流域の氾濫を防ぐという基本的機能があり、これらの機能を果たすということは流況の平準化を必然的にもたらずと考えられるが、流況変化を表すインデックス (*M*) には流域間で大きな違いが確認される。このような違いには、流入量と有効貯水容量の比率や、洪水調節容量や利水容量の配分の違い、放流施設の構造の違いなど複数の要因が関係していると思われる。今回の対象流域で *HDI* と最も相関の高い影響因子は *M* であったことから (次に高いのは *SA*)、いくつかの流域で流況曲線を見てみたところ、*M* の小さい田瀬ダム、奈良俣ダム、川俣ダムでは放流量がゼロとなる期間が長く、それが *M* を小さくする一つの要因となっていた。また、セヶ宿ダムの放流量時系列では一定量の放流が長期間続き、平準化の度合いが高いように思われたが、流況曲線で見ると流入量と放流量の差はさほど大きいように見えなくなる ( $M = 0.77$ )。 *M* の算出にあたって、流量区分 (例



図一五 ダム流域別に算出したHDI及びその他の指標

えば平水～低水)に応じた重み付けをすることにより、平常時における流量の定常化の度合いを押し量ることができるものと思われる。

河川流況の変化は、平準化だけでなく、河川流量の減少としても現れる。これは、河川からの各種取水によりもたらされる場合と渇水などに起因する河川の水量不足による場合、あるいはこれらの組み合わせによる場合が考えられる。河川が水量不足に陥る例として、水力発電による取水がある。発電所の上流で河川から取水を行い、発電所を経由して再び下流の河川あるいはそれ以外の水域に放流することによって、河川のある区間は水量が減少する。そこで、発電取水による河川流況に及ぼす影響を表現する方法として、発電取水量と水資源賦存量の比をとったもの及び1発電所あたりの河川長さの2つで表した(図一六)。北陸地方と中部地方において、水資源賦存量に占める発電取水量の割合が高く、1発電所あたりの河川長さ短い傾向が見られる。発電取水量が水資源賦存量に占める割合で見ると、庄川、阿賀野川、常願寺川、神通川、手取川の順に発電取水量の割合が高く、その影響が大きいことが伺える。

河川流況の観点のみならず、広く環境影響という観点からは、ダムや堰などの構造物による河川の分断につ

いても指標化が必要であろう。前述の Nilsson ら (2005) は本川、支川においてダム等の構造物による流れの不連続性を指標化している。ダムの位置情報や容量等を数値データベースとして整備したものと国土数値情報があるが、これには河口堰、頭首工などダム以外の構造物が網羅されていないことから、河川の分断に関する指標の検討には直接利用できないため、この点は今後の課題である。

### (3) 水 質

海域、河川、湖沼等の公共用水域における個別の水質指標の状況については、相当な測定データの蓄積があり、また、データベース化がされているので、濃度レベルや負荷量を用いた水質評価が可能である。水質項目は多岐に及ぶことから、どの水質項目を対象として水循環系健全度の評価指標とするのかについて幅広い選択の余地がある。水質を直接用いず、類型別の環境基準達成率(あるいは超過率)での評価も考えられる。ただし、類型別の環境基準達成率で評価する場合、当該水域がどの類型に指定されているかによって、濃度レベルが高いにもかかわらず達成率が高いという結果もあり得る。

ダム湖や湖沼などの閉鎖性水域では富栄養化の問題を抱える場合があり、それが下流域の河川水質については上



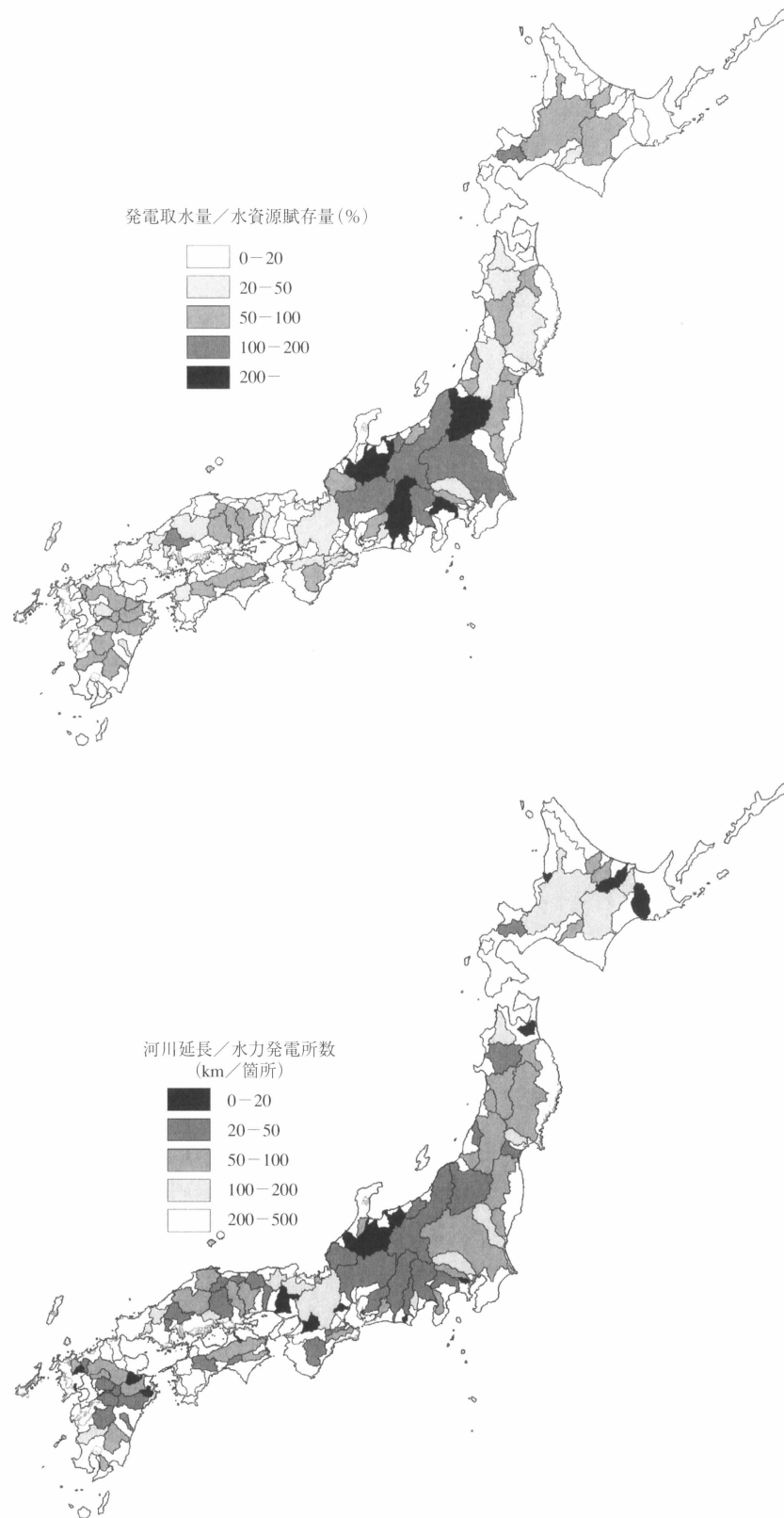


図-6 発電所の影響指標 (上段：常時発電取水量と水資源賦存量の比，下段：河川延長と水力発電所数の比)

水道の水源水質に影響を及ぼす。したがって、ダム湖・湖沼等の閉鎖性水域の富栄養化の原因となる栄養塩類の濃度レベルを流域別に表現することが水循環系の健全度指標として有効と考えられる。2003年の公共用水域における水質調査結果を用いて、各流域に含まれる湖沼・ダム湖等内水域のCOD日間平均値の75%値及び全リン・全窒素濃度の平均値を算出した(図-7)。なお、同じ流域でも支流毎に水質の特性は大きく異なる場合があることから、流域面積が大きい場合にはいくつかの小流域に分割して集計した。測定点が無いあるいはデータ不足から表示されない流域もあるが、関東・甲信地方や九州北部、東西南部等において相対的にCOD、全窒素・全リン濃度の高い流域が見られる。全窒素は色分けされた108の領域(支流域)のうち、40流域で濃度が0.6ppmを上回っている(環境基準のV類型相当)。

河川水質についてはBODが最も一般的な水質指標として用いられており、公共用水域の水質調査においても、生活環境項目の一つとして、多数の地点でデータが蓄積されている。また、地点数はBODよりも少なくなるが、全窒素、全リンの濃度データも同調査によって蓄積されている。各流域内の河川測定地点における測定結果を元にBOD日間平均値の75%値の分布を図示した(図-8)。

これによると、利根川、荒川、鶴見川、信濃川、庄内川、淀川、大和川、紀の川などの沿岸都市を抱える流域で相対的にBODが高い傾向にあることがわかる。また、利根川の上流域や阿武隈川流域、最上川中流域などでも高いBODレベルにある。全窒素濃度についてもBODと同様の全国的な傾向が伺えるのに加えて、九州南部の小丸川、肝属川や中部地方の沿岸域河川(菊川、鈴鹿川)などでも高濃度の流域が見られる。全リン濃度については、千代川、多摩川、鶴見川、大和川、芦田川などで高濃度を示すが、利根川流域ではBOD、全窒素ほどには他流域に比べて高くない。

ダムによる水質への影響以外にも、下流の河川水温への影響や濁水の長期化も問題となる場合がある。例えば、多摩川水系の小河内ダムでは、かつてダム湖深層からの取水によって下流河川の水温低下を招いていたが、近年は改善されている。ダム等からの放流水によって下流のどの程度の所まで、何℃ぐらいの温度低下(上昇)の影響が出ているかについては、例えば、公共用水域の水質測定によって得られた水温情報とAMeDAS(アメダス)により得られた気温情報とから各地点における水温と気温の関係を整理して評価が可能である(図-9)。この図では、ダム放流の影響のない秋川・沢戸橋では水温

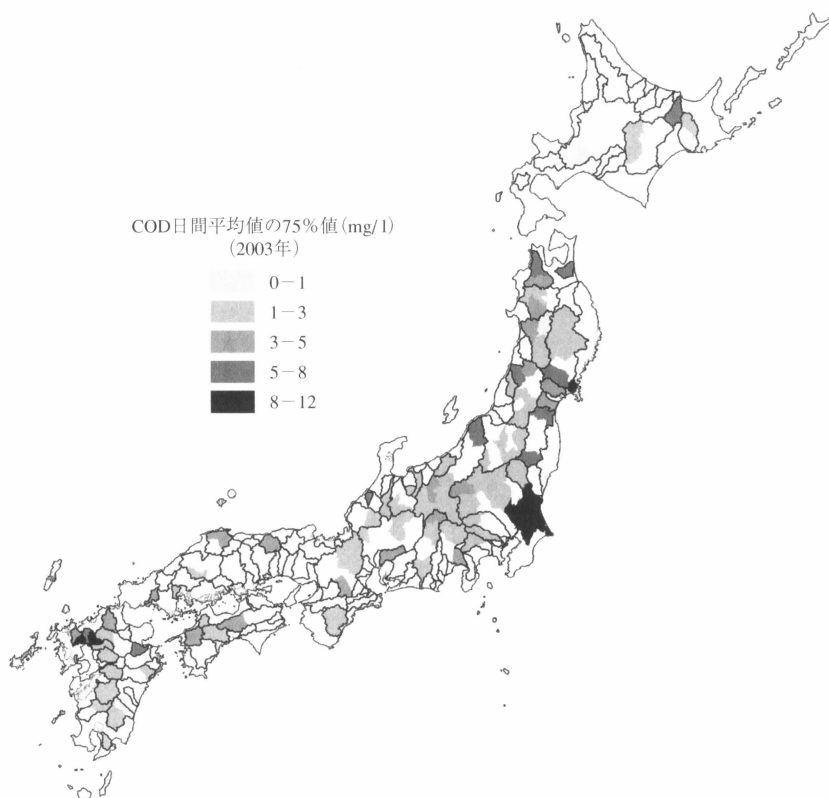


図-7 湖沼・ダム湖等内水域のCOD、全窒素、全リン濃度の流域平均値

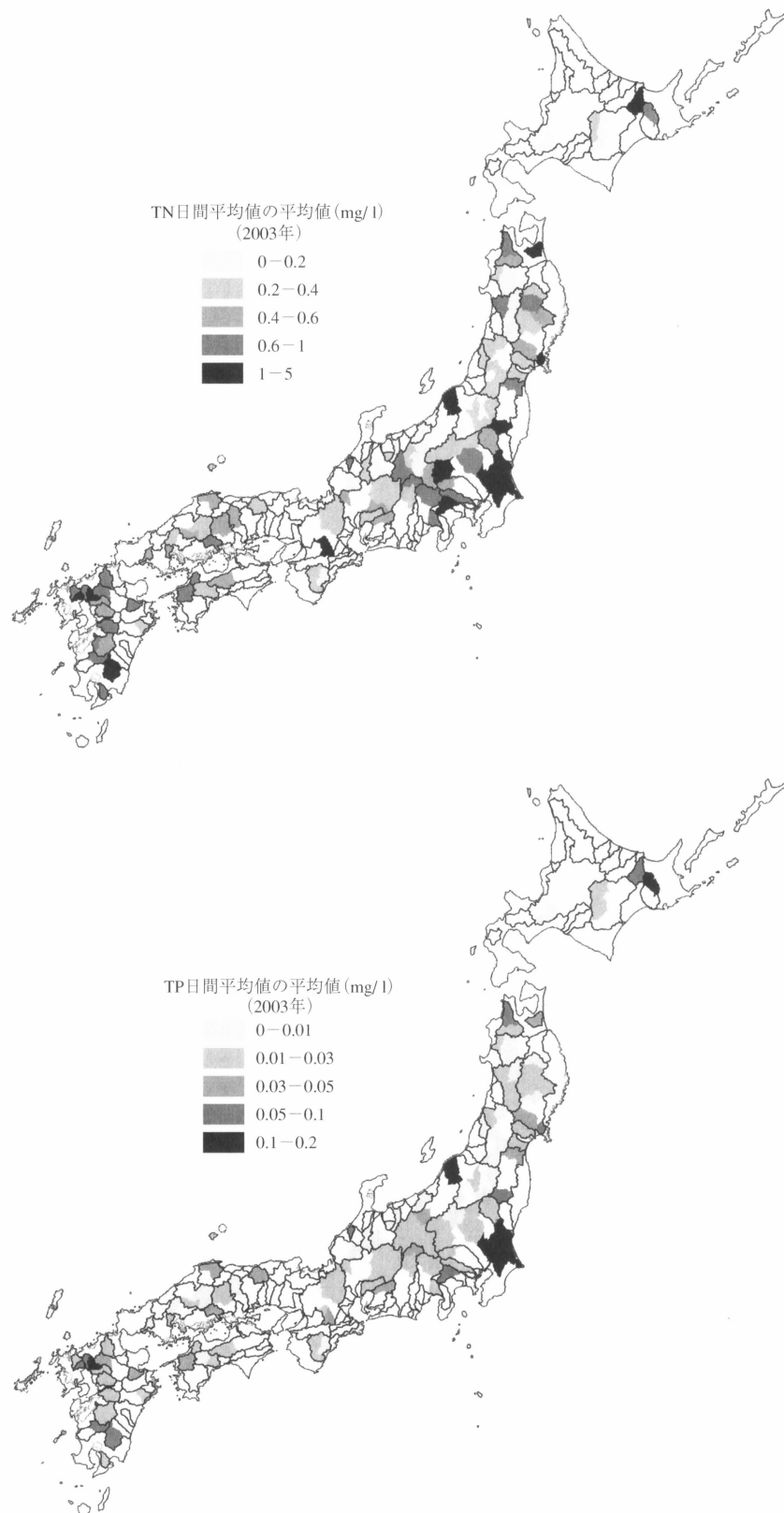


図-7 湖沼・ダム湖等内水域のCOD, 全窒素, 全リン濃度の流域平均値

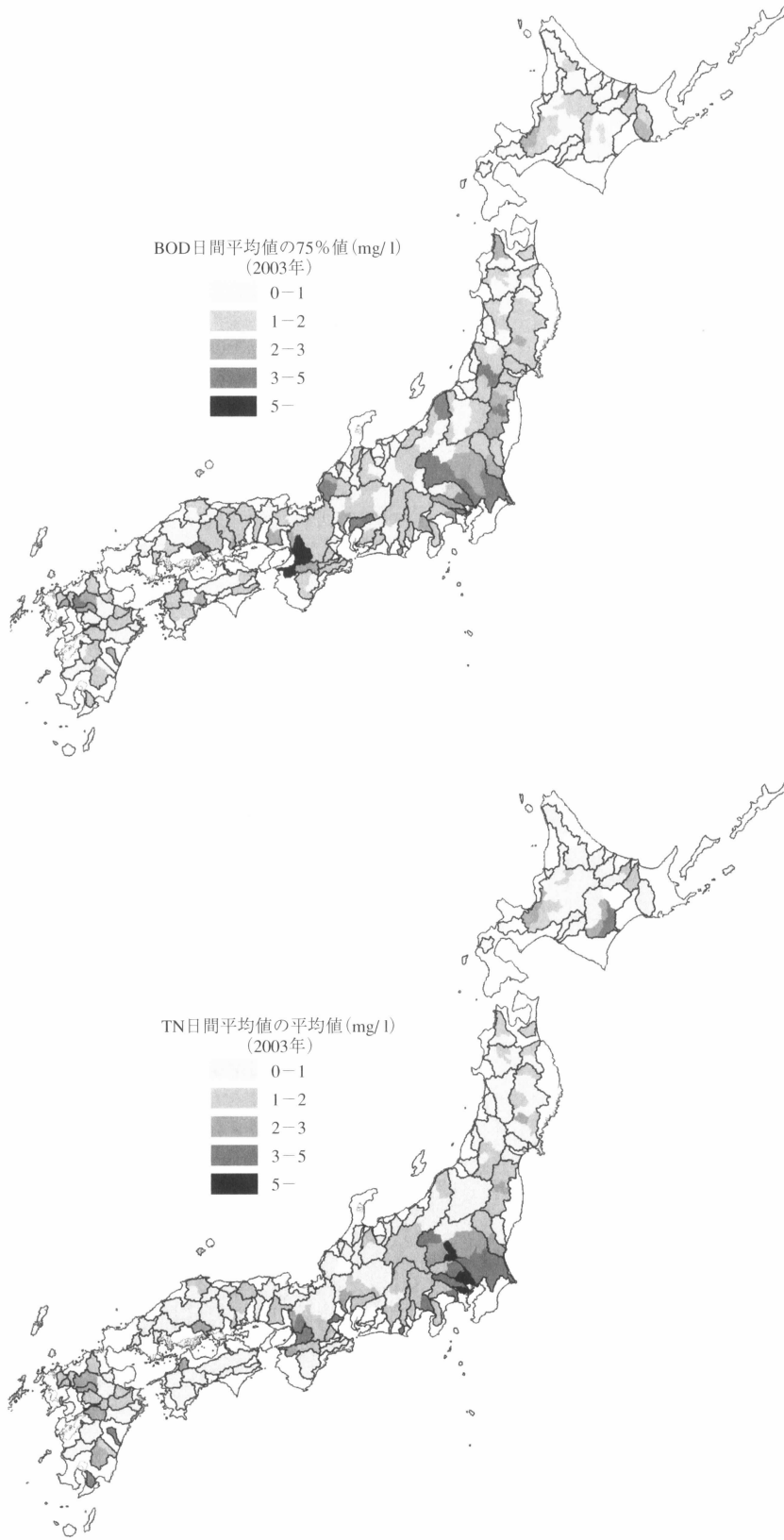


図-8 河川のBOD, 全窒素, 全リン濃度の流域平均値

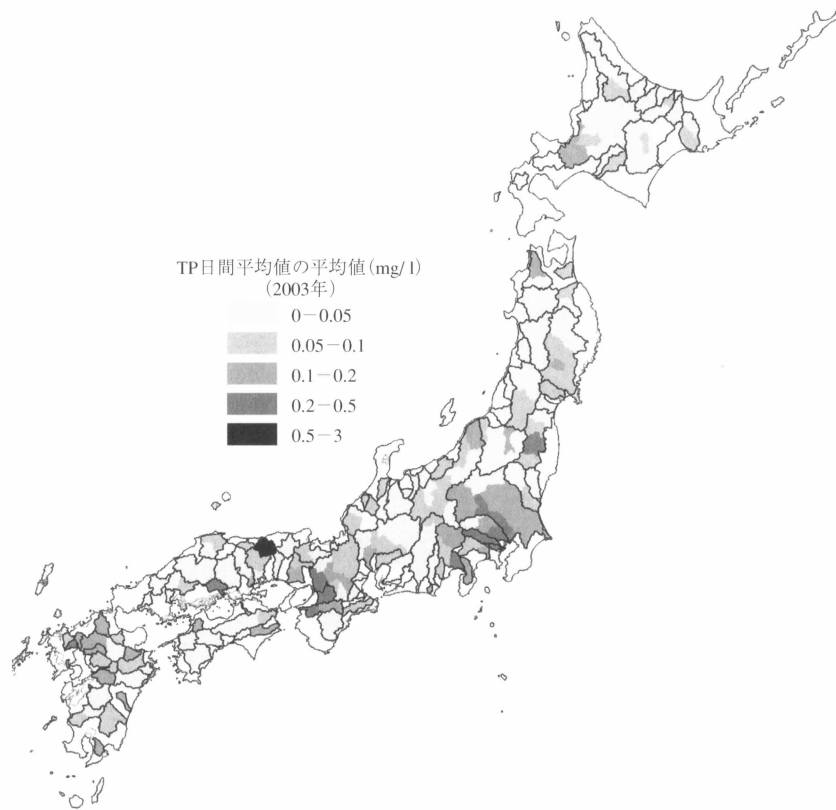


図-8 河川のBOD, 全窒素, 全リン濃度の流域平均値

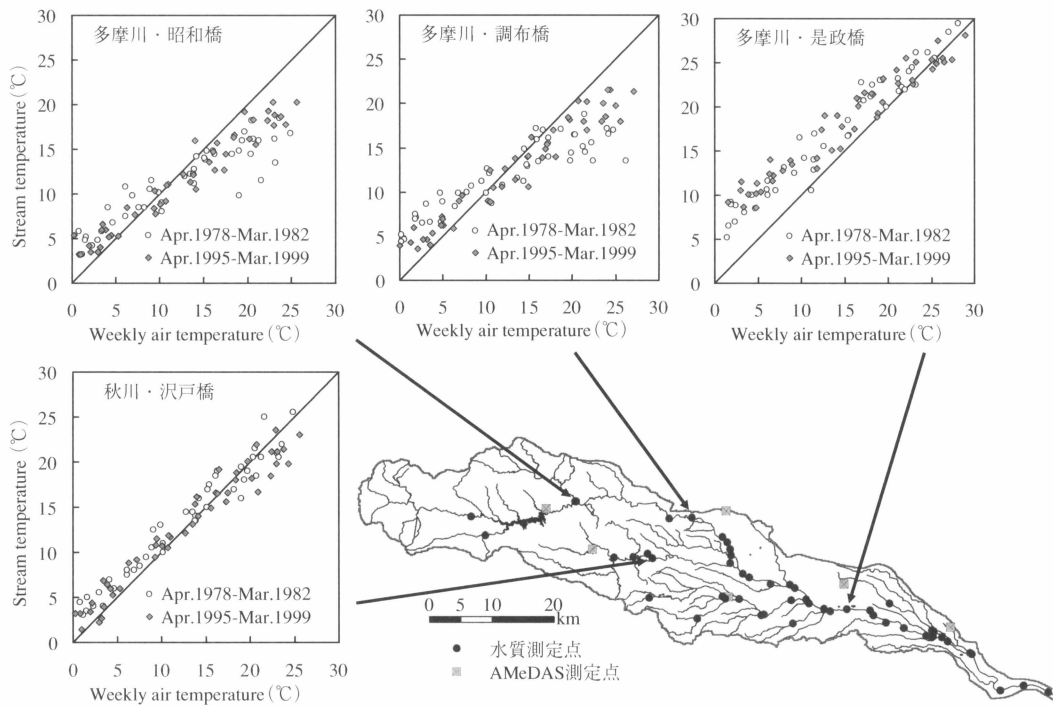


図-9 ダム下流における水温変化事例

と気温の間に1:1の関係が見られるが、小河内ダム下流の昭和橋においては、1978～1982年では気温が15℃以上の時に気温よりも水温が著しく低い傾向が現れている。さらに下流の調布橋でも類似の低水温現象が見られる。ダム下流域における河川の水温の他、濁りの度合いについても、モニタリングデータ等を用いて影響度合いを示す指標が必要である。

#### (4) 洪水

洪水に関する指標としては、外力を表す降雨量・頻度や流出量、洪水の影響を表す水害被害額や人口1人あたりの被害額など、様々な指標がある。外力レベルの違いを考慮するには、例えば、各流域内における最多1時間雨量や既往最大流出量などによって比較することが考えられる。また、ある期間における100mm/日以上、50mm/時間以上の豪雨の回数などがアメダスデータの統計値として公表されている。しかし、地点の外力が同じであっても流域の大きさや治水対策のレベルによって個々の流域の脆弱性は異なることから、このような外力のみを洪水に関する指標として用いるのは不十分である。

水害被害の期待額は、流域の治水安全度がどの程度か、

この治水安全度を超える外力がどの程度の頻度で発生したのか、また、流域における資産や人口の集積度がどの程度であるのかに依存すると考えられる。図-10に示したのは平成5年～14年までの水害被害額の平均値である。これは、この期間の各年における外力、資産や人口の集積度、治水対策の水準のそれぞれの影響を受けているものである。

ダムに関連する洪水関連指標として、ダムの洪水調節容量を流域面積で除した値（ここではダム洪水調節高と呼ぶ）を表したものが図-11である。ここで、流域毎のダム洪水調節容量はダム年鑑2003（日本ダム協会、2003）に掲載されている既設ダム情報に基づき算出した。流域の水害に対する脆弱性を捉えるには、ダムの他にも堤防や遊水池等の整備状況、ソフト対策（水防活動、ハザードマップ策定など）についても考慮が必要であり、ソフト対策を除く部分は一般的に治水安全度として用いられる計画生起年を指標として表すことが可能である。現在、全国の一級河川においては河川整備方針の策定が進められており、これらの結果を踏まえた上で洪水に関する指標の一つとして治水安全度についても整理をする必要がある。

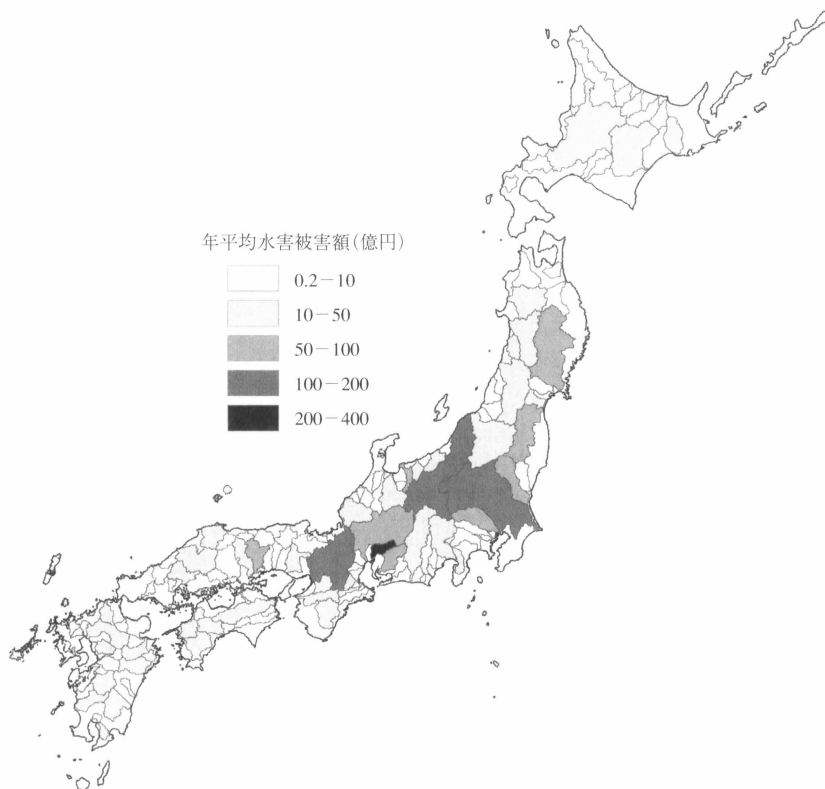


図-10 水系別の年平均水害被害額（H5～14の10カ年平均）

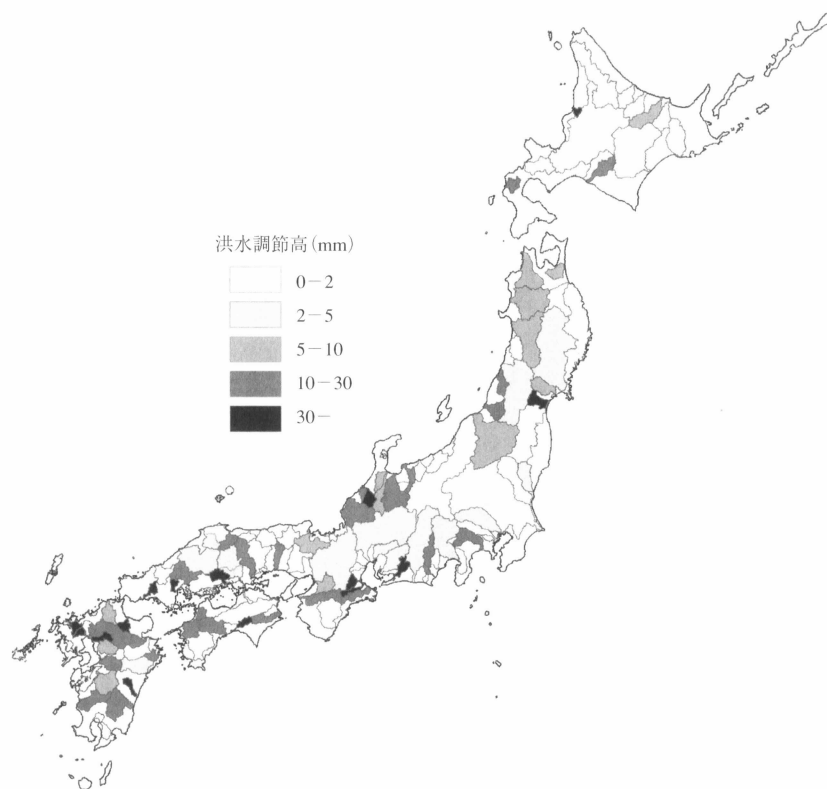


図-11 水系別の洪水調節高 (=洪水調節容量 / 流域面積)

(5) 土 砂

流域の水循環系健全化のためには、水自体の循環のみならず、土砂の動態についても適切な把握・管理が求められる。特に、ダム等は土砂の下流河川・沿岸域への供給を阻害する要因となっているとともに、ダム貯水池内への土砂堆積による貯水容量の減少をもたらすため、これらの影響度合いの評価が必要である。UNESCO (2006) のレポートでは、世界の主要流域を対象に Sediment trapping efficiency (貯水池に流入する土砂量に対する貯水池内にトラップされる土砂量の割合) を指標とした評価を行い、コロラド川やナイル川ではほぼ全量トラップされると述べている。図-12 は我が国の水系別のダム堆砂量と堆砂率を国土交通省の資料(国土交通省河川局, 2002)に基づき図化したもので、中部地方の河川流域において特に堆積が進んでいる様子がわかる。

4. おわりに

今回の検討では、水循環系の健全度を流域間で相対的に比較できるような指標作成を想定し、その基礎段階として、主に利水、水質、治水に関連するいくつかの項目について実態をマッピングした。これらの項目が各流域における健全度向上の目安として利用可能であるの

か、一般市民にとって理解しやすいか、個々の指標を用いて如何にして健全度を表す単一指標を導くのか、また、そもそも個々の指標としてここで取り上げなかったが必要な項目は何か、などについて検討の余地が多く残されている。

参 考 文 献

- 1) U.S. Environmental Protection Agency (2002) : Index of Watershed Indicators: An Overview. (URL: <http://www.epa.gov/iwi/iwi-overview.pdf>)
- 2) 杉浦信男, 村瀬勝彦 (2004) : 健全な水循環の構築に向けての国総研の取り組み, 水循環 貯留と浸透, 第53号.
- 3) UNESCO (2006) : Water, a shared responsibility, The United Nations World Water Development Report 2.
- 4) M. Falkenmark (1989) : The massive water scarcity now threatening Africa: Why it is not being addressed, AMBIO, 18(2), 112-118.
- 5) 国土交通省土地・水資源局水資源部 (2005) : 日本の水資源 (平成17年版).
- 6) 国土交通省土地・水資源局水資源部 (2004) : 日本の水資源 (平成16年版).
- 7) 国土交通省河川局編 (2005) : 流量年表 (平成14年).
- 8) 国土開発調査会 (2004) : 河川便覧 2004.
- 9) P. H. Gleick (1990) : Vulnerability of water systems, "Climate change and U.S. water resources", edited by Paul E. Waggoner, Wiley, 1990.
- 10) C. Nilsson, C.A.Reidy, M.Dynesius and C. Revenga (2005) : Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems, Science, vol.308, 405-408.
- 11) R. H. Norris et al. (2001) : The assessment of river condition (ARC), an audit of the ecological condition of Australian rivers, CSIRO.
- 12) 国土庁水資源局 (1983) : 21世紀の水需要.

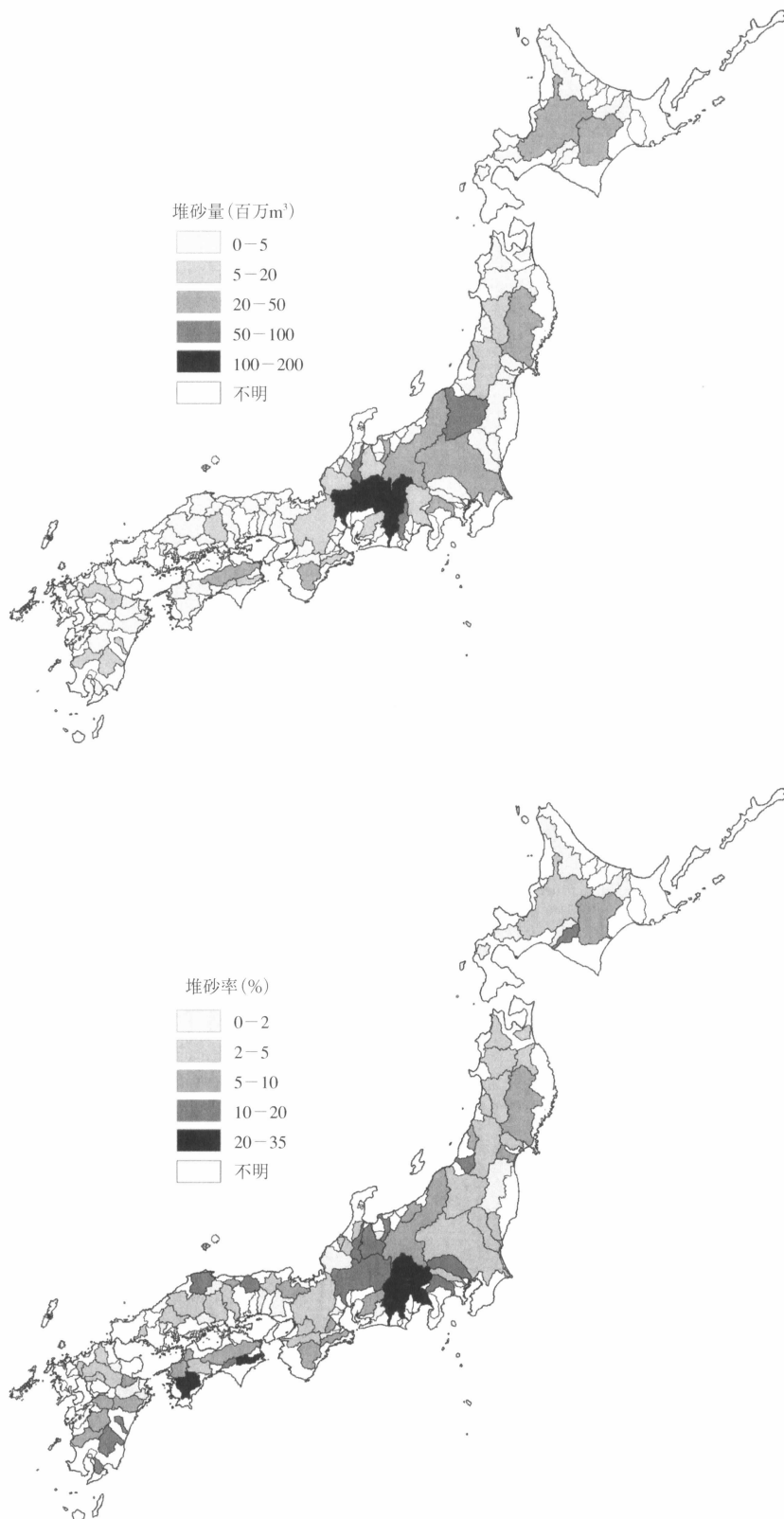


図-12 水系別のダム堆砂量と堆砂率