

ダムによる洪水被害軽減を中心とした水循環の 評価指標作成の試み

A TRIAL OF ESTABLISHING INDICATORS FOR EVALUATION OF HYDROLOGICAL CYCLE FOCUSING FLOOD MITIGATION BY DAMS

村瀬 勝彦¹・中村 昭²・川崎 秀明³

Masahiko MURASE, Akira NAKAMURA and Hideaki KAWASAKI

¹正会員 工修/政策修 国土技術政策総合研究所 河川研究部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地)

²正会員 工修 ダム技術センター(前 国土技術政策総合研究所) (〒106-0041 東京都港区麻布台2-4-5)

³正会員 工博 国土技術政策総合研究所 河川研究部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地)

There have been various issues in hydrological cycles, stemmed from urbanized watersheds, changing agricultural water use and devastated forests. The issues need comprehensive approaches, including consideration of balance among various needs and social backgrounds of each watershed, in addition to traditional countermeasures. For the comprehensive approaches, indicators have been developed for 109 major rivers in Japan. The indicators in this paper comprehensively cover issues that reflect safety for floods in each watershed. Each comprehensive indicator is derived from revising PSR model and combining them: i) pressures to watersheds, ii) watershed conditions; and iii) indicators of society's response. Such evaluation can make it possible to compare one watershed to another, to check the trend of a watershed, and to share the information about the states of a watershed among all stakeholders and people in the watershed. Through the process of establishing the indicators, it became clear that more researches to establish database and to develop evaluation tools are necessary for improvement of indicators.

Key Words : Hydrological Cycle, Evaluation, Comprehensive Indicators, Floods

1. はじめに

流域の都市化, 農業形態の近代化, 林業の衰退等が進み, 水利形態の変化, 水質汚濁等, 水循環に関する様々な問題が顕在化し, 水害についても流出形態の変化のように水循環系の変化に起因する部分が多い。これらの問題に対処するためには問題の一部のみに着目するのではなく, 流域管理の視点から健全な水循環系の構築を目指すことが必要となる。流域を総合的に評価するためには, 水循環の各要素のバランス・地域特性を明らかにし, 健全性を評価する手法を開発する必要がある。

本研究では, 水循環系の健全性を評価する手法として全国一級河川を対象に水循環評価指標の作成を試みた。この評価指標の作成によって治水事業等の各種施策の効果をわかりやすく評価し, 流域管理を行っていく際の合意形成の手段として活用することが期待できる。

2. 水循環系の定義と水循環評価指標の位置付け

(1) 水循環系の定義

1999年10月の健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議の中間とりまとめ¹⁾では「健全な水循環系とは, 流域を中心とした一連の水の流れの過程において, 人間社会の営みと環境の保全に果たす水の機能が, 適切なバランスの下にともに確保されている状態」と定義されている。水資源白書²⁾では水循環系を大循環レベル, 中循環及び小循環に分けている。大循環は雨が地表, 地下をたどり, 河川を通じて海まで達するという流域全体の水循環系, 中循環は都市域など一定の広がりをもった地域における水循環系で河川や水路, 下水道など, 自然の循環系と人工の循環系が互いに結びついた地域レベルの水循環系, 小循環は各家庭, 事業所レベルの小さな水循環系で最も基本的単位とそれぞれ考えることができる。水循環系の健全化を考える場合, それぞれの規模ごとに取組みは異なり, 問題の性質によって, 適切な流域(大流域, 中流域, 小流域)を設定していく必要がある。特に大循環を考える場合は流域外との関わりも生じる。

本研究では「流域管理」の観点から, 流域における取組みを想定した水循環を主たる対象としている。この意味からは中循環を中心としつつ, 中循環と大循環の間を

検討の中心に想定した。具体的には、後述するように全国一級河川109水系を基本にしつつ、大河川では流域をいくつか分割して250程度に分割したものを1つの単位にする。

(2) 水循環評価指標の位置付け

水循環系の評価は、流域管理の各段階に応じて流域の状態を評価していくものと考えることができ、人間の健康診断と比較して考えることができる。健康診断では、一般に健康と考えられる状態と比較して自分がどのように位置付けられるのかという観点（他者との比較）と過去の状態からどのように変化し、将来どのような状態になるかという観点（時間的変遷）が重要である（図－2）。水循環評価でも流域間比較を行って全国の中で当該流域がどのように位置付けられるのか（他流域との比較）、また当該流域がどのような経過をたどってきたのか（時間的変遷）を確認することが必要となる。健康診断と水循環評価が異なるのは、健全化を行う主体が水循環の場合は多岐にわたるため、流域内の各主体で情報を共有することが期待される点であると考えられる。

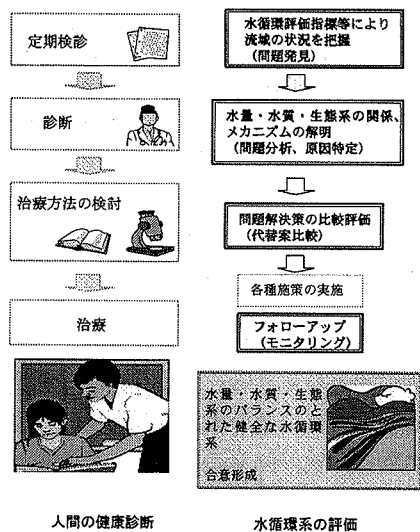


図-1 水循環評価と健康診断の比較

図－1から分かるように問題発見の段階における評価とメカニズム解明や問題解決策の比較評価の段階における評価は異なる。後者における評価の方法は地域によって異なり、その原因・メカニズム解明、問題解決方法の検討也多岐にわたるため、流域ごとに異なった方法で評価することが適当であると考えられる。本研究では水循環評価手法として流域間の比較、流域全体の経年変化の観察、情報の共有化や流域における取組みの達成状況を確認するといった流域総合評価のための手法に主眼を置くため、流域の特性、経年的変化の把握を通じた問題発見及び問題解決のための関係者間の幅広い取組みを可能にする流域指標として位置付けることにする。

3. 水循環評価指標の構築

水循環評価指標の構築にあたって、国内外の幅広い事例を収集して分析した。その上で、指標構築の考え方を明らかにして日本全国を網羅する指標算定を試みた。

(1) 事例分析

水循環に関係する指標としては多くの事例がある。例えば治水に関連するものとしては英国開発計画施策指針にある洪水リスク評価指標³⁾、米国FEMAによる洪水保険に関連する洪水危険度ランク⁴⁾の他、我が国でも政策指標として示されている水害危険度指標、堤防整備率、洪水調節指数等⁵⁾がある。OECD⁶⁾では環境指標として環境への負荷（Pressures）・自然の状態（State）・人間活動による対応（Response）をPSRの枠組みとして組み合わせている。水循環指標としては構成要素に加えて、洪水等の災害に対する安全度、水利用、水質、生態系といった分類である程度、指標を総合化する必要がある。

指標の総合化して指数を作成するには、定性的な要素を構成する複数の要因データを重み付けによって組み合わせる手法があるが、この手法では重み算出を適正に行うことが難しく、算定された指標の意味を直接的に解釈することが困難である。例えば、流域人口(P)と下水道普及人口(R)の2つを組み合わせると水のきれいさ(S)を考える総合化作業を仮定すると、 $S=w_1P+w_2R$ (w_1 と w_2 は重み)では流域人口と下水道普及人口という全く異質な要素を組み合わせるとS自体が有する意味をにわかに判断しがたい。国連世界水発展報告書⁷⁾にも引用しているが、安田⁸⁾は業績評価指標の判断基準として、直接性基準、測定費用基準、理解容易性基準、明確性基準、連続性基準及び外部効果基準を挙げている。特に理解容易性や明確性の観点から、評価指標の総合化にあたっては総合化した指標自体の意味が可能な限り、わかりやすくなるよう努める必要があると考えられる。

(2) 指標の総合化とその要素の考え方

(1)の分析から、指標構築の水循環指標の総合化にあたってはPを人間活動が水循環に及ぼす影響、Sを自然が有する状態、Rを水循環改善の取組みであるとして、P、S、Rを、例えば「指標I= $R \times S / P$ 」のように組み合わせることを考える。これにより求められた指標Iが自然の有する状態1単位あたりの人間活動の影響度合い (P/S) に対する改善の取組みRの割合という形で、指標自体に意味を付加することができる。前出の流域人口(P)と下水道普及人口(R)の2つを組み合わせると水のきれいさ(S)を考える総合化作業の例では、 $S= R/P$ と表示するとS自体は人口あたりの下水道普及率を表しており、Sを改善させるためには下水道を普及してRを増大させるか、人口・汚濁負荷量そのものを減らすかが必要であることが明確になる。

数値化できるかどうか検討は必要であるが、災害に対する安全度、水利用、水質、生態系のそれぞれのイメージとしては表-1のようなものが考えられる。P、S、Rについては利用可能なデータを試行錯誤する形で組み合わせていくことになる。なお、このプロセスでは1つの正解といったものを望むことは難しい。したがって、P、S、Rとしていくつかの候補を示し、組み合わせる作業自体に多くの人が参加して知見を集積するような工夫が有効であると考えられる。

表-1 指標の要素例

分類	PSR	考えられる要素例
災害に対する安全度	P	人口・資産の集中度
	S	洪水被害額、降雨、流域の浸透
	R	治水対策、災害情報システム
水利用（河川水量）	P	人口、水利用原単位、水の需要消費量
	S	河川流量・流況、水資源賦存量
	R	貯水量、節水率
水質	P	汚濁負荷、経済活動、流出量に占める排水量の割合
	S	河川水質、水量、水域の非閉鎖性
	R	排水規制、下水道の整備
生態系	P	開発面積、開発の速度
	S	種の適応性、種の数
	R	保護・規制、有効な保全対策

(3) 災害に対する安全度に関する指標作成の試み

指標作成は表-1の災害に対する安全度、水利用、水質及び生態系について行うが、ここでは災害、とりわけ洪水に対する安全度の指標に焦点を絞って説明する。

a) 区分図の作成

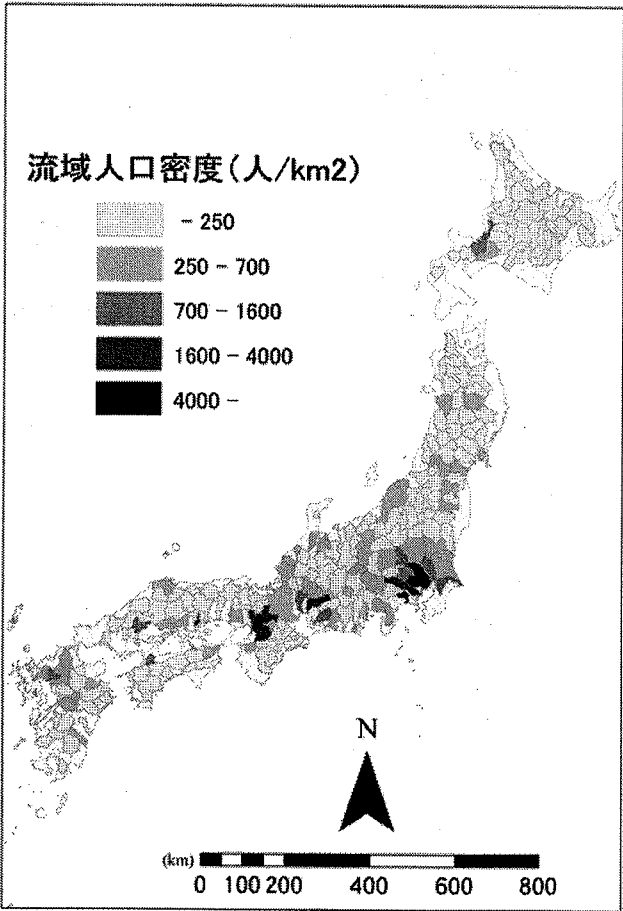
今回の指標作成ではデータの入手可能性等を勘案して全国一級河川109水系を対象にする。ただし、大河川では上・下流で一体化した対策を考えることは難しく、流域を1つの指標で表示しても指標から具体的な取組みに結び付けることができないと考えられるため、大河川流域は分割して全国を235に区分した。

なお、指標作成には詳細なメッシュデータ等を元データとして用いることがある。その場合、データベース上で、例えば各区分をクリックすれば元データを参照できるようにする等の工夫を行うことによって、より有益な情報を提供することができ、指標の根拠を明示することでアカウンタビリティ向上にも寄与すると考えられる。

b) 人間活動が水循環に及ぼす影響 (P)

災害に対する安全度について人間活動が水循環に及ぼ

す影響としては、表-1のような人口、資産の集中度が考えられる。多くの人が流域に生活することによって災害時の被害リスクが高まるため、人口、資産の集中は災害に対する安全度を低下される要因で、人間活動からの水循環への圧力になると考えられる。具体的には人口や市街地面積が考えられるが、ここでは各区分の面積あたりの人口密度を用いることにし、地域統計3次メッシュから求めた人口を国土数値情報から得られる面積で除して計算した(図-2)。なお、市街地面積は人口との相関があると推測され、その面積の大小は流出形態の変化に伴って水循環に影響を及ぼし都市洪水などの被害への圧力になると考えられる。したがって人口密度は資産の集中による災害に対する脆弱性と、流出形態の変化による災害の影響拡大という両面の性質があると考えられる。



c) 自然が有する状態 (S)

災害に対する安全度について自然が有する状態としては表-1のような降雨や流域の浸透を用いた洪水に対するキャパシティが考えられる。ここでは洪水のキャパシティとして年間降水量(図-3)の逆数を用いることにする。ただし年間降水量は例えば、降水が1年間で均等に降った場合、洪水にはならず、必ずしも災害の強さを代表するものではない。災害の強さとしては他に

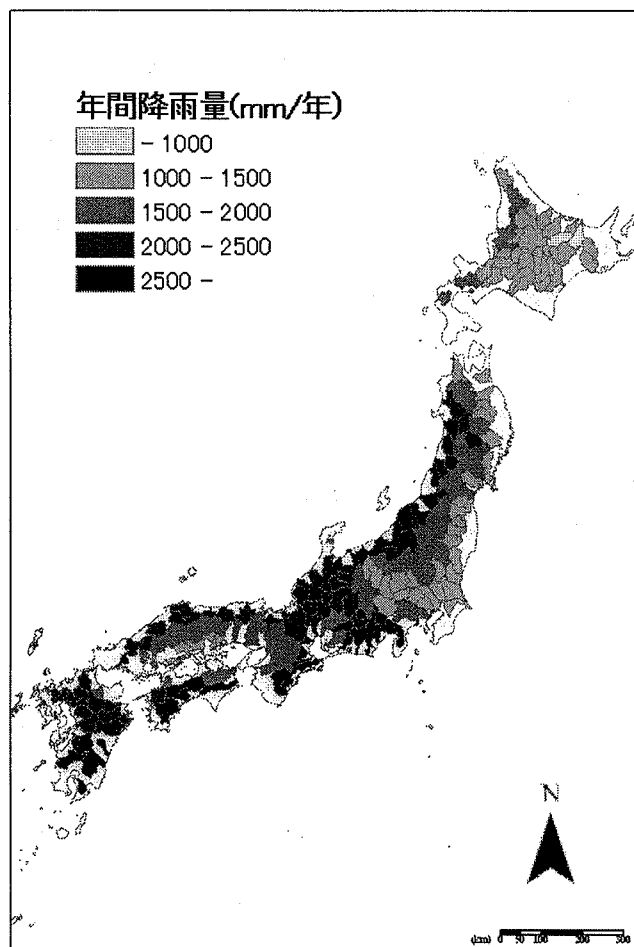


図-3 各区分の年間降水量の分布

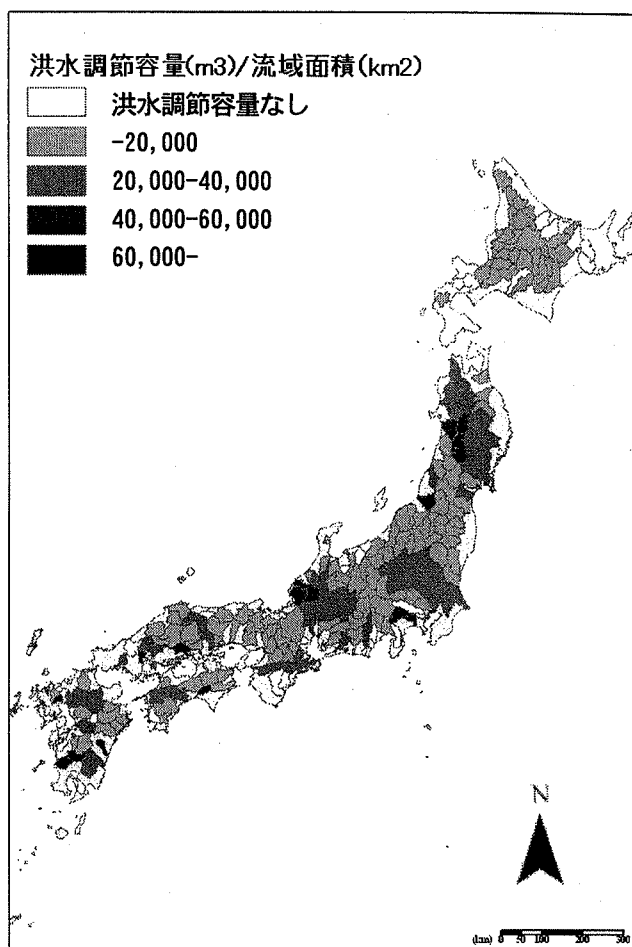


図-4 109水系ごとのダムの洪水調節容量の分布

ある強度以上の降水時の総降水量や災害の結果を表す洪水被害額等が考えられる。ここではデータ入手の容易性を考慮して昭和28年から昭和57年まで平均年間降水量を用いたが、3(2)で述べたように、その他にも考えられるものに置き換えて様々な組み合わせを行う工夫が必要になるものと考えられる。

d) 水循環改善の取組み (R)

災害に対する安全度についての取組みとしては、堤防整備やダム貯水池の建設のようなハード対策、災害情報システムのようなソフト対策がある。各流域におけるこのような治水対策を表す指標として、情報の入手可能性を勘案し、ここでは流域面積あたりのダムの洪水調節容量⁹⁾を用いた(図-4)。もちろんダムによる洪水調節容量は取組みの一端を示しているに過ぎず、例えば、当該流域の基準地点における基本高水流量のうち安全に流下できる流量(計画高水流量)の割合と計画高水流量へのカット流量のうちダム等で整備済みのものの割合を組み合わせる等、さらなる改善が必要である。現在、各地で河川整備方針、整備計画が議論されているところであり、取組みRとしてどのような数値が適当か、こういった治水対策に関する議論の動向を踏まえると同時に、議論へのフィードバックが行われることが望ましいと考えられる。

e) 指標の総合化(災害に対する安全度)

以上のP, S, Rを組み合わせることでダムによる洪水被害軽減を中心とした、災害に対する安全度を水循環評価指標の1つとして総合化を試みる。ここでは、総合化として $R/S \times 1/P$ という式を考える。前半の R/S の部分は各区分の年間降水量のうち、ダムによってコントロール可能な割合を示している。これをPとして流域の人口密度で割ることにより、「人口密度1人/km²あたりの年間降水量に占めるダムでコントロール可能な割合」という総合指標が算出される。算出した指標の一例を図-5に示す。

この指標が大きい区分ほど、災害に対する安全度がダムによる洪水調節容量という面から高いことを示しており、この指標値を改善させるには、ダムによる洪水被害軽減額を増加させてRを大きくするほか、現実には困難であるが、人口、資産の集中を改善してPを小さくするような流域全体の取組みも有効になることが分かる。もちろん、既に何度か述べている通り、P, S, Rの算出についてはさらに検討が必要であり、指標の総合化においても今後、さまざまな組み合わせを試みていく必要がある。

※P,S,Rを組み合わせた試行例

人口密度1人/km²あたりの年間降水量に占めるダムでコントロール可能な割合

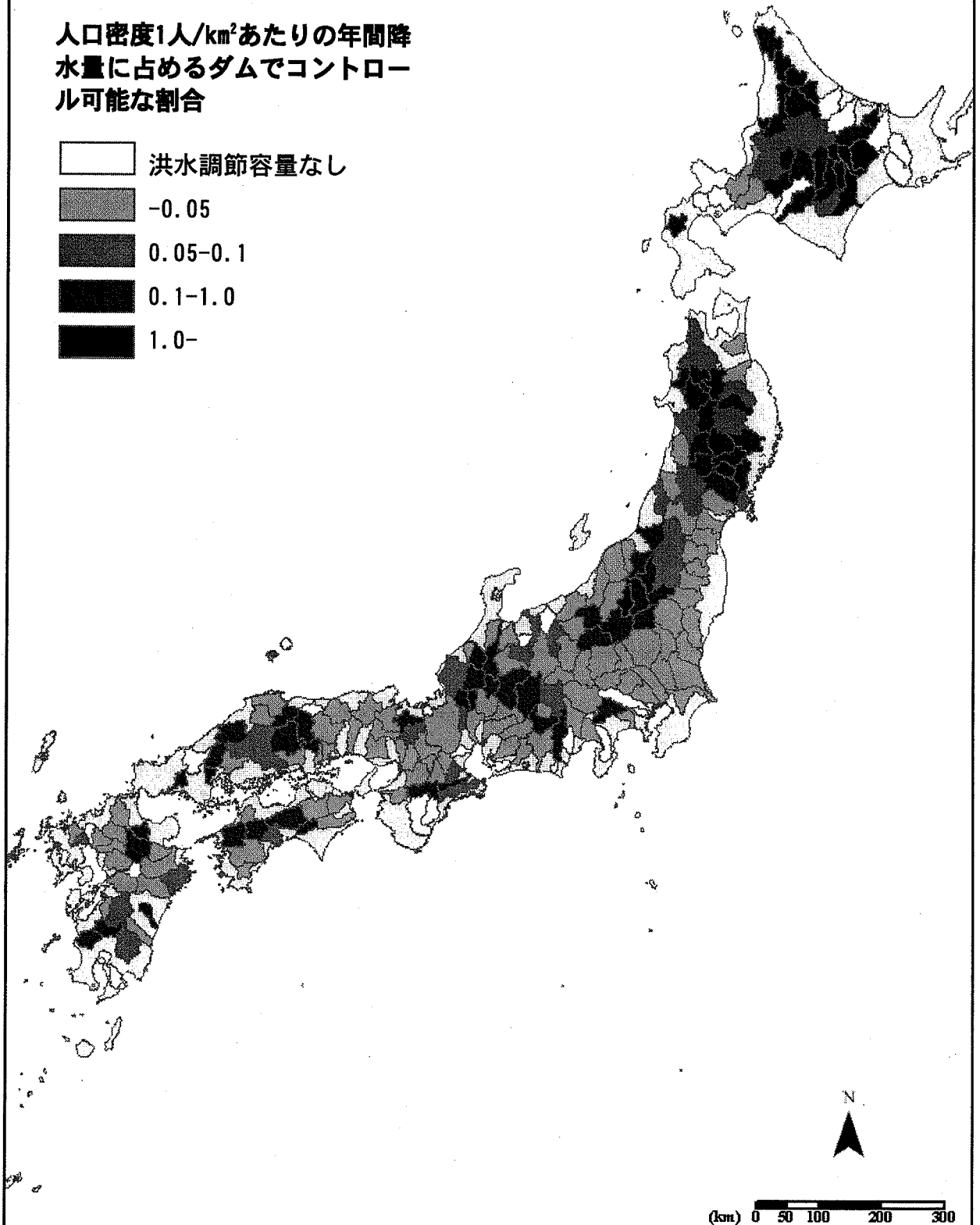
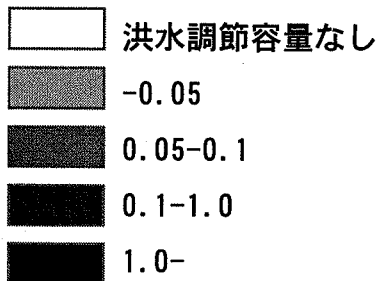


図-5 ダムによる洪水被害軽減を中心とした治水に対する安全度指標作成の一例

5. 結論と今後の課題

(1) まとめ

流域間比較や時間的変遷の確認を通じた情報の共有、流域での主体的な取組みの促進を目的として水循環評価指標の構築を試みた。

水循環系を構成する要素としては大まかに災害に対する安全度、水利用、水質及び生態系に分けることができるが、ここでは災害、とりわけ水害に対する安全度について実際に指標の構築を行った。指標構築にあたってはOECDの環境指標としてのPSRの枠組みである環境への負荷 (pressures)、自然の状態 (state) 及び人間活動による対応 (response) を参考にし、人間活動が水循環に及ぼす影響 (P)、自然が有する状態 (S)、水循環改善の取組み (R) のそれぞれについて、指標が意味するものとして適切で、かつ算定が可能なものを選定し、その上で、P、S、Rを組み合わせて災害に対する安全度として水循環指標の総合化を試みた。具体的にはPとして各区分の人口密度、Sとして年間降水量、Rとして水系ごとのダムの洪水調節容量を用いた。次にP、S、Rを総合化するため、 $R/S \times 1/P$ という形の組み合わせを一例として考えた。これが大きい区分ほど、災害に対する安全度が高く、指標値改善にはダムの洪水調節容量を増加させてRを大きくするほか、現実的かどうかは別として人口の集中を改善させてPを小さくするような流域全体の取組みも有効になることが分かる。

(2) 現状の課題

前述の通り、今回の指標の算出では指標が意味するものとして適切で、かつ算定が可能なものを選定した。特に、Rとしてダムの洪水調節容量を用いたが、堤防改修等の河川事業や災害情報システムのようなソフト対策など、十分に考慮されておらず、あくまでも暫定的なものになっている。また、Sについても流域における洪水の強さを年間降水量の逆数で代表させているが、降水の降り方によっては洪水には直結せず、常に災害の強さを代表しているわけではない。したがって、P、S、Rとして使用できるデータをさらに詳細に検討した上で、より理解しやすい指標の構築を行っていく必要がある。

(3) 今後の可能性

今回は洪水に対する安全度を中心に説明したが、水循環系を考える場合、水利用や水質、生態系といった他の観点とのバランスを考慮する方法を検討していく必要がある。そのため、水利用、水質、生態系の面からも水循環評価指標を作成する必要がある。

指標の構築にあたっては多くの困難があり、多様な水循環スケールから具体的に指標を算定する技術的な課題だけではなく算定された指標の理解度や具体の施策への適用性の検討という実施にあたっての課題まで、問題が山積しているといえる。しかしながら、このような課題や限界を十分理解しつつ、たたき台として指標を実際に提示していくことが具体的な取組みの第一歩として意義があると考えられる。その上で、本文でも述べた通り、データ収集や指標の選定、あるいは指標の総合化に至るまで、あらゆる段階でより多く参加して知見を集積するような工夫が不可欠である。今後は洪水に対する安全度に加え、水利用、水質、生態系の指標と併せ、多くの人が様々な組み合わせを行えるよう配慮して公表し、広く意見を収集していきたいと考えている。

2003年3月に日本で開催された第3回水フォーラムでも議論から具体的な行動が求められた。具体的な行動の第一歩として、指標についても今回のたたき台をベースに幅広く議論を行い、さらに不足データの観測をスタートさせる等、引き続き取組みを進めていきたい。

参考文献

- 1) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議：健全な水循環系構築に向けて(中間とりまとめ)、
<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/junkan/> , 1999.
- 2) 国土交通省土地・水資源局水資源部：平成14年版日本の水資源, pp.30-31, 2002.
- 3) Office of the Deputy Prime Minister: Planning Policy Guidance 25: Development of flood risk, http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_planning/document/s/page/odpm_plan_606931.hcsp, 2001.
- 4) The Federal Emergency Management Agency (FEMA): National Flood Insurance Program, <http://www.fema.gov/nfip/sitemap2.shtm, 2003>.
- 5) 国土交通省：平成14年度国土交通省政策評価年次報告書及び平成14年度政策チェックアップ結果等の公表について, http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/15/150729_.html, 2003.
- 6) OECD: Environmental indicators, OECD core set, Paris, 1994.
- 7) The United Nations: The First World Water Development Report, pp.29-60, pp.481-498, UNESCO, 2003.
- 8) 安田吾郎：河川事業の評価の課題と対応，河川技術に関する論文集，第7巻，2001.
- 9) 財団法人日本ダム協会：ダム年鑑，pp.554-608，2003.

(2004. 4. 7受付)