

グローバル水資源アセスメントを目指した 環境用水需要量に対する影響要因の分類

A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR GLOBAL ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL FLOW

白川直樹¹
Naoki SHIRAKAWA

¹正会員 工博 筑波大学講師 機能工学系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

There is a great concern for water resources scarcity all over the world, and global modeling of water resources assessment is required for many reasons. Environmental flow has become one of major water users in some part of the world and is estimated to grow rapidly in other part of the world, but its global estimation has not been carried out. Many studies and practices in various countries are overviewed to pick up significant factors which affect the setting procedure of environmental flow in a wide variety of regions. Those factors are then categorized into three types; climate, geographical, and human dimensions. The world can be divided to sub regions using these factors, and then appropriate environmental flow methods will be applied to each sub region to assess environmental flow requirement.

Key Words : *Environmental flow, Global water resources assessment, Human factors*

1. 背景

水資源は人間の活動を支える重要な基本資源のひとつである。しかし地球上におけるその時間的・空間的偏在は極めてはなはだしい。太古から人類はそうした水資源の存在状況に制約されながら文明を発達させ、結果として地域分化した多様な水文化（人と水のかかわり方）がはぐくまれてきた。

とはいっても水資源は人間活動を束縛する唯一絶対の存在ではない。さまざまな自然条件が人間活動のあり方を左右する。その枠内でより大きな幸福を追求するために、ヒトは技術を用いて資源の偏在を修正・克服すべく努力してきた。従来の利用可能量を超えて人間活動が膨張せんとするとき、水資源の逼迫が発生する。狭い地域に限定された逼迫には他地域への進出（他所からの導水）で不足量を賄い、短期間の小さな逼迫には貯水等の手段で水資源の時間移動を行って対応した。これが従来の水資源開発であり、水資源政策であった。

モノや情報が世界を駆け巡る現代では水資源政策にもより広域な視点が求められる。グローバル化により「つながった」世界、また物質循環系の閉じた単位たる地球全体のマクロな水資源利用可能量という観点から、全球を一つのモデルで捉えたいという要求が浮かんできるのは自然であろう。水資源アセスメントのグローバルモデルが必要とされるゆえである。

全球規模の水資源モデルが対象とすべき水利用には、全取水量の圧倒的な割合を占める農業用水をはじめ、工業用水、生活用水、発電用水などが挙げられるが、これら旧来の水利用に対して近年存在感を高めている水利用に環境用水がある。先進諸国ではすでに水需要の一として環境用水の存在感が重きを増しており、その必要量は多いところで河川流量の45-50%にも達するという試算例もある¹⁾。ところがその需要予測は各地点ごとの検討やケーススタディにとどまっており、現状ではグローバルな水資源需給に占める位置を調べようとする努力はほとんどなされていないといってよい。そこで本論文では、世界水資源アセスメントを射程に入れた、グローバルな環境用水需要量予測モデルの骨格構築を目的とする。

2. 問題の定義と接近法

(1) 環境用水について

環境用水という言葉はいろいろな文脈で使われ、いまだ定まった定義は存在しない。本論文ではこれを水資源用途の一種として捉えたいので、都市用水や農業用水といった他用途にバイパスされない河道内流量と定義する。つまり、流水を排他的利用の対象たる財とみなし、他用水と利用が競合する（同時には使えない）。その目的は、河川域の生物保護、河川地形のダイナミズムの保持、レクリエーション利用の確保など多岐にわたるが、端的に

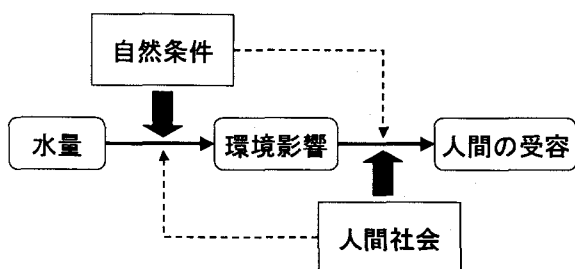


図-1 環境用水の影響/評価経路。水量の評価には、自然条件と人間社会の条件が作用する。

言うところ「工業用水・農業用水・生活用水・発電用水等、適用する水資源モデルに明示的に存在する他の用途以外すべての河道内水利用」ということになる。「環境用水」という言葉の含意、目的はその社会に依存するところが大きく、グローバルに共通な定義を与えようとするところといった他者依存的な言及しかできないのである。具体的な内容については後段で世界の事例を見ながら議論したいが、重要なのは、図-1に表すように環境用水には自然条件と人間社会条件の理解が欠かせないという点の理解である。

環境用水量の定量化には二つのアプローチがある。一つはその必要量や効果を積み上げ式に求めていく方法で、「Aという目的のためにはこれだけの流量が必要、Bという目的にはこれだけの必要、・・・」といった結果を重ね合わせることで環境用水の必要量を定める。南アフリカで用いられているBBM²⁾など、多くの実務的手法はこの考え方に基づいている。もう一つは自然状態を基準とし、そこからの乖離をマイナスの影響と捉える方法である。前者は操作性に優れた見方であるが、最近は生態学や地理学などの知見を背景にした後者の見方も優勢³⁾、「多自然」から「自然復元」へ、という河川事業の理念の推移と重ね合わせて解釈することもできよう。

世界の環境用水設定法を概観すると、詳細な時空間スケールできっちり流量を決定する方法と、より粗いスケールで目安値を与える方法に二分される。前者にはPHABSIMなどの生息場モデルを使う方法と、BBMやDRIFT⁴⁾のように専門家パネル等を活用した合意形成論的手法（別称「包括的手法」）がある。後者は水文統計データを用いる方法が代表的である。

とりあげるべき流量要素については、順序を追って3段階の精緻化が可能である。第一段階では年間を通しての最小流量や推奨流量を定め、第二段階で季節別最低流量や小規模出水・渇水を考慮する。第三段階は年々変動をも問題にし、数年に一度程度の洪水や渇水にも意味を見出そうとするものである。多くの国は第一段階の基準を既に持ち、ホットスポットとなる地点（国立公園など）では第二段階の基準も実行に移されている。本論文の目指すモデルでもまずは第一段階を対象とし、精緻化すべき場所でのみさらなる進展を図るのが良からう。

(2) 「グローバルモデル」の備えるべき特性

前節で述べたのは環境用水をめぐる一般的な状況である。しかし本論文はグローバル推定を掲げているため、こういった一般論とは異なるアプローチの採用を迫られる。それは、現在までの環境用水は、その必要性が高く、しかも検討に要する条件の整った場所でのみ現実のものとして想定されてきたからである。全世界をくまなく覆うグローバルモデルでは、条件の整わない場所や、環境用水の要不要にまで遡って吟味しなくてはならない場所までカバーする必要がある。そこでクリティカルな要素となりうるのは、情報量および地域性である。

現在提案されている環境用水の設定法（推計法）の中で、生息場モデル法と合意形成論的手法は多量のデータや人的資源を必要とするため使用することができない。割に要求情報量が少なく広域推計に適するといわれるのは水文統計的手法であるが、これとて水文統計データの十分な蓄積を前提としている。データのない場所（いわゆるungauged catchments）で流況指標を使おうとすれば、性質の似た他流域からの回帰モデル、地域典型流況曲線からの推定、空間内挿、シミュレーションで導かれる仮想的流況、などの手法を適用する必要がある⁵⁾。実際多くの途上国では十分な流量データが得られない場所での環境用水の設定法が課題となっており⁶⁾、さらに要求情報量の少ない方法を工夫することには現代的な意義もある。

次に地域性である。水資源のもつ意味や価値は、自然条件や社会発展の差異に起因して地域ごとに大きく質を異にする。水資源の確保が最低限の飲用や医療といった人命維持の死活問題となる地域もあれば、農業や漁業といった生計維持手段の可否を左右する地域もあり、レクリエーションや景観などのように一段上の心の豊かさに関与することを求められている地域もある。また、いかにグローバル化社会といえども古来つくりあげられてきた地域水文化は尊重されるべき価値をもつと認める人は多からう。こういった地域差は生活用水にも大きく反映されており、欧米の1人あたり100-300l/dayを生活用水として使っている都市では平均70l/dayが入浴のみに使う水と計算されている一方で生活用水の最低基準値とされる50l/dayを全国平均値ですら下回っている国も50以上あるし⁷⁾、インドネシアやフィリピンでは国内でも都市域と非都市域で水消費量が3倍ほど違う（1985年で各々150l/dayと50-60l/day）という統計もある⁸⁾。黄河流域では1980年頃の推計だが生活用水量が都市部で100-180l/day、中規模の都市と町では40l/dayと見積もられている⁹⁾。東京都区部でも1950年代の300l/dayから20年間で500l/dayにまで伸びたことがあり（配水量、現在は410-430l/day）¹⁰⁾、日本の主要都市間でも札幌や福岡の約300l/dayから京都の462l/day、大阪の576l/dayまで大きな差がみられる（1998年度）¹⁰⁾。

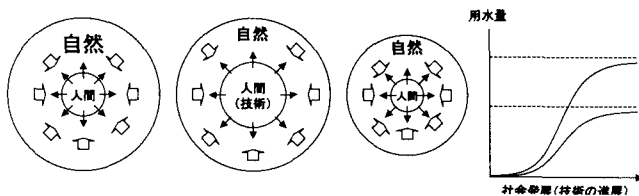


図-2 生活用水量の変化機構の模式図

(自然制約と技術発展のせめぎ合いを示す)

左図に比べ、2番目は技術が進み用水量が大きい状態、
3番目は自然制約がきつく用水量が小さい状態のイメージ)

生活用水のこういった地域差は自然の気候条件の違いに加えて社会発展段階の差異にも左右されている。となると、環境用水にはこの地域差がさらに強調されて現れるはずである。なぜならば、環境用水は自然条件に深く依存すると同時に、人間側の要因の動きにもたいへん敏感な水需要だからである。同じレベルの環境（これも抽象的な表現だが）を維持するのに必要な用水量はその土地の背景となる自然条件により異なるが、またそこで営まれる人間社会の性質によって環境に対する要求水準（どのレベルの環境を目指すのか）も異なる。この関係は都市用水や農業用水にもみられるが、環境用水の目的には上級財（所得水準が上がるほど需要量が増加する財）の性質をもつものが多いので（希少生物の生存から得られる心理的満足、長期的な資源リスクの緩和など）、その弾力性は相対的に大きいことが推測できる。

生活用水になく環境用水にある条件をさらに考察しよう。生活用水は基本的にヒトの水利用である。ヒトは世界中どこへ行っても生物学的にヒトでしかない。よって本来の水需要には大差がないはずである。実際に生じている地域差は自然条件と技術段階の制約を受けた結果であり、技術が進展して自然条件を克服できるようになればその差は縮む（戦後の日本の例）。つまり、生活用水の需要量は地域差を縮小する方向に動くのであり、いま見られる地域差はその過程のどこにいるかの違いに過ぎない。模式的に示せば図-2のように、自然条件の制約圧力とそれを乗り越えようとする人間の技術力のせめぎあいであり、この二つをうまくパラメータ化すれば世界中を単一のモデルで扱うことができる。

これに対し、環境用水が対象とする自然環境は場所によって異なる多様な生物群を含み、その要求水量もおのずから違う。地域差を縮小しようとする動機はない。一方、これを評価する人間の立場は図-3のように模式化できる。これは、人間と自然環境の相互関係を身体・心情・経済の3経路に分け、社会発展の過程とともにどのように移り変わっていくか示したものである。自然環境との身体的接触は、時代とともに減少していく（人間はむきだしの自然環境に晒される危険から守るために「社会環境」をつくった¹¹⁾）。他方で経済的接触は増大し、より多くの自然環境を利用して便益を享受できるようになる（物質循環への能動的介入により、さらに大きな社

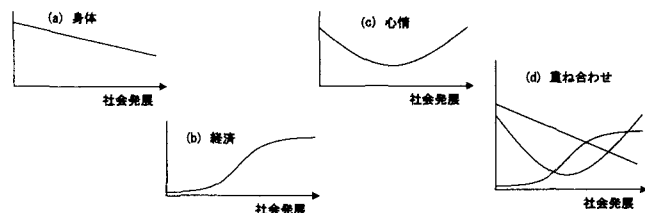


図-3 環境用水量の変化機構の模式図

(人間側の評価要因の移り変わり)

会的剰余を得る¹²⁾）が、そこには生活用水と同様に自然容量が存在するため伸びは徐々に鈍化する。心情的関係をみると、最初は身体的接触量の減少とともに同じように減衰するものの、量が減ることにより自然環境に希少性が生まれ、単位あたりの価値は増大する（人々が、自然環境が貴重なものとして認識するようになる）。量と単位価値の積をとった総価値はある時点からはかえって上昇していくだろう。

この3つを重ね合わせると、図-3(d)のようになる。社会発展の初期状態では、環境の評価において重視されるのは身体的な経路による自然との接触である。ここでは取引等を介さずに自然界からどれだけのモノを直接得られるかが関心事となる。徐々に社会経済システムが発達するにつれてこのような直接獲得より間接的な取引が多くを占めるようになり、経済利益が評価の中心に座る。さらに時間が経過し、拡大する経済システムが自然容量に近づいて自然環境の希少性が強く意識されるようになってくると、心情的な議論が活発になり経済利害だけで割り切れない状況も生じるだろう。現代の経済先進国はこの段階に入っているが、まだ経済システムが卓越する段階にいる国も数多い。

自然環境が場所によって違うこと、そして社会発展段階により評価軸に不連続が生じることから、環境用水のグローバルモデルは世界共通でなく地域特性に応じた手法を使い分けることが良いだろうという結論が導かれる。ここで手法というのは、式の形やパラメータの数といった技術面にとどまらず、モデルの精度や、そもそも目指す目標や重視する価値観を地域によって（時代によって）変えようということである。ある地域では生物保護より産業活動を優先することもあれば、別な地域では正反対の価値づけを許す。また年最小流量の確保にとどめるべき場所もあれば、変動を含めた精緻な流量配分と操作を求める場所もあろう。最初からそういうモデルを作るかどうかは別として、その自由度を残したモデルにしておくことが望ましい。

しかし以上の考察は、演繹的に導出された机上の仮説に過ぎない。そこでこの仮説を胸の底に置きながら、実際には世界各地の環境用水がどうなっているか文献資料を読み取り、モデルに影響を与える要因の整理を行う。

3. 環境用水の地域性

(1) 世界の環境用水研究の現況

河川流量の環境影響を問題視し、これに対処する環境用水の考え方が早く発達したのは北米とくにアメリカ合衆国であり、1950年代から研究が始まっている²⁾。しかしその取り組みは国中で一律に進展したわけではなく、国内でも地方による濃淡があった。現在もなお世界で最もよく使われているTennant法は米国中西部を中心に開発された¹³⁾し、1986年時点では法的に承認された環境流量基準をもつ15州のうち9州が西部に位置し、ミシシッピ川以東ではわずかにインディアナとペンシルバニアの2州のみであったと報じられている¹⁴⁾。この差を生んだのは、一つには守るべき環境として西部における魚類（主にサケ・マス類）の重要性が高かったこともあるが、沿岸者に水利権を認める東部各州と優先専用権を認める西部各州の法原則の違い¹⁵⁾にもよるといえる¹⁴⁾。

現在では欧州各国や南半球諸国（オーストラリア、ニュージーランド、南アフリカ共和国など）でも環境流量の研究がさかんである。しかし各国においてその焦点は微妙に異なる。欧州においてこの分野をリードしたのは英国であり、1963年の水資源法で最小流量（Minimum Acceptable Flow）の概念を導入して下流の利水量確保とともに河川環境保全を期している¹⁶⁾。ここでは英国の川を特徴づける白亜層や石灰岩の地質、地下水水源、小勾配の低地河川・河口／感潮域に着目した研究がすすんでいる¹⁷⁾¹⁸⁾。フランスやドイツでは流量を含むいくつかの要素から河川の自然環境を総合的に評価する手法が研究されている¹⁹⁾²⁰⁾。アルプス地域では最小流量とともに洪水攪乱にも関心が払われている²¹⁾²²⁾。スペインやイタリアでも環境用水に対する関心は高く、複数の手法が検討の俎上にのぼっているが実際に使われているのは比流量に基づいた比較的単純な指標である²³⁾。

欧州諸国は各国固有の事情を抱えつつも、比較的似通った手法を自国の状況に合わせて微調整しながら用いているように感じられる。この背景には欧州委員会が2000年に出したWater Framework Directive²⁴⁾の影響がある（後述）。これに対し、欧州との自然条件の違いを強烈に意識して別な路線を探索しているのがオーストラリアである。その特徴は二点に集約される。一つは低地の大河川という地理条件、もう一つは乾燥地帯という気候条件である。前者は氾濫原へと目を向けさせ、後者は流量変動の激しさとして現れる²⁵⁾。乾燥地といっても雨季と乾季があり、また降水量の年々変動も大きいので、氾濫原は周期的に洪水にさらされる。この異なる冠水頻度が氾濫原に多様な生息域をつくりだしている。流況は河畔植生に影響を与え²⁶⁾、河畔域の多様性は淡水魚類に益する²⁷⁾。氾濫原にあり河道と密接な関係を持つ池域（billabong）は地域独特の生物生息環境となっている

し、貴重なユーカリ林が氾濫頻度の低下により減退しつつあるとの現象も懸念されている²⁸⁾。

ただし氾濫原の重要性はオーストラリアに限られたことではなく、ヨーロッパの大河川でも陸域と水域の連続性に着目した自然復元事業が企画されている²⁹⁾。オーストラリアの特異性はむしろ乾季における陸域と水域の不連続性（断絶）にあるといえるかもしれない。現に自然状態で河川流量がほぼゼロになることも珍しくない場所では、渇水時の流量増強はむしろ悪影響とみなされる²³⁾。これは乾燥地帯における環境流量の考え方が、伝統的な「ある流量を確保すること」とは異なったアプローチを必要とすることを示唆している。

本研究の目的に照らすと、人口密度の低さもオーストラリアの特性として重要である。これはあらゆる河川に（情報収集や計算に）集約的な投資をできないことを意味し、環境流量の設定にあたって簡易で省力的な手法が要請されるからである。

同じ南半球の経済大国でも、南アフリカ共和国はまた事情が違うようである。この国でなぜ環境用水が盛んに研究されているのかその理由は判然としないのだが、周辺諸国に徐々にではあるが環境流量の概念が浸透していることから推測するに、自然条件としてこれを必要とする素地があり、経済的な余裕のある国から具体化・本格化していると解釈するのが妥当であろう。この地域は半乾燥であるが人口密度は低くもなく、むしろ貧困層への水供給が切実な問題となっている地域でもある。それゆえに水資源配分問題の解決にはスピードが求められ、IFIMのような精緻な手法でなく合意形成論的な現実的解決策が奨励される背景となっている³⁰⁾。

(2) 地域差を生む人的要因の考察

まず考えるべきは、現時点で環境用水の研究が先行している国と遅れている国の差である。先行国はアメリカ合衆国、カナダ、欧州諸国、オーストラリア、南アフリカ共和国などであり、いわゆる経済先進国と呼ばれる国にあたる。発展途上国に環境用水が現実化した例はほとんどなく、環境用水の必要性は経済の発展に伴い顕在化するとみることができる。ただし、アジアモンスーン域や南米では欧米中心の学界に露出が少ないという点を勘案しておく必要がある。

次にその切実性に着目すると、アメリカ合衆国内では東部や南部より西部で研究が早く進み、またオーストラリアや南アフリカでは独自の手法を工夫して盛んに研究するなど切迫した必要性がうかがえる。その原動力として、アメリカ合衆国では魚類関係者の関心の高さが挙げられる。早い時期に環境用水が設定通り確保されていないことに魚類保護の立場から抗議する論文も出されている³¹⁾。南アフリカでは、国立公園の河川が早期の対象となっていることから、野生生物を保護しようという気運の高まりが（少なくとも当初の）原動力であったようで

ある。一方オーストラリアでは、生物保護も重要な理由ながら、Snowy Mountain Schemeに代表される大規模な流域変更導水や土地利用変化（牧畜用の水利用増大）が土砂輸送機構の変容による河口閉塞や極端な流量減少による生物相の変化など、あまりに大きな環境インパクトを与えたのが原因とみられる。イギリスでは下流利水量の確保という命題から流量にもともと関心があり、徐々に環境用水に発展していった経過がみとれる。

欧州では、2000年に発表された欧州委員会指令が各国の動きに大きな影響を与えている。そこでは「生態系の保全に必要な水量」の概念がはっきり謳われるとともに、水文地形学的な視点にも注意が払われている。前述した欧州の研究例でも地形（物理的に規定される生息場基盤）を評価指標としたものがいくつかあるし、河床形態の量と多様性を最大とする流況指標を求めた研究例（イギリスのいくつかの河川ではQ70（70%超過流量）付近でこれが最大になった）³²⁾もある。

(3) 地域特性の抽出

虫明（2002）は、世界の水問題を適切に扱うには水文気候的要因と地文的要因に目を向けることが大切であり、水文－水資源システムはこれに人間活動の働きかけを加えた3大要因からなるダイナミックなシステムとして把握される、と述べている³³⁾。環境用水の分析にもこの視点が当てはまるだろう。前節までの考察を「天・地・人」の3要因として表-1に整理した。

天と呼ぶのは気候条件である。河川流量の基礎となる降水量と蒸発量（乾燥指数）、それに純一次生産量の基礎となる気温は最低限必要となろう。地と呼ぶのは地文条件である。大スケールの分類でいえば変動帯と安定帯の二分法が重要で、もう少し小スケールになると標高・起伏・勾配といった地理条件、それに流域地質がモノを言うてくる。地理条件の分類では山本のセグメント区分³⁴⁾がいくつかの外国の河川にも援用できることがわかっており³⁵⁾、大陸の低平地大河川の知見と組み合わせることで相当部分の説明が可能になるだろう。人と呼ぶのは社会条件であるが、これには二つの難解な類型化が含まれる。その一つは環境の評価の重さが社会の発展段階により違ふだろうということであるが、いま一つは水文化という言葉で総称される、人間と河川の関わり方である。ここにはその地域の伝統と歴史に基づいた、水に対する畏れともいふべき心理的抵抗感をどうにか反映させたい。このような目に見えにくい心理的要因は定量化しにくい。ため無視されることも多かったが、公共政策において住民満足度が重要な政策目標となりつつあり、住民を含めた合意形成過程が重んじられる時代に、心理的背景への配慮は幅広い利害関係者のインセンティブを高める効果が非常に大きいと期待されるからである。

表-1 環境用水グローバル分類の視点

	指標	とくに注目すべき点
天	降水量 (乾燥度)	基本となる流量水準 季節性（雨季／乾季） 乾燥地・半乾燥地の生態系
	気温	純一次生産量（熱帯生態系）
地	変動帯／安定帯	土砂生産 地形変化速度 河川規模
	地質構造	河川地形形成過程 地下水
	標高 勾配	山地河川／低平地河川 河道特性のセグメント区分
	特異な生息場	湿地、氾濫原、河口・感潮域
人	経済発展段階	環境配慮の必要性・妥当性
	人口密度	集約投資の可否
	Driving force	意識すべき環境目標は何か？
	法制度／組織 水文化	水利権、国際的枠組 心理的抵抗、インセンティブ

4. まとめ：グローバル推計法の展望

本論文の目指す環境用水のグローバルモデルは、表-1に基づいて世界を分類するところから始まる。流況資料すら必要としないという点であまりに大雑把なトップダウン式モデルといえるが、それでもこの分類を実行に移すにはきちんとした検討を要する。ここではおおよその展望を示すにとどめて本論文の締めくくりとする。

現在の世界を対象にすると、まず「人」の視点から、欧米先進国と途上国に二分される。先進国は法制度やdriving forceの点でさらに分類され、途上国の多くは経済発展段階から「現段階で環境用水配慮の必要なし」と結論されよう（将来、また局所的には必要だが）。50km程度のモデル解像度を想定すると、「地」では変動帯／安定帯、山地／低平地程度の分類が可能であり、「天」の観点からは乾燥地／半乾燥地／湿潤地、熱帯／亜熱帯／温帯／冷帯という分類が可能になろう。この中で参考となりうる資料が不足しているのは変動帯、熱帯、および冷帯である。具体的な地域区分とともに、これらの地方の情報収集が次なる課題となる。

謝辞：本研究は独立行政法人科学技術振興機構の戦略的基礎研究推進事業、研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」の研究課題「人間活動を考慮した世界水循環水資源モデル」の一部として行われました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Dialogue on water and climate: *Climate changes the water rules*, Printfine Ltd., Liverpool, 2003.
- 2) King, J.M., Thame, R.E. and de Villiers, M.S.: *Environmental Flow*

- Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*, Water Research Commission, Pretoria, 2000.
- 3) Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. and Stromberg, J.C.: The Natural Flow Regime, *Bioscience*, Vol.47, No.11, pp.769-784.
 - 4) Brown, C. and King, J.: *A Summary of the DRIFT Process*, Southern Waters, Ecological Research and Consulting Pty (Ltd.), Mowbray, 2000.
 - 5) Smakhtin, V.U.: Low flow hydrology: a review, *Journal of Hydrology*, No.240, pp.147-186, 2001.
 - 6) Smakhtin, V.U.: *Environmental Water Needs and Impacts of Irrigated Agriculture in River Basins: A Framework for a New Research Program*, International Water Management Institute Working Paper 42, Colombo, 2002.
 - 7) Gleick, P.H.: Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs, *Water International*, Vol.21, No.2, pp.83-92, 1996.
 - 8) Lee, Y.F.: Urban Water Supply and Sanitation in Developing Countries, *Metropolitan Water Use Conflicts in Asia and the Pacific*, Nickum, J.E. and Easter, K.W. eds., Westview Press, pp.19-35, 1994.
 - 9) 黄河水利委员会治黄研究組編著：黄河の治水と開発，芦田和男監修，馮金亭・匡尚富訳，古今書院，1989.
 - 10) 東京都水道局：H10年度事業年報／H11年度事業概要.
 - 11) 石村多門：環境と倫理，環境問題へのアプローチ，有田正光編著，東京電機大学出版局，pp.115-137，2001.
 - 12) 鷺田豊明：環境と社会経済システム，勁草書房，1996.
 - 13) Tennant, D.: Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources, *Fisheries*, Vol.1, pp.6-10, 1976.
 - 14) Reiser, D.W., Wesche, T.A. and Estes, C.: Status of Instream Flow Legislation and Practices in North America, *Fisheries*, Vol.14, No.2, pp.22-29, 1989.
 - 15) 三本木健治：水管理政策における法制度整備の意義，水分野援助研究会報告書「途上国の水問題への対応」，国際協力事業団国際協力総合研修所，pp.39-79，2002.
 - 16) Petts, G., Crawford, C. and Clarke, R.: *Determination of Minimum Flows*, R&D Note 449, National Rivers Authority, Environment Agency, Bristol, 1996.
 - 17) Petts, G.E., Bickerton, M.A., Crawford, C., Lerner, D.N. and Evans, D.: Flow management to sustain groundwater-dominated stream ecosystems, *Hydrological Processes*, Vol.13, pp.497-513, 1999.
 - 18) Agnew, C.T., Clifford, N.J. and Haylett, S.: Identifying and alleviation low flows in regulated rivers: the case of the Rivers Bulbourne and Gade, Hertfordshire, UK, *Regulated Rivers: Research & Management*, Vol.16, pp.245-266, 2000.
 - 19) Raven, P.J., Holmes, N.T.H., Charrier, P., Dawson, F.H., Naura, M. and Boon, P.J.: Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, Vol.12, pp.405-424, 2002.
 - 20) Oberdorff, T., Pont, D., Hugueny, B. and Porcher, J.P.: Development and validation of a fish-based index for the assessment of 'river health' in France, *Freshwater Biology*, Vol.47, pp.1720-1734, 2002.
 - 21) Matthaei, C., Uehlinger, U. and Frutiger, A.: Response of benthic invertebrates to natural versus experimental disturbance in a Swiss prealpine river, *Freshwater Biology*, Vol.37, pp.61-77, 1997.
 - 22) Mader, H.: Determination of ecological instream flow requirements at Austrian rivers via minimum flow tests, *New Trends in Water and Environmental Engineering for Safety and Life*, Maione, Maojone Lehto & Monti (eds), Balkema, Rotterdam (CD-ROM), 2000.
 - 23) Dunbar, M.J., Gustard, A., Acreman, M.C. and Eliot, C.R.N.: *Overseas Approaches to Setting River Flow Objectives*, R&D Technical Report W145, Environment Agency and Institute of Hydrology, Bristol, 1998.
 - 24) European Commission: Directive 2000/60/EC, Establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L327, Brussels, 2000.
 - 25) Thoms, M.C. and Sheldon, F.: Lowland rivers: an Australian introduction, *Regulated Rivers: Research & Management*, Vol.16, pp.375-383, 2000.
 - 26) Pettit, N.E., Froend, R.H. and Davies, P.M.: Identifying the natural flow regime and the relationship with riparian vegetation for two contrasting western Australian rivers, *Regulated Rivers: Research & Management*, Vol.17, pp.201-215, 2001.
 - 27) Pusey, B.J. and Arthington, A.H.: Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review, *Marine and Freshwater Research*, Vol.54, pp.1-16, 2003.
 - 28) Murray-Darling Basin Commission: *Preliminary Investigations into Observed River Red Gum Decline along the River Murray below Euston*, Technical Report 03/03, 2003.
 - 29) Buijse, A.D., Coops, H., Staras, M., Jans, L.H., Van Geest, G.J., Grift R.E., Ibelings, B.W., Oosterberg, W. and Roozen, F.C.J.M.: Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe, *Freshwater Biology*, Vol.47, pp.889-907, 2002.
 - 30) King, J. and Louw, D.: Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology, *Aquatic Ecosystem Health and Management*, Vol.1, pp.109-124, 1998.
 - 31) Hubert, W.A., Raley, C. and Anderson, S.H.: Compliance With Instream Flow Agreements in Colorado, Montana, and Wyoming, *Fisheries*, Vol.15, No.2, pp.8-10, 1990.
 - 32) Padmore, C.L.: The role of physical biotopes in determining the conservation status and flow requirements of British rivers, *Aquatic Ecosystem Health and Management*, Vol.1, pp.25-35, 1998.
 - 33) 虫明功臣：モンスーン・アジアの水文と水資源，第6回水資源に関するシンポジウム論文集，基調講演，pp.17-26，2002.
 - 34) 山本晃一：沖積河川学，山海堂，1994.
 - 35) 山本晃一：気候の違いは河道特性の内部構造を変えるか，河川環境総合研究所資料第6号，河川環境管理財団，2003.

(2003. 9. 30受付)