

水文化を包含した総合流域管理策定に関する研究

高田敬規^{*}・小尻利治・福成孝三^{**}・吉川勝秀^{***}

^{*}京都大学大学院工学研究科

^{**}NPO法人 社会工学研究所, 699-0502 島根県簸川郡斐川町莊原879

^{***}日本大学理工学部, 274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1

要 旨

本研究においては、総合流域管理の策定手順とその実流域での適用の結果を示すことを目的とし、特に、水量、水質、生態系だけでなく、歴史や行事に関連する水文化も評価項目として取り込み、地域社会・生活と連携した管理方式を提案するものである。総合流域管理の定式化を行い、流域の水文化特性に応じた形での管理を実現するため、流域のゾーニングや多目的評価のレーダーチャートによる表現など手法の提案を行う。適用においては、分布型流出モデルを用いた流出解析と流域各地点での現地調査の結果とを合わせ、島根県の斐伊川・神戸川を対象とした総合流域管理の適用事例を示す。

キーワード: 水文化, 総合流域管理, ゾーニング, 流域シミュレーション

1. はじめに

河川は山岳地に端を発し、中下流域に広がる平坦部を経て河口へと流れ出す。我々人類は、上流から下流へ変化する流域地形に対して、それぞれの地域に合った様々な形の生活を営んできた。中山間部の盆地も一定の農業収穫や豊富な森林資源の利用できる地域として開発され、近代の治水対策の進歩や舟運交流の隆盛により、下流の平野部に広く人口集中地域が広がるようになった。

近年の都市再生プロジェクトにおいて、各地域の自然の資源と固有の文化とを調和させた河川空間の整備を中心に位置づけた“まちづくり”が多く見られる(吉川, 2008)。こうした取り組みには、地域において育まれてきた固有の文化に対する配慮が不可欠である。すなわち、流域管理において、諸地域における水文化の保全に目を向けることが必要となってくる。先進国、特に日本では経済的な成長を第一とする時代を過ぎ、環境、自然、生態、文化、歴史との共生を目指し、環境や生態系の保全、歴史ある水文化の保存など、従来求められてきた治水・利水といった目的に加えて、より豊かで持続性のある暮らしの設計が求められるようになった。

本研究では以上の点を考慮し、住民の主張や流域の開発段階などを総合的に取り入れた流域管理を目

指すものである。すなわち、流域管理を“流域を全体としてとらえ、水量、水質、流域環境を同時に評価し、他の流域計画、地域計画と調和のとれた状態を達成すること”，と定義し、その達成に向けた時間的な目的関数や評価関数の設定を行う。加えて、歴史や行事に関連する水文化も評価項目として取り込み、地域社会・生活と連携した管理方式を提案するものである。

2. 水文化を考慮に入れた流域管理手順

2.1 流域管理の目的

流域管理として期待されている内容と流域シミュレーション技術の現状を踏まえ、総合流域管理で達成すべき目的として、次の3項目を設定する。

- i. 流域全体の水動態: 数値情報の整備により、流域をメッシュ化し分布型の流出モデルによる流域全体の把握が必要である。将来には、表面流出部分だけでなく、大気層、地下水層など、物質交換が可能な3次元的水動態シミュレーションモデルを用いることになろう。
- ii. 地域の水文化を考慮: 地域、流域に固有な河川との付き合い方、暮らしぶりを考慮した上で、歴史的な水文化の特性を重みとして表現し、全体の評価を進める。

iii.多様な視点からの水環境評価:従来の洪水, 渇水, 水質に加えて, 生態系, 景観, 親水性など, 多様な評価項目を考慮に入れる。対象地域の水文化に応じて, 各目的の取捨を決定する。

2.2 流域環境の評価

水量や水質といった定量的なものに加えて, 河川空間の居心地や景観の良さ, 水文化の保全, などの定性的なものまで, 多様化してきた流域管理のニーズを対象としなければならない。評価は, ファジイ論的概念を取り入れ各目的に対して期待する満足度を0-1の値で表す。水量・水質・河岸形態といった流域環境の構成要素をもとに, Fig.1のような評価関数によって目的の満足度を算出する。縦軸が目的の満足度評価値(eva_i)であり, 横軸を目的の満足度を評価するのに用いる流域環境の構成要素を示す変数(x)である。基準値(th_1)を設定し, それ以上の場合には1を, 同様にある基準値以下の場合には, 満足度0を与える。

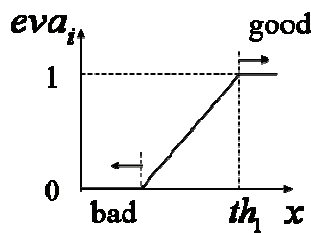


Fig.1 Evaluation function

多目的で評価を行った結果は, Fig.2のようなレーダーチャートによって表現する。軸の数が目的の種類を示し, それぞれの軸が0-1の間で各目的の満足度の評価結果を表している。

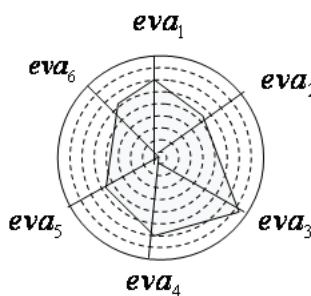


Fig.2 Evaluation through radar chart

全ての目的の満足度は0から1の間で評価されるものとして, 異なる目的における満足度の評価値が等価で比較可能となるよう, 満足度評価の基準値や評価式を設定する。また, 流域全体を一括して評価の

対象とすると上流域での自然保全地域と中・下流域の都市部では求められる河川評価項目が異なってくる。例えば, 自然環境保全ゾーンでは環境の保全が強く求められ, 治水や親水性といった目的は二次的に扱われる。そこで, 流域内の地域ゾーンを決め, それぞれのゾーンにおいて管理の主目的を決める。例えば, Table 1のようにまとめることができる。

Table 1 Zone and related evaluation items

Zone	Main items	Second items
Urban	Flood, Water use	Ecology, Amenity
Agriculture	Flood, Water use, Ecology	Amenity
Rural	Flood, Water use, Amenity, Ecology, Environment	
Natural conservation	Environment, Ecology	Flood, Water use
Water culture	Water culture	

対象ゾーンでは, 主たる評価項目が設定されると, それについて評価行えばよく他の項目を無視することができる。結果として, レーダーチャートは評価軸が減少し, 主要項目だけの軸構成となる。評価項目(言い換えると, 評価目的)間の重要度の違いを評価において表現するために, Fig.3 のように評価関数内における満足度評価の基準値を区別し, 2次的に扱う目的の評価関数(右)では, th_1 よりも緩い基準 th_2 を設定し, それ以上では満足度が1となる関数が提案される。

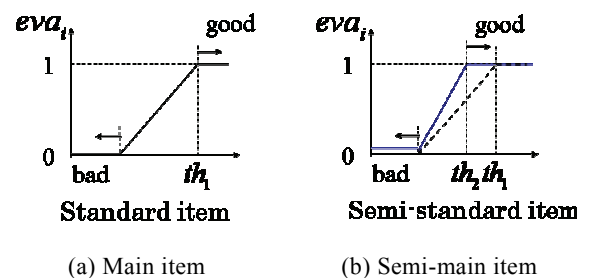


Fig.3 Modified evaluation function

2.3 評価結果の総合化

地域の最小単位であるメッシュで, 項目ごとの評価値が求められると, 流域としての総合化が必要になる。まず, ゾーンごとで総合化を行う。総合化は次式のように項目において妥当と思われる手段(最大, 最小, 平均)で集約が行われる。全項目に対し

では、満足度評価値の平均値を取る。

$$EVA_{i,k} = f_i(eva_{i,k}(j)) \quad (1)$$

$$EVA_z = \text{average}_i(EVA_{i,z}) \quad (2)$$

ただし、 i : 評価目的、 k : 地域ゾーン、 j : 地点番号、 $eva_{i,k}(j)$: 地点での環境評価の値、 f_i : 目的に応じて $\min, \max, \text{average}$ を取る関数、 $EVA_{i,k}$: 地域ゾーン内で総合化された環境評価値、 EVA_z : 地域ゾーンの総合評価値、を示す。地域ゾーンの総合評価に対して、地域ゾーン面積率を重みとした平均値を求めることで区域内の総合評価値とする。

$$E(s) = \frac{\sum_z EVA_z \cdot stt_z}{\sum_z stt_z} \quad (3)$$

ここで、 s : 区域番号、 $E(s)$: 区域の総合評価値、である。流域の総合評価値は、区域の総合評価値の平均値、とする。

$$E_b = \text{average}_s(E(s)) \quad (4)$$

なお、 E_b : 流域の総合評価値、である。

2.4 流域管理計画の最適化

計画の最終段階として、得られた流域環境評価を参考に明確化された流域の弱点や問題点を改善するための計画を立案する。限られた費用の中で流域環境評価値を最大にできる選択肢を探索する。時間によって変化する流域環境を把握し、最適な流域管理

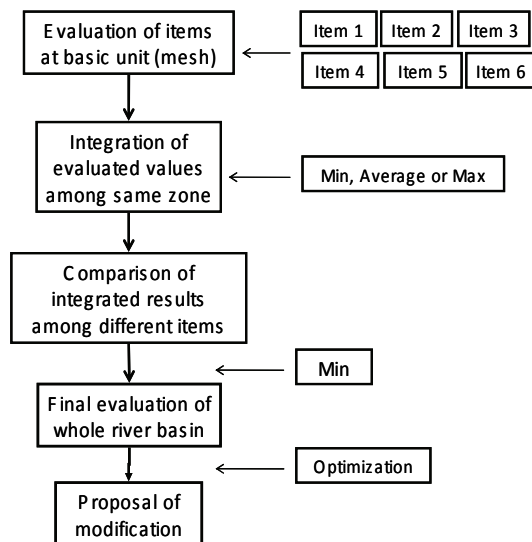


Fig.4 Calculation procedure for integrated river basin management

を実現するためにはモデルを通した検証がなされるのが望ましい。分布型の流域シミュレーション手法

と望ましい状況に向かう最適化手法（例えば、ジェネティックアルゴリズム；GAを用いる）との結合を行ったハイブリッド型流域管理計画が提案されており（Kojiri & Teramura, 2003）、シミュレーションによる水量、水質分布に基づく流域評価の結果をもとに最適化過程で得られた解をシミュレーションモデル上に再現し、再評価を行い、解の有効性を検証するものである。以上の手順をまとめると Fig.4 のフローチャートとなる。

3. ゾーニングと多目的環境評価

3.1 ゾーンの定義

ゾーニングとは、地域をゾーンとして区分けして、それぞれに適した形での評価・管理を行うことを目的として設定される。流域のゾーニングにあたり、都市化の度合いの低いものから順に、自然環境保全（Nature conservation zone）、里山（Rural zone）、生産（Industry zone）、都市（Urban zone）、水文化保全地（Water cultural zone）の5つのゾーンを設定する。これらは日本でよく見られる地域の特徴に対応している。

i) 都市ゾーン：都市内や観光地の水辺空間では、親水公園を設置して訪れる人の憩いになるような居心地の良い快適な空間利用が設定される。河川に沿った教育施設や医療施設では水辺空間を利用した癒しの効果なども期待され、ユニバーサル・デザインによる利用者を限定しない、効果的な公共空間の利用が望まれている。人や資産の集まるところであるから、災害に対する安全性も強く懸念されてくる。

ii) 農業ゾーン：農業生産を第一目的とする地域であり、平地や水域では、農作物や水産資源の収穫が行われることが多い。農産の安定性を増すためには、灌漑用水への配慮が重視され、水産の安定性のためには生態への配慮が必要となる。人の生活する地域でもあるため、防災面での配慮や親水性も重要である。

iii) 里山ゾーン：里地は都市域と奥山の自然の中間に位置しており、農林業を生業とする人々の人為的な働きかけによって形成された日本特有の二次的自然である。そこは、昔ながらの暮らしが今も受け継がれた地域で生態系が保全され、自然資源を活かした暮らしの知恵が多く伝承されている。都市ゾーンでの生活者にとっても、豊かな自然に囲まれ持続的生活の行われるこの場所は、大切な憩いの場になる可能性がある。

iv) 自然環境保全ゾーン：上流域の自然状態を保全することは、健全な水循環を達成するために必要なものである。水源の涵養力、土砂の流出抑止力は、下流域における洪水、渇水被害を変容させるのみでなく、

河川流路環境、流水の状態、堆積の様子など、様々な状況を生み出す要因として大きな意味がある。自然環境保全ゾーンでは、そういった流域環境の保全として、自然景観の保護、生態の保護が優先され、治水や水利用などは二次的な目的として考える。

v) 水文化保全ゾーン：地域、流域での水を取り巻く特性に地域固有のものがあ、社会の成り立ちや活動と深く関わっている。経済性や継承性が弱く、全体の重要度から見ると評価が埋没されその地域活動との関わりを顧みられなかった。しかし、伝説も含む歴史的な価値や新たな憩いの場の創設など水と人間社会とのつながりは決して無視できるものではない。そこで、歴史的な水文化の特性を数量化し、流域固有の特殊ゾーンとして保全地域を定め、水文化の魅力を生かした満足のいく保全がなされているかどうかを評価することになる。

3.2 ゾーンの設定手法

ゾーニングは、地形的な性質や、産業統計、人口や土地利用など入手可能な統計量の分布データを用いて行う。ゾーニングの手順は大きく、i)流域内統計量の分析、ii)IF-THEN形式でのメッシュ単位のゾーニング、iii)エリアを生成しての結果の検証、の3つに分けることができる (Fig.5参照)。

i) 因子分析法による流域内統計量の分類

統計量の分析を行うことによって、ゾーンを判定するための指標を決定する。例えば、因子分析によって各種の統計量の中にある共通因子を導き出す (佐伯, 2000)。共通因子の中で因子負荷を多く持つ統計量を地域の特性を分類するのにふさわしい統計量であると考察し、次で述べる地域ゾーン判定の

IF-THEN 式内の判定指標として用いる。ゾーンの定義と因子を構成する統計量の種類とを照らし合わせることで、ゾーンの種類と判定指標とを結びつけるものとする。

ii) IF-THEN形式での推定

ゾーン k を説明するのにふさわしい統計量が $x_1, x_2, \dots, x_n$ であったとすると、流域の地点 i がそのゾーンに属するかどうかは、次のような IF-THEN 形式で決めることができる。

$$\text{IF } x_1(j) \geq a_1, \dots, x_n(j) \geq a_n, \text{ THEN } y(j) = k \quad (5)$$

ここで、 a ：判定基準値、 $y(i)$ ：地点 i の所属ゾーン、 k ：ゾーン、である。判定に用いる基準値は、試行錯誤的に求められる値で適用時の検証が重要である。

iii) エリアを生成しての検証

エリアとは、類似のメッシュでの結合範囲を示す。メッシュ単位でのゾーニングがなされた結果について、一定の領域を結合させてみることで検証を行う。ここでは、Fig.6に示すように隣接して同じゾーンと判断されたメッシュ群を一つの領域と結合させていくことでエリアを生成する。エリアごとで性質が顕著に表れているものを抜き出して、現状との比較を行いゾーニング推定の妥当性を判断する。妥当性が見られない場合は推定の段階まで立ち戻り、基準値を変更してもう一度推定を行う。一連の作業を繰り返すことで推定の妥当性を高めていく。

iv) 分類されない地点処理

ゾーニングの妥当性が確認された場合、流域に地域ゾーンが決定される。どのゾーンとも分類されなかった地点については、周辺4地点のゾーンを確認しその中で最も数が多いゾーンと同じゾーンに決定する。

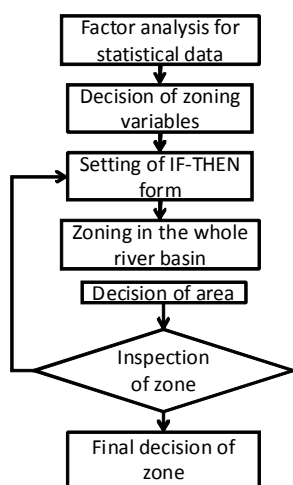


Fig.5 Decision process for zoning

4. 多目的流域環境評価

4.1 流域環境の構成項目の設定

流域の特性を評価する項目は、次のように定式化することが出来る。

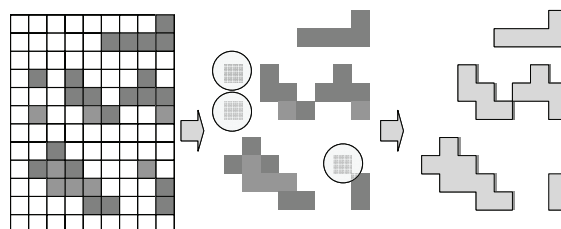


Fig.6 Making process for area

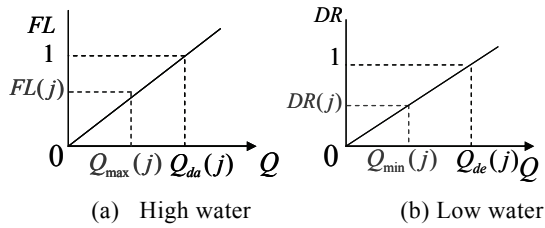


Fig.7 Evaluation functions for high and low water

1) 高水流量

高水流量はある期間内に起こった最大流量とその地点における計画高水流量を Fig.7(a)のように比較する。すなわち、

$$FL(j) = Q_{\max}(j) / Q_{de}(j) \quad (6)$$

となる。 $FL(j)$: j 地点での高水流量の評価値, $Q_{\max}(j)$: j 地点でのピーク流量, $Q_{de}(j)$: j 地点での計画高水流量, である。

2) 低水流量

低水流量をその地点での需要量と Fig.7(b)のように比較する。その際、需要量は季節によって変動することに注意する。河川には、河川環境を維持するために必要とされる維持流量が設定されている。そういった視点からも低水流量の評価を行うと次式で表現される。

$$DR(j) = Q_{\min,t}(j) / Q_{demand}(j) \quad (7)$$

$$M(j) = \begin{cases} Q_{ave}(j) / Q_m(j) & (Q_{ave}(j) \leq Q_m(j)) \\ 1 & (Q_m(j) \leq Q_{\min}(j)) \end{cases} \quad (8)$$

$$\left(\begin{array}{l} DR(j) : j \text{ 地点での低水流量の評価値} \\ M(j) : j \text{ 地点での河川環境に対する低水流量評価値} \\ Q_{t_{\min},j}(i) : j \text{ 地点での水需要の発生する期間} i \text{ における最小流量} \\ Q_{\min}(j) : j \text{ 地点での最小流量} \\ Q_{demand}(j) : j \text{ 地点での水需要量} \\ Q_m(j) : j \text{ 地点での維持流量} \end{array} \right)$$

3) 水質

水質汚濁は、人の健康を保護し、及び生活環境を保全するため維持されるのが望ましい。基準として、健康項目と生活環境項目の 2 種が考えられる。生活環境項目は水道、水産、農業用水など利用目的の適応性に対応した基準値が類型別に設定されている。BOD 等 5 項目に関しては利用目的に合わせて AA,A,B,C,D,E の 6 つの類型が、水生生物の保全に関する項目に関しては、そこに生息している生物の状況に合わせて生物 A、生物特 A、生物 B、生物特 B の 4 つの類型が規定されている。そこで、水質は、汚染物質の種類ごとに環境基準値に対して個別に評

価を行う。多方面への影響をその地点での目的に合わせた形で流域の構成要素として、定式化する (Fig.8 参照)。

$$PO_p(j) = \max_m \{ co_{\max,p}(j,m) / co_{da,p}(j,m) \} \quad (9)$$

$$\left(\begin{array}{l} PO_p(j) : j \text{ 地点での利用目的} p \text{ に関する水質汚濁の評価値} \\ co_{\max,p}(j,m) : j \text{ 地点での利用目的} p \text{ に関する汚染物質} m \text{ のピーク濃度} \\ co_{da,p}(j,m) : j \text{ 地点での利用目的} p \text{ に関する汚染物質} m \text{ の環境基準最悪値} \end{array} \right)$$

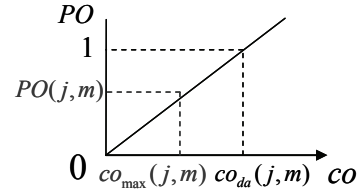


Fig.8 Evaluation function for water quality

4) 河岸形態

河岸形態には景観に配慮した護岸や、親水護岸など様々な形状があり、その空間を利用する人にとって快適な利用が可能かどうか、その空間を眺める人にとって周囲の環境と調和しているものかどうか、といった特徴がある。Table 2 は、関数系を決めるための評価値をまとめたものである。

$$D(j) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & \text{no utilization} \\ 0.2, & \text{no entry} \\ 0.8, & \text{play space in high water zone} \\ 1, & \text{some entries} \end{array} \right\} \quad (10)$$

ただし、 $RS_{LS}(j)$: 河岸形態の見え方に関する評価値, $D(j)$: 水辺の近さの評価値, である。

5) 河川構造物

Table 2 Evaluated values for river side

$RS_{LS}(j)$			
Riverside style	Artificial	Natural	Mixed
Surrounding environment			
Row of houses and streets	1	1	0
Pastoral landscape	0	1	0
Rural area	0	1	0
Forest	0	1	0

河川構造物には、それ自体のもつ役割とともに、その歴史的な背景や年月によってその土地の人から親しまれるようになると、文化的な価値を持つようになる。利用者にとって利用しやすい整備がなされているか、どんな人でも親しめるユニバーサル・

デザインでの河川空間の整備が求められている。その洪水流下能力や取水方法も、河川構造物の重要な項目である。

$$RS_{wc}(j) = f_{wc}(RS(j)) \quad (11)$$

$$RS_{WA}(j) = \begin{cases} 0, & \text{no maintenance} \\ 0.2, & \text{not good maintenance} \\ 0.8, & \text{good maintenance} \\ 1, & \text{universal design} \end{cases} \quad (12)$$

$$RS_{fc}(j) = Q_{fc} / Q_{de}(j) \quad (13)$$

$$RS_{intake}(j) = \begin{cases} 0, & \text{no intake} \\ 1, & \text{intake from river channel} \\ 2, & \text{intake from unconfined aquifer} \\ 3, & \text{intake from confined aquifer} \end{cases} \quad (14)$$

ここに、 $F_{culture}$ ：文化的重要度に関する評価関数、 $RS(j)$ ：地点 j 地点の河川構造物、 $Q_{fc}(j)$ ： j 地点の洪水流下能力、である。

6) 生物

河川生物については、生物量の大小を見え方によって判断する。

$$EC(j,s) = \begin{cases} 0, & \text{no} \\ 0.3, & \text{few} \\ 1, & \text{many} \end{cases} \quad (15)$$

ただし、 $EC(j,s)$ ： j 地点における生物 s の評価値、を示す。

7) 河川空間利用者のポテンシャル

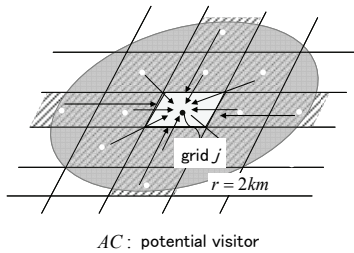


Fig.9 Evaluation process for river space user

河岸空間の人々に対する利用のしやすさ、その水辺が人々にどれくらい親しまれているか、を考える際に、どれくらいの人数が利用できる場であるのか、は空間利用者のポテンシャルとして評価される。すなわち、

$$AC(j) = \sum_k population(k) \quad (16)$$

なお、 $AC(j)$ ： j 地点での利用者ポテンシャルの評価値、 $population(k)$ ： j 地点の河川空間を利用可能な地点 k の人口、である。例えば、Fig.9 では、徒歩による

移動の場合、時速 4km の人が 30 分以内で辿り着ける距離が対象となり、半径 2km 以内の人口の合計が利用者のポテンシャルとなる。

8) 視野を基準とした景観

河川空間の居心地を決定するものとして、その場所からの周囲の景観の見え方、がある。高層ビルに囲まれた都市域では、遠くの景観が見通せる方が憩いの場としてはふさわしい。農業ゾーンや自然ゾーンにおいても、遠くの山並みやのどかな田園風景が見渡せることは居心地の良さにつながる。よって、見晴らしの良さは次式のように評価できる。

$$V(j) = \begin{cases} 0, & \text{small or not opened view} \\ 0.5, & \text{not clear} \\ 1, & \text{wide or opened view} \end{cases} \quad (17)$$

4.2 流域環境としての評価値の算定

流域の満足度はメッシュでの基本単位で評価されており、レーダーチャートを用いて 0 から 1 の値として表現されている。評価は既に与えられているので、総合化に際しては、重みを与えず等価とみなす。Table 3 は評価項目の満足度の規準（上下限值）を示したものである。本研究では、評価は年ごとに行われるものとし、各年で求めた平均値を評価値とする。

$$eva_i(j) = \frac{\sum_t eva_i(j,t)}{T} \quad (18)$$

ここで i : 評価項目、 T : 評価期間（年）、 $eva_i(j,t)$: t 年の地点 j における評価項目 i の満足度、 $eva_i(j)$: 地点 j における評価項目 i の満足度、とする。

Table 3 Standards of evaluation

Evaluation factor	Evaluation item	Satisfaction level	
		1	0
Flood	Water quantity	Under the discharge capacity	Over the discharge capacity
Water use	Water quantity	Over the maintenance discharge	Under the water demand
	Water quality	Under the ecological discharge	Over the quality standard
Ecosystem	Amount of aqua creature	Rich	few
	Water quality	Under the ecological discharge	Over the quality standard
Water amenity	Riverside	easy approach	No actual utilization
	Comfort ability	Matching to the universal design	Abundant
	Water quality	Under the quality standard	Over the quality standard
	Water quantity	Over the maintenance discharge	No discharge
Landscape	River style	Harmony with surrounding	No harmony with surrounding
	Surrounding view	Wide and bright view	Narrow and dark view
Water culture	Conservation level	Good conservation	No conservation

1) 治水

治水は、高水流量と各地点での河川構造物の洪水流下能力とを比較することによって現状の安全性の満足度を評価する。空間スケールでは、満足度の最小値を求めることにより、最も治水上危険な地域とその度合いを求める。

$$EVA_{FC} = \min_j \{eva_{FC}(j)\} \quad (19)$$

$$eva_{FC}(j) = f_{FC}(FL(j), RS_{fc}(j)) \quad (20)$$

ここで、 j :地点番号、 $eva_{FC}(j)$:地点 j における治水の評価値、 EVA_{FC} :治水評価の代表値、 $FL(j)$:高水流量の評価値、 $RS_{fc}(j)$:河川構造物の洪水流下能力、である。地点における最大流量が流下能力を上回ったとき満足度が 0 になり、上回らないなら 1 を与える。すなわち、

$$eva_{fc} = \begin{cases} 1 & (FL \leq RS_{fc}) \\ 0 & (FL > RS_{fc}) \end{cases} \quad (21)$$

2) 水利用

水利用は、その地点での取水方法に合わせた形で、低水流量と水質を対象に満足度を評価する空間スケールでは、満足度の平均値を求めることにより、地域全般の水利用の満足度を評価する。

$$EVA_{WU} = \text{average} \{ eva_{WU}(j) \} \quad (22)$$

$$eva_{WU}(j) = f_{WU}(DR(j), RS_{intake}(j), PO_{WU}(j)) \quad (23)$$

ここで、 $eva_{WU}(j)$:地点 j における水利用の評価値、 EVA_{WU} :水利用評価の代表値、である。水利用評価の定式化を行う前に閾値の設定を行う。水利用の評価において用いる閾値は、 th_{DR} 、 th_{PO} の 2 個である。それぞれは維持流量の環境基準に対応して決定され、 th_{DR} 、 th_{PO} は式(24),(25)のように算出される。

$$th_{DR}(j) = Q_m(j) / Q_{demand}(j) \quad (24)$$

$$th_{PO}(j) = co_{st}(j) / co_{da}(j) \quad (25)$$

ここで、 $Q_m(j)$:地点 j における河川環境を維持するのに望ましいとされる流量、 $co_{st,WU}(j)$ は地点 j における環境基準値、である。

$$eva_{WU}(j) = \min \{ wu_{DR}(j), wu_{PO}(j) \} \quad (26)$$

$$wu_{DR} = \begin{cases} 0 & (DR(j) \leq 1) \\ (DR(j)-1)/(th_{DR}(j)-1) & (1 < DR(j) \leq th_{DR}(j)) \\ 1 & (th_{DR}(j) \leq DR(j)) \end{cases} \quad (27)$$

$$wu_{PO} = \begin{cases} 0 & (PO_{WU}(j) \leq 1) \\ (th_{PO}(j)-PO_{WU}(j))/(th_{PO}(j)-1) & (1 < PO_{WU}(j) \leq th_{PO}(j)) \\ 1 & (th_{PO}(j) \leq PO_{WU}(j)) \end{cases} \quad (28)$$

3) 生態

生態は生物量と生物に対する水質満足度で評価することができる。空間スケールでは、満足度の最小値を求めることにより、生態の保全上、最も危険な地域とその度合いを求める。すなわち、

$$EVA_{ES} = \min \{ eva_{ES}(j) \} \quad (29)$$

$$eva_{ES}(j) = f_{ES}(PO_{ES}(j), EC(j)) \quad (30)$$

と表現される。ここにおいて、 $eva_{ES}(j)$:地点 j にお

ける生態の評価値、 EVA_{ES} :生態評価の代表値、を示す。生態評価の定式化を行う前に、閾値の設定を行う必要がある。閾値は満足度評価の 0 や 1 を与える基準となる値で、生態の評価においては th_{PO} である。すなわち、 th_{PO} は式(31) のように算出できる。

$$th_{PO}(j) = co_{st,ES}(j) / co_{da,ES}(j) \quad (31)$$

ここで、 $co_{st,ES}(j)$: 地点 j における水生生物の保全の目的に合わせた環境基準値、である。生態の評価は、生物量と河川水質から評価が行われる。生物が多く見られ、水生生物の保全に対する水質基準が達成されている状態を目標とし、どちらかが欠けている場合はその最小値を評価値とする。具体的には、評価関数のグラフは Fig.10 のようになる。ここで、 $es_{PO}(j)$ は水生生物の保全を目的とした水質の満足度評価値を示している。

$$EVA_{ES} = \min \{ es_{PO}(j), ES(j) \} \quad (32)$$

$$es_{PO}(j) = \begin{cases} 0 & (PO_{WU}(j) \leq 1) \\ (th_{PO}(j)-PO_{ES}(j))/(th_{PO}(j)-1) & (1 < PO_{WU}(j) \leq th_{PO}(j)) \\ 1 & (th_{PO}(j) \leq PO_{ES}(j)) \end{cases} \quad (33)$$

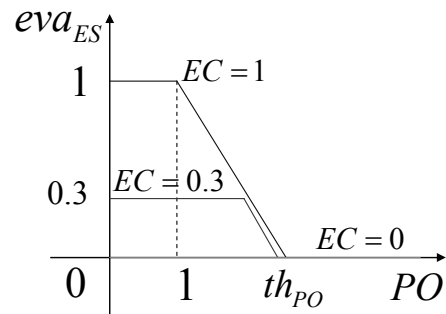


Fig.10 Evaluation function for ecosystem

4) 親水性

親水性は、河川空間利用者にとっての居心地の良さや水辺空間という誰もが気軽に利用できる場所を十分に活かした管理状態になっているか、を空間提供の満足度という視点から評価する。評価は一定区間内でその代表評価値を求めるものとする。求められる河川空間は、地域によって利用者の用途が変化することで違ってくると考えられるため、それぞれに評価関数を定義する。ただし、レーダーチャートで表現する際には、どちらも親水性として同一の評価軸として扱う。

都市ゾーンにおける河川空間利用は、町からの回遊行為の途中空間、憩いの休憩空間として用いられる場合が多い。よって、都市ゾーンにおける親水性

の評価は以下の4点に着目することになる。

- i) 周囲から河川空間へのアクセシビリティ
- ii) 水辺の近さ
- iii) 居心地の良さ
- iv) 十分な水量

上記の要素より、都市域における親水性の評価式は以下のようになる。

$$EVA_{ur,WA} = f_{ur,WA,j}(AC(j), D(j), RS_{WA}(j), M(j)) \quad (34)$$

ここに、 $EVA_{ur,WA}$:都市域の親水性評価の代表値、を示す。アクセシビリティの大きな地点ほどその親水性は重要となる。一定区域内での親水性はアクセシビリティを重みとして与えた平均値を求めることとする。また、残るii), iii), iv)の3つの項目の複合体として親水性の満足度は評価されるものであるため、その平均値を親水性の評価値とする。(数値を与える際、それぞれの要素が独立であることに注意する。)結局、親水性は次の式(34)によって評価値が与えられるものとする。

$$EVA_{ur,ur} = \frac{\sum_j AC(j) \cdot \frac{D(j) + RS_{WA}(j) + M(j)}{3}}{\sum_j AC(j)} \quad (35)$$

次に、住宅ゾーン(農業ゾーンと里山ゾーン)においては、河川空間利用者が地域住民であることを考え、生活の一部としての河川空間利用を想定する。そのゾーンへのアクセスが良く、施設の魅力があった場合、住民は生活の一部として河川空間を利用する。お祭り広場や散策路が整備されることで市民のコミュニティの場として利用されることも考えられる。また、住民が直接川に触れて遊べる環境であることは、川に対して親しみを持つことにつながる。自然環境に触れて、様々な人が気晴らしの空間として活用できるような憩いの空間づくりを、住宅ゾーンにおける親水性として評価する。すなわち、住宅ゾーンにおける親水性の評価は以下の点に着目することになる。

- i) 周囲から河川空間へのアクセシビリティ
- ii) 水辺の近さ
- iii) 居心地の良さ
- iv) 肌で触れられる水環境(水質)

すなわち、住宅地域における親水性の評価式は式(36)のようになる。

$$EVA_{ha,WA} = f_{ha,WA,j}(AC(j), D(j), RS_{WA}(j), PO_{WA}(j)) \quad (36)$$

ここに、 $EVA_{ha,WA}$:住宅地域の親水性評価の代表値、を示す。親水性評価において用いる閾値は次式で決まる th_{PO} であり、この th_{PO} は川遊び環境基準を表している。

$$th_{PO}(j) = co_{st,WA}(j) / co_{da,WA}(j) \quad (37)$$

ここで、 $CO_{st,WA}(j)$:地点jにおける川遊びに合わせた環境基準値、である。都市ゾーンでの場合と同じく、一定区域内での親水性はアクセシビリティを重みとして与えた平均値を求めることとする。また、残るii), iii), iv)は、3つの項目の複合体として、親水性の満足度は評価されるものであるため、その平均値を親水性の評価値とする。まとめると、住宅ゾーンにおける親水性の評価は、次式(38)で与えられる。

$$EVA_{WA,ha} = \frac{\sum_j AC(j) \cdot \frac{wa_{PO}(j) + D(j) + RS_{WA}(j)}{3}}{\sum_j AC(j)} \quad (38)$$

$$wa_{PO}(j) = \begin{cases} 0 & (PO_{WA}(j) \leq 1) \\ (th_{PO}(j) - PO_{WA}(j)) / (th_{PO}(j) - 1) & (1 < PO_{WA}(j) \leq th_{PO}(j)) \\ 1 & (th_{PO}(j) \leq PO_{WA}(j)) \end{cases} \quad (39)$$

ここで、 $wa_{PO}(j)$ は川遊びにおいて誤飲したり、肌で触れたりしたときに、安全性の保たれるかどうかの指標となる汚染物質の水質の満足度である。有害物質や病原性微生物が対象としてあげられ、例えば糞便性の大腸菌などの含有量である。里山ゾーンのような自然環境の豊かな地域では、河川景観の空間的な調和も評価の対象として考えら、景観の項目において評価を行うものとする。

5) 親水性

景観はその場所を眺める人の心的現象でもあり、そこにおいて河川景観の情調(全体的な雰囲気)をつかみとる、ということが大事になる。そのため、川からの見晴らしと河岸形態そのものの周囲の環境との調和を景観の評価指標とする。よって、景観評価におけるポイントは、以下の2点である。

- (i) 河川形態の周辺環境との調和
- (ii) 川からの見晴らし

一方、一定区域での景観満足度の代表値としては平均値を用いるものとする。

$$EVA_{LS} = average\{eva_{LS}(j)\} \quad (40)$$

$$eva_{LS}(j) = f_{LS}(RS_{LS}(j), V(j)) \quad (41)$$

ここで、 EVA_{LS} :景観の評価値、 $eva_{LS}(j)$:j地点での景観の評価値、とする。川からの見晴らし、川の周囲との調和、それぞれの複合体が眺める人に対して満足度を与えるものであるため、その平均値を景観の評価とする。

$$eva_{LS}(j) = \frac{RS_{LS}(j) + V(j)}{2} \quad (42)$$

以上の流域環境要素から流域環境評価値を導く過程をまとめると、次のTable 4のようになる。

Table 4 Integration process for whole river basin

Evaluation in zone	Integration method	Evaluation at mesh	Applied codes	Variables
EVA _{LC}	min	eva(j)	xi(j)	si(j)
		eva _{LC}	FL,RSic	Peak
				Design flood
EVA _{MT}	average	eva _{MT}	RS _{mtc}	Discharge capacity
				Intake
			WU _{mt}	Minimum discharge
			DR,thw	Water demand
				Maintenance discharge
EVA _{ES}	min	eva _{ES}	WU _{mt}	Maximum concentration
			PO _{mt,thw}	Environment standard
				Environment standard
EVA _{W_{sur}}	Weighted average	weighted eva _{W_{sur}}	es _{mt}	Maximum concentration
			PO _{mt,thw}	Environment standard
			EC	Amount of aqua creature
			AC	Surrounding population
			D	Distance to waterside
EVA _{W_{side}}	Weighted average	Weighted eva _{W_{side}}	RS _{W_{side}}	Comfortability
			M	Minimum discharge
			AC	Surrounding population
			D	Distance to waterside
			RS _{W_{side}}	Comfortability
EVA _{LS}	Average	eva _{LS}	W _{side}	Maximum concentration
			PO _{W_{side},thw}	Environment standard
				Environment standard
EVA _{LS}	Average	eva _{LS}	RS _{LS}	View of river style
			V	View from river side

4.3 水文化の評価

水文化は流域固有の地域として水文化保全ゾーンを定め、水文化の魅力を生かした満足のいく保全がなされているかどうかを、環境評価の結果や水循環の解析結果をもとに評価する。流域の水文化としては、i)河川構造物、ii)天然資源、自然地形、iii)文化、歴史、産業の遺産、の3種類を対象として考える。流域には、昔ながらの伝統的な河川構造物が地域の人々から親しまれている場合がある。そうした河川構造物を水文化と考え、保全の満足度を構造物が周囲からその地点を訪れる人にとって親しみのある管理がされているか、で評価する。すなわち、

$$eva_{WA,rs}(j) = eva_{WA,ur}(j) \quad (43)$$

ここで、 $eva_{WC,rs}(j)$ ：地点 j の河川構造物の水文化保全の満足度評価値、である。河川環境によって育まれた天然資源や自然地形が地域の水文化として観光の名所になっている場合や湧水や井戸水が名水として地域の人々や観光客に魅力となっている場合がある。天然資源、自然地形の水文化に関しては、良質な水環境の維持が保全の評価指標と考え、水量、水質、生態をもとに保全の満足度を決定する。

$$eva_{WC,nr}(j) = f_{WC,nr}(M(j), PO(j), eva_{ES}(j)) \quad (44)$$

ここで、 $f_{WC,nr}$ ：天然資源、自然地形の水文化保全の満足度評価関数、 $eva_{WC,nr}(j)$ ：地点 j の天然資源、自然地形の水文化保全の満足度評価値、である。文化・歴史・産業の遺産にまつわる水文化に関しては、治水、水利用、景観の満足度評価の平均値を水文化保全の満足度とする。

$$eva_{WC,nr}(j) = \frac{eva_{fc}(j) + eva_{wu}(j) + eva_{ls}(j)}{3} \quad (45)$$

5. 実流域への適用

5.1 流域の概観

斐伊川は、島根県と鳥取県の県境に位置する船通山を源を発し、北へ流れ出雲平野で東に転じ、宍道湖、大橋川、中海を経て境水道を通じて日本海へと注ぐ、幹川流路延長 153km、流域面積 2070km² の一級河川である。下流域の出雲平野から宍道湖周辺・中海周辺地域にかけては水田や畑、市街地が広がっているが、土砂の長年にわたる大量流出のために、斐伊川中・下流域で砂河川の天井川が形成された。洪水時はその被害が広範囲に及び、かつ危険度の高いものになっている。中海・宍道湖沿岸地域においては、水位が日本海の潮位とあまり変わらず、特に宍道湖沿岸域においては、東岸の松江市街地を流れる狭小な大橋川がほとんど唯一の排水経路となっているために、ひとたび洪水が発生するとその継続時間が長く大きくなってしまいうことが問題になっている。

一方、塩分濃度の異なる連結汽水湖である中海・宍道湖では、全国有数の「シジミ」の産地としても知られており、水質の変化が与える生態系への影響にも気を配らなくてはならない。さらに、中海・宍道湖は全国でも有数の水鳥の渡来地であり、その景観や自然環境的側面からも評判が集まる。斐伊川流域は昔から「出雲国」と呼ばれ、奈良時代に編纂された「古事記」「日本書紀」にもその名が登場するなど、歴史文化に濃く彩られた河川である。流域の各地域ではこのような神話的事象をもとにした神楽や、「国引き」神話などが多く伝承されている(中国地方整備局出雲河川事務所, 1995)。

5.2 分布型流出モデルの適用

斐伊川水系に分布型流出モデルの Hydro-BEAM を適用(Kojiri *et al.*, 2002), その流出特性の把握を行う。水系全域のメッシュを抽出し、降水・融雪・蒸発散量を求め、下流域の二つの湖、中海・宍道湖に流入するまでの降水流出過程を実施した。シミュレーション期間は 2001 年から 2004 年の 4 年間であり、用いる土地利用データは 1997 年の値、気象データは AMeDAS 再統計値の 2001 年から 2004 年を用いている。メッシュサイズは、対象流域の規模・得られる精度・解析時間を考慮し、1 km メッシュとした。解析対象メッシュ数は 2422 となった。斐伊川本流のみではなく、宍道湖または中海に流入し境水道を通過して日本海へと注ぐ全てのメッシュ(湖水域も含む)、および、斐伊川と並び島根県北東部を北流する神戸川の流域メッシュの合計である。なお、メッシュは全て 1 km 四方の正方形であり、メッシュの中心に東西南北の 4 方向、落水方向に沿った方向へとまとめ

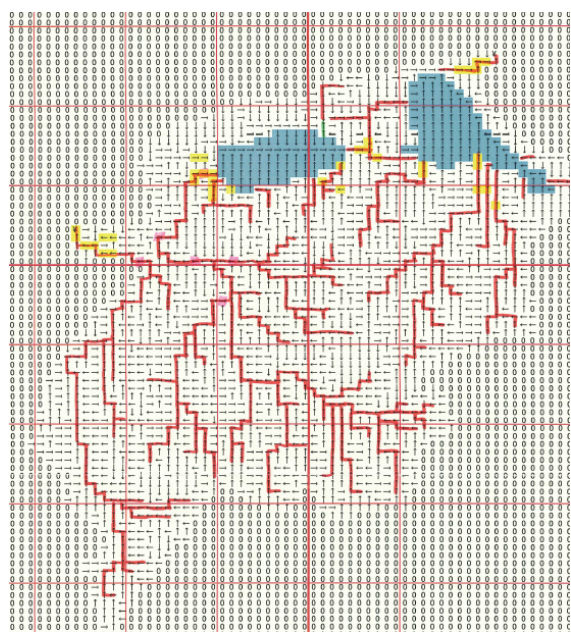


Fig.11 Channel network in the Hii River and the Kando River Basin

Table 5 Land use rate (11997)

%				
Forest	Paddy field	Field	Urban	Waters
69.2	13.8	3.4	5.4	8.1

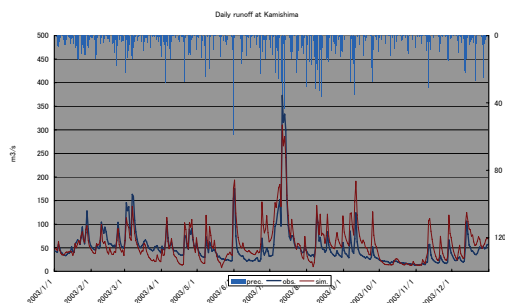


Fig.12 Comparison between observed hydrograph and simulated one at Kamijima by daily unit in 2003

て流下する流れを仮定する。

まず、流域の標高データ（解像度：50m×50m）をもとに流域の落水線図を作成した（Fig.11）。各メッシュに与える土地利用特性の流域平均値、空間分布の様子を Table 5 に示す。これによると、斐伊川流域のほとんどが山林であることがわかる。水田が出雲平野で盛んであることや市街地が下流の湖岸と日本海に面する鳥取県との県境に集中してあることなどが特徴的である。気象データは 2001 年から 2004 年のアメダス再統計値を流域メッシュにティーセン分

割によって与えた。高度による補正を施しながら最寄のアメダス観測所の観測値が与えられる。2003 年の日流量について、上島観測所での観測流量と同定後の解析結果を Fig.12 に示す。

5.3 多目的流域環境評価の適用

(1) 流域環境構成要素の設定

治水・水利用の評価にあたっては、流域の各地点での計画高水流量、洪水流下能力、水需要量（利用目的別）、維持流量の設定が必要とされる。特定の場所で定められた設定量を周囲へ引き伸ばすことによって、河道全域に与えた。各値の設定条件を以下にまとめる。

- 計画高水は、斐伊川河川整備基本方針における流量配分図をもとに区間ごとに区切って与えた。上流部のダム建設、大津地点での放水路の建設が折り込まれた高水流量の配分計画となっている。
- 各地点における洪水流下能力は、各水位観測所に設けられた危険水位を流量に換算した危険流量とした。また、設定値のない区間に関しては、危険流量は集水面積に比例するものと仮定して設定した。
- 需要量設定に関しては、灌漑期と非灌漑期で分けて考え、非灌漑期は灌漑用水量を差し引いた量とした。
- 灌漑用水量はその区間における農地面積に、水道用水量はその区間の人口に比例するものとした。

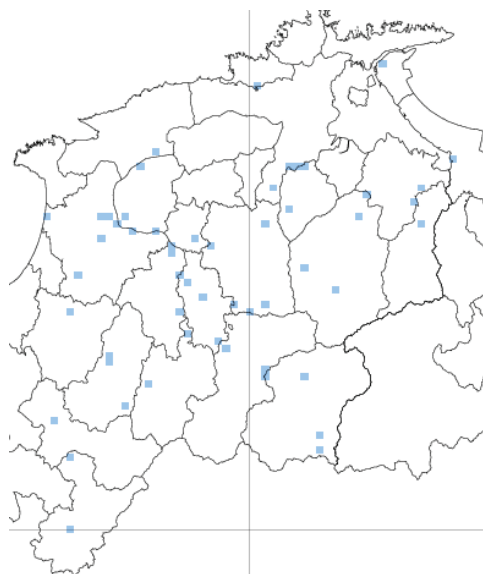


Fig.13 Hearing and field survey points

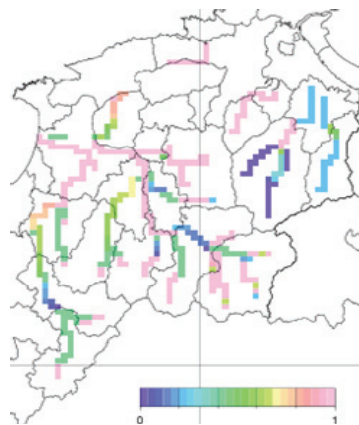
聞き取りや現地調査を行い、他の流域環境構成要素を設定した。調査地点は Fig.13 に示すように、斐伊川水系及び神戸川水系の流域 54 地点である。これらの地点は上・中・下流で満遍なく分布している。見晴らしの良さや河川空間の快適性についての評価はアンケート調査や客観的な解析を行った上で与えるべきものであるが、時間的な制約上、今回は個人的な見解で設定した。無作為に与えたものではなく、事前ヒアリングで重要と判定した地点を選んでいる。流域で離散的に設定した値をもとに、以下の条件に従って流域の全域へと設定した。まとめると、

- 同一区間 (Fig.12 参照) の調査結果をもとに補完する。
- 上流と下流にそれぞれ調査結果がある場合は、河道長に沿って線形補完を行う。
- 上流、下流の一方にのみ調査地点がある場合は、その値と同値を与える。

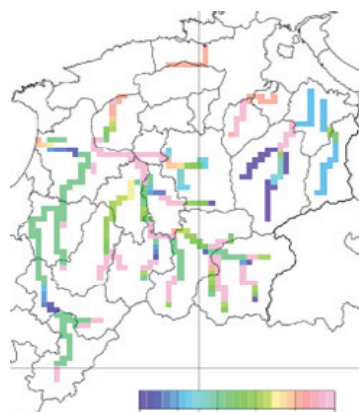
$$data(i, j) = \frac{d_{down}(j) \cdot DATA_{up}(i) + d_{up}(j) \cdot DATA_{down}(i)}{d_{down}(j) + d_{up}(j)} \quad (46)$$

ここで、 $data(i, j)$: 地点 j における項目 i の調査結果、 $DATA_{down}(i)$: 下流側の調査地点における調査結果、

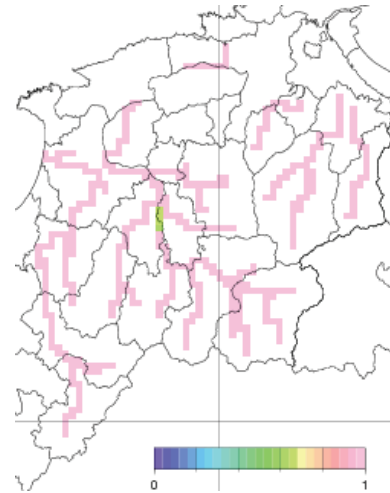
$DATA_{up}(i)$: 上流側の調査地点における調査結果、 $d_{down}(j)$: 地点 j から下流の調査地点までの河川に沿った距離、 $d_{up}(j)$: 地点 j から上流の調査地点までの河川に沿った距離、を示す。各設定値の分布を Fig.14 に示す。



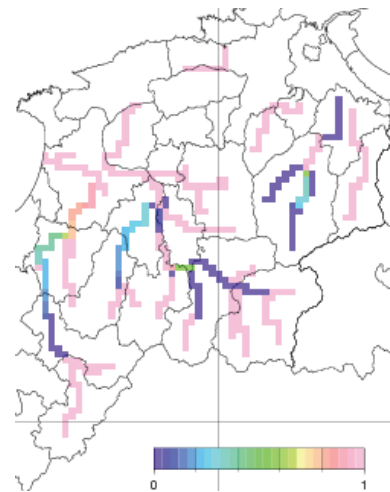
(a) Approach to river side



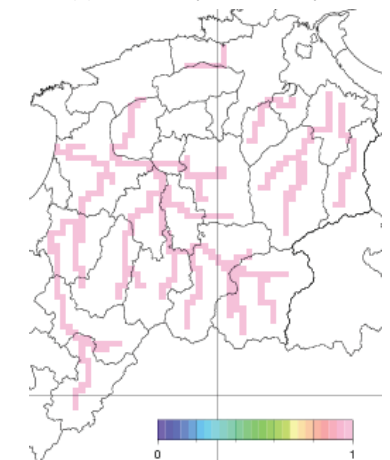
(b) Comfortability through river space



(c) Volume to aqua creatures



(d) Suitability of river style



(e) View from river space

Fig.14 Evaluated results

(2) 因子分析によるゾーニング

Table 6 Observed data of factor analysis

	Field	Urban	Forest	Industry	Population	Commerce	Elevation	Slope
Sum	415.7	96.27	1659.6	3496307	538391	48535892	633214	431.2
Average	0.17	0.04	0.69	1443.56	222.29	20039.59	261.44	0.18
Standard deviation	0.2	0.11	0.34	17823.08	649.74	158002.4	222.29	0.11

斐伊川流域の全メッシュに対して、8個の設定値で因子分析を行った。共通性の推定にはSMC（共因子分析）を用い、因子間の相関を考慮した因子軸の斜交回転にはプロマックス回転を行った。これらの観測データの2422メッシュでの合計と平均、標準偏差をTable 6を示す。*field, urban, forest*はそれぞれ市街地、耕作地、山林の面積率である。人口に関して市街地での面積率が高いこと、山林の面積率に対しては標高や勾配の影響が大きいことが想定される。

Table 7 Zoning indicators of categorized area

Zone	Judgement indicators
Urban	Land use rate for urban district, Population, Commercial sale amount
Agriculture	Land use rate for field
Rural	Overlapping area between agriculture and natural conservation
Natural conservation	Slope, elevation and forest rate in mesh

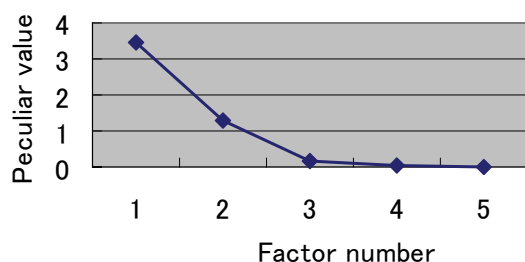


Fig. 15 Relationship between peculiar indices and factor number

次に、回転前の因子の固有値を Fig.15 に示す。これから因子 No.1 と因子 No.2 の固有値は十分に高いことがわかる。上位 3 個の因子は Table 7 のようになり、基準値を任意に 0.4 と与えて、それぞれの因子負荷度を考察する。因子 No.1 は勾配、山林の面積率、標高の支配度が高い。因子 No.2 は市街地の面積率、人口、商業販売額である。因子 No.3 は耕作地の面積率が高い、との結果になった。これらを流域の特徴を表現するための因子とし、ゾーニング推定を行う。自然環境地域のゾーニングには、因子 No.1 の支配度が高かった勾配、山林の土地利用面積率、（標高）を判定指標として用い、都市域のゾーニングには、因子 No.2 の支配度の高かった市街地の面積率、人口、（商業販売額）を判定指標として用いる。農業地域のゾーニングには因子 3 の支配度の高かった耕作地の土地利用面積率を判定指標として用いる（Table 8 参照）。

Table 8 Prescribed criteria of zonal thresholds

Factor	Zonal thresholds		
	Urban	Agriculture	Natural conservation
No.1	Land use rate for urban 0.17	Land use rate for field 0.35	Land use rate for forest 0.57
No.2	Population 509.84	none	Slope none
No.3	Commercial sale amount none	none	Elevation 84.56

次のような条件の下で、ゾーンの判定基準設定を行った。

- ゾーン全体の面積は予め設定値とする。
- エリア（隣接するメッシュを結合した領域）の数をできるだけ少なくする。
- 特徴的な地域のゾーニング結果を検証する。

都市ゾーンの面積が流域面積の約4%の100km²、自然環境保全ゾーンの面積が流域面積の約68%の1600km²、農業ゾーンの面積が流域面積の約17%の400km²と設定した。数値は流域全域での市街地、山林、水田の面積率に対応させた。エリアの数ができるだけ少なくなるように基準値の同定を行った結果、Table 8が得られた。

基準指標は最大3通りを考慮したが、エリア数を最少にする、といった条件の下で、結果的に2種類の判定指標を用いることとなった。都市ゾーンの場合、因子分析の結果、因子負荷量の大きな市街地面積率と人口が推定に用いられている。適用時には10km²を基準とすると、それを超えるエリアが都市域で3個、農

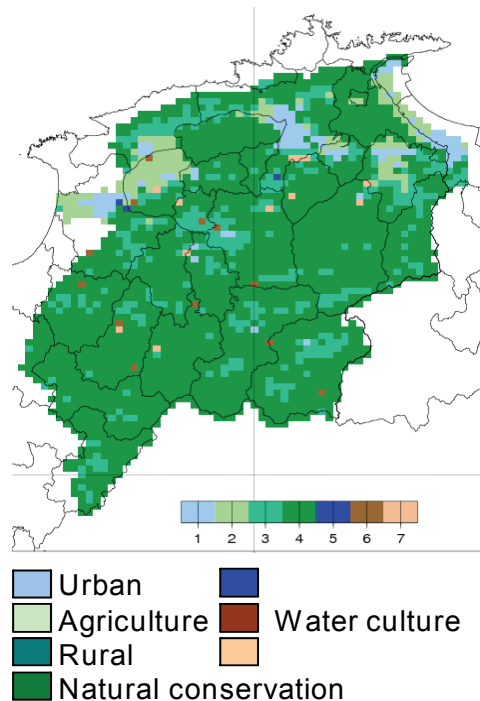


Fig.16 Special results of zoning

業地域で8個，自然環境保全地域で3つ生成された。
 1km^2 のエリアが都市域では18個，農業地域は60個，
 自然環境保全地域では1個生成された。都市域として
 宍道湖・中海の間にある松江市街地，中海の南東沿
 岸にある米子市街地，斐伊川下流西岸の出雲市街地
 が抽出されている。松江市では，大橋川を挟んだ南
 の地域も都市域と推定された。農業地域としては，
 斐伊川下流の東岸堤内地に広がる出雲平野の水田地
 帯が最大である。他にも赤川との合流地点よりも下
 流の斐伊川沿いや中海の南西の意宇川下流域，中海
 南岸の飯梨川・伯太川下流域など，いずれも谷底平
 野や堆積平野が広がっている地域であり，農作の盛
 んな地域とされている。自然環境保全地域では，宍
 道湖・中海の南岸地域の吾妻山地域・雲南山地・湖
 南山地を一つのまとまりとした地域と宍道湖・中海
 の北岸の北山山地が抽出されている。流域全体のゾ
 ーニング推定を行った結果をFig.16 に示す。

図中の緑のメッシュが自然環境保全ゾーンであり，
 山林の卓越した地域である。黄緑が農業ゾーンで，
 農作の卓越した地域である。エリア3はその両方と
 もの性質を備えた里山ゾーンである。自然環境保全
 ゾーンは主に上流部に位置しており，下流の都市や
 農業ゾーンに水資源を供給している。

5.4 流域環境評価の適用結果

評価は河川メッシュにおいてのみ行うものとし，
 河川メッシュはその地点の集水面積を河道設定基準
 との比較により抽出した。

IF $AREA(j) \geq th_{river}$, THEN mesh j is river (47)

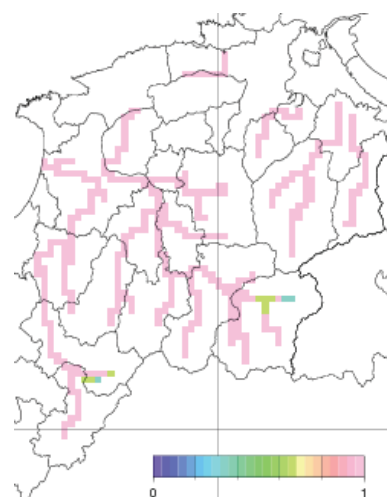
ここで， $AREA(j)$:地点 j の集水面積， th_{river} :河道設
 定基準，である。集水面積は Hydro-BEAM 中で作成
 した流域の落水線図を参照して，地点よりも上流に
 あるメッシュの数とした。河道設定基準は， 15km^2
 とした。2002 年から 2004 年までの水量解析結果，
 および，2007 年 8 月地点での調査結果をもとに評価
 を適用する。時系列で解析を行った要素に関しては，
 各年で求めた平均値を採用する。

$$eva_i(j) = \frac{\sum_t eva_i(j,t)}{t} \quad (48)$$

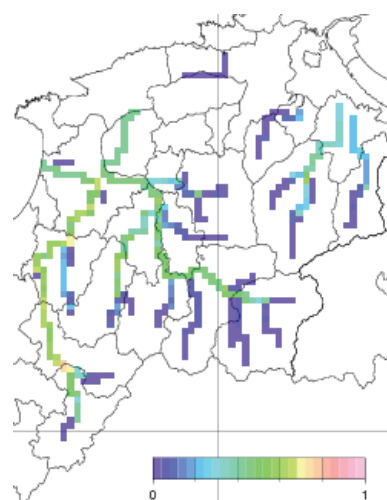
シミュレーションによる治水・水利用，生態・親水
 性（都市域，住宅地域）・景観の評価結果を Fig.17
 に示す。

5.5 流域環境の総合評価の適用

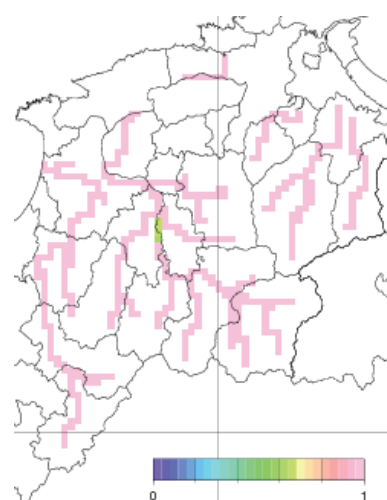
ゾーンごとでの環境評価値の総合化を実施する。
 総合化にあたって，治水は最小値，水利用は平均値，
 生態は最小値，親水性は人口ポテンシャルを重みと



(a) Flood



(b) Water use



(c) Ecosystem

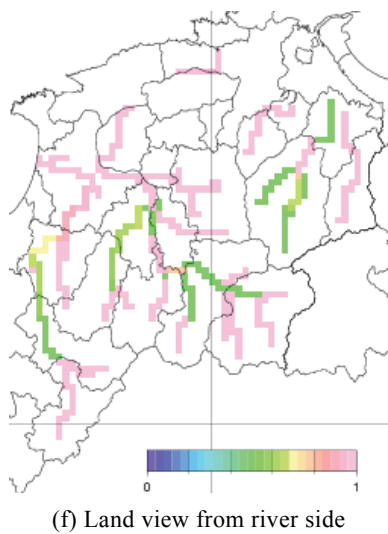
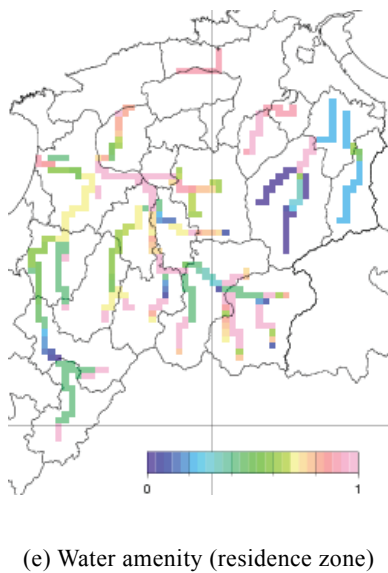
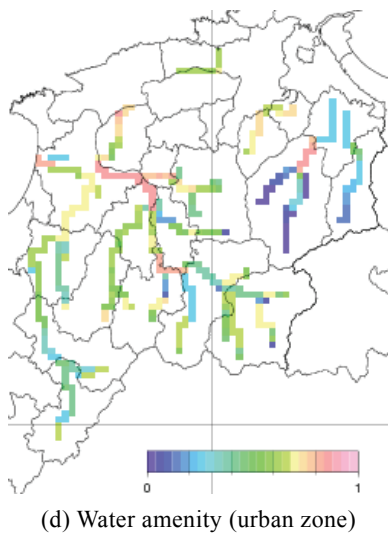


Fig.17 Distribution of evaluated results

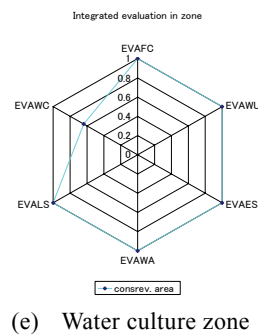
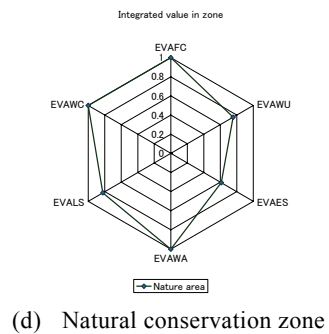
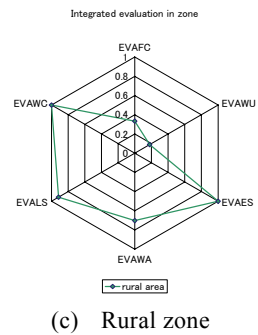
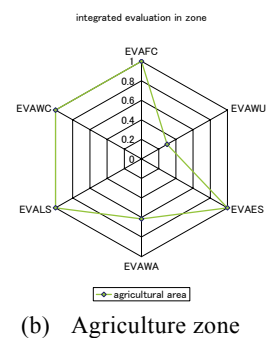
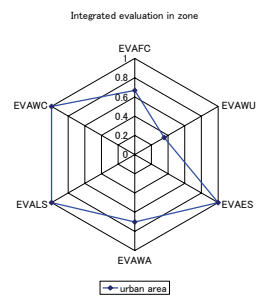


Fig.18 Evaluated value in zones

した平均値、水文化・景観は平均値を求めるものとする。ゾーンごとに評価値の総合化を行った結果をレーダーチャートによって Fig.18 に表現する。他の地域に比べて自然環境保全ゾーンにおいて、治水・水利用の満足度が高くなっているのがわかる。これは、治水や水利用を二次的な目的として設定した結果、と考えられる。

ここで、里山ゾーンにおける水利用の満足度が他の目的に比べ低くなっていること、について検証しよう。図(a)にあるように、治水の評価分布では、神戸川・斐伊川の上流端の方で治水の満足度が低くなる地点が見られる。そのため里山ゾーンの満足度は低くなった。これは、流下能力の設定値が下流での設定量をもとに引き伸ばしたものであることが要因として挙げられる。上流の中・小河川の合流地点で治水の満足度が低くなる傾向は、結果として、明らかであり、周辺の環境を踏まえた上で、何らかの対策が必要になることもある。流域の全域にわたって満足度が高く表れたのは、再現期間が短いために極端現象が発生していないからと考えられる。

水利用の評価結果の空間分布を見ると、神戸川・斐伊川ともに支川において評価値が低くなっているのが見られるが、三刀屋川では満足度が高くなっていることがわかる。水利用は空間的には平均値でゾーン内の集約を行うため、集約過程の異なる治水の満足度の分布と単純に比較はできないが、集約値においても他の項目と比べて、水利用の満足度は全てのゾーンにおいて低くなっている。都市ゾーンや農業ゾーンよりも上流に多く分布する里山ゾーンにおいて満足度は低くなった。里山ゾーンにおいて満足度の低いのは、流量の少ない山間部に多く分布しているため、と考えられる。

流域全域での総合評価は、式(49),(50)のように各ゾーンにおける総合評価値の最小値とする。流域の満足度はレーダーチャートを用いて Fig.19 のように表現され、斐伊川の総合環境評価値は 0.6259 となり、

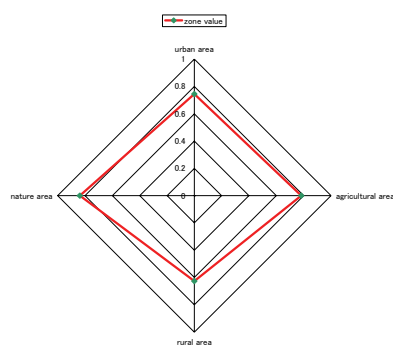


Fig.19 Integrated evaluation in whole river basin

最も満足度の低い地域は里山ゾーンとなった。

$$E_b = \min_k \{EV_k\} \quad (49)$$

$$data(i, j) = \frac{d_{down}(j) * DATA_{up}(i) + d_{up}(j) * DATA_{down}(i)}{d_{down}(j) + d_{up}(j)} \quad (50)$$

8. 結語

島根県の斐伊川を通じて、総合流域管理に関して得られた成果は次のようである。

- 分布型流出モデル (Hydro-BEAM) を用いて流域の水循環を表現し、多目的環境評価を適用した。
- 評価を行う上で、区間ごとに定められた値や地点で得られた調査結果を流域全域へと広げた。
- 流域全域での多目的評価の適用を行い、メッシュごとでの評価値の分布を示した。
- ゾーンごとでの評価値の総合化を行った。斐伊川では、水利用の満足度が低いことが明らかになった。
- 流域としては自然環境保全地域での評価値 0.501 が代表値として算定された。斐伊川流域において景観の満足度が最も高く流域にほぼ一様であった。

謝 辞

最後に、本研究の遂行にあたって、貴重な資料や現地見学、コメントをいただいた国土交通省出雲河川事務所、および、地元の方々の意見集約や水文化へのご意見をいただいたNPO法人社会工学研究所にの皆さんに謝意を表示させていただきます。

参考文献

- 佐伯胖也著(2000): 実践としての統計学, 東京大学出版会.
- 中国地方整備局出雲河川事務所(1995): 斐伊川誌.
- 吉川勝秀編著(2008): 流域都市論, 鹿島出版会.
- Kojiri, T. and Teramura, T. (2003): Integrated river basin environment assessment and planning through hybrid simulation processes, XI IWRA World Water Congress, CD-ROM.
- Kojiri, T. Kinai, Y. and Park, J-H. (2002): Integrated River Basin Environment Assessment on Water Quantity, And Quality By Considering Utilization Processes, Proc. of Int. Conference on Water Resources and Environment Research, pp.397-401.

Integrated River Basin Management Considering Regional Water Culture

Keiki TAKATA*, Toshiharu KOJIRI, Kozo HUKUNARI** and Kastuhide YOSHIHAWA***

*Graduate School of Engineering, Kyoto University

** NPO; Social Engineering Institute, 879 Sobara, Hikawa, Simane Prefecture, 699-0502

*** Faculty of Science and Engineering, Nippon University, 7-24-1 Narashino-dai, Funabashi, 274-8501

Synopsis

In this paper, we will propose the procedure for integrated river basin management considering regional water. Since historical monument, water events and scarcities must be evaluated as cultural heritage for river basin planning. Combining with distributed runoff model, mesh is evaluated with designated six factors, which are consisting necessary items, with radar chart. The integration processes are taken from mesh, regional zone, to whole river basin with mathematical approaches. H river is applied to verify the proposed methodologies in the river basin.

Keywords: Water culture, Integrated river basin management, Zoning, River basin simulation