

河川事業の影響を包括的にとらえる 自然資源勘定

EVALUATION OF RIVER WORKS USING NATURAL RESOURCE ACCOUNTING

白川直樹¹・玉井信行²・吉田昌平³

Naoki SHIRAKAWA, Nobuyuki TAMAI and Shohei YOSHIDA

¹正会員 工修 東京大学助手 大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

²正会員 工博 東京大学教授 大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

³東京大学大学院工学系研究科修士課程 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

Natural resource accounting matrix for river basin is formed. It is formed to evaluate the impacts of river works comprehensively. Case study is run for two basins in Japan and the results are compared each other. In Tama river basin, the role of sewage works sector is large in terms of water quantity as well as water quality. Municipal water use makes relatively large impacts on river environment compared with the situation in Upper Tone river basin.

The matrix is formed in physical term. It is useful to discuss the impacts of river works such as nature-oriented river works and sewage works, and some improvement of the matrix is proposed. Then difficulties of conversion to monetary unit are discussed. It would be easier when we classify the value of environment by rivalness. Still evaluation of option value is impossible using existing methods in environmental economics.

Key Words : *Evaluation of river works, natural resource accounting, environmental flow, evaluation of environment*

1. はじめに

河川事業は周辺環境にさまざまな影響を及ぼす。治水事業であっても、洪水被害が軽減されるだけでなく、河川生態系の擾乱、流量変動、水質変化など多方面にインパクトが及ぶ。治水事業を評価するにあたっては、すべての影響を包括的にとらえて総合的に評価することが必要である。

評価するには、単一の指標が得られることが望ましい。たとえば費用便益分析であれば、費用便益比（あるいは差）という数値一つで判断できる。しかし河川事業のもたらすインパクトは多種多様であり、互いに比較が困難である。

事業効果評価には、まずインパクトを物量的に把握する段階があり、しかる後にそれらを総合化して判断する段階がある。総合化の際には異なる性質のインパクトを比較することになるが、ここには判断者の価値観や時代の空気や地域事情などの非自然科学的（ないしは非工学的）な要素が必然的に介在する。後に述べるように、対象となる自然の不確実性や不完全情報といった性質も価

値判断を難しくする。

本論文では、科学的工学的に精度よく計測可能なインパクトの物量的把握に焦点を当てる。インパクトの原因者、配分、環境ストックの変化、などを扱える勘定体系に注目し、環境資源勘定の枠組みを利用することとした。環境資源勘定には物量表と金額表とがあるが、前述の理由から物量表を採用した。金額表は価値を表す表なので、自然環境の価値についてなんらかの仮説をおかないと換算できない。物量勘定ということを強調するために、ここでは自然資源勘定という言葉を用いる。

2. 河川における自然資源勘定の算定

環境勘定では、国や県などの行政区画を対象範囲に選ぶことが多い。これは、経済データのほとんどが行政区画を単位として集計されているためである。しかし河川事業を評価するのであれば河川流域を単位にとるのが自然である。また河川流域は水の動きに伴う物質移動の支配単位でもあり、自然資源を扱うにも適した単位だと考えられる。よって本論文では河川流域を対象領域とした。市町村単位で集計されているデータは、人口や面積の比

表-1 自然資源勘定の試算例（利根川上流域、平成5年度）

	人工的に生産される資産					自然が生産する資産			
	養殖魚 ton	人工林		乳牛 頭	果樹 ha	天然魚 ton	天然林 千 ha	EFP(水量) 億 km³m³	BOD 負荷 千 ton
		千 ha	千 m³						
期首ストック	0	183.5		69,000	2,685	?	212		
下水道									- 29.8
水力発電								- 766	
養殖業	-2,284								
漁業						- 380			
林業			- 293						
造林		0.637							
農業								- 51	
果樹					6				
畜産業				-2,800					
家計								- 638	40.9
自然回復	2,284	- 0.045	1316	0	0	?			
期末ストック	0	184.1		66,200	2,691	?	212		

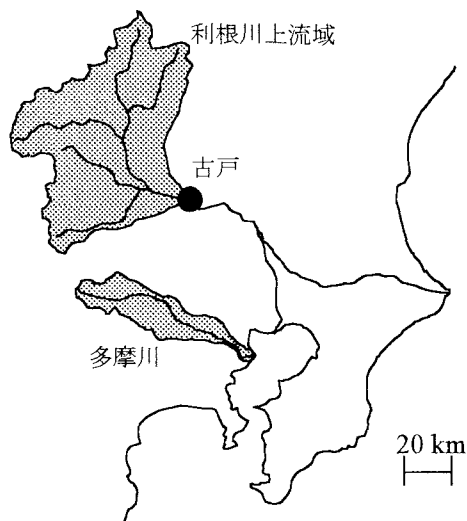


図-1 計算対象領域

率に応じて按分した。

勘定項目は資源変動と環境汚染の両方を扱う。前者は量の問題、後者は質の問題と捉えられるが、質の問題も量の問題に転換して考える。すなわち、汚染物質の量変化として扱う。資産を「人工的に生産される資産」と「自然が生産する資産」に分ける。「人工的に生産される資産」には通常資産と育成資産がある。育成資産は、水産資源（養殖）、人工林、果樹、家畜などである。「自然が生産する資産」には水産資源（天然魚）、天然林、水質、水量などがある。

利根川上流域（利根大堰より上流）および多摩川流域で試算を行った。面積はそれぞれ6,000km²と1,240km²、人口は160万人と320万人、下水道整備率は33%と90%である。利根川の表は有賀（1997）¹⁾を元に計算した²⁾。多摩川の計算には東京都の資料³⁾⁴⁾を用いた。対象地域を

図-1に示す。対象年度は、利根川上流域が平成5年、多摩川が平成9年である。

利根川上流域での結果が表-1である。水量として環境流量ポテンシャル（「EFP」と表記）消費量⁵⁾、水質としてBOD負荷量をとった。環境流量ポテンシャル消費量は、使用水量に取水点と放流点の間の距離を掛け合わせた値であり、減水区間の大きさを表す。BOD負荷量は、BOD値と水量を掛けて求めた。家計からの排出負荷量は実績値と原単位を併用して推定した。

一方多摩川では、図-2に表したような水の流れがある。主要な取水点は、小作堰、羽村堰および砦・砦下の伏流水であるが、羽村堰での取水量が特に多い。取水量で「多摩地区」とあるのは多摩地区の地下水および表流水である（地下水が約8割）。多摩川流域で使用される水の多くは多摩川から取られているが、一部利根川で取水された水も混ざっている。図-2で「（東村山）」と書かれているのがそれであって、利根大堰で取水されたのち荒川を経由して東村山浄水場に導水される。逆に多摩川で取水された水の一部は流域外に持ち出されて利用される。流域内で使用された後に流域外で処理される水もある。総じて多摩川に戻る水は取水された量の約半分である。しかし、多摩地区取水量の流域別内訳が不明なこと（一部は荒川流域）や漏水量（平成9年度の漏水率は8.4%⁶⁾）などを考えると、羽村堰での取水量（2.67億m³）に匹敵する量が多摩川流域に戻されていると推測される。なお上流の水力発電所（多摩川第一、東電氷川、多摩川第三）での使用水量もこの量とほぼ同等である。図-2に示した以外に農業用水の取水があるが、その量はわずかである。

図-3には、多摩川本川での流量を縦断方向に図示した。毎月1回の流量観測値を平均したものである。羽村堰で

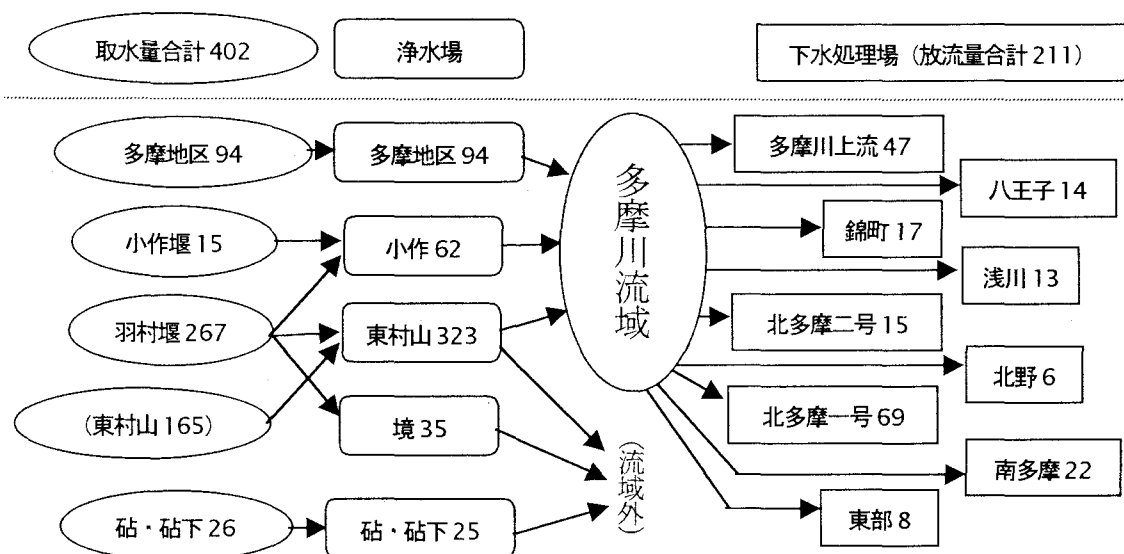


図-2 多摩川流域での都市用水の流れ（平成9年度、括弧付きは流域外）単位は百万 m^3

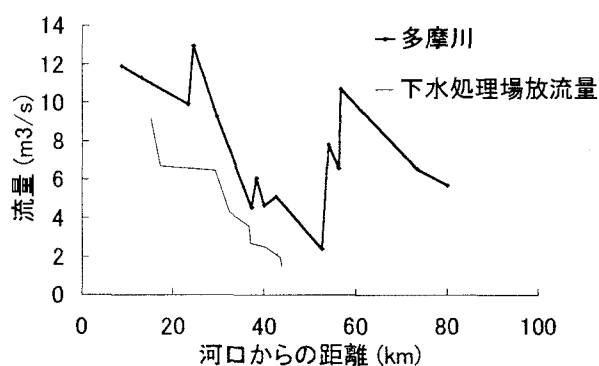


図-3 多摩川の水量

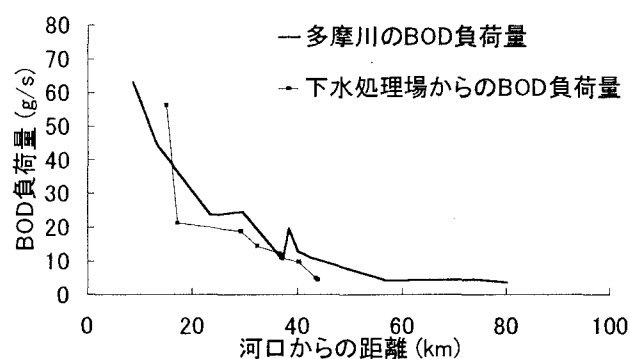


図-4 多摩川の水質（BOD 負荷量）

表-2 多摩川での試算

	水量 億 km^3m^3	BOD 負荷量 千 ton
下水道		- 45.7
水力発電	- 30	
農業		
家計	- 70	47.1

大きく流量が減っているが、取水された水は図-2のように下水処理場を通して少しずつ戻ってくる。図-3の中に細線で描いたのは下水処理場からの放流量である。下流では7割ほどが下水処理水で占められており、流量の面で下水処理場の果たしている役割が大きいことがわかる。

図-4は水質をみたものである。BOD 値そのものも下流にゆくに従って大きくなっていくが、ここには流量とかけあわせた BOD 負荷量を描いた。河川水の BOD 負荷は、下水処理場由来の負荷量でほとんど説明がつくことがわかる。いいかえれば、水質の面でも下水処理場の役割が大きい。なお、利根川（荒川経由）の水は多摩川の水に

比べて水質が悪い（羽村堰での BOD1.0 に対し秋ヶ瀬取水堰での BOD2.0、平成元年～10 年の平均値⁶⁾）。原水の水質が悪いと、浄水費用がその分多くかかる。すなわち、利根川由来の水は多摩川の水よりも高くつく。今回計算した物量表では原水を浄水する過程を省いて扱っているためその違いは表れていないが、上水道を独立主体として扱えばその違いを表現できる。

これらの図から多摩川での水量と水質の動きをまとめたのが表-2 である。利根川での表-1 の該当部分と比べると、下水道が水質改善に果たす役割の大きさが明らかである。利根川上流域では下水道を経ずして放流される負荷が多いが流量も多いので水質はそれほど悪くない。下水道普及率が上がれば水質はもっと改善するだろう。水量をみると、多摩川では家計の占める割合が大きくなっている。減水区間軽減には水量が減水区間長のどちらかを減らす対策が必要であるが、水量を減らすには家庭での節水が有効と考えられ、減水区間長を減らすには下水処理水の放流点を上流にもっていくことが有効と考えられる。

表-3 河川事業評価のための自然資源勘定

	バイオマス					ハビタット						水量	水質	土砂	歴史文化遺産
	魚	底生生物	藻類	森林	その他	自然河岸	自然な河川敷	瀬淵	産卵場	縦断障害	他				
期首ストック															
河川事業部門						+-	+-	+-	+-	+-	+-	+-	+-	+-	+-
上水道													+		
下水道													+		
水力発電										-		-			
養殖業	+-														
漁業	-														
林業				+-									-		
農業										-		-	-		
家計												-	-		
自然回復	+-	+-	+-	+-		+	+					+	+		
期末ストック															

3. 河川事業効果の分析

自然資源勘定表を使った河川事業効果の分析について考察する。前章で試算した自然資源勘定は従来の枠組みを応用した表であって、少し修正すべき点もある。多自然型川づくりによる河川改修をとりあげてみよう。多自然型川づくりはハビタットの整備であり、直接自然資源を増加させるものではない。よって表-1に挙げた項目だけでは直接の効果はなんともいえない。多自然型川づくりの効果を明示するためには、ハビタットを物理量で表現する項目が必要である。河畔植生や河川付近の自然度を上げる（あるいは保つ）効果を表現する項目として「自然河岸延長」あるいは「自然の保たれた河川敷面積」を計上する。淵の造成は「潜在自然型河床型面積」、産卵床の造成は「産卵場面積」、魚道の建設は「縦断方向障害物」などといった量で表される。

これらハビタット整備の目的は、天然魚などのバイオマスを増加させることである。よって、バイオマスを表す項目も必要である。ただし後に全体をみて評価する際にはハビタット改善とバイオマス増加の重複計算に注意しなくてはならない。またハビタットに比べバイオマスの変化には長い時間がかかることもあるので、バイオマスは参考値としてハビタットを評価の中心に据えたほうが良いであろう。水質や水量はハビタットの一部とも考えられるが、それ以外の効果（悪臭や景観やレクリエーションなど）もあるので別立てにして扱うのが適当である。縦断方向の土砂輸送も計上しなくてはならない。歴史・文化資産も自然資源ではないが市場価格をもたない資産として同じように扱うことができる。

一方で主体となるセクター（部門）では、上水道や下水道を公共サービス部門から独立させて扱うべきである。また河川事業部門も独立させる。

このような項目修正を加えると、表-3のような枠組みができあがる。表中の+-記号は、各部門が各要素に与える影響の正負を示している。この枠組みを用いて河川事業の効果を分析することが可能になる。

例えば、ダム建設事業を考える。ダム周辺の森林や魚類が変動することは確実である。水没地域の森林は減少するし、魚類相も変化するだろう。これらの変動は表-3のバイオマス項目に記録される。ハビタットは大きく変わり、自然河岸や自然な河川敷は減少する。また縦断方向の障害物となってマイナスが計上される。歴史資産や文化資産が影響を受けることもありうる。水力発電が行われるとすれば減水区間が生じるかもしれない。こういったインパクトが物量的にかつ総合的に把握され、ダム建設による各部門の経済的便益および建設コストとの比較により代替案の定量的な検討が可能となる。

次に、水質改善事業としての下水道事業を考える。下水道の果たす役割の大きさは前章の試算で見た通りである。二つの代替案として、流域下水道案と各家庭で個別に処理して排出する案を考える。流域下水道の方がBOD除去率は高いだろうから、水質面では流域下水道が有利になる。しかし、取水点から放流点までの距離が長くなるため水量面では不利になる。水量のインパクトを小さくしようと放流点を上流に引っ張り上げると、コストがかかる。物量表では水質改善と水量のトレードオフに直接最適解を与えることはできないし、コストとの間のトレードオフも解決できないが、各代替案に対して影響を定量的に示すことができる。

物量表の長所は、価値判断を介在させることなく自然科学だけで計算できるところである。前提条件を何もおらずに基礎データとして意思決定に供することができる。

4. 意思決定過程への利用

(1) 価値意識法 (CVM) を使ってはいけない理由

前章でみたように、物量表はプラス・マイナスの因果関係を定量的に表現してくれる。しかし意思決定に利用するには、異なる物量単位間の比較、そして経済的便益および費用との比較、という二つのステップが必要になる。物量表を金額表に換算できればこれら二つの困難が一度に解決するのでさまざまな金額換算法が工夫されているが、現状では正しい換算法はない。そもそも異なる物量単位間の比較には価値判断が介在せざるをえないため、前提とする価値観により結果が左右される。本章では物量表を意思決定過程で利用する方法について考察するが、まず環境評価と称してよく使われる CVM の問題点を明確にする。

CVM は環境経済学の理論に忠実にのっとり手法であり、理論上は何も問題はない。現在実用化に至っていない理由はバイアスなど純粋に技術的な問題である。しかし、その基礎としている理論自体が問題を含んでおり、環境評価には使ってはいけない方法だと思う。

環境経済学では自然環境の価値を次のようにとらえている。すなわち、価値とは個人の厚生を向上させるものであり、個人とは現在生きている人間である。すると環境の価値は市場価格に消費者余剰を加えたものとなり、これは WTP (もしくは WTA) に等しくなる。よって WTP を正確に測定することが環境評価そのものとなる。

この考え方にに基づき、環境経済学では自然環境の価値を利用価値と非利用価値に分類する⁷⁾ (表-4)。またさらに細かく直接利用価値・間接利用価値・オプション価値・存在価値に分類して、それぞれの価値について最下段にあるような評価手法を工夫している。オプション価値の評価が困難なのは将来の利用が不確定なためである。

このとらえ方では、自然環境の価値を現在の人間の意識と関連づけて定めている。これは全く間違いであると思う。受益者の範囲がしばしば問題になる原因もオプション価値がわけわからなくなる原因もここにある。

自然環境の価値は人間の意識とは全く独立に、いわば「物理的に」存在するものではないだろうか。対象となる自然環境の中には未知の有用な物質 (ないし能力) が含まれているかもしれない。この物質を物質 A としよう。物質 A を知らないうちは人間は自然環境を過小評価していることになる。しかし、人間が知っていようがいまいが物質 A は確かに自然環境の中に存在するのである。物質 A が発見されたとともに自然環境の価値 (意識される価値) ははね上がる。そのような評価手法では、大規模な自然改変をする根拠としては頼りない。

自然改変は多くの場合不可逆性をもつ。また、自然環境は人間にとってまだまだ未知の部分が多く、改変に対するインパクトを事前に完全に予知することは不可能で

表-4 環境経済学での自然環境の価値の分類

利用価値		非利用価値	
直接利用価値	間接利用価値	オプション価値	存在価値
競合性あり	競合性なし	両方	競合性なし
単価で評価	CVM など	評価は困難	CVM など

ある。環境経済学でいわれている評価法は、対象となるものについて完全な知識が得られていることが適用条件になっている (ダムができるとどういふ変化が起こる、対策により何頭の動物が保護される、など)。意識されていない価値が存在しうる場合、CVM を適用してはいけない。CVM は価値意識法とも訳されるが、この訳語の通り意識されている価値を測る手法だからである。

(2) 自然環境の価値のとらえ方

本論文では、自然環境の価値を「それが将来にわたって価値ある物を生み出す能力」と定義したい。これは、科学的知見の程度に左右されない、自然環境が潜在的に持っている能力を指している。将来まで含むので不確定要素が大きしいし、時間軸上の概念になるので現在価値に直すのは不可能である。

その価値をどう評価するかという段階までは達していないが、手法を考えるには自然資源を公共財の定義という「競合性」の有無により二種類に分類すると便利であろう。表-1 の項目でいえば、水量は競合性がある。森林資源は木材として使うなら競合性があるが森林浴を楽しむなら競合性がない。表-4 の三列目に、従来の分類法との対応を示した。競合性のある価値は、ある程度まで既存の手法を応用して推定可能である。

競合性のない価値は自然環境の価値の本質であり本質的に経済評価になじまないものだが、いくつかの推定方法は考えられる。生態学的なアプローチとしては、その領域のバイオマスに比例するとみなす方法、生産量に比例するとみなす方法、生物多様性尺度を用いる方法、などが考えられる。どれだけの人口を養えるか、で推定する方法もありうる。

環境評価に必要な理論とは、対象に関する情報が不完全にしか定量化できず、自分の行動の結果も不確実にしか知り得ない (しかも非可逆的であるかもしれないし致命的であるかもしれない) 状態での意思決定を行う理論であるということになる。

(3) 意思決定過程での利用方法

意思決定をするには、何らかの価値観に基づいた立場に立たなくてはならない。社会を構成する個人の厚生の総和を最大にしようとする立場、経済の持続的な発展を目的とする立場、人間の種としての存続を目的とする立場、地球の生態系の存続を目的とする立場、などさまざま

までである。例えば環境倫理学では、人間以外の生物にも権利があり、現代世代は未来世代の生存可能性に対して責任があり、地球全体が閉じていて物質とエネルギーは有限である、と主張している⁹⁾。この主張は明確な一つの価値観であって、資源の配分決定に制約条件を課す。

異なる立場に立てば、おのずと自然環境の評価も異なる。同じ物量表を与えられても、違う価値評価によって違う金額換算が行われるだろう。よって、金額表は価値観の立場とセットであり、「絶対に正しい」価値観がない限り「絶対に正しい」金額表はありえない。これが物量表との違いであって本論文において物量単位の集計にとどめた理由である。

正確な物量表を構築し、意思決定者がそれを見て総合的に判断を下す、という形式が望ましいが、おそらく物量表だけではなんとも判断しづらいことが多いだろう。よって、価値観の立場とセットになった金額表を複数用意して、意思決定者に選択してもらうのが現実的な利用方法になる。

環境経済・政策分野の課題の一つに外部性の内部化がある。これは、市場での取引（価格決定過程）に環境への負荷を関与させることである。単純に言えば、環境負荷の分だけコストを上昇させ、価格を上昇させることになる。自然資源勘定は、その環境負荷の定量化に寄与する。環境負荷と生産額を見比べることによって、その産業の環境に対する効率を把握することができる。ある環境負荷を減らしたいときに、どの産業に重点を置いて対策を取ればよいかがわかる。また、異なる自然資源間のトレードオフ関係が明確になる。

5. まとめ

河川事業の評価にあたっては、その影響を包括的にとらえることが求められる。とくに環境影響については慎重かつ正確に把握しなくてはならない。それには自然資源勘定の枠組みが有効であろうと考え、河川流域での計算を試みた。

計算にあたっては、価値判断を介さない物量データの記述に努めた。価値判断を含まない定量化は時代が変わっても真実であり、どのような前提条件に立つにせよ無用にはならないからである。データが存在しなかったり集計方法が意図に合わなかったりして資料の収集に苦労したが、利根川上流域では森林・水質・水量などを概算した。また多摩川でも水質・水量について概算した。水質と水量は河川事業に特に関係の深い項目である。

水質では下水道の役割の大きさが示された。多摩川の下流では本流を流れている水の7割ほどが下水処理水であり、水質でも水量でも下水道の影響が大きい。利根川では負荷量に比して流量が大きいため水質に顕著な悪化はみられないが、下水道普及率が上がれば水質は向上するだろう。一方で水量の観点からは、流域下水道の普及はプラスとはいえない。健全な水循環を自然に近い水循環と解釈すれば、各家庭で処理する方式の方が望ましいかもしれない。

意思決定過程で利用するには勘定表を貨幣タームで表せると便利なのだが、金額換算には困難が多い。仮想市場法などの既存の手法は自然環境の価値評価にはそぐわない。人々の意識はその時点での科学的知見に依存するので、科学的知見が不十分なとき（あるいは不正確なとき）に人々の意識に基づいて価値評価をするのは危険だからである。物量表だけでも意思決定に寄与できるが、現実的には貨幣換算した金額表を換算仮説とセットで複数用意して並置することになるだろう。

経済学的手法は理論的に精緻で結果もわかりやすい〜魅力的な手法であるが、自然環境のような我々にとって理解しきれない対象物に対して既存の手法を応用してよいとはいいきれない。その結果に基づいて評価を下したり改変したりしていく際には慎重かつ謙虚な態度で臨まなければならない。

参考文献

- 1) 有賀圭司：河川環境を含む環境経済統合勘定表の構築，東京大学工学部卒業論文，1999。
- 2) 白川直樹・有賀圭司・玉井信行：河川環境を対象とした環境経済統合勘定表の構築，環境システム研究，1999。
- 3) 東京都水道局：事業年報平成9年度。
- 4) 東京都下水道局下水道本部：多摩の下水道マップ，1994。
- 5) 玉井信行・白川直樹：環境経済統合勘定の河川計画における意義について，河川技術に関する論文集，1999。
- 6) 東京都水道局：事業年報平成10年度。
- 7) 植田和弘：環境経済学，岩波書店，1996。
- 8) 玉井信行：環境概念を軸とした河川工学について，1998年度（第34回）水工学に関する夏期研修会講義集Aコース，A-6-1〜A-6-17，1998。
- 9) 柴田弘文・柴田愛子：公共経済学，東洋経済新報社，1988。
- 10) 環境庁「環境勘定検討会」：環境勘定に関する基礎調査および包括的環境勘定体系（CASE）の開発，環境庁「環境勘定検討会」報告書，1998。
- 11) 岡敏弘：厚生経済学と環境政策，岩波書店，1997。

(2000. 4. 17 受付)