

## 環境影響評価班報告

### 1. 担当領域

#### 1.1 環境と環境影響評価について

一般に、「環境」とは、生物・無生物を問わず、ある主体の周辺を取り巻くものの全体という極めて曖昧な意味しか持ち得ていない言葉である。したがって、第十堰の存在が河川の状態に影響を及ぼしている区間の環境を評価する場合、まず、そこが何にとっての環境かということを確認しておく必要があり、それがなされて初めて、検討すべき技術的課題が明らかとなる。さらに、「環境影響評価」では、第十堰がその周辺である「環境」に与えている影響を明確にして、その内容を評価することになるので、「堰」及び「その周辺」を生活環境、生息・生育環境の全部または一部としている様々な生物にとって、堰がこれまでどのような役割を果たしてきており、また、現在果しているかに焦点を当てて議論するためには、現時点でどのような課題があり、その解決のためにはどのような方策があるかを明らかにすることが本班の担当領域と捉えられる。

#### 1.2 第十堰と河川の生物生息環境について

通常、河川は水辺を含んだ広い空間を有しているので、多くの動植物の生息・生育にとって重要な場を与えており、これが「河川の生物生息環境」となっている。しかしながら、そこを生息・生育の場としている生物は、環境（の基盤）を形成している諸条件に縛られていて、結局、その条件に許容される、あるいは、それを受容できる生物しか、生き長らえ、かつ、種を存続させることができない。第十堰のように、人工構造物であっても、川を横断する大きな規模を有し、それが2世紀半以上にも亘って存在している場合には、その周辺に存在する生物（群集）は第十堰が造り出してきた場を環境として受容できうるものであって、堰の存在とはある種不可分の関係にあるといえ、堰の環境影響評価はこの関係を解明することから始まることとなる。この周辺に多くの生物が生息する以上、それらの間にも例えば食物連鎖のような何等かの相互関係があって、この関係を考慮しながら種類数や個体数を明らかにしていけば、生態系を持続的に支える場や機能として、この堰が周辺の「河川環境」に及ぼしている影響をある程度捉えることができる。

一方で、河川を身近にしていたり、訪れることに楽しみや歴史を感じたりする人々にとっては、河川は生活環境の一部として重要な位置を占めている空間であって、ここでは、これが「堰がもたらしている河川環境」と考えられているであろう。したがって、良好な環境がそうでないかは、主体が何であるかによって全く異なってくるが、人々が普通に「良い河川

環境」と感じるのは、清らかな水が豊かに流れ、石礫に覆われた川原の低位部に木々や草花の繁茂した高位部が連続していて、そこに多種多様の（清流を好む）昆虫類、魚類、鳥類、哺乳類などが多数棲んでいるような河川の状態と思われる。そして、実際にそれが第十堰によって真にもたらされているなら、第十堰はよい影響を与えるものと評価される。

### 1.3 第十堰の環境影響評価について

第十堰が上記のような状態をもたらしてきたものであるか否かは、河川の水域と陸域について、生物相の調査や生息場の物理・化学指標測定を実施すれば相当な程度で把握することができる。さらに、最近では、生物体を形づくっている物質の組成分析や同位体計測によって、対象生物がどこに由来した物質を取り入れて生長し、食物連鎖などを通じてどこに影響を与えているのかも解明されるようになってきている。

しかしながら、第十堰とその上下流に関する「自然環境調査」や「水環境調査」では、堰改築の議論が実質的に一時棚上げ状態になっていることもあって、それまで、かなり集中的、先進的に実施されてきたこれらの調査が若干停滞しているような状態となっている。すなわち、かつての堰の改築を巡って議論が戦わされていた時期には、第十堰がこの河川区間の環境形成に果たしている役割を考察し、評価するための資料は、多量に蓄積されつつあって、各生物の生息場の環境条件、場の物理的・化学的条件を特定することが可能となりつつあると考えられた。しかし、その後、堰に関する直接的な研究調査がそれ以前に比して活発でなくなってきたことを受けて、最近河川工学分野でも進展してきている、物質収支を細部に亘って解明し、そこから環境、あるいは、諸条件が環境に及ぼす影響を評価する試みは進められていないように判断される。そこで、以下では、生物の生息・生育場の物理的・化学的条件の形成にどのような水理現象が関わっており、その機構を明らかにするためには、現在どのような技術があるかを述べて、第十堰が周辺の河川環境の形成に果たしている役割を評価できる技術的課題について考察する。

## 2. 注目すべき現象や問題点

### 2.1 第十堰とその周辺の特徴

第十堰とその周辺の環境にとっては、それが平水時には上下流間に約4 mに及ぶ水位差を生み出しながら斜めに河川を横断する長大な構造物であるということが周辺環境に影響を与える最大の要因になっている。そのような構造物であるがゆえに、堰は、上流区間に関しては、平水時には湛水域の形成要因として、一方、洪水時には流れの堰上げ要因として、と同時に、河床変動に影響する床止め効果を持ち、下流区間に対しては、複雑な局所流の発生要因として、また、入退潮の影響を遮断する完全な潮止め効果を有している。平均河床高縦断

図<sup>1)</sup>に基づいて、その影響範囲を上下流区間について概観すれば、上流側には、約 10km 上流にある柿原堰までの区間が河床変動の背砂区間となるような床止めとしての影響を与えている。すなわち、このほぼ全区間の河床が昭和 30～50 年の間に 2 m 以上も低下したにも拘らず、ほぼ同程度の河床勾配を有していて、この勾配が上流からの土砂供給量に見合った平衡勾配と見なされることからそのように判断される。なお、昭和 30 年および 40 年の縦断形状は、この勾配が堰を越えてその下流にまで維持されていたことを物語っている。また、この区間は、交互砂州の波長と河道の緩蛇行の波長とが一致した、砂州の固定区間であって、その様子は平均河床高の縦断図にも、極大・極小箇所が平均的な河床低下の前後でもほぼ一致していることにも現れている。この縦断形状の変化状況は、第十堰が昭和 50 年以降安定した河道状態をもたらしてきたものとして、堰上流区間の環境やその形成と維持に影響を与えてきた諸条件について考える場合の基本となるものである。

一方、下流区間では、河口から 6 km 地点までの区間は平均 2 m 程度の河床低下となっており、そこから堰のある約 14km 地点までは約 4 m の河床低下となっていて、12km 地点までの平均河床高は A P - 2 m とはほぼ水平といってよい形状を示している。これが堰の下流区間が汽水域となっている最大の要因であることはいうまでもない。しかしながら、第十堰は年平均で毎秒約 40 トンの水を旧吉野川に取水させる機能を果たしていて、恒常的に吉野川河口域に到達する淡水量を減少させている。これが、吉野川河口部（河口から約 10km 地点辺りまで）では表面から 1 m 以下がほぼ海水状態という、弱混合形態が極めて出現しやすい状況をつくり出している。また、出水後も太平洋側の河川としては珍しいほど、塩分躍層の回復は早く、こうした、特殊な汽水域の状況が河口域を中心に多くの稀少種のハビタートとしての環境を維持していると考えられている。

## 2.2 河川環境の基本的視点と第十堰の環境評価に関わる諸課題

さて、河川内の個々の位置における環境を第一に支配する基本的要因は、水際から陸域方向あるいは水域方向にどの程度離れているかという「距離」と「高低差」であって、後者は水中では勿論水深であり、それは通常流速とも強く結びついており、陸上では「冠水頻度」として、洪水による攪乱・更新の頻度と強度とに密接に関連している。さらに、河川では、水中はいうまでもなく、陸上でも水際に近い位置ほど、その環境は水質の影響を強く受ける。そして、流量によって水際の位置が大きく変化し、その流量の変動特性が地域によって異なるところに、また、上下流境界における物質やエネルギーといった各種フラックスの流入流出条件に強く影響されるところに、河川環境が湖沼や海岸の環境と大きく相違する点が存在している。例えば、一見境界がオープンなように見られる汽水域であっても、通常の状態では、1日2回動くタイダルプリズムが同時間内の河川水の流入流出総量に比してかなり大き

く、また、外海域での混合・交換量もこのタイダルプリズムに比較すると小さいため、同時に、タイダルプリズムの大きい汽水域ほど、一般に生産性の高い広い干潟を有しているために、物質収支を考えると、実際には境界がクローズしている湖沼などに近い状態となっていると見なしうる場合が多い。

以上から、ここでは、河川環境の基本的視点を、各々の地点における物理的条件と、その物理的条件と境界条件によってほぼ決定される水域や土壌の化学的条件が、時間的・空間的変動を含めて類似していれば、そこに生物のシーズが来さえすれば、ほぼ同じ生物生息生育場が形成されると見なすことにおいておきたい。

逆にいうと、その場所がある時期にある環境条件を満たすことができなければ、そこで生息生育の不可能となる種が存在するということである。これを第十堰について考えると、この堰がないと生活史を全うできない生物は存在するのか、第十堰がなくなるとどういった生物が壊滅的打撃を被るのか、といった点が明確に示されたことはあるのだろうかとのという疑問が浮かび上がってくることも否定できない。元来、河川空間は、生物の生息・生育にとって冗長性に富んだ、代替機能を確保しうる環境構造を有しており、それだけに、そのような構造を大切に保全・維持しなければならない空間であって、こうした認識をできるだけ共有しなければならない。しかしながら、旧吉野川に第十樋門を通して必要水量を確保し、大規模掘削による河道断面拡大の恩恵を上流まで伝えることのできる固定堰の解消と可動堰の設置によって、どのような生物が、日本からとはいわないまでも、徳島県からいなくなるのか、明確な指摘はかなり困難な作業であると思われるが、やはり、こうした点を曖昧にしたまま、漠然と不安を煽って、人間の生命・財産の安全・安心を蔑ろにしてもよいとはいえないことも指摘できる。社会的・自然的条件の下で、堰が築造され、現在の形になっていく過程で、その状況に対応できてきた生物（群集）がそこを生息生育場にしているわけであって、その善し悪しを人間が果たして論議できるのかどうかの問題も同時に存在している。

これまでに述べてきたことや上記の視点によれば、以下に列挙する諸点が第十堰の環境評価に関連して着目すべき課題となる。

- (1) 第十堰の現況が形成されてきた過程
- (2) 第十堰の築造されている吉野川下流区間の河道特性と堰の影響
- (3) 堰とその影響域において注目すべき動植物の特定とその生息場所の水理条件
- (4) 彎曲した曲線形状を持った長大な堰と周辺が有する水理特性
- (5) 河床から突出している堰による不連続性の評価
- (6) 土砂収支、とくに、堰による粗粒分の流下扞止効果等、粒径別の土砂収支
- (7) 堰上流の湛水域と下流の感潮域の流動特性と水質・底質
- (8) 堰や上下流区間での一次生産も考慮した有機物・栄養塩の物質収支

- (9) 堰越流による曝気効果、落差や内部構造による濾過効果等、堰の水質改善効果
- (10) 流れと物質収支に基づいた水質形成の解析モデル
- (11) 外来種の生育・生息問題と堰の存在

以上の11点は、相互に関連しているが、堰とその周辺における生物現存状況の正確な把握はいうまでもないことであって、それを前提とすると、これらは、堰とその周辺の物理環境の形成に関する課題、落差を持った横断構造物としての堰の機能に関する課題、堰周辺の水・物質循環解析に基づく生物生息場の形成条件に係わる課題の3点に大別することができる。堰の直接的な影響範囲へ流入してくる、流水、土砂、有機物、栄養塩などの評価や条件設定に関する技術的課題については、流域流出・気候変動評価班および流域物質収支班が、また、第十堰の現況が形成されてきた歴史的な過程とその背景については、景観・土木史的評価班が論述しているので、次項では、第十堰が直接関与する環境影響評価の面に限って、これらの3点に関する技術的課題について述べる。

### 3. 検討すべき技術課題

#### 3.1 堰と周辺の河道状態の形成に関する課題

河川環境の基盤である河道状態の形成にとって、その地点が水系や流域の中のどのような位置にあるかは本質的な条件であり、これはその場所の植生や到来する動物といった生物にとっても重要な要素である。この点については、自然地理学的な分類やセグメントの議論があるが、縦断形状や河床材料といった河道条件のみではなく、沿川の地形や土地利用も加味した検討が必要であることは、流域物質収支班が指摘している通りである。また、上堰と下堰からなる曲線的な平面形状と均質ではない堤体構造をした第十堰は、江戸時代中期に本川となった別宮川に対して、農業用水の確保に困った農民たちが現在第十樋門からなされているように、その取水を確保するために造ったと伝えられており、その経緯の詳細については景観・土木史的評価班が報告している。

さて、昭和22年に撮影された空中写真によると、当時の河道は一面多量の土砂に覆われた白い川原となっていて、堰の上下流とも水域は限られており、植生もほとんど認められない状況であった。周辺の田園や背後の山々ともよくマッチしているとも感じられる水に恵まれた景観は、昭和40年代を中心とした砂利採取による人為的改変が最大の形成要因になっている。堰の上流区間の河床もそれによって大きく低下して、直上流の水域も広がっているが、度重なる洪水によってかなりの自然修復作用が加わったにも拘らず、既述したように、この区間では、砂州の配置や平面形状には顕著な変化は認められず、現状の比較的安定した河床・河道状況が形成・維持されていて、生物に落ち着いた環境をもたらしていると考えられる。

この過程については、現在では精緻な数値シミュレーションも計算時間を掛ければ可能となっていて、それによって、逆に、上流からの流水や土砂の供給条件設定の妥当性に関する評価も進み、流域物質収支のチェックポイントとしての機能を持ちうるものと判断される。また、こうした検討・評価を通じて、数値シミュレーションの結果は、上流区間における植生の変遷やエコトーン形成、あるいは、水生動物のハビタット形成やそれらの評価について有意義な情報を与えるものとなりうる。

元来砂利採取は計画河床形状に基づいて許可されるが、これによって第十堰の下流区間では洪水処理能力が格段に向上し、同時に、汽水域が拡大している。その結果、砂利の河原が大半を占め、汽水域は限定されていたそれまでの河道に対して、塩水が大量に定在するという、以前とはかなり異なった生息環境がもたらされたわけであって、こうした環境の変化についての客観的な評価を加えることが必要とされている。この変化は、一面では、堰直下の右岸法先部のような極度の河床洗掘箇所などにおいて、密度の高い海水が滞留して無酸素状態を現出させやすい状況を生じさせているので注意が必要である。いずれにしても、現在の環境を正しく理解するには、砂利採取の量的な実態把握と出水やそれに伴う土砂供給量の履歴を再確認し、その後の堰と周辺の変化過程を把握しなければならないであろう。堰の上流区間の河床勾配が砂利採取以前のものでそれほど変わらないにも拘らず、堰の下流への土砂堆積がわずかであって、こうした状態が維持されてきた理由も明確にされなければならない。これには、流域物質収支班の指摘を踏まえて流入土砂量を正確に推定することとともに、既に述べたように、河床変動解析が有効な評価手段となる。

### 3.2 落差を持った横断構造物としての堰の機能に関する課題

斜め堰の環境水理的機能と生物生息場に与えている不連続性の解明が技術的課題である。前者では、河道に5割程度の勾配で4mに及ぶ水位差が500m以上の延長で常時存在していることの意味を明らかにすることが課題である。

前者に関して、透過構造といわれている堰本体の通過量、堰下部からの浸透量、堤内地への浸出量の実測あるいは浸透解析による堰上下流間の水収支の把握、さらに、堰による曝気や濾過等の水質改善効果についての実測による検討が望まれると指摘されていた。この指摘に関して、漏水調査<sup>2)</sup>が実施され、堰の災害復旧のための調査として堤体構造の調査<sup>3・5)</sup>も順次行われている。漏水調査として実施された平成17年の1、2月における2回の流量観測から求められた漏水量は、それぞれ毎秒約2.5、同3.0トンとかなり近い値となっている。しかしながら、流入流量を測定した15.400km断面と越流流量を測定した下堰との間の水域面積が広いために伏流水となる可能性も否定できないので、これがそのまま堰の透過流量であるとは即断できない。また、堰下流の13.600km断面における流量と、堰の越流量や15.400km

断面の流量とは値が大きく相違しており、堰周辺の水収支は明確にはなっていない。このためには、流水が堰内部をどのような経路を伝って流下し、堰を透過したり越流したりした流水がどのように下流に広がっていくかを詳細に把握しなければならないといえる。

後者の不連続性に関しては、堰下流左岸寄りの土砂堆積とともに、堰を流下する流れが大小の局所洗掘を引き起こし、長い延長の構造物であるだけに、やはり、限られた魚道だけでは全面越流時などに十分な機能を発揮することが極めて困難であることが問題となる。第十堰は一見全面魚道のように見えるが、堰下流端における河床洗掘のために干潮時には落差が生じており、満潮時でも約1/5の勾配で20~30mも流れると最下流の流速は加速されて薄い水脈となり、遊泳魚にとっては、水深・流速の両面で厳しい環境となるだけでなく、鳥類等の外敵からの脅威にも曝されやすくなる。これを補うために設置されている魚道も、前述のように、堰直下では河道中央から右岸に行くに従って河床洗掘が著しくなって、時として、堰先端部では水面上にオーバーハング状となり、魚道の先端が水面から浮いてしまう場合や、それを避けるために魚道を延長すると魚類の迷入が避けられなくもなる。これには、斜め堰であるために堰延長が長く、かつ、右岸方向への流量集中とその補償流れという複雑な流れのため、水叩きや護床工の造成が困難となっていることの影響も考えられる。これらの面については局所流特性を環境水理学的に検討することが必要であり、同時に、流量によって変動する堰上の越流速と遡上魚・降河魚などの対応能力を十分に検討しなければならない。

一方、このように越流部の面積が広大であるということは、そこに付着するかなりの生物量を見込めることにもなり、洪水時の土砂流送に伴うそれらの剥離は、河口部の干潟を維持する有機物や栄養塩の供給に繋がるものとして、実態を解明することも課題となる。確かに、河口域への供給の絶対量となると、面積から判断すると流域からの直接流出量が支配的であると推察されるが、流域物質収支班の記述にもあるように、その大半は大洪水時のものであるので、平水から小洪水までの通常時における堰の役割について検討が望まれる。

### 3.3 堰周辺の水・物質循環解析に基づく生物生息場の形成条件とその評価に係わる課題

先に述べたように、これまでの環境調査によって堰上下流部の生物生息状況や水質・底質の変化の現況については資料が蓄積されてきたが、現在の研究レベルから見ると、さらに充実を図る必要性が指摘される。以前に指摘していた水域の流動現象に関する資料蓄積の障害となっていた測定の困難さも、現在では、河川用AD(C)P(音響ドップラー流向流速分布計:ADPが一般名称、ADCPはRD Instrument社の登録商標と聞いている)使用の一般化もあって、洪水時等特殊な場合を除いて、これは必ずしも大きな支障とはならなくなっており、実際既に前述の漏水調査には使用されている。こうした機器と多項目水質測定器などを組み合わせ、GPSや自動追尾型光波測距儀を併用し、また、試料を適切に採取して

以下に述べるような分析をすることで、流れと栄養塩に代表される生元素の物質フラックスを広域的に把握することが容易になってきている。このような試みによって、様々な流量段階について、堰上流側の湛水域の流れ場や、堰を流下した水流の混合拡散現象も加味した入退潮に伴う感潮域の流動特性についてはどんどん明確にできるようになってきている。有機物についてはBOD、CODばかりではなくてTOCが全体の指標となり、栄養塩なども含めて同位体比の計測も一般的に行われるようになってきているので、それらによって、付着藻類の一次生産の由来や消長などについても議論が可能となっており、生産者 - 消費者といった食物連鎖も明確に把握できるようになるなど、生物生息環境の内部メカニズムが議論できるようになっている。

しかしながら、最近の河川環境調査において、徐々に一般化してきている、上に述べたような一次生産から物質収支を積み上げて、環境の構造を解明するといった手法に基づいた調査は、第十堰の周辺については行われる状況に至ってはいない。こうした手法による研究調査は一般化してきたとはいえ、まだまだその実施は高価なものであるため、事前に十分な計画を立てて調査に臨まなければならない。こうした点が今後の大きな課題になっていると考えられる。その成果を活かして、水環境に関する数値シミュレーションを行っていけば、第十堰が現在有している環境機能がより明らかにされて、周辺環境に及ぼしている影響の的確な評価に繋がるものと推察される。

例えば、こうした測定・調査を通じて、汚濁負荷源と見られている神宮入江川と上堰と下堰との間の水域の働きが明らかにされ、また、付着生物について同様の調査を実施することで、堰や上流区間の石礫や砂礫床における一次生産量の見積もりが可能になり、堰の平面形状や石礫の分布と平水時の流れが創り出すハビタット構造の役割が解明できる。一方、堰下流の底質についても同様の調査を実施することで、シルト等の細粒分や有機物の分布と河床形状や流れとの対応関係などの調査結果に対しても、生産 - 消費の物理的・生物学的な内部機構に入り込んだ議論を行ってその環境面の役割を検討するが可能となり、河口部干潟への影響解明に関しても、こうした調査を実施していくことが望まれる。

また、生物調査結果についても、生息生育域の条件を河道の物理的（水理的）指標や化学的指標との関連から検討・考察していくことには論を待たないが、生産 - 消費という物質収支の観点から、塩分、水温、懸濁態物質濃度の計測に加えて、有機物・栄養塩濃度やそのフラックスについては溶存態・粒子態の別に計測する必要が指摘される。こうした調査時における採取試料の物理条件などを特定することによって、計測結果の代表性などについての情報を充実させていく作業が重要である。それによって、生物生息の現況に堰が環境へ与えている影響の評価も説得力を持つことになると考えられ、こうした計測の充実は、今後求められる技術的課題の一つである。

環境の評価や影響の予測にとっては、上述の溶存態・粒子態を区別した水質の形成機構や、有機物や微小生物を含んだ底質の形成機構を流れの物理的特性や河川内での生物・化学的反応との因果関係に基づいて、現象を適切に表現できる物質収支モデルを構築することが避けられない。このためには、例えば、物理的には水質物質の移流拡散機構に立脚し、生物学的には物質の代謝作用も組み込んだモデルを構築していくことが不可欠であり、このようなモデルの適用に当たっては、河川の場合、諸量の流出入フラックス条件についても、それらの時空間的特性を十分把握・解明する努力を続けていくことがとくに強調される。また、上述した計測の充実はこうした高度なモデルの検証には欠かせない事項である。

## 参考文献

- 1) 建設省徳島工事事務所、第十堰改築事業に関する質問へのお答え、p.9、1997.10
- 2) 国土交通省徳島河川国道事務所、第十堰の形状把握調査結果、5 .漏水量調査、p.5-1-5-2、2005.4
- 3) 国土交通省徳島河川国道事務所、第十堰の形状把握調査結果、2 .変状調査、p.2-1-2-102、2005.4
- 4) 国土交通省徳島河川国道事務所、第十堰の形状把握調査結果、3 .空洞化調査、p.3-1-3-4、2005.4
- 5) 国土交通省徳島河川国道事務所、平成 17 年度 第十堰の形状把握調査結果、2006.8