

7. ヘドロ問題をめぐる最近の話題

京都大学名誉教授 奥西 一夫

7.1 ヘドロの定義とヘドロ問題の略史

ごく最近になっても、「ヘドロの定義は確立されていない。したがって地球上にヘドロなるものは存在しない」という詭弁を弄する人達がいる。それは、ヘドロの存在を認めると自己の責任を問われるような立場の人達が、保身のために言っていることであって、学術的には無意味な言辞である。ヘドロの最も簡潔な定義は「河口・湖沼・湾の底に堆積した暗黒色の汚泥(日本語大辞典・講談社)」である。自由国民社「現代用語の基礎的知識」2002年版によると、ヘドロとは「元来、河口、沼、湖、湾のそこに堆積する超軟弱な泥のこと。神奈川県津久井郡などの方言とも、土木、漁業関係の職業語とも言われている。語源はハイ(灰)ドロ、イ(維)ドロなどの変化したものと云われるが定かではない。駿河湾、東京湾などの工場排水や産業廃棄物による公害問題では汚泥(汚染物質を含む泥)そのものをヘドロと言うようになった(宇井 純)」この定義は、工場排水などに起因して河口域や内湾に堆積したヘドロが深刻な公害を引き起こしたことが社会的に認知された時期に確立されたもので、「公害問題では」と断っているとおり、それ以外の原因で生成されるヘドロをも暗示しているが、それを含んだ定義は示されていない。このように、限られた分野や地域で使われていた言葉が一般化し、次第に概念が明確になっていった事例は数限りなくある。例えば「集中豪雨」という言葉はマスコミによって使われ始めたもので、明確な定義はないが、現在では定義が不明確なまま、学術用語として定着し、専門的な論文でも使われている。高安克己編「汽水域の科学」(たたら書房、2001) p. 38-47 では、対象地域を汽水域に限定しているが、ヘドロに関するかなり一般的でまとまった解説がなされている。

20世紀初頭の日本では急速な工業化(軽工業、繊維工業、食品工業が中心)に伴い、有機性の産業廃棄物が河口・沿岸域に大量に堆積してヘドロ化した。航行を困難にするために浚渫が必要なこともあり、その後の処理が困難なことから、以前から使われていた言葉を転用してヘドロと呼ばれたものと思われる。海面の変色など、景観上の問題も認識されたが、公害認識は当初は希薄であった。しかし、後に田子の浦などで製紙工場起源のヘドロが広範な漁業被害を起こすようになったことから、公害問題として大きな問題になった。

1950~1960年代になると重化学工業(コンビナート)の興隆に伴って河口・沿岸域で毒性の高いヘドロが堆積するようになり、有機水銀による水俣病など悲惨な公害病の発生が相次いだ。これはヘドロに含まれる有害物質が食物連鎖のなかで濃縮され、人間が食べる魚や海草が有害化したものである。そのために、毒性物質を含むことがヘドロの基本的性質であるとの認識が広まったようであり、上述の定義もややそれに影響されている。また、ヘドロ公害の発生メカニズムの研究が、主として水質の専門家によって行われたため、マスコミ等を通じて、ヘドロ問題ではなく水質汚濁現象として社会に伝達されたという側面もあり、社会的にはヘドロ自体の有害性が深刻な問題とは受け止められなかったように思われる。

1990年代になると、「公害の輸出」という形で、毒性の高いヘドロに起因する公害は開発途上国に広まっていたが、日本では新規発生はなくなり、被害補償やヘドロを安全化する処理が主たる社会問題となった。その一方では毒性物質を含まないヘドロ、特にダム湖から流出するヘドロ

による生態被害が、被害者によって認識されるようになった。しかし、ヘドロと被害の間の因果関係（止水域の嫌気的環境における泥質堆積物のヘドロ化とヘドロの還元作用による諸種の生理的悪影響）は必ずしも明確に認識されていなかったようである。そのため、社会的に知られないまま闇から闇に葬られたヘドロ被害は、1990年以前を含めて多かったのではないかと考えられる。国土研が多少とも関わった事例は次の3つである。

（1）三重県海山町の洪水時ヘドロ被害：1995年の台風時に、尾鷲湾に流入する銚子川にある関西電力口咲（くちすぼ）ダムで洪水放流が行われ、洪水氾濫が河口部で発生した。そのとき、河口付近のヒラメ養殖場にヘドロを含んだ氾濫流が流入し、ヒラメが大量に斃死した。同時に尾鷲湾の養殖筏でも大きな被害が発生した。関西電力は養殖筏の被害に対して、原因を追及しないという条件をつけて見舞金を支払ったが、その他の漁業被害については、因果関係がないとして補償を拒否したと言われている。損害補償を求めて提訴している養殖業者と弁護士からの相談が1996年に国土研に寄せられた。当時国土研では、1990（平成2）年に和歌山県日置川で発生した日置川の洪水被害と上流にある殿山ダムの放流の関連について調査を行っており、この洪水被害で氾濫流に含まれていたヘドロによる農作物被害があったとの証言を得ていた。ヘドロ問題はこの洪水被害に関する訴訟（いわゆる第一次訴訟）では主たる問題としては提起されなかったし、原告団委託による国土研調査でも本格的には取り上げなかったが、ダムからのヘドロ流出については大いに関心があった。しかし、養殖ヒラメの死因の特定、ヘドロが溶存酸素を奪うメカニズムの解明、などについて相談者が満足できるレベルの調査を行う自信がなかったため、調査委託を受けるには至らなかった。

（2）同じ1996年に富山県黒部市・入善町ほかの住民から、国土交通省が黒部川に建設中の宇奈月ダムの環境影響について国土研に相談があり、予備調査をおこなった。黒部川では1991年に関西電力出し平ダムの洪水時排砂が行われ、それ以後、排砂が行われるたびにダムに堆積していたヘドロが流出して、下流域、河口域、および河口周辺の沿岸にヘドロ公害を発生させていた。宇奈月ダムは黒部川水系の既存ダム群（すべて発電用）の下流に位置し、これらのダム群の尻ぬぐいをするような使命を持つ多目的ダムである。そのためこの相談内容は、ダム問題一般と黒部川水系のヘドロ問題を含むかなり大きな課題であった。当時漁業関係者や地元研究者がヘドロ流出問題の実態解明に乗り出していたが、まだ手探りの状態であり、国土研として調査をする場合、どこに焦点を当てるべきかを明確にできなかった。また相談者側の経済的制約も大きく、本格的な調査を開始することができなかった。

（3）日置川殿山ダムのヘドロ問題：上記の日置川第一次訴訟の間の1997（平成9）年に日置川で洪水が発生し、これについて、いわゆる第二次訴訟が提起され、国土研にも調査が委託された。その内容については本特集の主要部で詳述しているので重複を避けるが、それまでにおこなった調査の実績をふまえてヘドロ問題に取り組むことができると判断し、調査に着手した。この調査に並行して、黒部川水系のヘドロ問題について、住民側と国土交通省および関西電力側の見解がインターネットを通じて逐次発表されたので、これも参考にしたが、調査の多くは日置川の実態に合わせて独自におこなった。

7.2 ヘドロ問題に関する最近の知見

（1）ヘドロの一般的特性

前節で述べたように、ヘドロの認識は被害の認識から始まっており、被害形態に歴史的な変遷

があることを反映して、その定義も微妙に変遷している。河口域や内湾に堆積したヘドロが深刻な公害を発生させた時期には、海水域や汽水域でのヘドロの研究が進み、ヘドロの定義もそれに引きずられたきらいがある。しかしその後、ダム湖などの湛水域でのヘドロ形成が注目されるようになると、公害の原因として注目される以前に知られていたヘドロを含めて、ヘドロの一般的な形成メカニズムや存在形態が明らかになってきた。

三瓶（「汽水域の科学」たたら書房，2001）によると、「自然環境下で形成されるヘドロ状堆積物は、有機物に富むサブロベル(栗色で還元 的な底泥)とかユッチャ(骸泥: gyttia)と呼ばれる暗色～黒色泥(プランクトンや水生植物由来の有機物を含む)のことである。汽水域では湖水中に塩分躍層が形成されて湖水の上下混合が起こりにくく、貧酸素となるため良くみられる(図を参照)。人為汚染の有無に関わらず、このような有機質泥は湖底・海底の酸素を消費し、また栄養塩を低層・水に回帰させる性質を持っている。この性質は、度を越さなければ水域を肥沃にし豊かな生態系を保つことに一役買うが、度を越すと死の水底の原因となる。」そこに示されている図を図7.1として転載する。この図は汽水域に関するもので、塩分躍層のために底層水が貧酸素化するとヘドロが形成されやすいことを示しているが、湛水域では温度躍層が生じたり、水深が大きかったり、別の原因で水の鉛直混合が阻害されたりする場合には、底層水の貧酸素化が起こりやすい。また海水中には硫酸イオンが多く含まれ、それが還元されて硫化水素になると、それが堆積物中のプランクトン死骸などの有機物を変質させてヘドロを形成させるが、淡水の場合は堆積物中の有機物中の窒素化合物や燐化合物がその代役を果たしていると考えられる。またダム湖などではプランクトンの死骸よりも木の枝や葉などの堆積が多く、有機物の主な起源になっている。ただし、逆にヘドロの形成がプランクトンの異常発生の原因のひとつになっているようである。

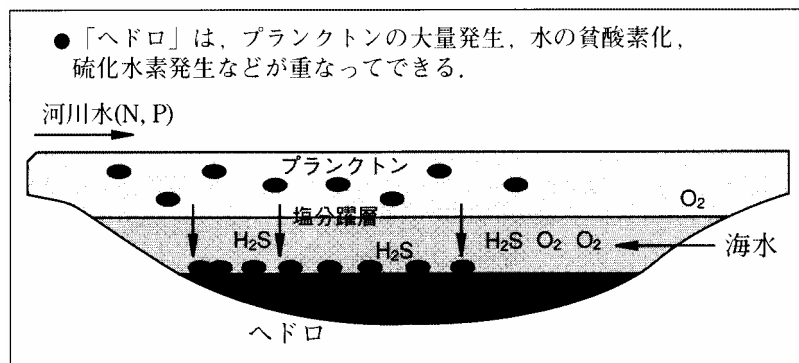


図 7.1 ヘドロの形成されやすい環境の模式図

ヘドロは文字通り泥質堆積物に属するが、他の泥質堆積物とは明らかに区別できる。両者の比較は表 7.1 のようにまとめることができよう。また、炭水性のヘドロと塩水性および汽水性のヘドロの違いは表 7.2 のように要約できるように思われる。ただし、炭水性ヘドロの生成過程でどのような生化学的変化が起こっているかがまだ十分明らかでないため、その内容は確定的ではない。

7.3 湛水域におけるヘドロ生成のメカニズム

湛水域でヘドロが生成される条件は、有機物を含んだ底泥が貧酸素状態におかれていることであると考えられる。そのような条件はダム湖以外でも、深い自然湖沼や、水が停滞する用排水路でも満たされており、実際にヘドロが生成されている。自然水域の底泥における生物・科学的プ

表 7.1 ヘドロと類似の泥質堆積物の比較

	ヘドロ	干潟の底泥	汚泥廃棄物
物理的性状	泥質	泥質	泥質
粒 度	細粒（シルト質）	細粒（シルト質）	細粒～やや細粒
粘 性	顕著	普通	場合による
水 分	高	高	場合による
有 機 物	豊富	豊富	場合による
毒性物質	場合による	なし	場合による
好氣的 / 嫌氣的	嫌氣的	好氣的	場合による
微 生 物	種類が少ない	種類が豊富	通常なし

表 7.2 淡水性のヘドロと塩水性 / 汽水性ヘドロの比較

	淡水性ヘドロ	塩水性 / 汽水性ヘドロ
粒子骨格の構造	分散構造	羽毛状構造
粘性の起源	間隙流体の粘性	粒子骨格の構造粘性
間隙流体	粘液	ほとんど無機質の水溶液
主要な化学的反応	メタン発酵	多様

ロセスについての研究は、これまでに多くなされているが、そのほとんどは窒素や燐の代謝のメカニズムという形でなされており、必ずしもヘドロの生成に焦点が当てられていない。また黒部川水系のダム湖におけるヘドロ生成に関しては、多くの研究者が関心を寄せているものの、ダム湖を管理する関西電力の理解・協力を得られないためか、ダム湖内における調査は行われていないようである。そこで本節では、前章までの記述と重複するが、殿山ダムにおける調査成果から、ヘドロ生成に関する部分をピックアップして取りまとめる。

殿山ダムでは、鳥根大学の石賀教授らによって、柱状採泥器を用いたヘドロの採取がダム近傍の水深が大きい数地点でおこなわれた。その結果、採取ヘドロは深さによって酸化色（茶色）を呈したり、還元色（灰色）を呈したりし、その鉛直分布特性は地点によって異なっている。また表面から 1cm ほどは泥水状の極めて緩いヘドロであるのに対し、それよりも下位はやや締まってケーシングから出しても自立できる程度であった。このことから、貯水池内では底質の堆積と再侵食が頻繁に繰り返されていることが推測される。これは洪水時にダムからの放流水が著しく濁ることや、平常時でも発電所から放流される水が濁って悪臭を放つことと対応している。また、ヘドロ試料の中にはひも状、気泡状、または塊状のガス空洞が多く含まれ、ヘドロの中でメタン発酵が進行していることが示された。これは底泥中の有機物がメタン発酵に伴って変質し、底泥がヘドロ化するプロセスを反映しているものと考えられる。底泥中の有機物の起源としては、図 7.1 に示されているように、プランクトンの死骸が考えられるが、黒部川水系のダム湖ではプランクトンの量が余り多くないにも関わらずヘドロが生成しており、ダム湖に流入した落ち葉の腐敗がヘドロ生成の原因と見なされている。殿山ダムにおいても同様であろうと考えられる。

そこで、水面からガスが泡となって放出されている水域と、その上流の淡水赤潮域（渦鞭毛藻の死骸が表層水に集積している区域）を含めて、貯水池内の多くの地点で、エクマン採泥器を用いた採泥調査がおこなわれた。その結果、上流側の淡水赤潮域では、水底が砂礫質のためにヘド

口は採取されなかった。そしてガス放出水域の上流端部では密集した落ち葉が採取され、落ち葉の間にヘドロが存在することが確かめられた。そこから下流方向にかけては次第に落ち葉とヘドロの割合が変化し、ガス放出域の下流端付近ではヘドロのみが採取された。このことから黒部川で推定されたヘドロ生成メカニズムが確認されると共に、ヘドロまたは底泥をヘドロ化する有機物質が貯水池の中でかなり活発に移動することが示唆された。

7.4 ヘドロの生成に関連した細粒土砂と有機物質の動態

山地斜面で生産される落葉や木の枝などの粗粒有機物は土壌表層で分解されたり、河川の上流部で水生昆虫の餌になったりして、細粒化されたり溶存態に変換されたりする。細粒化された有機物も下流に運ばれ、別の生物の餌になって、最終的には溶存態に変換される。しかし粗粒有機物が人工貯水池に直接流入して水深の大きい湖底に堆積すると、それが腐敗して、底質のヘドロ化が起こる。淡水赤潮の発生に代表されるような貯水池内の生態学的不安定は、貯水池における酸素の循環を阻害し、汚濁物質を堆積させ、変質させることを通じてヘドロの発生を促進しているようである。また逆にヘドロの生成と巻き上がりは、貯水池内の生態環境をより不自然で不安定なものにするので、淡水赤潮の原因の一つとなる。そして懸濁態で下流に放出されるヘドロは、河床礫を覆ったり、目詰まりさせたり、氾濫水とともに農地に流入したり、河口域に堆積したりして、あらたな生態系破壊を引き起こす。

自然河川ではヘドロは生成されない。そこでも多量の有機物質が運ばれているが、好気的な環境の中で、生物の作用によって分解されて次々と存在形態を変えてゆき、上流から下流にかけての生物相の変化と有機物質の変質・変態が調和している、一貫性のある生態系を形作っている。そしてそのような調和一貫性のある生態系は安定しており、多少の外乱が加わっても壊されることがない。

自然水系の中でも、深い湖沼によって有機・無機物質の輸送の連続性が断ち切られている場合も少なくない。そのような場合、湖沼深部では貧酸素状態であり、ここに堆積した有機物質はやはりメタン発酵などを受けてヘドロを作り出す。そして生成されたヘドロは湖沼から流出することがなく、ヘドロの堆積は深い湖沼が存在し続ける限り、半永久的に続く。関東平野の深い沖積堆積物が包蔵する地下水には大量のメタンガスが含まれていることはよく知られているが、これは地質的過去に存在した湖または内湾で堆積したヘドロが起源である。このように、いわば化石になりつつあるようなヘドロは環境から隔絶され、生態環境や人間環境に悪影響を及ぼすことはない。そしてヘドロを生成する湖沼は、河川系における物質輸送システムの中でシンクのような作用をしている。

人工貯水池（ダム）は、ある時には地表の好気的な環境から隔絶された嫌気的な水体となってヘドロを生成し貯留するが、蓄えられた水が放流されるときは、ヘドロが貯水池から出て行ったり、貯水池の中で攪乱されたりして、再び環境に露出され、有害物質として機能する。ヘドロが人工貯水池から放流される場合は下流区間や氾濫地で魚類や作物の生育を阻害する。人工貯水池内で巻き上げられたヘドロの作用については、現在の所はつまびらかではないが、いわゆる水質汚濁を引き起こす。そのプロセスの中には、水質悪化による特定プランクトンの異常発生（すなわち淡水赤潮）に象徴されるような生態的不安定が含まれ、貧酸素状態をさらに起こりやすくしているようである。その結果、

ヘドロの生成 / 堆積 ヘドロの巻き上がり 生態的不安定 ヘドロの生成 ・ ・ ・ ・ ・

という無限連鎖が起こり、そのなかで水域環境は無限に悪化を続けるということになっているのではないかと考えられる。

7.5 あとがき

黒部川や日置川の上流部のように、自然状態にあって汚濁物質がほとんど河川に流れ込まないような場合でもダム湖で大量のヘドロが発生することは衝撃的な事実である。ヘドロ生成の材料は落葉などの粗粒有機物が中心であることが経験的に言えるし、メタンガス発生域とその下流でヘドロの集積が確認されることから、メタン発酵がヘドロ生成の主要な生化学的プロセスであると推測されるが、そのメカニズムについては実証的な研究を必要とする。

ダム湖などの止水域では、黒部川水系によるダム排砂などの意図的なフラッシングがない限り、ダム湖内でのヘドロの移動やダム湖からのヘドロの流出はないと、一般に信じられてきた節があり、電力会社などは盛んにそのことを主張している。しかし、殿山ダムにおけるヘドロ採取調査により、メタンガス発生域で生成されたヘドロがダム湖の下流部分に運ばれてそこで集積していることが示唆された。また、ダム湖の下流で氾濫を生じるような流況下では、洪水調節機能を持たない殿山ダムからは大量の放流が行われるため、ダム湖内でヘドロの巻き上げが起こり、ダム湖から流出し、下流の河道内や氾濫域で生態被害を引き起こすことが明らかになった。なお殿山ダムでは、発電用に取水された水が川に戻される時、濁りと悪臭があり、洪水時でなくてもダム湖内でヘドロが巻き上がり、流出することがあることが分かる。しかし、ダム湖におけるヘドロの巻き上がりと再移動、再堆積のメカニズムについては、現時点では研究が不十分である。

黒部川水系では、ダムからのヘドロの放出によって下流河川や河口付近の海域で顕著な水産被害が起こり、生態系へのダメージが大きかったことが示された。日置川でも、殿山ダムの建設後、川の水が濁り、鮎の数が減り、質も低下したと言われる。また、河床礫の間の空間や河床礫の上にヘドロがたまって水生昆虫や付着性藻類の生育を阻害していることが観察される。洪水時にはこれらの河床ヘドロがフラッシュされるが、すぐに上流のダムからヘドロが流下して元の状態に戻る。また流下したヘドロは氾濫域だけでなく、黒部川水系で明らかになったように河口域の生態系に大きな障害を与える。従来はこのような生態系への障害は川の水の濁りが原因と考えられてきたが、それだけでなく、ヘドロの存在の影響も大きいものと考えられる。養殖池へのヘドロ流入によっても酸欠による魚の斃死が起こるといった事例が存在するが、ヘドロの生態系への影響については組織的な研究はまだない。

人工湛水域による懸濁態有機物質のヘドロ化が起こらない場合、流送される懸濁態有機物質は水生昆虫に食べられ、水生昆虫も魚によって食べられたりして、生態系の中に取り込まれ、排泄物などとして河川系に還元されたりしながら下流に流下する。このように、安定した生態系の中を流下する限り、懸濁態有機物質の流下が河川の自然環境に不安定な擾乱を与えることはない。しかし、人工貯水池の時間的に不連続な貯水・放流操作は明らかに貯水池内の生態系を不安定にし、淡水赤潮の発生に象徴されるような、リサイクルされないような有機物質の出現を引き起こしている。殿山ダムでは淡水赤潮（主に渦鞭毛藻による）とヘドロ生成の間には直接の関係は見られないが、生態的不安定現象を介して、両者は関係しあっているように思われる。しかし、このようなプロセスの解明はまだ不十分である。

人工湛水域におけるヘドロの生成は低層水に酸素を供給することによって防止できると言われている。小規模な池では比較的容易に実行でき、良い結果が得られているようである。ダム湖で

もいろいろな試みが行われているが、必ずしも良い結果が得られていない。ヘドロの生成は生態系と密接に関連していることに鑑み、ヘドロそのものをターゲットとするのではなく、ヘドロとそれに関わる生態系の改善という目的意識を持って環境改善を図る必要があるのではないかと考えられる。