

第3章 汽水域における人為的改変と河川環境への影響

3.1 汽水域で生起する現象

汽水域で生じる主な現象は、河川と海域の双方からの外力による土砂の移動と海水及び淡水の挙動に係るものに大別出来る。土砂の移動には、「河口地形の形成」と「河床・河岸の形成」がある。また、海水及び淡水の挙動に係るものとして「塩水遡上」と「貧酸素水塊の形成」がある。

< 解説 >

汽水域では河川や海からの自然の外力を受けてさまざまな現象が生じている。これらの現象の上に人為的改変が加わって汽水域の現象が変化する。自然の外力に対して人為的改変が大きい時、汽水域の環境が大きく変化し、人為的改変による問題が顕在化する。図 3.1 - 1 は、汽水域で生じている代表的な現象をイメージ図にしたものである。

汽水域では潮汐に伴う半日、半月周期の干満による流れと、時折生じる出水や強風・波浪による流れがあり、この流れにともなって、土砂の移動・堆積、塩分の混合等、複雑な現象が生じている。

出水時には河川の流れの影響が卓越し、海水や河床表層の細粒分はフラッシュされる。出水後の流量の低減時には流速の低下に伴って河口付近に土砂が堆積し、河口テラスが形成される。波浪の強い時は頂置面から土砂が運ばれ河口付近に堆積し、河口砂州が形成される。内湾では、波浪や潮汐流によって細かい砂や泥が移動・堆積し、干潟が形成される。

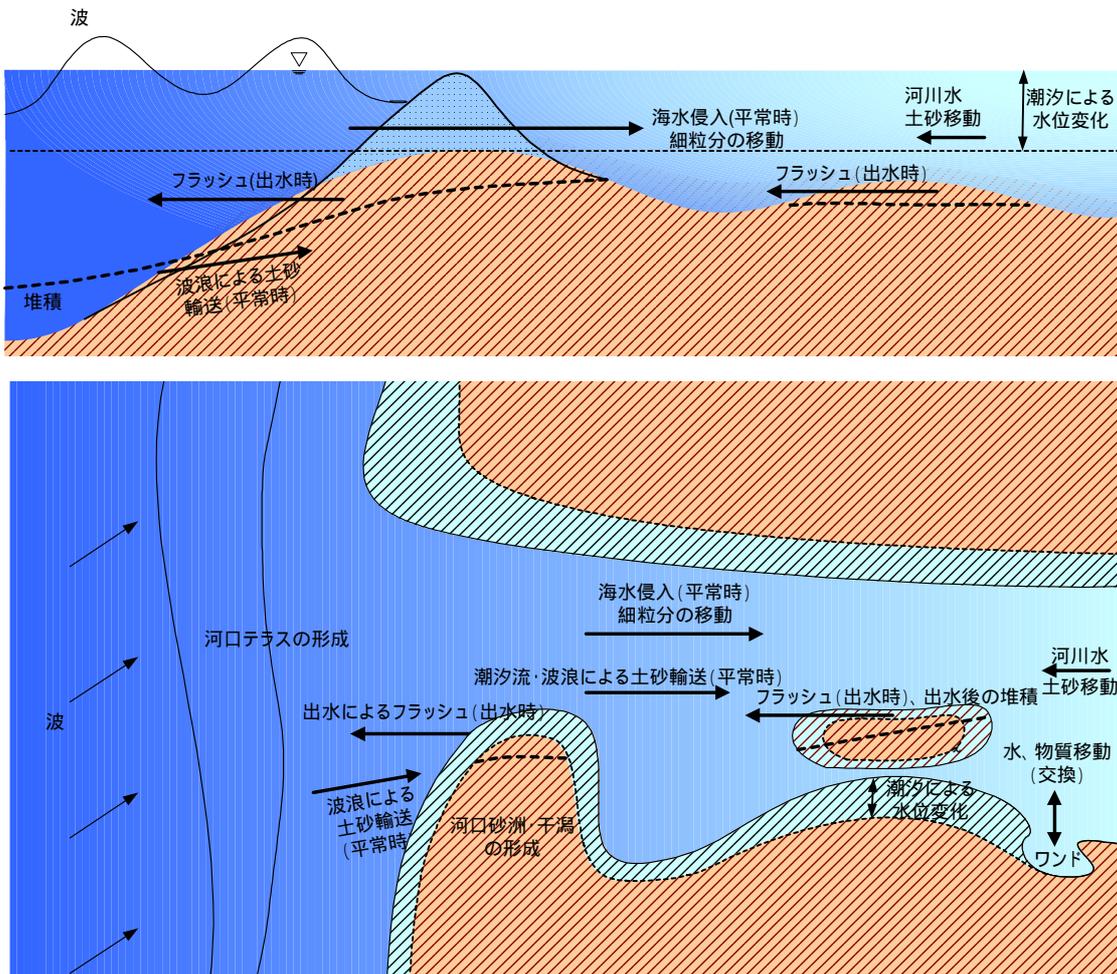
平常時は潮汐により水位（水深）が周期的に変化し、それに伴って砂州・干潟が干出と水没とを繰り返す。また、波浪や潮汐流により河床の底泥細粒分が巻き上げられ高濁度水塊を形成し、遡上流により上流に移送され堆積する。さらに、上流から流下して来た物質が海水と接して凝集沈殿を生じ、塩水くさび面で高濁度となる。

入退潮により淡水と海水がまじり合うが、その混合の状況によって塩分の濃度分布が決まる。潮位変動が少なく汽水域の長い河川では混合が弱く塩水くさびを形成しやすい。

淡水と海水の接する部分では境界面で混合を生じ、海水は淡水の流れに連行され下流に移動する。これを補う形で、塩水くさびの中を先端に向かう流れが生じる。（エスチャリー循環流）

海水が侵入する際に、淡水との混合が弱ければ塩分濃度躍層を生じ、表層からの酸素の供給が少なくなる。一方、水中や河床表層では有機物の分解等による酸素消費が進むため、河床付近に貧酸素水塊が形成される。

< 河口地形の形成、河床・河岸の形成のイメージ >



< 塩水遡上、貧酸素水塊の形成のイメージ >

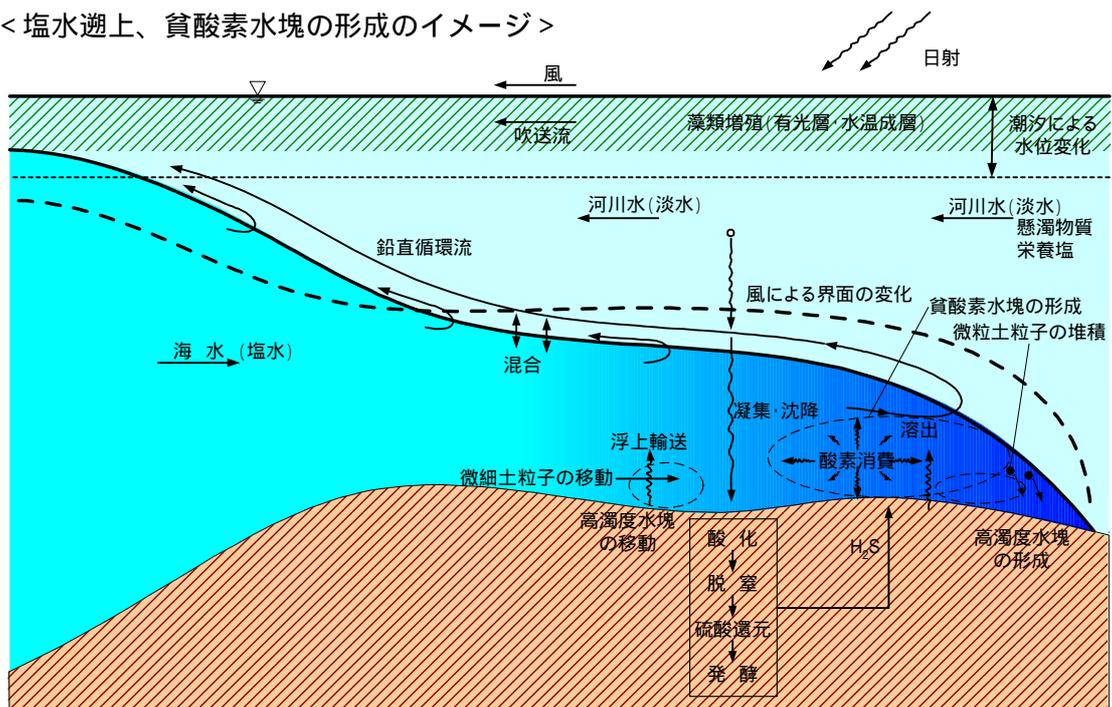


図 3.1 - 1 汽水域の代表的な現象のイメージ

3.1.1 土砂の移動に関する現象

土砂の移動に関する現象としては、「河口地形の形成」と「河床・河岸の形成」に大別される。

「河口地形の形成」に関しては、上流からの土砂供給や潮汐流、波浪および沿岸漂砂などにより規定され、「河床・河岸の形成」に関しては上流からの土砂供給、洪水時の掃流力、潮汐流および波浪などにより規定される。

< 解説 >

(1) 河口地形の形成

河口部には、波浪・潮汐流・河川流などの複数の外力が作用し、さらに密度流効果も重なるために、その地形変化はきわめて複雑である。

洪水時には河川の流速と水深の増により、河床に働く掃流力が大きくなって、河床の堆積土砂がフラッシュされる。洪水時の水位上昇が緩やかで、河口が開いている場合は、側岸侵食により砂州が徐々にフラッシュされる。完全閉塞している河口や部分的に開いている河口であっても、洪水時の水位上昇が速い場合には、洪水により水位が砂州を越えるようになり、砂州全体が一挙にフラッシュされる。このときの水位は、流量の増加に伴う砂州部開口河積の拡大が追従できないため、急激に上昇し、流量ピーク以前に河口水位のピークが現われる。このような現象は、中小河川でその傾向が強く、流量ハイドログラフの立ち上がり部分の流量変化速度や河口砂州高が大きく影響する。

河川から流出した土砂は、河口部における潮汐流と碎波に伴う海浜流とによって立体的な河口砂州を形成する。土砂供給の大きい河川では出水時に流出した土砂により河口テラスが形成される。内湾に面した河川においては、波による変形は少ないが、外海に面した河川においては河口テラスは変形され、汀線方向に運ばれ縮小する。

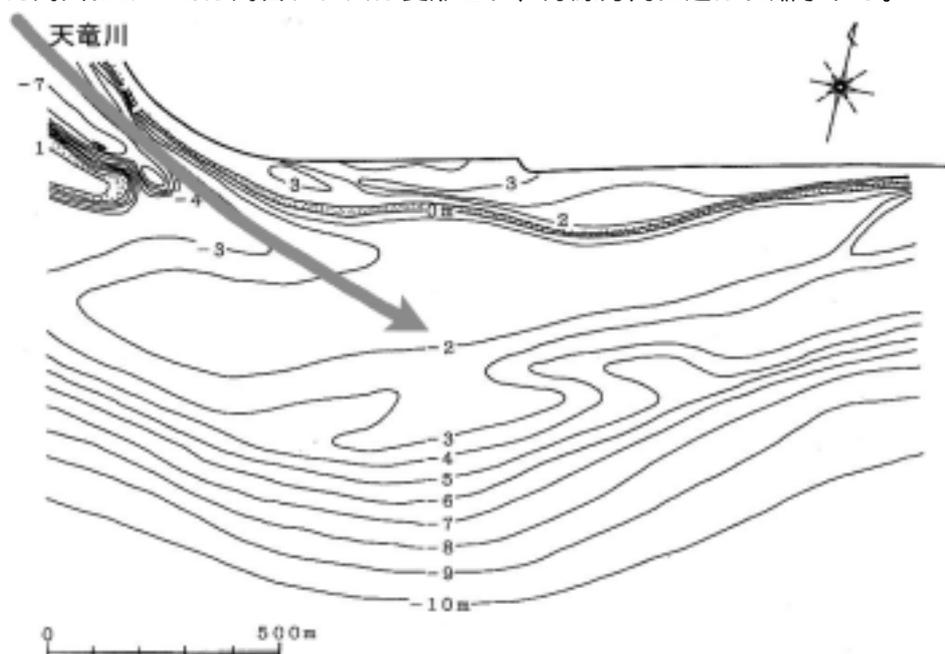


図 3.1 - 2 天竜川河口部の深浅図 (平成 5 年 9 月)

「土木研究所資料第 3281 号 河口地形特性と河口処理の全国実態 平成 6 年 6 月 建設省土木研究所河川部河川研究室」に加筆

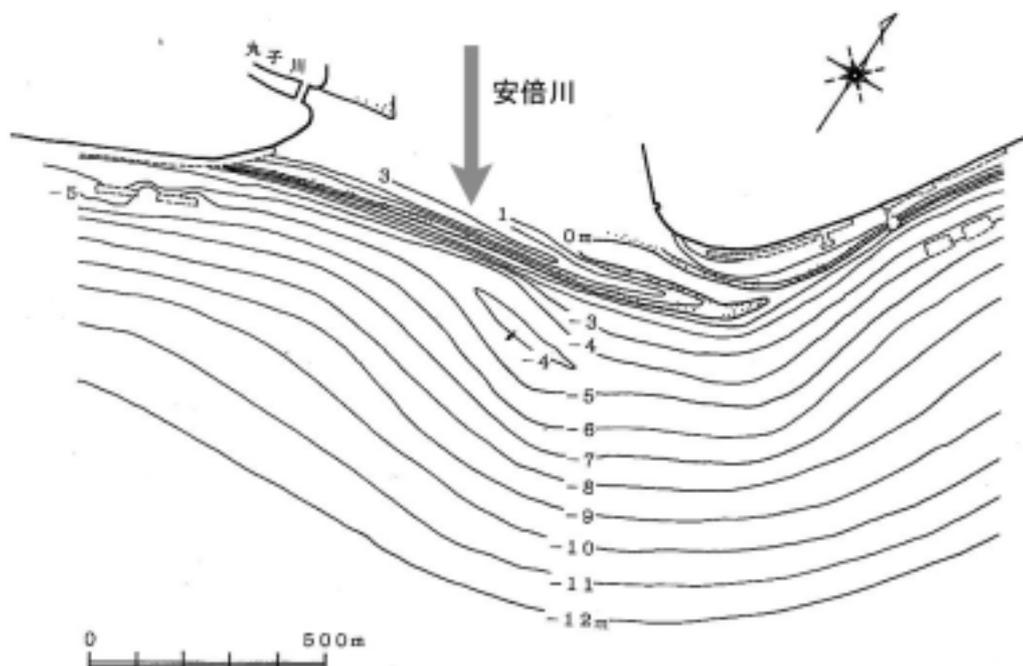


図 3.1 - 3 安倍川河口部の深浅図（平成 4 年 9 月）

「土木研究所資料第 3281 号 河口地形特性と河口処理の全国実態 平成 6 年 6 月

建設省土木研究所河川部河川研究室」に加筆

河口砂州の高さは波浪の波高、周期、海浜材料の粒径、海浜勾配に依存して変化し、波高が高く、周期が長く、かつ粒径が大きいほど砂州高は高くなる。

河口の開口部の位置は、河川流量や波浪条件の変化に応じて変動する。沿岸漂砂の卓越する海岸では、河口位置が沿岸漂砂の下手側に移動し、また元に戻るという変動を示す場合も多い。

導流堤等によって沿岸方向の砂移動が阻止される場合には河口位置の変動幅は小さくなる。沿岸漂砂が卓越している場合には上手側に土砂が溜り、下手側は河岸侵食が生じる。

河川からの流出土砂が多い場合には、河口部に土砂が堆積して河口が沖へ移動し、反対に河口上流での河床掘削などにより供給土砂量が減少し、沿岸漂砂によって運び去られる量との均衡が失われると、河口砂州は陸側へ移動する。開口部の幅や断面積は、潮汐流および河川流の作用によって広くなり、波浪の作用によって狭くなるといった変動を繰り返す。

なお、外海に面している河口では、掘削によって河口砂州を取り除いても、沿岸漂砂が河道内に入り込み、砂州が再発達する。



写真A 新宮川河口部の空中写真(平水時:平成2年5月29日)



写真C 新宮川河口部の空中写真
(平水時:平成2年10月30日)



写真B 新宮川河口部の空中写真(洪水時:平成2年9月20日)

平水時には(写真A),両岸から細長い砂州が伸びているために開口部は河口のほぼ中央に位置している。そして河口部の沖合では半円形状の碎波帯が見られることから,この当時開口部の沖側直近には浅い河口テラスが発達していたことがわかる。写真Bに示す洪水時の状況では,砂州の両岸でフラッシュが進行し,沖に向かって舌状のテラスが形成されている。河口砂州は河道中央部付近を残し,大部分がフラッシュされた。左右の流出状況を比較すると,左岸側の方が白濁領域の突出度が高いことから,洪水の主流部は左岸側にあることが推察できる。当河川では,平成2年9月30日には再び洪水が発生した。従って,10月30日に撮影された写真Cは洪水後,1ヶ月しか経過しておらず砂州は完全に復元されていない。右岸の砂州は砂州フラッシュ後の河道内への侵入波浪により,右支川を巻き込むように河道内へ発達形成された。その後,中央部の砂州の発達とともに右側開口部も浅くなり,やがて2つの砂州は結合され,右岸側の開口部は閉塞されるものと思われる。

図 3.1 - 4 河口テラス消長の事例

出典:土木研究所資料第3281号 河口地形特性と河口処理の全国実態 平成6年6月

建設省土木研究所河川部河川研究室

(2) 河床・河岸の形成

河床・河岸の形成は、上流からの土砂供給、洪水時の掃流力、潮汐流および波浪などにより規定される。

洪水時には、河床に働く掃流力により砂洲のフラッシュや河床に堆積された土砂が流出する。一方上流からは多量の土砂が供給され、特に流量低減時に汽水域に堆積し、河岸・河床を形成する。

平常時には、潮汐により水位（水深）・流速が周期的に変化し、それに伴って河岸や河岸前面の干潟（河岸干潟）が干出と水没とを繰り返す。また、波浪により河床の底泥細粒分が巻き上げられ、高濁度水塊を形成し、遡上流により上流に移送され堆積するなど河床において土砂の分級が促進される。

さらに、上流から流下して来た物質が海水と接して凝集沈殿を生じ、塩水くさび面で高濁度となる。

低水路幅・河岸高などの河道特性は河床材料の代表粒径や河床勾配で規定される。また平均年最大流量時の掃流力によって河床材料が規定されている。

河岸形状については河床材料と波浪などの外力および植生の存在によっても、河岸形状が規定されている。

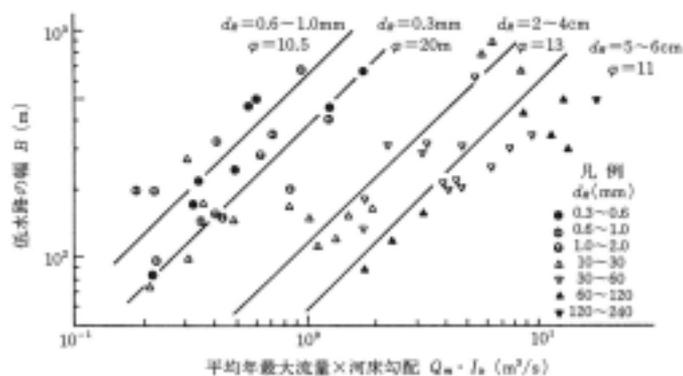


図 3.1 - 5 わが国の河川における低水路幅 B と $Q_m \cdot I_b$ の関係
 出典：「沖積河川学 堆積環境の視点から」山本晃一著 山海堂 P.45

コラム7：高濁度水塊の形成と移動

河川水中の浮遊懸濁物質（SS）は、海水と淡水の境界域や河口付近で沈降が促進され、河床上に高濃度SS水塊、いわゆる浮泥層が形成される。浮泥層の形成には、底泥の巻き上げや沈降、潮汐と河道内の地形特性に伴う水理学的影響なども関与している。また、SSが沈降する際には、水中の様々な物質を取り込みながら河床に沈積するため水中の汚濁物質を高濃度に集積させることになる。

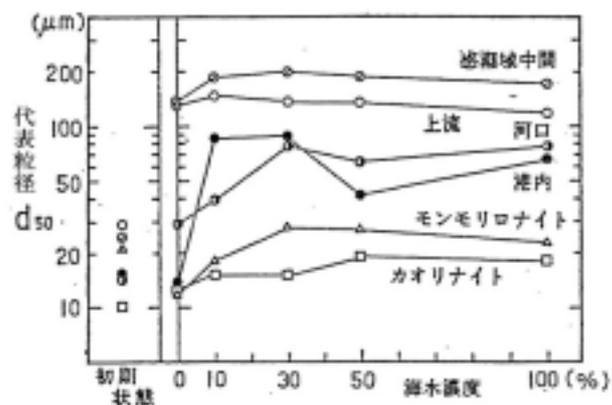
汽水域における堆積環境を支配する要因として、懸濁粒子の凝集作用がある。水中の粒子の沈降速度 W_s は微細な粒子の遅い運動に対する Stokes の流体抵抗則によって次式で与えられる。

$$W_s = (1/18\mu)(s - w)gd^2$$

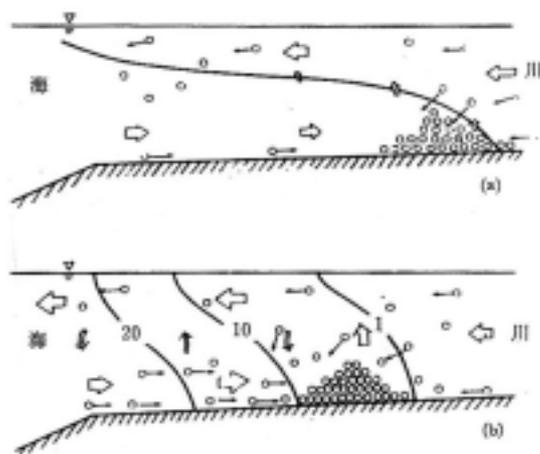
ここに μ ：水の粘性係数、 s ：粒子の密度、 w ：水の密度、 d ：粒子の直径、 g ：重力加速度である。

もし個々の粒子が数個合併して大きな粒子になると、粒子の間に水を取りこむので、その大きい粒子の見かけ密度 s はもとの粒子の密度よりは小さくなるが、直径 d の増加の影響の方（二乗）が大きいから、粒子の凝集によって大きい粒子ができると、その沈降速度は大きくなり、堆積が促進される。

凝集は、海水中の金属イオンの吸着、微生物の作用、流れ、波が複雑に関係している。右図は海水濃度と現地底泥等の代表粒径の関係を実験的に検討した例であり、10%程度で凝集が見られる。



海水濃度(割合)を変化させた場合の凝集による代表粒径の変化
 出典：「河口・沿岸海域におけるシルトの凝集と沈降に関する研究」
 第33回海岸工学講演会論文集 三村信男 他 一部加筆



Turbidity Maximum 出現の機構
 (a)弱混合、(b)緩混合（数字は塩分）

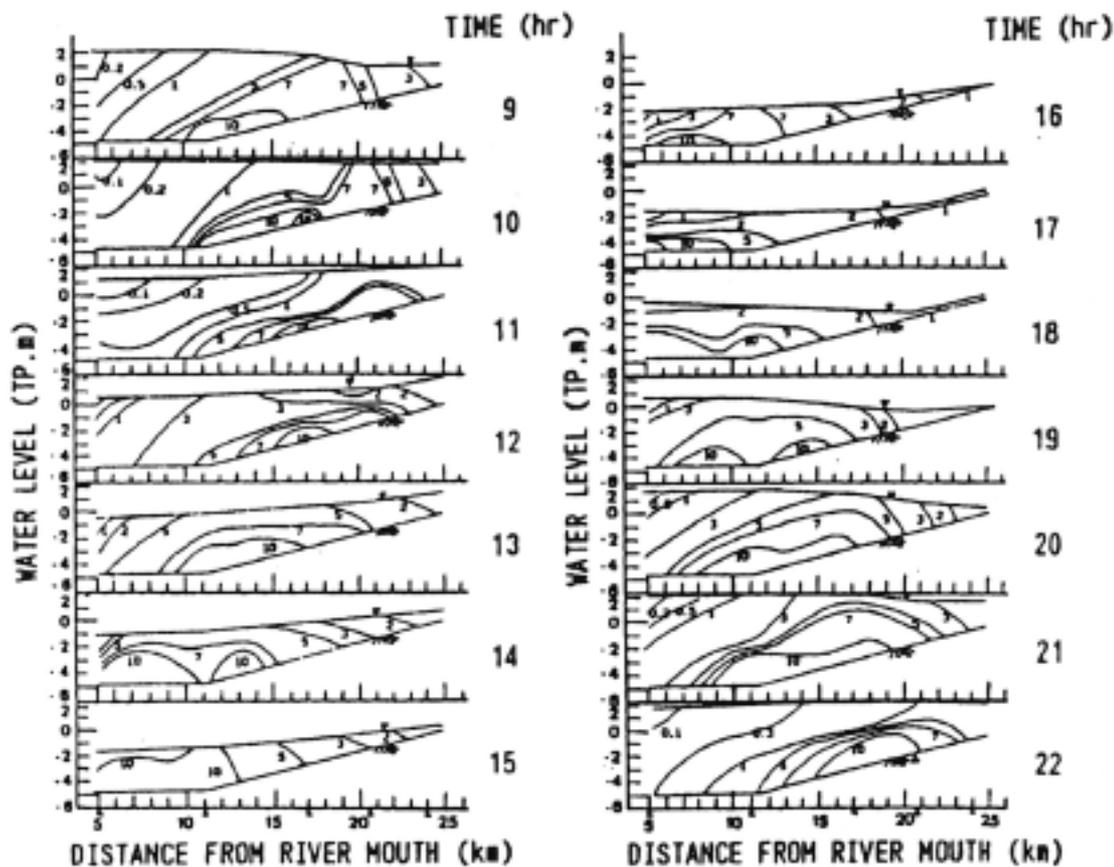
出典：「河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー」
 杉本隆成 1988 東海大学出版会 P8

また、汽水域では、潮汐流によって左図のように高濁度水塊が上流へ移送され、濁度最大域（Turbidity Maximum）を生じる。

下図には、六角川における高濁度水塊の観測例を示す。



佐賀県六角川現地調査地点



1983年11月20日における六角川縦断方向のSS濃度 (mg/l)

六角川における高濁度水塊の観測例

出典 : (財) 河川環境管理財団 (H12.9) : 「感潮河川の水環境特性に関する研究」 p154

3.1.2 塩水と淡水の挙動に係る現象

塩水と淡水の挙動に係る現象としては、「塩水遡上」と「貧酸素水塊の形成」に大別される。「塩水遡上」に関しては、潮汐流や河道の地形、河川流の特性などにより規定され、「貧酸素水塊の形成」に関しては塩水くさびの形状、流域からの負荷、底泥の状況、および気温などにより規定される。

(1) 塩水遡上

一般に河口部においては、海水と淡水の密度差により、海水は河川水の下に入り込んで力学的平衡に達しようとする流れを生じる。この場合、潮汐や河道の地形、河川流の特性等の影響により、淡塩水の混合状態が図 3.1 - 6 に示すように、弱混合型（塩水くさび）、緩混合型および強混合型の3種に分類される。

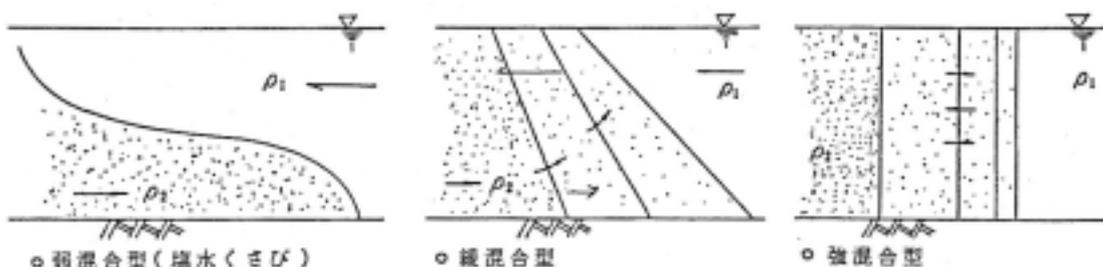


図 3.1 - 6 混合形態の分類

弱混合型は、海水と淡水の混合を促すような働きが弱く、両者は鉛直方向に二層の状態となり、内部の境界面は、そこに働くせん断力の作用によってある傾きを有し、一般に塩水くさびと称する形状となる。従って、混合現象の役割は小さく、異種の流体の相互運動という面が大きい部分を占める。

緩混合型は、ある程度乱れによって淡水と海水との混合が生じる場合で、密度の変化が鉛直方向に連続しているような状態である。強混合型は、鉛直方向の密度差がほとんどなく縦断方向に密度の勾配が存在している場合の状態を示す。しかし、このような混合形態の分類については、明確な定義に基づいたものではなく、またこれらに明瞭な境界が存在するわけでもない。

一般に潮位変動量の小さい日本海側の河川では弱混合型が多く、潮位変動量が大きくなると強混合型へと移行する。潮位変動量と周期は、月齢によって変化するので、混合形態もそれによって変化する。

洪水時において、流速条件や河床地形の状況によっては河道内に侵入した塩水が洪水時に残存することがあるが、洪水流量が増大し流速が大きくなると遡上した塩水はフラッシュされる。

(2) 貧酸素水塊の形成

汽水域は、河川の上流から供給される栄養塩により、栄養が豊富な水域となっている。また、周辺の都市排水の流入による水質の汚濁や河床への有機物の堆積が見られる。

河口潮位の変動が少ない弱混合～緩混合の河川では塩水くさびが発達しやすい。塩水くさびが来ると上層と下層の間の酸素等の物質交換が著しく減少する。この時、有機汚濁の進んだ河川では、有機物やアンモニア・亜硝酸性窒素などが酸化されるため、下層で急激に酸素が消費され、このため貧酸素水塊が形成される（躍層をはさむ上下層の密度差が発達し酸素飽和度が 40%以下になると拡大し、さらに 20%以下になると急速に無酸素化に近づく傾向がある）*1。酸素が無くなると、海水中に多量に含まれている硫酸イオンが硫酸還元菌により還元されて硫化水素が発生する。このような状況下では底生生物などが死滅するなどの影響を受ける。

* 1 「東京湾の貧酸素水塊」沿岸海洋研究ノート,26:99-100. 鬼塚正光 (1989)

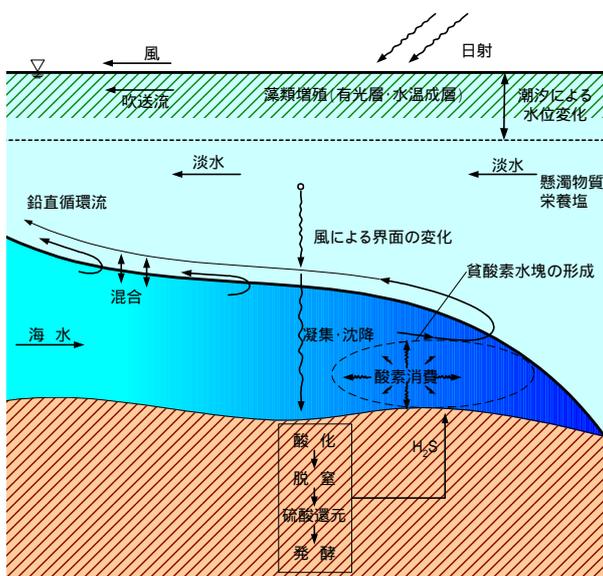


図 3.1 - 7 貧酸素水塊の発生機構模式図

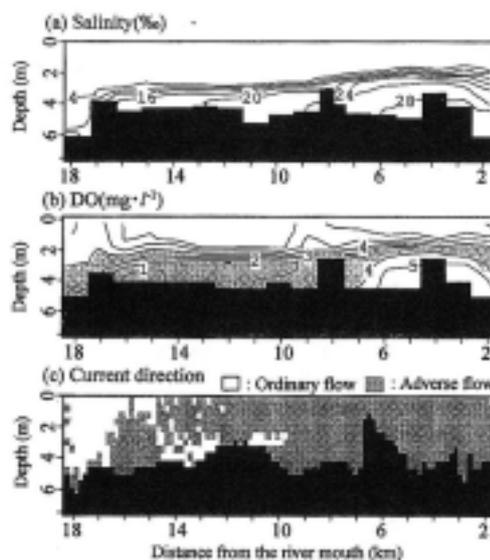


図 3.1 - 8 貧酸素水塊の挙動及び流れの構造

出典：感潮河川の水環境特性に関する研究
平成 11 年度 (財)河川環境管理財団

さらに表層水が強風などで一方の岸に押しやられると、それを補うように深層の貧酸素水塊が表層に湧昇してくることがある。その中に含まれる硫化水素が空気に接すると硫黄コロイドができ、光を散乱させて青みがかった色を呈するため、青潮とよばれる現象が生じる。これにより岸近くに生息する魚介類が死滅するなどの大きな影響を受ける。



図 3.1 - 9 青潮発生状況 (H14.8.20 千葉県提供資料)

3.2 汽水域に係る人為的改変

汽水域の河川環境を形成する要因には、洪水や濁水、あるいは波浪のような自然の攪乱によるものと、人為的な改変によるものがある。人為的改変には、河道の掘削、河口導流堤の建設、河口部の埋め立て、河口域での海砂採取、橋梁の建設、河口堰の建設などがある。

本手引書では、人為的改変とそのレスポンスの関連を整理し、あわせて調査・分析法を検討する。

<解説>

図 3.2 - 1 に示すように、汽水域は海と河川の双方の微妙なバランスの下に成り立っており、人や生態系に影響を与え、またそれらからの影響を受ける。この系に人為的な改変が与えられると系が変化する。人為的改変は汽水域における現象の変化を通じて人や生態系と密接に係わっている。

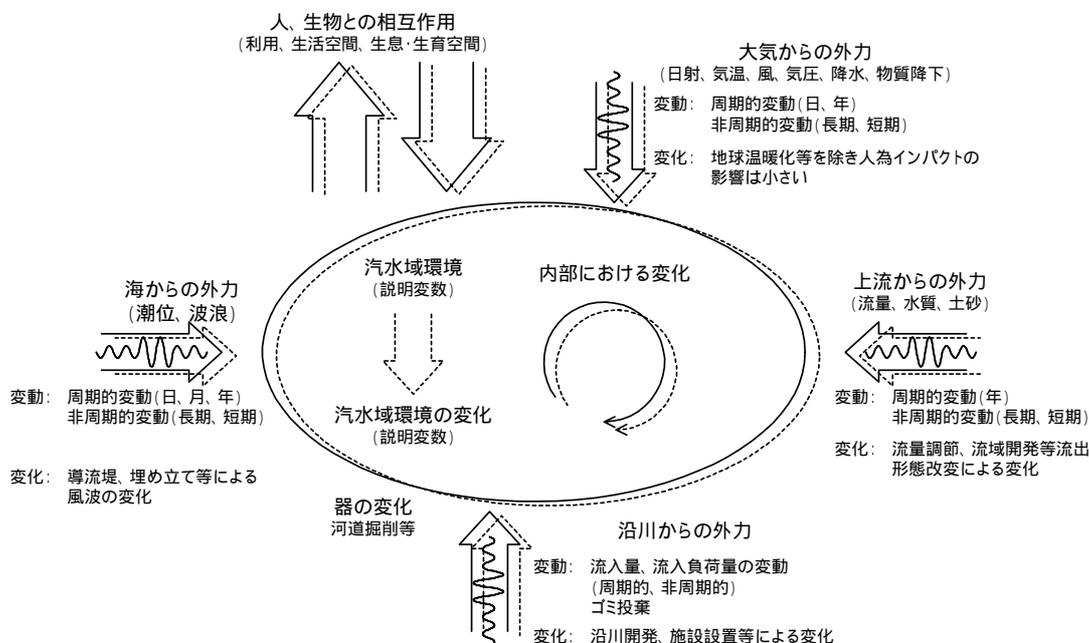


図 3.2 - 1 汽水域への外力とその変化の概念図

この図では変動を含む系において、人為による系の変化を「変化」と表している。

先に述べたように、汽水域は人為による改変が集中しやすく、図 3.2 - 2 に示すようにこれまで多くの人為的改変が加えられてきた。平成 15 年度において一級水系の管理事務所に行ったアンケートで見ると、戦後一級水系の汽水域に加えられた人為的改変として図 3.2 - 3 のようなものがある。

「橋梁の建設」が 129 河川中 105 河川、次いで「河道の掘削」が 68 河川、「河口導流堤の建設」が 37 河川、「河口部の埋め立て」が 32 河川、「河口堰の建設」が 29 河川、「河口域での海砂採取」が 9 河川、「放水路の建設」が 4 河川、「排水機場の建設」、「床固め」が 2 河川となっている。

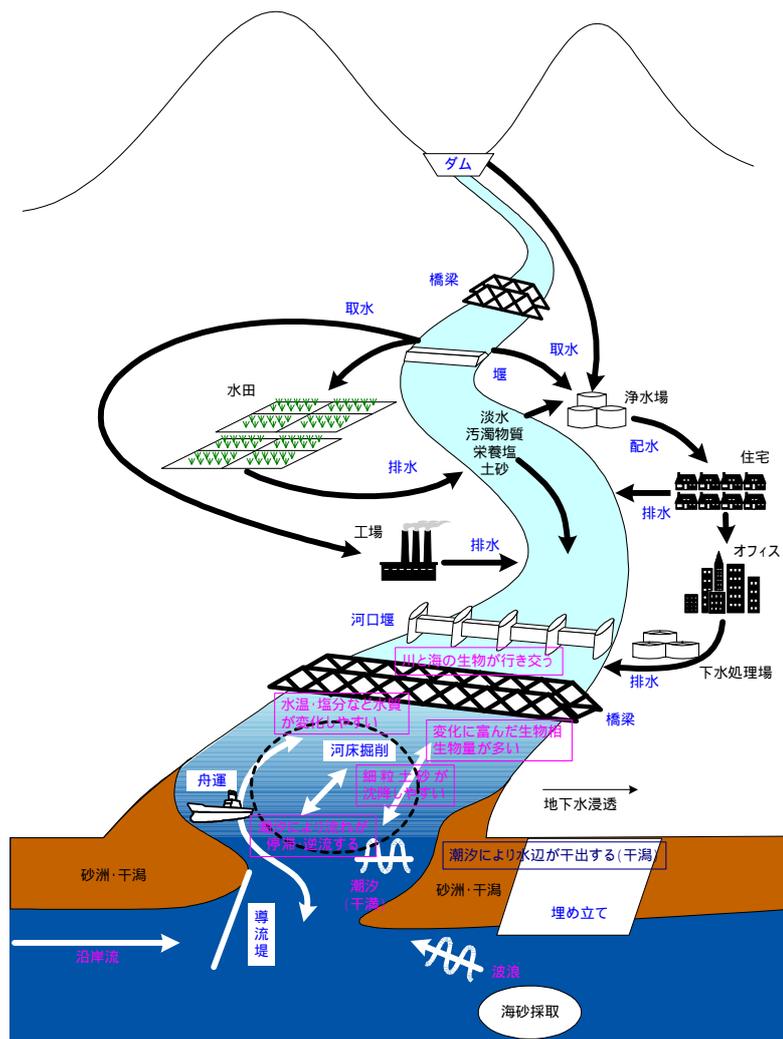


図 3.2 - 2 汽水域への人為的改変のイメージ

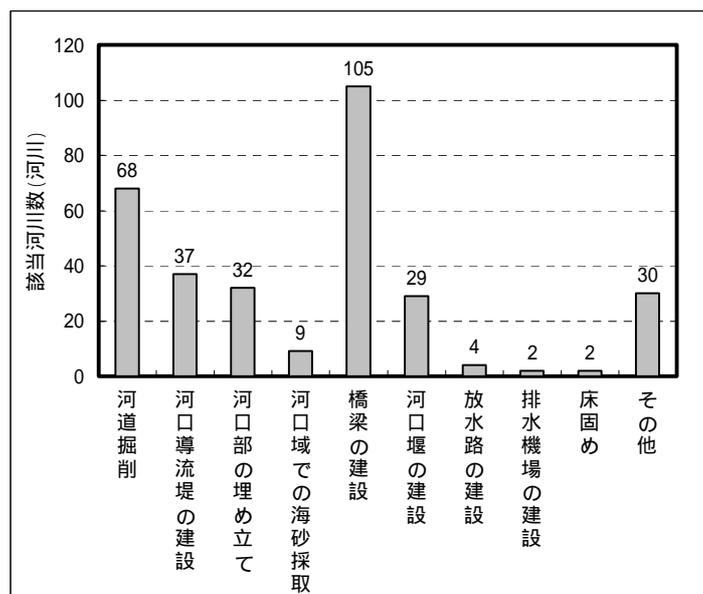


図 3.2 - 3 汽水域への人為的改変

(昭和20年以降、一級水系109河川 派川含み129河川でのものである)

3.3 人為的改変による河川環境への影響予測

人為的改変の内容によって生じ得る河川環境への影響は、シミュレーションや過去の事例を整理する等により行う。

なお、このような人為的改変に対する河川環境への影響は、即座に生じるものと段階を経て生じるものがある。特に生物への影響は、長い時間の経過の中で発生することも考えられ、本手引書に示す調査・分析に加えて、モニタリングにより監視をしていくことが大切である。

< 解説 >

(1) 対象とする人為的改変について

汽水域の河川環境を変化させる要因には自然の攪乱によるものと人為的な改変によるものがある。本手引書では、人為的な改変による影響の予測についてとりあげることとし、その中でさらに代表的なもの、影響の大きいもの、今後多数予想されるものとして次の5つの人為的改変を対象としている。

なお、「河口堰の建設」については、長良川や利根川等において河口堰設置後のモニタリング調査により、そのレスポンス等を具体的に把握しつつあることから、本手引書では対象としていない。

- ・ 河道の掘削
- ・ 河口導流堤の建設
- ・ 沿岸域の埋め立て
- ・ 河口域での海砂採取
- ・ 橋梁の建設

本手引書で対象とした人為的改変以外にも自然の攪乱（例えば洪水や濁水）が考えられるが、それらについては、できるだけ計算の与条件として扱うなどの工夫を行う。

(2) 人為的改変による河川環境への影響予測

人為的改変により生じる河川環境への影響は、人為的改変による現象の変化をシミュレートすることで、或いは過去の事例を整理することである程度予測が可能である。これに直接的改変の状況をあわせて現状の生物の生息・生育環境の情報と重ね合わせることで、汽水域の環境に対する影響を評価することが可能となる。

本手引書では図 3.3 - 1 に示すインパクト～レスポンスの連関をフローにまとめた。

なお、本検討では人為的改変による物理・化学的な変化を対象とした。レスポンスの結果生じる問題発生の判定のための基準は、調査研究途上にあり、今後ともさらに調査を推進し知見をとりまとめていく必要がある。

汽水域における人為的改変による河川環境への影響予測フロー

以下に人為的改変による河川環境への影響予測フローを、人為的改変とレスポンスとの連関を中心にとりまとめた。連関の強さや調査分析手法の技術的難易度を、線の太さや色により表現している。

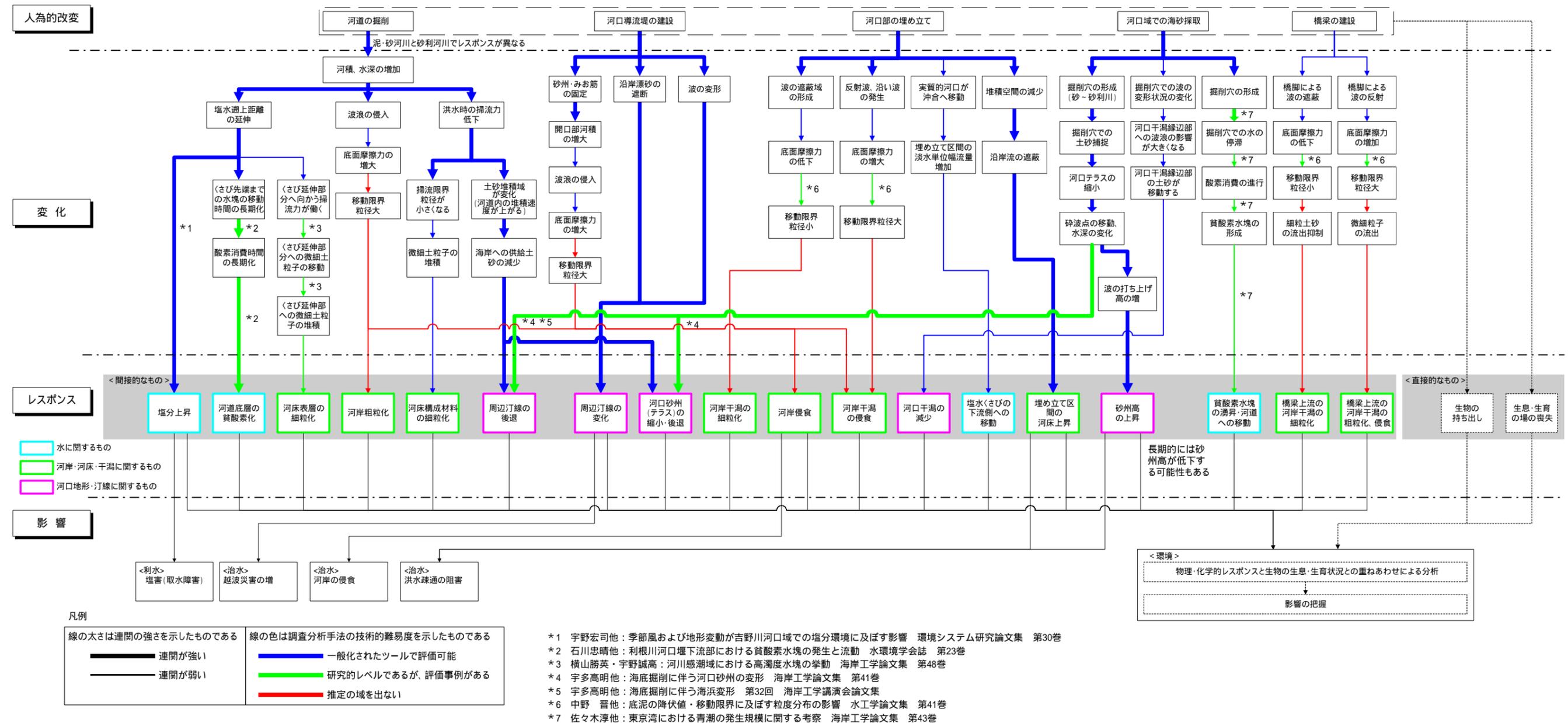


図 3.3 - 1 汽水域における人為的改変による河川環境への影響予測フロー

3.4 必要な現地調査

河川管理上、汽水域の河川環境を把握することや人為的改変による問題発生の可能性を判断する上で、当該河川の基礎的なデータを常日頃より把握しておくことが重要である。

< 解説 >

河川管理上必要となる基礎的なデータは下表に示すように、現況把握や一次判定のために定常的に収集しておくべきものと、二次判定が必要となった場合に追加調査を行うものがある。(p4 - 1 参照) また、影響追跡のために事後に実施するものもある。

調査段階	現況把握	一次判定	二次判定	影響追跡
分析手法	(変化図) (分布図)の作成等	他での事例比較 簡易なシミュレーション	模型実験 シミュレーション	モニタリング
基礎的なデータの収集方法	共通基盤として定常的に実施、関係機関による既往データの収集			
			必要なデータの追加調査	モニタリング項目を決めて追跡調査
収集時期	常時	計画時点		実施後

(1) 現況把握、一次判定のための現地調査

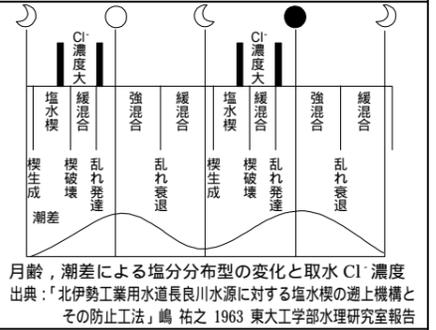
汽水域を管理していく上では、例えば上流から流れてくる水質が変わることによって、今まで起きていなかった河道底層の貧酸素化が生じることもあることから、環境の状況把握が重要であり、また人為的改変を行おうとする場合には当該水域での環境への影響の可能性を予測する必要がある。そのため表 3.4 - 1 に示す項目について現地調査を行い、当該河川の河川環境を常日頃より把握していく必要がある。

現地調査を行うに際しては、まず当該汽水域を活動の場とする地域住民や学識者などへのヒアリング結果や既存文献をもとに、調査の必要性や内容、視点を明確にしておくことが重要である。また、ハビタットは生物種によって非常に小さなスケールの場合があるため、当該区域の注目種などを考慮し、地形や植生についても細かく調査することが望ましく、浅場に広がるアマモ場、砂嘴の背後に発達する湿地、小水路の合流点やその滞などの特徴的な場を把握することが重要である。

なお、既往の調査結果については、これまでも汽水域における水文、水質調査等が行われてきたが、治水、利水の観点から行われている場合が多いため、これらのデータだけでは汽水域の環境に対する影響を適切に評価することが困難であることに注意が必要である。

表 3.4 - 1 必要な現地調査

調査項目	調査目的・把握する現象	調査場所	調査頻度	備考
河道縦横断形状	<ul style="list-style-type: none"> 出水、波浪、潮汐流による土砂移動 経年的な変化傾向とともに急激な、或いは大規模な変化が生じていないかどうか確認 	感潮区間内、縦断方向 200m ピッチ程度。合わせて河口海域（沖合方向前置斜面の先端まで、沿岸方向河口河川幅の3倍くらいまで、以下同じ）の地形（深淺測量）。	数年に1回程度、及び河床が大きく変化するような大規模な洪水の後。	定期縦横断測量として実施。ただし、水深の測定にソナーを用いる等、精度がやや劣るもののコストが小さく短時間で測定出来る簡便な方法を用いても良い。（現地調査手法の「ソナーを利用した河道横断形状の測定」(p調査-1)及び「ビデオ撮影による砂州動態観測」(p調査-2)参照) 河川砂防技術基準第9章河口調査 2.9 河川・海岸地形調査参照
河床材料	<ul style="list-style-type: none"> 出水、波浪、潮汐流による土砂移動による河床材料の経年的な変化の把握 ハビタットの概況の把握 	感潮区間内、縦断方向 1km ピッチ程度。合わせて河口海域の範囲で分布のわかる程度のメッシュを組む。横断方向には、低水路内の中央及び左右岸1点ずつの計3地点程度、低水路幅が広い場合等横断方向の河床材料が大きく変わる場合はさらに追加。鉛直方向は表層。ただし、河床表層に出水時にフラッシュされる層のある場合には、下層についても調査する。	数年に1回程度、及び河床が大きく変化するような大規模な洪水の後。	河川砂防技術基準第9章河口調査 2.6 底質材料調査参照
河口水位	<ul style="list-style-type: none"> 出水による土砂移動 	河口部、代表1点。感潮区域内の縦断的水位が観測出来ればベター（最低限大規模出水時の痕跡水位）既設観測所があればそれを活用する。	連続観測を行う。	河川砂防技術基準第9章河口調査参照 縦断的に水位を観測するためには多数の観測地点が必要であり、コストも考慮して簡易な水位計を用いても良い。（現地調査手法の「セパレート型の圧力計による水位の測定」(p調査-4)参照)
流量（水位観測とH-Q関係作成のための流量観測）	<ul style="list-style-type: none"> 出水、潮汐による土砂移動 	感潮区間の上流側地点。（なお、汽水域流量に大きく関与する途中流入地点があればそれも含む）既設観測所があればそれを活用する。	従来通りの水位流量観測	河川砂防技術基準第2章水位調査、第3章流量調査参照
潮位	<ul style="list-style-type: none"> 波浪による土砂移動（海岸、河道内） 潮間帯の把握 	河口海域、代表1点。近傍に既設の観測所があれば代用可。	平均潮位、朔望平均干満潮位、気象偏差を求める。	河川砂防技術基準第9章河口調査参照
波浪（波高、波向、周期）	波浪による土砂移動（海岸、河道内）	河口海域、及び感潮区間内で波浪の影響を受けやすい代表1点づつ。近傍に既設の波浪観測があれば省略可だが、地形により波浪は大きく異なることから、河口部の波浪を代表出来ること。	連続観測を行い、有義波高、波向、周期の頻度分布を求める。 1度求めれば毎年行う必要はなく、波浪に大きく影響するような地形の改変が生じた場合に行う。	河川砂防技術基準第9章河口調査参照 水位、波高・波向を同一地点で観測する（波高は水位計の電氣的平滑化をしないことで観測可能）などコスト削減に留意
風向風速	波浪による土砂移動（海岸、河道内）	河口域、代表1点。近傍に既設の観測所があれば代用可。	1時間毎。最低限1年間の特性を見る。	
塩分濃度分布*1	塩水遡上、貧酸素水塊の形成、土砂移動（凝集沈殿）	感潮区域内、縦断的には塩分濃度分布形状がわかる程度で少なくとも5～15断面程度、濃度変化の大きい河口付近や塩水遡上先端は密に測定。横断的には主流線上1地点。横断的に濃度変化が大きい場合は複数地点。鉛直方向は濃度変化の大きい河口付近や塩水遡上先端は密に測定。	大潮時、中潮時、小潮時の1潮時2時間おき程度。1度求めれば毎年行う必要はなく、入退潮に大きく影響するような地形等の改変が生じた場合に行う。 また、湧水により塩水くさびが深く侵入するような場合は、連続的な観測を行う。 風の特に強い日は避ける。	河川砂防技術基準第9章河口調査 2.7 水質調査参照。 右図に例示するように月齢・潮差による塩分分布型の変化があることから、半月周期（約15日間）の塩水挙動を捉えるのが望ましい。 短時間に詳細な塩分濃度を測定する必要がある。（現地調査手法の「塩分濃度の計測」(p調査-5)参照)
水温、溶存酸素濃度分布*1,*2	貧酸素水塊の形成	塩分濃度分布と同様。	塩分濃度分布と同様。	弱混合で塩水くさびが生じやすく、感潮区間の長い河川で行う。 塩分濃度と同時に水温や溶存酸素濃度の分布を測定するため、多項目水質計の利用が考えられる。（現地調査手法の「多項目水質計による計測」(p調査-7)参照)
濁度分布*1,*2	波浪、潮汐流、凝集沈殿による土砂移動	感潮区域内、縦断的には濁度分布形状がわかる程度で少なくとも5～15断面程度、濃度変化の大きい河口付近や塩水遡上先端は密に測定。横断的には主流線上1地点。横断的に濃度変化が大きい場合は複数地点。鉛直方向は濃度変化の大きい河口付近や塩水遡上先端は密に測定。	塩分濃度分布と同様。	塩分濃度と同時に濁度の分布を測定するため、多項目水質計の利用が考えられる。（現地調査手法の「多項目水質計による計測」(p調査-7)参照)
底質（酸素消費に係る有機汚濁、硫化物等）*2	貧酸素水塊の形成	感潮区間内、縦断方向 1km 間隔程度。	数年に1回春夏秋冬各1回	弱混合で塩水くさびが生じやすく、感潮区間の長い河川で行う。 底質調査を行う時は必ず溶存酸素濃度分布の調査も同時に行うこと
ハビタットの状況*3	ハビタットの把握（植生、地形、河床材料等）	地形、河床材料や植生について細かく調査することが望ましく、浅場に広がるアマモ場、砂嘴の背後に発達する湿地、小水路の合流点やその湾などの特徴的な場などを調査対象とする。	数年に1回程度、及び河床が大きく変化するような大規模な洪水の後。	水辺の国勢調査等生物調査と同時に行う。 ハビタットは生物によって非常に小さなスケールの場合がある。このため、当該区域の着目種などを考慮し、地形、河床材料や植生についても細かく調査することが望ましい。
生物（動植物）*3	生物生息状況	感潮区域内、河口海域及びその周辺 河床材料の変化を目安に選定する。	春夏秋冬	河川水辺の国勢調査等
生物（底生生物）*3	生物生息状況	感潮区域内、河口海域及びその周辺 河床材料の変化を目安に選定する。 横断方向左右岸（有れば中州も）について、潮上帯、潮間帯の上端付近、中間付近、下端付近、垂潮間帯の中央、河床最深部	春夏秋冬	汽水域は環境傾度が大きいことから、通常の河川区間よりも密に行う必要がある。



* 1 塩分、水温、溶存酸素、濁度を同時に測定するなど効率的な調査を行う。

* 2 貧酸素水塊や濁質の凝集沈殿現象を生じやすい泥・砂河川で行う。

* 3 アミカケはこの手引き作成における環境に関する保全対象を把握するための調査

表 3.4 - 2 汽水域の現象と一次判定のための現地調査項目との関係

現況把握のための調査														
現象	調査項目													
	河道縦横断面形状	河床材料	河口水位	流量	潮位	波浪	風向・風速	塩分濃度分布	溶存酸素濃度分布	濁度分布	底質	ハビタットの状況	生物(動植物)	生物(底生生物)
塩水遡上														
貧酸素水塊の形成														
河床・河岸・河岸干潟の形成														
河口地形・河口干潟の形成														

一次判定のための調査														
現象 (レスポンス)	分析手法													
	河道縦横断面形状	河床材料	河口水位	流量	潮位	波浪	風向・風速	塩分濃度分布	溶存酸素濃度分布	濁度分布	底質	ハビタットの状況	生物(動植物)	生物(底生生物)
4.3.1 河道の掘削によるレスポンスの調査・分析														
4.3.1.1 塩分上昇														
4.3.1.2 河道底層の貧酸素化														
4.3.1.3 河床表層の細粒化														
4.3.1.4 河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食														
4.3.1.5 河床構成材料の細粒化														
4.3.1.6 周辺汀線の後退、河口砂州(テラス)の縮小・後退														
4.3.2 河口導流堤の建設によるレスポンスの調査・分析														
4.3.2.1 河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食、周辺汀線の変化														
4.3.3 河口部の埋め立てによるレスポンスの調査・分析														
4.3.3.1 河岸干潟の細粒化、河岸干潟の侵食														
4.3.3.2 塩水くさびの下流側への移動														
4.3.3.3 埋め立て区間の河床上昇														
4.3.4 河口域での海砂採取によるレスポンスの調査・分析														
4.3.4.1 河口砂州の縮小・後退、砂州高の変化														
4.3.4.2 河口干潟の減少														
4.3.4.3 貧酸素水塊の湧昇・河道への移動														
4.3.5 橋梁の建設によるレスポンスの調査・分析														
4.3.5.1 橋梁上流の河岸干潟の細粒化、粗粒化・侵食														

注1)「底質」の調査は河床の材料調査に加えて必要に応じて、溶存酸素の調査と同様の測定位置について行う。

(2) 基礎データのとりまとめ

汽水域の物理・化学的環境とその周辺の動植物の生息・生育状況等については、現況の人為的改変による生物への影響を把握する上で重要な情報である。従って取得された情報を理解しやすくするため、図 3.4 - 1 ~ 図 3.4 - 6 に例示するようなまとめ方を参考として、とりまとめておくことが重要である。

<例1：風向、波浪の状況と河口部の地形の状況を整理した例>

河岸・河岸干潟、河口砂州の形成において波向と河口地形の関係を知ることは重要である。年間或いは季節別に波向分布図を描き河口地形と比較することで、汀線の形成過程や人為的改変を加えた場合のレスポンス発生の可能性を推察することができる。

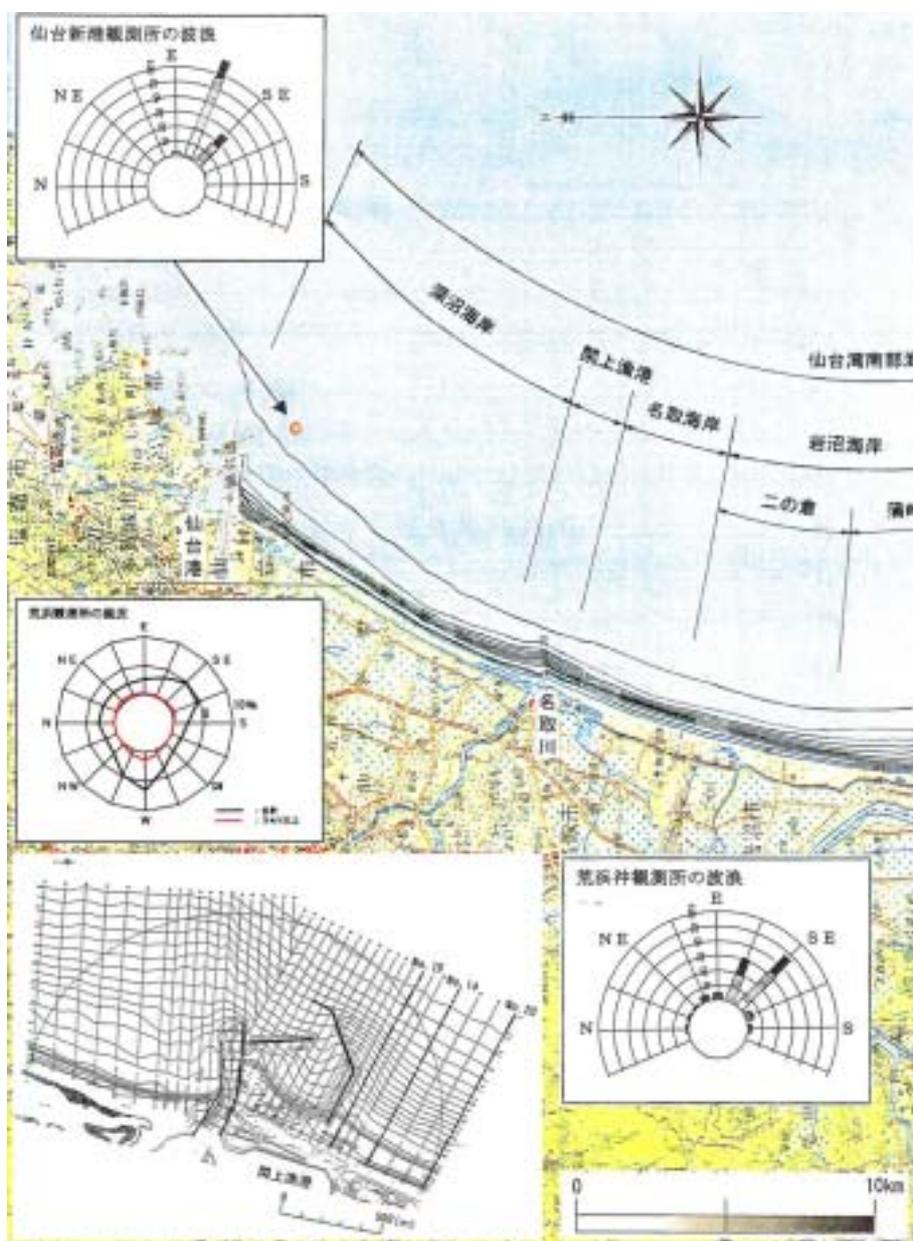


図 3.4 - 1 風向、波浪の状況と河口部の地形の状況を整理した例

出典：仙台湾沿岸技術調査委員会報告書（平成 12 年 10 月、建設省東北地方建設局 宮城県土木部）

<例2：塩素イオン濃度、溶存酸素濃度の縦断分布図を作成した例>

塩水くさびの侵入により淡塩界面における酸素の交換が少なくなると底層で溶存酸素が不足し、貧酸素水塊を形成しやすくなる。

塩水くさびは潮汐や河道の流量により変動するため、潮位変動と汽水域における塩素イオン濃度、溶存酸素(DO)濃度の状況を時系列的に整理しておくことで貧酸素水塊の発生を予察することもできる。

図 3.4 - 2 は時間毎の塩素イオン濃度および溶存酸素(DO)濃度の縦断分布をアニメーション表示したもののうち、8月19日4時(下段図内の赤点)の状況を示したものである。

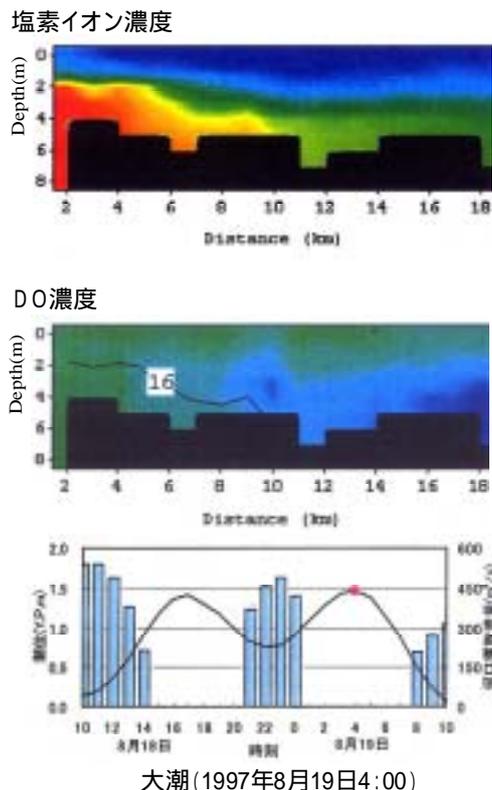


図 3.4 - 2 塩素イオン濃度、溶存酸素濃度の縦断分布図を作成した例
出典：利根下流河川事務所提供資料

<例3：水位、塩化物濃度、浮遊性物質濃度の経時的变化図を作成した例>

潮汐による塩水遡上によって河床の細粒分がまき上げられ高濁度水塊を形成する。例えば潮位、塩分濃度、濁度の変化を時系列に比較することで大潮の時に高濁度水塊が発生している状況を把握できる。

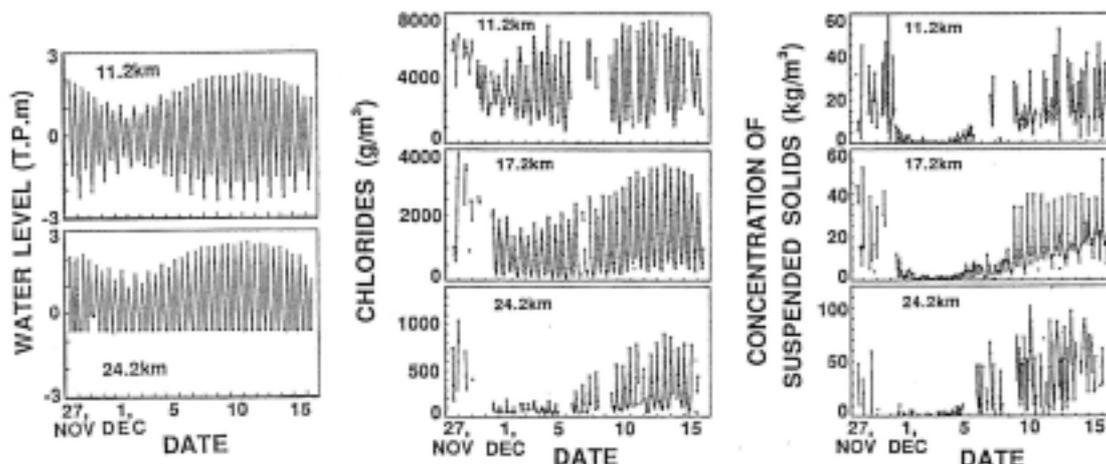


図 3.4 - 3 水位、塩化物濃度、浮遊性物質濃度の経時的变化図を作成した例
出典：強混合河川六角川感潮部における懸濁物質濃度の変動特性(土木学会論文集 452 二渡了 他)

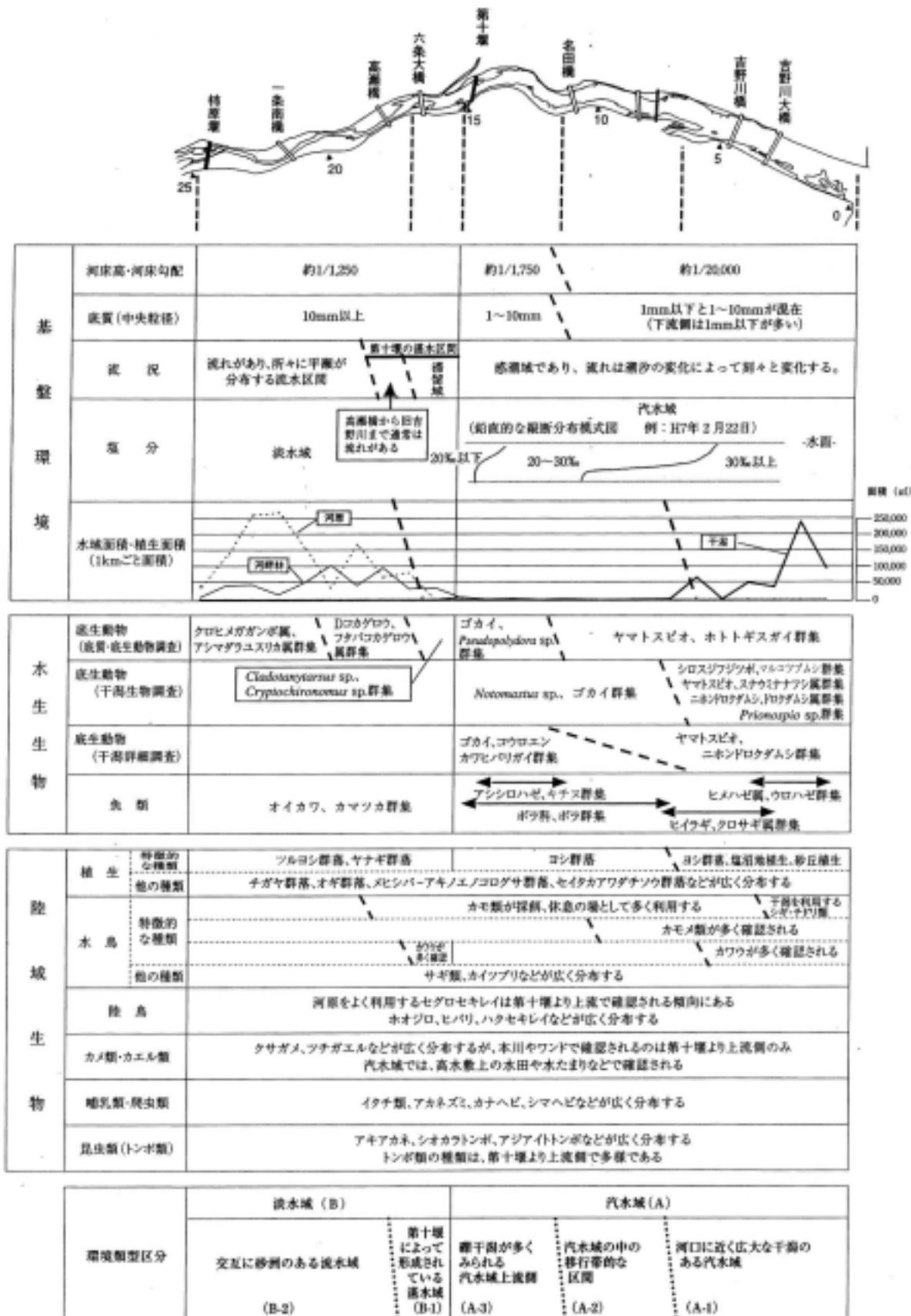


図 3.4 - 6 生息・生息基盤環境と生物群集による環境類型を区分して表した例(吉野川)
出典：平成12年度吉野川下流域環境影響調査検討業務委託報告書(H13.3)