

5. 厚真川における地震前後の土砂流出特性とシシャモ産卵場への影響に関する検討

久加 朋子¹・加藤 康充²・橋場 雅弘³・田鍋 颯一⁴・岡安 努⁴
山口 里実⁵・富田 邦裕²・今 日出人⁶・清水 康行⁷

Tomoko KYUKA, Yasumitsu KATO, Masahiro HASHIBA, Soichi TANABE, Tsutomu OKAYASU,
Satomi YAMAGUCHI, Kunihiro TOMITA, Hideto KON and Yasuyuki SHIMIZU

¹ 富山県立大学 工学部 准教授

² (株) 建設環境研究所

³ (株) 福田水文センター

⁴ 北海道大学 工学部 学生

⁵ 寒地土木研究所 河川グループ 主任研究員

⁶ (株) ドーコン

⁷ 北海道大学大学院 工学研究院 教授

要 旨

3年目となる本年度は、厚真川下流域におけるシシャモ産卵場適地および地震後の影響把握を目的とし、(1) 地震前後の厚真川における土砂輸送特性変化の把握、(2) 過去11年間のシシャモ産卵場に関する調査データ（北海道提供）の分析と統計モデルの構築および2次元流れ・河床変動解析による産卵場適地の抽出、(3) 2次元流れ・河床変動解析による高濃度浮遊砂の堆積特性について検討し、今後のシシャモに着目した河川管理について考察した。結果、既往の水文観測データを用いた整理により、厚真川における浮遊砂輸送量は地震後に増大していることが確認された。シシャモ産卵場については、既往のモニタリング調査データを用いた統計解析の結果、産卵適地は粗砂分が多く、底層流速0.4 m/sの場所が該当した。これらの調査結果を反映させた数値解析では、厚真川における産卵適地である河床近傍流速の平面分布は、冬季の平均日流量（4.4 m³/s）である5 m³/s付近で変化することが示された。流量が5 m³/s以下の場合、産卵適地は頭首工下流のKP5.0～KP6.5付近に集中する。一方、流量が8～10 m³/s程度の場合、低水路内の産卵適地はKP6.5より上流側に移動し、その範囲も広がる。これより、低流量～高流量まで一連で対応できる産卵場が少ないことが確認された。一方で、地震後に増えた細粒土砂は主に河岸付近へ堆積し、低水路への堆積は少なく、シシャモ産卵場への影響は小さい可能性が示唆された。

《キーワード：厚真川；胆振東部地震；シシャモ；浮遊砂；産卵場》

5. 1. はじめに

北海道の漁業資源であるシシヤモ (*Spirinchus lan-ceolatus*) は太平洋側西部にのみ生息しており、これまでに優良な産卵場として鶴川、十勝川、新釧路川、沙流川、厚真川などが知られている¹⁾。しかしながら、2018年9月6日、北海道胆振地方東部を震源とする直下型地震 (M6.7) が発生し、6,000箇所を超える表面崩壊が発生した²⁾ など。厚真川上流域の崩壊地面積は流域の約11.1% (29.0 km²) にのぼり²⁾、今後、降雨に伴う細粒土砂成分 (火山灰由来) の流出と河道内への堆積がシシヤモ産卵場に与える影響が懸念されている (漁業関係者等への聞き取り調査)。

シシヤモは遡河回遊魚であり、成魚は10~12月にかけて沿岸から河川へ遡上して産卵し、卵は翌年4~5月に孵化する。シシヤモの産卵生態については成果が比較的まとまっており、現地調査結果^{1) 3)} などによると、産卵床は主に水深0.02~4.0 m、底質の粒径0.425~2.0 mm (粗砂成分)、底層流速0.3~0.6 m/sの場所に存在すると報告されている。また、調査結果をもとに行われた室内実験⁴⁾ では、成魚の遊泳能力および産着卵の剥離しやすさから、河床材料よりも、底層流速0.6 m/sec未満の場所への選好性が強いと確認されている。産卵床に対するシルト・クレイの影響については、堆積厚4 mm以上での生残率低下が確認されている。これまで、シシヤモの資源量低下要因については、遡上親魚尾数の少なさ、河川水温の低さ、海水温の寒暖差などが影響すると指摘されている⁵⁾ が、シシヤモの資源量低下に対する産卵場物理環境変化の影響に関する研究は非常に限られている。

地震後の厚真川にて懸念される、シルトのような細粒土砂が河道内に多量に供給された場合の堆積特性については、幾つかの知見がある^{6) 7) 8)} など。既往実験によると、細粒土砂は蛇行流路では低水路よりも砂州上に堆積しやすい⁶⁾ が、直線河道の交互砂州では砂州前縁直下の低水路に堆積しやすいようである⁷⁾。厚真川下流域は比較的緩勾配 (1/1200 ~ 1/1640) の直線河道であるが、一部、産卵実績の高い場所に蛇行部 (KP6~KP 7付近) がある (後述)。地震後の厚真川では降雨時に高濃度濁水の発生が確認されており、今後の影響予測および河川管理の検討には、現況の産卵適地を把握したうえで、細粒土砂の堆積特性を把握することが必要と考えられる。

そこで、本研究では厚真川下流域におけるシシヤモ産卵場適地および地震後の影響把握を目的とし、(1) 地震前後の厚真川における土砂輸送特性変化の把握、(2) 過去11年間のシシヤモ産卵場に関する調査データ (北海道提供) の分析と統計モデルの構築および2次元流れ・河床変動解析による産卵場適地の抽出、(3) 2次元流れ・河床変動解析による高濃度浮遊砂の堆積特性について検討し、今後のシシヤモに着目した河川管理について考察した。

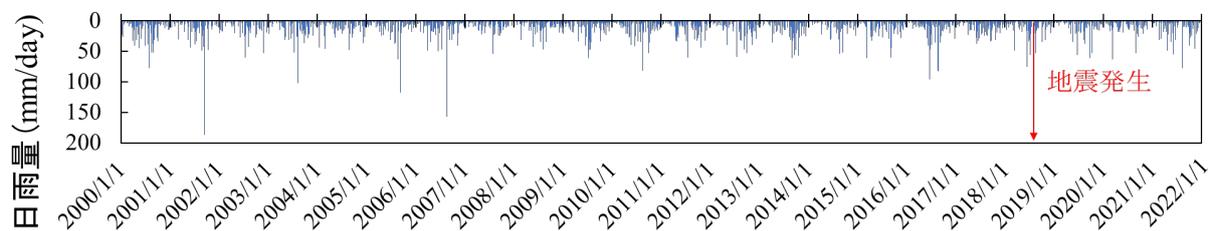


図5-1 AMEDAS (厚真) による24時間雨量の経年変化

5. 2. 厚真川諸元と観測・調査地点

5. 2. 1. 厚真川諸元

厚真川は幹川流路延長52.3 km, 流域面積382.9 km², 河床勾配1/400 (厚幌ダムから厚真大橋付近までの) ~1/1200 (厚真大橋付近から河口付近) の二級河川である。図5-1に, AMeDAS (厚真) における24時間雨量の経年データを示す。厚真川流域は比較的降水量の少ない地域であり, 過去20年間では4度のみ, 24時間雨量が100 mmを超える降雨が記録されている。過去の最大24時間雨量は2001年の187 mmであるが, 2007年以降は100 mmを超える降雨はなく, 地震発生後の最大24時間雨量は2019年に61 mm (9月23日), 2020年に63 mm (3月10日), 2021年に77 mm (8月10日) が観測されている。このため, 本研究開始時点において, 厚真川流域では崩壊地からの大規模な土砂流出の発生が懸念されていたものの, 今日 (2021年12月時点) までにそのような状況は発生していない。

5. 2. 2. 既往の観測, 調査データ

図5-2に, 厚真川における雨量・水位・流量観測地点である厚真大橋観測地点 (KP16.7 km, 流域面積230 km²), 経年的な水位と濁度調査が実施されている共栄橋観測地点 (KP9.0 km, 流域面積269 km²), シシヤモ産卵場調査およびシシヤモ親魚遡上調査箇所を示す。本調査では, 北海道より以下の経年観測データの提供を受けた。

厚真大橋では, 1時間ごとの水位・流量データが2015年1月から取得されている。共栄橋では, 1時間ごとの濁度データが2015年4月から, 1時間ごとの水位・流量データが2020年4月から取得されている。この他, 厚真川本川の複数の場所において, 工事等の実施に併せて濁度測定と採水調査が毎年実施されており, 地震前の2015年から地震後の2020年まで, 毎年若干の場所の違いはあるものの, およそ年30箇所程度における濁度 (NTU) とそれに対応する浮遊物質SS濃度 (mg/l) が揃っている。

シシヤモの産卵場調査 (図5-2) はKP 2.0 ~KP 12.0 kmの範囲で毎年実施されている (遡上上限はKP 13.0 kmの堰)。調査地は1 km間隔で設置された各測線上にて, 左岸, 中央, 右岸の3か所の調査点が設けられている。調査にはコドラート枠 (25 cm×25 cm) を用い, 枠上での底層流速の計測, サーバーネット (網目0.3 mm) を用いた河床材料の定量採取, および河床材料への産着卵の有無と卵数確認 (1 m²

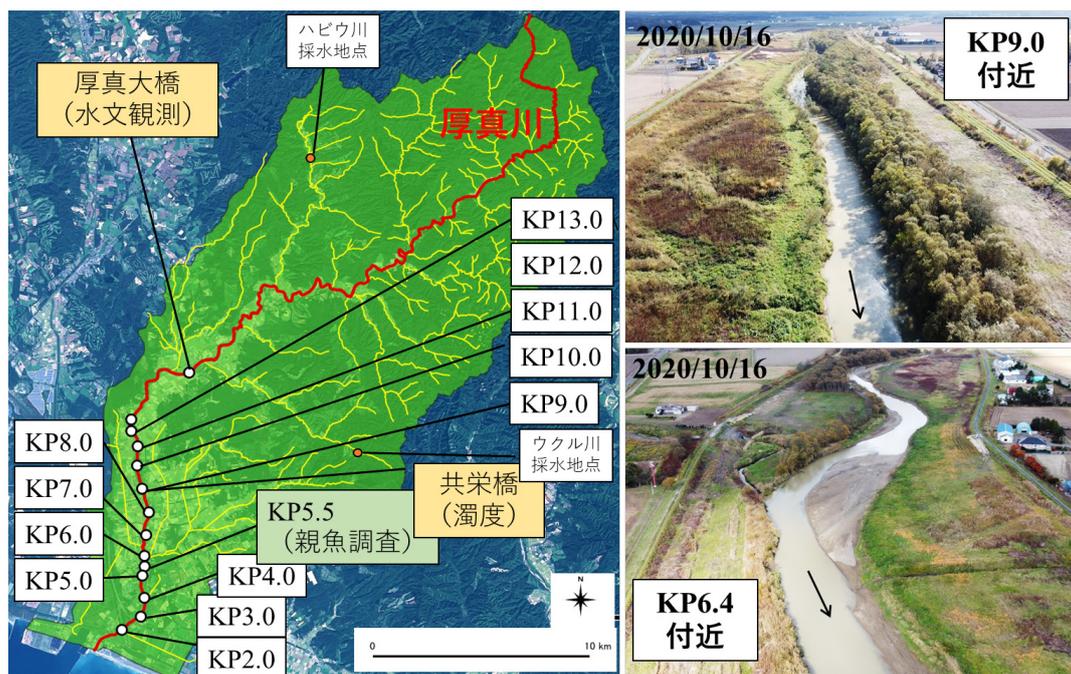


図5-2 厚真川の水文観測地点, シシヤモ産卵場調査 (KP2.0~KP13.0) と遡上調査 (KP5.5) 地点

データへ換算)が実施されている。その他、KP 5.5 km (頭首工にて3時間定置網)では、定置網を用いたシシャモ親魚の遡上調査(3時間/日)が実施されている。産卵場調査は1994年から実施されているが、本検討では流量データが揃う2010年から2020年まで計11年間を対象とする。

5.3. 水文観測データの分析

5.3.1. 観測データ(SS濃度)の整理方法

共栄橋観測地点では、2015年から濁度観測データが存在する。ただし、前述のとおり、2020年を除き、厚真川本川における水位・流量データは厚真大橋で記録されており、濁度観測地点と位置が異なる。このため、共栄橋観測地点の流量には2020年5月～12月の期間は実測値を用い、それ以外の期間は両地点の流域面積比(日本域表面流向マップにて算定)を用い、厚真大橋で観測された流量を1.21倍した換算値を用いた。濁度(NTU)と浮遊砂濃度SSとの対応には、厚真川本川にて2015年から実施されている30か所程度での濁度測定値と採水調査結果を用い、濁度(NTU)と濃度SSとの関係式を以下の式から与える(図5-3)。

$$C = 1.3616D^{0.9055} \quad (1)$$

ここに、 C はSS濃度の実測値(mg/L)、 D は濁度(NTU)である。図5-3から分かる通り、濁度が高濃度域になるほどSS濃度とのずれが大きくなるものの、相関係数は0.86と比較的高い。これより、式(1)を用いて共栄橋地点で観測された濁度をSS濃度へと換算した。さらに、共栄橋観測地点の流量 Q を用い、通過した浮遊砂量 Q_s を求めることで、地震前後における流量と浮遊砂量との関係($Q - Q_s$)の変化を調べた。なお、ここで求める $Q - Q_s$ の関係式は、後述する数値解析にて上流端から流入する浮遊砂量としても用いるものである。

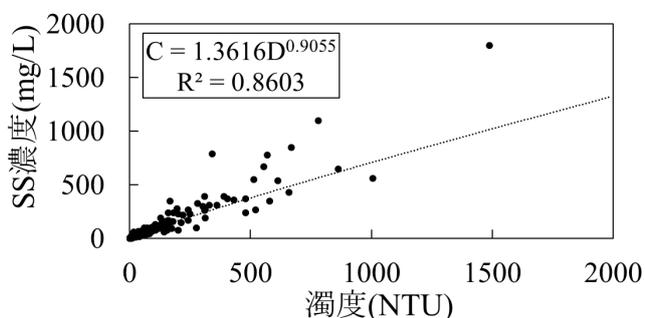


図5-3 厚真川本川における濁度(NTU)と浮遊砂濃度SSとの関係式(2015-2020年採水調査結果)

表5-1 共栄橋での最大流量、累積浮遊砂量

年	年最大流量(m ³ /s)	累積浮遊砂量(m ³)
2015	70	1,740
2016	284	15,870
2017	欠測	—
2018	欠測	—
2019	36	4,470
2020	23	2,000

5.3.2. 地震前後のSS濃度、浮遊砂量の実測値の比較

図5-4に、共栄橋観測地点における2015～2021年における降雨強度、流量、SS濃度、および浮遊砂量を示す。流量データは、2015年から2019年が厚真大橋データの換算値、2020年が共栄橋地点での実測値である。なお、2020年の流量データを用いて実測値と換算値とを比較したところ、相関係数は0.70であり、換算値はある程度の精度があると判断した。

図5-4より、各調査年の観測データの欠損値の少ない5～12月(8か月間)を比較する。表5-1に、各々の観測年の最大流量、および通過した累積浮遊砂量の値を示す。地震前後について、出水規模と浮遊砂量を比較すると、2016年の出水が最も大きく、近年で最も多量の浮遊砂が河道内を輸送されたことが分かる。一方、出水規模とSS濃度を比較すると、たとえば地震前の2015年に比べ、地震後の2019年の最

大流量は0.5倍程度と少ないにもかかわらず、通過した浮遊砂量は2.5倍程度に増加していることが分かる。これらの結果は上述した支川での観測データも示す通り、地震後の厚真川では、降雨時、小流域に点在する崩壊斜面から厚真川本川へと細粒土砂が流入していることを示すものといえる。

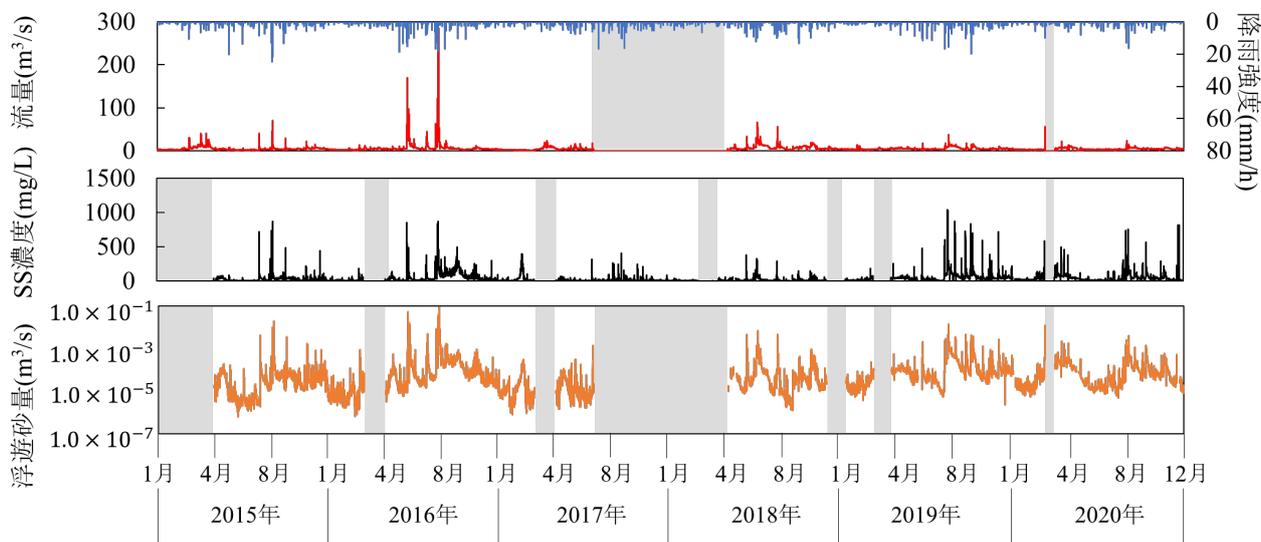


図5-4 共栄橋観測地点における降雨強度，流量，SS濃度，浮遊砂量の経年変化，降雨量はAMeDAS（厚真）を示す．灰色部は欠測期間を表す．流量データ（2015～2019年）は厚真大橋データからの換算値を示す．

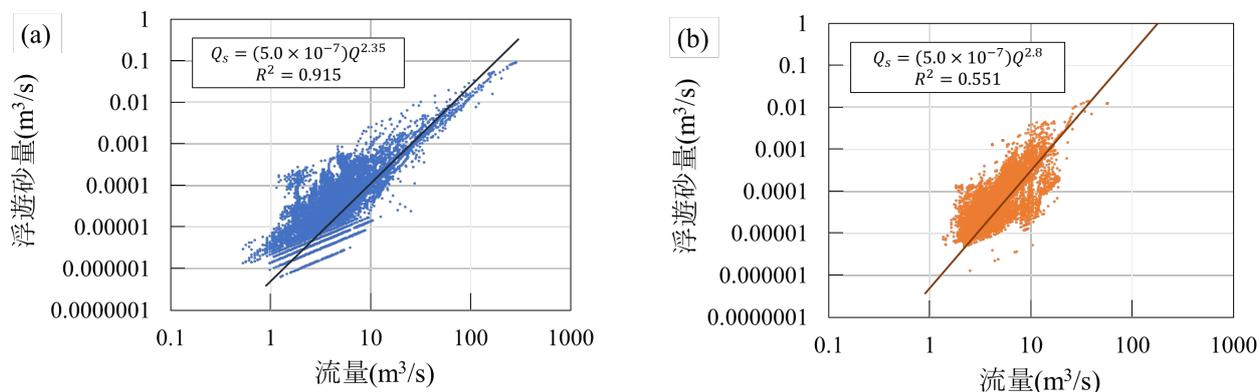


図5-5 共栄橋観測地点での流量と浮遊砂量（ $Q-Q_s$ 式），a) 地震前，b) 地震後

5.3.3. 地震前後の $Q-Q_s$ 関係式

続いて、浮遊砂流入量がどの程度増加しているかを把握するため、図5-5に、共栄橋観測地点における流量 Q と浮遊砂量 Q_s との関係を示す。図5-5に示すとおり、地震前に比べ、地震後の流量と通過SS量との相関係数の値は若干低いものの、流量と通過SS量とは一価関係にあると仮定し、指数式で最小二乗式をあてはめて以下の相関式を得た。

$$\text{(地震前)} \quad Q_s = (5.0 \times 10^{-7}) Q^{2.35} \quad (2)$$

$$\text{(地震後)} \quad Q_s = (5.0 \times 10^{-7}) Q^{2.8} \quad (3)$$

$Q-Q_s$ 関係式より、厚真川共栄橋での通過SS量は、地震前は流量の2.35乗に比例していたが、地震後は2.8乗に比例するように変化したことが確認された。

5.3.4. 浮遊砂の粒度分布

図5-6に、参考として、調査位置は異なるものの出水時におけるハビウ川 (N42.81,E141.94) およびウクル川 (N42.68,E141.97) での採水資料の粒度分布を示す。図より、0.075 mm以下の成分がいずれの資料でも85%以上を占めることが分かる。

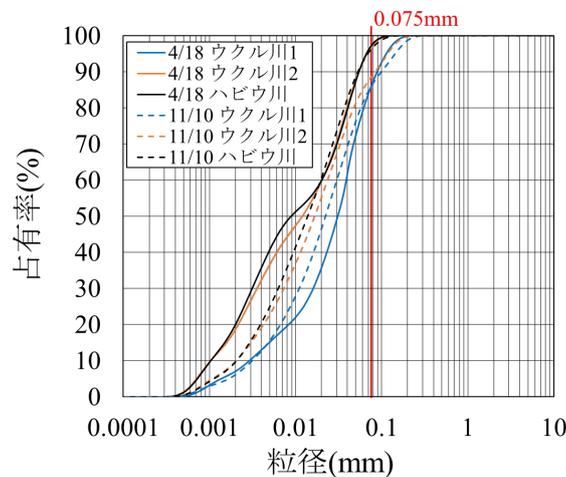


図5-6 ハビウ川とウクル川の粒径分布 (2021年 4/18, 11/10 の採水調査結果)

5.4. シンヤモ産卵場データの分析

5.4.1. データ整理方法, 統計モデルの構築

厚真川下流域における物理環境とシンヤモ産卵数の時間的な変化を把握するため、2010～2020年の日流量、河床材料の縦断分布、シンヤモ親魚数と産着卵数を整理した。日流量については、シンヤモ産卵・発育期に該当する12～4月のみを対象とした整理も行い、後述の数値解析に用いている。

続いて、産卵場として、どのような物理環境を選好しているか確認するため、統計モデルを作成した。モデルには、年度ごとのばらつき等による過分散をランダム効果（解析対象ではないが無視できないバラツキ）として考慮可能な一般化線形混合モデル（GLMM: generalized linear mixed model, 確率分布: 二項分布, リンク関数: logit) を用いた。モデルの目的変数には着卵の有無を、説明変数には河口からの距離 L (km), 調査地点の水深 H (m), 調査地点の底層流速 V_b (m/s), 粗砂分 (0.850～2.00 mm) の占有率 S (%), シルト有無 C (有1, 無0), 地震前後 E (前0, 後1) を用いた。調査年ごとの違いをランダム効果として切片に与え、全変数総当たりでモデルを作成し、予測精度を判断する赤池情報量基準AICが最も低いモデルをベストモデルと採用した。統計モデルの目的変数は、本来の産卵場から流失した卵の影響による過大評価を避けるため着卵密度100 (粒/ m^2) 以上の有無で作成した。

5.4.2. 厚真川下流域における物理環境の経年変化

図5-7に、厚真大橋で観測された2010～2020年の日流量を示す。図5-7より、厚真川では2016年に172.15 m^3/s の出水を経験した後、大きな出水は発生していないことが分かる。図5-7より、シンヤモ産卵期と卵の発育期にあたる12～4月の日流量についてのみ整理すると、日流量の平均値は4.44 m^3/s , 最大値は92.51 m^3/s , 最小値は0.72 m^3/s であった。11年間で融雪出水が最も大きいのは2013年早春であり、近年の融雪出水は比較的小規模であることが分かる (2017年早春はデータ欠損)。

図5-8に、厚真川下流域の流路右岸, 中央部, 左岸における、河床材料の中央粒径, 最大粒径, シルト・粘土分占有率, 図5-9に粗砂分占有率の縦断分布の経年変化を示す。図5-8より、中央粒径および最大粒径は、地震前後に関係なくKP5.5の頭首工より下流側で小さくなる (およそ2 mm以下と20 mm以下) こ

とが分かる。シルト・粘土分占有率は、地震直後の2018年11月に頭首工直下の右岸とKP11付近の左岸に高濃度での堆積が確認されるが、2020年11月には地震前の状況に戻っている。図5-9より、シシヤモ産卵場との関係が既往報告^{1) 3)}で示唆される粗砂分(0.425~2.00 mm)は、地震前後で明瞭な変化は認められない。

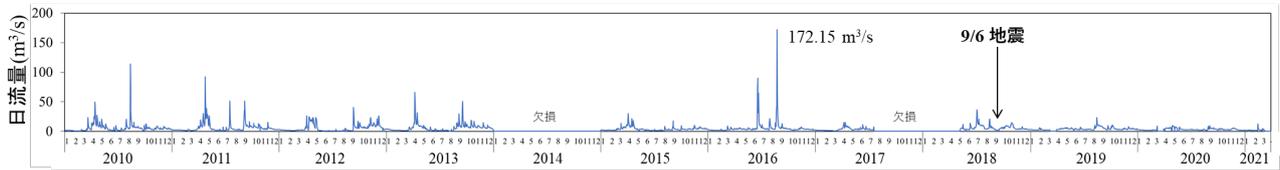


図5-7 日流量年図 (厚真大橋観測所, 2010/1/1 ~ 2021/3/31)

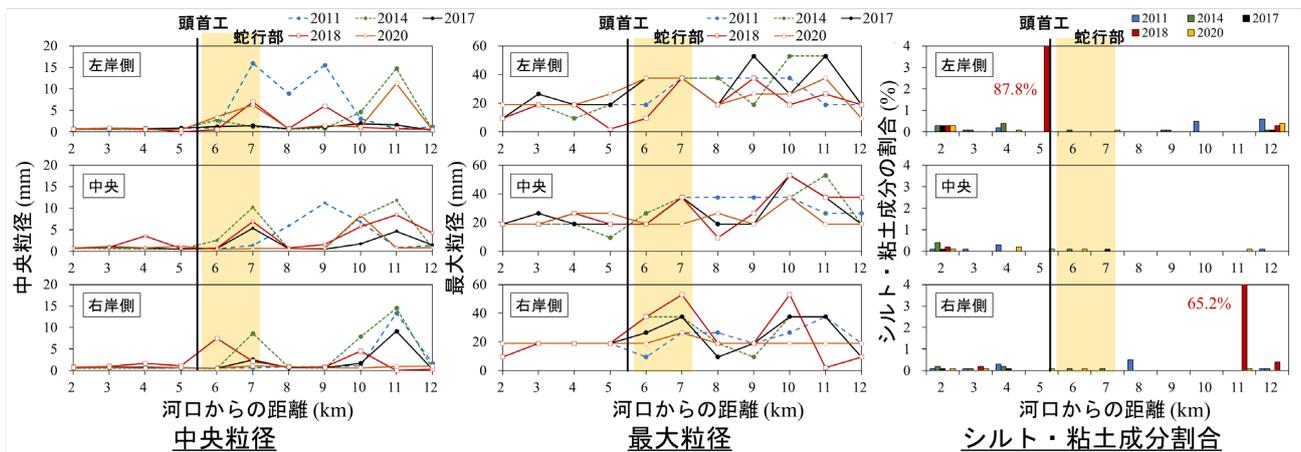


図5-8 物理諸量の縦断分布 (地震前: 2011年, 2014年, 2017年の11月, 地震後: 2018年と2020年の11月)

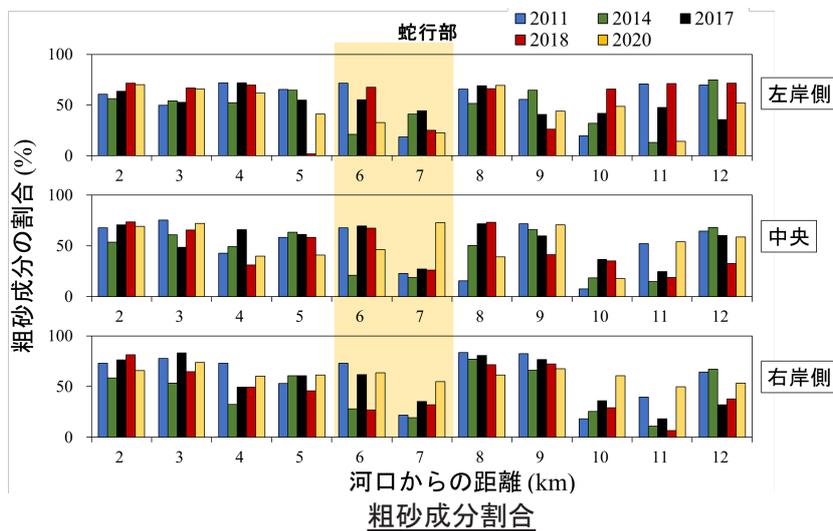


図5-9 粗砂成分割合の縦断分布

5. 4. 3. 厚真川下流域におけるシシャモ産卵場の経年変化

図5-10に、1994～2020年までの平均着卵密度とシシャモ親魚採捕数と海での漁獲量（厚真）の推移を示す。着卵数は、地震後の2019年以降減少し、2020年は最も少なかった。また、2020年の海域での漁獲量も少ない（1994年以来1 tを初めて下回る）。本検討ではシシャモの資源量に関する検討は対象としないため、以下、厚真川の産卵場環境について整理する。

図5-11に、2010～2020年における各測線の着卵数割合（各測線での着卵数 / 各年の測線総着卵数）の縦断分布を示す。図5-11より、2010～2016年まではKP7.0より上流側で着卵数が多いが、2017年以降はKP5.0～KP6.5付近で着卵数が多いことが分かる。図5-7によると2017年以降は12月の流量規模が小さい。既往報告によると産卵床にはある程度速い底層流速（0.3～0.6 m/s）を必要としており、流量規模の違いが産卵場選択に影響している可能性が推察される（後述にて検討を行う）。

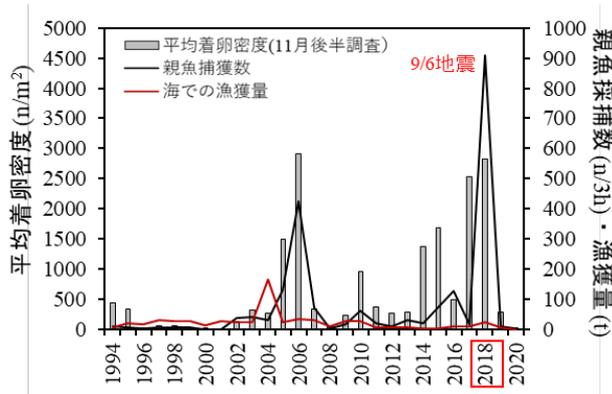


図5-10 平均着卵密度，親魚採捕数，漁獲量の経年変化

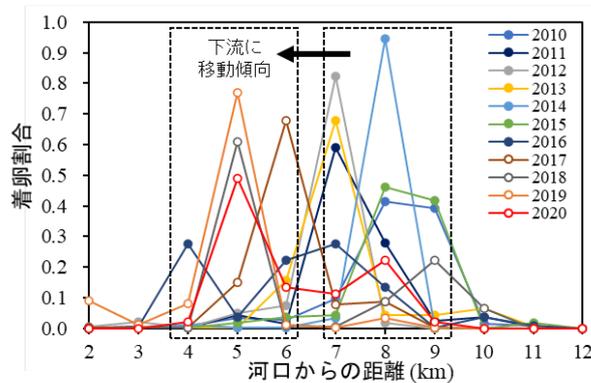


図5-11 着卵数割合（測線での着卵数/全着卵数）の縦断分布

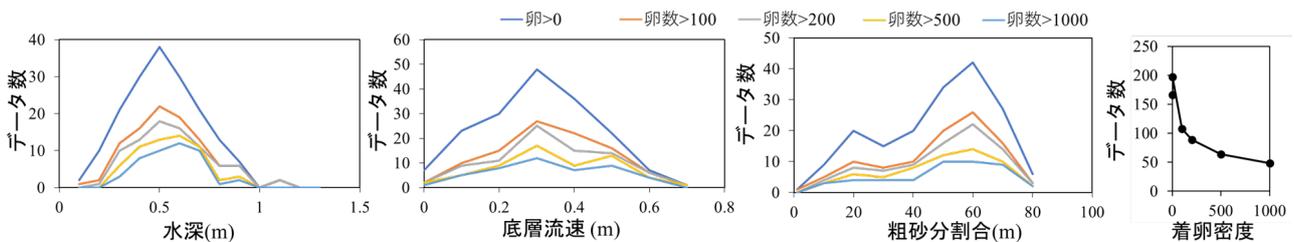


図5-12 着卵数に対する水深，底層流速，粗砂割合との関係

図5-12に着卵数の多かった2010年～2018年までのデータを用い、着卵数に対する水深、底層流速、粗砂割合との関係を示す。図5-12から、厚真川において着卵数の多い場所は、水深0.3～0.7 m付近、底層流速0.2～0.5 m/s付近、粗砂割合40%以上の傾向が推察される。しかし、各々の変数だけでは着卵数がゼロの場所との区別は難しく、変数を組み合わせた統計モデルを構築し、選好性を調べる必要がある。

5.4.4. シシヤモ産卵場の統計モデル (GLMM)

ベストモデルの係数を表5-2に示す。表5-2に示すとおり、AUC (Area under the curve : 予測値と実測値との比較による予測性能の指標、1が最大で完全一致を示す) は、0.85あり、高い予測性能を示している。表5-2に示す構築されたベストモデルの係数のうち、底層流速 V_b 、距離 L は、二乗項の係数がマイナスのため、上に凸の放物線となり、頂点で最大の適正度となる。そのため、これらの頂点を算出すると、産卵床として適正が高い物理環境特性は距離が河口から約7 km、粗砂が多く、底層流速が約0.4 m/sと求められた。厚真川下流域では粗砂割合が比較的高い(図5-9)ことを踏まえると、産卵適地の数値目標は主に底層流速にて評価できると考えられる。

表5-2 シシヤモ産卵場の統計モデル (GLMM : 変数は標準化)

	H	H^2	V_b	V_b^2	S	L	L^2	切片	AUC
着卵>100粒の有無		1.36	-1.27	0.71	9.15	-9.12	-1.50		0.85

H : 水深 (m), V_b : 河床近傍流速 (m/s),
 S : 粗砂分の占有率, L : 河口からの距離 (m)

5.5. 数値解析によるシシヤモ産卵場特性および地震後の細粒土砂の影響の検討

5.5.1. 解析モデル

厚真川における流量規模に応じたシシヤモの産卵適地、および細粒土砂(図5-6を参考に $d_{50} = 0.05$ mmを与える)の輸送・堆積特性を検討するため、非定常2次元流れ・河床変動解析を行った。解析モデルには、流水中を非平衡状態で輸送される細粒土砂を浮遊砂として表現するため、粒子流動層モデルの考え方^{8) 9)}を取り入れたiRIC Nays2DHを用いた。

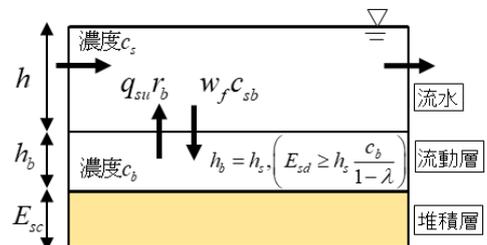


図5-13 粒子流動層のモデル概要

図5-13に、モデル内で用いる平衡流動層と流水中との浮遊砂の交換の概要を示す。図5-13に示す通り、河床面上に薄い仮想の流動層を設ける。流動層から流水への浮遊砂の移動は、河床面上の流動層厚 h_b が平衡流動層厚 h_s よりも小さい場合 ($h_b / h_s < 1$)、Lane-Kalinsk式で求める浮遊砂浮上量を減衰させるものとする。本検討では、平衡流動層厚 h_s を以下の式⁸⁾から求める修正を行っている。

$$\frac{h_s}{h} = \frac{i_e}{(\sigma / \rho - 1) c_b \tan \phi} \quad (4)$$

ここに、 h_s は平衡流動層厚、 h は水深、 σ は砂の密度、 ρ は水の密度、 c_b は流動層の平均浮遊砂濃度 (= 0.26)、 ϕ は安息角、 i_e はエネルギー勾配であり、 $\tau_b = \rho g h i_e$ の関係から求める。 τ_b は河床に作用する剪断力、 g は重力加速度である。

流動層の厚さ h_b は以下の式から求める。

$$\begin{aligned}
h_b &= h_s, & E_{sd} &\geq h_s \frac{c_b}{1-\lambda} \\
h_b &= E_{sd} \frac{1-\lambda}{c_b}, & E_{sd} &< h_s \frac{c_b}{1-\lambda}
\end{aligned} \tag{5}$$

ここに、 E_{sd} は土砂の堆積厚、 λ は空隙率である。

流砂の連続式（一般座標系）は以下の式から求める。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{c_b h_b}{J} \right) + (1-\lambda) \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z_b}{J} \right) + \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{q_{b\xi}}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{q_{b\eta}}{J} \right) + \frac{q_{su} - w_f c_{sb}}{J} \right] = 0 \tag{6}$$

$$, E_{sd} \geq h_s \frac{c_b}{1-\lambda}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z_b}{J} \right) = 0 \tag{7}$$

ここに、 $q_{b\xi}$ と $q_{b\eta}$ は ξ 、 η 方向の単位幅掃流砂量（芦田・道上・劉の式より求める）の反変成分、 c_{sb} は基準面高さにおける浮遊砂濃度であり、流水中の水深平均浮遊砂濃度 c_s から求める。平衡流動層厚を満足する土砂の堆積厚がない場合、式(7)のとおり、細粒土砂は河床材料に取り込まれず、そのまま通過する。その他、計算上流端からの浮遊砂濃度は、厚真大橋にて実測された地震後の流量と浮遊砂量（式3）との関係から、浮遊砂濃度を与える形に修正を行っている。

5.5.2. 計算条件

計算範囲は厚真川KP 2.0～KP 10.0とし、上流端には直線区間を、下流端に塩水遡上限界であるKP 2.5を選定した。計算格子サイズは縦断方向に約5 m、横断方向に約2 mとし、河床材料は現地調査結果（北海道提供）より平均粒径 $d_{50} = 5 \text{ mm}$ の一樣砂、マンシングの粗度係数は0.03を与えた。初期河床高は、2019年横断測量結果（200 m間隔、北海道提供）を用いて作成した。

計算は、まず掃流砂のみを考慮した流れ・河床変動計算より、流量規模に応じた水深と河床近傍流速の空間分布を求めた（河床近傍流速は格子点ごとに流線の曲率を求め、2次流の影響を近似的に与えた値として評価¹⁰⁾している。本論文では結果の可視化機能のみ追加）。計算流量は、厚真川の冬季の実測流量を参考とし、3, 5, 8, 10, 20, 30 m^3/s の6ケースの流量ごとの物理特性の違いを比較した。続いて、河床を固定床とし、KP5.5の頭首工の開閉条件下にて、流量を10時間かけて55～5 m^3/s まで減水させた場合における地震後の細粒土砂の堆積場所を把握した。頭首工（固定床として設定）が閉まる条件の堰高さには、河床高さに1.0 mを加えるものとした。

5.5.3. 流量規模に応じた産卵適地の変化

図5-14に、流量規模に応じた水深と河床近傍流速の空間分布を示す。水深コンター図（図5-14b）では、シヤマ産卵場として浅すぎる場所（ $< 0.3 \text{ m/s}$ ^{1) 3)}などを青色で示している。また、河床近傍流速コンター図（図5-14c）には、シヤマ産卵場に必要 0.30 m/s 以上の底層流速^{1) 3)}などの場所を抽出しており、産着卵の剥離の懸念場所（ $> 0.6 \text{ m/s}$ ⁴⁾）は赤色で示している。図5-14cより、流量規模と河床近傍流速の平面分布との対応を比較する。産卵適地である河床近傍流速（ $0.25 \sim 0.6 \text{ m/s}$ ）の平面分布は、冬季の平均日流量（ $4.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ）である5 m^3/s 付近で大きく変化することが分かる。流量が5 m^3/s 以下の場合、低水路内に産卵適地は少なく、頭首工下流のKP5.0～KP 6.5付近に集中する。一方、流量が8～10 m^3/s 程

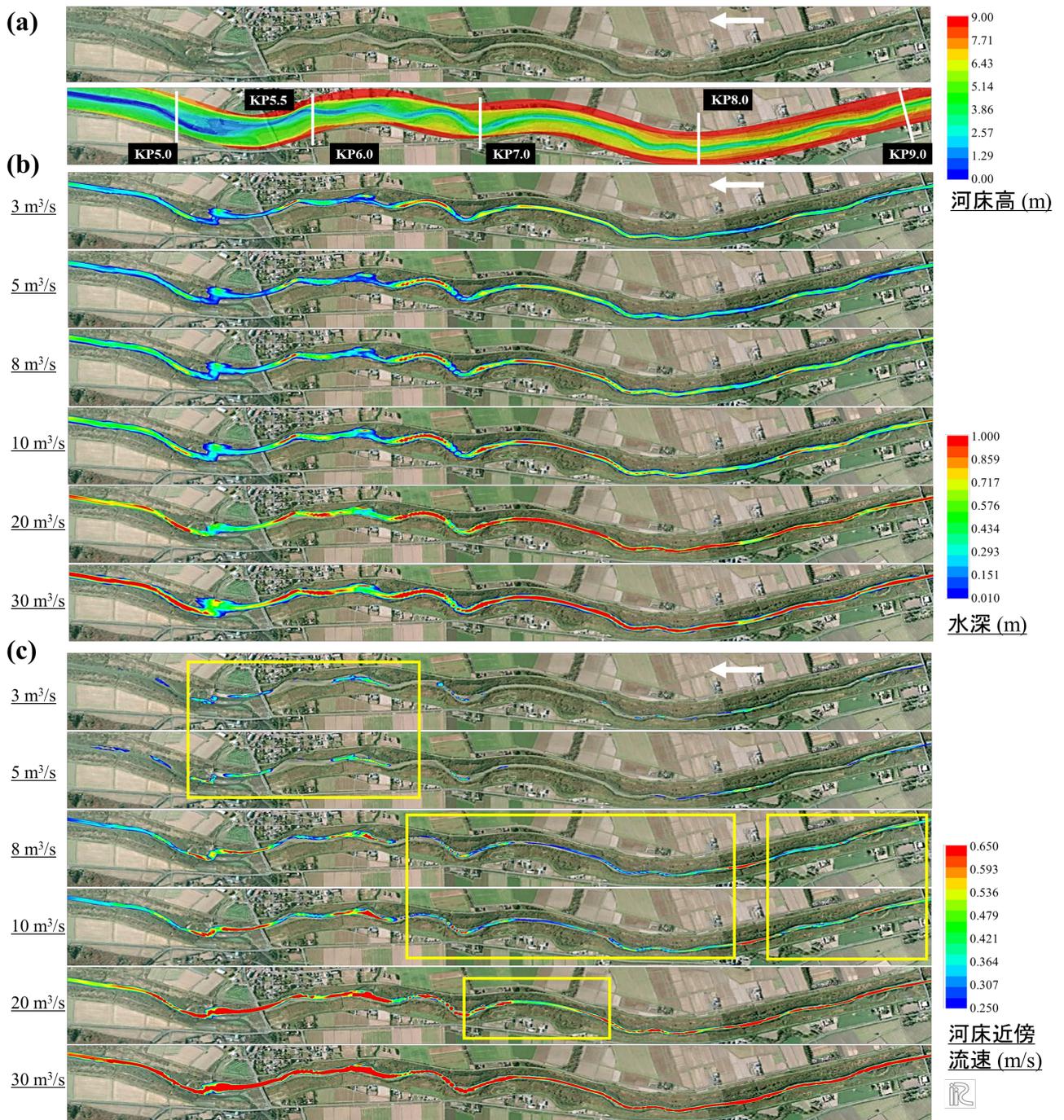


図5-14 流量規模に応じた水深と河床近傍流速の平面分布の変化

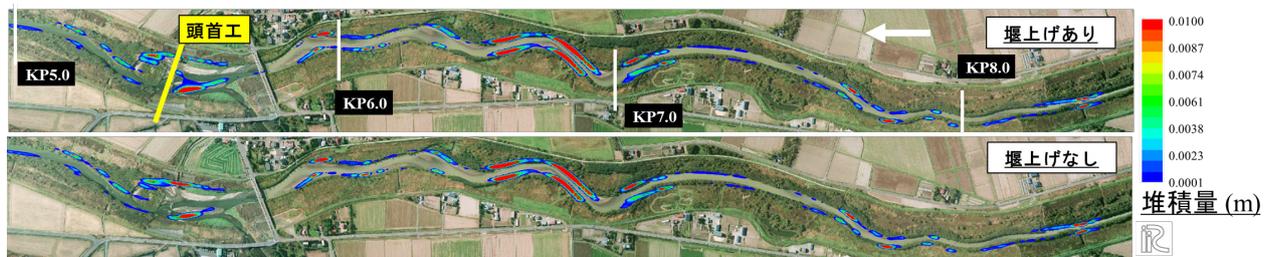


図5-15 細粒土砂の堆積箇所の平面分布（堰上げあり，なし）

度の場合、低水路内の産卵適地はKP6.5より上流側に移動し、その範囲も広がる。さらに流量が増加すると、流量 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ではKP 7.0～KP 7.5以外の領域の河床近傍流速が 0.6 m/s を超え、産着卵の剥離が懸念される状況になる。流量 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ まで到達すると、ほぼ全域で河床近傍流速 0.6 m/s を超える。これらの結果は、厚真川では低流量～高流量まで一連で対応できる産卵場が少ないという課題を示すものである。したがって、現況ではシシヤモ産卵時期に冬季の平均日流量よりも幾分大きい流量が流れる場合ほど産卵域は広域となり、同時に早春に融雪等で突発的に比較的大きな出水が発生しても産着卵の剥離・流失が抑えられる場所（KP 7.0～KP 7.5など）での産卵可能性が高まると考えられる。

(2) 細粒土砂成分の堆積特性

図5-15に、KP5.5の頭首工の堰上げ有無を考慮した場合に推定される、計算終了時の細粒土砂の堆積の平面分布を示す。図5-15より、細粒土砂の主な堆積場所は、河岸沿いであり、低水路内への堆積は極めて少ない（ 0.0001 m 以下）ことが分かる。また、堰上げによる細粒土砂の堆積への影響は、堰直上流域においてのみ限定的であることが分かる。本数値解析条件下によると、厚真川のシシヤモ産卵場への細粒土砂の影響は比較的小さいものと推察される。ただし、KP6.5～KP7.0の蛇行部河岸への堆積傾向は他領域よりも強く、出水時にのみ水が流れる砂州上への堆積が生じやすいと考えられる。本検討では検討していないものの、普段は陸域である砂州上に細粒土砂が厚く堆積することが、今後の河床・流路変動に与える影響については留意する必要がある。

5.6. 結論

本研究では厚真川下流域におけるシシヤモ産卵場適地および地震後の影響把握を目的とし、(1) 地震前後の厚真川における土砂輸送特性変化の把握、(2) 過去11年間のシシヤモ産卵場に関する調査データ（北海道提供）の分析と統計モデルの構築および2次元流れ・河床変動解析による産卵場適地の抽出、(3) 2次元流れ・河床変動解析による高濃度浮遊砂の堆積特性について検討し、今後のシシヤモに着目した河川管理について考察した。得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) 厚真川の共栄観測地点における流量と浮遊砂量 [m^3/s]との相関より、地震前に比べ、地震後は少ない流量でもより多くの細粒土砂が流出していることが確認された。Q-Qs関係式より、厚真川共栄橋での通過SS量は、地震前は流量の2.35乗に比例していたが、地震後は2.8乗に比例するように変化したことが確認された。
- (2) 既往のシシヤモ産卵場モニタリング調査結果より、厚真川のシシヤモ産卵場には、粗砂分が多く、底層流速 0.4 m/s の場所への選好性が認められた。
- (3) 本数値解析条件下によると、厚真川におけるシシヤモ産卵場特性は、冬季平均日流量 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 付近を境に産卵適地が上流側へ移動し、低流量～高流量まで一連で対応できる産卵場所が少ないことが確認された。
- (4) 数値解析条件下によると、細粒土砂は主に河岸付近へ堆積し、低水路への堆積は少ない可能性が示された。ただし、河岸沿いや蛇行部では堆積傾向が強く、今後の影響については現地調査も含め、留意して調べる必要がある。

5.7. 謝辞

本研究に纏わるデータ提供については、北海道開発局および北海道、寒地土木研究所から提供を受けた。現地への立ち入り等については北海道および厚真町に多大な協力をいただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

1. 新居久也, 村上一夫, 米田隆夫, 上田宏: シシヤモ *Spirinchus lanceolatus* の遡上河川における産卵場所と物理環境条件の関係, 日本水産学会誌, Vol. 72, No.3, pp. 390-400, 2006.
2. 村上泰啓, 水垣滋, 西原照雅, 伊波友生, 藤浪武史: 平成 30 年北海道胆振東部地震において発生した斜面崩壊の特徴, 河川技術論文集, Vol. 25, 2019.
3. 尾身東美: 釧路地方の河川におけるシシヤモの卵分布状態とふ出仔魚の降海について, 北水試月報, Vol. 34, pp. 12-28, 1978.
4. 新居久也, 上田宏: シシヤモの産卵行動および産着卵の生残に及ぼす河川流速の影響, 水産増殖, Vol. 54, No.4, pp. 437-447, 2006.
5. 吉田秀嗣, 新居久也, 藤井真, 今野義文, 工藤智: 道南太平洋海域におけるシシヤモの不漁要因について (資料), 北水試研報, Vol.99, pp.25-30, 2021.
6. W. M. van Dijk, W. I. van de Lageweg and M. G. Kleinans: Formation of a cohesive floodplain in a dynamic experimental meandering river, Earth Surf. Process. Landformsm, Vol. 38, pp. 1550-1565, 2013.
7. 岡安努, 久加朋子, 今日出人, 清水康行, 加藤康充: 非粘着性河床材料で構成される交互砂州に粘着成分を供給した場における砂州形状と河床構成材料の変化, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.76, No.2, pp. I_1159-I_1164, 2020.
8. 原田大輔, 江頭進治: 連行速度を用いた浮遊砂の解析法, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.76, No.2, pp. I_1111-I_1116, 2020.
9. S. Egashira and K. Ashida: Unified view of the mechanics of debris flow and bed-load, Part of volume, Advances in Micromechanics of Granular Materials, Edited by H. H. Shen et al. Elsevier, pp. 391-400, 1992.
10. 清水康行・西本直史: 2次流を考慮した2次元モデルによる河床変動計算, 開発土木研究所報告書, pp.63-90, 1992.