

米代川におけるアユの産卵床と河道特性の関係

CHARACTERISTICS OF SWEETFISH'S SPAWN BED IN THE YONESHIRO RIVER

成田正喜¹・土田恒年²・今野清文³・堀田井孝正⁴・笹本誠⁵・堺茂樹⁶

Masaki Narita, Tunetoshi Tuchida, Kiyofumi Konno, Kosei Hottai, Makoto Sasamoto, Shigeki Sakai

^{1, 2} 正会員 国土交通省能代河川国道事務所調査第一課 (〒016-0121 秋田県能代市鹹渚字一本柳 97-1)

^{3, 4} 非会員 エヌエス環境株式会社秋田支店 (〒010-0946 秋田県秋田市川尻総社町 8-13)

^{5, 6} 正会員 岩手大学工学部 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

This paper reports the results of field observations about sweetfish's spawn bed. The field observations were carried out from 2001 to 2005 in the Yoneshiro River. The distribution of the spawn bed in the river was observed, and the characteristics of flow and gravel were measured.

The sweetfish generally spawns at floating gravel, and the spawn beds were found at relatively stable rapids on sandbars which locate between lower and middle reaches of the Segment 2-1 every year. It was remarkable that the gravel size of bed material and the states in riverbed such as penetration depth are important factors for spawn beds.

Based on a statistical analysis, a simple method was proposed to monitor the potential of each point to be a spawn bed.

Key Words : *sweetfish, spawn bed, formation factors, gravel size of bed material, penetration depth, multivariate analysis, monitoring method*

1. はじめに

米代川は、天然の大アユが生息する河川として、多くの人々から親しまれている。近年アユの生息数の減少、魚体の小型化、産卵場の減少等が指摘され、河川改修による影響が懸念されている。

本報告は、米代川河川整備計画の策定にあたり、米代川におけるアユの産卵床の分布実態とその成立要因を解明し、河川整備と管理に活用できる産卵床の簡易なモニタリング手法の確立を目的とし、2001年から2005年まで5年間にわたる調査結果をとりまとめたものである。

アユは一般的に早瀬の浮き石状態の礫河床に産卵^{1), 2)}し、米代川においてもセグメント2-1の下流域から中流域に分布する中洲や交互砂洲前縁の比較的安定した早瀬に継続的に産卵している。

調査は、直轄管理区間の全ての瀬を対象として、流速、水深等の水理に関する項目と河床材料粒径、浮き石・沈み石、礫表面の汚れ、貫入度等の河床に関する項目を産卵床の有無と関連づけて実施した。

また、確認した産卵床について産着卵数調査を実施し、産卵生態の把握も行った。

2. 方法

(1) 調査地

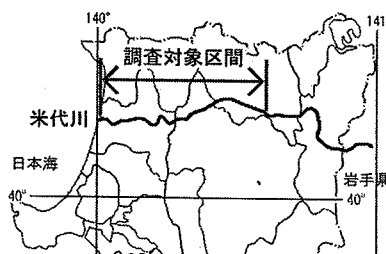


図-1 調査対象区間

米代川は、秋田県北部を奥羽山脈から東西に流下する流路延長 136 km、流域面積 4,100 km²、東北第5位の一級河川である(図-1 参照)。調査地は河口から河川距離標 68.6 kmの直轄管理区間を対象とし、地形は谷底平野および自然堤防帯河川で、上流域は直線的、中・下流域は大きく蛇行し、寄洲や中洲が発達し、瀬・淵が分布している。

(2) 調査方法

a) 産卵床分布調査

調査対象区間 0～68.6 km内で産卵床となり得る全ての瀬を抽出した（図-2 参照、2005 年度の瀬数：53 箇所）。抽出した瀬を産卵初期と産卵盛期に 2 回踏査し、表層河床材料をすくい上げ産着卵の有無を目視観察し、産着卵を確認した場合は、産卵位置、範囲を記録した。

b) 物理環境調査

産卵床分布調査で抽出した全ての瀬を対象とし調査を行った。調査項目は、水深、流速、水温、河床材料粒径、河床の状態（浮き石・沈み石、礫表面の汚れ、貫入度）、河道平面形状及び淵の位置、深さ等である。

水深、流速、水温はスタッフ、電磁流速計、棒状温度計をそれぞれ使い、1 箇所の瀬につき 5 地点を計測した。粒度試験は 1 箇所の瀬につき 2 地点で 30 cm×30 cm のコドラートを設置し深さ 5 cm、採取量 7 kg 以上の河床材料を採取し、篩法で行った。また、河床の状態は 1 箇所の瀬につき 5 地点で目視観察し、貫入度はコーン貫入試験機の改良機を用い（図-3 参照）、50 cm の高さから 5 kg 錘を自由落下させた時の貫入深を計測した。

c) 産着卵数調査

産卵生態と産卵環境条件を把握するため、確認した産卵床の中から代表的な産卵床を 5 箇所抽出し、1 箇所につき 2 地点、計 10 地点を、また、米代川における最大規模産卵床（約 100m×約 400m）の 25m 分割メッシュ交点で産卵盛期に 1 回調査を行った。

調査は、30 cm コドラート内の表層河床材料をバットに採取し、礫に付着した卵数を礫サイズごとに計数した。その際、卵の発育状況を未発眼卵と発眼卵に区分して、調査対象の瀬が継続的に産卵床として使用されているか否かを判断する資料とした。

(3) 解析方法

産卵床成立要因を分析するため、産卵床の有無を目的変数に、物理環境項目を説明変数として多変量解析（判別分析）を行った。解析結果から、産卵床のモニタリング項目を検討し、簡易なモニタリング手法を選定した。

3. 結果

(1) 米代川産卵床の実態

a) 瀬の分布

直轄区間内で抽出した 53 箇所の瀬の状況を図-2 に示した。瀬の大部分はセグメント 2-1 に存在し、下流域のセグメント 2-2 は 1 箇所であった。

b) 産卵床の分布と位置

5 ケ年の産卵床分布範囲の変遷を図-4 に示した。産卵床は経年的にセグメント 2-1 の下流から中流域に多く分布しており、2005 年度に初めて上流域で確認された。

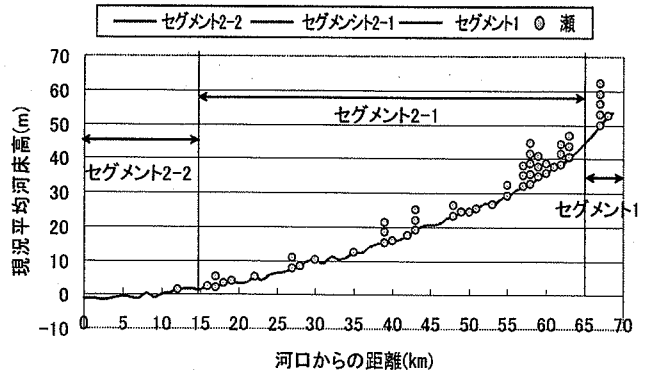


図-2 縦断的な瀬の分布状況

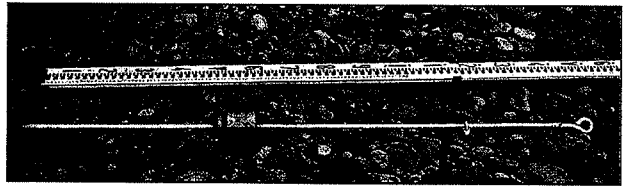


図-3 貫入試験機

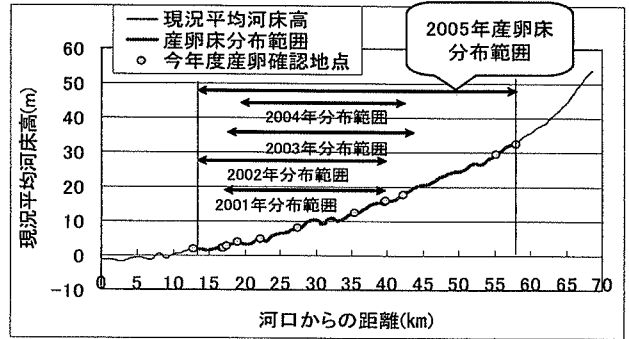


図-4 5 ケ年の産卵床分布位置の変遷

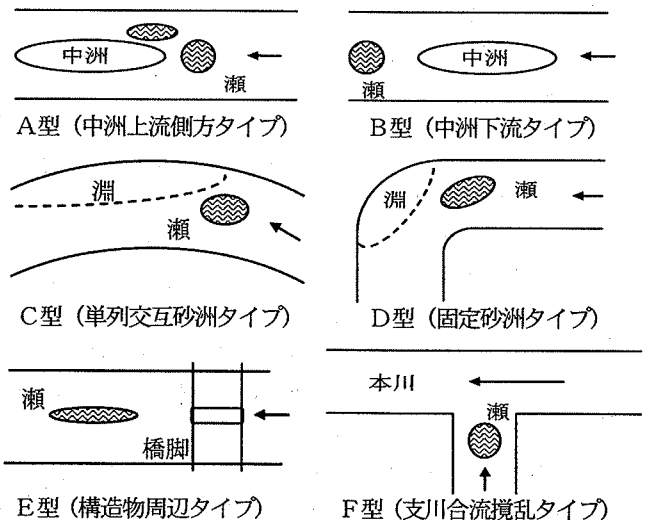


図-5 砂洲形態別模式図

c) 産卵床と砂洲形態

産卵床を砂洲の配置形態に基づき分類したものを図-5 に示した。

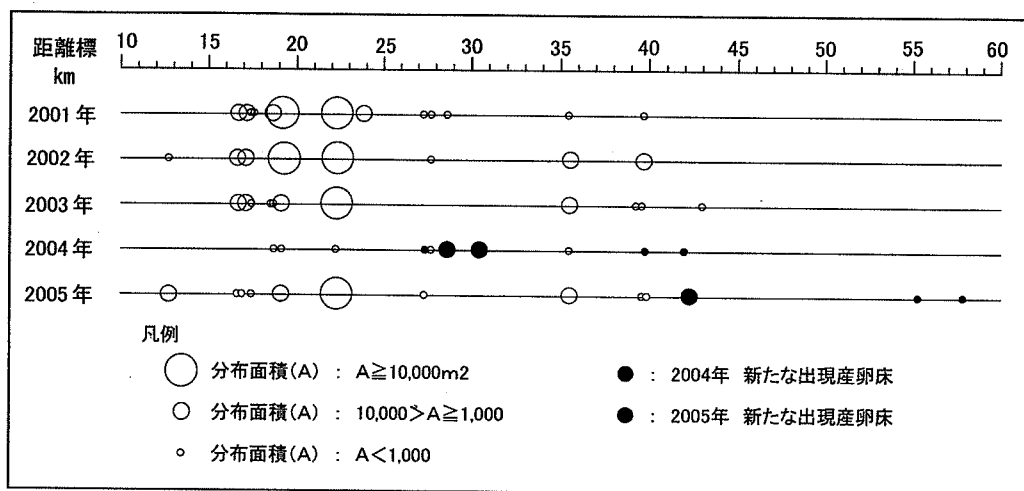


図-6 規模別産卵床の変遷

表-1 タイプ別の瀬における産卵床の数

タイプ分類	調査対象数	産卵床確認		産卵床合計	成立割合 (%)
		5年継続	非継続		
A型	33 (62)	1	6	7 (54)	21
B型	10 (19)	0	2	2 (15)	20
C型	4 (8)	0	0	0 (0)	0
D型	4 (8)	2	2	4 (31)	100
E型	1 (2)	0	0	0 (0)	0
F型	1 (2)	0	0	0 (0)	0
合計	53 (100)	3	10	13 (100)	25

注：() 内の数値は割合 (%) を示す。

また、タイプ別の瀬における産卵床の状況を表-1 に示した。2005 年度に確認された産卵床はA型、B型、D型の3タイプであり、産卵床の数はA型が7箇所と最も多いが、産卵床の継続性・成立割合から見ると、D型で継続性が高く、成立割合が高いことがわかった。これは、産卵床の安定・不安定性に大きく関わっていることが考えられる。

d) 産卵床の規模

規模別産卵床の変遷を図-6 に示した。

2001 年～2005 年まで継続して確認した産卵床は距離標 19.1 km、22.2 km、35.5 km地点であった。特に 22.2 km地点は毎年、面積約 35,000 m²の大規模産卵床となっている。22.2 km地点を含め、毎年安定した産卵床となっているのは、固定砂洲前縁のD型タイプのものであり、中・小規模の産卵床は、中洲周辺にできるA、B型タイプの継続性の低い不安定なものであった。

e) 代表的産卵床の産着卵数分布

22km 周辺の大規模産卵床の2002 年、2003 年、2005 年のメッシュ別産着卵数の状況を図-7 に示した。30 cmコードラート内の卵数は、多い所で 10,000 個を越え、同一瀬内においても瀬頭、瀬央、瀬尻部での産着卵数密度に差があった。

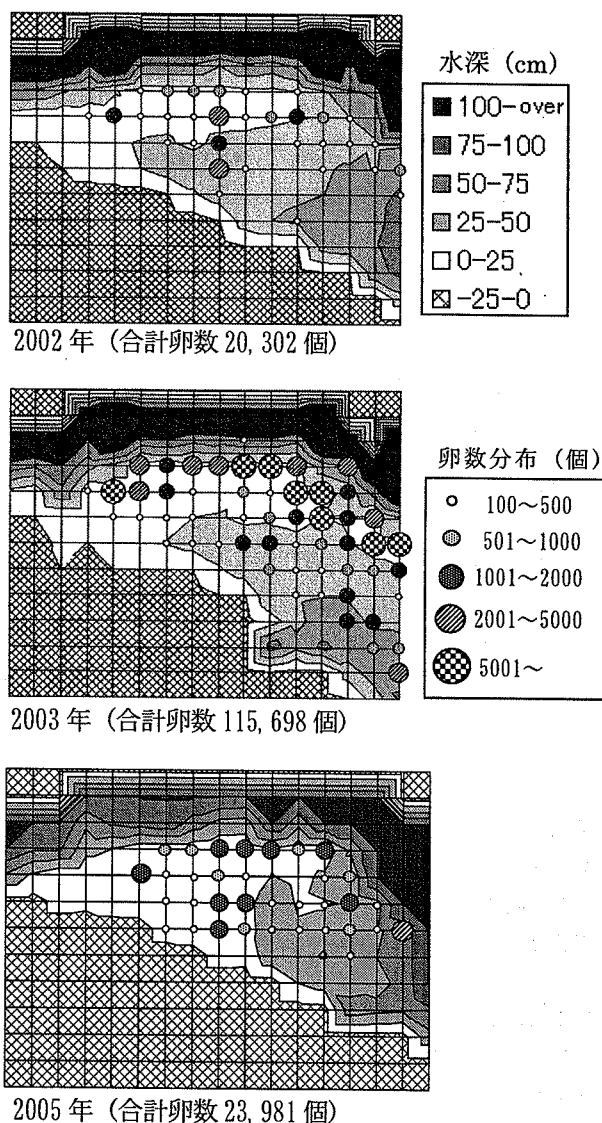


図-7 メッシュ別産着卵数の状況

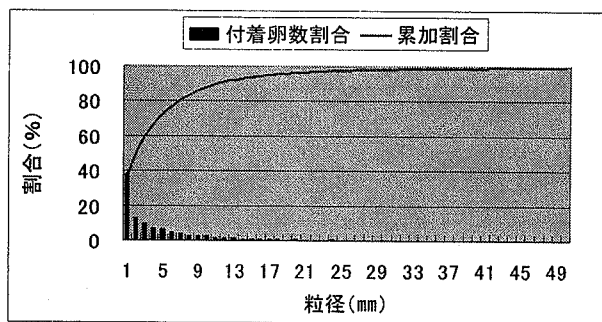


図-8 粒径別産着性向

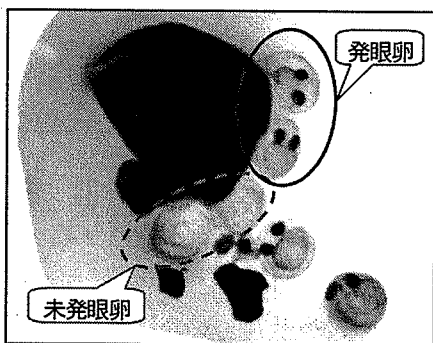


図-9 発眼卵と未発眼卵

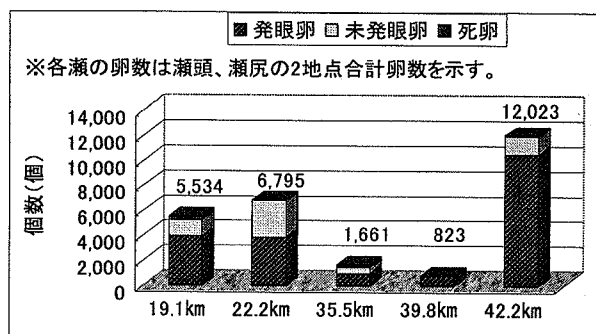


図-10 代表的産卵床の発眼卵と未発眼卵の構成状況

粒径別の産着卵数の付着状況を図-8に、アユの発眼卵と未発眼卵を図-9に、代表的産卵床の発眼卵と未発眼卵の構成状況を図-10に示した。

アユの卵は粒径1mmの礫に最も多く付着し、粒径が小さいほど卵が多く付着していることがわかった。

また、アユの卵は、初め未発眼卵であるが、その後「10日あまりで眼が黒々と光り出し³⁾」発眼卵として確認できるようになる。この時間的差の特徴を利用して、産卵床の継続利用性を把握した。

その結果、継続利用される産卵床は、平水時でも産卵環境条件に適合し、維持されている瀬であり、複数回利用されることがわかった。一方、39.8km地点のように、発眼卵又は未発眼卵のどちらかが大勢を占める産卵床は、一時的に利用されている箇所であり、大小出水による自然攪乱によって、河床環境が一時的に産卵環境条件に適合して利用されたことがわかった。

したがって、アユの産卵床成立に大きく影響するものは河床の状態であり、産卵床の継続利用性は平水時の産卵に適した河床状態の維持にあるものと考えられた。

表-2 米代川における産卵環境条件

項目	平均	標準偏差
水深 (cm)	21	11
流速 (m/sec)	0.64	0.22
河床材料粒径 d60 (mm)	27.5	5.3
砂分率 (%)	5.59	4.40
貫入度 (cm)	11	3.1
浮き石・沈み石	浮き石状態	
礫表面の汚れ	無し又は少ない	

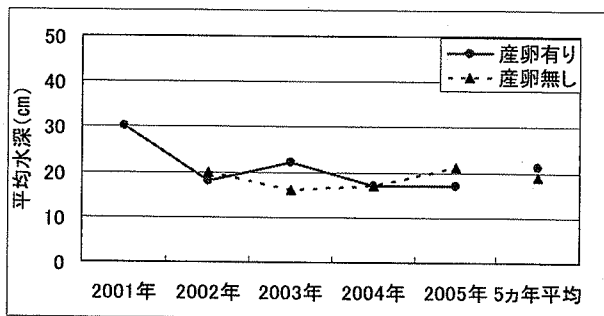


図-11 産卵床有無と水深との関係

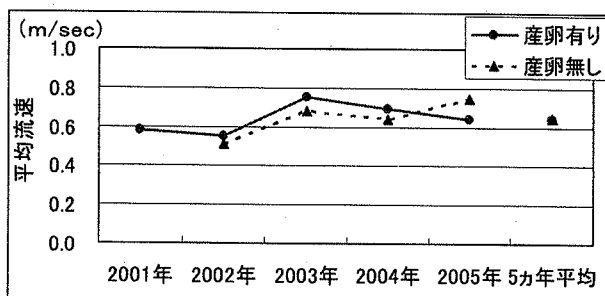


図-12 産卵床有無と流速との関係

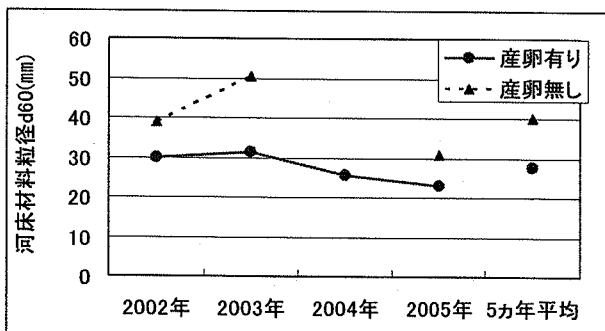


図-13 産卵床有無とd60との関係

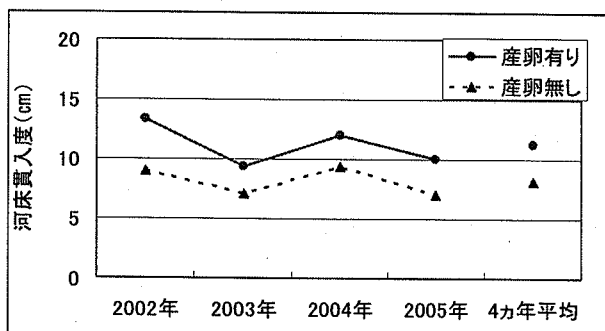


図-14 産卵床有無と貫入度との関係

f) 物理環境から見た産卵環境条件

産卵床分布調査及び物理環境調査から、米代川におけるアユの選好する産卵環境条件を表-2 に示した。

また、調査を行った物理環境項目ごとに、2001 年～2005 年までの調査結果を整理し、産卵床有無と個々の物理環境項目との関連性を図-11～図-14 に示した。

図-11、図-12 の水深、流速との関連では、産卵床有無に対して明確に識別することはできなかった。一方、図-13、図-14 の河床材料粒径 (d60)、貫入度では、明らかに産卵床有無と識別できる関連が認められた。

4. 考察

(1) 産卵床成立要因の分析

2005 年度抽出した全ての瀬 (n=53) の物理環境調査結果から、産卵床成立要因として何が重要なのかを多変量解析の判別分析を用い解析した。

目的変数と説明変数を表-3 に示す。河床の状態を表わす浮き石・沈み石、礫表面の汚れはカテゴリーデータのため、河床項目間の相関比を計算し、貫入度と最も高い関連性を示したため、貫入度を代表させることとした。

また、説明変数間相互に強い関連性があると判別分析に不都合が生じるため、変数間のチェックを行った。その結果、水理項目である水深・流速・フルード数間にやや強い関連があり、河床項目である河床材料粒径のd60、砂分率の間にもやや強い関連性が見られた。このことから、水理項目からは水深・流速から導かれるフルード数を説明変数として抽出し、河床項目については、河川の位置特性を示し、産卵床の分布位置と関連する河床材料粒径d60を説明変数として抽出した。解析に用いた変数を表-4 に整理した。

判別分析結果を表-5 に、判別式を (1a) に示した。

$$y = -2.637 \times \text{【フルード数】} + 0.230 \times \text{【貫入度cm】} - 0.158 \times \text{【d60 mm】} + 3.678 \quad (1)$$

判別分析結果から、産卵床有無に対する影響度は、F 値の大小で見ることができ、最も影響の大きい項目は、河床材料粒径d60、次いで河床の状態（軟らかさ）を表わす指標の貫入度であった。

判別式 (1a) の判別係数の符号から、河床材料粒径d60 は負であり、粒径が小さいほどyがプラスに作用し、産卵される可能性が高くなる。また、貫入度は正であり、貫入度が大きいほどyがプラスに作用し産卵される可能性が高くなることがわかった。また、フルード数はF 値が小さく、産卵有り・無しへの影響は小さいものと判断され、産卵床有無への影響要因として、河床に関する項目が水理に関する項目より強く影響しているものと考えられた。

表-3 目的変数と説明変数

変数の種類	変数の内容
目的変数	産卵床の有無
説明変数 (候補)	水深、流速、フルード数、d60、砂分率、貫入度、浮き石・沈み石、礫表面の汚れ

表-4 解析に用いた変数

変数の種類	変数の内容
目的変数	産卵床の有無
説明変数	フルード数、d60、貫入度

表-5 判別分析結果

[判別関数]		目的変数：産卵有無			
	判別係数	F値	P値	判定	
フルード数	-2.637	0.384	0.539	[]	
貫入度 (cm)	0.230	1.771	0.189	[]	
d60 (mm)	-0.158	4.583	0.037	[*]	
定数項	3.678				

また、今回の判別分析結果の精度となる判別的中率は75.5%であり、精度として「やや高い」レベルのものであった。

(2)簡易モニタリング手法の選定

表-6 モニタリング項目の検討

項目（大区分）		項目（小区分）	妥当性	選定内容
産卵床判定項目		産着卵の有無（数）	○	・現地にて、産卵床の有無と産着卵数の多少の確認が必要。
産卵床の分布項目		セグメント・距離標	×	・産卵床分布範囲は、ほぼ確定しており、範囲内を調査対象とする。
水理項目		水深	△	・水理項目は、産卵床の有効な判断基準が認められない。 ・しかし、河床環境を創出するものであり、産卵床形成要因の一つである。
		流速		
		フルード数		
河床項目	河床の粒径	河床材料粒径（d60）	○	・河床粒径は、産卵床の有効な判断基準が認められる。 ・砂分率は卵の産着性向と関係が見られる。 ・粒度試験等の手間と時間を要するが、毎年の粒度組成変化と産卵床との関連を把握する上で重要。
		砂分率		
	河床の状態	浮き石・沈み石	●	・産卵床の有効な判断基準が認められる。 ・「浮き石状態」は産卵床に重要な条件であり定性的に判断が可能。
		礫表面の汚れ	●	
		貫入度	○	・産卵床の有効な判断基準が認められる。 ・「軟らかさ」を示す指標であり、産卵床に重要な条件。 ・貫入試験機の使用により、簡易に定量的に判断できる唯一の手法。

○：妥当性有り、●：妥当性は有るが経験が必要、△：妥当性は有るが補足的な意味、×：妥当性無し

産卵床と水理の項目、河床の項目との関連性から、モニタリング項目として妥当性検討した結果を表-6 に整理した。

解析結果から重要項目として抽出された河床材料粒径（代表粒径としてのd60）と貫入度は、産卵床との関連を把握する上で重要である。

河床材料粒径は、粒度試験という簡易な方法ではないが卵の付着傾向が高い細粒分組成の情報が得られ、また、大出水による河床材料の流出と堆積による粒径変化を考慮すると継続的調査が必要である。

貫入度は、「浮き石状態」の指標となる軟らかさを容易に定量化でき、出水や渇水等の水位変動に伴う河床の状態の変化も簡易に計測することができる方法である。

その他の水理及び河床に関する項目は、現地踏査時に容易に目視観察又は計測を行うことができる。

以上から、表-7 に示すモニタリング手法を選定した。

今後、モニタリング調査を行い、データを収集しながら検証見直しを図って、より精度の高い米代川におけるモニタリング手法の確立を目指すものである。

表-7 モニタリング手法の選定

1. 河床材料粒径は出水による変化が考えられることから、経年的に追跡調査し、粒度試験を実施する。
2. 貫入度は、河床の浮き石状態を表わす軟らかさの指標であることから、産卵期間を通じてこまめに計測する。
3. 水深、流速、及びその他項目は、現地踏査時に基礎調査項目として、計測または目視観察を行う。
4. 取得したデータをもとに、検証見直しを図り、より精度の高いモニタリング手法を確立する。

参考文献

1) 全国内水面漁業協同組合連合会：魚のすみよい川への設計指針（案）、内水面漁業環境・利用実態調査報告書、1987

2) 全国内水面漁業協同組合連合会：アユの産卵場づくりの手引、魚類再生産技術開発調査報告書、1993

3) 宮路伝三郎：アユの話、岩波新書、1960.

(2006. 4. 6 受付)