

# 河川工作物評価（魚介類対象）のための バイオテレメトリー調査ガイドライン

平成 28 年 10 月

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

## まえがき

平成 9 年度に河川法が改正され、自然環境に配慮した工法の検討・採択や地域住民・専門家などの合意形成を重視した川づくりが進められている。この中で、河川工作物の設置が魚介類に与える影響や多機能工作物の効果を把握するための各種モニタリング・検討等が数多く実施されている。

しかし、モニタリングの既往手法は、調査地点の設定による定点観測や魚介類の定性・定量調査が主体であり、調査地点間や繁殖地までの時系列な行動・経路や遊泳と休息場所などの環境特性を把握するための手法やツールが不足していた。

さらに、北海道および東北・北陸等の積雪寒冷地では、南方域と比較して、遡河回遊魚の種類が多い。遡河回遊魚の代表種は、サケ科魚類であり、これらの多くは、大型で回遊域が広く、繁殖期が秋季から冬季、降海期が春季となる。この他、北海道には、サクラマスやシシャモ、カワヤツメなど、漁業対象種でもあり、希少種でもある回遊魚が分布することも特徴の一つである。さらに、冷水を好むアユやザリガニなどの種類も生息している。これらの魚介類は、移動距離が長いものが多いうえ、繁殖期の低水温と積雪、越冬期の結氷、降海期の融雪増水等の特有の環境条件により、定点での漁具入網等による採捕や潜水観察が困難となり、詳細な生態や生理行動については不明な点が多い。

これらの諸問題を解決するツールとして、遠隔操作やデータの自動取得が可能となる各種のバイオテレメトリー機器が登場し、さらに、近年ではシステム技術の向上や発信機の小型化が目覚ましく、調査研究事例も増加している。しかし、これらの技術を各フィールドの環境条件や魚種、体サイズ等を踏まえ、的確に選定するための技術資料が乏しい現状にある。

寒地土木研究所では、北海道栽培漁業振興公社の協力のもと、各バイオテレメトリーシステムの特徴や寒冷地河川での調査手法について、これまでの知見をガイドラインとして取りまとめた。本ガイドラインが寒冷地河川における魚介類の行動追跡と河川工作物の評価に活用されることを期待する。

なお、北海道大学フィールド科学センターの上田 宏 特任教授、日本大学生物資源学部の牧口祐也 助教には、ご指導を頂くと共にデータや写真の掲載を快諾していただいた。これらの方々に、深謝する次第である。

平成 28 年 10 月

# 目 次

1. 総評	1
1.1. 目的	2
1.2. バイオテレメトリーの定義	2
1.3. 適用範囲	2
1.4. 本ガイドラインの構成	3
2. 機器選定	4
2.1. 各種システムの特徴の一覧	5
2.2. 発信機	7
2.2.1 電波発信機	7
2.2.2 超音波発信機	13
2.2.3 自記式計測機（ロガー）	19
2.2.4 電子タグ（ピットタグ）	23
2.2.5 ワイヤータグ	25
2.3. 受信機	26
2.3.1 電波受信機	26
2.3.2 超音波受信機	29
2.3.3 ピットタグシステム	32
2.3.4 ワイヤータグリーダー	34
3. 発信機装着	35
3.1. 供試魚の採捕	36
3.2. 発信機装着手法	41
3.2.1 魚体外部装着 (EMG 筋電位計測機能付き発信機) の例	42
3.2.2 魚体内部装着 (NTQ-2 小型電波発信機) の例	54
3.3. 魚種別の発信機装着事例	57
3.3.1 サケ・サクラマス・カラフトマス親魚	57
3.3.2 カワヤツメ（成体・幼生）	62
3.3.3 甲殻類（ザリガニ・モクズガニ）	63
3.3.4 サクラマススモルト、シシャモ、アユ	65
3.4. 発信機装着影響試験事例	68
3.4.1 サケ	68
3.4.2 サクラマススモルト	70

3.4.3	シシャモ	72
3.4.4	ザリガニ、モクズガニ	75
4.	現地調査事例	77
4.1.	電波システム	78
4.1.1	魚道機能検証：サクラマス親魚の階段式魚道の遡上状況(EMG発信機)	78
4.1.2	魚道機能検証：サケ親魚の両岸式魚道の遡上状況(EMG発信機)	80
4.1.3	分水施設効果検証：サクラマスモルトの降下経路(ナノタグ)	82
4.1.4	遡上経路追跡：サケ科魚類の遡上と定位	86
4.1.5	産卵場探査：サケ科魚類	87
4.1.6	産卵遡上行動：シシャモ	88
4.2.	超音波システム	92
4.2.1	ダムの減水区間から魚道までの追跡	92
4.2.2	河口から産卵域までの遡上速度	96
4.2.2	その他(調査状況)	98
4.3.	ピットタグシステム	99
4.3.1	魚道降下の期間と時間帯	99
4.3.2	魚道滞留期間	102
4.3.3	放流河川への回帰率	103
4.3.4	その他(調査状況)	105
4.4.	ロガー	107
4.4.1	遊泳深度	107
4.4.2	心電位による麻酔影響の解析	108
5.	調査手法の選定	109
5.1.	検討フロー	110
5.2.	システム選定のチェックシート	111
5.3.	現地調査の留意点	113
6.	参考文献	114

## 1. 総評

## 1. 総評

### 1.1. 目的

本ガイドラインは、河川工事に伴う魚介類の行動について、バイオテレメトリー調査によるモニタリングを検討する際の機器および手法等を選択するための標準的な技術資料とする。

### 1.2. バイオテレメトリーの定義

バイオテレメトリーとは、生物行動情報遠隔測定法と訳され、動物の位置情報や経験物理環境等を遠隔的に測定することであり、これらのデータを分析することにより、行動や生態等が把握される。

また、バイオテレメトリーの他に、バイオリギング（生物+記録）という和製英語も存在しており、ここでは、両方を含めた機器と調査事例を紹介するものである。

<b>発信型</b> 再回収不要	電波発信機 超音波発信機	
<b>蓄積型</b> 再回収必要	データロガー ポップアップタグ (時限的に浮上)	
<b>人工衛星型</b>	GPS	ただし、水中では使用不可



図 1-2-1 バイオテレメトリーの概念図

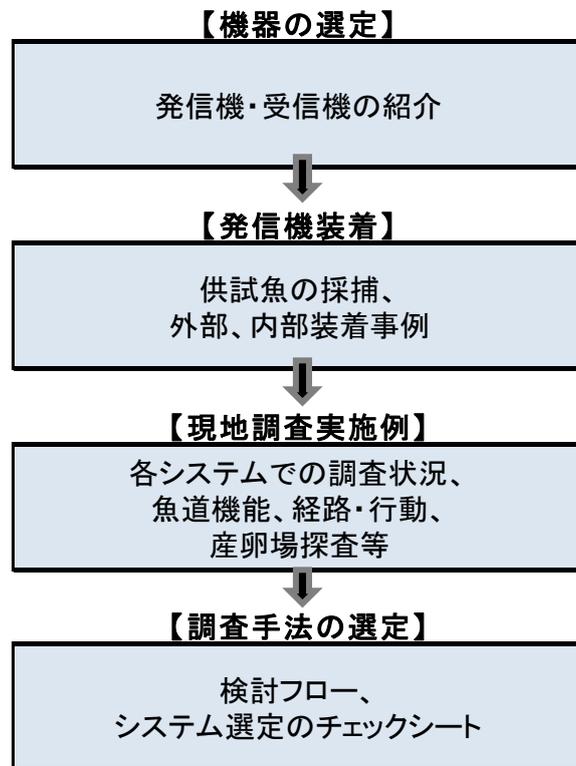
### 1.3. 適用範囲

本ガイドラインの内容は、寒冷地の河川調査を対象としており、技術レベルは2016年3月現在のものである。

また、テレメトリー機器の紹介例については、国内メーカーや商社で取り扱われる代表的な機種のうち、当研究所および北海道栽培漁業振興公社等で使用実績の有するものを対象とした。

#### 1.4. 本ガイドラインの構成

本ガイドラインの構成は、次のフローのとおりである。



## 2. 機器選定

## 2. 機器選定

### 2.1 各種システムの特徴の一覧

#### 【電波システム】

項目：受信時刻、強度、ID、遊泳速度、筋電位、深度、水温等

##### ■ 長所

- 淡水で使用可能となり、流況や濁度を問わない
- リアルタイムで位置を把握
- 地上から受信可能で、発信機が陸上に上がっても受信可能
- 超音波より小型の機種がある
- 移動局に適すが、設置型も可能

##### ■ 短所

- アンテナを持って魚を追いかけないと、データ捕捉が不可能
- 水深が5 m以上の場所では受信距離が極端に低下
- 汽水域・海域では使用不可能
- 微弱電波局以外は、総務大臣への許可申請が必要となり、申請料および検査料が高額
- 第三級陸上特殊無線技士の免許者が従事する必要あり
- 発信機から出ているワイヤーアンテナ部が長く(20-30 cm)魚体にかからまるおそれがある。
- 設置型の場合、電源供給が必要あり
- 複数の個体が同時にアンテナを通過すると、ID等の受信が不可能

#### 【超音波システム】

項目：受信時刻、ID、深度、水温等

##### ■ 長所

淡水・海水、水深が大きい水域でも使用可能  
電波法などの許可申請が不要  
移動局と設置型に適す機種が存在  
設置型の電池の寿命が長い  
データ送信に Bluetooth の技術が使われ、データ回収が容易

##### ■ 短所

水深が浅く、流速が速い場所、波立つ場所、あるいは濁水時にはノイズや反射が大きくなり、受信が不可能  
受信機のセンサーを水中に投入する必要があり、さらに発信機が陸上に上がると受信不可能  
受信機のデータ回収時のみ結果が把握できる  
設置型は、受信機の洪水時などで流出等の可能性あり  
河川での魚体内部装着は受信強度が低下傾向  
複数の個体が同時にアンテナを通過すると、ID等の受信が不可能

### 【自記式計測機：ロガー】

項目：深度、水温、加速度、心電位、脳波等

#### ■ 長所

- 淡水・海水でも使用可能
- 供試魚の経験連続時系列データを長期的に取得
- 電波法などの許可申請が不要
- ギアテレメトリー（漁具等）としても使用可能

#### ■ 短所

- 回収ができないと、データの取得が困難。ただし、大型魚はポップアップシステム併用によりロガーの回収確率が向上する。
- 機器の価格が高くなる傾向にある。

### 【電子タグシステム】

項目：受信時刻、ID

#### ■ 長所

- タグが超小型
- 電波法などの許可申請が不要
- 寿命が半永久的であり、長期間の観測が可能
- 安価であることから、大量の供試魚の調査を行うことが可能

#### ■ 短所

- 受信距離が極端に短い（平均約 50cm 以下）
- リーダーに要電源供給
- 周辺状況によりアンテナのノイズが高い場合、受信の感度が著しく落ちるため、ノイズチェックが必要
- 複数の個体が同時にアンテナを通過すると、ID 等の受信が不可能

## 2.2. 発信機

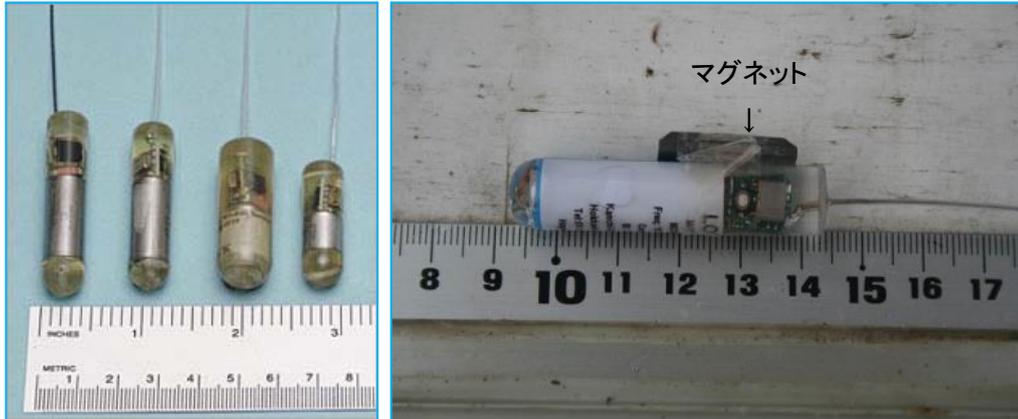
### 2.2.1 電波発信機

#### 【解説】

- 電波発信機は、電波受信機とのセットで使用する。
- 電波発信機は、小型から大型までの機種が提供され、サイズは発信期間(寿命)等に依存する。
- 機種により、周波数と発信定格出力、発信間隔、発信期間等が異なる。また、コード識別の有無や時刻、遊泳深度・水温、筋電位(筋肉活動)、水平方向等が電波と同時に発信され、受信機に記録される機種がある。
- 電波の発信と遮断の切換は、マグネットやスタータキット等により行う機種が多い。
- ほとんどの機種は、「発射する電波が著しく微弱な無線局」の規定から外れるもの（例：発信定格出力：周波数帯 322 MHz 以下の場合、毎メートル 500 マイクロボルト 以上)であり、これは、総務大臣(総務省総合通信局：地方支分部局)への無線局免許申請が必要となる。申請から免許までの期間は、担当部局に確認する必要がある、これまでは、概ね 1 か月以上であった。申請者は、第三級陸上特殊無線技士以上の資格が必要となる。
- 「発射する電波が著しく微弱な無線局」に該当する機種も市販されており、当該機種については総務省に対しての免許申請は不要であるが、受信距離が短くなる可能性があることに留意する。

【MCFT(長寿命)シリーズ】

この発信機シリーズは、発信機を装着した魚類の位置と ID、時刻を捕捉できる。



Lotek 社 HP より引用

図 2-2-1 電波発信機の例(カナダ Lotek 社製、無線局免許申請の対象機種)

表 2-2-1 MCFT2 シリーズの規格(カナダ Lotek 社製 HP より引用:翻訳)

機器名	機器諸元			寿命(日)*	
	サイズ (直径×長さ) (mm)	重量 (空中 g)	重量 (水中 g)	2.0 秒 電波の発信間隔	5.0 秒 電波の発信間隔
MCFT2-3BM	11 × 43	8.0	3.7	184 / 306	444 / 723
MCFT2-3B	14 × 37	9.0	4.0	66 / 110	160 / 258
MCFT2-3EM	12 × 53	10	4.3	219 / 364	528 / 860
MCFT2-3FM	11 × 59	11	4.6	366 / 609	882 / 1432
MCFT2-3LM	12 × 69	13	5.4	340 / 566	819 / 1330
MCFT2-3A	16 × 46	16	6.7	574	1376
MCFT2-3L	16 × 73	25	11	1241	2929

\* 標準寿命／長寿命

### 【CEMG(筋電位計測機能) シリーズ】

この発信機シリーズは、発信機を装着した魚の位置と ID、時刻、筋電位(筋肉の活動)の情報を捕捉できる。

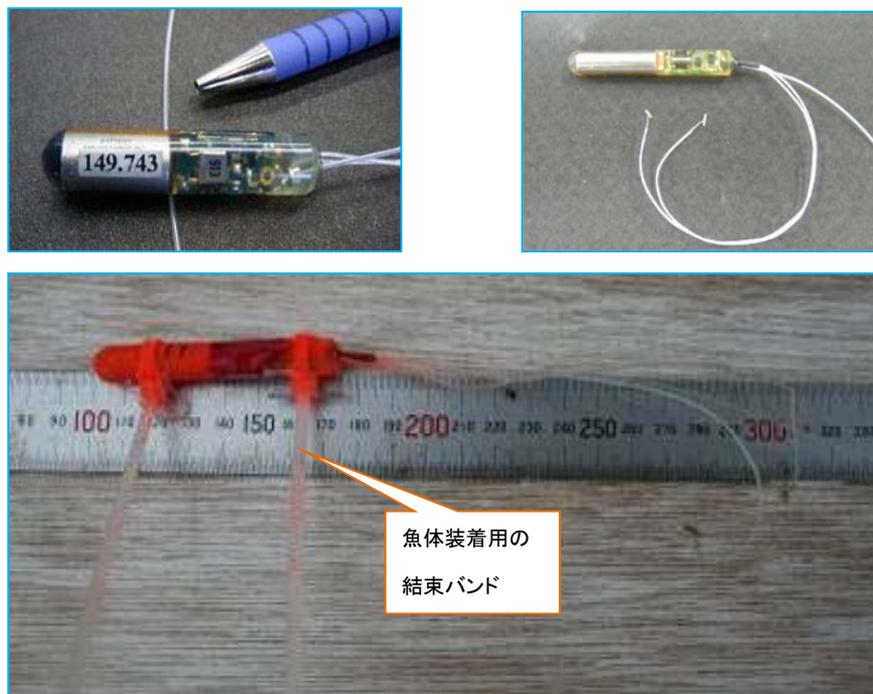


図 2-2-2 電波発信機の例(カナダ Lotek 社製、無線局免許申請の対象機種)

表 2-2-2 CEMG シリーズの規格(カナダ Lotek 社製 HP より引用:翻訳)

機器名	サイズ (直径×長さ) (mm)	機器諸元		寿命(計算値:日)	
		重量 (空中 g)	重量 (水中 g)	2.0 秒 電波の発信間隔	5.0 秒 電波の発信間隔
CEMG2-R11-18	11×54	10	4.9	51	63
CEMG2-R11-25	11×62	12	5.7	74	89
CEMG2-R11-35	11×72	15	6.7	104	125
CEMG2-R16-25	16×62	25	13	178	215
CEMG2-R16-33	16×70	29	15	245	296
CEMG2-R16-50	16×87	33	16	356	430

### 【ナノタグ(小型)シリーズ】

この発信機シリーズは、小型で軽重量であるため、小型魚への装着が可能である。発信機を装着した魚の位置と ID、時刻を捕捉できる。



図 2-2-3 電波発信機の例(カナダ Lotek 社製、無線局免許申請の対象機種)

表 2-2-3 ナノタグシリーズの規格 (カナダ Lotek 社製 HP より引用: 翻訳)

Nano Tag	機器諸元		寿命 (計算値: 日)*			
	サイズ (w × h × l) (mm)	重量*** (空中、g)	2.0 秒 電波の発信間隔	5.0 秒 電波の発信間隔	10 秒 電波の発信間隔	40 秒 電波の発信間隔
NTQ - 1	5 × 3 × 10	0.26	10	21	33	55
NTQ - 2	5 × 3 × 10	0.31	16	33	52	87
NTC-M-1	5 × 3 × 14	0.37	5 / 10	19 / 21	19 / 33	43 / 55
NTC-M-2	5 × 3 × 14	0.43	8 / 16	18 / 33	31 / 52	68 / 87
NTC-M-3	7 × 4 × 15	0.55	9 / 20	22 / 41	38 / 64	84 / 107
NTC-3-1	6 × 4 × 15	0.80	20	41	64	84
NTC-3-2/ NTQ-3-2	6 × 4 × 16	1.10	19 / 39	43 / 80	74 / 124	162 / 208
NTC-4-2S/ NTQ-4-2S	8 × 15	1.40	38 / 79**	87 / 163**	**	**
NTC-4-2L/ NTQ-4-2L	8 × 18	2.10	38 / 79	87 / 163	150 / 251	328 / 421
NTC-6-1/ NTQ-6-1	9 × 22	2.80	54 / 113	124 / 232	213 / 357	467 / 599
NTC-6-2/ NTQ-6-2	9 × 30	4.30	104 / 215	235 / 441	405 / 678	887 / 1137

\* 寿命は計算値：一般的な値もしくは平均値を示す

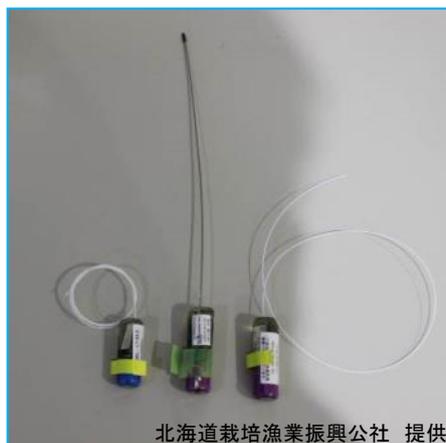
保証寿命は上記記載寿命の 80%、最大保障期間は 3 年間

\*\* TC-4-2S の最大保障寿命は 77 日間

\*\*\* 空中重量の誤差は ±5%が存在する可能性あり

## 【 LT シリーズ】

この発信機シリーズは、国産であり、電波申請が不要である（「特定小電力無線局 150MHz 帯動物検知通報システム用無線局」の標準規格「ARIB STD-T99」に適合）。発信機を装着した魚の位置と ID、時刻の情報を捕捉できる。



北海道栽培漁業振興公社 提供

図 2-2-4 電波発信機の例(国産 サーキットデザイン社製、微弱電波局の対象機種)

表 2-2-4 LT シリーズの規格(国産 サーキットデザイン社製、微弱電波局の対象機種 HP より引用)

項目	仕様	備考
適合規格	ARIB STD-T99 適合	技術基準適合証明取得済
送信周波数	CH-1: 142.94MHz、CH-2: 142.95MHz CH-3: 142.96MHz、CH-4: 142.97MHz CH-5: 142.98MHz	CH-1～5 のいずれか 1 チャンネル (チャンネル変更不可)
電波形式	F2D	
変調方式	サブキャリア MSK 方式の周波数変調	0:1,800Hz、1:1,200Hz
通信速度	1,200bps	
送信時間	1 秒周期で約 80msec 送信機	周期的送信
送信電力	6mW 以下	
識別符号	動物の種類:4bit	魚類
	個体識別符号:12bit	4,096 種類
使用電池	リチウム電池 1 個	3.6V
電池寿命	約 30～50 日	動作温度による
消費電流	送信時:11mA 以下	3.6V 入力時
アンテナ	単一型ワイヤーアンテナ:48cm	
動作温度範囲	-20 ～ +55℃	防水・防塵仕様
外形寸法	φ17 × 65 mm	アンテナ部を除く
重量	20g 以下	
付属品	マグネット	

## 2.2.2 超音波発信機

### 【解説】

- 超音波発信機は、超音波受信機とのセットで使用する。
- 超音波タイプの発信機は、小型から大型までの機種が提供され、サイズは発信期間(寿命)等に依存する。
- Vemco 社製（超音波発信機世界シェア No.1）の発信機の周波数は、小型機種(V4-5)が 180 KHz、その他が 69 KHz の設定であり、受信機もそれぞれで必要となる。
- 機種により、周波数と発信定格出力、発信間隔、発信期間等が異なる。また、コード識別の有無や時刻、遊泳深度・水温、加速度等が電波と同時に発信され、受信機に記録される機種がある。
- 超音波の発信と遮断の切換は、マグネットやスタータキット等により行う機種が多い。
- 超音波発信機の使用については、電波法などの免許申請や資格等は不要である。
- 1つの発信機で、超音波と電波を発信する複合機も存在し、電波発信について電波法の免許申請や資格等が必要となる。

**【長寿命型】**

あらかじめ水中に超音波受信機を設置しておき、魚類の位置と ID、時刻を把握する。装着可能な魚体サイズは、概ね、30cm 以上である。

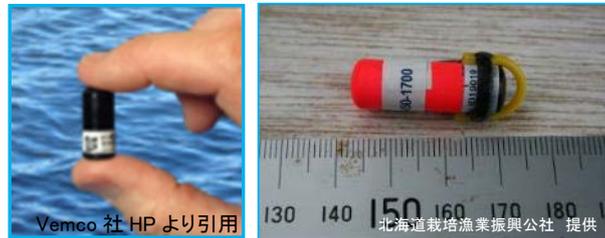


図 2-2-5 超音波発信機の例(カナダ Vemco 社製:69KHz 発信)

表 2-2-5 超音波発信機の規格(カナダ Vemco 社製 HP より引用:翻訳)

タイプ	直径	最少 サイズ 長さ (mm), 水中重量 (g)	最大 サイズ 長さ (mm), 水中重量 (g)	出力 (dB)	センサーの付加 ・水温 ・水深	寿命例 (センサーなし) (発信間隔: 90 秒)
<b>V7</b>	7 mm	18 mm, 0.7 g	22.5 mm, 1.0 g	136	不可能	220 日
<b>V8</b>	8 mm	20.5 mm, 0.9 g	20.5 mm, 0.9 g	144-147	不可能	165 日
<b>V9</b>	9 mm	21 mm, 1.6 g	45 mm, 3.3 g	145-151	可能	550 日
<b>V13</b>	13 mm	36 mm, 6 g	48 mm, 6.5 g	147-153	可能	1135 日
<b>V16</b>	16 mm	54 mm, 8.1 g	98 mm, 17.3 g	150-162	可能	10 年

【小型】

あらかじめ水中に超音波受信機を設置しておき、魚類の位置と ID、時刻を把握する。小型魚に装着可能であり、飲み込みし装着にも使用可能である。ただし、寿命は長寿命型と比べ短い。

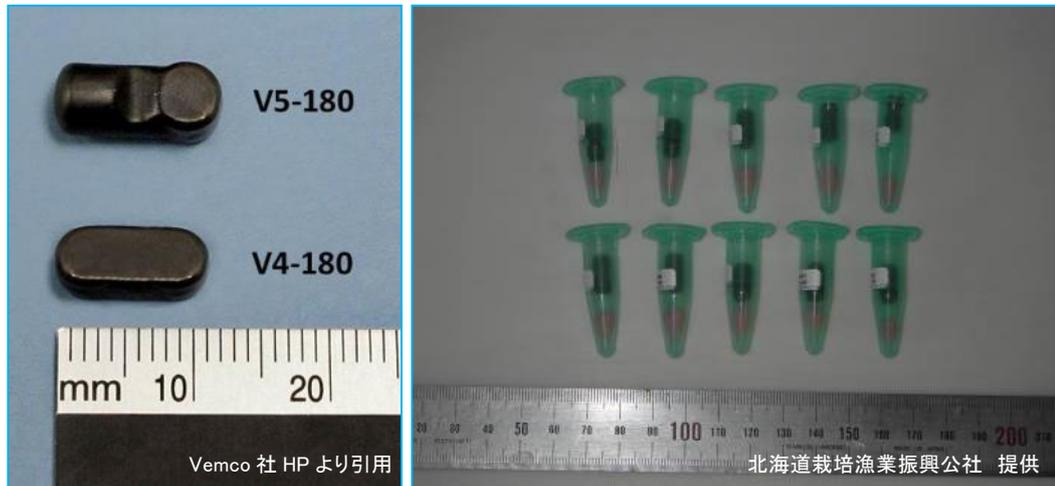


図 2-2-6 超音波発信機の例(カナダ Vemco 社製:180KHz 発信)

表 2-2-6 V4-5 の規格(カナダ Vemco 社製:HP より引用:翻訳)

タイプ	長さ (mm)	高さ (mm)	幅 (mm)	空中重量 (g)	空中重量 (g)	出力(dB)	寿命例 (60 秒間隔)*
V4-180kHz	11 mm	3.6 mm	5.7	0.42	0.24	134	62 日
V5-180kHz	12.7 mm	4.3 mm	5.6	0.65	0.38	143	131 日

\*一般的な寿命を示す。

【水温・深度データ発信機能付き】

あらかじめ水中に超音波受信機を設置しておき、魚類の位置と ID、時刻の他、水温・深度のデータを発信し、受信機に記録される。



図 2-2-7 超音波発信機の例(カナダ Vemco 社製:69KHz 発信)

表 2-2-7 V13TP の規格(カナダ Vemco 社製 HP より引用:翻訳)

タイプ	直径	最少サイズ 長さ(mm), 空中重量(g)	最大サイズ 長さ(mm), 空中重量(g)	出力 (dB)	センサー 水温 水圧 (深度)	電池寿命例 (センサー:水温のみ) (超音波:低モード) (発信間隔:90秒)
<b>V9T</b>	9 mm	21 mm, 2.9 g	47 mm, 6.4 g	145-151	水温	405 日
<b>V13TP</b>	13 mm	36 mm, 11 g	45 mm, 12.3 g	147-153	水温 深度 水温+深度	779 日
<b>V16TP</b>	16 mm	54 mm, 19 g	98 mm, 37 g	150-162	水温 深度 水温+深度	10 年

【 超音波・電波複合タイプ 】

1つの発信機から、超音波と電波が両方発信される。両発信機の特徴を併せ持つ。



図 2-2-8 超音波・電波複合型発信機(カナダ Lotek 社製)

表 2-2-8 MM シリーズの規格(カナダ Lotek 社製:超音波 69KHz・76KHz、電波 151.89MHz 発信 HP より引用:翻訳)

モデル名	機器諸元		寿命(計算値)	
	サイズ (直径 × 長さ) (mm)	重量 (g)	標準出力/高出力 (日)	標準出力/高出力 (日)
MS-series Dual Mode Operation - MAP Acoustic + SRX Acoustic				
			M = 5s / R = 60s	M = 10s / R = 120s
MM-MR-8-SO	8.5 × 42	5.5	19	37
MM-MR-11-SO	11 × 38	6.6	19	37
MM-MR-11-28	12 × 60	10.5	91 / 24	181 / 48
MM-MR-11-45	12 × 73	14.5	142 / 37	281 / 74
MM-MR-16-25	16 × 57	26.0	178 / 47	354 / 94
MM-MR-16-33	16 × 64	29.0	243 / 64	483 / 128
MM-MR-16-50	16 × 80	35.0	389 / 103	773 / 205
MR-series Dual Mode Operation - MAP Acoustic + R-code Acoustic				
			M = 5s / S = 5s	M = 10s / S = 10s
MM-MS-8-SO	8.5 × 42	5.5	16	31
MM-MS-11-SO	11 × 38	6.6	16	31
MM-MS-11-28	12 × 60	11	78 / 20	154 / 41
MM-MS-11-45	12 × 73	15	121 / 32	239 / 63
MM-MS-16-25	16 × 57	26	151 / 40	301 / 79
MM-MS-16-33	16 × 64	29	206 / 54	410 / 108
MM-MS-16-50	16 × 80	35	330 / 87	656 / 173
SR-series Dual Mode Operation - SRX Acoustic + R-code Acoustic				

			M = 5 秒 / R = 60 秒	M = 10 秒 / R = 120 秒
MM-SR-8-SO	8.5 × 42	5.5	52	100
MM-SR-11-SO	11 × 38	6.6	52	100
MM-SR-11-28	12 × 60	11	256 / 69	495 / 137
MM-SR-11-45	12 × 73	15	398 / 107	770 / 212
MM-SR-16-25	16 × 57	26	508 / 132	994 / 263
MM-SR-16-33	16 × 64	29	693 / 180	1356 / 358
MM-SR-16-50	16 × 80	35	1109 / 288	2169 / 573
MM-series Sensor Transmitter Options				
	機器の諸元		寿命 (計算値)	
	追加分	追加分	減少率	
センサー	サイズ(直径×長さ)	重量		
	(mm)	(g)*	(日)	
動き	0 × 0	0.0	< 1%	
水温+深度	0 × 5	0.5 - 3.0	< 1%	
深度+動き	0 × 5	0.5 - 3.0	< 1%	

## 性能に関する注意

すべての数値の許容値は± 5%.

保証寿命は機器の発送から勘案して 80%である。

寿命が最大保障される期間は 3 年間である。

MAP モードではセンサーのみが利用できる (MM-MR-series.など)

センサー付の発信機の長さ重量は ID の重量にセンサー分の重量が追加される

センサーの重量について、8.5 mm、3g、直径 16 mm の発信機で 0.5g 増加する。

### 2.2.3 自記式計測機（ロガー）

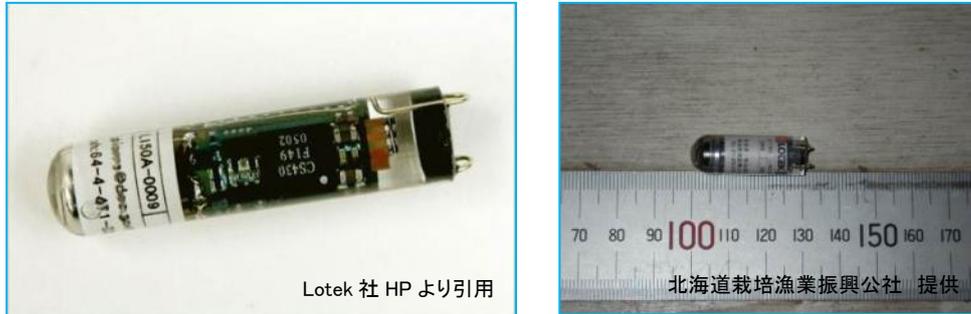
#### 【解説】

- 自記式計測機（ロガー）は、機器内にデータが蓄積されるため受信機などが不要である。
- 現地調査や室内実験で、主に、深度、水温、加速度の計測機種が使用されている。
- 心電位、脳波の計測機種も存在し、主に水槽実験等で使用されている。
- 非回収の場合は、データが取得されない。
- 回収率を上げるため、機器の精密な回収計画を立案する必要がある。
- 使用に当たり、電波法の免許申請や資格等は不要である。
- ロガーは、近年、小型の機種が提供されているものの、シシャモやサクラマス幼魚などの小型魚や遊泳力の少ない魚類へ装着可能なサイズは未だない。

【深度・水温ロガー】

ロガーを装着した魚類が経験した深度・水温を記録する。

【 LAT1100(深度・水温記録機能) 】



Lotek 社 HP より引用

北海道栽培漁業振興公社 提供

図 2-2-9 自記式計測機の例(カナダ Lotek 社製)

表 2-2-9 Lat シリーズの規格(カナダ Lotek 社製 HP より引用抜粋:翻訳)

	LAT1100	LAT1400	LAT1410	LAT1500	LAT1800S	LAT1800 L
					チューブタイプ	
直径 (mm)	31.5 × 15 × 5.6	11 × 35	11 × 35	8 × 32	11 × 38	13 × 44
空中重量	4.5 g	5.1 g	5 g	3.4g (estimate)	6.3g	11g
淡水重量	~ 1.7 grams	~ 1.5 grams	~ 2 grams	~0.9g	未確定	
記憶容量	64K, 128K	64K, 128K	128K	128k, 512k	128 Mbytes	
可能深度	2000 m	2000 m	2000 m	2000 m	2000 m	
最大観測水温	35° C	35° C	35° C	35° C	35° C	
最少観測水温	-5° C	-5° C	-5° C	-5° C	-5° C	
塩水スイッチ	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
標準深度範囲	50m, 100m, 200m, 500m, 1000m	50m, 100m, 200m, 500m, 1000m, 2000m	50m, 100m, 200m, 500m, 1000m, 2000m	50m, 100m, 200m, 500m, 1000m, 2000m	50m, 100m, 200m, 500m, 1000m, 2000m	
最少寿命*	1 年間	1 年間	1 年間	1 年間	1 年間	2 年間

\* 12 秒ごとの測定間隔

最少電池寿命は、測定間隔による：詳細は LOTEK に問い合わせてください。

これらの数値は変更する可能性がある。

## 【心拍ロガー】

ロガーを装着した魚類の心拍数を記録する。

### 【 W400-ECG.SW ECG logger(心電位記録機能) 】

#### 【ECG ロガーとセンサー】



#### 【ECG ロガーとセンサーの装着】



図 2-2-10 自記式心電位計測機の例

(国産 リトルレオナルド 社製:直径 21mm、長さ 110mm、空中重量 57g)

ECG データロガーの規格 ((有) リトルレオナルド HP より引用)

品 名

マイクロデータロガー (心電入力 1 c h)

型 式

W400-ECG

概 要

- ◆心電アンプを搭載したメモリ記録方式のロガー (超小型データ収集装置) です。
- ◆電極コネクター部分に軽量の樹脂を採用しました。
- ◆W400-ECG型に大容量の 1 Gビットメモリを搭載し長時間の計測を可能にしました。
- ◆専用のインターフェイスボックスを採用する事でコンピュータへのデータ転送時間の大幅短縮

を実現しました。

◆心電用外部電極を接続することで心電波形を記録することが出来ます。

◆水中での耐久性を考慮し、防水耐圧 400m のアルミ耐蝕ケースを使用しています。

#### 仕様

計測チャンネル 1チャンネル

計測項目 心電

計測範囲 入力スパン  $\pm 5.8\text{mV}$

入力時定数 約 0.01sec

(時定数は 0.01~0.2sec の範囲で作成可能)

入力インピーダンス 約 510K $\Omega$  (差動入力)

計測方式 3電極

A/Dコンバータ 12bit(1/4,096)

メモリ 1Gbit フラッシュメモリ

記録データ数 合計約 6,400 万データ

記録可能時間 17.5 時間以上 (1msec サンプルング設定時)

175 時間以上 (10msec サンプルング設定時)

圧縮率はデータの変化率により変わる (2 倍程度)

サンプルング間隔 1~255msec 1msec ステップ

消費電流 平均 4mA 以下

電源 リチウム電池 CR2 $\times$ 1 個 電池容量 750mAh

電池寿命 : 約 180 時間以上

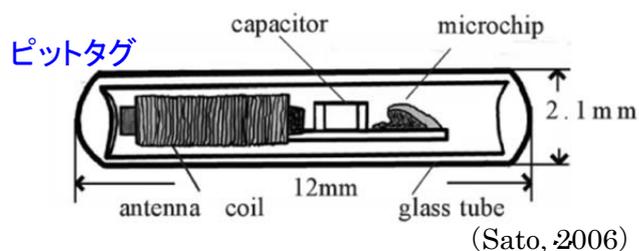
外形・寸法・重量 材質 : アルミニウム(A6061B-T6)黒色硬質アルマイト表面処理

寸法 : 約  $\phi 21 \times 110\text{mm}$ (リード線部含まず) 重量 : 約 57g (電池込み)

## 2.2.4 電子タグ（ピットタグ）

### 【解説】

- 電子タグは、受信機・アンテナとセットで使用する。
- 電子タグは、電磁波の技術であり、半永久的（非電池式）に使用可能なものである。
- 魚類への応用は、ピットタグシステムが提供されており、タグが受信機のアンテナ付近を通過すると、ID と時刻等がリーダーに記録される。
- 上記の記録データを携帯電話回線により PC に送信するシステムがある。
- リーダーは、ID のみが表示される可搬型の機種がある。



### PITタグシステム技術



図 2-2-11 ピットタグシステムの概念

【ピットタグシステム】

【HPT12】



図 2-2-12 ピットタグの例(アメリカ バイオマーク社製:長さ 12.5mm 134.2 kHz 0.1g)

表 2-2-10 ピットタグの規格(アメリカバイオマーク 社製 HP より引用一部抜粋:翻訳)

タイプ	HPT12
周波数	134.2kHz±1.5kHz
サイズ	長さ : 12.5mm (±0.4mm)、直径 : 2.12mm (±0.1mm)
重量	115mg (±20mg)
対応温度	-25°C ~ 85°C
対応高度	-100 ~ 3000m

## 2.2.5 ワイヤータグ

### 【解説】

- ▶ ワイヤータグは、リーダーとセットで使用する。
- ▶ 電子タグの前身として、金属製のワイヤーコードタグも存在し、超小型のタグを魚体に打ち込み、リーダーでタグの有無を確認するシステムである。
- ▶ 現地での受信機等は提供されておらず、魚体にリーダーを当ててタグの有無を確認する必要がある。
- ▶ 個体識別用の ID は、ワイヤーに刻印されており、顕微鏡等で読み取る。
- ▶ ワイヤータグは、専用の打込機で魚体に埋め込む。



図 2-2-13 ワイヤータグの例(アメリカ NMT 社製:長さ 0.25mm)

## 2.3. 受信機

### 2.3.1 電波受信機

#### 【解説】

- 電波受信機は、発信機の電波を受信（音変換）するほか、受信強度、ID、深度、水温等の情報を記録する機種がある。
- 八木アンテナと組み合わせることにより、指向性が増す。
- 周波数によっては、妨害電波を受け、混線する場合もある。
- 可搬型の場合、2 箇所以上から受信強度を比較することにより、供試魚の位置を特定することが可能となる。
- 設置型の場合、たいていの機種で電源供給が必要となり、100V の電源がない場所では、バッテリーを用いる必要がある。
- 受信機に複数個体のデータが同時に受信されると、ID 等が識別されない。
- 設置型 3 箇所以上の設置と GPS の組合せにより、受信範囲の電波発信機の位置を追跡する、ATS システムが国立研究開発法人土木研究所により開発されている。

【 SRX シリーズ 】

可搬型での使用に有効である。設置型として用いる場合は、電源供給が必要となる。



図 2-3-1 電波受信機の例(カナダ Lotek 社製)

【 ATS シリーズ 】

設置型専用の機種である。電源は、バッテリー等を用いる。

ATS シリーズ (Advance Telemetry System : 野生動物行動自動追跡システム) は、指向性アンテナを有した複数の受信局で構成される。各受信局は、約 5 分ごとに指向性アンテナを回転させ、野生動物に装着した電波発信機から発信される電波が到来する角度を計測する。その後、各受信局の電波到来角を用いて三角測量の原理で野生動物の位置を算出するシステムである。



図 2-3-2 電波受信アンテナの例(土木研究所製 ATS システム)

【 LR-03(受信機)、LA-01(アンテナ) 】

小型で安価である。受信距離が短いため、使用に当たっては、現地で受信を確認する必要がある。



図 2-3-3 電波受信機の例(国産 サーキットデザイン社製)

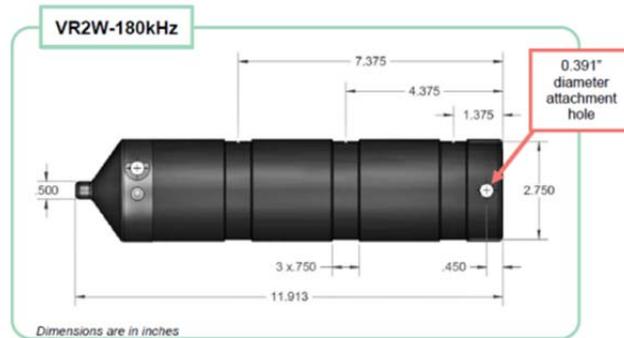
### 2.3.2 超音波受信機

#### 【解説】

- 超音波受信機は、超音波を受信する他、受信時刻、ID、深度、水温等の情報を記録する機種がある。
- 周波数によっては、妨害電波を受け、混線する場合もある。
- 設置型の場合、たいていの機種は電池式である。電池寿命は1年間程度の機種が存在する。
- 可搬型の場合、2箇所以上から受信強度を比較することにより、供試魚の位置を特定することが可能となり、この場合、指向性ハイドロフォンを用いる必要がある。
- 受信機に複数個体のデータが同時に受信されると、ID等が識別されない。
- 設置型3箇所以上の設置と同期タグの組合せにより、受信範囲における超音波発信機の軌跡を解析する、VPS(Vemco Positioning System)システムがVemco社により提供が開発されている。

## 【VR2W シリーズ 設置型】

設置型の受信機であり、発信機の ID、時刻が記録される。深度・水温発信機能付き発信機のデータも記録される。バッテリーが長寿命であり、データ回収も赤外線センサーを採用しており、現地での作業性が良い。河川では、瀬などの波立つ場所への設置は避ける必要がある。



VR2W 仕様	
寸法	308 mm × 73mm φ
重量	1190g(空中) 50g(水中)
供給電源	1-3.6V リチウム電池 D セル
バッテリー寿命	約 15 ヶ月
最大使用深度	500m
受信周波数	69 kHz
メモリー	8MB(フラッシュメモリー) 100 万回検出
接続	標準：ケーブル結束バンド
ファームウェア	フィールドでアップグレード化
ソフトウェア	互換性のある VUE ソフトウェア
発信器	コード化された VEMCO の 全ての発信器
コードマップ	計画された全ての VEMCO の コードマップ

図 2-3-4 超音波受信機の例(カナダ VEMCO 社製 VR2W)

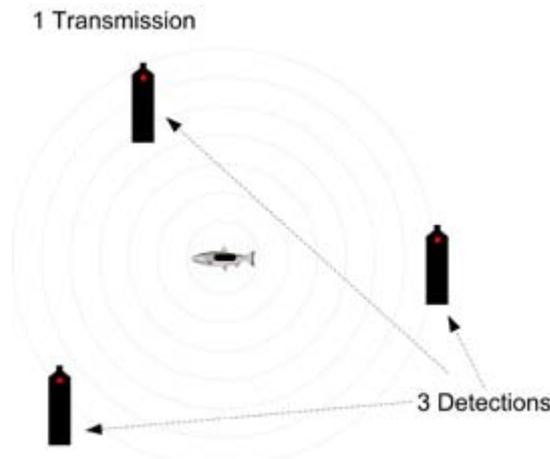


図 2-3-5(超音波受信機を用いた VPS システムの概念)

【 VR60、VR100 可搬型 】

可搬型の受信機であり、発信機の ID、時刻が記録される。深度・水温発信機能付き発信機のデータも記録される。



図 2-3-6 超音波受信機の例(カナダ VEMCO 社製)

【 WHS3250 設置型 】

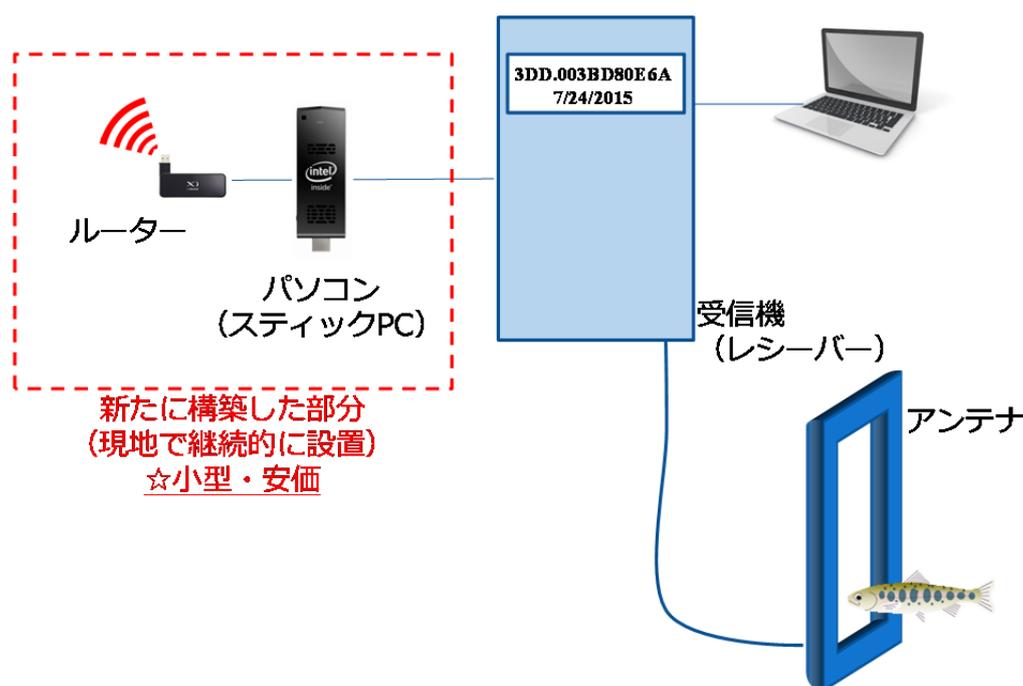


図 2-3-7 超音波受信機の例(カナダ Lotek 社製 WHS3250)

### 2.3.3 ピットタグシステム

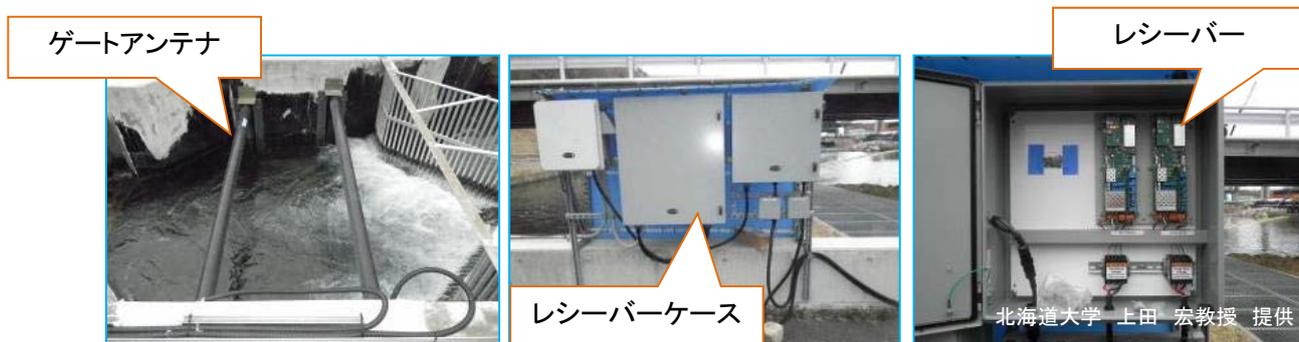
#### 【解説】

- ▶ ピットタグシステムは、ピットタグと受信機（レシーバー）・アンテナのセットで使用する。
- ▶ ピットタグシステム（アンテナ）は、設置型と可搬型(ハンディタイプ含む)が提供されている。
- ▶ 受信範囲は、50cm 程度あり、アンテナ付近を通過する個体のみが認識される。
- ▶ 設置型は、受信距離が短いことから、水面幅が狭く、水深の浅い箇所に適しており、魚道やサケ捕獲場（入口部）が該当する。
- ▶ 可搬型も受信距離が短いことから、ピンポイントでの探査に適している。
- ▶ 可搬型にはハンディタイプがあり、魚体への直接的な受信やピットタグ挿入時の ID 確認に適している。
- ▶ いずれのタイプも複数の個体が同時にアンテナ付近を通過すると、混線が生じて ID が認識されない。
- ▶ コンピュータネットワークにおいて、データを 2 つ以上の異なるネットワーク間に中継するルーターを用いることで、ピットタグシステムの受信機から遠隔でデータを回収できる仕組みが構築されている。



### 【ピットタグシステム（アンテナ、レシーバー）】

ピットタグを装着した魚がアンテナの付近を通過すると、通過時間と魚類の ID コードが記録される。



### 【 IS1001 リーダーセット】



### 【 601 リーダー(ハンディタイプ)】



### 【 可搬型リーダー】



図 2-3-9 ピットタグリーダーの例(Biomark 社製)

#### 2.3.4 ワイヤータグリーダー

##### 【解説】

- ▶ ワイヤータグは、専用のリーダーにより、タグの有無を確認し、反応した場合はタグを取り出し、顕微鏡等でコード番号を確認するものである。
- ▶ リーダーは、魚体にかざす必要がある。



北海道栽培漁業振興公社 提供

図 2-3-10 ワイヤータグリーダーの例(NMT 社製)

### 3. 発信機装着

### 3. 発信機装着

#### 3.1 供試魚の採捕

- 河川内の流水域における魚類の採捕には、投網、電気ショッカーが有効である。
- 投網は、サケ科魚類等の大型魚採捕用の種類がある。
- 電気ショッカー使用時は、電気を単発的に流し、魚体への電気ショックを軽減させる。
- 止水域では曳網が有効である。

【投網】



【投網(大型魚用)】



【電気ショッカー】



【曳網】

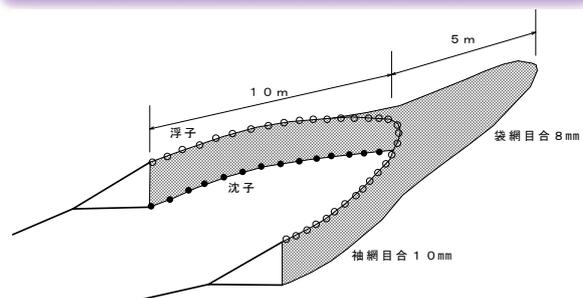
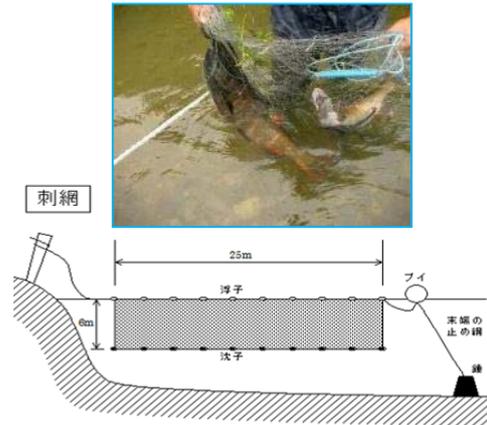


図 3-1-1 供試魚の採捕例

- ▶ 大型魚の採捕には、刺網も有効である。
- ▶ ただし、刺網は長時間にわたり放置すると、入網魚が斃死することから、設置地点で待機し、入網直後に魚を取り上げる必要がある。入網のタイミングは、網の浮子が沈む等の動作により判断する。
- ▶ サクラマス・シシャモ等の産卵遡上魚の採捕には、遡上魚用トラップが有効である。

【刺網】



【遡上魚用トラップ】

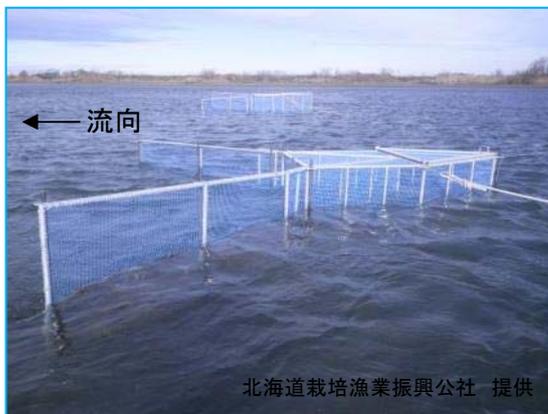


図 3-1-2 供試魚の採捕例

- ▶ 魚道での採捕には、遡上用、あるいは降下用のトラップが有効である。
- ▶ ただし、トラップは長時間にわたり放置すると、入網魚が斃死することから、一定の時間で揚網し、魚を取り上げる必要がある。
- ▶ 融雪増水期におけるサクラマススモルトの採捕時は、降下用トラップに落ち葉等の流下物が張り付き、採捕が困難となることから、ロータリー式スクリュートラップが有効である。当トラップは、採捕魚蓄養槽に流下物排出用ドラム装備され、落ち葉や小枝等を水槽内から排出する機能を有しており、長期的な採捕に適している。

### 【魚道トラップ】



### 【ロータリー式スクリュートラップ】



図 3-1-3 供試魚の採捕例

- ▶ カワヤツメは、河川の河岸部や河床材料の隙間に入り込み、投網や刺網での採捕が困難であることから、専用のやつめどうを用いることが有効である。
- ▶ モクズガニは、雑食性であり、魚や野菜などを貪欲に食すことから、カニ籠に冷凍サンマ等を入れ、河岸部に設置することにより、採捕されやすい。

#### 【設置網】



図 3-1-4 供試魚の採捕例

- ▶ サケやシシャモの親魚において、河口周辺海域から河口への遡上状況や上流域への遡上期間等を把握するためには、供試魚を海域で漁獲する必要がある。
- ▶ 産卵遡上のサケ親魚を下流側に放流し、再遡上の確認等を行う場合は、サケ捕獲場採捕魚の提供を依頼し、入手することも有効である。北海道千歳川では、試験研究の目的に限り、一般社団法人日本海さけ・ます増殖事業協会、公益社団法人北海道さけ・ます増殖事業協会に、“さけ・ます種卵等の供与要請”の文書を提出することにより、供与される場合がある。
- ▶ シシャモ漁に同行し、買取り親魚に船上で超音波発信機を装着後に放流し、河川への遡上状況(受信機設置)について把握することを目的とした調査の実施例がある。

#### 【サケ河川内捕獲】



#### 【サケ定置網漁】



#### 【シシャモ手繰り網漁】



図 3-1-5 供試魚の採捕例

### 3.2. 発信機装着手法

#### 【解説】

##### 魚体外部装着：長所

- サケ科親魚等の大型で遊泳力が強い魚種に適用
- 発信機への蛍光橙色の塗布により追跡時に目視で確認が容易
- 筋電位発信機等の装着手術が容易
- 生殖腺に傷をつけにくい

##### 魚体内部装着：長所

- 遊泳時の抵抗が少ないため、シシャモ、サクラマス幼魚、アユ等の遊泳力の比較的小さい小型魚への装着に有効

### 3.2.1 魚体外部装着 (EMG 筋電位計測機能付き発信機) の例

#### ①準備品

- 魚体に穴をあけるニードルパイプ 2本(外径 4mm 程度、長さ 150mm 程度)  
先が空洞になっていないものもあるが、後側は穴が必要 (ロックタイを通すため)



- 電極をサケに打ち込むニードルパイプ(外径 2mm 程度、長さ 150mm 程度)と押し出し棒(針金:EMG 用:外径 1mm 程度、長さ 150mm 程度)矢印部分の切れ目が重要



#### ➤ ロックタイのロック部位

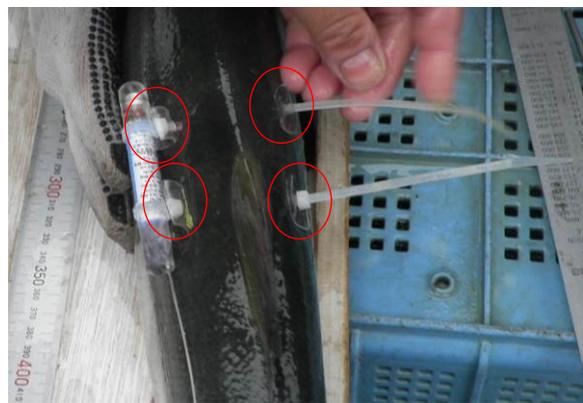
事前に準備しておく。1尾の装着手術につき 2 個必要



#### ➤ 透明のチューブ

ホームセンターで購入

チューブを約 2cm ごとに切る。縦に半分に切る。



➤ 電極(EMG 用)

LOTEK 社から発信機と同封される電極は大きすぎ、魚へのダメージが大きいと判断するため使用していない。小型の電極を別途作成する必要がある。



作成した電極 (シロザケ用)

➤ 縫合糸(EMG 用)秋山製作所 滅菌済ブレードシルク BB1



➤ 縫合針(EMG 用)



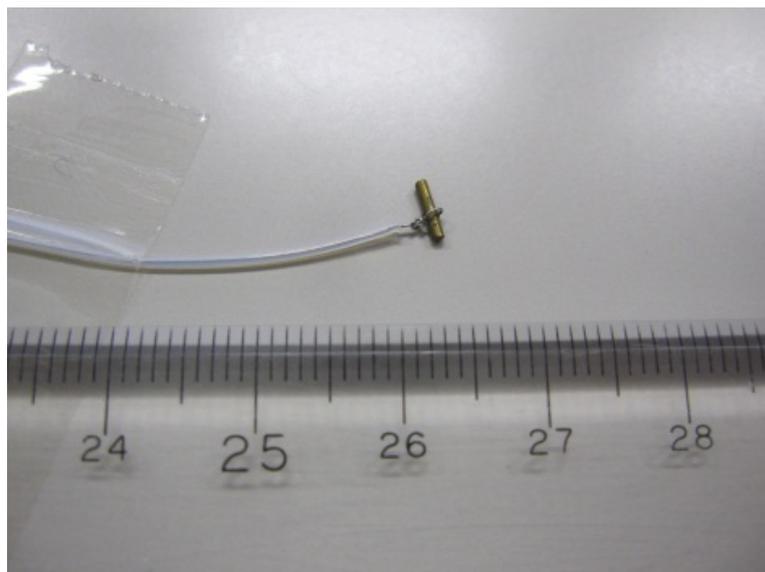
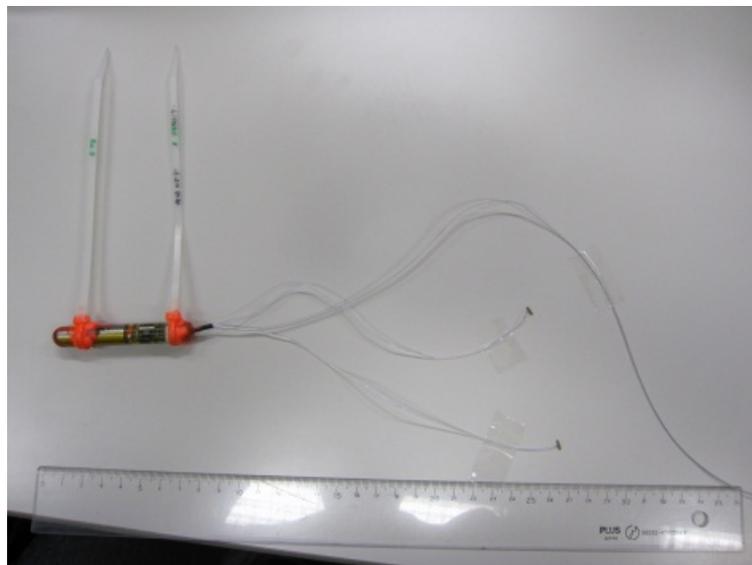
➤ 麻酔薬 FA100



➤ 発信機

写真は EMG 電波発信機

透明チューブをロックタイに事前に通しておく。(魚体の擦れ防止のため)



## ②麻酔

FA100 のキャップ 1 杯は 5ml。10L の水にキャップ 1 杯で 1/2000 の濃度になる。水温や魚の状態（海洋なのかホッチャレなのか、オスなのかメスなのか）で、麻酔のかかりが異なるので、現地での調整が必要。EMG のように長時間手術が必要な場合は、麻酔水を薄目に作り、時間を掛けて眠らせる方が良い。そうすると 5 分以上眠っている。一方、位置だけを検知する発信機は、1 分弱で手術が終わるので、濃い目に麻酔をかけて手術をするのが良い。そうするとすぐに目覚める。

麻酔をかけている最中に全長、体長、尾叉長、体重、体高、体幅、胴回りなどを測定する。尾びれを触って反応がなくなれば麻酔にかかっている状態。



図 3-2-1 麻酔中の測定の様子

## ③魚体への装着

ニードルパイプを 2 本使用し、魚体に穴をあける。

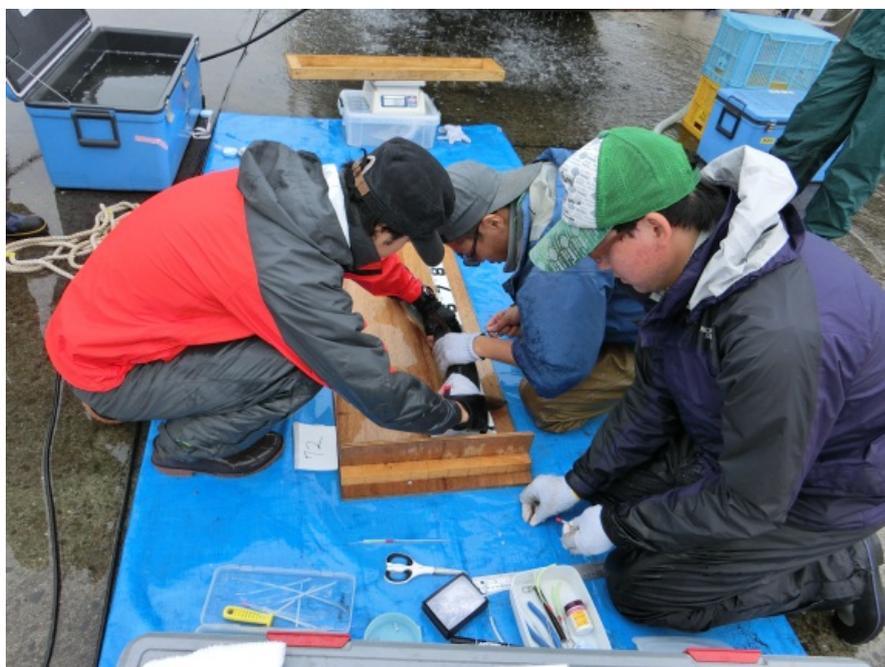


図 3-2-2 魚体へのニードル貫通状況

ニードルパイプの後ろの穴に先をとがらせた発信機ロックタイの先端を差し込み、ロックタイを押し出すのと同時にニードルパイプを引き抜く。



図 3-2-3 魚体へのニードル貫通状況

魚体を通過したロックタイに、すれ防止要の透明チューブを通す。



図 3-2-4 透明チューブの装着状況

ロックタイのロック部位を付けて、魚体に固定する。きつ過ぎず、緩すぎず、つける。余ったロックタイは切断する。



図 3-2-5 ロックタイへのロック部位装着状況

装着後は、速やかに水に戻す。エアレーションや水のかけ流しが必要である。麻酔の回復時には、溶存酸素を大量に消費する。



図 3-2-6 装着作業終了

④EMG の電極を装着する。

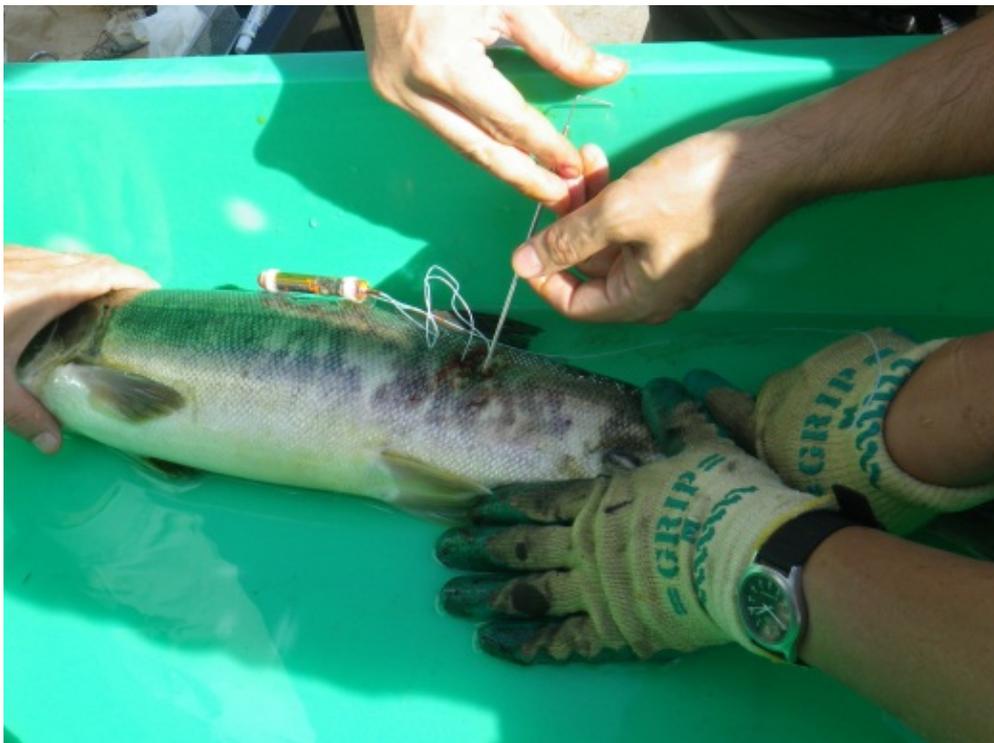
- 魚体の側線上に電極を打ち込む



図 3-2-7 ニードルへの電極のアンカーの装着(切り込みに引っかける)



このくらい短く持たないとニードルが曲がり、刺さらない。  
この時にはまだ針金を入れない。



ニードル中空内に針金を通し、アンカーを押し出し、体内に挿入する。  
挿入後は、ニードルは抜く。

図 3-2-8 アンカーの挿入状況



図 3-2-9 アンカー打ち込み完成(アンカーの間隔は、約 1cm)

➤ アンカーや電線を魚体に縫合

アンカーと電線は、電線が遊泳中に木などに引っかかると、切れたり、抜けたりするので、縫合しておく。



針と糸は、即時、使用可能となるよう準備しておく。  
手術の迅速性を考慮すると、最低 4 本は用意しておく。

図 3-2-10 針と糸の準備状況

➤ 縫合手法

縫い方の技術は以下を参照する。

Youtube “suturing technique”で検索 <http://www.youtube.com/watch?v=GGtb5L4j9yA>

結び目は最低3つ作る。縫合は、かなり練習が必要である。

アンカーの下を通すように縫合することで、アンカーが脱落しづらくなる。



アンカーの下だけ2重に縫う



アンカー部分に結び目を作る



図 3-2-11 アンカー縫合状況



電線を2箇所で縫合する。



魚のダメージ少なくするために、魚の頭を水中に入れての縫合も可能

図 3-2-12 電線の縫合状況



魚体へのダメージ軽減のため、頭部（鰓）を水中に入れて縫合することも有効



手術は 3～4 分で完了させることが理想である。エラの動きを確認し、回復状況を把握する。大量の酸素を必要とするので、エアレーションや水のかけ流しが必要である。

図 3-2-13- EMG 装着手術完了。

### 3.2.2 魚体内部装着（NTQ-2 小型電波発信機）の例

#### ①準備品

- 殺菌剤（80%以上アルコール、イソジン等）
- ピンセット、ハサミ、鉗子、メス
- 麻酔
- 針、縫合糸
- 軟組織接合用接着剤（アロンアルファ A）
- 電波発信機

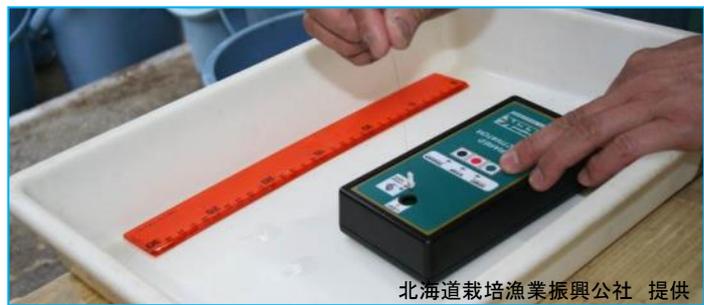


北海道栽培漁業振興公社 提供

図 3-2-14 準備品

#### ②準備品

- 電波発信機の ID を記録し、スタータ等により電波を発信させる。
- 受信機を用意し、電波の発信と ID を確認する。
- 電波発信機を殺菌する。



北海道栽培漁業振興公社 提供

図 3-2-15 電波発信機の発信

#### ③開腹

- メスにより腹側部を開腹する。
- 開腹部は、排泄口から少し前側で、側線と腹底部の中間付近とする。
- 開腹は、腸管、浮き袋等を損傷させないように行う。



北海道栽培漁業振興公社 提供

図 3-2-16 開腹状況

#### ④発信機の挿入

- 開口部から電波発信機の本体部を挿入する。
- 発信機のアンテナは、開腹部から出た状態となる。



図 3-2-17 発信機の挿入

#### ⑤開口部の接合

- 開口部を軟組織接合用接着剤により接合する。
- 追跡が長期間の場合は、下記⑦のように針と糸で縫合することが望ましい。



図 3-2-18 開口部の接合

#### ⑥装着の終了

- 装着後は水槽等で麻酔の覚醒や魚体のバランス、遊泳状況を確認する。
- 装着後、放流河川等に半日以上蓄養し、正常であれば放流を行う。

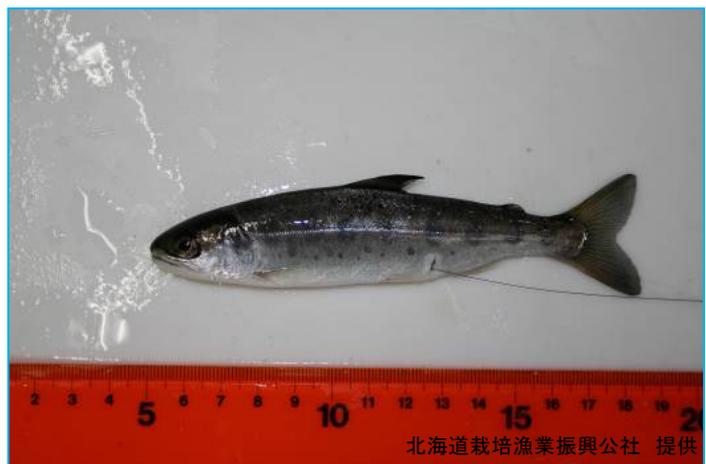


図 3-2-19 装着の終了

### ⑦開口部の縫合

- 追跡が長期間の場合は、発信機脱落の確率を低下させるために、針と糸で縫合することが望ましい。
- 縫合は、2回以上とする。
- 魚種に併せて針と糸のサイズを選定する必要がある。

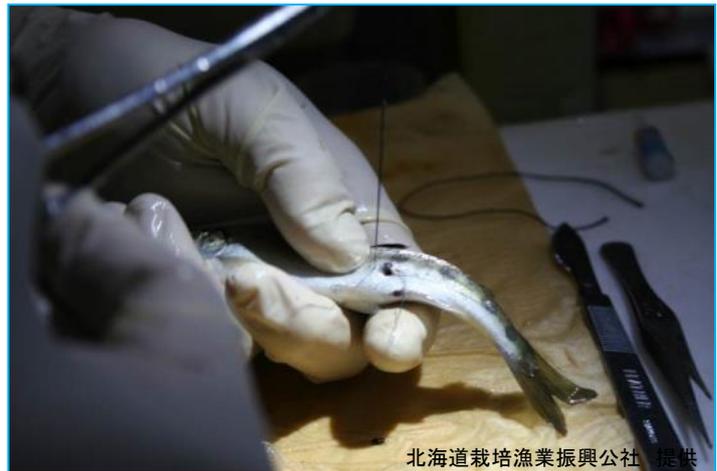


図 3-2-20 針と糸で開口部を縫合

### ⑧装着の遊泳姿勢バランス

- 装着後には、魚影の観察が可能な水槽等で、姿勢バランスやエラの動き(心拍数と連動)を確認する必要がある。



図 3-2-21 針と糸で開口部を縫合

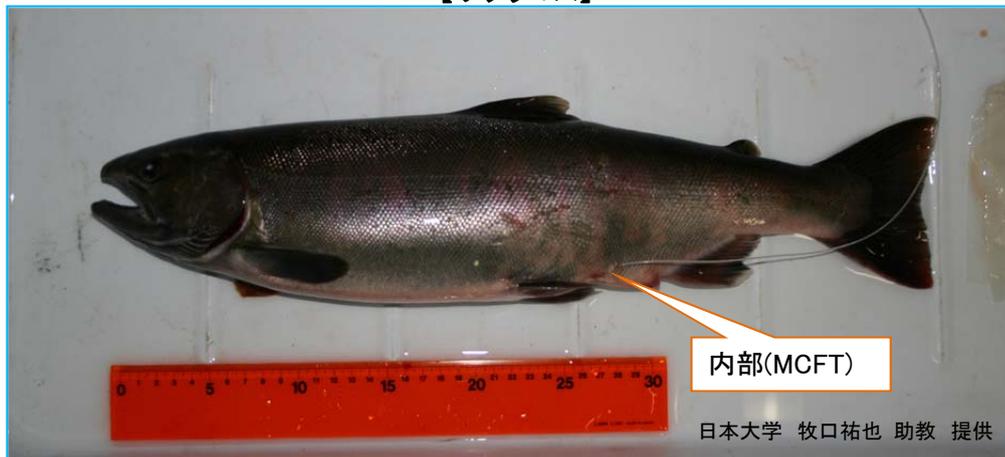
### 3.3. 魚種別の発信機装着事例

#### 3.3.1 サケ・サクラマス・カラフトマス親魚

【サケ】



【サクラマス】



【カラフトマス】



図 3-3-1 サケ科魚類への発信機装着例

【結束バンドの装着】



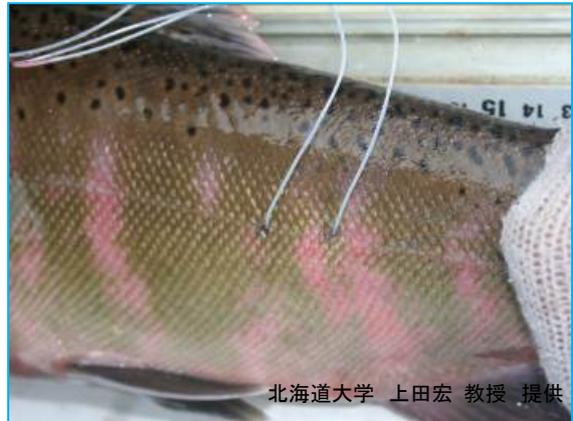
【ニードルの貫通】



【結束バンドの貫通】

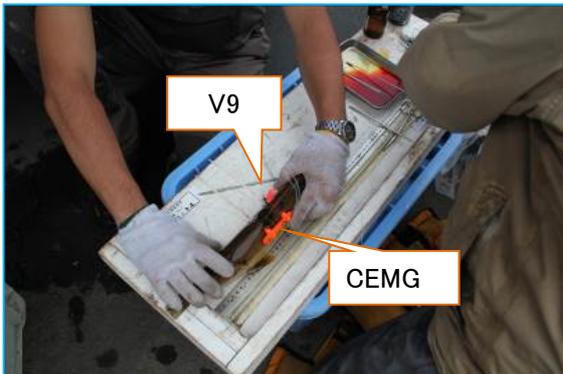


【CEMG センサーアンカー装着部】



北海道大学 上田宏 教授 提供

【電波・超音波発信機の装着】



【電波発信機・深度ロガーの装着細工】



図 3-3-2 発信機等の装着例

【手術後の麻酔蘇生】



【供試魚の活魚搬送】



【手術後の蓄養】



北海道栽培漁業振興公社 提供

【供試魚の放流】



北海道栽培漁業振興公社 提供

【河川内での定位】



北海道栽培漁業振興公社 提供

【魚道隔壁部の遡上】



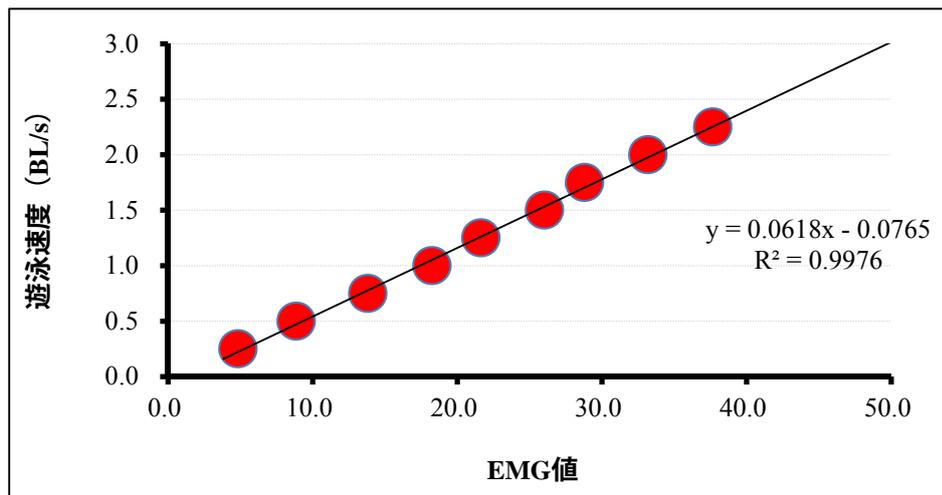
北海道栽培漁業振興公社 提供

図 3-3-3 供試魚の放流例

【回流水槽】



【EMG 値と遊泳流速の相関】



回流水槽により EMG と流速の相関関係を求めることにより、現地での EMG 値から遊泳流速が推定される。

図 3-3-4 サケ供試魚 (EMG 電波発信機-可搬型受信機) の筋電位と流速の関係

【心電位ロガー】

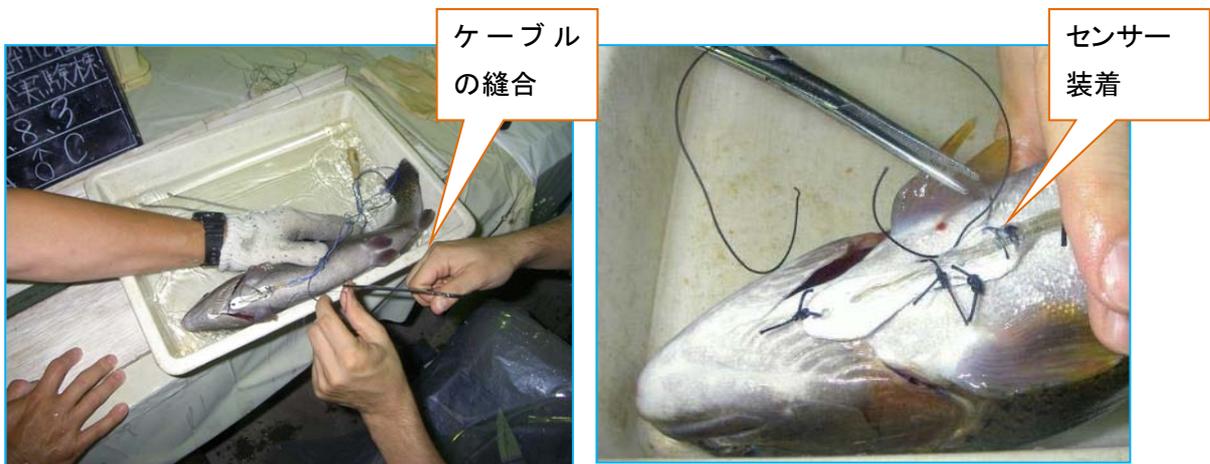
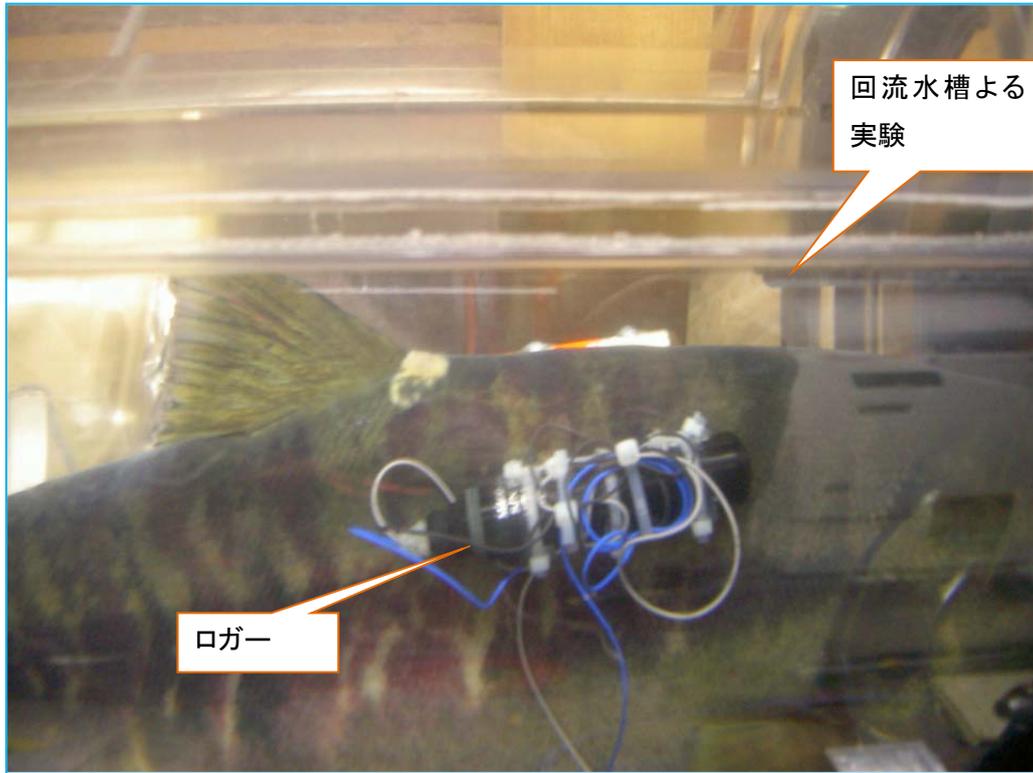


図 3-3-5 供試魚の心電位ロガーの装着例

### 3.3.2 カワヤツメ（成体・幼生）

#### ①成体

##### 【電波発信機の魚体外部装着】



##### 【ニードルの挿入】



##### 【結束バンドの挿入】



図 3-3-6 発信機の装着例

#### ②幼生

##### 【ワイヤマイクロタグの挿入】

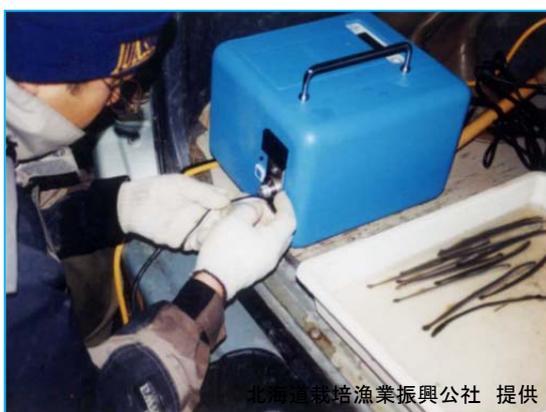


図 3-2-6 発信機の装着例

### 3.3.3 甲殻類（ザリガニ・モクズガニ）

#### ①ザリガニ

##### 【電波発信機】



##### 【ピットタグ】



##### 【ワイヤータグ】



筋肉に挿入することにより脱皮による脱落を防止

図 3-3-7 発信機の装着例

②モクズガニ

【電波発信機】



【超音波発信機】



麻醉なしでの  
装着



エポキシ系接着剤  
による空中装着

図 3-3-8 発信機の装着例

### 3.3.4 サクラマススモルト、シシャモ、アユ

#### 【サクラマススモルト】



#### 【シシャモ】

雄



雌

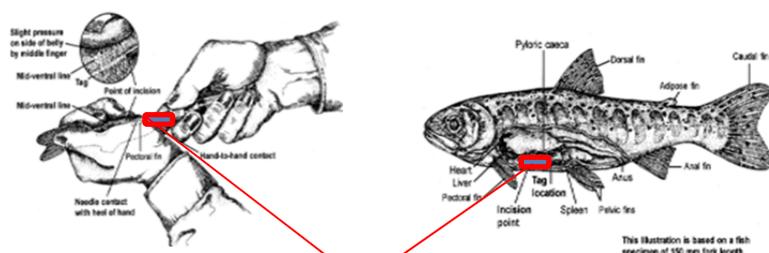


#### 【アユ】



図 3-3-9 電波発信機の装着例

【インジェクターでの装着】



ピットタグ装着イメージ(幼魚)

【麻酔と装着後の覚醒】

【装着魚:リボンタグ併用】

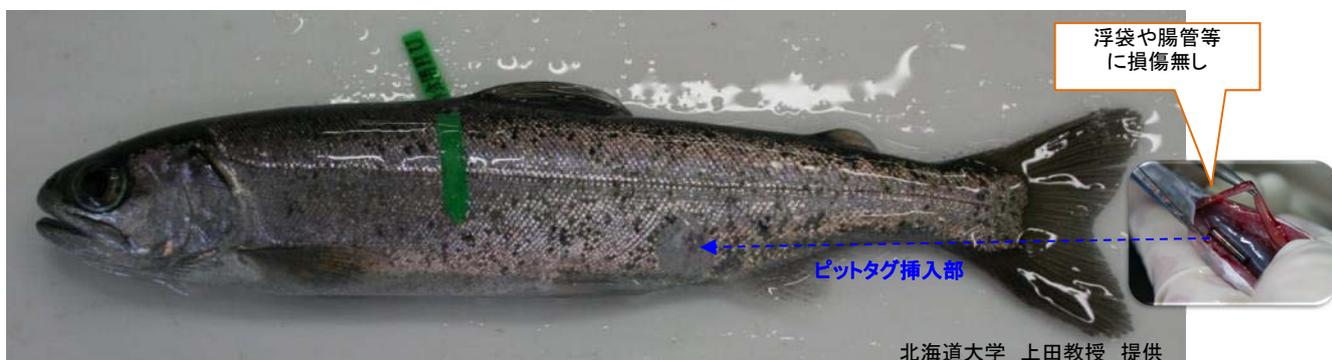


図 3-3-10 ピットタグの装着例

【シシャモ漁】



北海道栽培漁業振興公社 提供

【飲込まし】



北海道栽培漁業振興公社 提供

外気温がマイナスのときは野外で手術を行うと、供試魚が氷結することに留意する

【木製棒で胃部まで挿入】



麻酔なし

北海道栽培漁業振興公社 提供

【装着後】



北海道栽培漁業振興公社 提供

【発信機のスタート】



発信機  
挿入部

【装着後の遊泳状況】



北海道栽培漁業振興公社 提供

図 3-3-11 超音波発信機の装着例

### 3.4. 発信機装着による魚体への影響評価試験例

発信機を魚体に装着する際、麻酔や外科手術が施され、魚体は水中から空中に暴露される。そのため、魚への遊泳力や酸素消費に影響が懸念される。そのため、発信機の装着が魚体へ与える影響を評価するため、各種試験を実施している。

#### 3.4.1 サケ

- 麻酔、EMG 電波発信機装着魚、コントロール(非装着魚)において、装着手術後の経過時間毎 (0~30 時間) の酸素消費量を密封の回流水槽により比較した。
- その結果、装着手術 6 時間後に 3 群とも各流速における酸素消費量に有意な認められず、酸素消費量が回復していることが明らかになった。

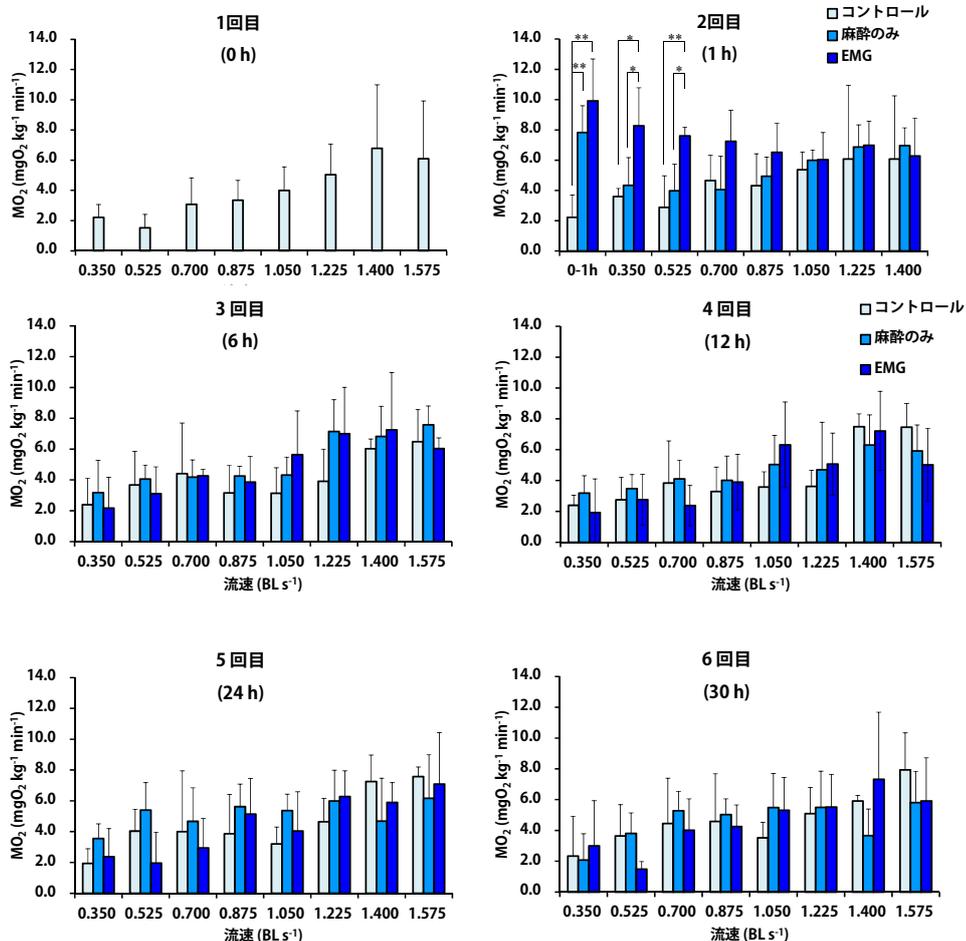
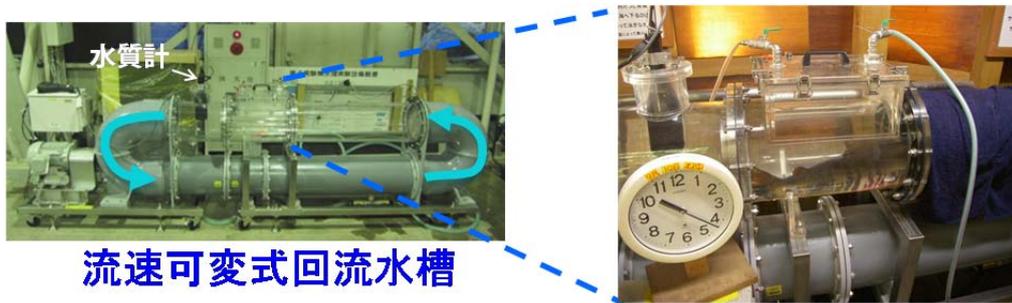


図 3-4-1 サケ供試魚(EMG 電波発信機: Lotek 社製)の遊泳流速と酸素消費量の関係(手術 1~30 時間後)

- 麻酔、EMG 電波発信機装着魚、コントロール(非装着魚)において、装着手術後の経過時間毎 (0~30 時間) の 5 段階の臨界遊泳速度( $U_{crit}$ )と EMG 値を回流水槽により比較した。
- その結果、装着手術 1 時間後には臨界遊泳速度( $U_{crit}$ )と EMG 値が回復することが明らかになった。
- 両実験結果から、EMG 電波発信機装着 6 時間以上サケを馴致 (休息) させると、遊泳力と酸素消費量は通常状態に回復し、魚の遊泳において通常状態のデータを得ることができることが確認された。

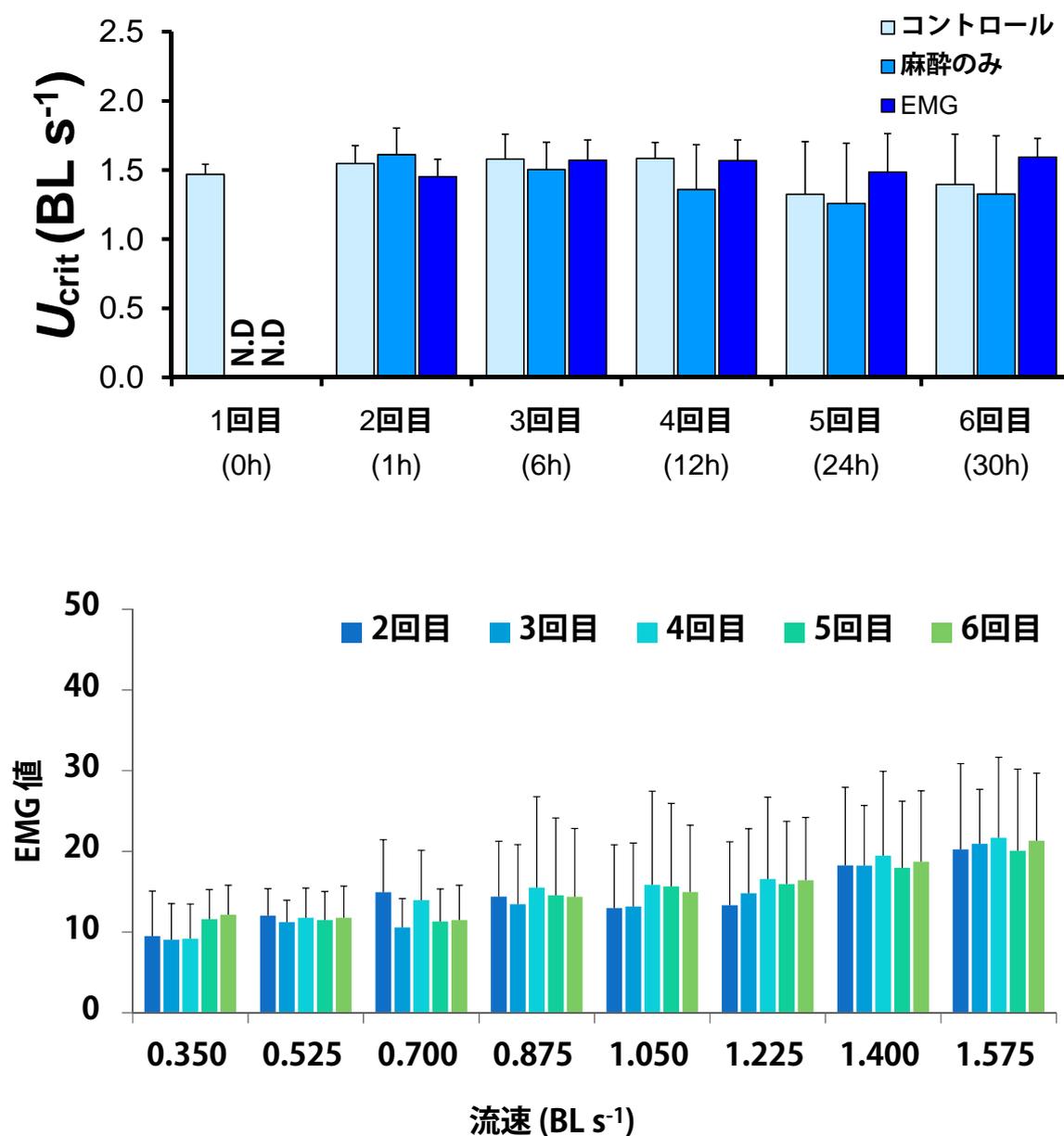
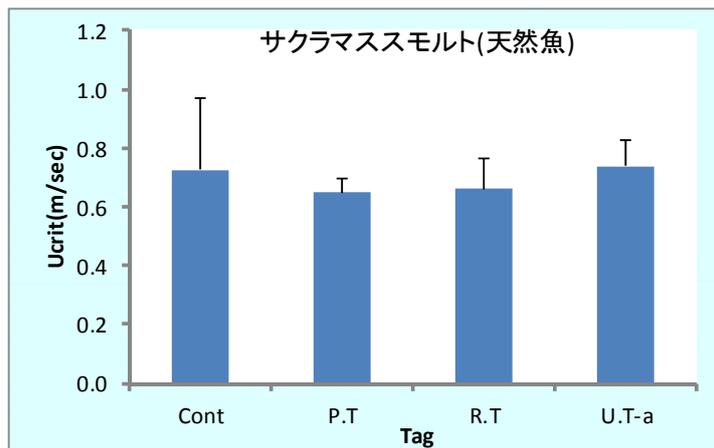


図 3-4-2 サケ供試魚(EMG 電波発信機)の臨界遊泳速度および EMG 値(装着手術 1~30 時間後)

### 3.4.2 サクラマスモルト

#### ①遊泳力試験(ピットタグ、電波発信機、超音波発信機)

- サクラマスモルトに、ピットタグ(バイオマーク社製 HPT12 PLT.重さ 0.1g)、電波発信機 (Lotek 社製 NTQ-2.重さ 0.31g)、超音波発信機(Vemco 社製 V6.重さ 0.6g)を装着し、臨界遊泳速度(遊泳継続可能速度)を非装着魚と比較した。
- その結果、各発信機装着魚における臨界遊泳速度の平均値は、非装着魚と比較して、有意な差が認められなかった。
- 遊泳力実験の結果、供試魚の体重に対する電波発信機の重量割合 0.6~1.6%の場合、電波発信機の装着は、モルト供試魚の遊泳力に大きな影響を与えていないことが検証された。



Cont: 非装着、P.T:ピットタグ、R.T:ラジオタグ、U.T-a:超音波発信機(飲込み)

図 3-4-3 サクラマスモルト供試魚(発信機装着魚)の臨界遊泳速度の比較

## ②生存試験(ピットタグ装着魚の飼育)

- ピットタグ(Biomark 社製 HDK12)装着後のスモルトにおいて、岩手県内水面水産技術センター(1,500 尾 24 日間)、下安家漁業協同組合(1,200 尾 30 日間)にて飼育試験(給餌)を行った結果、生残率は、それぞれ、0.0%、20.2%であった。
- このほかにサクラマス幼魚は、Makiguchi and Ueda (2009) が背びれ基部への外部装着より、腹腔内装着の方が生残率および臨界遊泳速度に影響がないと報告している。
- マスノスケ幼魚への腹腔内装着では、体重に対して電波発信機の空中重量の割合が 3.3~4.2%で浮力に影響がないと報告されている(Perry et. al 2001)。



図 3-4-4 サクラマススモルト供試魚(ピットタグ装着魚)の飼育試験(岩手県下安家川 1,000 尾)

### 3.4.3 シシャモ

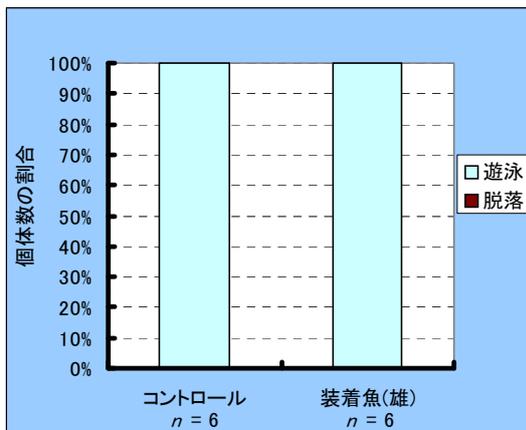
#### ①遊泳力試験(電波発信機)

- 電波発信機の装着魚(Lotek 社製 MTC-3M)と非装着魚の遊泳脱落数および遊泳時間を回流水槽により比較した。
- その結果、巡航時間や脱落数が非装着魚より短くなるというような一定の傾向はみられなかったことから、装着魚の遊泳力の持続性は、非装着魚と同等であることがわかった。

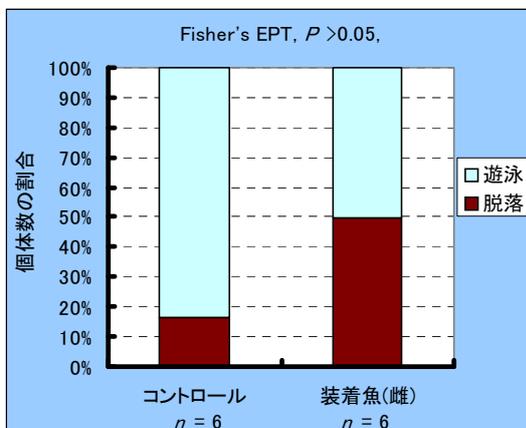
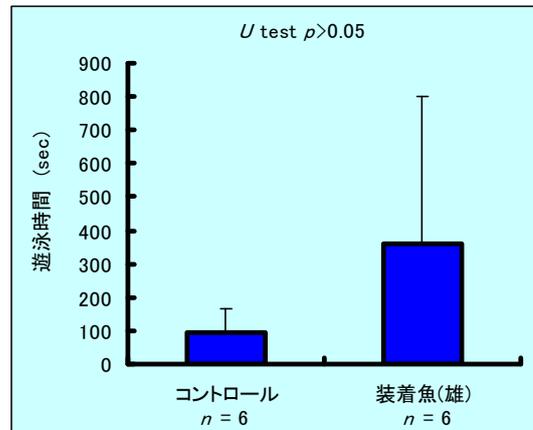


脱落数の割合 (<math><0.6 \text{ m/sec}</math>)

遊泳時間 (>0.6 m/sec)



【雄】



【雌】

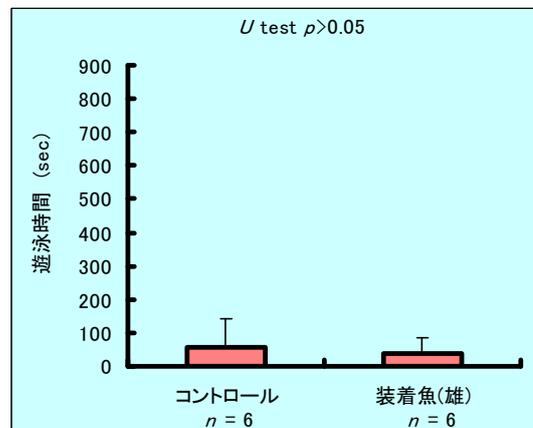


図 3-4-5 シシャモ供試魚(電波発信機装着魚)の遊泳試験(北海道栽培漁業振興公社資料より)

## ②産卵行動試験(電波発信機)

- 電波発信機装着魚(Lotek 社製 MTC-3M)の産卵の有無を回流水槽により比較した。
- その結果、電波発信機装着魚は、雌雄ともに産卵行動が可能であることが確認された。



図 3-4-6 シシャモ供試魚(電波発信機装着魚)の産卵行動試験(北海道栽培漁業振興公社資料より)

### ③生理影響試験(電波発信機)

- 電波発信機装着魚(Lotek 社製 MTC-3M)の血中コルチゾル、グルコース、ヘマトクリットを回流水槽により遊泳させ、非装着魚と比較した。
- 装着魚の各成分の平均値は、非装着魚と比較して有意な差が認められなかった。
- これは、同項目が分析されたサクラマス幼魚での装着影響実験と同様の結果であった。
- これらの実験結果から、小型魚であるシシャモへの内部装着の場合、体重比が 0.9~3.5%の個体は遊泳力・産卵・ストレスへの影響がほとんどないことが把握された

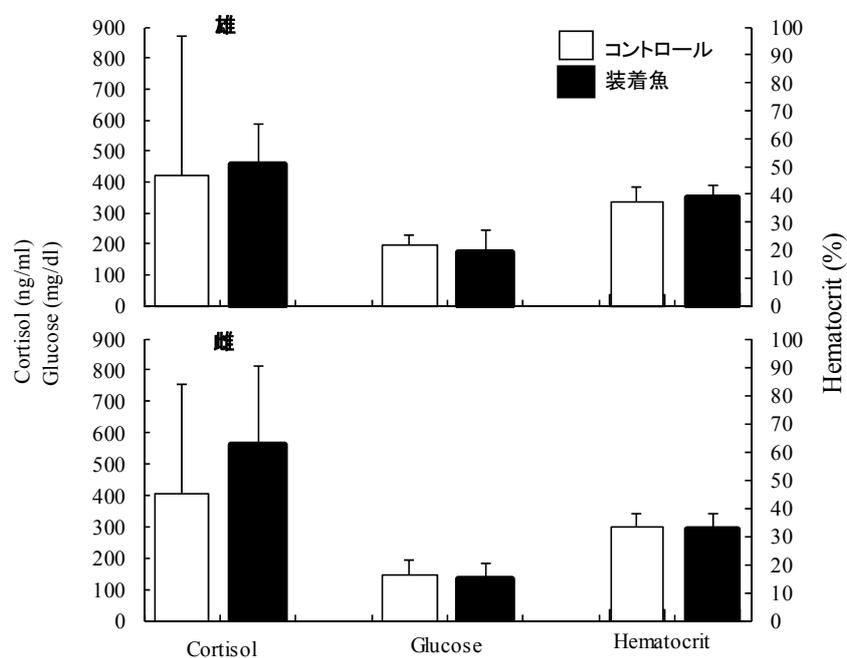


図 3-4-7 シシャモ供試魚(電波発信機装着魚)の遊泳時のストレス血中成分試験  
(コルチゾル、グルコース、ヘマトクリット分析:北海道栽培漁業振興公社資料より)

### 3.4.4 ザリガニ、モクズガニ

#### ①ザリガニ生存試験(電波発信機)

- ザリガニに電波発信機(Lotek 社製 NTQ-2)を装着し、閉鎖型循環水槽で約 3 か月間給餌飼育を行った。
- その結果、電波発信機の脱落率は 18%(11 個体中 2 個体が脱落)であったが、斃死個体はみられなかった。



図 3-4-8 ザリガニ供試魚(電波発信機装着)の飼育試験(北海道栽培漁業振興公社資料より)

## ②モクズガニ生存試験(電波発信機)

- モクズガニに電波発信機(Lotek 社製 NTC-4-2)を装着し、水槽内で約 3 週間給餌試験を行った。
- その結果、電波発信機脱落および斃死の個体はみられなかった。
- しかし、電波発信機のアンテナ(ワイヤー)が本種の手により切断されていた。
- 従って、本種に対しての発信機装着は、アンテナがない超音波発信機が有効であると判断された。

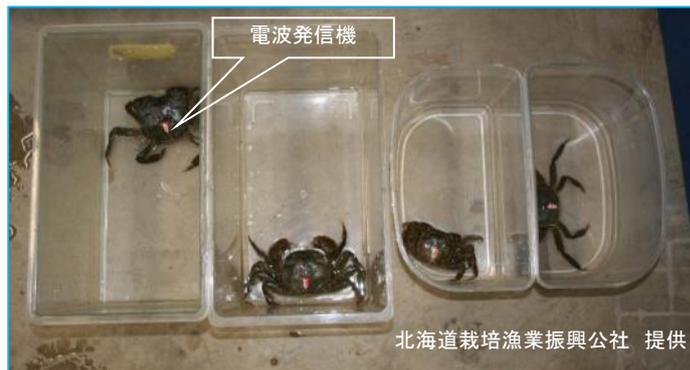


図 3-4-9 モクズガニ供試魚(電波発信機装着)の飼育試験(北海道栽培漁業振興公社資料より)

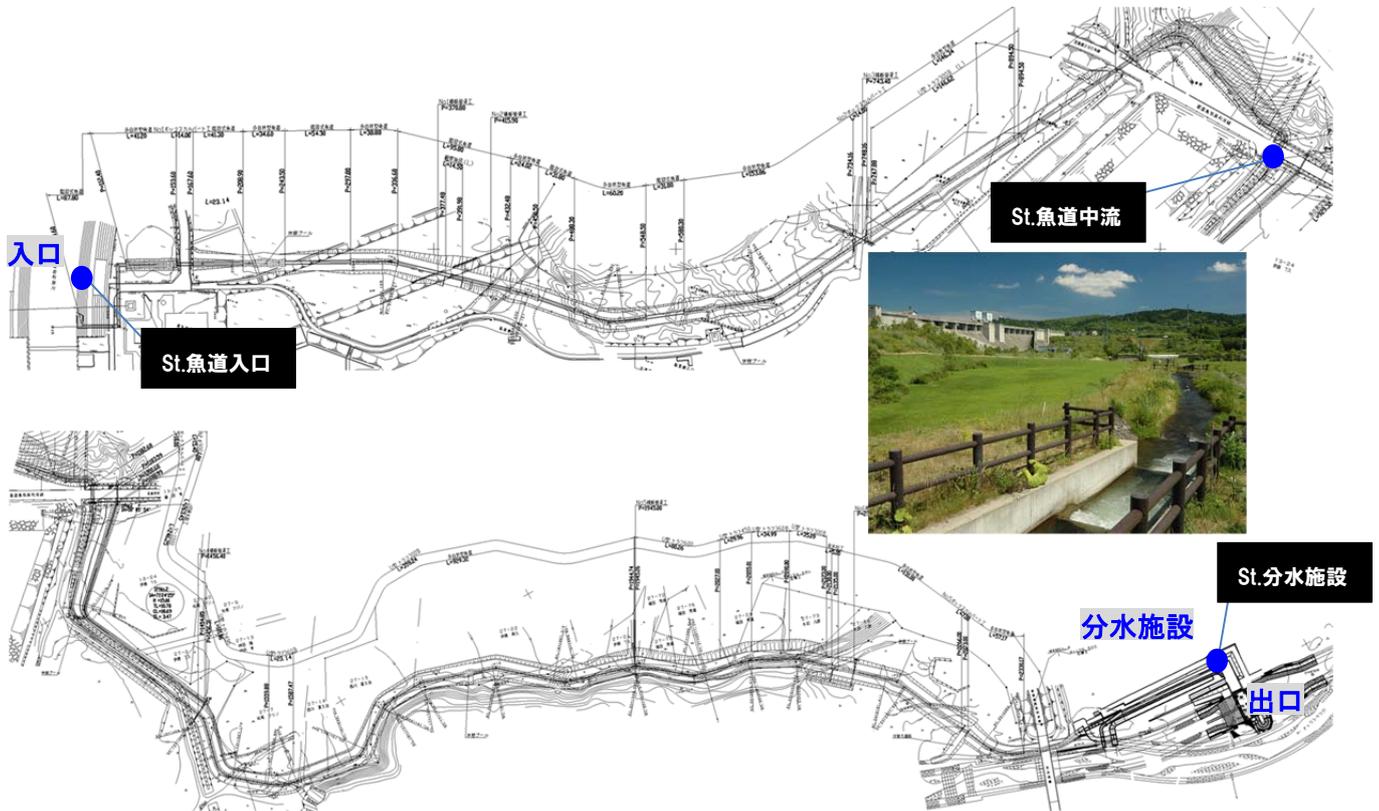
## 4. 現地調査事例

#### 4. 現地調査事例

##### 4.1 電波システム

##### 4.1.1 魚道機能検証：サクラマス親魚の階段式魚道の遡上状況 (EMG 発信機)

- 長距離(2.4 km)のバイパス魚道の効果を把握するために、EMG 電波発信機をサクラマス親魚に装着し、可搬型受信機により魚道の遡上状況を追跡した。



形式	延長	勾配	魚道落差
階段式魚道	450 m	1:12	37.5 m
多自然魚道	1950 m	1:2000	0.975 m



図 4-1-1 バイパス魚道におけるサクラマス親魚 (EMG 電波発信機-可搬型受信機) の追跡区間 (函館開発建設部資料より)

- 階段式魚道遡上時におけるサクラマス親魚の EMG は、プール内では 20 前後であるが、隔壁部では 40 前後となった。
- 隔壁部での EMG は、最大値の 50 を超過していなかったため、サクラマス親魚は、隔壁遡上時に赤筋を使い無理なく遡上していたことが明らかとなった。

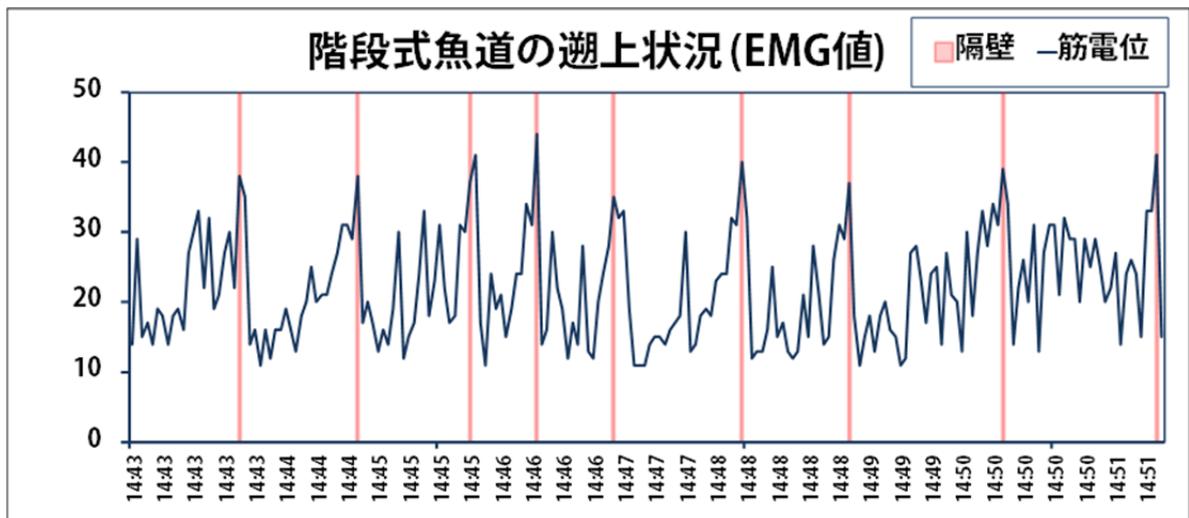
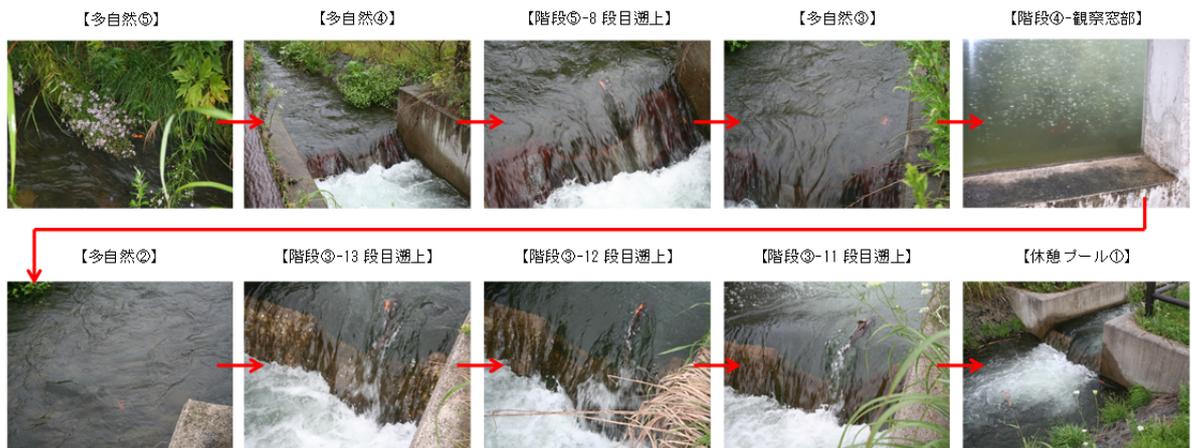


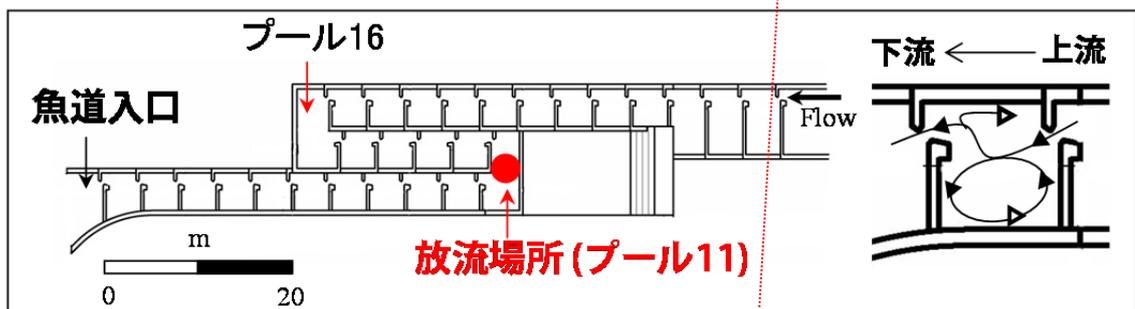
図 4-1-2 サクラマス親魚 (EMG 電波発信機-可搬型受信機) の魚道遡上時の筋電位  
(階段式魚道区間: 函館開発建設部資料より)

#### 4.1.2 魚道機能検証：サケ親魚の両岸設置式魚道の遡上経路 (EMG 発信機)

- ▶ 両岸設置式魚道の効果を把握するために、サケに EMG 電波発信機を装着し、各魚道の遡上率・遡上成功率や筋電位を計測した。



### バーチカルスロット魚道



### ロックランプ魚道

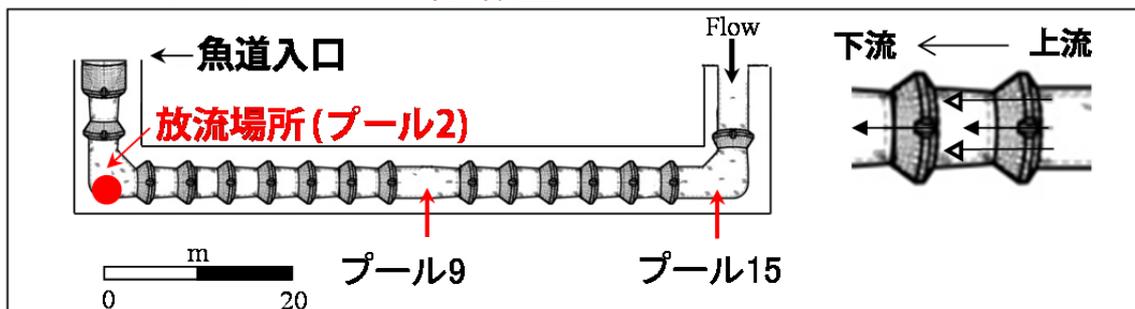


図 4-1-3 両岸式魚道の形状

- 500m 下流からサケを放流したところ、ロックランプ魚道に到達した個体の割合が 50%、バーチカルスロット魚道の割合が 17%であり、ロックランプ魚道へ遡上する個体の割合が多い。
- バーチカルスロット魚道とロックランプ魚道では、遊泳速度に差はないものの、魚道全体を通過する平均時間や 1m 進むのに必要なエネルギーインデックスはバーチカルスロット魚道の方が小さく、遡上効率が良かった。
- 筋肉活動の比較でも、ロックランプ魚道はバーチカルスロット魚道と比べ、遡上効率が良かった。

表 4 両魚道におけるサケ親魚の遡上状況(EMG 電波発信機-設置型受信機)

放流場所	個体数	移動状況		
		バーチカルスロット魚道を遡上	ロックランプ魚道を遡上	両魚道への接近なし
500 m下流	24	17%	50%	33%

	遊泳速度 (BL s <sup>-1</sup> )		魚道全体の平均通過時間 (分)	1mあたりのエネルギーインデックス (EI)
	隔壁遡上	プール内定位		
バーチカルスロット魚道	1.71 ± 0.40 (4)	0.80 ± 0.47 (4)	160 ± 52 (6)	12.54 ± 5.61 (4)
ロックランプ魚道	1.67 ± 0.24 (7)	0.67 ± 0.11 (7)	82 ± 42 (14)	5.28 ± 4.53 (7)
P 値	>0.05	>0.05	< 0.005 <sup>b</sup>	< 0.05 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>カッコ内は、個体数

<sup>b</sup> Student's *t*-test

<sup>c</sup> Welch's *t*-test

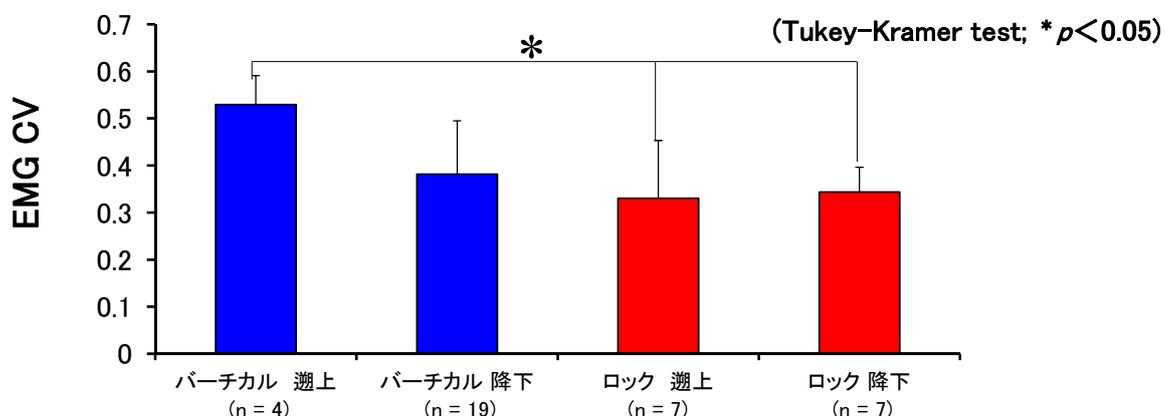


図 4-1-4 サケ親魚(EMG 電波発信機-設置型受信機)の魚道遡上時の EMG 変動係数

#### 4.1.3 分水施設効果検証：サクラマスモルトの降下経路（ナノタグ）

- 分水施設（長距離バイパス魚道）の効果を把握するために、モルトに電波発信機(ナノタグ)を装着し、受信機を設置型とし、降下数・時刻等を記録した。
- 分水施設的设计流量は  $5.4\text{m}^3/\text{s}$  であり、この流量以下であれば、副堤下流にはほとんど水が流れない。一方、流量が  $7.0\text{m}^3/\text{s}$  を超えると、モルトが副堤下流や余水吐水路に落下してしまう可能性があった。
- 調査の結果、流量が  $7.0\text{m}^3/\text{s}$  超える場合でも、ほとんどの個体が副堤や余水吐水路には行かず、導水路と魚道へ降下できることが確認された。

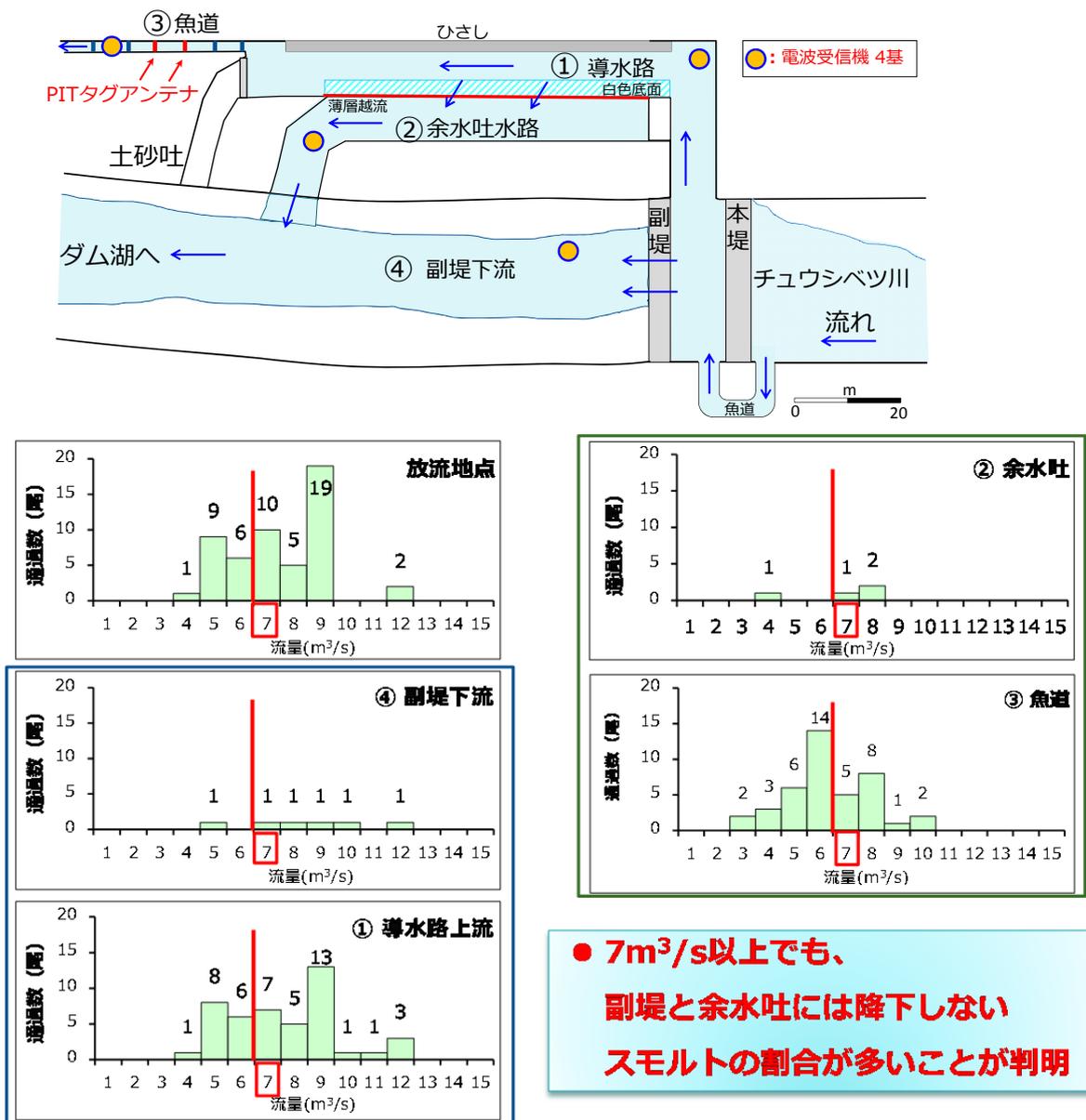


図 4-1-5 サクラマスモルト供試魚（電波発信機-設置型受信機）の魚道分水施設の降下経路と流量（函館開発建設部資料より）

【電波受信とアンテナ】

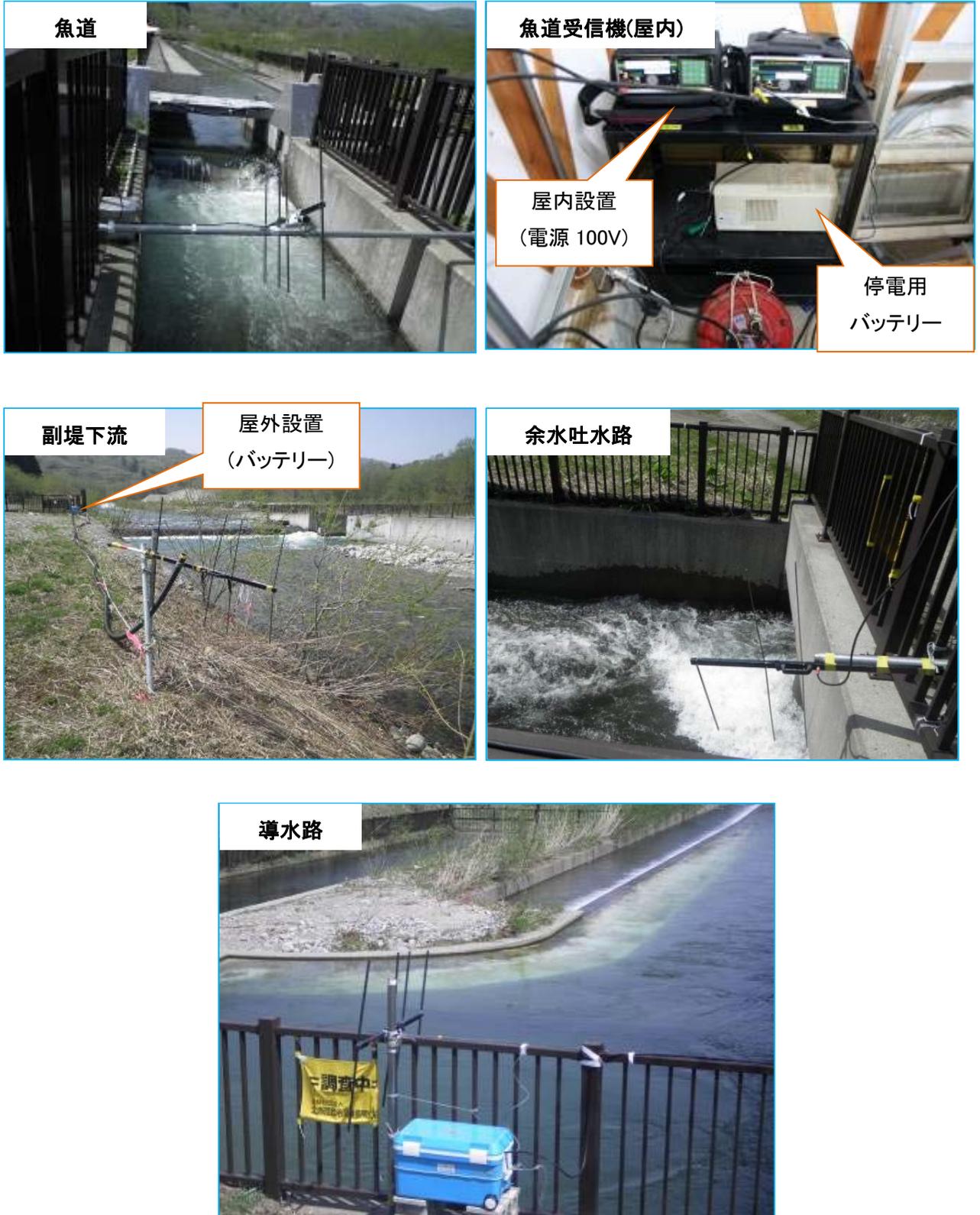


図 4-1-6 電波受信機(設置型)による探査状況(サクラマススモルト)

➤ 2か年の調査結果から、分水施設の降下パターンが把握された。

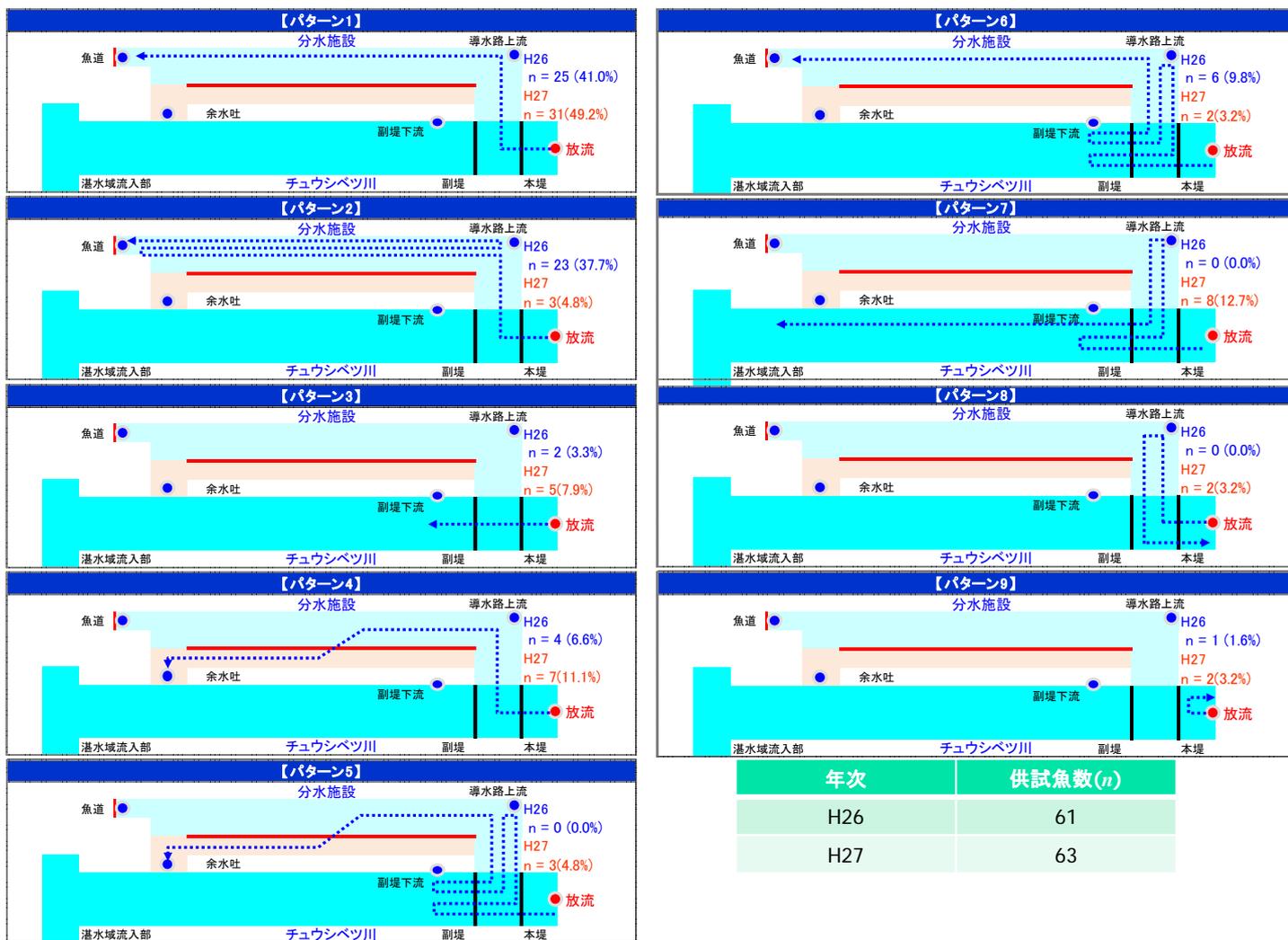
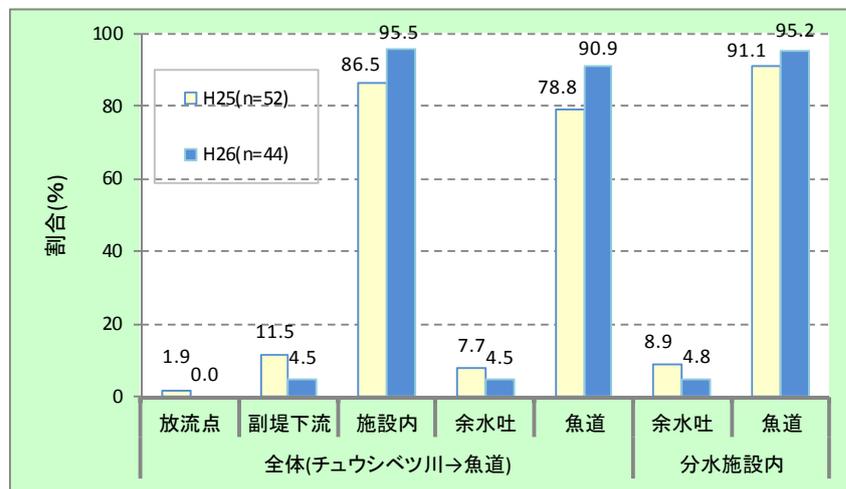


図 4-1-7 分水施設におけるサクラマスモルト(電波発信機-設置型受信機)の降下経路パターン  
(函館開発建設部資料より)

- H25～26 の降下率は、チュウシベツ川から魚道までは 78.8～90.9%、副堤下流では 4.5～11.5%、余水吐では 4.5～7.7%であった。
- 分水施設に降下した場合は、魚道降下率は 91.1～95.2%の範囲となった。
- 魚道降下率は高い値を示したことから、分水施設は機能を発揮していると判断された。



割合は、最終位置の供試魚数から算出

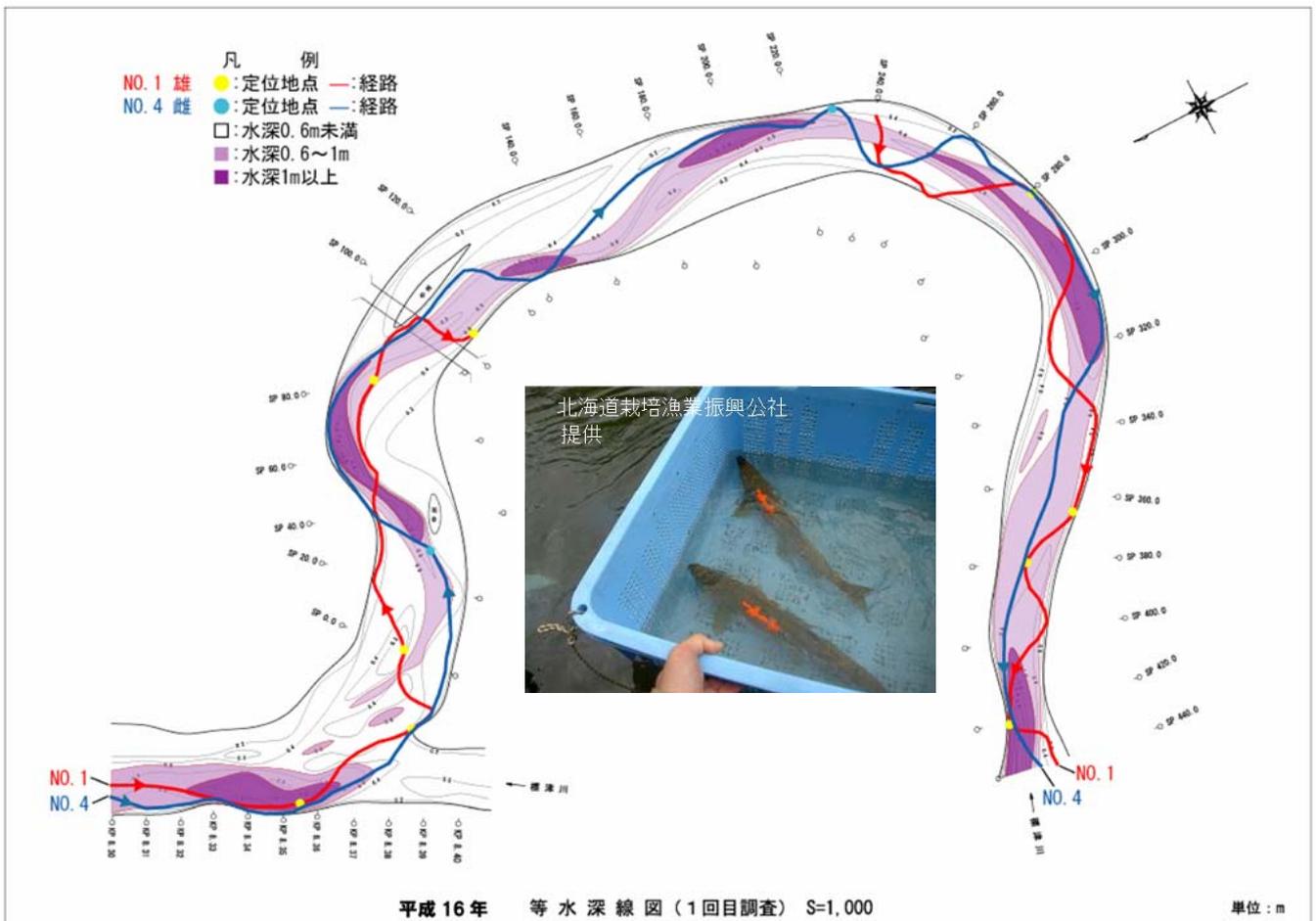
供試魚放流時の流量 H25: 平均6.85(3.75～10.03) m<sup>3</sup>/s、H26: 平均5.06(3.32～6.20) m<sup>3</sup>/s

副堤の盛土有り

図 4-1-8 分水施設におけるサクラマスモルト(電波発信機-設置型受信機)の降下率  
(函館開発建設部資料より)

#### 4.1.4 遡上経路追跡：サケ科魚類の遡上と定位

- カラフトマス親魚の遡上経路を把握するために、電波システムにより追跡した。
- 追跡は、縦断測線を設け、電波発信機装着魚の通過時刻と受信強度を兩岸から記録することにより、対地速度や横断位置（左岸、中央、右岸の3区分）を推定した。
- 測線間に留まった場合は、受信機により探査し、定位箇所を特定した。
- 追跡の結果、供試魚は最深部の近隣を遡上し、低流速帯の岸側で定位した。



河川生態ナレッジデータベース，蛇行復元試験地におけるサケ科魚類の遡上行動に関する調査研究

<http://kasenseitai.nilim.go.jp/index.php/> より引用

図 4-1-9 蛇行復元試験地におけるカラフトマス供試魚(電波発信機-可搬型受信機)の遡上経路

#### 4.1.5 産卵場探査：サケ科魚類

- 流域のサケ・カラフトマス産卵場を把握するために、電波発信機装着魚の放流約1か月後に車載の電波受信機とアンテナにより広範囲の探査を行った。
- その結果、既往の知見にない産卵場が特定された。



河川生態ナレッジデータベース、蛇行復元試験地におけるサケ科魚類の遡上行動に関する調査研究

<http://kasenseitai.nilim.go.jp/index.php/> より引用

図 4-1-10 産卵期におけるサケ科供試魚(電波発信機-可搬型受信機)の探査結果(最終位置:産卵場)

#### 4.1.6 産卵遡上行動：シシャモ

- シシャモの産卵遡上河川において、河川内行動を把握するために、遡上経路を計測した。
- 供試魚の位置は、縦断測線を設け、電波発信機装着魚の通過時刻と受信強度を両岸から記録することにより特定した（左岸、中央、右岸の3区分）。



図 4-1-11 シシャモ供試魚（電波発信機-可搬型受信機）の追跡範囲  
（北海道栽培漁業振興公社資料より）

- シシヤモ供試魚は、日没となる 16 時頃から 24 時頃まで遡上が活発化した。
- 遡上距離が最も長い個体は約 4km を遡上した。

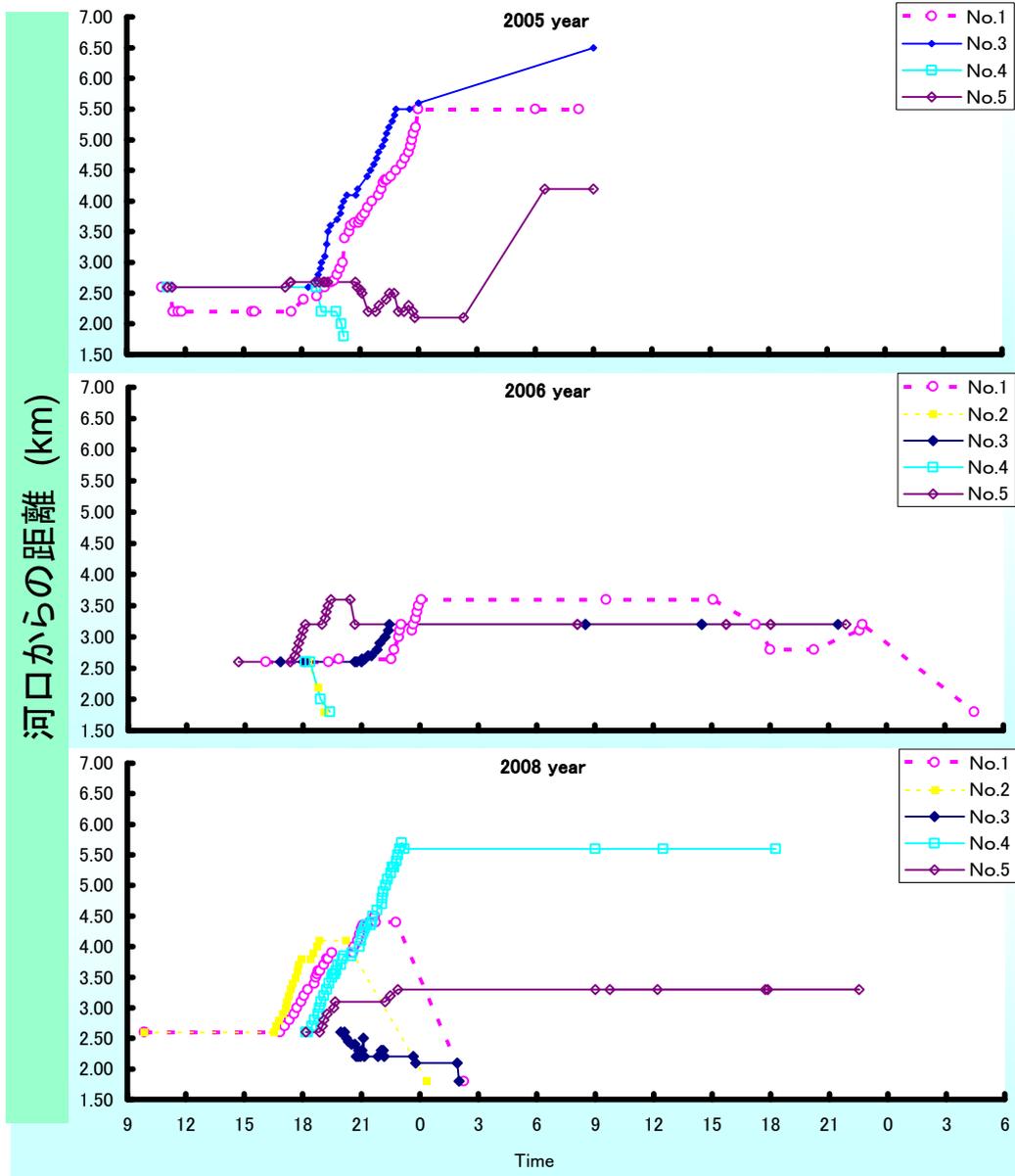


図 4-1-12 シシヤモ供試魚 (電波発信機-可搬型受信機) の遡上時刻と行動  
(北海道栽培漁業振興公社資料より)

- 可搬型受信機の設置場所の工夫により、河川内における供試魚が横断的に左岸・右岸・中心のいずれかを遡上することを解明できた。

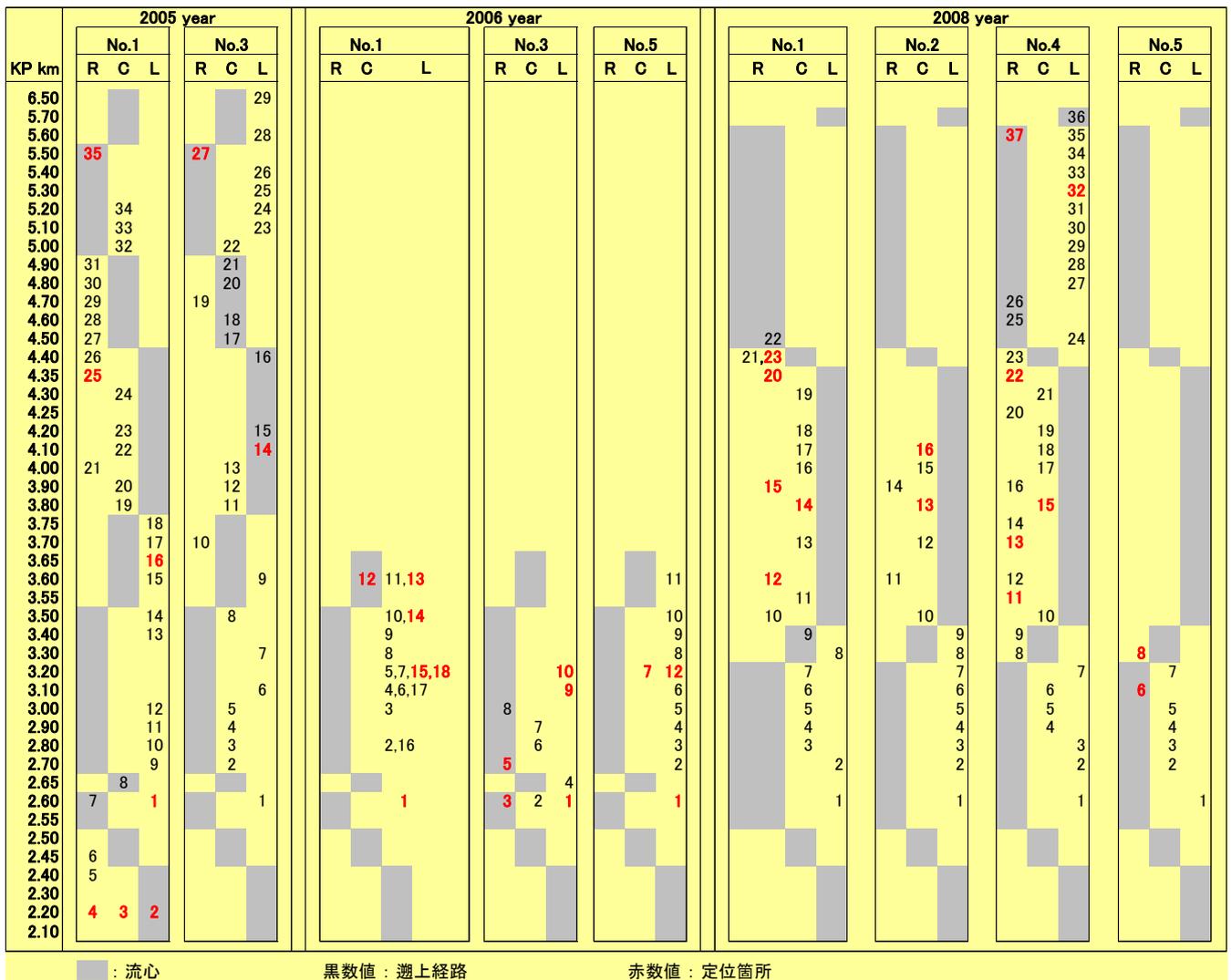


図 4-1-13 シシヤモ供試魚(電波発信機-可搬型受信機)の遡上経路  
(北海道栽培漁業振興公社資料より)

- ▶ 供試魚の定位箇所は、非流心部の低水深帯で、巨石・淵・ブロックなどが存在する低流速帯であることが明らかとなった。

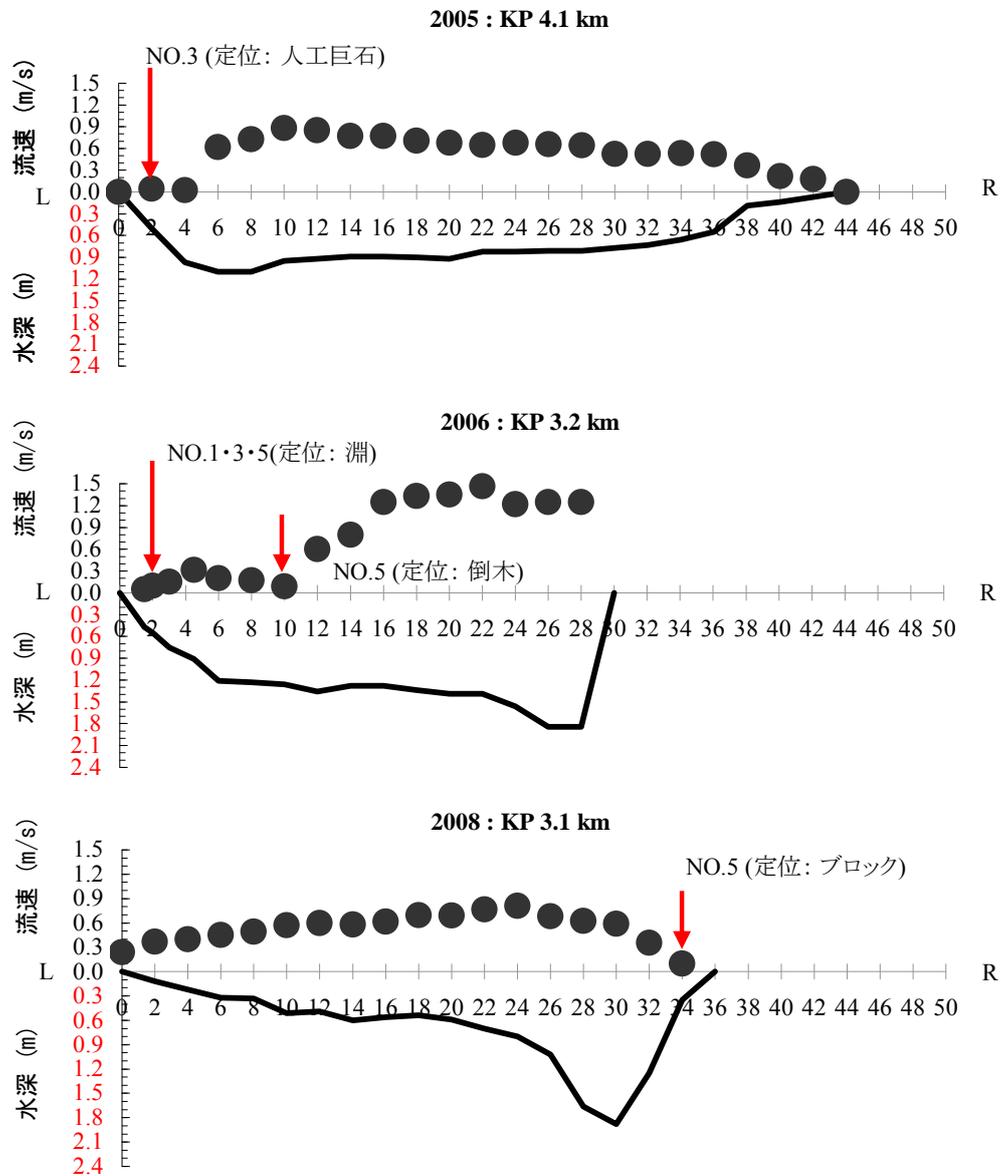


図 4-1-14 シシャモ供試魚(電波発信機-可搬型受信機)の定位箇所の流況計測  
(北海道栽培漁業振興公社資料より)

## 4.2 超音波システム

### 4.2.1 ダムの減水区間から魚道までの追跡

- ダムの減水区間から魚道におけるサクラマス親魚の遡上状況を把握するために、超音波発信機を装着し、設置型受信機により河川内行動を追跡した。

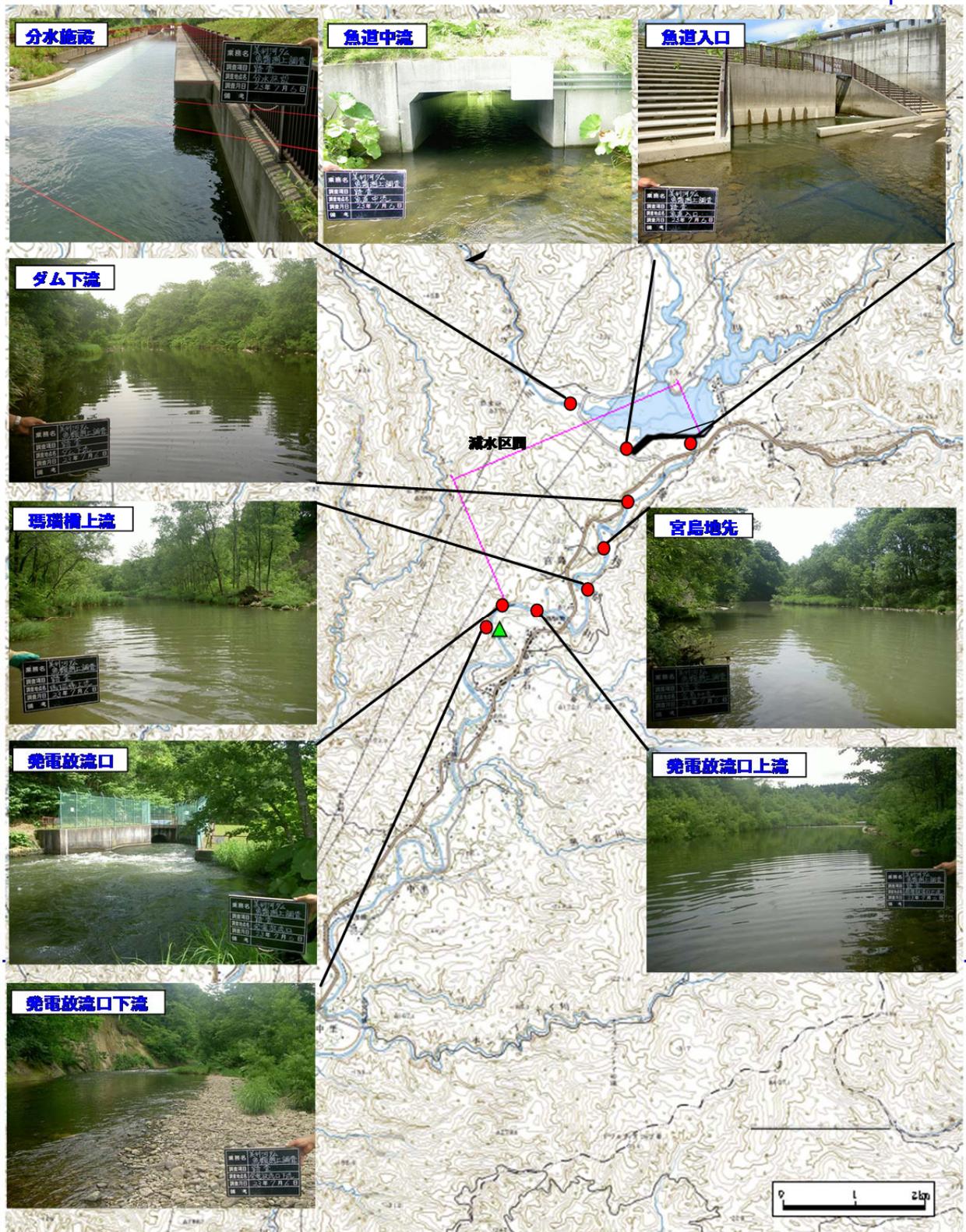


図 4-2-1 超音波受信機の設置地点(函館開発建設部資料より)



図 4-2-2 超音波受信機による調査状況(北海道栽培漁業振興公社資料より)

- 魚道および発電放水口(減水区間下流端)へ放流魚は、それぞれ、38.5%、11.1%が流入河川であるチュウシベツ川へ遡上したものの、半数以上は下流側へ移動した。
- 本調査水域で越冬した個体は、産卵直前になると、上・下流域に移動を開始する行動を示した。

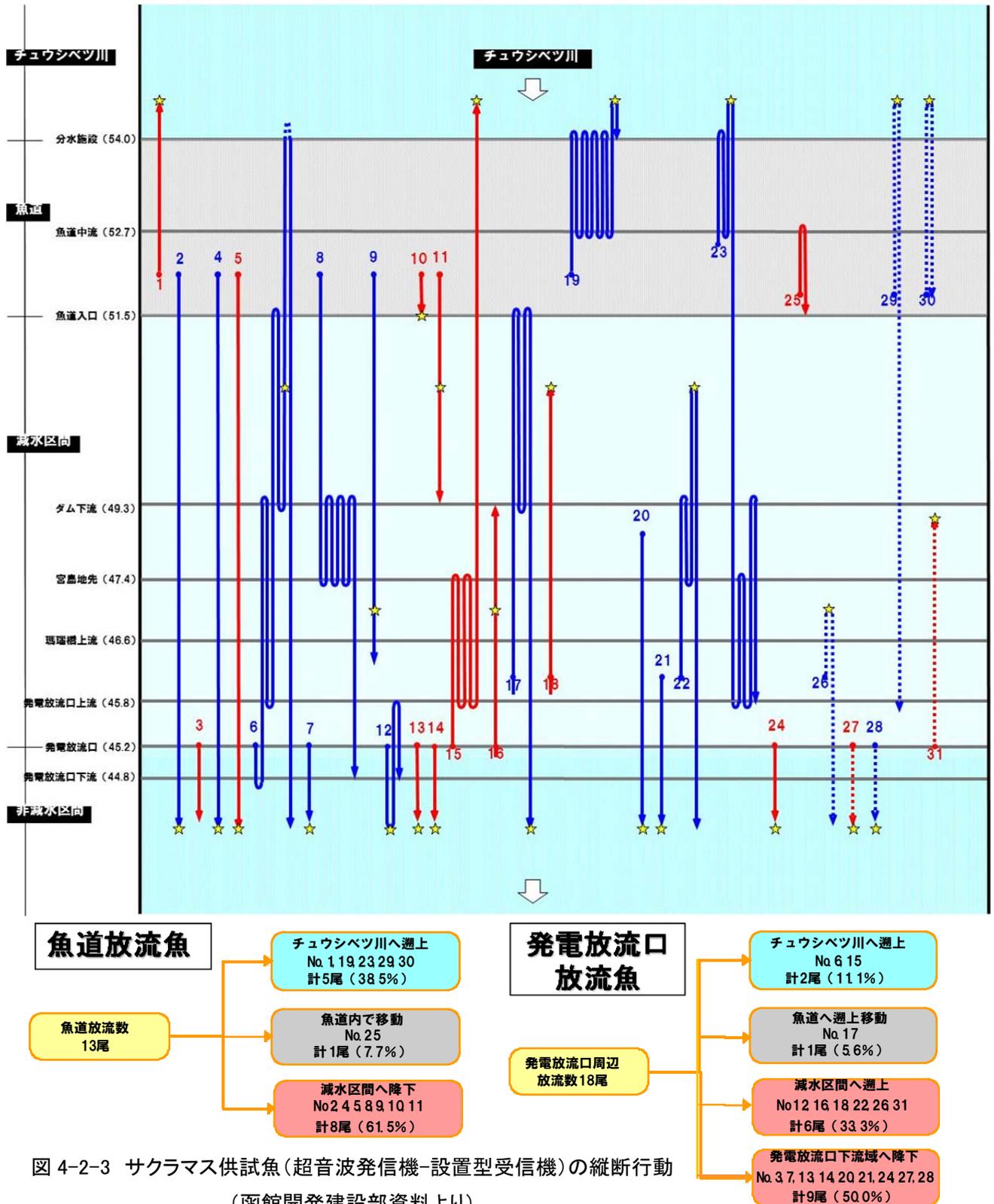
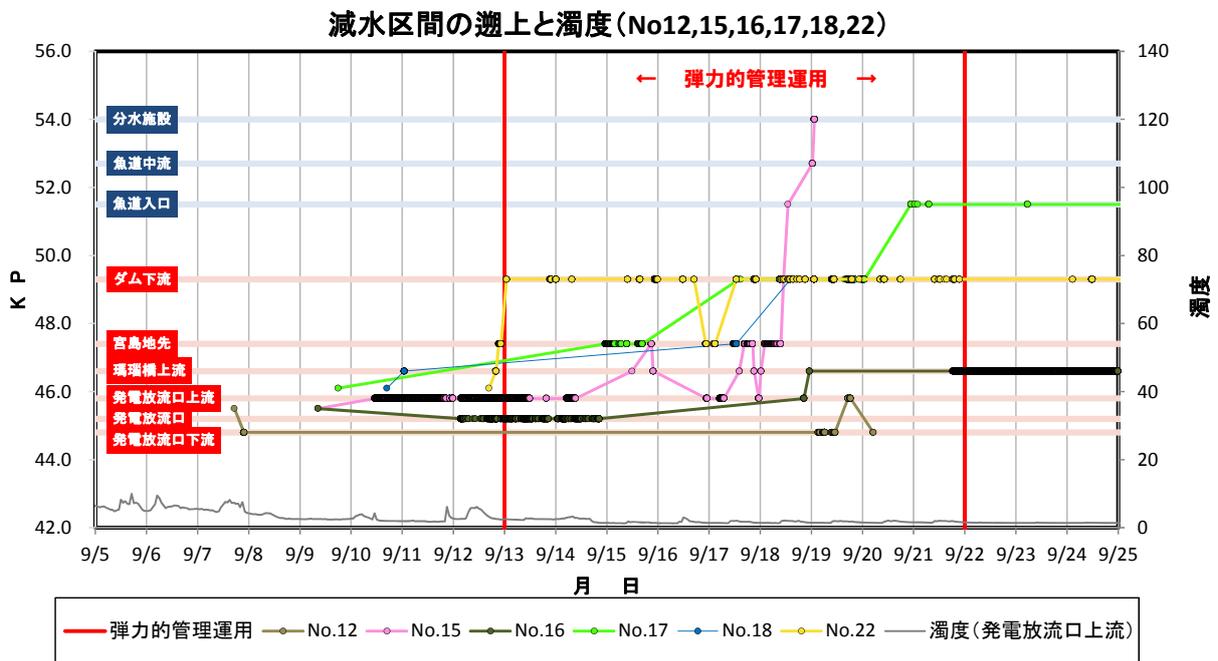
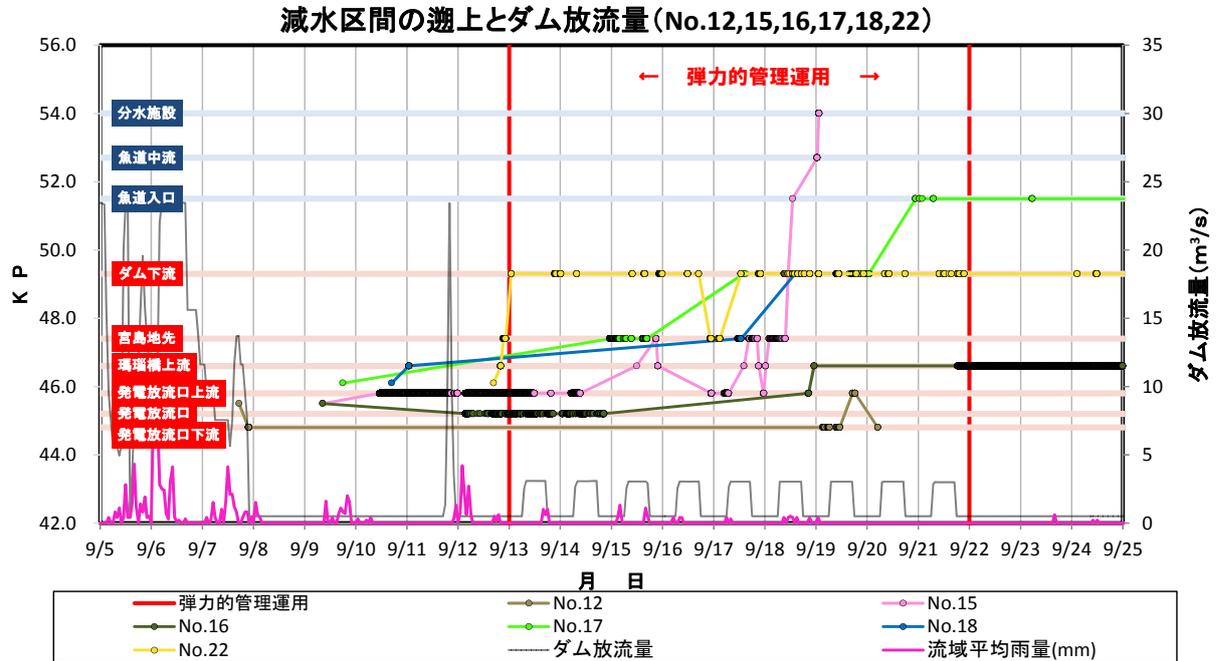


図 4-2-3 サクラマス供試魚(超音波発信機-設置型受信機)の縦断行動 (函館開発建設部資料より)

- 減水区間での定位個体のうち、ダムからの放流流量を増やした期間中に遡上する個体が確認された。
- また、遡上の一因として、流量が大きく関わっていることが明らかとなった。



弾力的管理放流：放流を一定の条件で増やすこと

図 4-2-4 サクラマス供試魚(超音波発信機-設置型受信機)の経時行動  
(函館開発建設部資料より)

#### 4.2.2 河口から産卵域までの遡上速度

- ▶ サケ親魚が一級河川の河口から繁殖地に遡上するまでの行動や河川構造物との関わりを把握するために、超音波・電波復号型の発信機を装着し、受信機により追跡した。

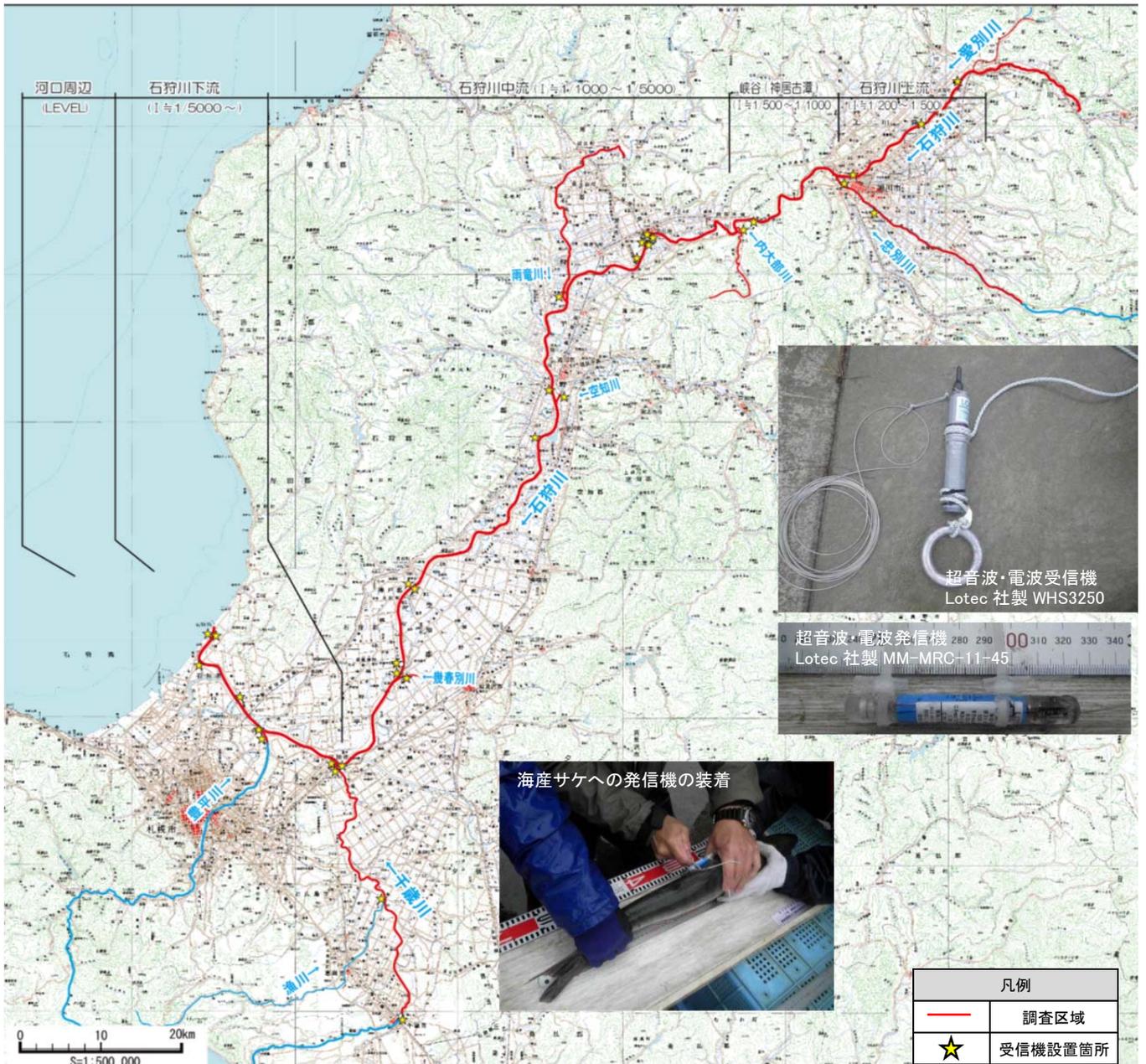
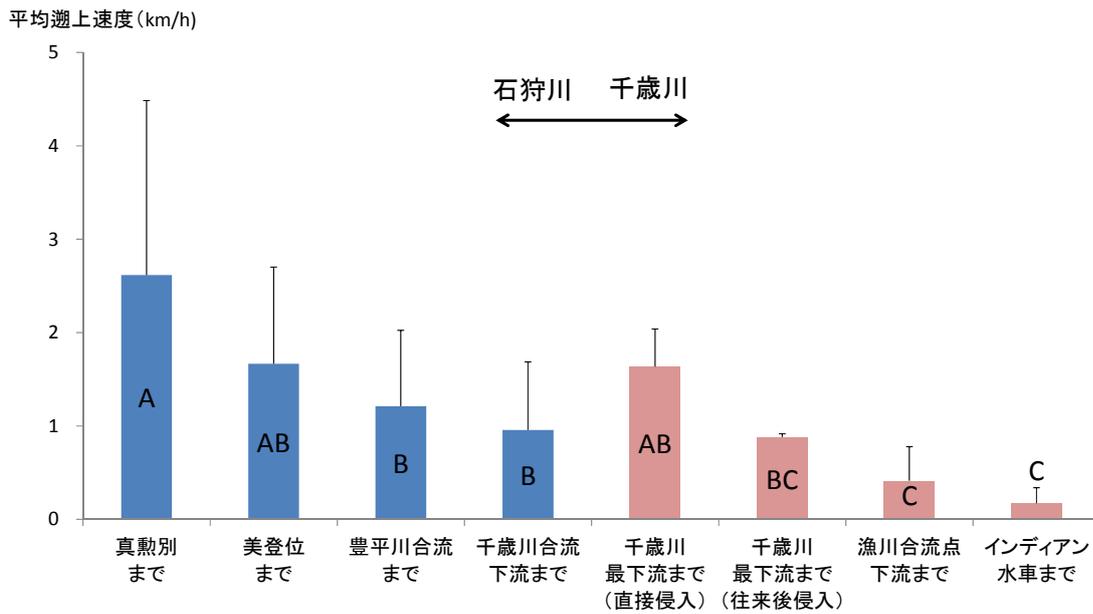


図 4-2-5 サケ供試魚追跡 (超音波・電波の複合システム) の位置図

- サケ親魚の平均遡上速度は、河口および中流での放流個体とも各河川の下流側で速く、上流に向かうほど遅くなる傾向を示した。
- ただし、旧花園頭首工魚道の遡上速度は、上・下流域と比較して低下した。これは、縦断勾配と関係しており、堰堤の落差により遡上時間が長くなったことに起因するものの、遡上河川勾配別の速度は周辺より速かった。
- 堰堤の存在により、直上流側の河川勾配が緩くなり、遡上速度が上昇した。

【河口放流魚：石狩川河口から千歳川の経路】



【中流放流魚：石狩川中流から上流の経路】

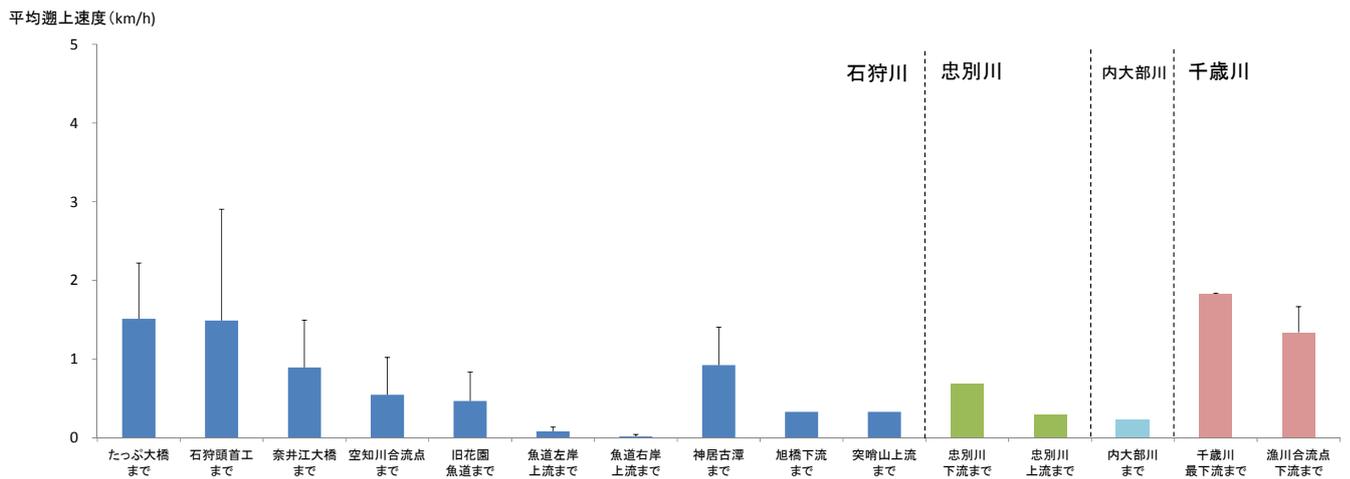


図 4-2-6 サケ供試魚 (超音波・電波複合システム機) の遡上速度

#### 4.2.3 その他（調査状況）

- 超音波 VPS システム(Vemco 社製)を導入することにより、供試魚の軌跡が解析され、平面図に記録される。
- このシステムは、3機以上の受信機(同期タグ付き)が三角形となり、さらにそれぞれ受信可能な距離に配置する必要がある。

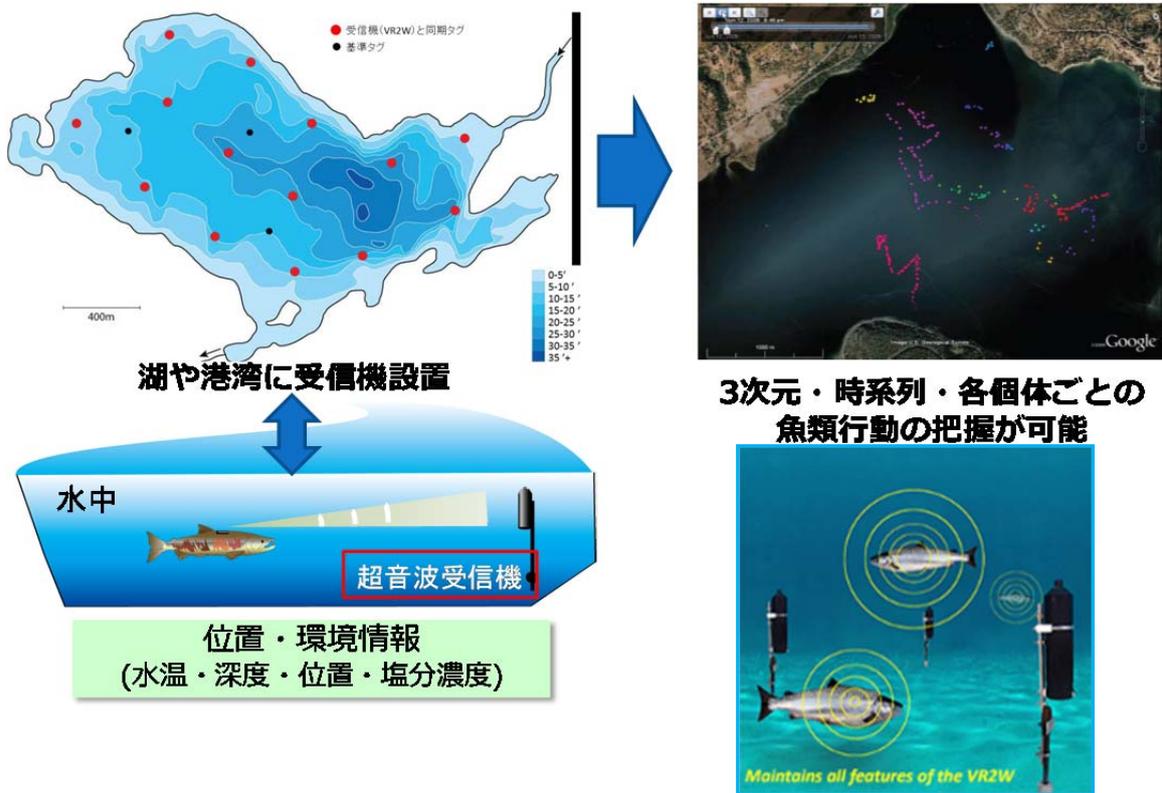


図 4-2-7 超音波 VPS システムにおける魚類軌跡の解析結果(Vemco 社 HP より引用)

### 4.3 ピットタグシステム

#### 4.3.1 魚道降下の期間と時間帯

- ▶ サクラマススモルトの降下と魚道の関係を把握するために、ピットタグをスモルト供試魚に装着し、設置型リーダーにより降下の時期や時間帯を解析した。

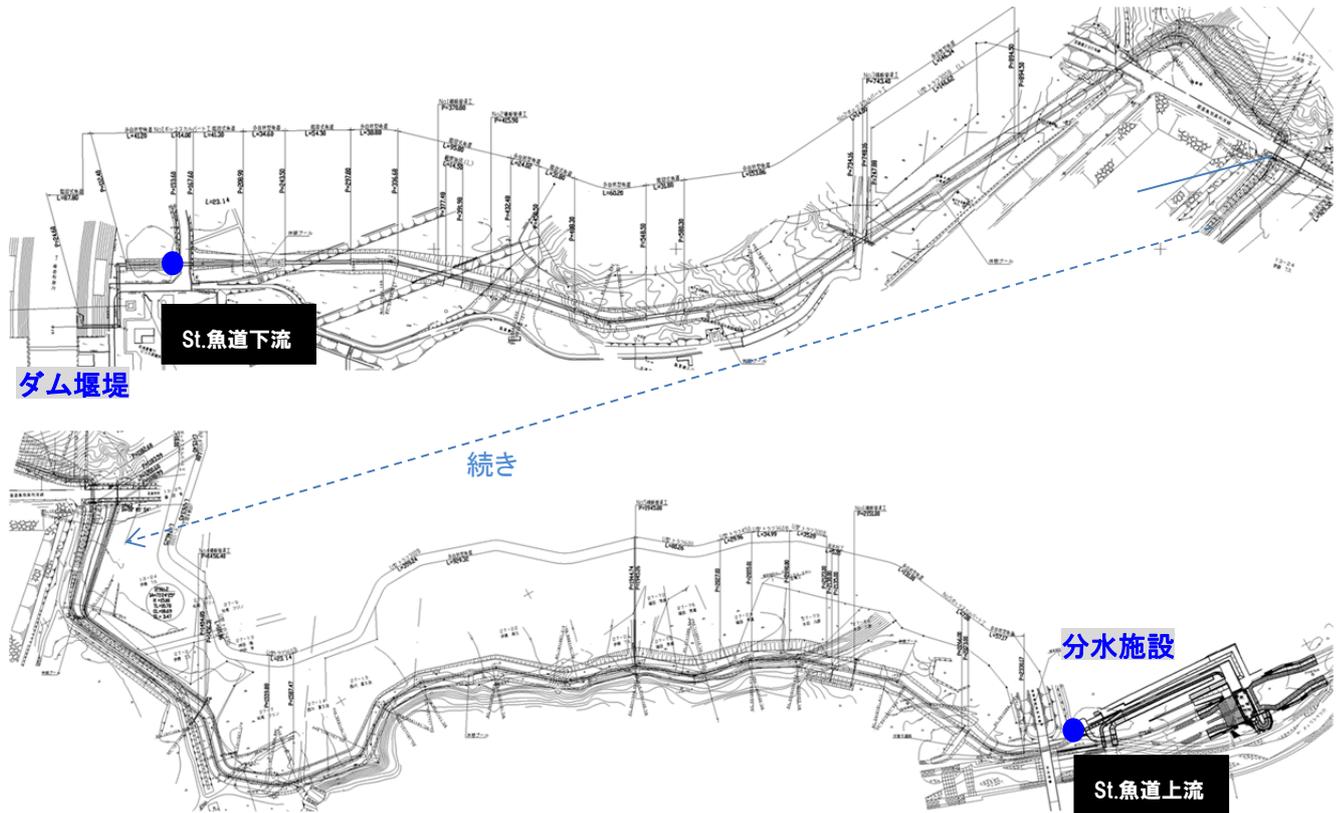


図 4-3-1 ピットタグリーダーの設置位置

【ゲートアンテナ】



【リーダー】

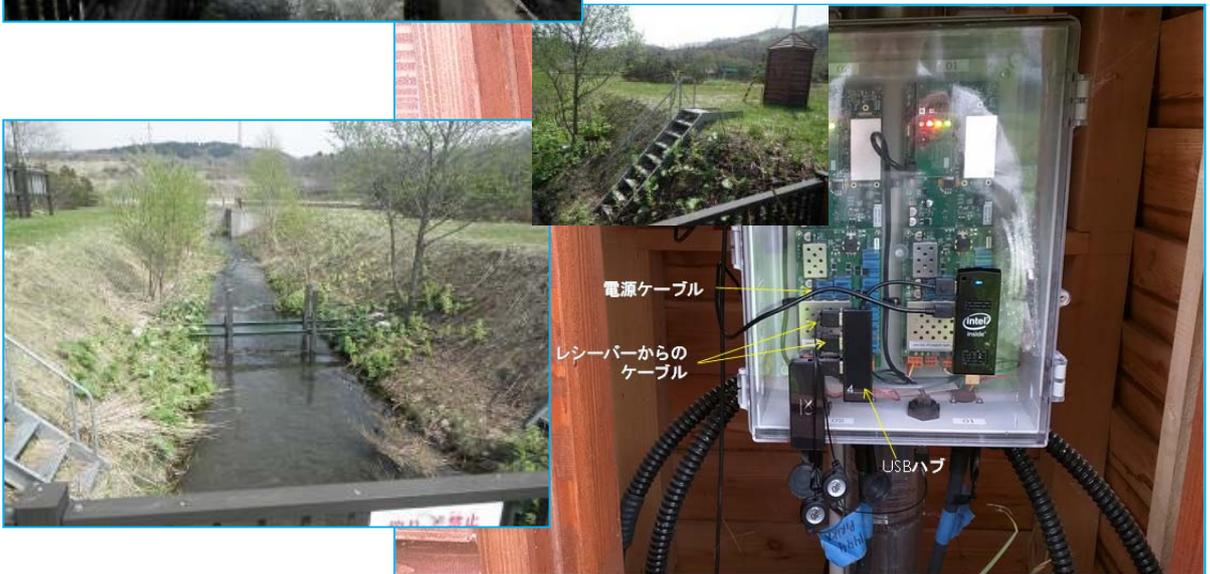


図 4-3-2 ピットタグリーダーデータ送信システム

- 分水施設（長距離バイパス魚道）の効果を把握するために、スモルトにピットタグを装着し、長期間にわたる降下数を記録した。
- その結果、融雪出水のピーク前に降下行動が起きていることを確認できた。
- 春期水温5℃以上、秋期水温5℃以下で降下行動が停滞していた。
- 1日の中で5～6時と18～19時に2回降下のピークがあることが明らかになった。

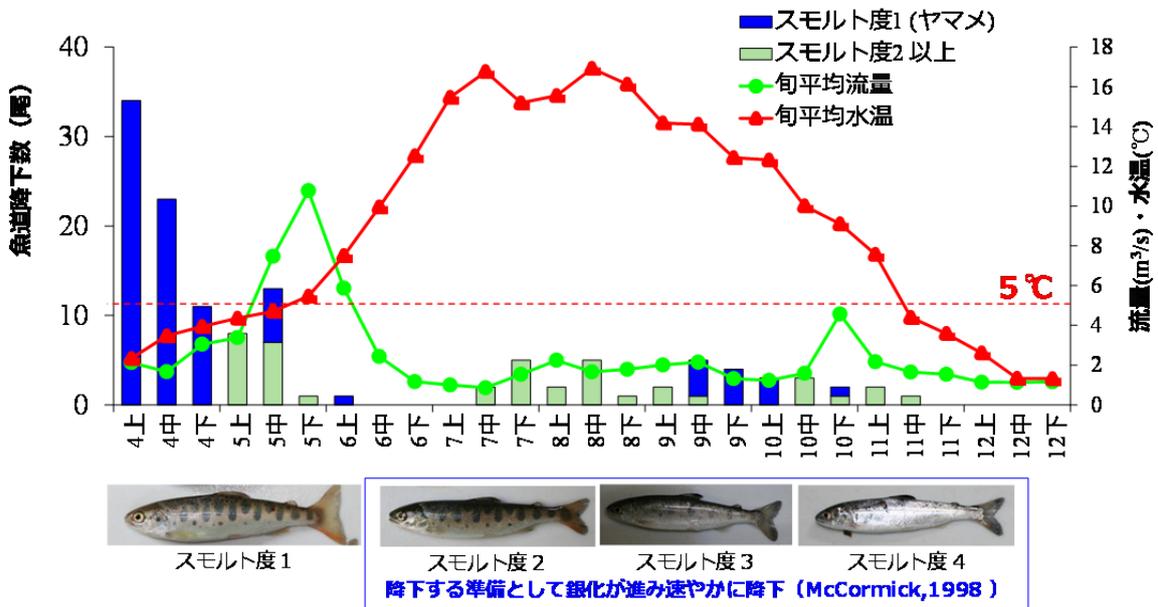


図 4-3-3 分水施設におけるサクラマススモルトの降下時期と流量・水温との関係

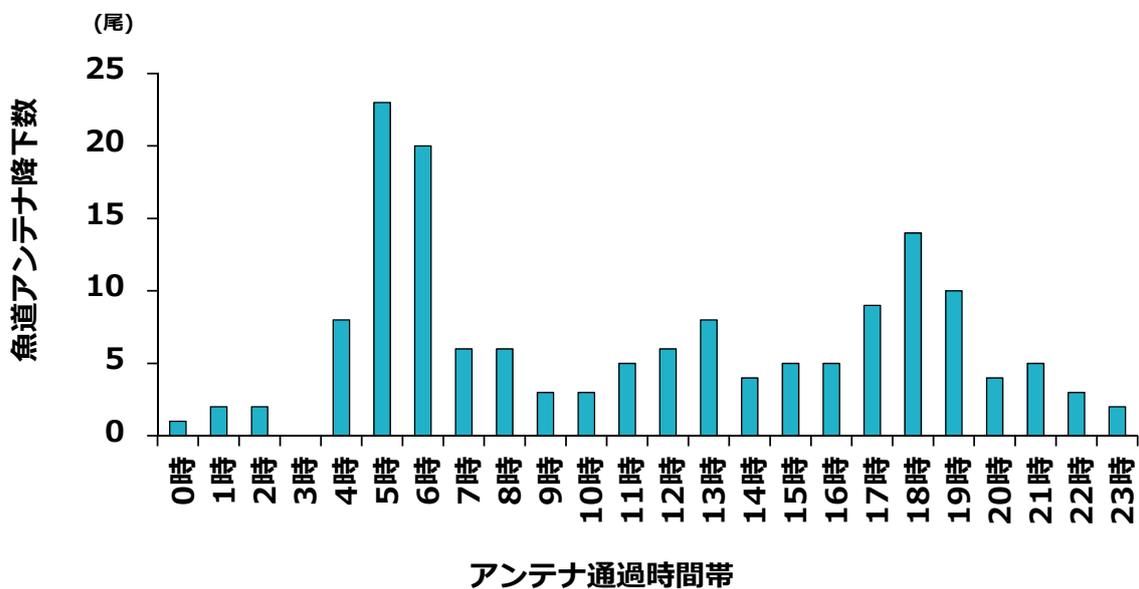


図 4-3-4 分水施設におけるサクラマススモルトの降下時間

### 4.3.2 魚道滞留期間

- サクラマス幼魚の降下と魚道の関係を把握するために、ピットタグをサクラマス幼魚（スマルト含む）に装着し、設置型受信機により降下行動を解析した。
- その結果、サクラマス幼魚は、1年以上魚道を生息場・越冬場として利用することが把握された。
- スマルト度4の個体でも、翌年降下する個体が確認された。

表 4-3-2 サクラマス幼魚が魚道内で長期間生息

No.	放流時の スマルト度	放流月 a	最後に検知 された月 b	放流からの 最大検知日数 b-a	放流後の行動
1	2	2013年5月	2014年6月	407	翌年に降下型
2	4	2013年5月	2014年4月	331	翌年に降下型
3	4	2013年5月	2014年3月	296	翌年に降下型
4	4	2013年5月	2014年3月	296	翌年に降下型
5	4	2013年5月	2014年4月	321	翌年に降下型
6	4	2013年5月	2014年4月	314	翌年に降下型
7	4	2013年6月	2014年5月	328	翌年に降下型
8	1	2014年3月	2015年6月	443	翌年に降下型
9	4	2014年5月	2015年3月	313	翌年に降下型
10	4	2014年5月	2015年4月	342	翌年に降下型
11	4	2014年5月	2015年3月	305	魚道内残留型
12	4	2014年5月	2015年4月	348	翌年に降下型
13	4	2014年5月	2015年4月	321	翌年に降下型
14	4	2014年5月	2015年4月	326	魚道内残留型
15	4	2014年5月	2015年9月	491	魚道内残留型

### 4.3.3 放流河川への回帰率

- ▶ 高回帰率成分の配合餌料の効果を把握するために、サクラマススモルトの回帰率をピットタグシステムにより確認した。

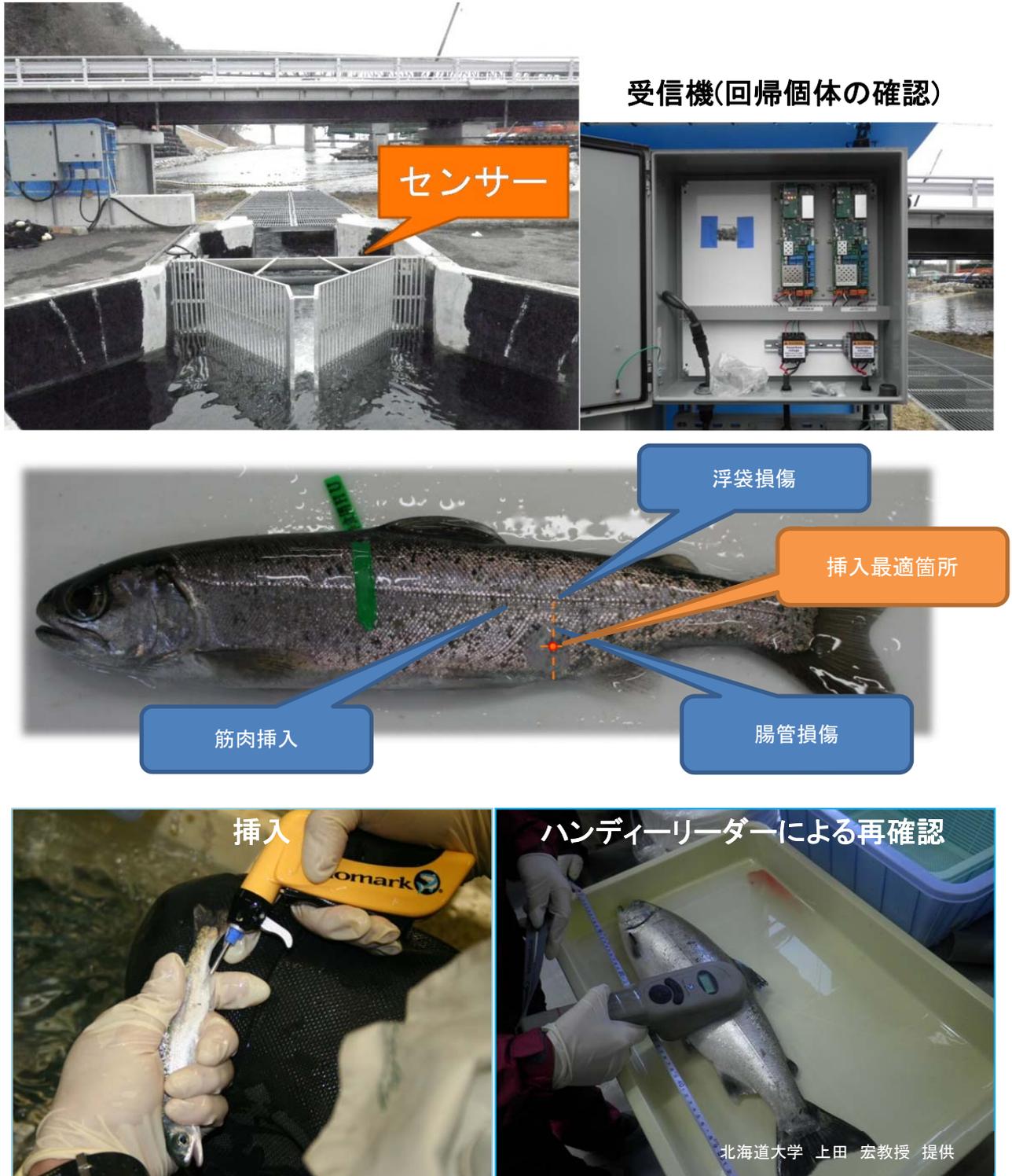


図 4-3-5 ピットタグリーダー(可搬型)による探査状況

- ▶ サクラマススモルトの回帰率は、2013～14年には0.333～0.392%の範囲にあり、既往値より約3倍高いことが明らかとなった。

表 4-3-4 サクラマス親魚の回帰確認状況(ピットタグシステム)

表1 下安家ふ化場 標識放流魚回帰データ 2014.10.22(現在)

No.	標識年月	標識年月日	整理No.	ピットタグNo.		放流河川	放流年月日	孵化場魚道 発見年月日		飼育水槽	記事
				10進法	16進法			第一発見	第二発見		
1	2013年4月 標識 (n=5)	2013/4/16	113	989.001000525060	3DD.003BA2CD04	安家川河口	2013/5/10	2014/8/10		* 室内水槽	
2		2013/4/16	327	989.001000524812	3DD.003BA2CC0C	安家川河口	2013/5/10	2014/10/16		室内水槽	
3		2013/4/16	403	989.001000524616	3DD.003BA2CB48	安家川河口	2013/5/10	2014/9/18		室内水槽	
4		2013/4/16	1214	989.001000526053	3DD.003BA2D0E5	安家川河口	2013/5/10	2014/10/2		室内水槽	
5		2013/4/17	1467	989.001000525377	3DD.003BA2CE41	安家川河口	2013/5/10	2014/10/6		室内水槽	♀F.L52cm,体重1.720g, 採卵
6	2014年2月 標識 (n=8)	2014/2/17	304	989.001003030919	3DD.003BC90987	安家川河口	2014/3/31	2014/10/5	2014/10/7	** D型水槽	
7		2014/2/17	355	989.001003030970	3DD.003BC909BA	安家川河口	2014/3/31	2014/9/27	2014/10/5	D型水槽	
8		2014/2/18	725	989.001003031340	3DD.003BC90B2C	安家川河口	2014/3/31	2014/4/1		D型水槽	
9		2014/2/19	796	989.001003031411	3DD.003BC90B73	安家川河口	2014/3/31	2014/9/10		** 野外水槽	♀F.L33cm,体重460g, 抱卵:朱色、 生殖腺重量30.3g 採捕:安家川・曳網
10		2014/2/19	834	989.001003031449	3DD.003BC90B99	安家川河口	2014/3/31	2014/9/25		野外水槽	
11		2014/2/17	1373	989.001003031988	3DD.003BC90DB4	安家川河口	2014/3/31	2014/4/16		D型水槽	
12		2014/2/17	1409	989.001003032024	3DD.003BC90DD8	安家川河口	2014/3/31	2014/4/1		D型水槽	
13		2014/2/18	1458	989.001003032075	3DD.003BC90E0B	安家川河口	2014/3/31	2014/9/29		D型水槽	

※放流尾数1274尾

\* : 室内水槽は、岩手県内水面水産技術センター  
\* \* : D型水槽・野外水槽は、下安家漁業協同組合・下安家ふ化場

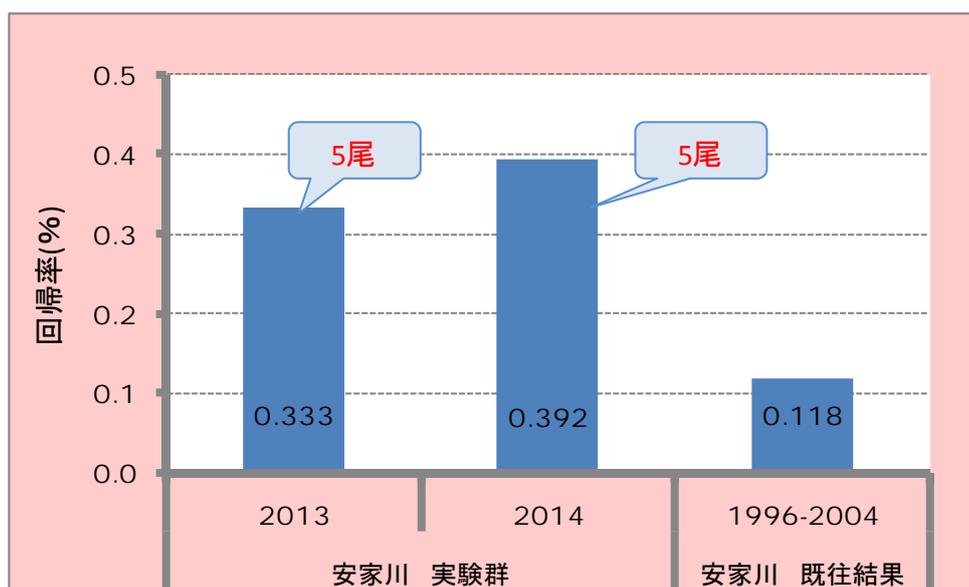


図 4-3-6 サクラマス親魚の回帰率(ピットタグシステム:  
北海道大学北方生物圏フィールド科学センター上田教授資料より)

#### 4.3.4 その他（調査状況）

- ▶ ピットタグリーダーのセンサーは、コードタイプも提供されているため、小規模水路や沢の河床に埋没させ、供試魚の信号を受信することも可能である。
- ▶ ただし、ピットタグの受信距離は 40 cm 程度であることから、使用に当たっては現地での受信確認が必須である。

【コードアンテナ】

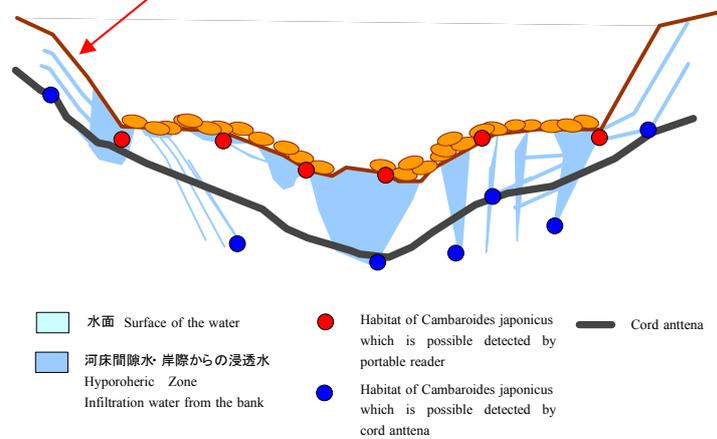


図 4-3-7 コード型ピットタグセンサー

- ▶ 沢のニホンザリガニの行動範囲や日周行動を把握するために、コードタイプ設置型および可搬型のリーダーを複合的に使用し、供試個体を追跡した事例が存在する。

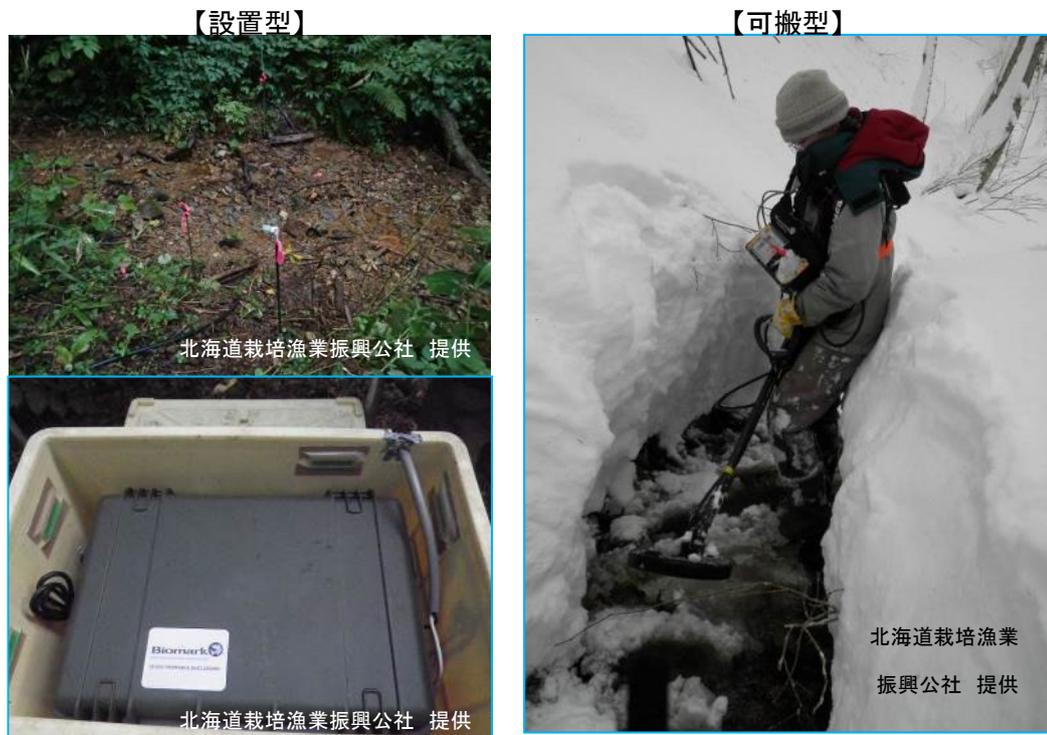


図 4-3-8 ピットタグリーダーによるザリガニの探査状況

## 4.4 ロガー

### 4.4.1 遊泳深度

- 河川整備にサケの河川内行動を考慮するために、電波発信機と深度ロガーを併用し、産卵遡上時の経路と遊泳深度を解析した。
- サケ供試魚の遊泳深度は、本流から支流に遡上する際には深い水深帯から遡上したものの、その後は上層から下層までを遊泳し、一定の傾向はみられなかった。

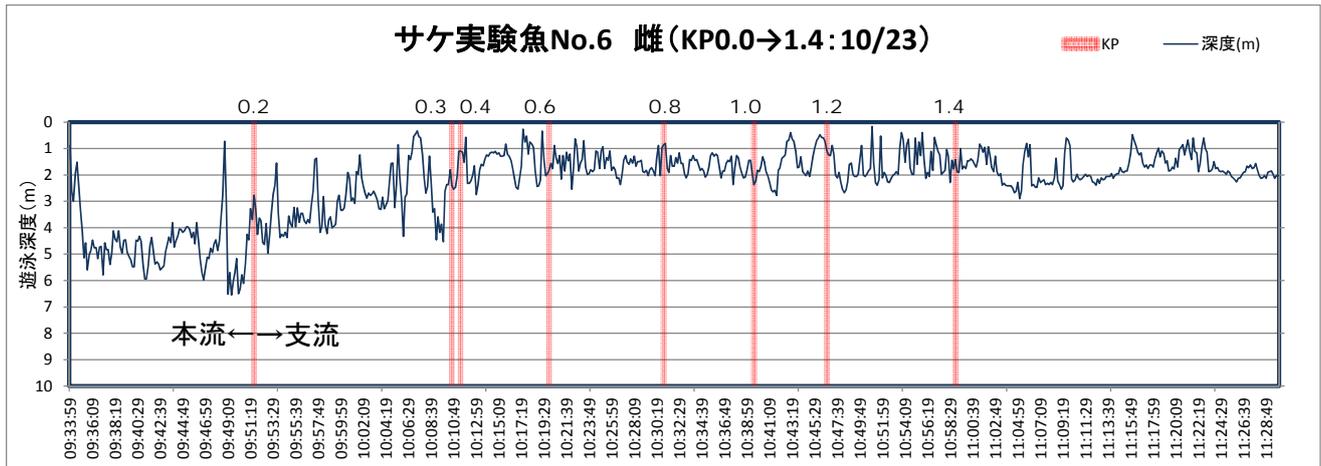


図 4-4-1 河川内におけるサケ供試魚の遡上経路と遊泳深度  
(深度ロガー: 札幌開発建設部資料より)

#### 4.4.2 心電位による麻酔影響の解析

- テレメトリー供試魚の麻酔影響を把握するために、サケ親魚に心電位ロガーを装着し、麻酔投与前後の心拍数を解析した。
- 実験水槽は、供試魚へのハンドリングを考慮し、閉鎖型循環水層を構築し、供試魚を取り上げることなく、麻酔、あるいは河川水の循環を行った。
- 実験の結果、心拍数は、麻酔時には大きく下がり、回復には1時間程度を要することが把握された。

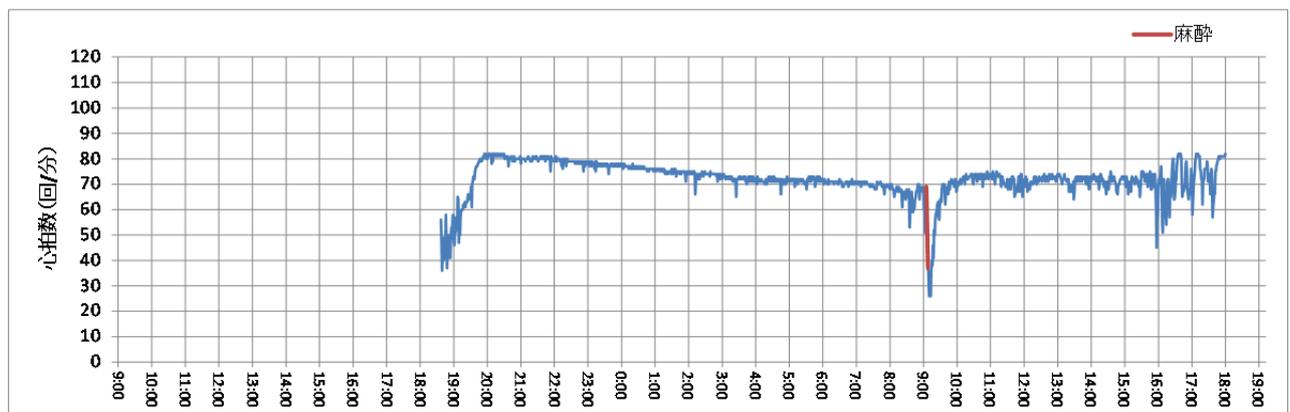


図 4-4-2 サケ供試魚の麻酔による心拍数の変化度(水槽実験:心電位ロガー)

## 5. 調査手法の選定

## 5. 調査方法の選定

### 5.1. 検討フロー

バイオテレメトリー調査における機器の選定に当たっては、次のフローに示すように、調査域のロケーション、対象魚、目的の順に検討を行うものとする。

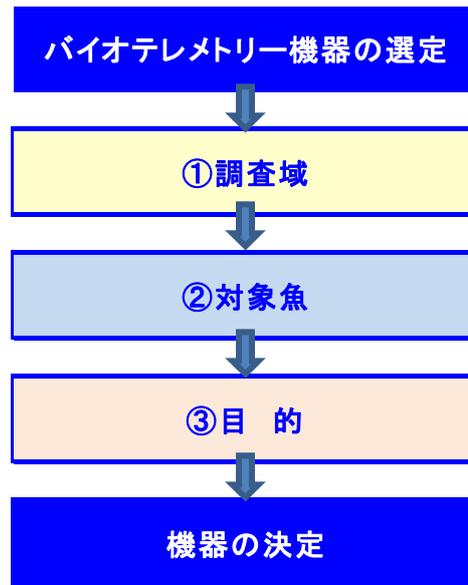


図 5-1-1 バイオテレメトリー調査における機器の選定フロー

## 5.2. システム選定のチェックシート

バイオテレメトリー調査の機器を選定するための手順は、次のとおりである。

- ▶ チェックシートに、調査内容が該当する条件事項を選択(赤枠)する。
- ▶ 最適(◎)マークが最も多くなるシステムを選定する。
- ▶ 最適マークの該当数が同点の場合は、機器の組合せやコスト等を考慮し、再選定する必要がある。

### ■ バイオテレメトリー機器選定のチェックシート

条件	電波発信機	超音波発信機*	ロガー	ピットタグ	チェック	
①調査域	河川(非塩水域)	◎	◎	◎	×	
	湖沼	○	◎	◎	×	
	海域	×	◎	◎	×	
	魚道(水路幅2m程度)	×	◎	◎	◎	
②対象魚	小型魚 (シヤマモ、ヤマベ、アユ等)	◎	○	×	◎	
	大型魚 (サケ科魚類等)	◎	◎	◎	◎	
③目的	連続的詳細行動把握:可搬式 (定位箇所・遡上部位・経路等)	◎	×	×	×	
	行動概要把握:設置式 (移動時間・距離等:電源供給無)	×	◎	×	◎	
	対象魚の経験物理環境データ取得 (大型魚の深度・流速・温度等)	○	○	◎	×	
	供試魚の回収の可能性なし	◎	◎	×	◎	

判定(実用的な判定): ◎最適 ○適 ×不適

\*ノイズ(波等)発生区間では不適

### テーマ: 河川工事区間におけるサクラマス親魚の移動時間・距離の把握(例)

条件	電波発信機	超音波発信機*	ロガー	ピットタグ	チェック	
①調査域	河川(非塩水域)	◎	◎	◎	×	✓
	湖沼	○	◎	◎	×	
	海域	×	◎	◎	×	
	魚道(水路幅2m程度)	×	◎	◎	◎	
②対象魚	小型魚 (シヤマモ、ヤマベ、アユ等)	◎	○	×	◎	
	大型魚 (サケ科魚類等)	◎	◎	◎	◎	✓
③目的	連続的詳細行動把握:可搬式 (定位箇所・遡上部位・経路等)	◎	×	×	×	
	行動概要把握:設置式 (移動時間・距離等:電源供給無)	×	◎	×	◎	✓
	対象魚の経験物理環境データ取得 (遊泳深度・流速・温度等)	○	○	◎	×	
	供試魚の回収の可能性なし	◎	◎	×	◎	✓
判定	×	◎	×	×		

判定(実用的な判定): ◎最適 ○適 ×不適

\*ノイズ(波等)発生区間では不適

- 河川工事区間におけるサクラマス親魚の移動時間・距離の把握を目的とした調査を実施する場合、上記のチェックシートに当てはめると、①調査域は『河川』、②対象魚は『大型魚』、③目的は『行動概要把握』と『供試魚の回収の可能性なし』が選択される。
- この際の最適（◎）マークの数は、超音波発信機が4つ、電波発信機とピットタグが3つ、ロガーが2つとなり、判定結果は超音波発信機が採択される。
- ただし、超音波受信機は、ノイズ(早瀬や落ち込み等)発生区間では使用不可のため、設置位置は淵やトロ場等を選定する必要がある。

### 5.3. 現地調査の留意点

#### 【受信機設置】

##### 【河川】

- 超音波：水面幅が比較的狭く、波立ちのない淵に受信機を設置
- 電 波：追跡時におけるデータが地形に関わらず取得可能

→併用が望ましい

##### 【海域】

- 超音波：受信範囲を確認し、目的の範囲に対しての必要数台を把握する
- 電 波：使用不可能（塩水分布域）

#### 【供試魚】

##### 【採捕】

- 魚道や低流量区間では魚体への負担が少ないトラップ（ふくべ網）や投網を用いることが望ましい
- 水深の深い場所では刺網を用いるが、供試魚は入網のまま放置すると斃死することから、必ず調査員が張り付き、浮子等に反応があればすぐに網からはずすこと
- 電気ショッカーを用いる場合は、供試魚をカバーから追い出す程度（1～2 秒）のショックとし、横臥するまで与えないこと

##### 【手術・放流】

- 発信機が魚体のバランスに影響を及ぼさない体重比は、既往文献から 2～4% 以下（Perry et al 2001 ; Makiguchi and Ueda 2009）が望ましいと報告されていることから、発信機と供試魚の重量比を現地で確認すること
- 長期間の追跡の場合は、手術中に放卵・放精するような個体は避けること
- 手術場所は直射日光を避け、手術時には、麻酔を施し、覚醒のための生け簀を用意すること
- 手術器具は、ホビドンヨードや 80%アルコール等で消毒し、魚体の傷口には抗生物質等を塗布する
- 覚醒のための馴致は、サケ親魚では放流地点に定位箇所があれば最低 1 時間以上、これ以外の条件では 6 時間以上（Hayashida et al. 2013）とし、さらに夏季における生簀設置の位置は高水温となる表層はさけること
- 放流位置は、可能な限り採捕位置の周辺とすることが望ましい

## 6. 参考文献

## 6. 参考文献

- Akita M, Makiguchi Y, Nii H, Nakao K, Sandahl JF, Ueda H. Upstream migration of chum salmon through a restored segment of the Shibetsu River. *Ecol. Freshw. Fish* 2006; 15: 125–130.
- Cooke SJ. Biotelemetry and biologging in endangered species research and animal conservation: relevance to regional, national, and IUCN Red List threat assessments. *Endang. Species Res.* 2008; 4: 165-185.
- 傳田正利、天野邦彦、辻本哲郎.魚類自動追跡システムの現地実証実験と魚類行動特性の把握.土木学会論文集 B.2009, (65) 1-14.
- 林田 寿文、新居 久也、春日 慶一.バイオテレメトリーシステムを用いた魚類の遡上行動解析.第 55 回（平成 25 年度）北海道開発技術研究発表会
- 林田寿文、有賀 誠、佐藤 耕治.テレメトリーを用いた石狩川流域におけるシロザケの遡上行動の評価.第 56 回（平成 26 年度）北海道開発技術研究発表会
- 林田寿文、新居久也、渡邊和好、宮崎俊行、上田宏.サクラマススモルトの降下時における美利河ダム分水施設の評価.土木学会論文集 B1(水工学) Vol.71, No.4, I\_943-I\_948, 2015.
- 林田寿文、新居久也、渡邊和好、上田 宏.美利河ダム上流に設置された分水施設におけるサクラマス幼魚の降下行動.平成 26 年度全国大会 第 69 回土木学会年次学術講演会
- 林田寿文、新居久也、田中智一郎：P I T タグシステムを用いた長期的なサクラマスの行動把握, 第 57 回（平成 27 年度）北海道開発局技術研究発表会
- 林田寿文、渡邊和好、谷瀬敦：既設ダムへの魚道設置によるサクラマス生息環境の改善効果, 寒地土木研究所月報 754 号
- 林田寿文、渡邊和好、矢部浩規：バイオテレメトリー手法を用いた小型魚の降下行動調査事例の紹介,寒地土木研究所月報第 730 号
- 林田寿文、新居久也、春日慶一：サクラマスの産卵期における美利河ダム魚道の評価,寒地土木研究所月報第 715 号
- Hayashida K., Nii H., Tsuji T., Miyoshi K., Hamamoto S., Ueda H. : Effects of anesthesia and surgery on  $U_{crit}$  performance and  $MO_2$  in chum salmon, *Oncorhynchus keta*, *Fish Physiology and Biochemistry*, 39(4), 2013.

- Hinch SG, Standen EM, Healey MC, Farrell AP. Swimming patterns and behaviour of upriver migrating adult pink (*Oncorhynchus gorbuscha*) and sockeye (*O. nerka*) salmon as assessed by EMG telemetry in the Fraser River, British Columbia, Canada. *Hydrobiologia* 2002; 483:147–160
- Makiguchi Y, Liao LY, Konno Y, Nii H, Nakao K, Gwo JC, Onozato H, Huang YS, Ueda H. Site fidelity and habitat use by the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) during typhoon season in Chichiawan stream, Taiwan as assessed by nano-tag radio telemetry. *Zool. Stud.* 2009; 48: 460-467.
- 牧口祐也、永田鎮也、村田秀樹、小島隆人、上田宏. 心拍ロガーを用いたシロザケ親魚の遊泳行動解析 海洋と生物 2008 (175) Vol30. No2 144-149
- 牧口祐也、新居久也、中尾勝哉、上田宏. 蛇行復元がサケ科魚類の遡上行動およびエネルギー消費に与える影響. 川の蛇行復元-水理・物質循環・生態系からの評価-, 技報堂出版、2011 141-163
- Makiguchi, Y., Nii, H., Nakao, K., Ueda, H. Migratory behaviour of adult chum salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum) in a reconstructed reach of the Shibetsu River, Japan, *Fisheries Management and Ecology* 2008 (15) 425-433
- 牧口祐也、新居久也、中尾勝哉、上田宏. 標津川における EMG 発信機を用いたシロザケ親魚の遡上行動解析 海洋と生物 2008 (175) Vol30. No2 150-156
- Makiguchi Y, Ueda H. Effects of external and surgically implanted dummy radio transmitters on mortality, swimming performance and physiological status of juvenile masu salmon. *J. Fish. Biol.* 2009; 74: 304-311.
- Mitsunaga Y, Kawai S, Komeyama K, Matsuda M, Yamane T. Habitat utilization of largemouth bass around a set net. *Fisheries Engineering* 2005; 41: 251-255.
- Miyoshi K., Hayashida K., Sakashita T., Fujii M., Nii H., Nakao K., Ueda H. : Comparison of the swimming ability and upstream-migration behavior between chum salmon and masu salmon, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(2), 2014.
- 新居久也. シシヤモの産卵に及ぼす河川物理環境の影響に関する研究. 博士論文, 北海道大学, 札幌. 2006.
- 新居久也、牧口祐也、藤井真、上田宏. ラジオテレメトリー手法によるシシヤモの産卵遡上行動の解析. 日本水産学会誌 2010 76(5) 855-869

日本バイロギング研究会 編. バイロギング-最新科学で解明する動物生態学.株式会社吉田三誠堂製本所.京都 2009.

Perry, R. W. , N. S. Adams and D. W.Rondorf. Buoyancy compesation of juvenile chenook salmon impacted with two different size dummy transmitters. Trans. Am. Fish. Soci. , 2001 130, 46-52

上田 宏. サケの母川回帰を解明するバイオテレメトリー. 海洋理工学会誌 2004 ; 9 : 191-199.