

I 調査課題名

水産基盤整備調査委託事業 有用魚種の行動解析に基づく漁場整備の検討

II 実施機関名

一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所
第2 調査研究部
伊藤 靖、松本卓也、三浦 浩

III 実施年度

平成 27 年度～29 年度

IV 緒言

ウスメバルは成長に伴う移動・回遊により、沿岸から沖合までの多様な環境を利用し、水産環境整備事業の指標種となっている。また、高価格魚であるウスメバルは、特に日本海側では漁業上の有用魚種であり、漁場整備事業において重要な魚種である。

特定種を対象とした漁場や増殖場の整備にあたっては、対象種の生活史段階ごとの行動や生態、好適な生息環境を把握する必要がある。特に、人工魚礁を利用しようとする場合、対象種と魚礁との関係を明確にしておくことは重要である。ウスメバルについては、着底期以降において魚礁性が高い魚種とされるが、深所で生活することから魚礁およびその周辺における滞留状況や移動経路といった行動特性について未解明な部分が多い。

魚類の分布や行動を把握する方法には、漁獲調査、操業記録の解析、標識放流調査、バイオテレメトリー調査などがある。これらの調査の中でも、バイオテレメトリー調査は、超音波発信機を魚体に装着して追跡することで、魚類の移動経路等を直接的に把握でき、人工魚礁の評価にも有効な手法である¹⁾。また、水深や加速度、水温、心拍数などのセンサーを有する発信機を用いることで、追跡する魚類の詳細な運動情報や環境情報を得ることができる。これまでマダイ²⁾やマアジ³⁾、イサキ⁴⁾等についてバイオテレメトリー調査が実施され、人工魚礁等への滞留期間や移動経路等について明らかにされている。

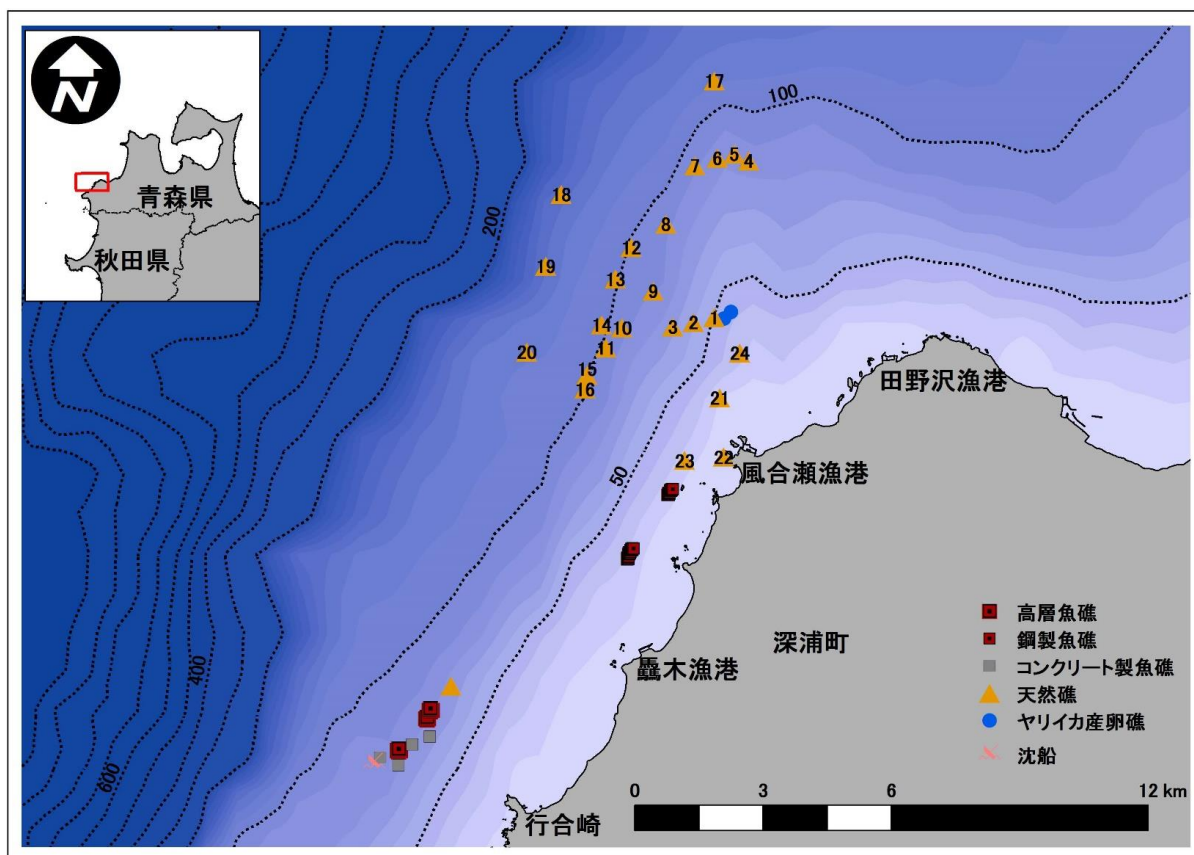
しかし、深所から漁獲されるウスメバルでは、水圧差による鰾の膨張や眼球の突出などがみられ、健全な供試魚を確保することが困難である。

そこで本調査では、まず、ウスメバルのバイオテレメトリー調査にあたり、健全な個体を得るための採捕、処置方法および発信機の装着方法について検討した。ここで確立した方法に基づき、ウスメバルのバイオテレメトリー調査（Active Tracking：受信機を接続した調査船による連続的な追跡方法、「追跡型調査」という、Passive Tracking：海域に設置した受信機による追跡方法、「設置型調査」という）等を実施し、魚礁およびその周辺における行動や生態を把握して、整備海域や整備する構造物の選定、配置計画といった効果的な漁場整備を検討する上で必要な資料を得ることを目的とした。

V 方法

1. 調査海域

調査は、図 1-1、表 1-1 に示す青森県深浦町地先の海域で実施した。



※ 水深のコンタは海上保安庁の 500m メッシュデータ^②をもとに作成、以下同様

図 1-1 調査海域

表 1-1 調査地点の水深

調査地点	水深(m)	調査地点	水深(m)	調査地点	水深(m)
高層魚礁	85	風合瀬沖天然礁 7	93	風合瀬沖天然礁 16	100
鋼製魚礁	30	風合瀬沖天然礁 8	94	風合瀬沖天然礁 17	110
コンクリート製魚礁	80	風合瀬沖天然礁 9	97	風合瀬沖天然礁 18	126
風合瀬沖天然礁 1	55	風合瀬沖天然礁 10	95	風合瀬沖天然礁 19	121
風合瀬沖天然礁 2	69	風合瀬沖天然礁 11	98	風合瀬沖天然礁 20	113
風合瀬沖天然礁 3	74	風合瀬沖天然礁 12	99	風合瀬沖天然礁 21	21
風合瀬沖天然礁 4	82	風合瀬沖天然礁 13	100	風合瀬沖天然礁 22	13
風合瀬沖天然礁 5	80	風合瀬沖天然礁 14	101	風合瀬沖天然礁 23	16
風合瀬沖天然礁 6	87	風合瀬沖天然礁 15	100	風合瀬沖天然礁 24	25

2. 調査工程の概要

調査工程の概要は、表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 (1) 調査工程の概要 (平成 27 年度)

調査項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
既往知見の収集と整理	■	■										
漁獲調査			■									
バイオテレメトリー調査												
調査手法の検討			■									
追跡型調査			■									
設置型調査			■	■	■	■	■	■				
潜水目視観察調査			■									
食性調査			■									
生息環境調査												
既存資料の収集と整理										■	■	■

表 2-1 (2) 調査工程の概要 (平成 28 年度)

調査項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
漁獲調査			■									
バイオテレメトリー調査												
追跡型調査			■	■								
設置型調査			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
潜水目視観察調査			■									
生息環境調査												
水質調査			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
流況調査			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
既存資料の収集と整理	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

表 2-1 (3) 調査工程の概要 (平成 29 年度)

調査項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
漁獲調査		■	■						■	■	■	
バイオテレメトリー調査												
水槽実験			■	■								
設置型調査	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
計量魚探調査			■									
食性調査		■	■									
成熟調査		■	■						■	■	■	
耳石の酸素安定同位体比		■	■									
生息環境調査												
水質調査(連続観測)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
流況調査	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
既存資料の収集と整理	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

3. 調査方法

3.1 文献調査

ウスメバルの分類や形態、生活史、成長、成熟、餌料および移動・回遊について、文献を収集し、整理した。

3.2 バイオテレメトリー調査

1) バイオテレメトリー調査手法の検討

(1) 健全な個体を得るための採捕および処置方法

健全な個体を得るための採捕および処置方法を検討するために、風合瀬沖の天然礁で平成 27 年 6 月 15、17、22 日に釣りによる採捕試験を実施した。

ウスメバルの採捕には、急激な減圧を避けるため、リールの巻取り速度を 0.2m/s 程度とし、水深 60m で 5 分、30m で 3 分間巻取りを停止して水深を維持、水圧調整した(写真 3.2-1)。釣り上げ後は、①速やかにウスメバルを籠 (56×39×28cm、写真 3.2-2) に收容し、加圧のため水深 20m に戻して 2 時間垂下した個体(写真 3.2-3)、②船上で膨張した鰾の空気を注射器で抜き取り船槽へ收容した個体、さらに、③何も処置せず船槽に收容した個体の 3 ケースに区分し、それぞれ区分した個体は籠に收容し、水深 30m に設置されている鋼製魚礁の天端に設置した(写真 3.2-4)。翌日、生残や遊泳状況を確認した。



写真 3.2-1 釣りによる採捕



写真 3.2-2 蓄養籠



写真 3.2-3 水深 20m での加圧



写真 3.2-4 鋼製魚礁への籠の固定

(2) 発信機の装着方法

バイオテレメトリー調査にあたり、最適な発信機の装着方法を検討するため、竜飛ひらめ養殖生産組合の陸上水槽で平成 27 年 6 月 5～20 日に発信機の装着試験を実施した。

装着試験に供したウスメバルは、平成 24 年春に陸奥湾で採捕された稚魚を 4m×4m の陸上水槽で飼育し、全長 20.1±0.6cm、体重 269±32g (Mean±SD) に成長した 20 尾とした (表 3.2-1、写真 3.2-5)。

表 3.2-1 装着試験に供したウスメバル

No.	全長(cm)	体長(cm)	体重(g)
1	25.5	19.8	304
2	25.2	20.8	275
3	24.5	20.0	260
4	23.5	19.6	253
5	24.2	20.3	241
6	24.2	19.5	273
7	24.0	19.8	238
8	24.4	19.3	251
9	23.8	19.5	227
10	23.6	21.2	284
11	24.5	20.6	332
12	25.0	20.8	253
13	23.2	19.4	239
14	25.7	20.8	327
15	24.8	20.7	304
16	24.6	20.1	283
17	25.1	21.0	280
18	25.0	20.0	293
19	24.0	20.3	256
20	22.5	19.4	209

装着する発信機は、体重比（発信機の空中重量／魚体の空中重量）が 2～3%以下であれば、魚類の行動への影響は認められないとされている⁶⁾。そのため、27 年度のバイオテレメトリー調査に使用する発信機 (V9P-1H、VEMCO 社製) も考慮して、直径 9mm、全長 40mm、空中重量 5.3g の模擬発信機をアクリルパイプ等で製作して装着試験に用いた。

発信機の装着方法は、①腹腔内に開腹手術により挿入する腹腔内装着法、②尻鰭基部へ直接、縫合糸で縫い込む外部装着法、③魚類の口から胃に飲み込ませる胃内挿入法の 3 種類とし、④開腹手術し、発信機を装着しない無標識をコントロールグループとし、1 つの装着方法あたり 5 尾のウスメバルを供した。

腹腔内装着では、渡部ら⁷⁾を参考に、濃度を 0.1～0.2mL/L に調整した麻酔剤 2-フェノキシエタノールを用い、エアレーションを行った 60×40×30cm の水槽内で 10～15 分間、ウスメバルを浸漬した。ウスメバルが横転はしないが、反応が鈍くなったことを確認した後、腸管の損傷に配慮し、肛門近くを避けて側腹部を約 2cm 開腹して、発信機を挿入した後、

ピンセットおよび鉗子を用いて、縫合糸（ブレードシルク、(株)秋山製作所製）と縫合針（外科用強弯角針、(株)秋山製作所製）により、1針縫合した。手術時には供試魚の乾燥や擦れを極力避けるため、常時新鮮な海水を供給し、厚手のビニールでコーティングしたV字型の木枠を用いた。また、魚体に直接触れないため、ポリウレタンフォームで包むように扱った（写真 3.2-6）。装着後は、傷口への細菌感染を予防するため、ニフルスチレン酸ナトリウム（エルバージュ、上野製薬（株））による薬浴を施した。

外部装着では、先端から5mmの部分に装着用の紐を固定した発信機を、麻酔を施さず、鉗子と縫合針を用いて尻鰭基部に括り付けた（写真 3.2-7）。

胃内挿入では、麻酔を施さず、模擬発信機を直接口から胃へ挿入し、すぐに吐き出さないことを確認した（写真 3.2-8）。

無標識では、腹腔内装着と同様の過程で麻酔、切開を行い、腹腔に何も挿入せずに縫合した。

全個体に2cmのスパゲティタグを装着し、実験区ごとに籠（56cm×39cm×28cm）に収容して、陸上水槽に設置した。なお、装着時には太陽光によるウスメバルの眼球への影響を抑えるため弱光下で施術した。

施術後1、2、3、5、6、7、8、10、12日に遊泳の異常、活力の低下、模擬発信機の脱落、傷口の化膿等を目視観察した。



写真 3.2-5 陸上水槽内の供試魚



写真 3.2-6 腹腔内装着

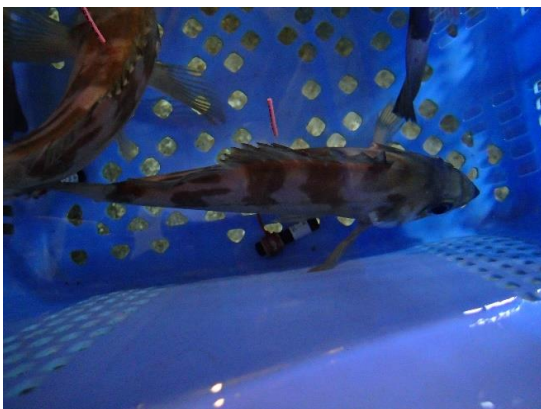


写真 3.2-7 外部装着したウスメバル



写真 3.2-8 胃内挿入

2) 摂餌行動に関する水槽実験

発信機から得られる加速度データとウスメバルの行動、特に摂餌行動との関係を把握するために、地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所の屋内水槽で平成29年6月26～28日、7月26、27日に水槽実験を実施した。

水槽実験に供したウスメバルは、風合瀬沖天然礁で6月1、19、20日に採捕した3歳魚および4歳魚以上を各2個体とした(表 3.2-2)。

表 3.2-2 水槽実験に供したウスメバル

No.	年齢(歳)	全長(cm)	体長(cm)	体重(g)
1	3	21.5	16.5	172
2	3	21.7	16.9	178
3	4	23.2	19.0	219
4	7	28.3	23.4	389

装着する加速度センサー付きの発信機は、3.2 5) のバイオテレメトリー調査で使用するものと同じ発信機(AD-2LP-7、Thelma Biotel 社製;直径7.3mm、全長30mm、空中重量3.2g、音圧139dB、周波数69kHz、測定時間20s、発信間隔60s)とした。

発信機を腹腔内に装着した3歳魚1個体とお供に3個体程度を直径3m、深さ4mの水槽に移し、水面から給餌した。給餌時刻とそのときのウスメバルの行動を観察、記録し、ビデオカメラでもこれらの状況を撮影した。発信機から発せられる加速度信号については、受信機(VR100、VEMCO 社製)により測得した。これを4歳魚以上についても同様に行った。なお、水槽実験中の水温は15～17℃、塩分は32.3～32.6であった。

餌には、冷凍餌料として、カイアシ類(全長1.0～1.4mm)、オキアミ類(体長5～20mm)、生餌として、メダカ科(体長2.5cm)、マドジョウ(体長7cm)およびアオゴカイ(全長8cm)を用いた。

3) レンジテスト

設置型調査における受信機の受信範囲を把握するために、青森県深浦町地先海域で平成28年5月23日にレンジテストを実施した。

設置型受信機(VR2W、VEMCO 社製、写真 3.2-9)、音響切り離し装置付き受信機(VR2AR、VEMCO 社製、写真 3.2-10)の設置水深が海底上1mとなるようにロープに固定した。これに土囊をおもりとして海底まで垂下して設置し、緯度・経度、水深、時刻を記録した。その後、設置地点から水平距離が50m離れた地点に移動し、船上から発信機(ARP-LP-7.3、Thelma Biotel 社製;直径7.3mm、全長19mm、音圧139dB、発信間隔5s)を海底上1mまで垂下し、1分間定位して、緯度・経度、時刻を記録した。これを50m間隔で繰り返し、設置地点から500m程度離れるまで行い、受信されなくなったことを確認し、受信機および発信機を回収した。

VR2W (VEMCO 社製)



写真 3.2-9 設置型受信機

VR2AR (VEMCO 社製)



写真 3.2-10 切離し装置付き受信機

4) 追跡型調査

ウスメバルの滞留海域や移動経路を把握するために、青森県深浦町地先海域で表 3.2-3 に示す工程で追跡型調査を実施した。

受信確認および受信機設置については、調査船による追跡終了時における滞留海域において実施した。

放流地点は、Case A27-1~3、Case A28-1~3 では行合崎沖の水深 85m に設置された高層魚礁、Case A28-4~6 では風合瀬沖の水深 30m に設置された鋼製魚礁とした（図 3.2-1、図 3.2-2）。

表 3.2-3 追跡型調査の工程

調査年度	放流地点	Case No.	放流日時	終了日時	調査船による追跡終了後	
					受信確認	受信機設置
H27	高層魚礁	A27-1	H27 6/19 18:05	6/20 5:00	6/21	
		A27-2	6/22 15:40	6/23 7:00		
		A27-3	6/24 16:25	6/25 7:00	6/25	
H28	高層魚礁	A28-1	H28 5/29 11:30	5/30 9:00	5/30、31、6/3	6/3
		A28-2	6/ 6 16:00	6/ 6 20:00	6/7 まで捜索	
		A28-3	6/11 10:40	6/13 7:00	6/14、15、28	6/15
	鋼製魚礁	A28-4	6/15 15:00	6/17 7:00	6/22、29、30	
		A28-5	6/21 13:40	6/23 4:00	6/24、29、30	
		A28-6	6/28 12:40	6/30 6:30		6/30

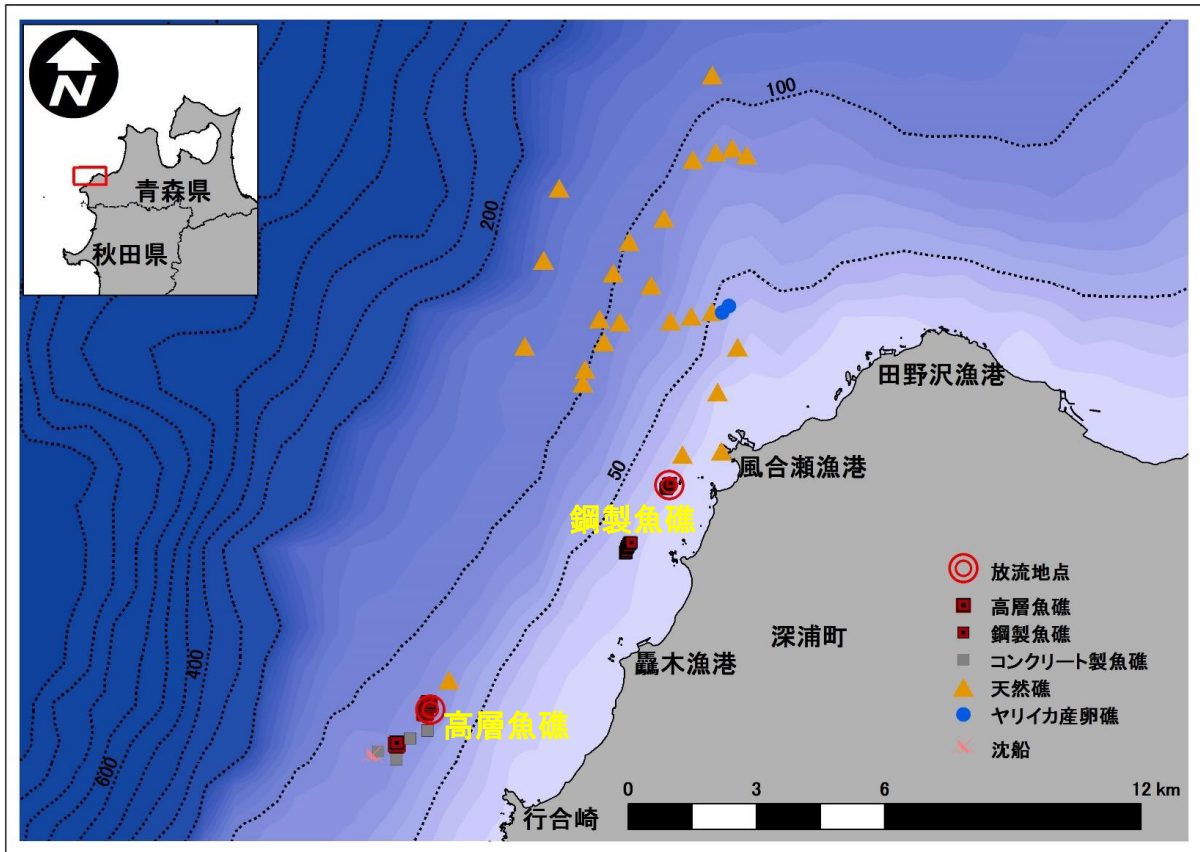


図 3.2-1 追跡型調査の放流地点

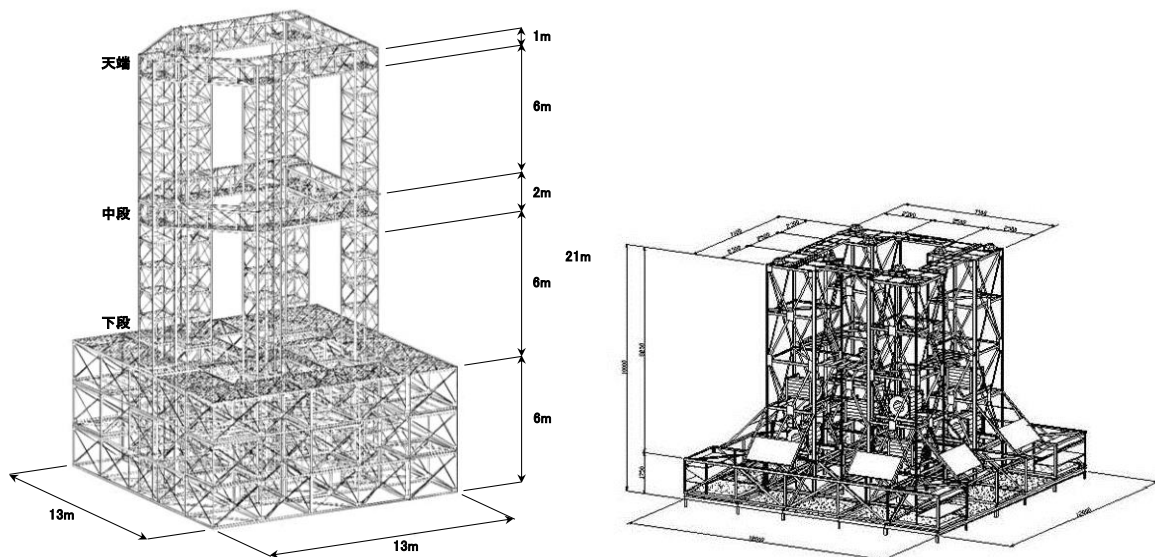


図 3.2-2 放流地点の人工魚礁（左：高層魚礁、右：鋼製魚礁）

追跡型調査に供したウスメバルは、表 3.2-4 に示すとおりである。

追跡型調査の供試魚については、3.2 1) (1)の採捕試験において最も生残率が高かった方法により、風合瀬沖天然礁で採捕した。3.4 漁獲調査において耳石の輪紋から査定した年齢と体長の関係を基に、4歳魚以上を追跡の対象とした。

表 3.2-4 追跡型調査に供したウスメバル

調査年度	年齢区分	Case No.	全長 (cm)	体長 (cm)	尾叉長 (cm)	体重 (g)	年齢 (歳)	採捕日	採捕地点※
H27	4歳以上	A27-1	22.9	18.6	22.3	263	4	H27 6/15	20
		A27-2	25.6	20.8	24.9	318	5	6/17	20
		A27-3	23.2	19.4	23.2	216	5	6/21	20
H28	4歳以上	A28-1	26.7	22.8	25.0	236	6	H28 5/23	10
		A28-2	22.2	18.9	21.7	229	4	5/30	11
		A28-3	26.5	22.3	24.0	257	6	5/28	4
		A28-4	25.4	21.7	24.4	273	5	6/ 7	13
		A28-5	25.4	22.0	24.4	219	5	5/24	18
		A28-6	23.8	20.4	22.7	171	5	6/ 7	13

※採捕地点の数字は風合瀬沖天然礁の番号を示す

追跡型調査に使用した発信機は、表 3.2-5、写真 3.2-11、写真 3.2-12 に示すとおりである。

発信機の装着は、放流の前日に、潜水士により鋼製魚礁の天端（水深 20m）に設置していた蓄養籠をから取り外し、ゆっくり引き上げて船上で行った。発信機の装着方法は、3.2 1) (2)の装着試験において、脱落のリスクが最も低く、遊泳行動や活力の維持への影響が少ない方法とした。ただし、2-フェノキシエタノールによる麻酔については、魚体への負担を低減するため、Case A28-1～6 では、濃度を 0.20mL/L、浸漬時間を 3～5 分間程度とした。装着後、傷口からの出血や遊泳異常がみられないことを目視で確認し、再び籠に移して、潜水士により鋼製魚礁の天端に固定し、放流まで馴致した。

表 3.2-5 追跡型調査に使用した発信機

	Case A27-1～3	Case A28-1～6
メーカー	VEMCO 社	Thelma Biotel 社
機種名	V9P-1H	ADT-LP-7.3_PULSE
センサー	水深	水深
直径 (mm)	9.0	7.3
全長 (mm)	40	25
空中重量 (g)	5.3	3.0
音圧 (dB)	151	145
周波数 (kHz)	63、75、78	62～65、73、75
発信間隔 (s)	1	1 (※水深は 60～120)
寿命 (day)	4	8

放流の当日に、潜水士により蓄養籠を鋼製魚礁の天端から取り外し、船上にゆっくり引き上げて、調査船上のコンテナに収容し、放流地点まで移動した。地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所が開発した放流籠（上底半径 33cm、下底半径 41cm、高さ 46cm、写真 3.2-13）に、群れで行動するウスメバルの生態を考慮して、発信機を装着したウスメバル 1 尾とお供個体 3 尾程度をバケツで移し、垂下するロープの目盛り、受信機で測得される発信機の水深および魚群探知機の画像を確認しながら、各人工魚礁の天端から中段まで（高層魚礁：70m、鋼製魚礁：25m）垂下し、籠を開いて放流した（写真 3.2-14）。

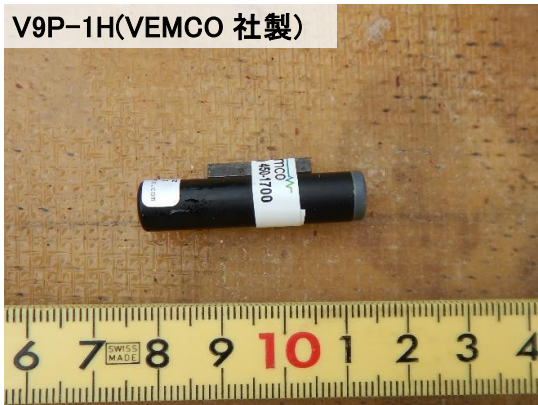


写真 3.2-11 発信機 (H27 使用)



写真 3.2-12 発信機 (H28 使用)



写真 3.2-13 放流籠



写真 3.2-14 放流状況

追跡型調査では、VEMCO 社製の受信機 VR100（写真 3.2-15）と指向性ハイドロフォンを接続し、調査船右舷の水深約 1m に固定した。発信機から発信されるウスメバルの遊泳水深および調査船の緯度・経度を受信機の内部メモリーに記録した。調査船位置における水深や海底地形については、サイドスキャンソナー機能を有する魚群探知機（HDS-10、LOWRANCE 社製、写真 3.2-16）を調査船右舷に設置して記録した。また、調査船による追跡終了後に、VR100 により滞留海域において追跡個体の受信の有無を確認した。さらに、Case A28-1、3、6 では、3.2.5) 設置型調査による方法で滞留海域に受信機を設置して、調査船による追跡終了後の滞留状況を確認した。



写真 3.2-15 受信機



写真 3.2-16 魚群探知機

5) 設置型調査

ウスメバルの滞留期間や日周期行動等を把握するために、青森県深浦町地先海域で表 3.2-6 に示す工程で設置型調査を実施した。

放流地点は、Case P28-1～8、Case P29-1～24 では行合崎沖の高層魚礁（水深 85m）、Case P27-1～5、Case P28-9～16 では風合瀬沖の鋼製魚礁（水深 30m）とした（図 3.2-3）。

表 3.2-6 設置型調査の工程

調査年度	放流地点	Case No.	放流日時
H27	鋼製魚礁	P27-1～5	H27 6/23 11:00
H28	高層魚礁	P28-1～8	H28 6/28 11:30
	鋼製魚礁	P28-9～16	6/28 12:40
H29	高層魚礁	P29-1～24	H29 6/2 9:00

受信機の設置地点は、図 3.2-3、表 3.2-7 に示すとおりである。

設置地点については、3.24) 追跡型調査によりウスメバルが滞留した海域を考慮して、ウスメバルを放流する前に受信機を設置した。高層魚礁では、潜水士による設置が困難であり、航行船舶も多いことから、音響切離し装置付き受信機 VR2AR を用い、海底上 1m に設置した（写真 3.2-17）。鋼製魚礁では潜水士により設置型受信機 VR2W を設置し（写真 3.2-18）、その他の地点では立ち上げ式により VR2W を海底上 1m に設置した。



写真 3.2-17 係留系（高層魚礁）

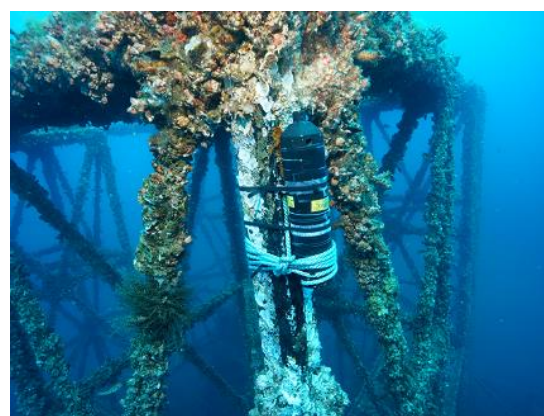


写真 3.2-18 設置状況（鋼製魚礁）

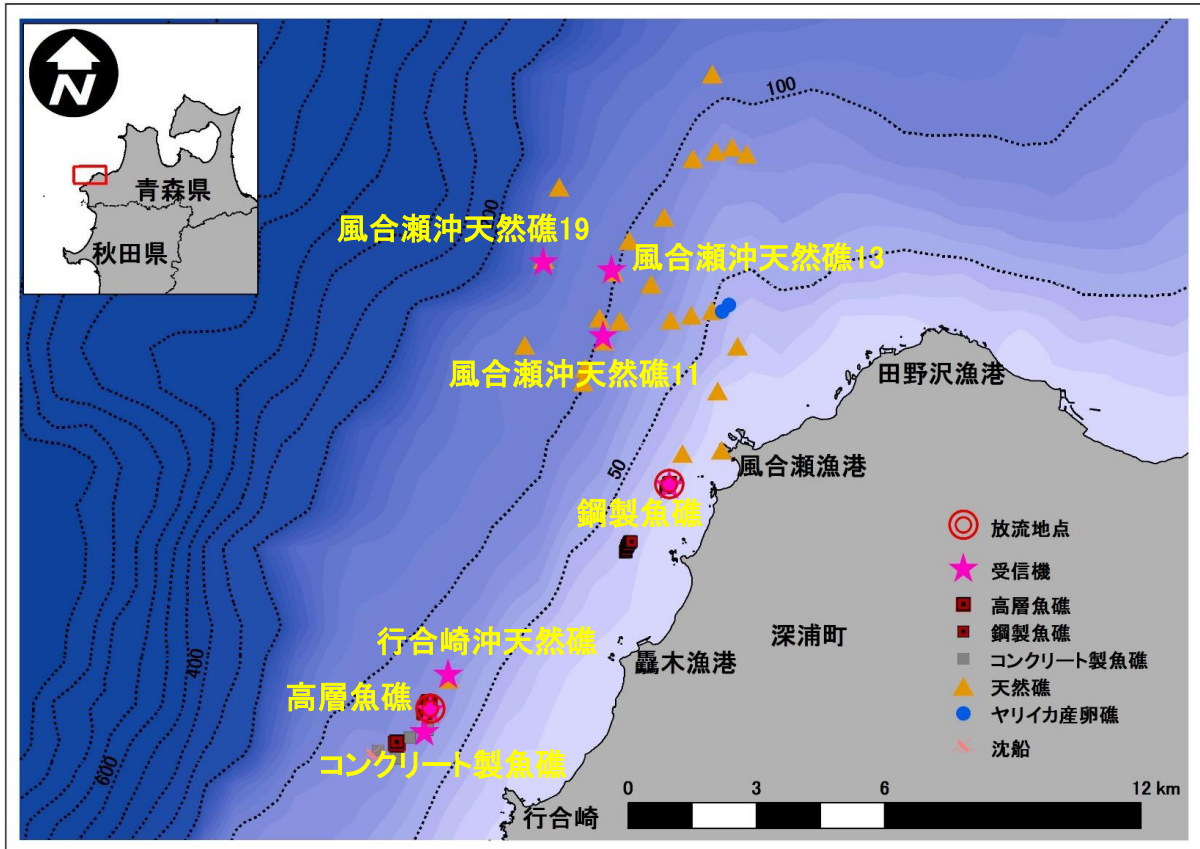


図 3.2-3 追跡型調査の放流地点と受信機の設置地点

表 3.2-7 受信機の設置地点

設置地点	水深(m)	受信機	設置	メンテナンス	回収
鋼製魚礁	30	VR2W	H27 6/23 H28 5/24	— H29 2/5	H27 10/23 H30 2/1
高層魚礁	85	VR2W VR2AR	H28 5/29 H28 10/13 H29 5/30	— H29 2/5 9/22	H28 8/28 H30 2/1
コンクリート製魚礁	80	VR2W	H28 6/15 H29 5/30	— H29 9/22	H28 8/28 H30 2/1
行合崎沖天然礁	80	VR2W	H28 6/3 H29 5/30	— H29 9/22	H28 8/28 H30 2/1
風合瀬沖天然礁 11	98	VR2W	H28 6/30 H29 4/24	— H29 9/22	H28 8/28 H30 2/1
風合瀬沖天然礁 13	100	VR2W	H29 6/29	H29 9/22	H30 2/1
風合瀬沖天然礁 19	121	VR2W	H29 6/29	H29 9/22	H30 2/1

設置型調査に供したウスメバルは、表 3.2-8 に示すとおりである。

設置型調査の供試魚については、3.2 4) と同様の方法により、風合瀬沖天然礁で採捕した。年齢と体長の関係より、3 歳魚と 4 歳魚以上を区分して設置型調査の対象とした。

表 3.2-8 設置型調査に供したウスメバル

調査年度	年齢区分	Case No.	全長 (cm)	体長 (cm)	尾叉長 (cm)	体重 (g)	年齢 (歳)	採捕日	採捕地点※
H27	4歳以上	P27-1	23.1	20.4	24.4	216	5	H27 6/17	20
		P27-2	22.7	19.5	23.4	183	5	6/22	10
		P27-3	23.5	18.6	22.3	246	4	6/22	10
	3歳	P27-4	20.3	16.9	20.3	173	3	6/17	20
		P27-5	18.3	15.4	18.5	117	3	6/22	10
H28	4歳以上	P28-1	27.2	23.3	25.5	241	7	H28 5/28	4
		P28-2	25.2	22.0	24.9	275	5	5/30	11
		P28-3	24.5	21.6	24.0	298	5	5/30	11
		P28-4	23.2	20.9	22.5	252	5	5/28	6
		P28-5	24.0	20.9	21.8	269	5	5/30	11
	3歳	P28-6	19.0	16.3	18.7	134	3	5/30	11
		P28-7	19.0	15.7	18.1	119	3	5/30	11
		P28-8	17.9	15.2	17.6	97	3	5/30	11
	4歳以上	P28-9	26.8	22.3	26.4	291	6	5/28	6
		P28-10	26.8	22.2	25.9	308	5	5/30	11
		P28-11	25.0	21.1	24.3	253	5	5/28	6
		P28-12	22.0	19.3	21.6	185	5	6/7	12
		P28-13	22.5	19.0	22.0	216	4	6/7	13
	3歳	P28-14	19.1	16.9	18.5	112	3	5/30	11
		P28-15	19.1	16.3	18.7	116	3	5/30	11
		P28-16	17.4	14.6	16.8	93	3	5/30	11
H29	4歳以上	P29-1	26.6	21.4	25.5	325	5	H29 6/1	11
		P29-2	22.7	19.3	22.1	211	5	6/1	11
		P29-3	23.5	19.1	22.9	240	4	6/1	11
		P29-4	22.8	18.9	22.0	235	4	6/1	11
		P29-5	23.0	18.4	22.1	225	4	6/1	11
		P29-6	22.2	18.3	21.5	207	4	6/1	11
		P29-7	26.7	22.0	26.1	396	5	6/1	11
		P29-8	25.8	21.6	25.0	322	5	5/31	11
		P29-9	23.8	19.9	23.1	291	5	6/1	11
		P29-10	23.8	19.8	23.0	232	5	6/1	11
		P29-11	23.8	19.4	23.3	237	5	6/1	11
		P29-12	21.9	18.4	21.1	195	4	6/1	11
	3歳	P29-13	20.9	17.0	20.1	179	3	6/1	11
		P29-14	21.0	17.0	20.4	212	3	6/1	11
		P29-15	20.3	16.5	19.9	143	3	6/1	11
		P29-16	18.9	15.7	18.4	122	3	6/1	11
		P29-17	18.9	15.6	18.4	131	3	6/1	11
		P29-18	18.5	15.0	18.0	128	3	6/1	11
		P29-19	20.5	16.9	19.9	166	3	6/1	11
		P29-20	20.4	16.8	19.8	163	3	6/1	11
		P29-21	19.9	16.1	19.0	144	3	5/31	11
		P29-22	19.7	16.1	18.9	168	3	6/1	11
		P29-23	19.4	16.0	18.9	135	3	6/1	11
		P29-24	18.0	14.9	17.5	113	3	6/1	11

※採捕地点の数字は風合瀬沖天然礁の番号を示す

設置型調査に使用した発信機は、表 3.2-9、写真 3.2-19、写真 3.2-20 に示すとおりである。

Case P28-1～16 では水深センサー付きの発信機を使用し、Case P29-1～24 では水深センサーおよび加速度センサー付きの発信機を使用した。Case P29-1～6、13-18 では、日周期行動および産仔期、交尾期の行動を把握するため、発信間隔を 60 秒とし、平成 29 年 5 月 27 日から 8 月 25 日まで発信した後、発信停止期間を設け、12 月 23 日から 30 年 1 月 21 日まで再び発信する設定とした。Case P29-7～12、19-24 では、滞留期間の把握を目的とし、発信間隔を 480 秒とした。発信間隔と加速度の測定時間の模式図は、図 3.2-4 に示すとおりである。

表 3.2-9 設置型調査に使用した発信機

	Case P27-1～5	Case P28-1～16	Case P29-1～6 Case P29-13～18	Case P29-7～12 Case P29-19～24
メーカー	VEMCO 社	Thelma Biotel 社	Thelma Biotel 社	Thelma Biotel 社
機種名	V9-2L	ADT-LP-7.3_LONG	AD-2LP-7	AD-2LP-7
センサー	-	水深	水深、加速度	水深、加速度
直径(mm)	9.0	7.3	7.3	7.3
全長(mm)	29	25	30	30
空中重量(g)	4.7	3.0	3.2	3.2
音圧(dB)	145	139	139	139
周波数(kHz)	69	69	69	69
発信間隔(s)	60～180/ 平均 120	60～120/ 平均 90	50～70/ 平均 60	340～620/ 平均 480
加速度の測定時間(s)	-	-	20	90
寿命(day)	685	396	90+30	250
観測期間	H27 6/23～H29 5/8	H28 6/28～H29 7/29	H29 5/27～8/25 H29 12/23～H30 1/21	H29 5/27～H30 2/6



写真 3.2-19 発信機 (H27 使用)

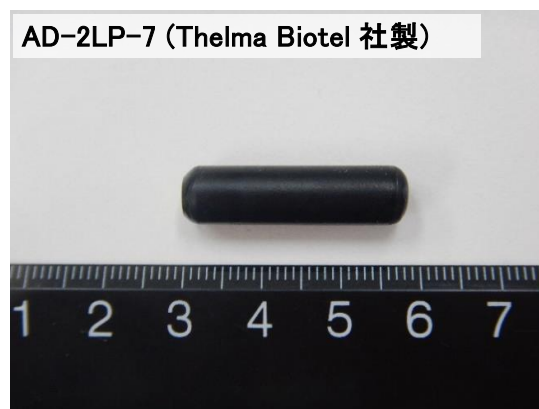


写真 3.2-20 発信機 (H29 使用)

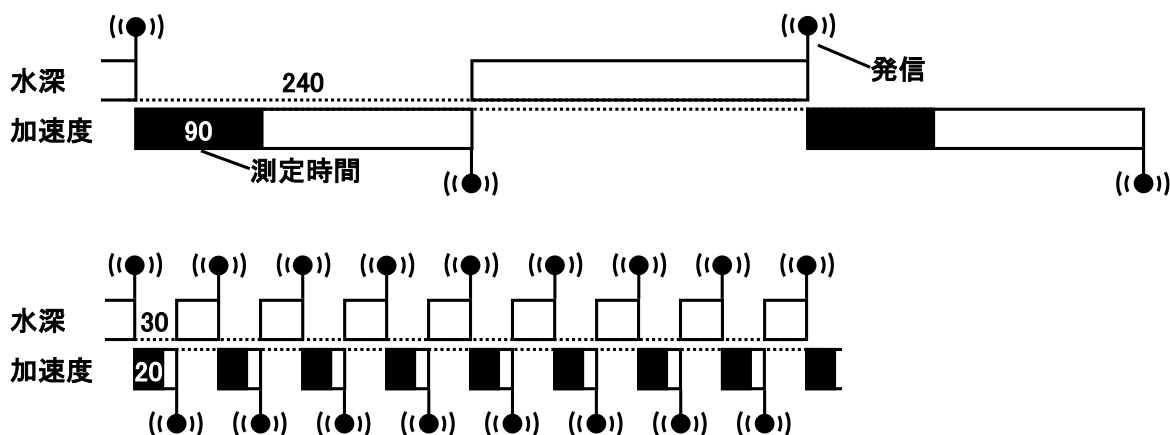


図 3.2-4 発信間隔と加速度の測定時間の模式図
(上 : Case P29-7~12、19-24、下 : Case P29-1~6、13~24)

発信機の装着および追跡個体の放流は、3.2 4) 追跡型調査と同様とした。ただし、発信機の装着時における、2-フェノキシエタノールによる麻酔については、魚体への負担を低減するため、Case P28-1~16、Case P29-1~24 では、濃度を 0.20mL/L、浸漬時間を 3~5 分間程度とした。

3.3 計量魚探調査

魚礁およびその周辺海域におけるウスメバルの魚群の分布状況を把握し、群れとしての行動について検討するために、高層魚礁および風合瀬沖天然礁において、表 3.3-1 に示す工程で計量魚探調査を実施した。

表 3.3-1 計量魚探調査の工程

調査年度	調査海域	調査日時
H29	高層魚礁	H29 5/31 7:30 ~ 8:45
	風合瀬沖天然礁 16	5/31 9:25 ~ 9:35
	風合瀬沖天然礁 8	5/30 21:30 ~ 22:30

計量魚探調査の調査地点は、図 3.3-1 に示すとおりである。

計量魚群探知機 (EK-60、SIMRAD 社製 ; 周波数 70kHz、出力 1000W、ビーム幅 7°) を用い、トランスデューサーを装着した曳航体 (写真 3.3-1) が、曳航時に水深 0.5m 程度までとなるように船舷からロープで吊るした。調査測線に沿って 5~6 ノット程度で曳航しながら、魚探信号を記録装置 (写真 3.3-2) に記録した。

記録した魚探信号データを、解析ソフト (Echoview 4.20、SONAR DATA 社製) に取り込み、取り込んだ画像 (エコーグラム) について、反射強度から海底、構造物、魚群等を判別した。魚群の解析については、高層魚礁における平成 29 年 6 月 6 日の 3.4 漁獲調査による結果から、ウスメバルの体長組成を整理し、ウスメバルの体長 (L) と反射強度 (TS: Target Strength) の関係 ; $TS = 20 \log_{10} L - 67.1^{8)}$ を参照し、ウスメバルの分布量を算出した。

調査測線上の記録データについて、水平方向 5m、鉛直方向 2m の区間毎に解析し、水平方向については単位面積あたり、鉛直方向については単位体積当たりのウスメバルの魚群密度（個体数、重量）を出力した。

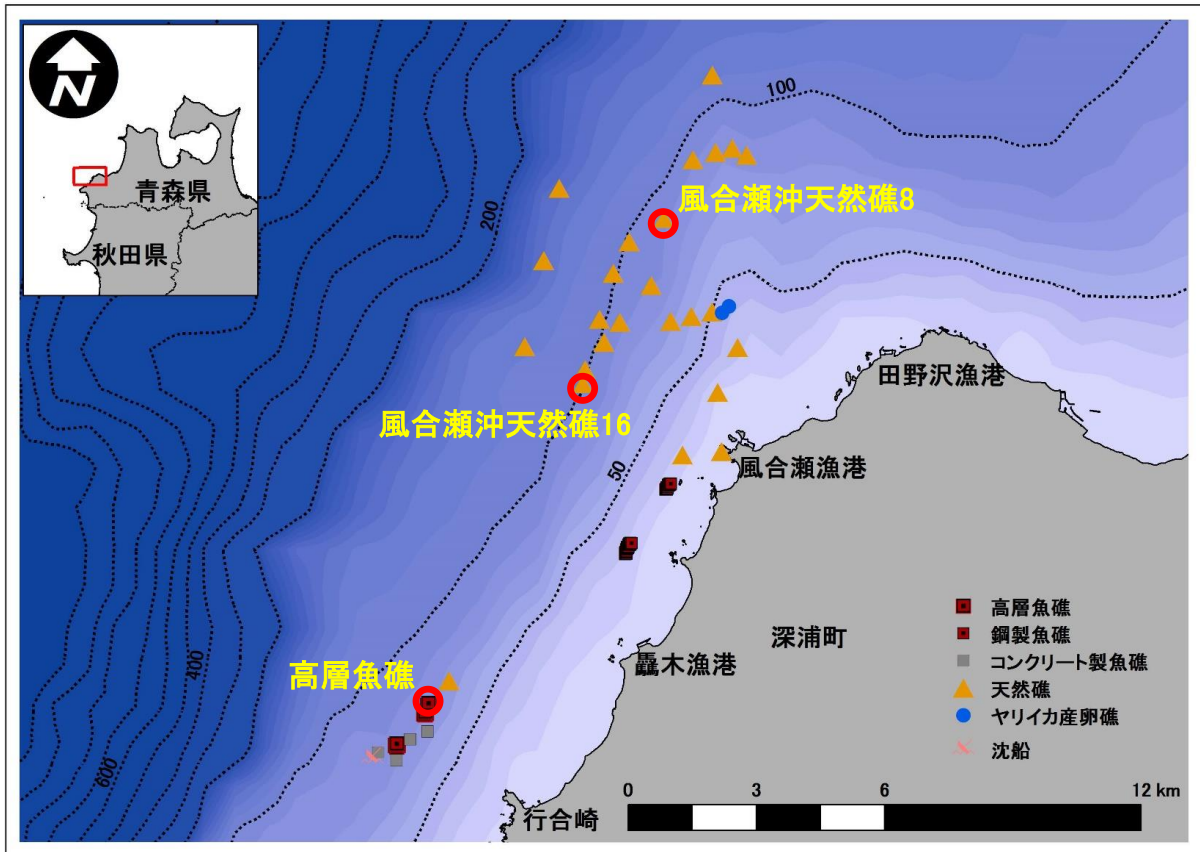


図 3.3-1 計量魚探調査の調査地点



写真 3.3-1 計量魚群探知機



写真 3.3-2 記録装置

3.4 漁獲調査

ウスメバルの成長や分布を把握し、また、バイオテレメトリー調査等における供試魚を採捕するために、表 3.4-1 に示す工程で漁獲調査を実施した。

表 3.4-1 漁獲調査の工程

調査年度	採捕日	採捕時間(分)	採捕地点	水深(m)
H27	H27 6/15	340	風合瀬沖天然礁 12	99
	6/17	305	風合瀬沖天然礁 20	113
	6/22	260	風合瀬沖天然礁 10	95
H28	H28 5/23	38	風合瀬沖天然礁 1	55
		46	風合瀬沖天然礁 2	69
		34	風合瀬沖天然礁 10	95
		31	風合瀬沖天然礁 14	101
	5/24	100	風合瀬沖天然礁 18	126
		118	風合瀬沖天然礁 19	121
	5/28	52	風合瀬沖天然礁 4	82
		13	風合瀬沖天然礁 5	80
		72	風合瀬沖天然礁 6	87
	5/30	27	風合瀬沖天然礁 3	74
		203	風合瀬沖天然礁 11	98
	6/ 7	35	風合瀬沖天然礁 7	93
		25	風合瀬沖天然礁 8	94
		65	風合瀬沖天然礁 12	99
		340	風合瀬沖天然礁 13	100
H29	H29 4/21	33	久六島	120
	4/23	28	風合瀬沖天然礁 9	97
		33	風合瀬沖天然礁 10	95
		300	風合瀬沖天然礁 15	100
	4/26	330	高層魚礁	85
	5/ 9	300	風合瀬沖天然礁 17	110
		50	黄金崎沖天然礁	75
	5/18	300	高層魚礁	85
	5/30	10	風合瀬沖天然礁 3	74
		14	風合瀬沖天然礁 11	98
	5/31	15	風合瀬沖天然礁 3	74
		10	風合瀬沖天然礁 11	98
	6/ 1	51	風合瀬沖天然礁 11	98
		5	風合瀬沖天然礁 15	100
		15	風合瀬沖天然礁 16	100
	6/ 6	330	高層魚礁	85
	6/19	300	風合瀬沖天然礁 17	110
	6/20	15	風合瀬沖天然礁 3	74
		93	風合瀬沖天然礁 17	110
	11/13	116	高層魚礁	85
12/ 7	68	高層魚礁	85	
H30 1/ 8	60	高層魚礁	85	

漁獲調査の調査地点は、図 3.4-1 に示すとおりである。

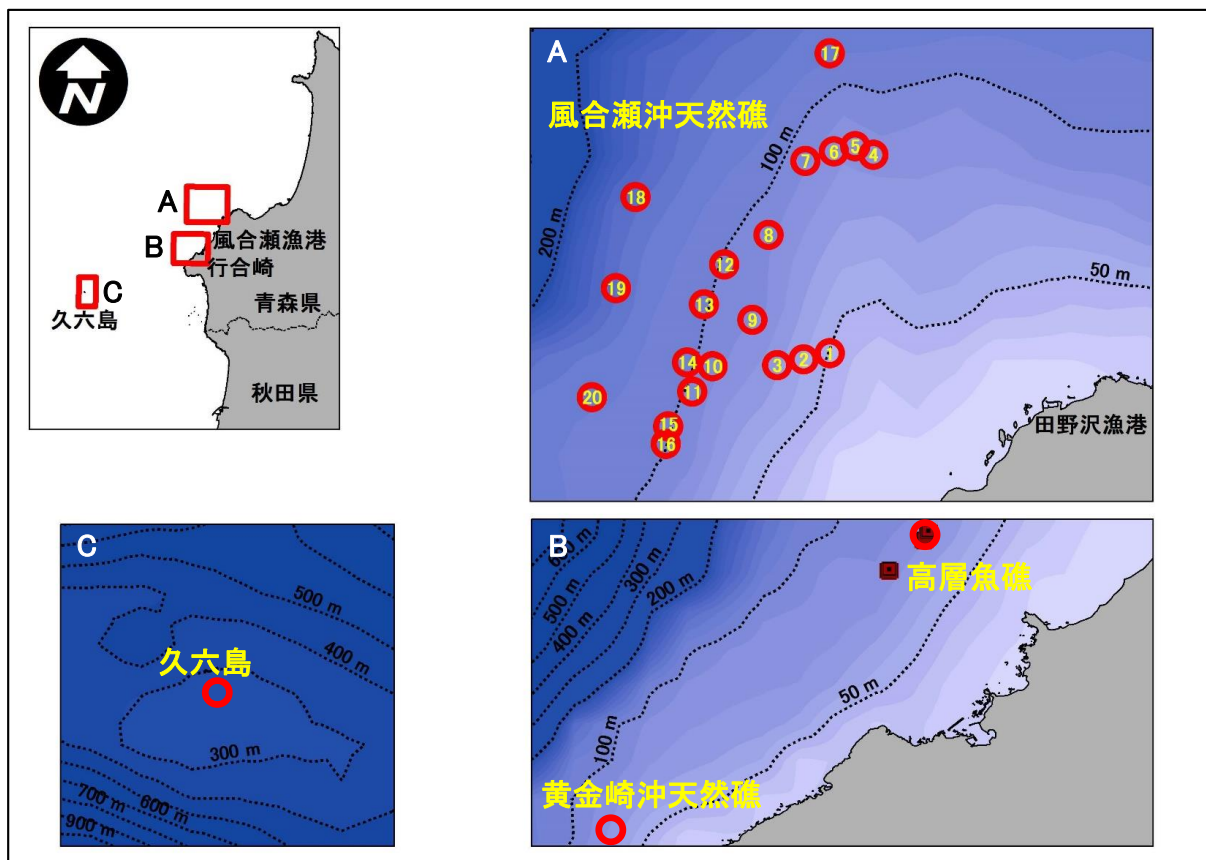


図 3.4-1 漁獲調査の調査地点

ウスメバルは釣りにより採捕し、採捕日時、採捕地点の緯度・経度および水深を記録した。風合瀬沖天然礁では、3.2 バイオテレメトリー調査における供試魚の採捕と兼ねるため、3.2 1) (1)による方法で採捕した。高層魚礁、黄金崎沖天然礁および久六島では、漁業者によって採捕時刻、操業位置を記録し、釣獲されたウスメバルを買い取った。なお、いずれの採捕についても採捕者は1人とした。

採捕したウスメバルについて、全長、体長、尾叉長を計測し、体重を秤量した。平成27年度に採捕したウスメバルのうち、バイオテレメトリー調査に供試しない個体については、耳石を採取して、菊谷⁹⁾に準じ、実体顕微鏡下で輪紋を読み取り、年齢を査定した。

3.5 観察調査

着底期以降のウスメバル稚魚および未成魚の分布を把握するために、平成27年6月16、18、22日、28年5月23日、6月7日に観察調査を実施した。

観察調査の調査地点は、図 3.5-1 に示すとおりである。

鋼製魚礁および風合瀬沖天然礁において、ウスメバル等魚類の蛸集量や全長等を潜水士によって目視観察するとともに、水中カメラで撮影した。

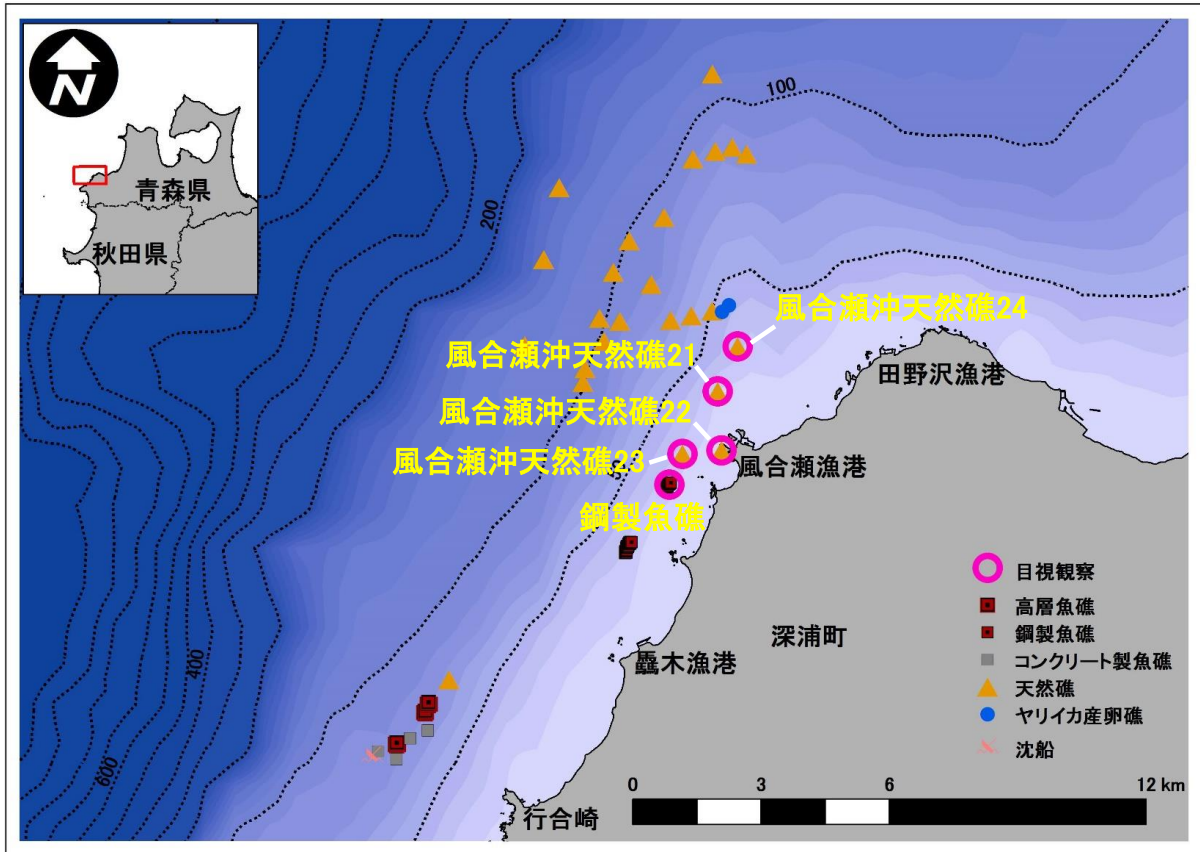


図 3.5-1 観察調査の調査地点

3.6 耳石の酸素安定同位体比

発信機のサイズによる制限から、現時点ではバイオテレメトリー調査による追跡が困難な3歳魚未満の若齢魚の経験水温を推定するために、ウスメバル耳石の酸素安定同位体比 ($\delta^{18}O$) を分析した。

3.4 の漁獲調査により、高層魚礁および風合瀬沖天然礁において平成29年4月23、26日、5月9、18、30日、6月1、19、20日に採捕したウスメバルから耳石を取り出した。耳石を樹脂に包埋し、厚さ1mmの切片を作成した後、表面を研磨した。実体顕微鏡下で各年齢の不透明帯および透明帯の表面をマイクロドリル ($\phi 400 \mu m$) で約 $100 \mu g$ 切削し、分析試料とした (写真 3.6-1)。

耳石の酸素安定同位体比の分析には、前処理装置 GasBench 付きの質量分析計 (DELTA V Advantage、Thermo Fisher Scientific 社製、写真 3.6-2) を用いた。

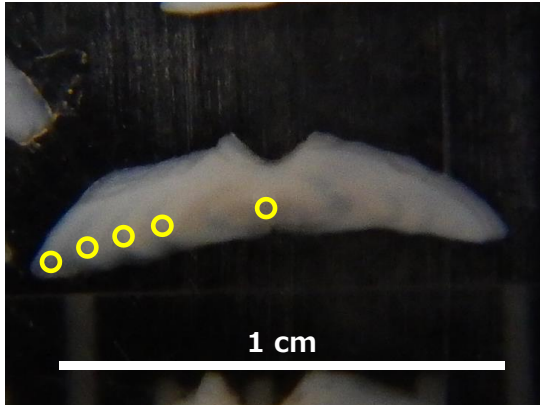


写真 3.6-1 耳石の切削箇所

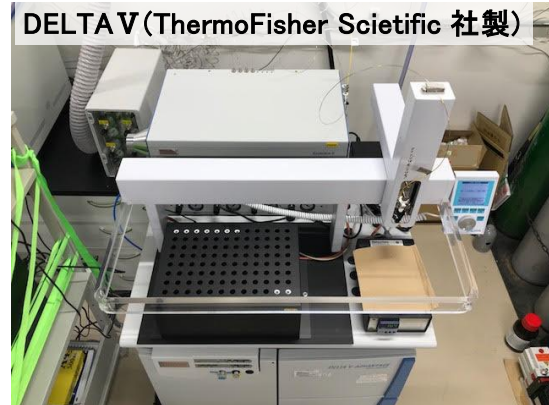


写真 3.6-2 GasBench 付き質量分析計

3.7 成熟調査

調査海域におけるウスメバルの成熟状況および産仔期および交尾期におけるウスメバルの分布を把握するために、ウスメバルの生殖腺を分析した。

3.4 の漁獲調査により、高層魚礁、風合瀬沖天然礁、黄金崎沖天然礁および久六島において平成 29 年 4 月 21、23、26 日、5 月 9、18、30、31 日、6 月 1、6、19、20 日、11 月 13 日、12 月 7 日、30 年 1 月 8 日に採捕したウスメバルから生殖腺を摘出し、分析試料とした。

生殖腺重量を秤量して、実体顕微鏡下で雌雄を判別し、生殖腺の成熟状況を観察した。ウスメバルの生殖腺重量指数 (GSI : Gonado Somatic Index) は、次式により求めた。

$$\text{GSI} = \text{生殖腺重量} \div \text{体重} \times 100$$

3.8 食性調査

1) 胃内容物

ウスメバルが摂餌している餌料生物を把握するために、ウスメバルの胃内容物を分析した。

3.4 の漁獲調査により、高層魚礁、風合瀬沖天然礁および黄金崎沖天然礁において平成 27 年 6 月 15、17、22 日、29 年 4 月 26 日、5 月 9、18 日、6 月 6 日に採捕したウスメバルから胃を摘出し、10%ホルマリンで固定したものを分析試料とした。

胃内容物中の生物種を同定し、種別個体数を計数、定量可能なものについては湿重量を秤量した。

2) 炭素・窒素安定同位体比

(1) 濃縮係数

ウスメバルの炭素・窒素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$) の濃縮係数を把握するために、3.2 1) (2) の装着試験で供したウスメバルの養殖個体の筋肉および飼育に用いられた配合飼料 (魚粉、エビミール、オキアミミールの割合が約 60%) を分析した。

(2) 炭素・窒素安定同位体比

ウスメバルの餌料源を把握するために、調査海域で採捕したウスメバルおよび餌料生物の炭素・窒素安定同位体比を分析した。

3.4 の漁獲調査により、高層魚礁および風合瀬沖天然礁において平成 27 年 6 月 15、17、22 日、29 年 5 月 9、18、30 日、6 月 1、6、19、20 日に採捕したウスメバルの尻鰭付近の筋肉部を切り取り、 -20°C で分析まで冷凍保存した。分析直前に凍結乾燥機により 1 昼夜以上凍結乾燥した後、乳棒、乳鉢ですりつぶし、粉末状にした。粉末試料約 1mg を精密天秤で秤量し、スズコンテナに包み、分析試料とした。

炭素・窒素安定同位体比の分析には、元素分析計と質量分析計 (DELTA V Advantage、Thermo Fisher Scientific 社製) を組み合わせた装置を用いた。分析時にはスタンダード試薬 (Acetanilide、Indiana University 製; $\delta^{13}\text{C} -29.53 \pm 0.01\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N} 1.18 \pm 0.02\text{‰}$) を用いて、測定精度の確認を行った。

3.9 生息環境調査

1) 水質調査

(1) 水質の鉛直観測

ウスメバルの遊泳水深における生息環境を把握するために、水質を鉛直観測した。

3.2 4) の追跡型調査 (Case A28-1~6) 時に、放流地点や滞留海域において、多項目水質計 (ASTD、JFE アドバンテック社製) により、水温、塩分、D0、クロロフィル、濁度を鉛直観測した。

(2) 水温の連続観測

ウスメバルの滞留期間中における水温を把握するために、水温を連続観測した。

高層魚礁 (水深 85m) において、平成 28 年 5 月 23 日~30 年 2 月 1 日までの期間、水温センサー付きの電磁流向・流速計 (INFINITY-EM、JFE アドバンテック社製) を音響切り離し装置付き受信機 VR2AR に連結して設置し、水温を 20 分間隔で連続観測した。

2) 流況調査

ウスメバルの移動や行動と流れとの関係を把握するために、流況を連続観測した。

流況の連続観測については、3.9 1) (2) の水温の連続観測と兼ね、流向・流速を 20 分間隔で連続観測した。

3) 既存資料の収集と整理

調査海域における海底の水温分布の季節変化を把握するために、国立研究開発法人水産研究・教育機構 拡張版日本海海況予測システム (JADE2)¹⁰⁾ による、「北部日本海」海域にの水深 1、50、100、200m における、平成 28 年 1 月 1 日から 29 年 10 月 31 日までの水温データを収集した。

JADE2 データから算術平均により 4 層における各月の平均水温を求めた。これを基に、水平方向には重み付きガウス関数による重み付き平均、鉛直方向には線形補間し、500m メッシュデータ⁵⁾ による水深 200m 以浅の海底の格子点の各月平均の水温を求めた。これを GIS ソフト (ArcGIS、ESRI 社製) 用いて、逆距離加重法 (IDW: Inverse Distance Weighted) によって空間補間し、各月の海底の水温分布図を作成した。

ウスメバルの日周期行動と潮汐との関係を把握するために、気象庁¹¹⁾ による「深浦」における、28 年 5 月 1 日~30 年 1 月 31 日までの潮位データを収集、整理した。

VI 結果

1. 文献調査

1.1 分類、形態および分布

ウスメバル *Sebastes thompsoni* はカサゴ目フサカサゴ科メバル属の魚類であり、メバル属内において、メバル、トゴットメバルと系統学的に近縁な関係にあると推測されている¹²⁾。

ウスメバルの体は赤橙色で、体側に5条の暗色横帯がある。頭の棘は弱く、背鰭棘は13本、尾鰭後縁は二叉する¹³⁾。本種は、トゴットメバルとよく混同されるが、本種の体側の斑紋は不定形で、斑紋が丸みを帯びるトゴットメバルと区別できる。

ウスメバルは、北海道函館周辺から日本海側では青森県から対馬海峡付近まで、太平洋岸では千葉県銚子沖まで分布する¹⁴⁾¹⁵⁾。青森県日本海側、青森県太平洋側、秋田県、山形県、新潟県、京都府および島根県の8海域のウスメバルについてミトコンドリアDNA分析を行った結果、海域間における遺伝的分化が存在する可能性は小さく、日本周辺のウスメバルは、ほぼ均質な遺伝的組成を持ち、比較的大きな繁殖集団を形成している¹⁶⁾。

1.2 生活史

1) 産仔期

メバル属魚類はすべて胎生魚であるため、雄と雌との交尾により精子が雌に受け渡され、受精は雌の体内でおこる¹⁷⁾。

ウスメバルは、青森県および秋田県では3~5月頃、山形県では2~4月頃、新潟県および京都府では2~3月頃に産仔しており、産仔時期は地理的に南に行くほど早まり、かつその期間が短くなる傾向がある¹⁷⁾。水深70~150mの漁場で漁獲されたウスメバルにおいて、いずれも孕仔個体がみられたことから、ウスメバルは、各々の生息水深で産仔を行っていると考えられている¹⁸⁾。

2) 浮遊生活期

産仔された仔魚は、浮力により表層へ運ばれ、浮遊生活に移行する¹⁹⁾。ウスメバルは産出後40日前後を表層で過ごした後、体長が20mm程に成長すると稚魚期に移行して遊泳力がつき、流れ藻に随伴する¹⁹⁾²⁰⁾。流れ藻に随伴していた稚魚は、体長35mm前後に達したところで、底生生活に移行する¹⁹⁾。流れ藻からの離脱は、ウスメバルの骨組織の生成が終了し、鱗組織が発達していく段階で行われる²⁰⁾。流れ藻に随伴する期間は、ほぼ50日であるが、底生生活への移行が遅れる個体では、70~90日に及ぶ。流れ藻への随伴を含めた平均的な浮遊期間は約90日、最長で約130日と考えられている¹⁹⁾。

3) 底生生活期

流れ藻から離れたウスメバル稚魚は、水深11~50mの天然礁や魚礁に着底する¹⁹⁾。その後、ウスメバル稚魚は、水温の上昇とともに深所へ移動し、満3歳になるまで水深50~80mで未成魚期までを過ごす¹⁹⁾。しかし、漁獲対象となる以前の1~2歳魚の分布には不明な点が多い。

3歳以上になると、成長の良い個体から産仔に関与し、より好適な水温帯(9~16℃)を求めて水深80~150mの海域に移動する。ウスメバル成魚は、その水深帯で周年生息し、産仔する¹⁹⁾²¹⁾。

1.3 成長

ウスメバルを含むメバル属魚類の寿命は一般的に長いとされ、青森県、秋田県、京都府では、14歳の雌が確認されている²²⁾。ウスメバルの耳石輪紋は、他の多くの魚類と同様に年齢形質として有効であり、概ね3~4月頃に透明帯外縁、9~10月頃に不透明帯外縁が形成される²²⁾。

ウスメバルの成長は雌雄で差がなく²²⁾²³⁾²⁴⁾、また、海域でも差がないとされる²²⁾。

1.4 成熟

メバル属魚類のように、体内で受精を行う魚類では、精子が雌の体内に貯留された後に受精する場合も多く、交尾と受精の時期は必ずしも一致しない¹⁷⁾。尾叉長が21cm以上(4歳以上)のウスメバルの雌について、生殖腺指数(GSI=100×生殖腺重量/内臓除去重量)を調べた結果、青森県では、1~4月にかけて高い値を示し¹⁷⁾、雄では11月および1~3月まで高い値を示した²⁵⁾。秋田県では、雌の平均GSIは4月に高かったが、5月では急激に減少していた。山形県では、雌の平均GSIは12~3月にかけて高い値を示し、雄では11月~12月に高い値を示していた。新潟県では、雌の平均GSIは2~3月にかけて高い値を示し、雄では12月に高い値を示していた。京都府では、雌の平均GSIは2~3月に高い値を示した後、4月以降、急激に減少していた。雄の平均GSIは10月に高い値を示していたものの、顕著なピークはみられなかった¹⁷⁾。

ウスメバルにおける雌の生殖腺の成熟段階を目視により判別すると、“成熟”~“産仔直前”となる個体の割合は、平成12年の青森県では4月中旬、山形県では平成8年は4月中旬、平成9年は3月上旬、平成10年では2月中旬、平成11年では3月中旬、平成12年の新潟県では2月中旬にそれぞれ最も高い値を示していた。“産仔後”の個体の割合は、平成12年の青森県では4月下旬、山形県では平成8年は5月中旬、平成9年は4月上中旬、平成10年は5月中旬、平成11年は4月中旬、平成12年の新潟県では2月下旬がそれぞれ高い値を示していた¹⁷⁾。

ウスメバルの交尾は青森県や秋田県では12月頃、山形県、新潟県では12~1月に行われ、その後、雌の成熟が進み、青森県および秋田県では3~5月頃、山形県では2~4月頃、新潟県および京都府では2~3月頃に産仔すると考えられている¹⁷⁾²⁶⁾。

現時点で確認されているウスメバルの最小の産仔個体は、青森県、秋田県、京都府では満4歳魚、山形県、新潟県では満3歳魚であり、成長の良い3歳魚以上から産仔に関与していくと考えられている¹⁷⁾。しかし、産仔時期であっても、未成熟や、成熟過程の生殖腺を持つ個体が多数確認されており¹⁷⁾、産仔年齢以上の個体であっても、毎年産仔に関与しているとは限らない可能性もある。

ウスメバルの尾叉長から求めた年齢と、計数した孕仔数をアロメトリー式にあてはめた結果、産仔数は、1尾あたり4歳魚で約11,000個体、5歳魚で約18,000個体、6歳魚で約29,000個体であると考えられている¹⁷⁾。

1.5 食性

胃内容物調査より、ウスメバルの食性について次のことが示されている。

仔魚期では、ウスメバルは、沿岸性のカイアシ類、枝角類等のプランクトンを主体的に摂餌している¹⁸⁾²⁷⁾。

1歳魚になると外洋性のカイアシ類がウスメバル餌料の主体となる²⁸⁾。

2歳魚ではヤムシ類の捕食割合が高くなるものの、1歳魚と同様にカイアシ類が餌料の

主体である。また、餌料生物の対象がイカ類や魚類にまで拡大する²⁸⁾。

3歳魚の餌料生物は、2歳魚とほぼ同様であるが、カイアシ類への依存はさらに低くなる²⁸⁾。1~3歳魚は、索餌のために大きく移動することはなく、生息域で濃密に分布するプランクトンや、昼夜間に鉛直移動をするプランクトンを捕食していると考えられている²⁸⁾。

4歳魚以上になると、外洋の中層に広く分布する端脚類、オキアミ類や魚類等の摂餌効率の良い大型生物を捕食する²⁸⁾。餌料生物の組成も1~2歳の未成魚と大きく異なり、カイアシ類がほとんど摂餌されなくなる²⁸⁾。

1.6 移動・回遊

青森県、秋田県、山形県、京都府において、釣獲あるいは籠や底建網に入網したウスメバル、または稚魚期に採集し、1年弱飼育したウスメバルを標識放流した調査では、放流地点より10km以内での再捕が69%、放流点から移動しての再捕が31%であった²⁹⁾。この調査において、移動した個体は、青森県脇野沢では1尾が約15km北上し、青森県平内では1尾が陸奥湾を西に12km移動した。秋田県男鹿では1尾が約50kmを北上した。山形県大瀬では、7尾が160~270km南下し、新潟県南部から富山県にかけての海域で再捕された。青森県の陸奥湾で移動したウスメバルは、湾奥部から湾口へ移動している傾向がみられた²⁹⁾。

この他の事例では、秋田県の八森町沖では、青森県と秋田県の県境付近に位置する「テリ場」と呼ばれるウスメバルの好漁場に移動した個体と、男鹿半島に南下した個体が再捕された³⁰⁾。新潟県の佐渡南部海域で放流した結果では、放流点付近で再捕された個体が多かったが、鳥取県と石川県猿山沖に各1尾、柏崎から西頸城郡にかけての新潟南部海域に3尾の合計5尾が南下し、1尾が佐渡北部沿岸まで北上して再捕されていた³¹⁾。

これら全ての標識放流の結果を踏まえると、ウスメバルは、北上した個体よりも南下した個体が多く、底生生活移行後では、南下移動が卓越していると考えられている²⁹⁾。南下移動が卓越する理由としては、浮遊期における北方への受動的輸送の補償行動であると考えられている³²⁾。また、山形県大瀬から富山県魚津で再捕されたウスメバルは、85日間で約270kmを南下し、最も移動速度が速かった。これは、160kmを148日で移動した佐渡の事例³¹⁾と比べると3倍の速さであり、ウスメバルには、少なくとも1日数kmの距離を長期間移動できる遊泳能力があることになる²⁹⁾。

人工魚礁を放流地点としたウスメバルは、放流地点より移動して再捕される個体が多く、天然礁を放流地点としたウスメバルは、放流点付近で再捕される個体が多かった²⁹⁾。人工魚礁で放流した個体の多くが、人工魚礁から離れた海域で再捕されるのは、ウスメバルがより深所へと移動する際に立ち寄る一時的な生息地として人工魚礁を利用しているため、人工魚礁に滞留しなかったものと考えられている²⁹⁾。

新潟県小木町では、流れ藻から採集した稚魚を1年間飼育し、全長9~12cmに成長した1歳魚を昭和53年5月に水深40mで放流した結果、放流地点から8km以内で再捕された³¹⁾。同海域において、釣りにより漁獲した2歳魚中心の未成魚521尾を放流した結果、49尾が6km以内で採捕された³¹⁾。これらの結果から、1~2歳魚の移動距離は少ないことが示唆されている³¹⁾。これに対し、同海域において水深100mで全長16~32cmの成魚247尾を放流した結果では、5~6歳のウスメバル2尾が島根県沖、能登半島沖まで南下し再捕された³¹⁾。また、山形県大瀬では、年齢別にウスメバルのDNA分析を行った結果、2歳魚より3歳魚の方が集団の入れ替わりが激しいことが推察されている³³⁾。これらの結果から、大きい個体ほど長距離を移動する可能性が考えられる。

2. バイオテレメトリー調査

2.1 バイオテレメトリー調査手法の検討

1) 供試魚の採捕および処置方法

採捕および処置方法別の採捕尾数と生残尾数は、表 2.1-1 に示すとおりである。

釣上げ時に水圧調整を行いながら採捕し、釣上げた後、速やかに籠に収容して水深 20m に垂下する方法によるウスメバルの生残率は、73%と最も高く、有効であった(写真 2.1-1、写真 2.1-2)。注射器による空気の抜き取りを行った方法では、生残率が 23~38%であり、鰓や内臓に損傷を負わせる可能性もあることから、バイオテレメトリー調査では行わない方がよい。

表 2.1-1 採捕および処置方法別の採捕尾数と生残尾数

	釣上げ時		釣上げ後		採捕数 (尾)	生残数 (尾)	生残率 (%)
	60m で停止	30m で停止	空気抜き	20m で垂下			
Case 1	5分	3分	あり	-	30	7	23
Case 2	5分	3分	-	-	12	0	0
Case 3	5分	3分	-	2時間	37	27	73
Case 4	-	-	あり	-	8	3	38



写真 2.1-1 20m に垂下する前



写真 2.1-2 20m に垂下した後

2) 発信機の装着方法

発信機の装着試験結果は、表 2.1-2 に示すとおりである。

試験した 3 種の方法では、施術直後の死亡や発信機の脱落が確認されず、装着方法はその方法でも可能であった。発信機の装着に要した時間は、腹腔内装着法で平均 10 分、外部装着法 9 分、胃内挿入法 7 分であり、胃内挿入法が最も短時間で施術できた。

術後の経過観察では、いずれの装着法も遊泳の異変や活力の低下はみられず、腹腔内装着法と外部装着法は発信機の脱落も確認されなかった。しかし、胃内挿入法は手術後 6、8、10 日に発信機の脱落が確認された。また、胃内挿入法では、長期間の調査における摂餌への影響が懸念される。したがって、施術時間が長く、麻酔によるストレスの影響も考えられるが、発信機の脱落、遊泳異常や活力の低下も認められなかったことから、腹腔内装着をバイオテレメトリー調査における発信機の装着方法として採用した。麻酔については、

ウスメバルへの負荷を軽減するため、実海域におけるバイオテレメトリー調査の実施時には、2-フェノキシエタノールの濃度を 0.20mL/L、浸漬時間を 3～5 分間程度とした。また、腹腔内装着により発信機を装着したウスメバルには、スパゲティタグによる標識も施した上で放流した。

なお、本手法によって発信機を装着し、平成 27 年 6 月 23 日に放流したウスメバル（体長 18.6cm）が、約 1 年後に放流地点から約 50km 南の秋田県八峰町地先の水深 180m で刺網により採捕された（図 2.1-1）。採捕されたウスメバルは、体長 20.5cm に成長していたことから、本手法によるバイオテレメトリー調査の妥当性が裏付けられた。

表 2.1-2 発信機の装着試験結果

	脱落のリスク	施術時のストレス	遊泳行動への影響	活力の維持
腹腔内装着	-	麻酔、施術時間	-	-
外部装着	海底等への接触	-	流れによる影響	-
胃内挿入	6,8,10 日で脱落	食道、胃の損傷	-	摂餌への影響

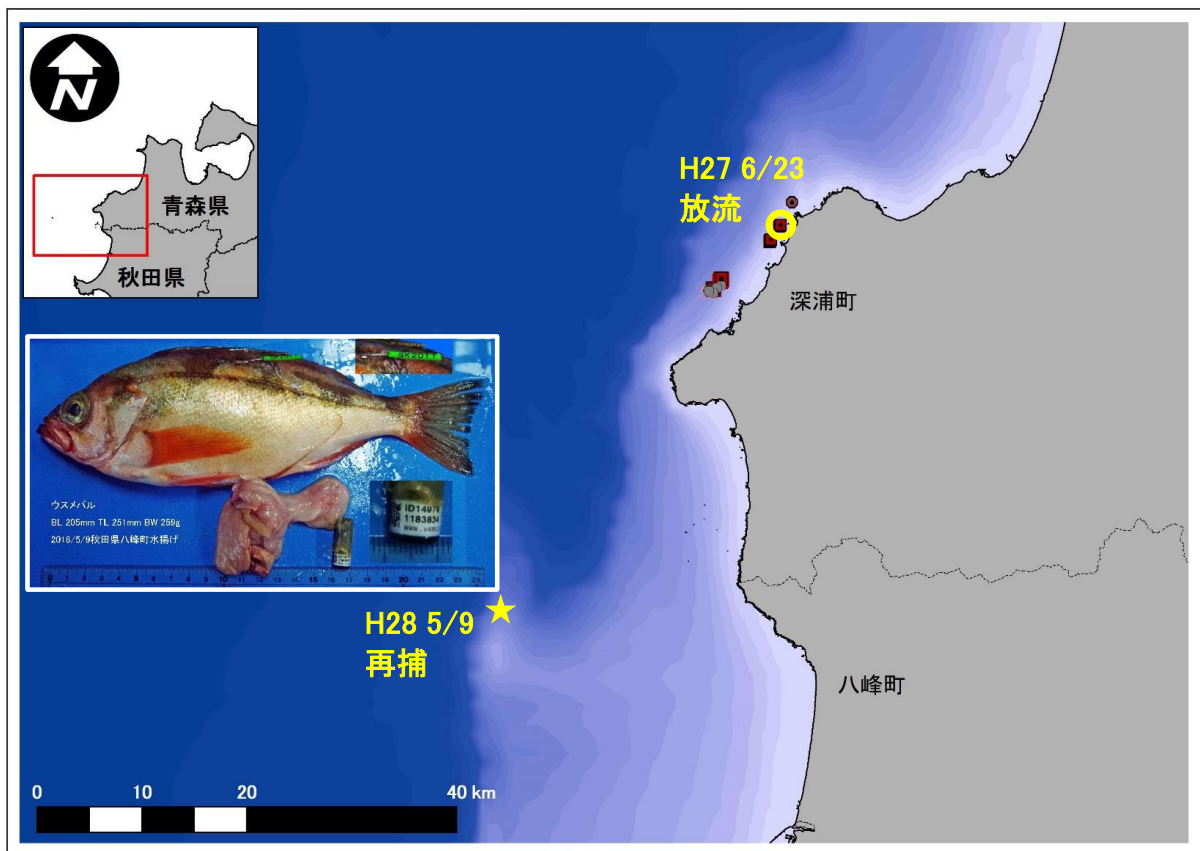


図 2.1-1 発信機を装着したウスメバル（Case P27-3）の再捕

2.2 摂餌行動に関する水槽実験

水槽実験におけるウスメバルの遊泳加速度は、図 2.2-1 に示すとおりである。また、水槽実験後のウスメバルの胃内容物は写真 2.2-1 に、ウスメバル 4 歳魚の摂餌の状況は図 2.2-2 に示すとおりである。

ウスメバル 4 歳以上の摂餌以外の遊泳時における遊泳加速度は、主に $2\sim 4\text{m/s}^2$ 程度であった。これに対し、摂餌時における遊泳加速度は、 10m/s^2 以上であった。

3 歳魚については、本水槽実験において、餌に反応して近づくものの、いずれの餌についても摂餌には至らなかった。

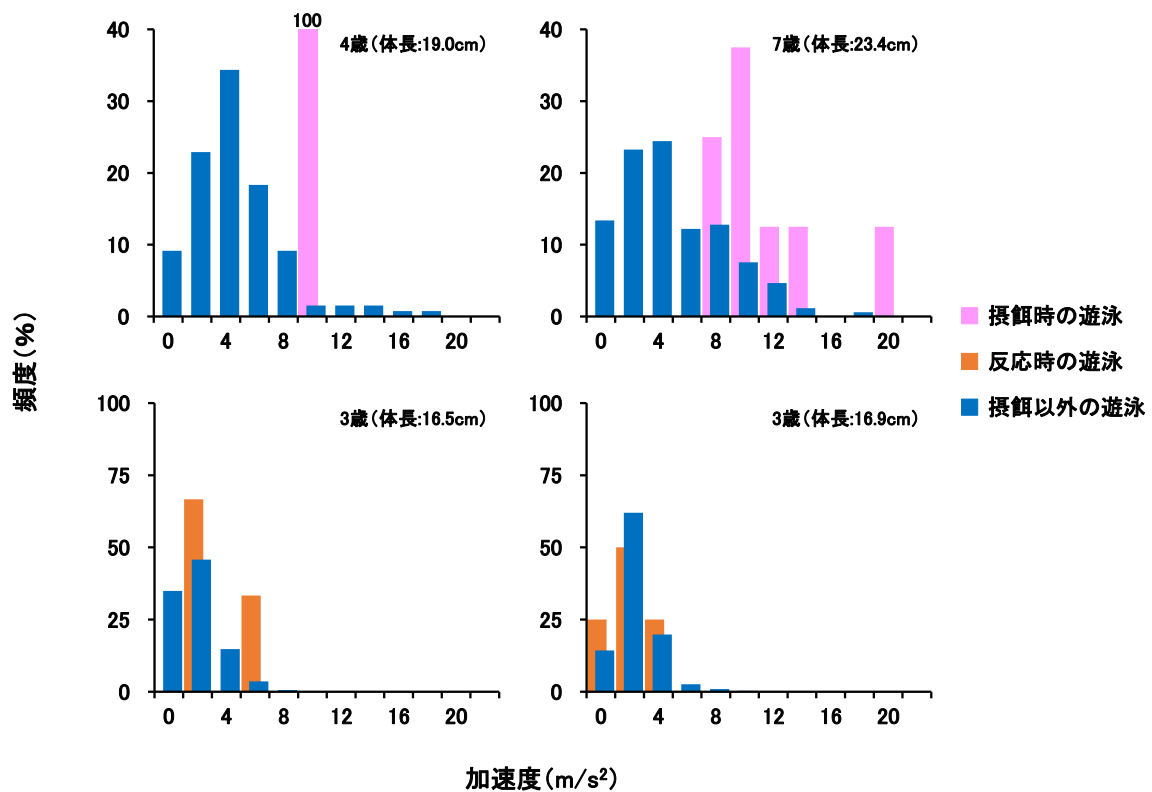


図 2.2-1 水槽実験におけるウスメバルの遊泳加速度



写真 2.2-1 水槽実験後の胃内容物

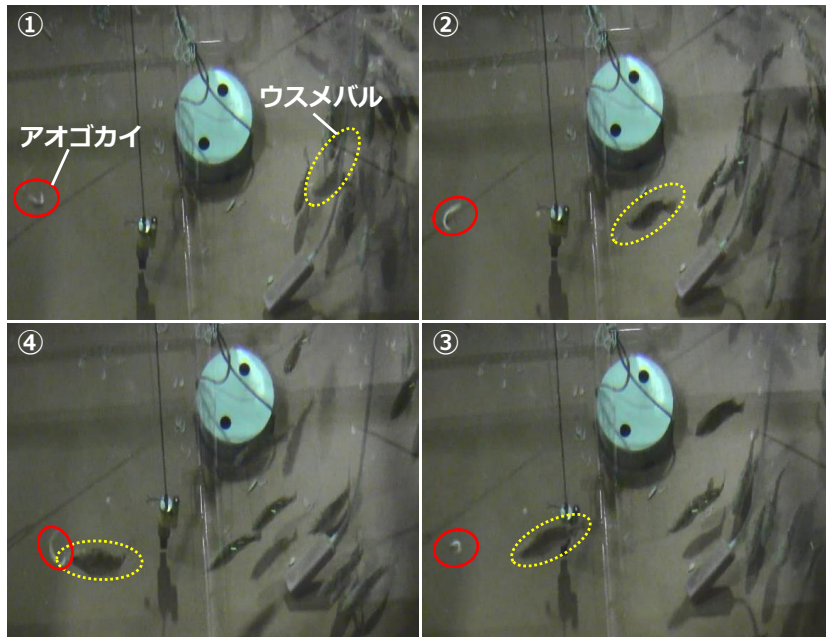


図 2.2-2 ウスメバル（4歳）の摂餌の状況

2.3 レンジテスト

受信機と発信機の距離と受信率（1分間当たりの受信回数/発信回数）の関係は、図 2.3-1 に示すとおりである。なお、レンジテストに使用した発信機の音圧は 139dB である。

水深 80m では、受信機と発信機の距離 150m では 83%であった受信率が、200m では 58%に低下した。350m では 8%となり、400m 以上離れると受信されなかった。

水深 30m では、受信機と発信機の距離 150m では約 80%であった受信率が、200m では 30%まで低下した。250m 以上離れると受信されなかった。

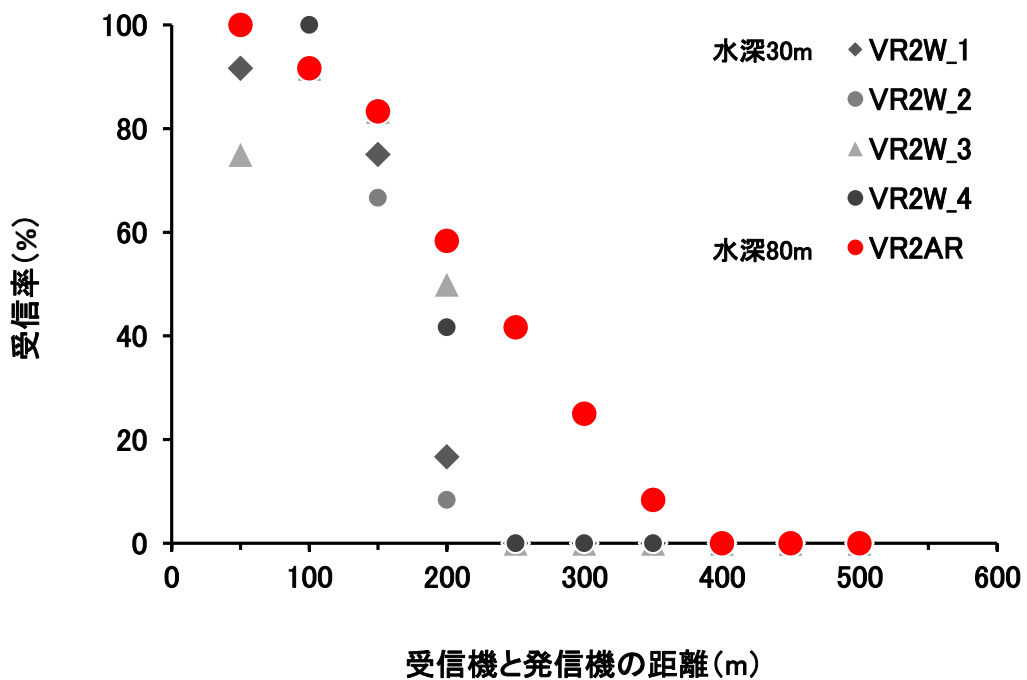


図 2.3-1 受信機と発信機の距離と受信率の関係

2.4 追跡型調査

1) 水深 85m の高層魚礁における放流

(1) Case A27-1

Case A27-1 におけるウスメバルの移動経路は図 2.4-1、移動距離の経時変化は図 2.4-2、遊泳水深の経時変化は図 2.4-3 に示すとおりである。

平成 27 年 6 月 19 日 18 時 5 分に高層魚礁近く、水深 73m で放流した後、ウスメバルは、日の入り（19 時 15 分）前まで、放流した高層魚礁付近の上方、水深 30m に定位した。その後、ウスメバルは、19 時から 19 時 30 分まで、水深 40m を東方向に 800m 程度移動した後、21 時 30 分まで鉛直方向に 10~20m の潜行、浮上を繰り返しながら西に向かい、放流地点から東に 200m の地点まで移動した。20 日 0 時まで南方向に約 1,500m 移動した後、3 時 15 分まで、水平方向にはほとんど移動せず、水深 10~50m の範囲で潜行、浮上を繰り返した。漁業者によると、ウスメバルが滞留した海域は、海面のブイの配置等から底建網が設置されている海域であった。その後、北東方向に移動し、3 時 45 分から追跡終了となる 5 時まで水深 50m で再び滞留した。滞留した海域は、底建網の設置海域であった。なお、21 日の 15 時には、同地点で放流したウスメバルを確認することはできなかった。

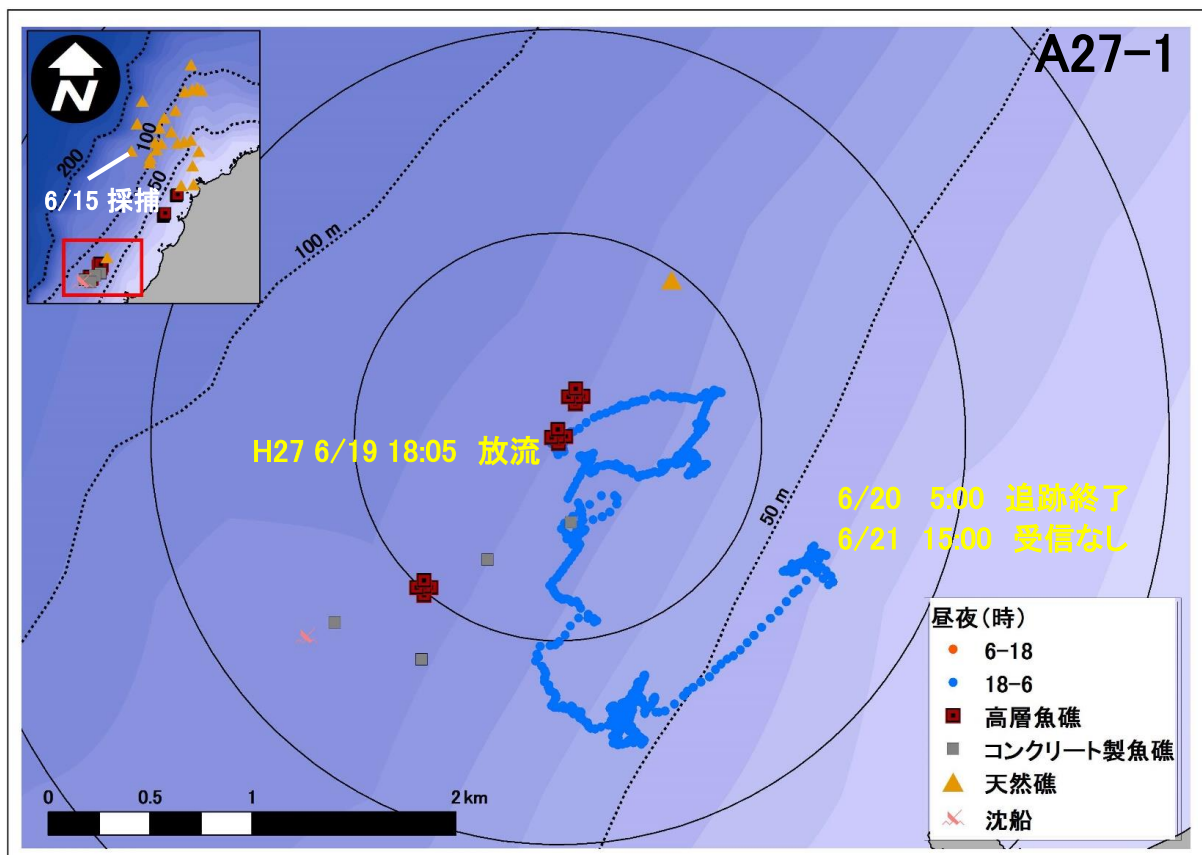


図 2.4-1 ウスメバルの移動経路 (Case A27-1)

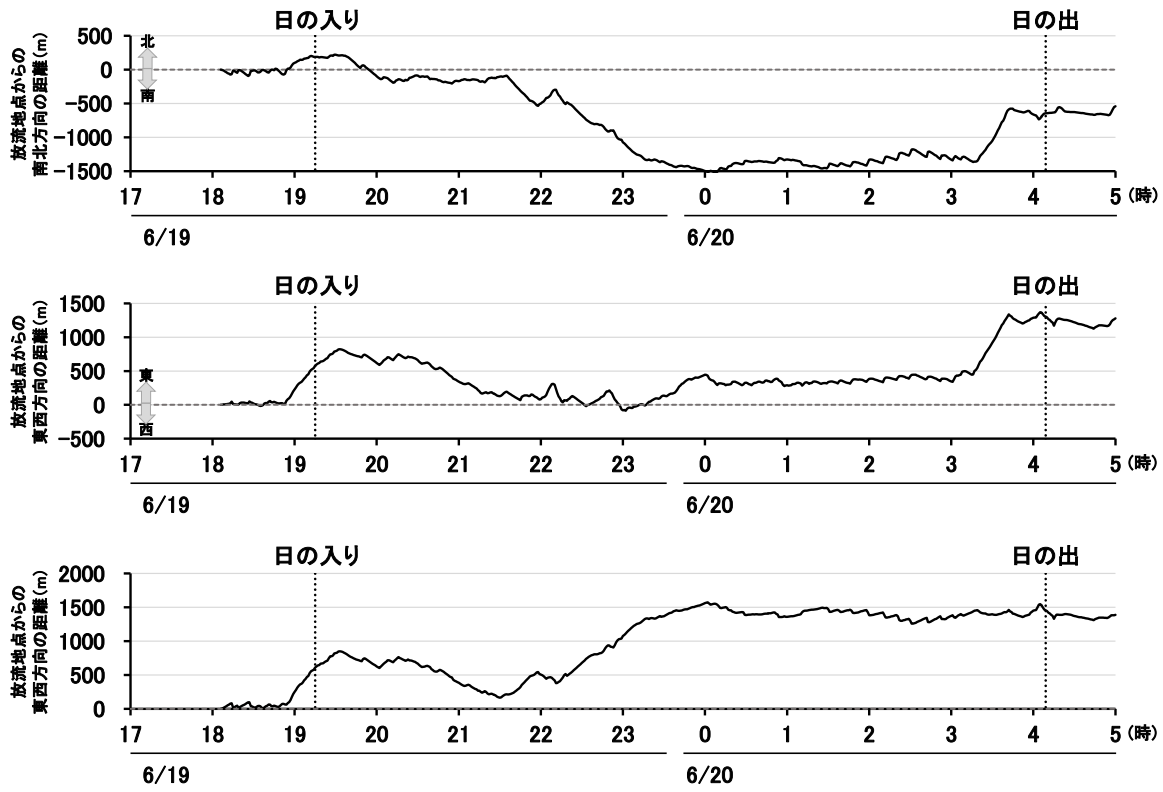


図 2.4-2 ウスメバルの移動距離の経時変化 (Case A27-1)

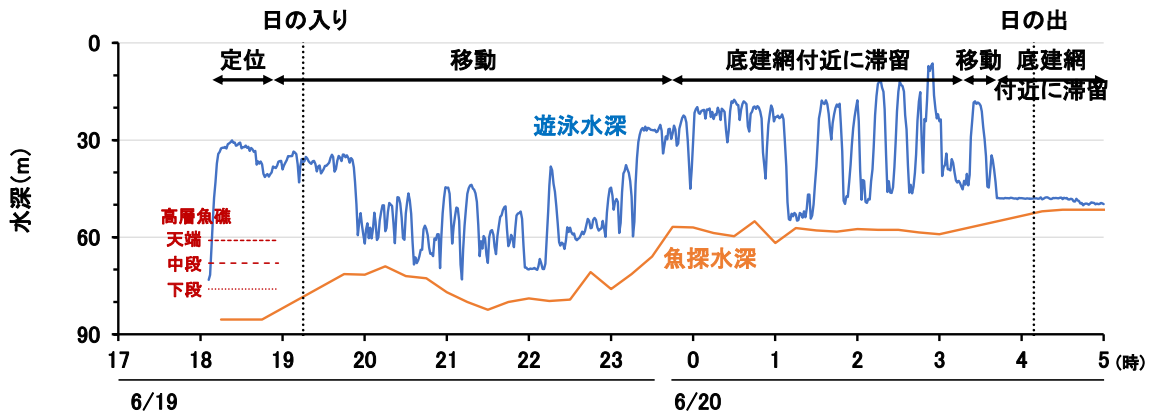


図 2.4-3 ウスメバルの遊泳水深の経時変化 (Case A27-1)

(2) Case A27-2

Case A27-2 におけるウスメバルの移動経路は図 2.4-4、移動距離の経時変化は図 2.4-5、遊泳水深の経時変化は図 2.4-6 に示すとおりである。

平成 27 年 6 月 22 日 15 時 40 分に高層魚礁近く、水深 72m で放流した後、ウスメバルは、日の入り（19 時 15 分）まで、高層魚礁の天端の影（水深 63m）に定位した。日の入り後、一旦海底近く（水深 78m）まで潜って、水深 62m まで浮上した後、再度海底付近まで潜り、19 時 30 分頃から南東方向に移動を開始した。移動中、ウスメバルは海底上方を遊泳し、20 時 30 分頃には、放流地点から 750m 離れた水深 62m の海域に達し、追跡終了となる 23 日の 7 時まで滞留した。滞留した海域は、ダウンスキャン、魚探画像および漁業者の経験から、底建網（網の高さ 7.2m）が設置されている海域であった。その後の遊泳水深は、約 55m で底建網の上面付近に定位した。24 日の 15 時には、同地点で放流したウスメバルを確認することはできなかった。

25 日には、新深浦町漁協（麴木支所）の組合員が設置していた底建網で Case A27-2 のウスメバルが再捕された（写真 2.4-1、写真 2.4-2）。漁獲場所は、放流地点から北東方向に 5km 離れた水深約 50m の海域であった（図 2.4-7）。

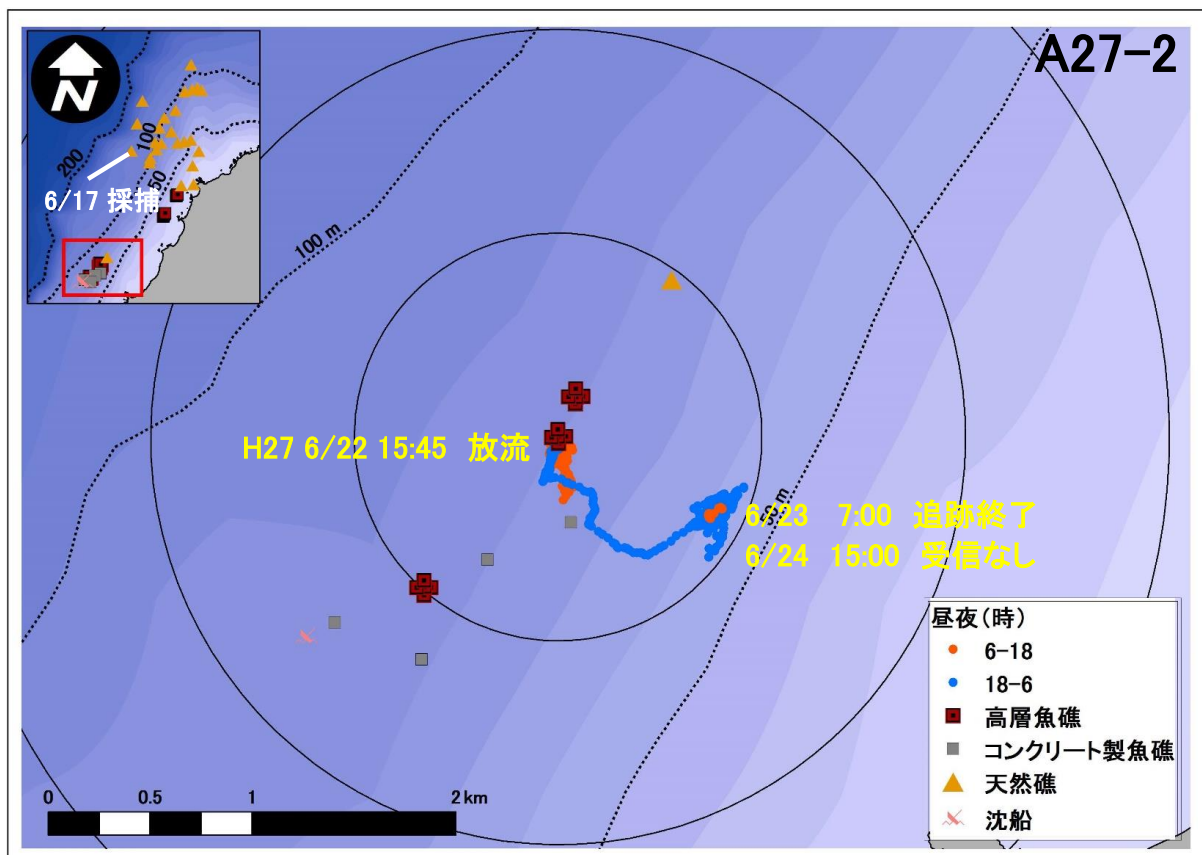


図 2.4-4 ウスメバルの移動経路 (Case A27-2)

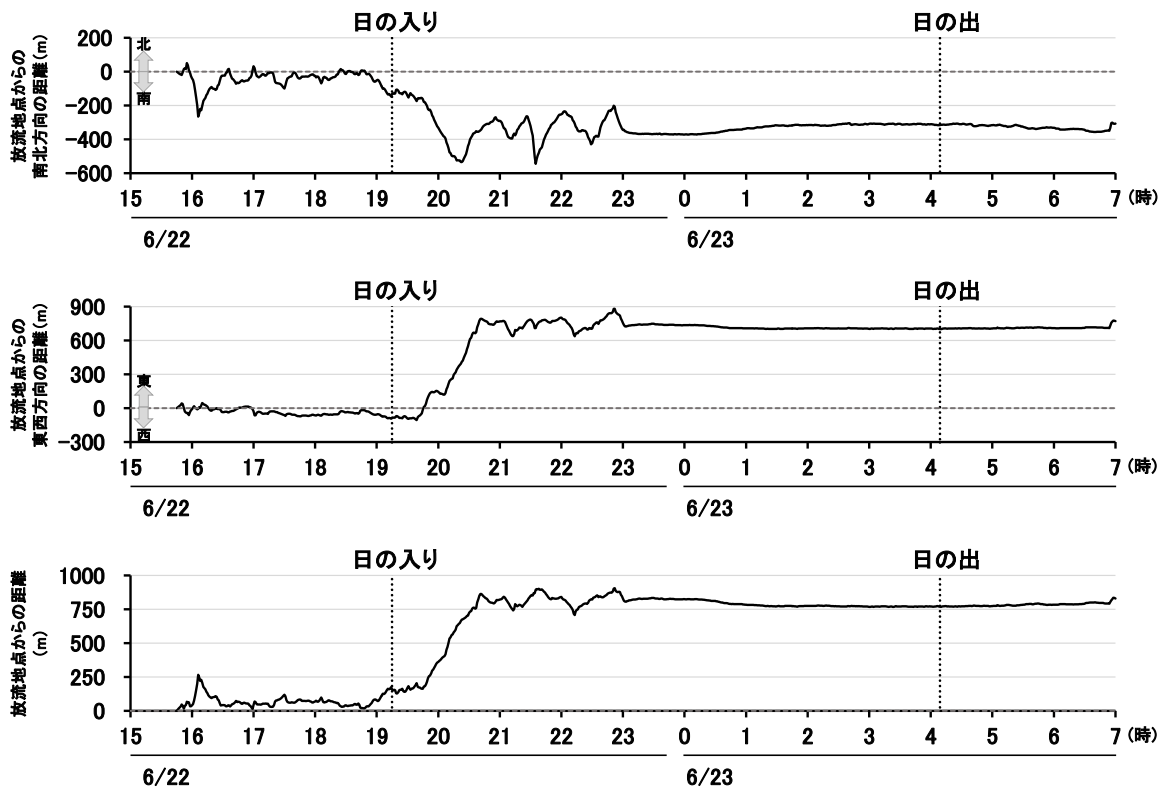


図 2.4-5 ウスメバルの移動距離の経時変化 (Case A27-2)

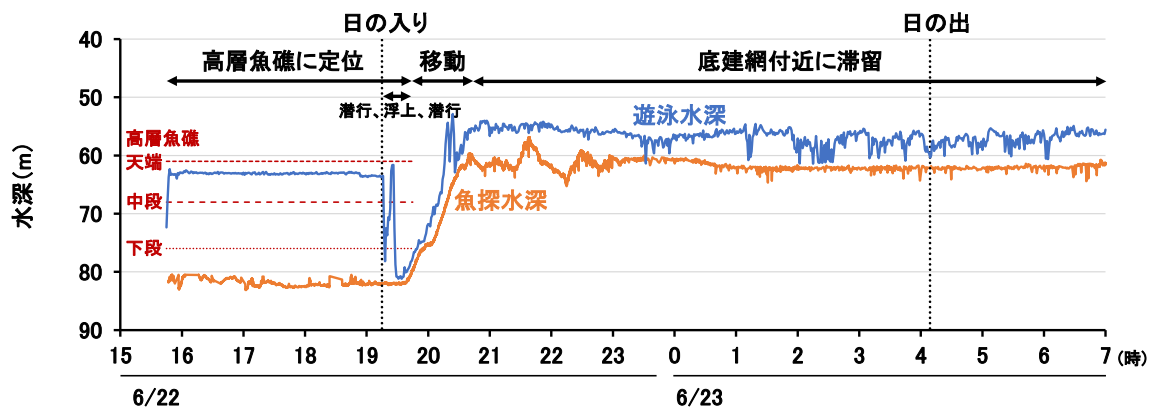


図 2.4-6 ウスメバルの遊泳水深の経時変化 (Case A27-2)

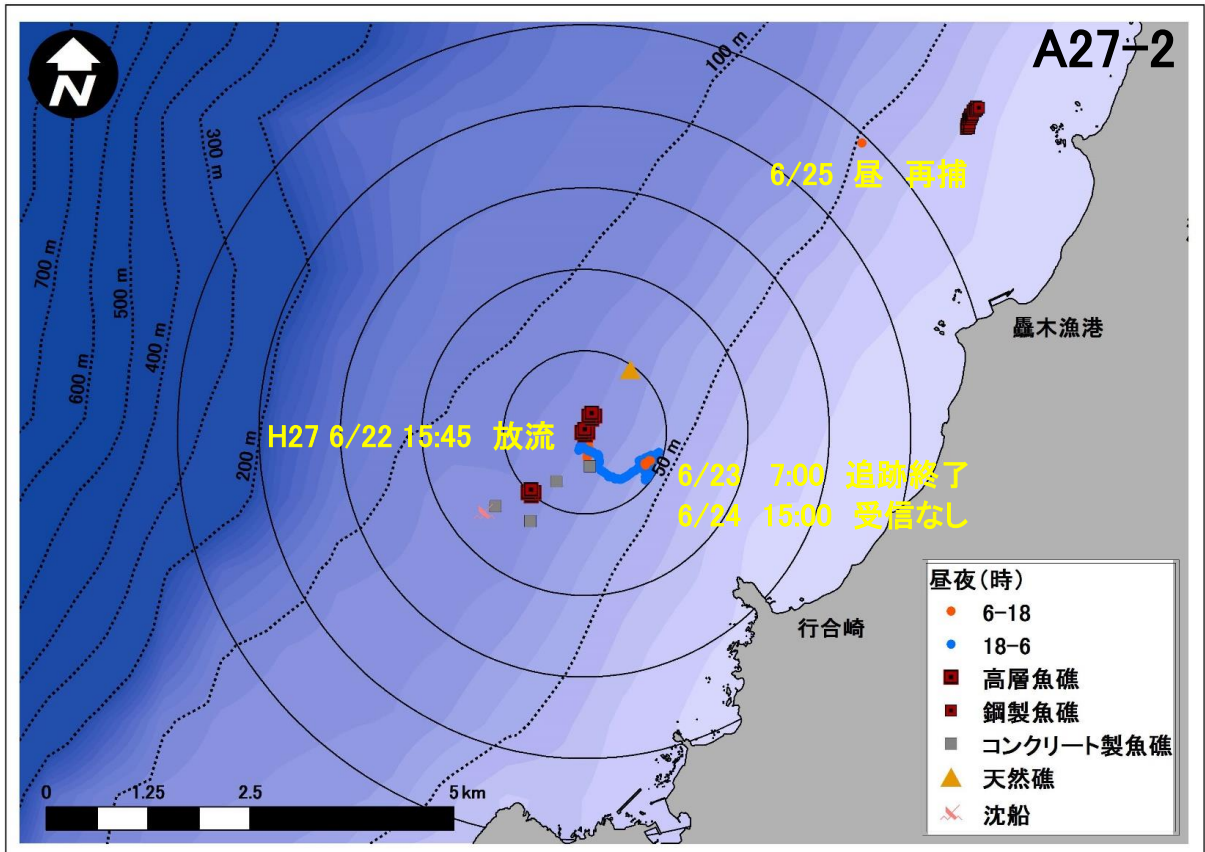


図 2.4-7 ウスメバルの再捕 (Case A27-2)



写真 2.4-1 再捕されたウスメバル



写真 2.4-2 再捕個体内の発信機

(3) Case A27-3

Case A27-3 におけるウスメバルの移動経路は図 2.4-8、移動距離の経時変化は図 2.4-9、遊泳水深の経時変化は図 2.4-10 に示すとおりである。

平成 27 年 6 月 24 日 16 時 25 分に高層魚礁近く、水深 71m で放流した後、ウスメバルは、21 時 50 分頃まで高層魚礁の天端の影 (水深 63m) および中段の影 (水深 70m) に定位した。その後、一度海底近く (水深 82m) まで潜り、水深 56m まで浮上した後、再度海底近傍まで潜り、22 時頃から北東方向に移動を開始した。移動中、ウスメバルは海底上方を遊泳し、0 時 30 分頃には、放流地点から約 1,500m 離れた水深 75m の海域に達した。滞留した海域は、ダウンスキャンおよび魚探画像 (図 2.4-11) から、天然礁であった。この行合崎沖天然礁は、東西に 500~600m、南北に 400m の範囲に広がり、周辺の水深は約 70~80m であるのに対し、浅いところでは水深 58m となっていた。ウスメバルは、25 日の日の出 (4 時 10 分) までの間、概ね水深 60~67m を遊泳し、日の出後から追跡終了となる 7 時までの間は、水深 75m を遊泳した。25 日 12 時においても、行合崎沖天然礁の水深 74m でウスメバルを確認することができた。

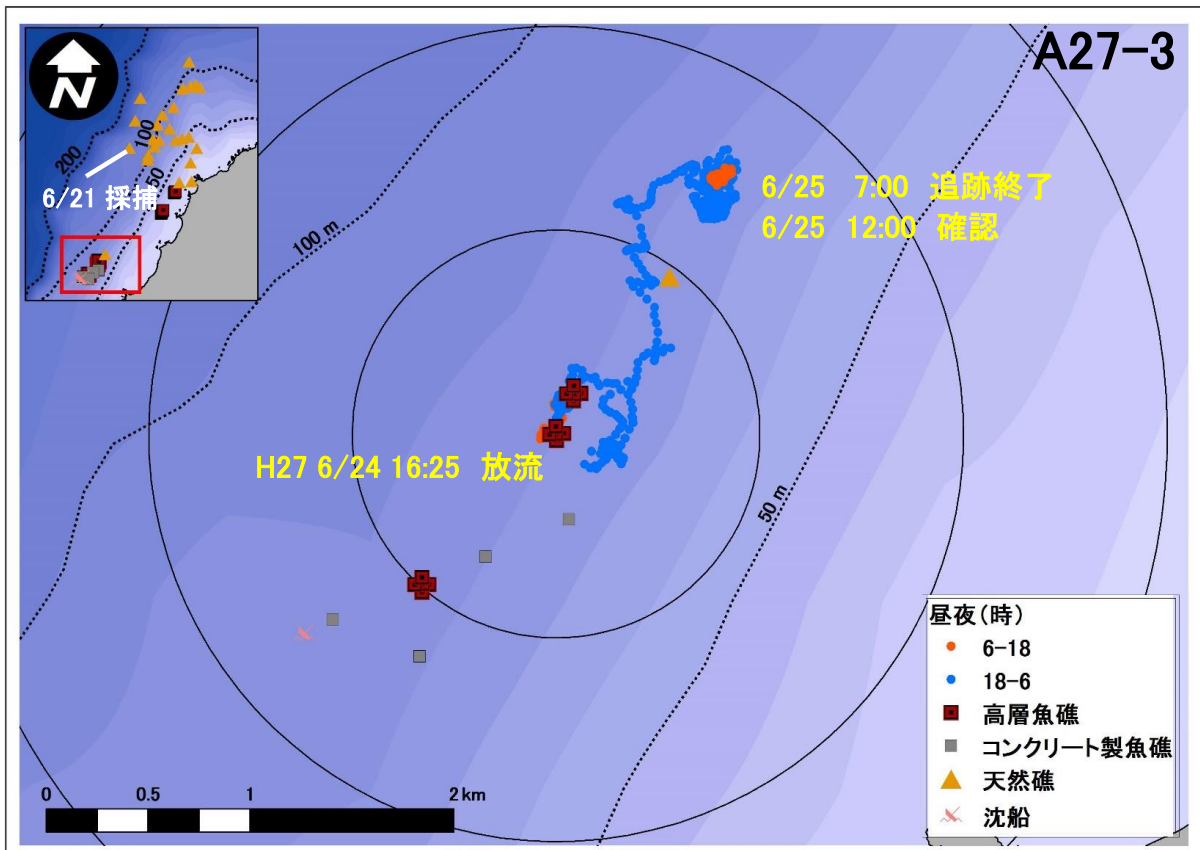


図 2.4-8 ウスメバルの移動経路 (Case A27-3)

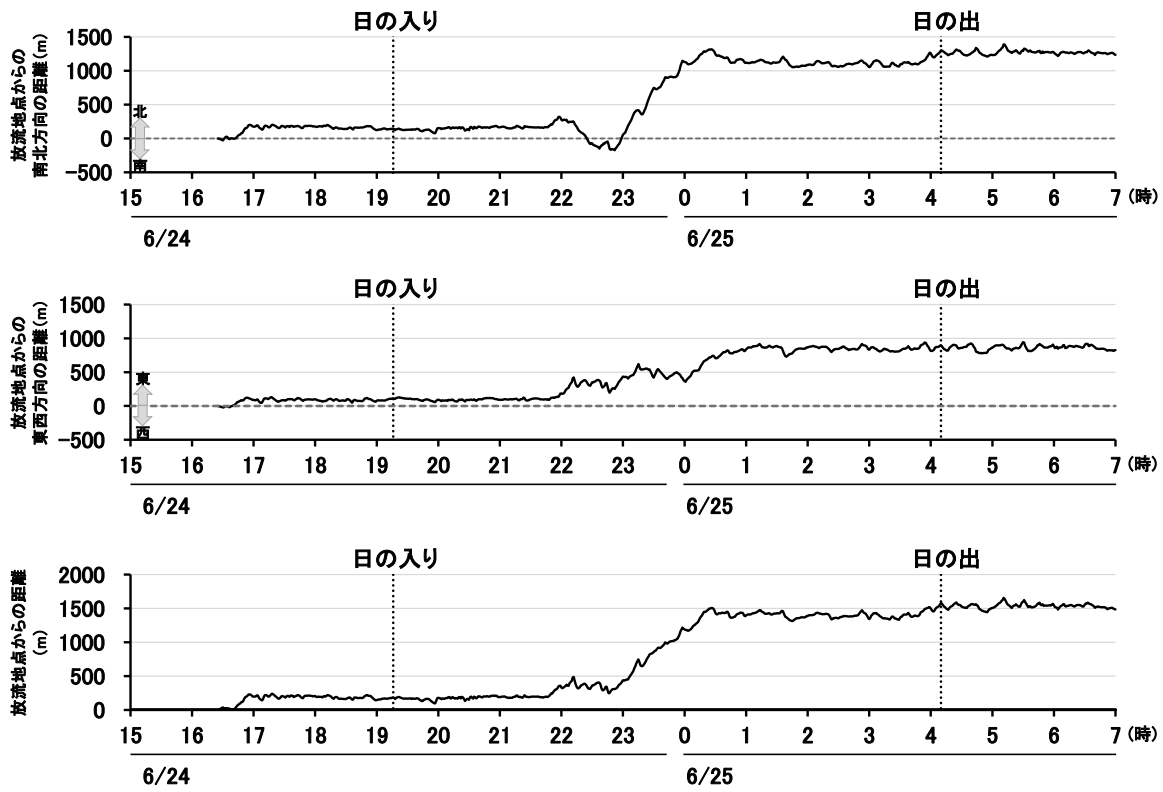


図 2.4-9 ウスメバルの移動距離の経時変化 (Case A27-3)

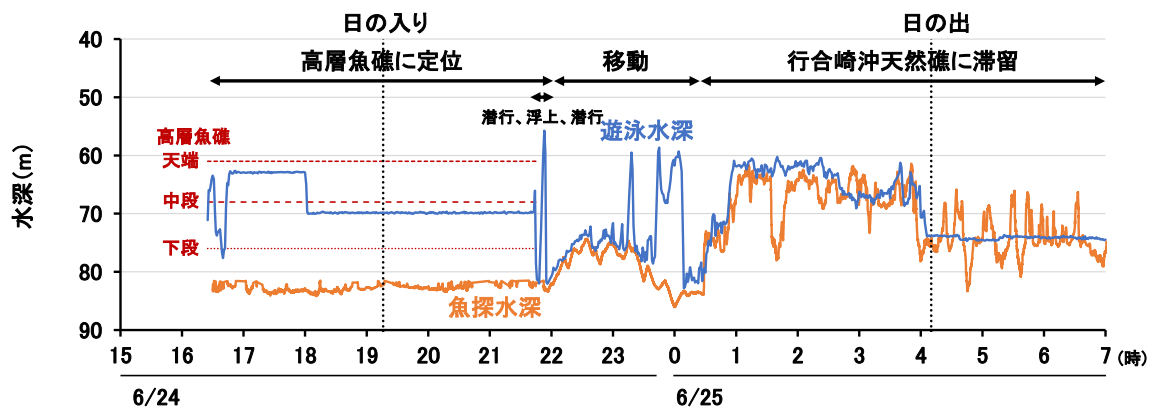


図 2.4-10 ウスメバルの遊泳水深の経時変化 (Case A27-3)

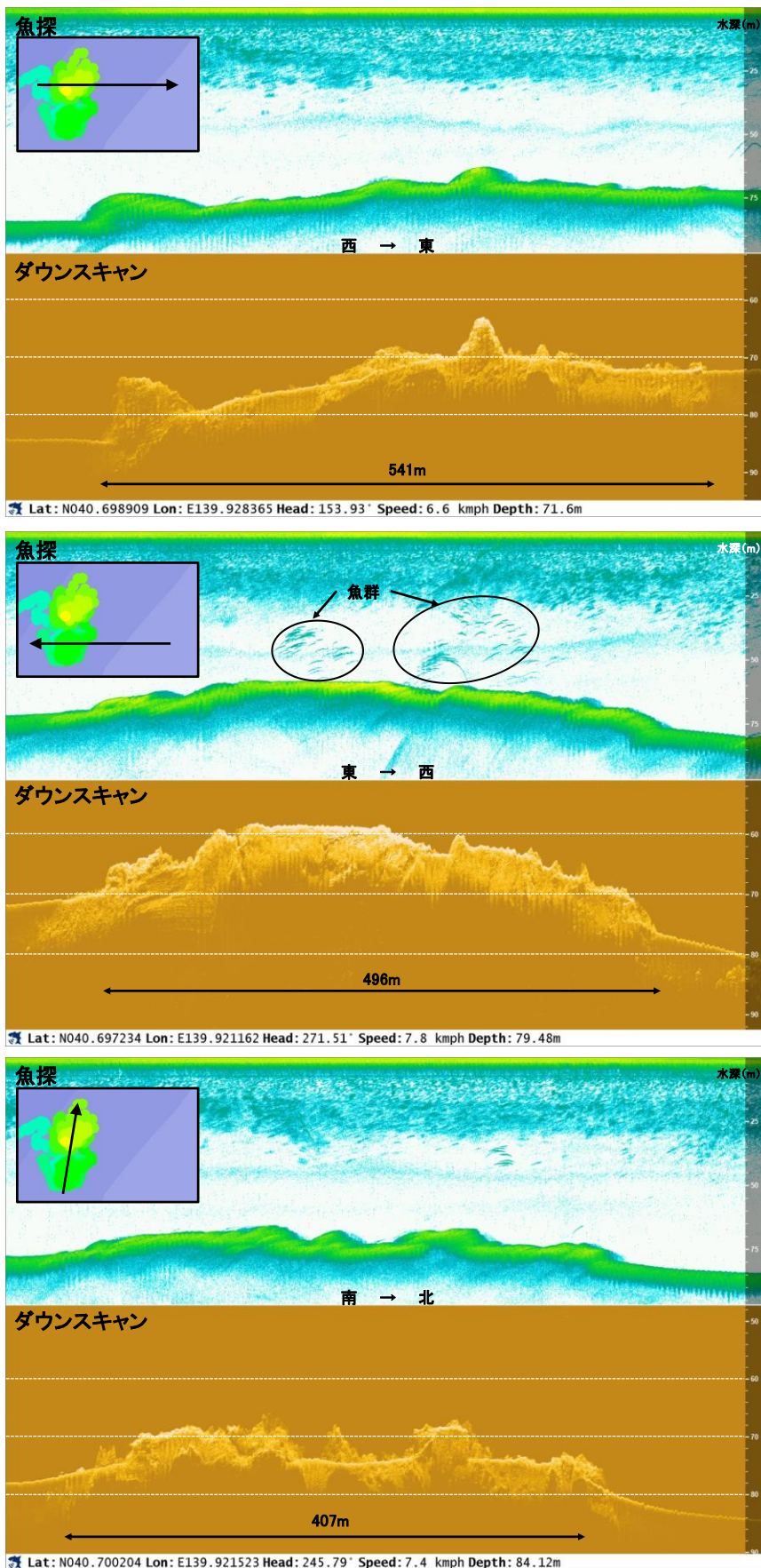


図 2.4-11 行合崎沖天然礁の魚探およびダウンスキャン画像 (Case A27-3)

(4) Case A28-1

Case A28-1 におけるウスメバルの移動経路は図 2.4-12、移動距離の経時変化は図 2.4-13、遊泳水深の経時変化は図 2.4-14 に示すとおりである。

平成 28 年 5 月 29 日 11 時 30 分に高層魚礁近く、水深 65m で放流した後、ウスメバルは、日の入り（19 時 00 分）まで高層魚礁の天端と中段の間に定位した。日の入り後、海底付近まで潜り、19 時 40 分頃から北東方向に移動を開始した。移動中、ウスメバルは海底上方を遊泳し、21 時 30 分頃には放流地点から 1km 離れた水深 80m の海域に達し、追跡終了となる 30 日の 9 時まで滞留した。滞留した海域は、Case A27-3 においてもウスメバル 5 歳魚が滞留した行合崎沖天然礁であった。

また、5 月 30 日 15 時 00 分、31 日 6 時 30 分、6 月 3 日 10 時 00 分においても同天然礁でウスメバル追跡個体を確認することができた。さらに、設置型受信機により、6 月 3 日から 18 日まで同海域で追跡個体の信号を受信した。

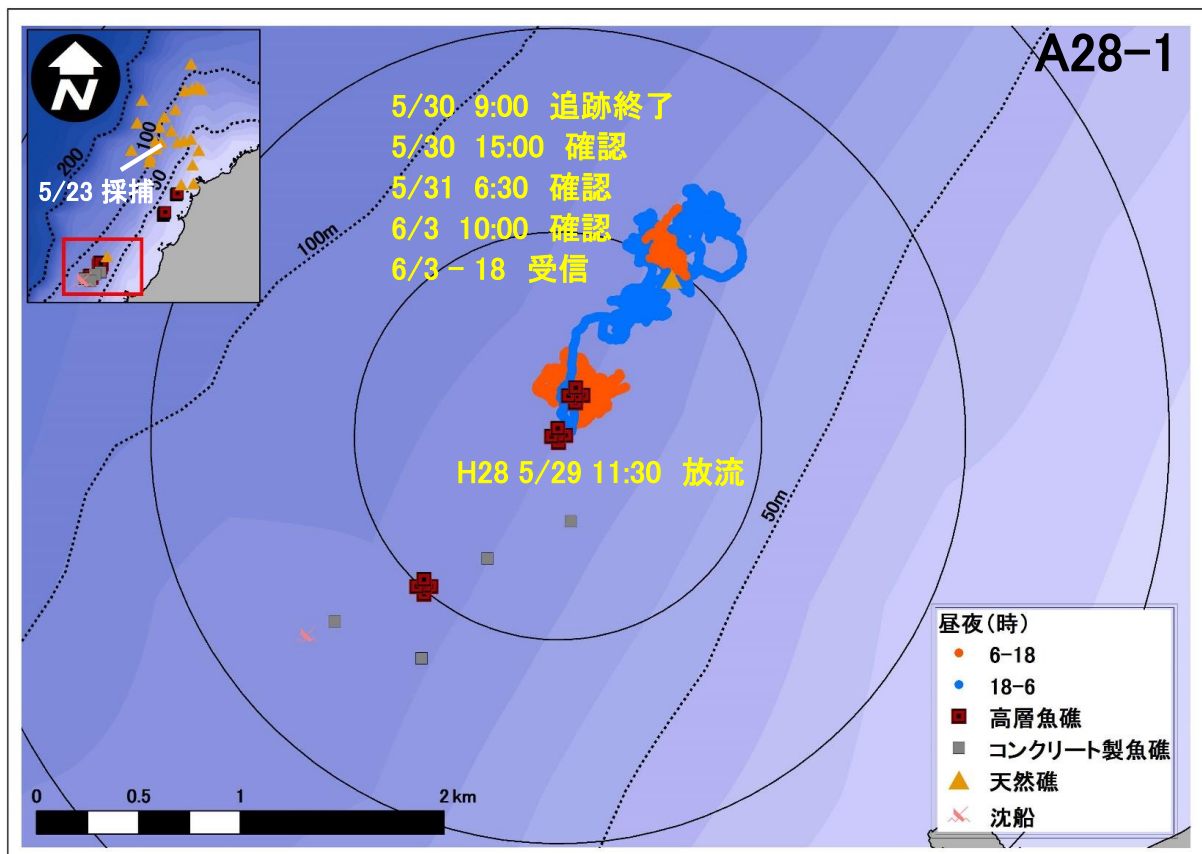


図 2.4-12 ウスメバルの移動経路 (Case A28-1)

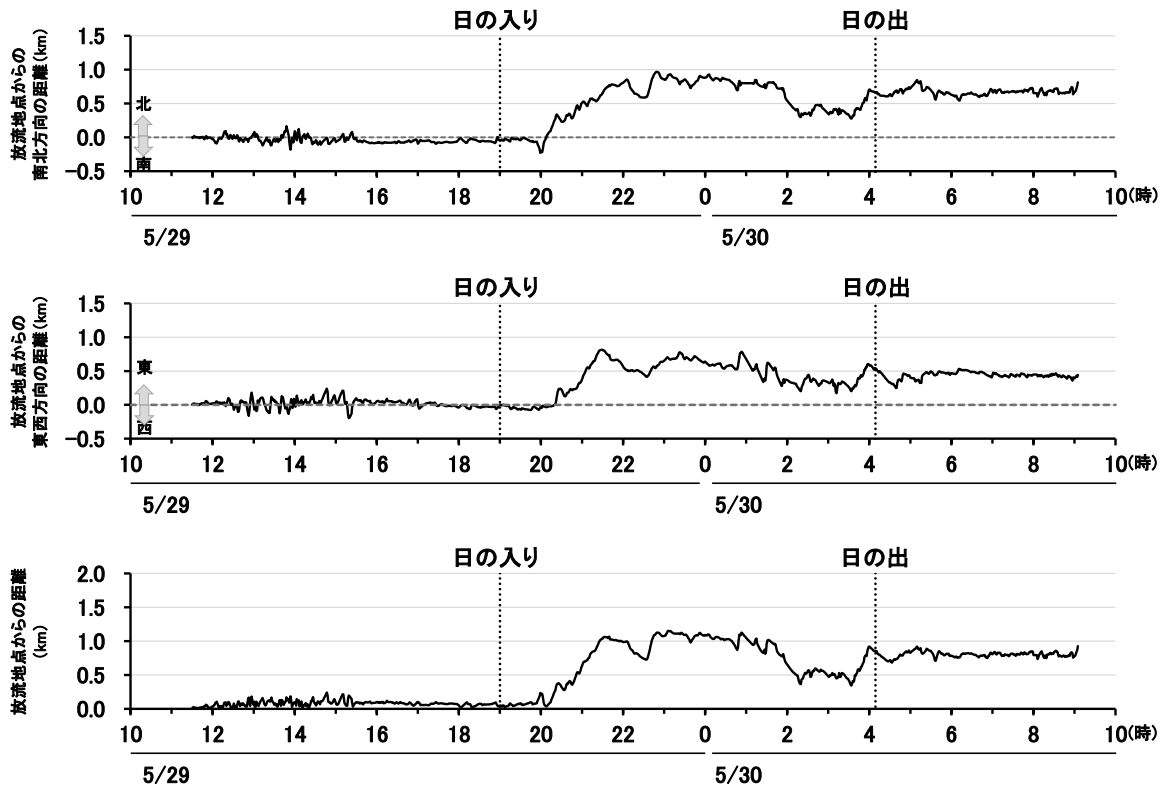


図 2.4-13 ウスメバルの移動距離の経時変化 (Case A28-1)

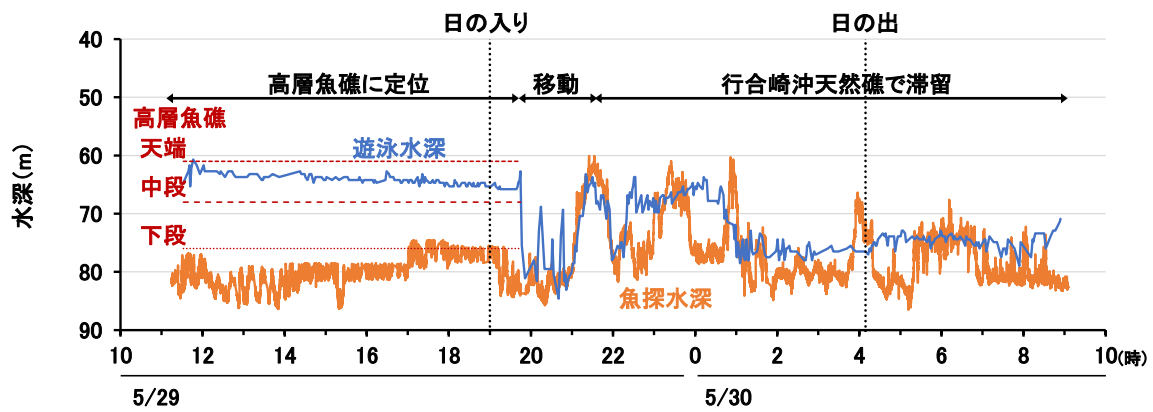


図 2.4-14 ウスメバルの遊泳水深の経時変化 (Case A28-1)

(5) Case A28-2

Case A28-2 におけるウスメバルの移動経路は図 2.4-15、移動距離の経時変化は図 2.4-16、遊泳水深の経時変化は図 2.4-17 に示すとおりである。

28年6月6日16時00分に高層魚礁近く、水深70mで放流したウスメバルは、18時40分まで高層魚礁の下段部に滞留した。その後、北北東に移動を開始し、19時頃に放流地点から1km離れた行合崎沖の天然礁に到達し、19時20分まで同海域に留まり、再び北北東に1km移動したところで受信が途絶えた。7日17時までウスメバルを捜索するも高層魚礁や行合崎沖天然礁で確認することはできなかった。

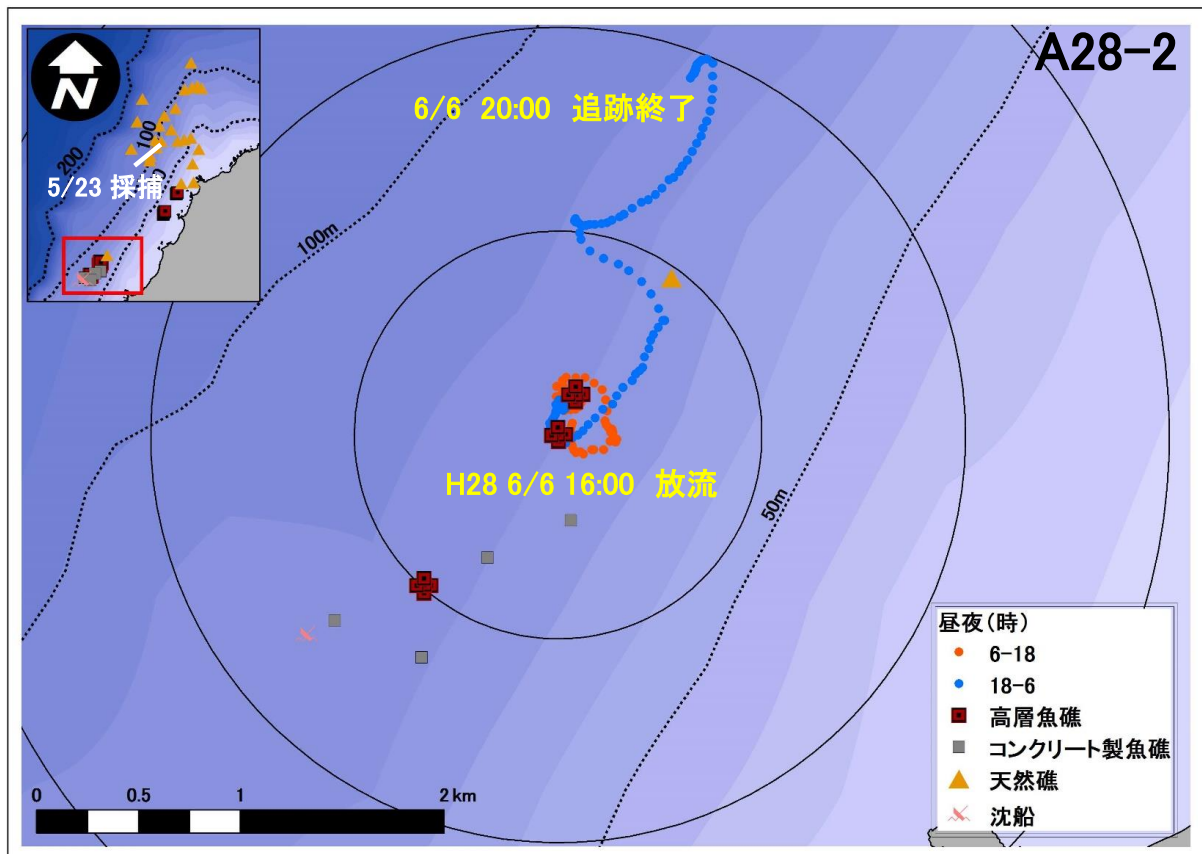


図 2.4-15 ウスメバルの移動経路 (Case A28-2)

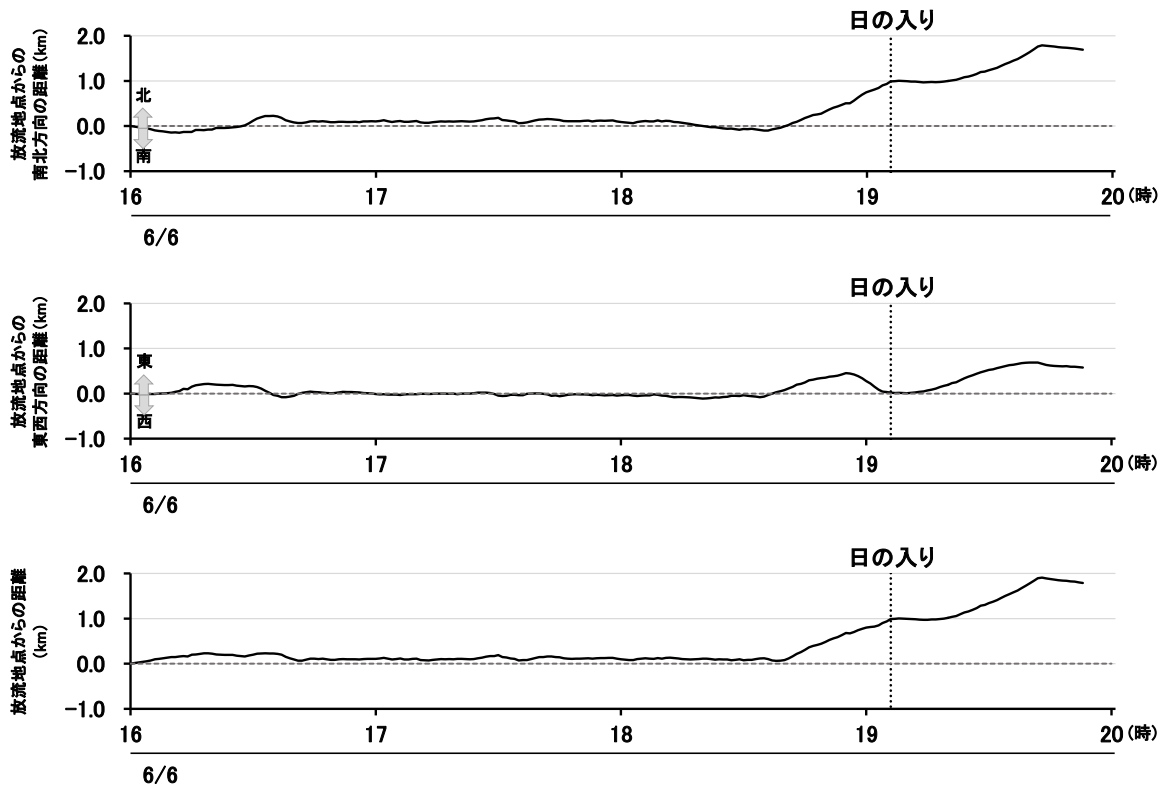


図 2.4-16 ウスメバルの移動距離の経時変化 (Case A28-2)

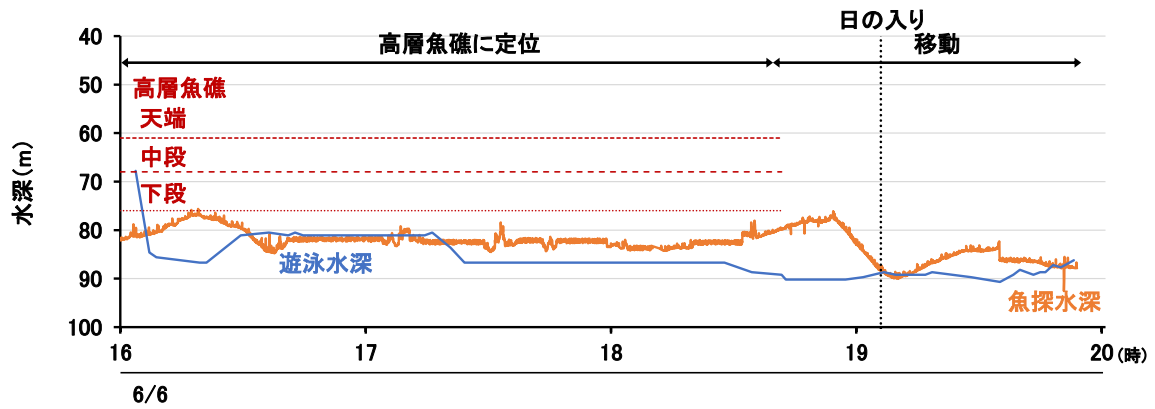


図 2.4-17 ウスメバルの遊泳水深の経時変化 (Case A28-2)

(6) Case A28-3

Case A28-3 におけるウスメバルの移動経路は図 2.4-18、移動距離の経時変化は図 2.4-19、遊泳水深の経時変化は図 2.4-20 に示すとおりである。

28年6月11日10時40分に高層魚礁近く、水深65mで放流した後、ウスメバルは、日の入り(19時10分)まで、高層魚礁の下段から中段の間を遊泳した。日の入り後、19時40分頃から移動を開始し、21時に0.5km南に離れた水深80mの海域に達し、追跡終了となる13日の7時まで滞留した。滞留した海域は、コンクリート製魚礁区であった。

また、14日11時30分、15日11時30分、28日11時15分においても同コンクリート製魚礁でウスメバル追跡個体を確認することができた。さらに、設置型受信機により、6月15日から7月2日まで同海域で追跡個体の信号を受信した。

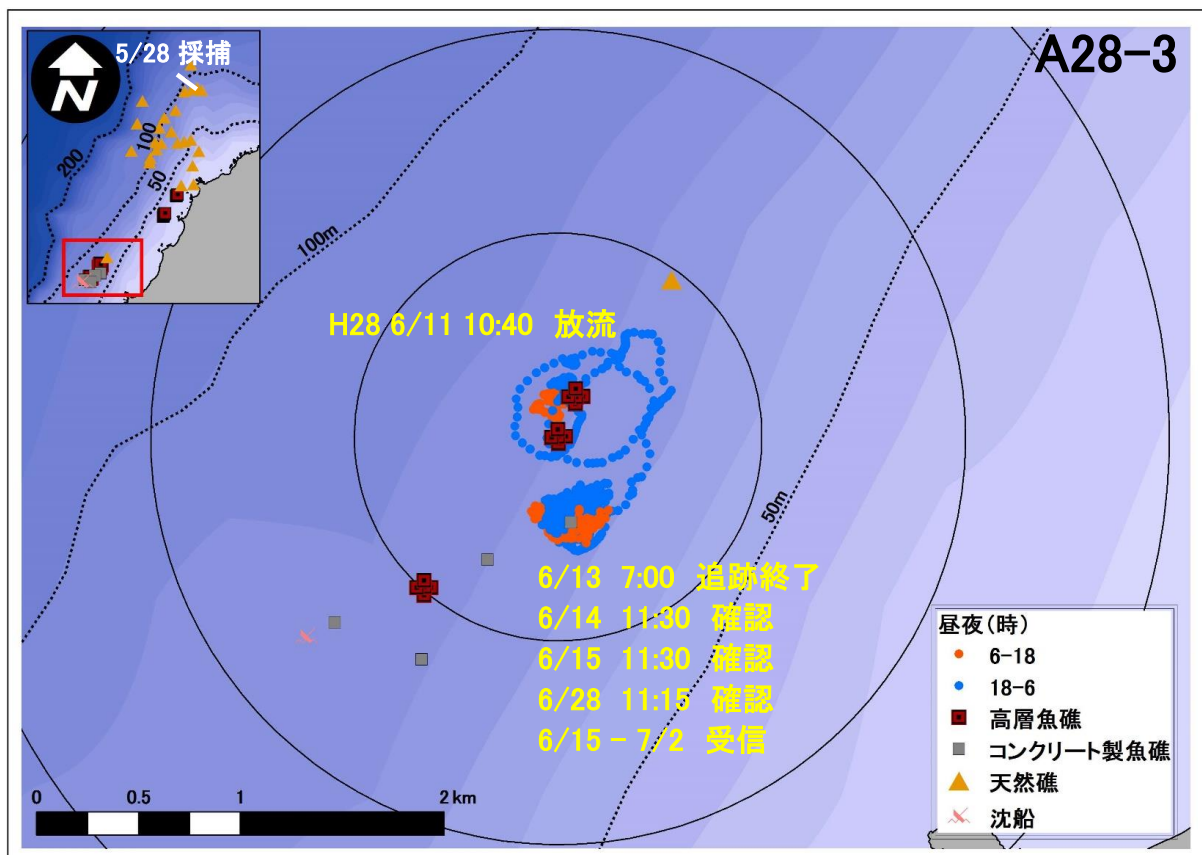


図 2.4-18 ウスメバルの移動経路 (Case A28-3)

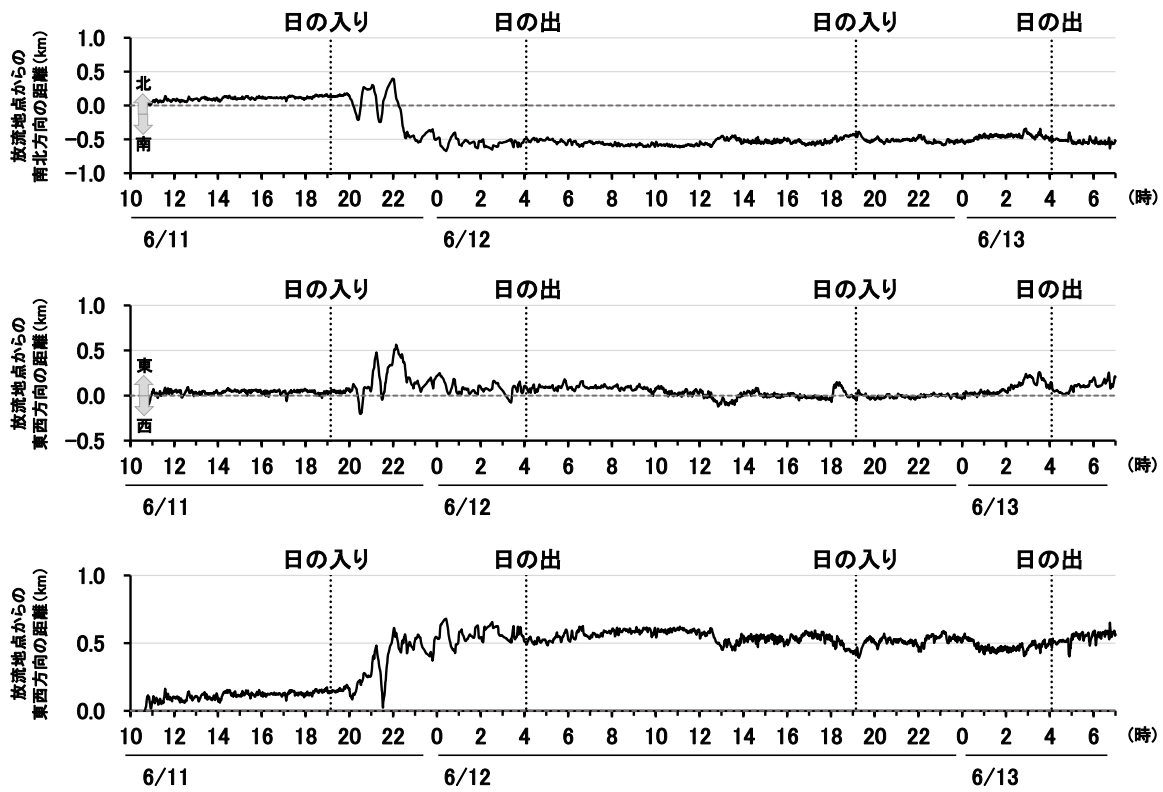


図 2.4-19 ウスメバルの移動距離の経時変化 (Case A28-3)

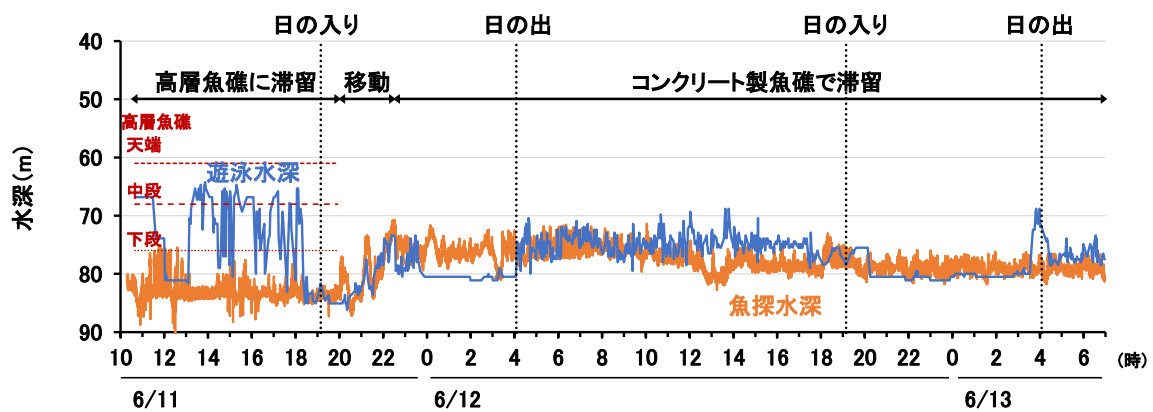


図 2.4-20 ウスメバルの遊泳水深の経時変化 (Case A28-3)

2) 水深 30m の鋼製魚礁における放流

(1) Case A28-4

Case A28-4 におけるウスメバルの移動経路は図 2.4-21、移動距離の経時変化は図 2.4-22、遊泳水深の経時変化は図 2.4-23 に示すとおりである。

平成 28 年 6 月 15 日 15 時 00 分に鋼製魚礁近く、水深 25m で放流した後、ウスメバルは、日の入り (19 時 10 分) まで、鋼製魚礁の下段に定位した。20 時 20 分頃から移動を開始し、水深 40m 程度になるまで北北西に、その後、北から北北東に移動し、16 日 1 時に放流地点から 7km 北に離れた水深 95m の海域に達し、16 日の日の入りまで滞留した。その後、20 時 30 分頃から南西に 1.5km 移動し、追跡終了となる 17 日の 7 時まで滞留した。16 日まで滞留した海域は、風合瀬沖天然礁 8 であり、その後滞留したのは供試魚の採捕地点である風合瀬沖天然礁 13 であった。

また、22 日 9 時 00 分、29 日 9 時 00 分、30 日 11 時 00 分においても風合瀬沖天然礁 13 でウスメバル追跡個体を確認することができた。

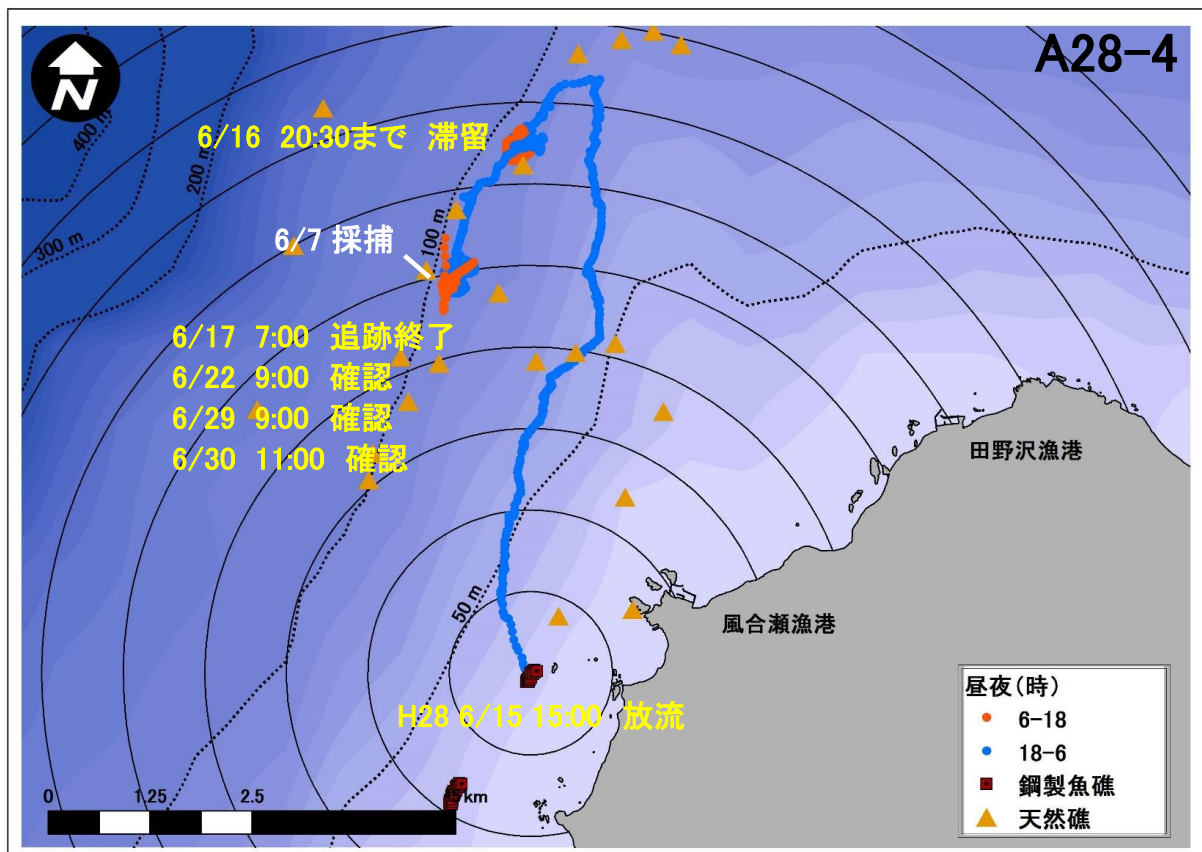


図 2.4-21 ウスメバルの移動経路 (Case A28-4)

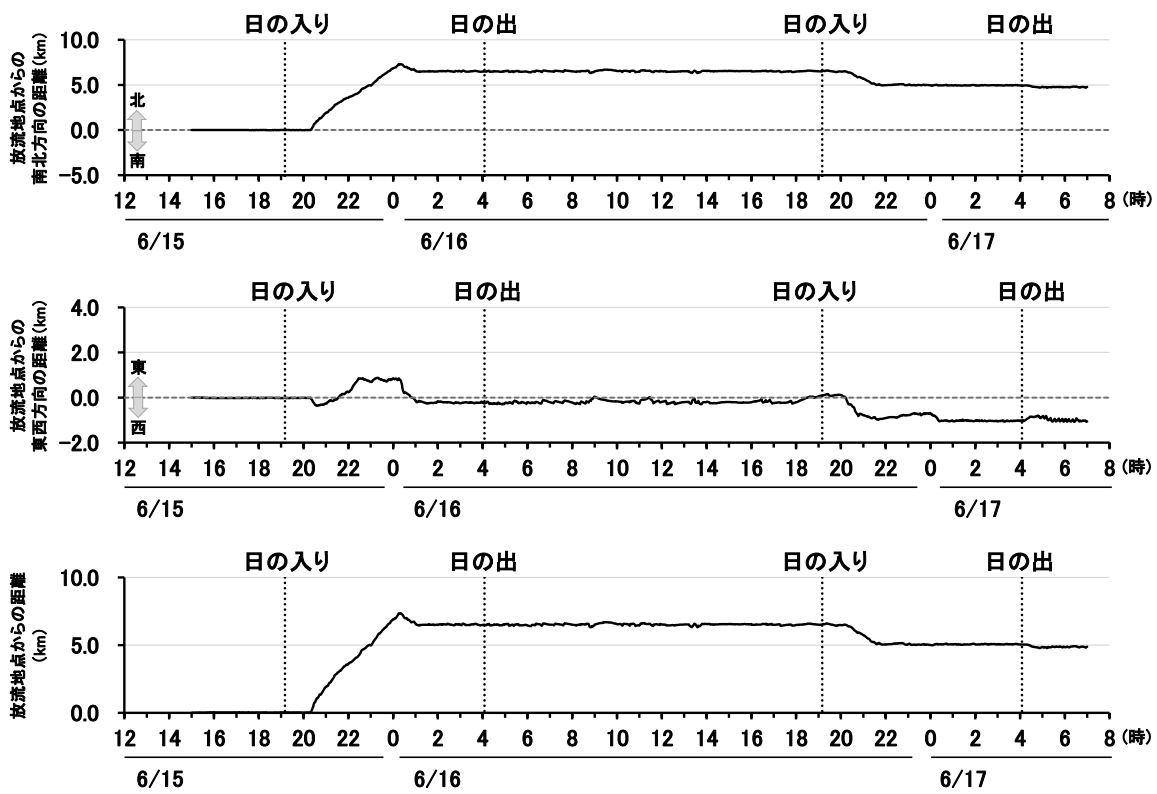


図 2.4-22 ウスメバルの移動距離の経時変化 (Case A28-4)

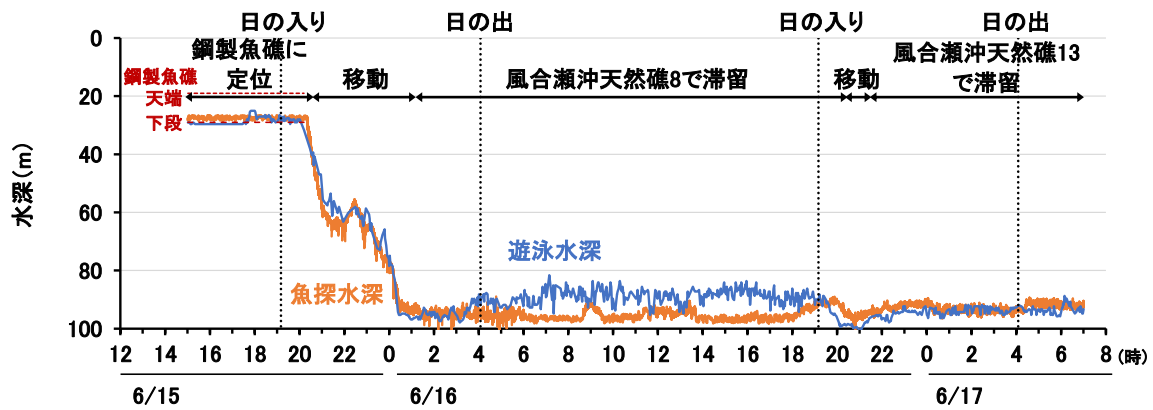


図 2.4-23 ウスメバルの遊泳水深の経時変化 (Case A28-4)

(2) Case A28-5

Case A28-5 におけるウスメバルの移動経路は図 2.4-24、移動距離の経時変化は図 2.4-25、遊泳水深の経時変化は図 2.4-26 に示すとおりである。

28年6月21日15時40分に鋼製魚礁近く、水深25mで放流した後、ウスメバルは、日の入り(19時10分)まで、鋼製魚礁の下段に定位した。19時30分頃から移動を開始し、水深100m程度になるまで北西に、その後、北北東に移動し、22日0時に放流地点から5km離れた水深100mの海域に達し、追跡終了となる23日の4時まで滞留した。滞留した海域は、Case A28-4と同様に風合瀬沖天然礁13であった。

また、24日9時30分、29日8時30分、30日11時00分においても風合瀬沖天然礁13でウスメバル追跡個体を確認することができた。

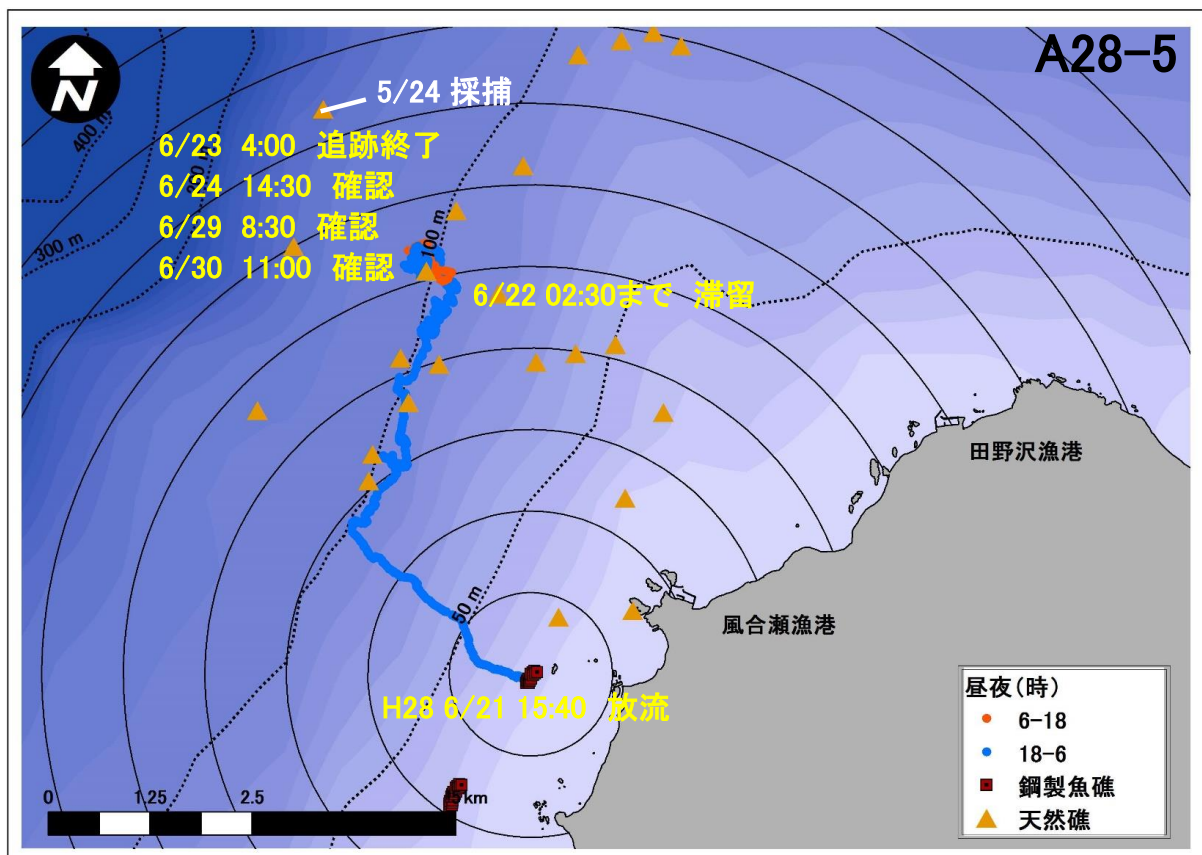


図 2.4-24 ウスメバルの移動経路 (Case A28-5)

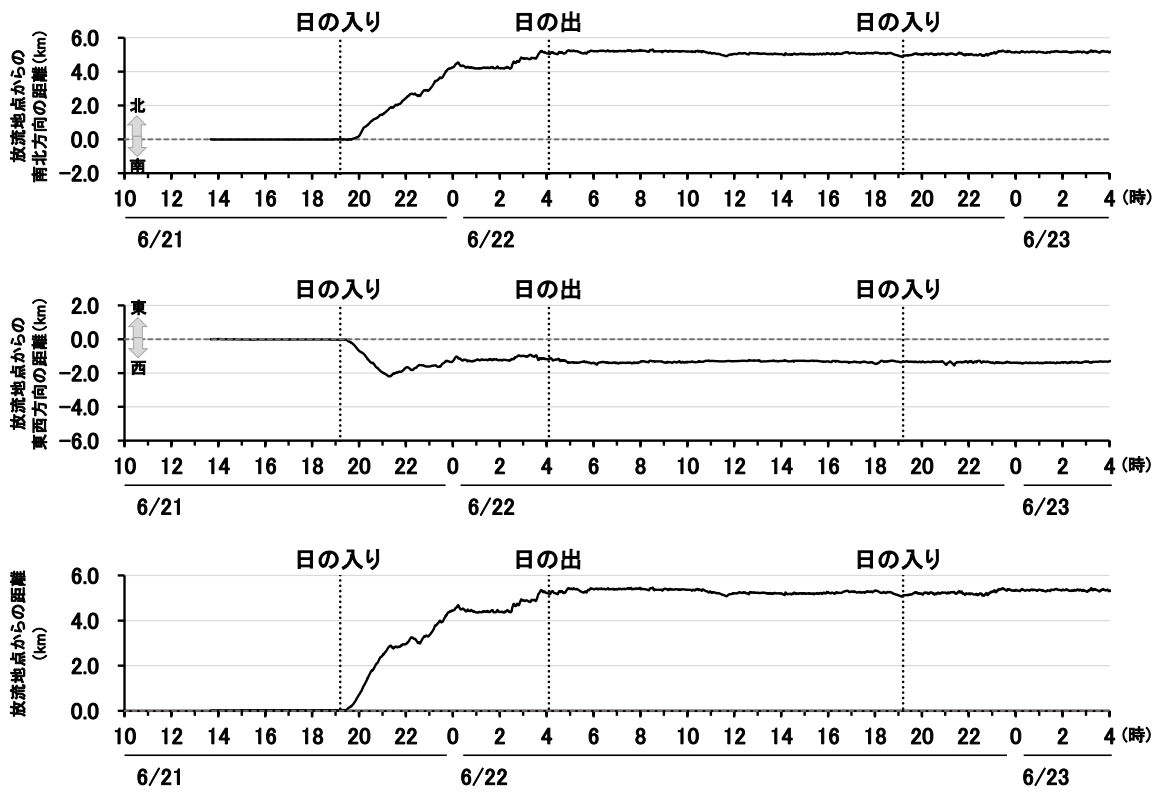


図 2.4-25 ウスメバルの移動距離の経時変化 (Case A28-5)

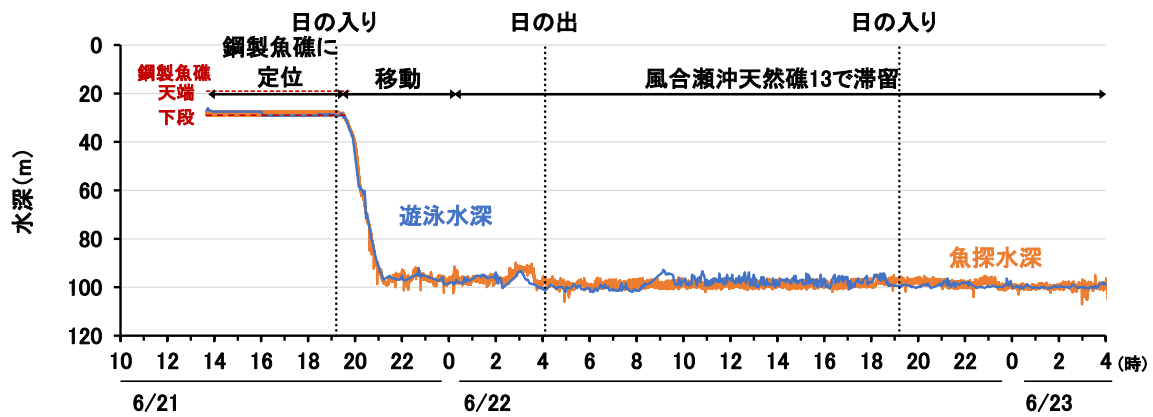


図 2.4-26 ウスメバルの遊泳水深の経時変化 (Case A28-5)

(3) Case A28-6

Case A28-6 におけるウスメバルの移動経路は図 2.4-27、移動距離の経時変化は図 2.4-28、遊泳水深の経時変化は図 2.4-29 に示すとおりである。

平成 28 年 6 月 28 日 12 時 40 分に鋼製魚礁近く、水深 25m で放流した後、ウスメバルは、日の入り (19 時 10 分) まで、鋼製魚礁の下段に定位した。19 時 40 分頃から移動を開始し、水深 70m 程度になるまで西に、その後、北に移動し、29 日 0 時 30 分に放流地点から 4km 離れた水深 100m の海域に達し、追跡終了となる 30 日の 6 時 30 分まで滞留した。滞留した海域は、風合瀬沖天然礁 11 であった。

また、設置型受信機により、6 月 30 日から 7 月 21 日まで同海域で追跡個体の信号を受信した。

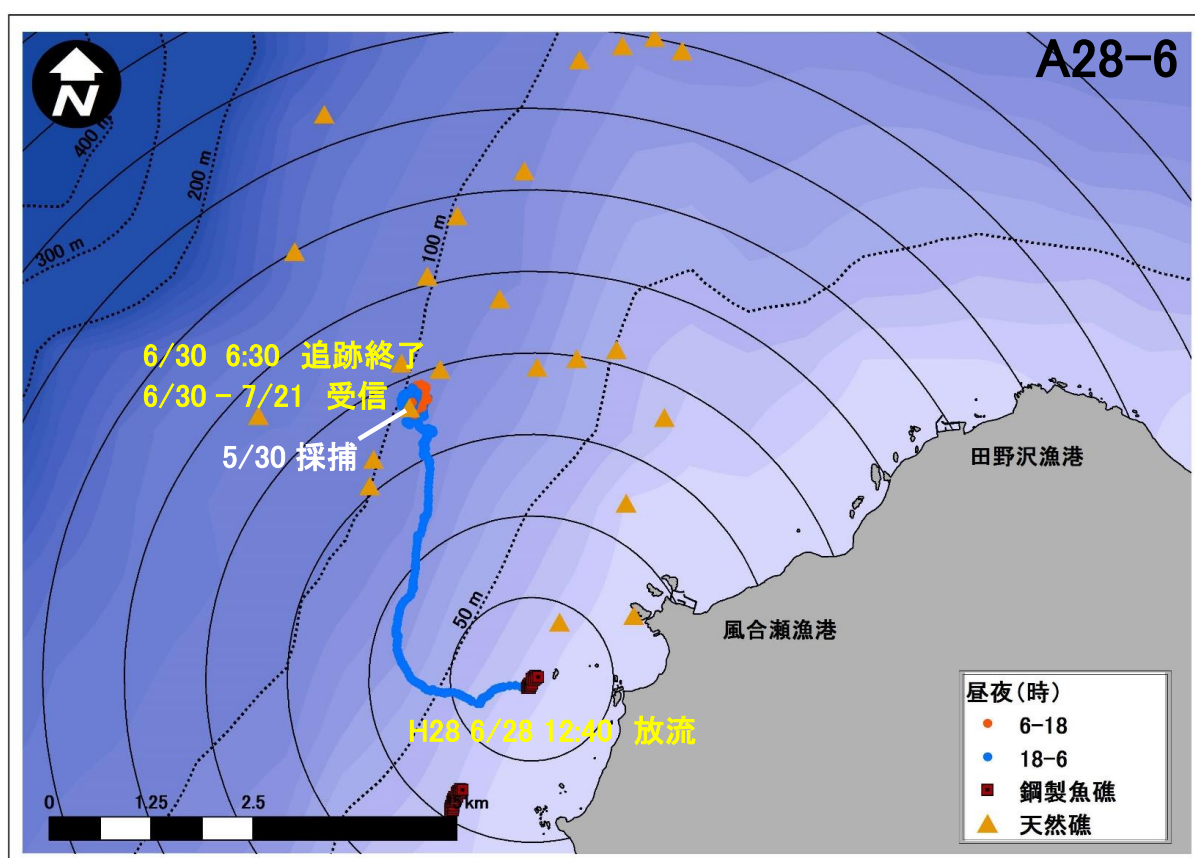


図 2.4-27 ウスメバルの移動経路 (Case A28-6)

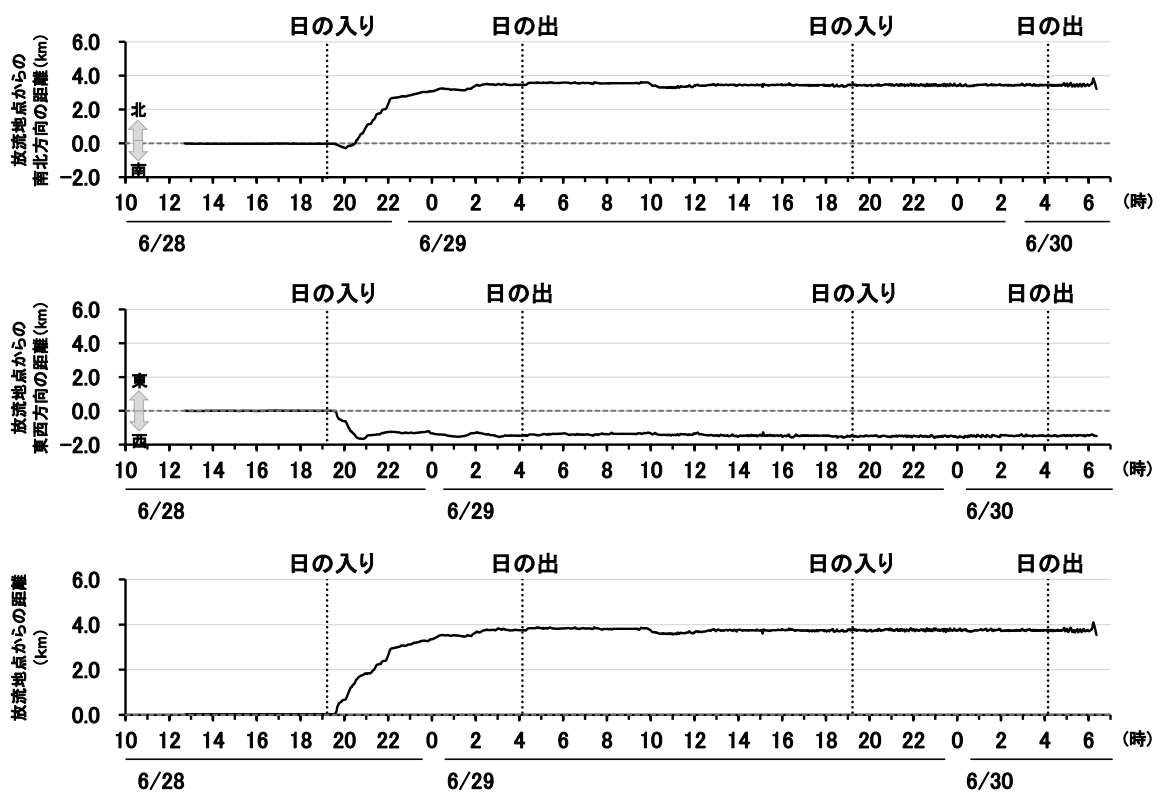


図 2.4-28 ウスメバルの移動距離の経時変化 (Case A28-6)

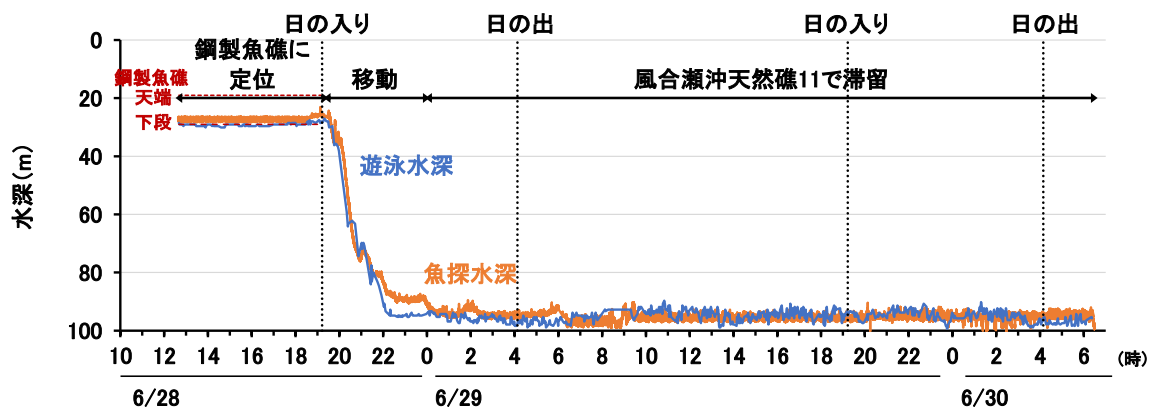


図 2.4-29 ウスメバルの遊泳水深の経時変化 (Case A28-6)

2.5 設置型調査

1) 滞留期間

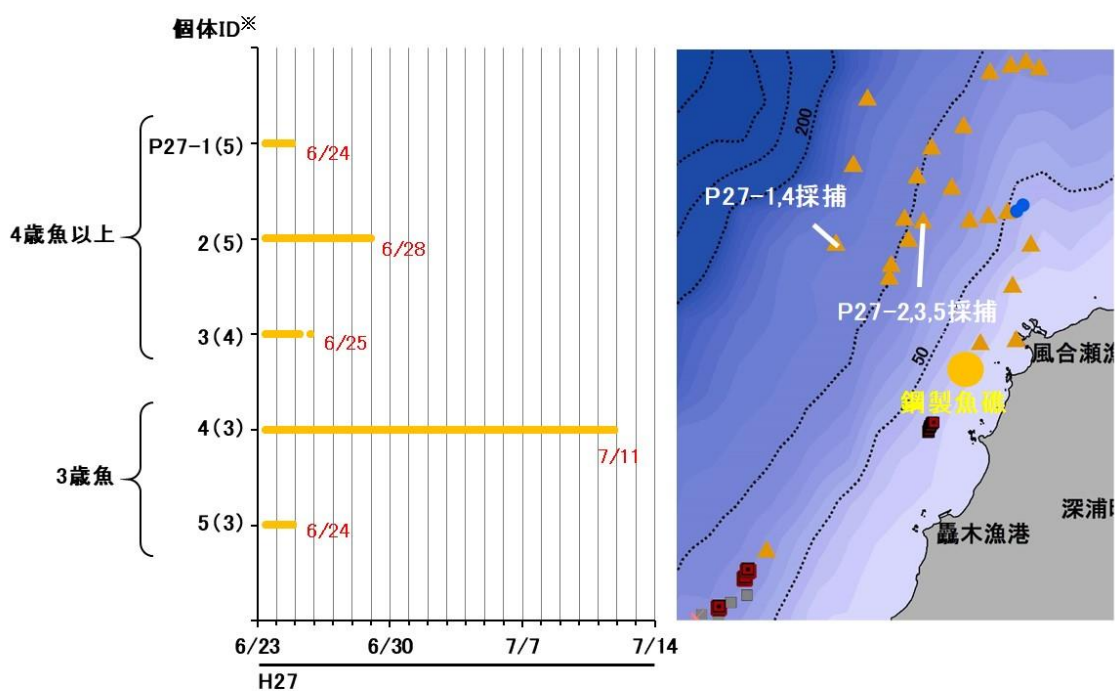
(1) 水深 30m の鋼製魚礁における放流（平成 27 年 6 月）

水深 30m の鋼製魚礁で平成 27 年 6 月 23 日に放流したウスメバル（P27-1～5）の設置型受信機による受信状況は、図 2.5-1 に示すとおりである。

4 歳以上のウスメバルでは、27 年 6 月 23 日に放流した後、6 月 24、25、28 日まで鋼製魚礁（水深 30m）で受信された後、鋼製魚礁では受信されなかった。

3 歳のウスメバルでは、1 個体が鋼製魚礁で 7 月 11 日まで受信され、4 歳魚以上に比べて水深 30m の鋼製魚礁に長く滞留した。

いずれの放流個体も受信が途絶えるのは、夜間（20 時から 0 時まで）であった。



※ ()内の数字は放流時における年齢を示す

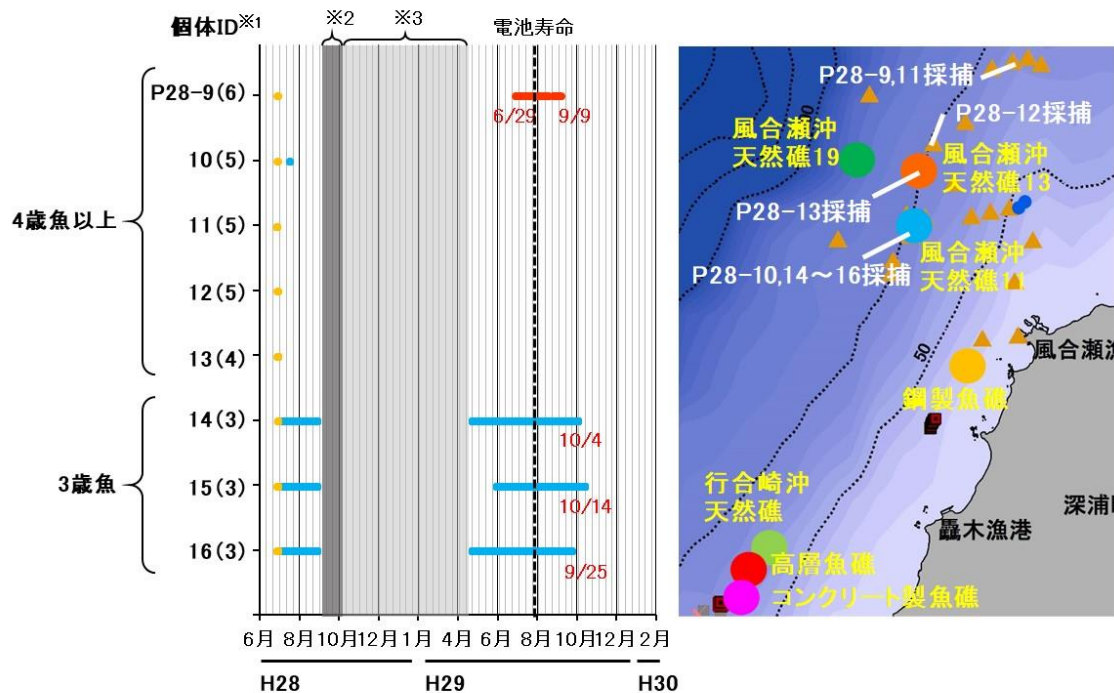
図 2.5-1 水深 30m の鋼製魚礁で放流したウスメバルの受信状況（Case P27-1～5）

(2) 水深 30m の鋼製魚礁における放流（平成 28 年 6 月）

水深 30m の鋼製魚礁で平成 28 年 6 月 28 日に放流したウスメバル（P28-9～16）の設置型受信機による受信状況は、図 2.5-2 に示すとおりである。

4 歳以上のウスメバルでは、いずれも放流した 28 年 6 月 28 日の 20 時まで鋼製魚礁（水深 30m）で受信した後、鋼製魚礁では受信されなかった。その後、1 個体が、風合瀬沖天然礁 13（水深 100m）において、29 年 6 月 29 日から 9 月 9 日まで受信され、滞留が示唆された。

3 歳のウスメバルでは、4 歳魚以上と同様に、いずれも放流した 28 年 6 月 28 日の 20 時以降、鋼製魚礁（水深 30m）では受信されなかった。その後、3 個体が、採捕海域である風合瀬沖天然礁 11（水深 98m）において、6 月 30 日頃から受信機を回収した 8 月 28 日まで受信された。また、風合瀬沖天然礁 11 に受信機を再設置した 29 年 4 月 24 日以降、10 月までの期間にも受信が確認され、同海域への滞留が示唆された。なお、10 月以降受信が途絶えたのは、電池寿命によるものと考えられる。



※1 ()内の数字は放流時における年齢を示す
 ※2 H28 年 8 月 28 日～10 月 12 日は受信機なし
 ※3 H28 年 10 月 13 日～H29 年 4 月 23 日は高層魚礁のみ

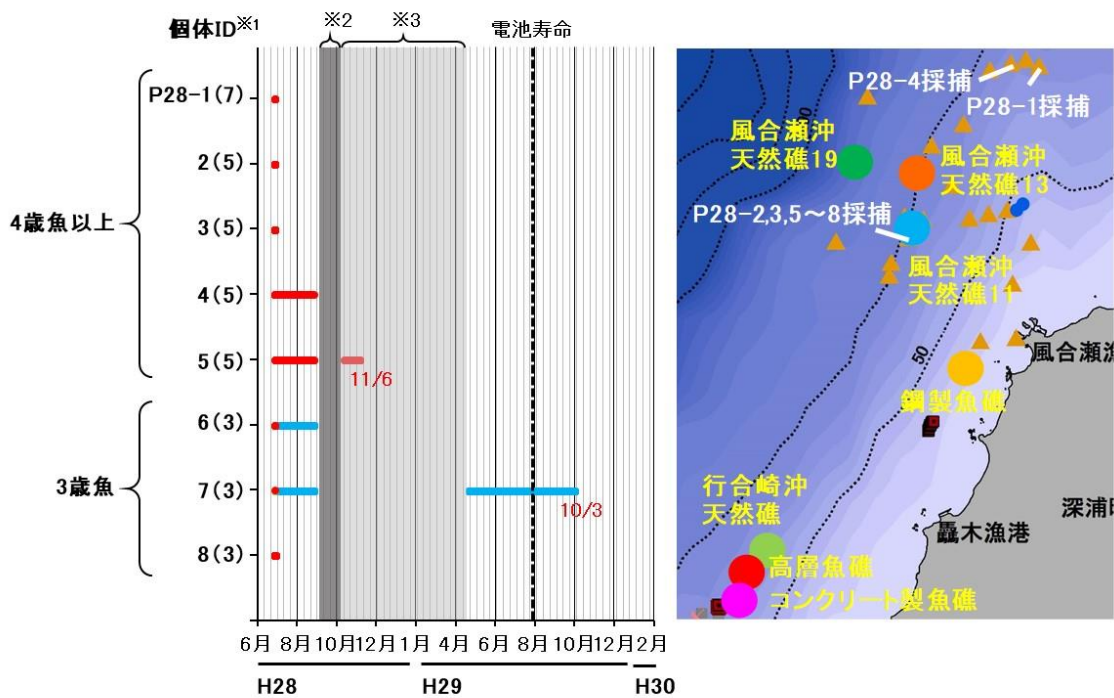
図 2.5-2 水深 30m の鋼製魚礁で放流したウスメバルの受信状況（Case P28-9～16）

(3) 水深 85m の高層魚礁における放流（平成 28 年 6 月）

水深 85m の高層魚礁で平成 28 年 6 月 28 日に放流したウスメバル（P28-1～8）の設置型受信機による受信状況は、図 2.5-3 に示すとおりである。

4 歳以上のウスメバルでは、2 個体が受信機を回収した 28 年 8 月 28 日まで高層魚礁（水深 85m）で受信され、同海域への滞留が示唆された。高層魚礁に受信機を再設置した 10 月 13 日から 11 月 6 日までの間、同海域で受信が確認された。

3 歳のウスメバルでは、いずれも放流した 28 年 6 月 28 日 20 時以降、高層魚礁（水深 85m）で受信されなかった。その後、2 個体は、採捕海域である風合瀬沖天然礁 11（水深 98m）において、6 月 30 日から受信機を回収した 8 月 28 日まで受信された。また、そのうち 1 個体は、風合瀬沖天然礁 11 に受信機を再設置した 29 年 4 月 24 日以降、10 月 3 日まで受信され、同海域への滞留が示唆された。なお、10 月以降受信が途絶えたのは、電池寿命によるものと考えられる。



※1 ()内の数字は放流時における年齢を示す
 ※2 H28年8月28日～10月12日は受信機なし
 ※3 H28年10月13日～H29年4月23日は高層魚礁のみ

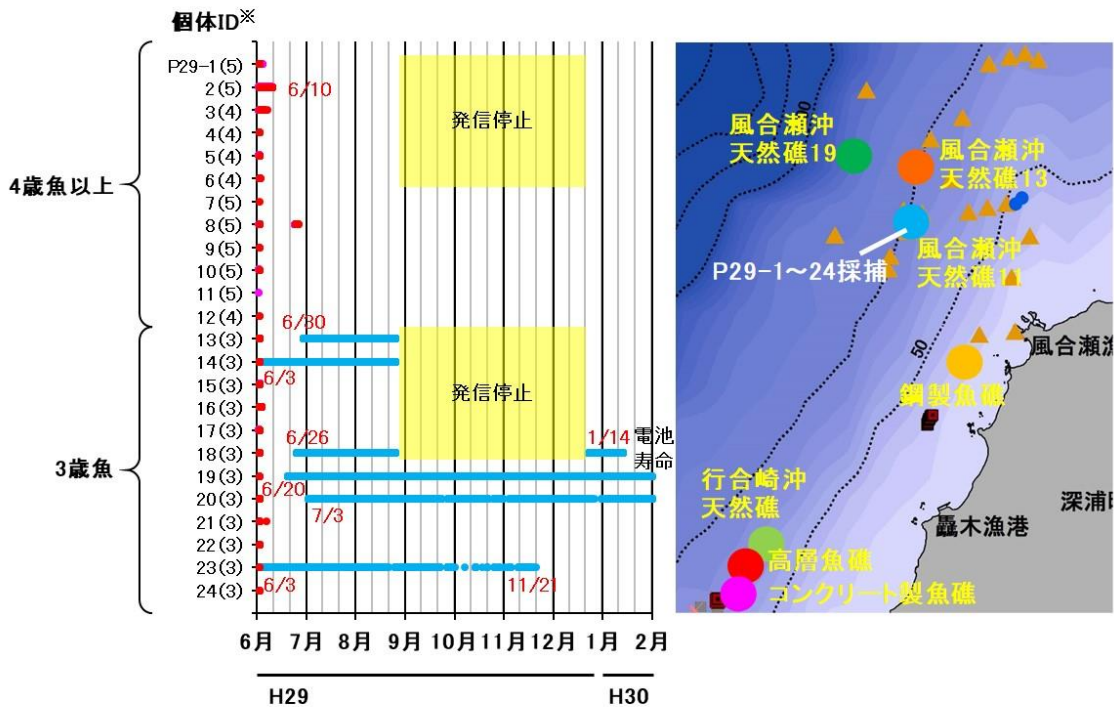
図 2.5-3 水深 85m の高層魚礁で放流したウスメバルの受信状況（Case P28-1～8）

(4) 水深 85m の高層魚礁における放流（平成 29 年 6 月）

水深 85m の高層魚礁で平成 29 年 6 月 2 日に放流したウスメバル（P29-1～24）の設置型受信機による受信状況は、図 2.5-4 に示すとおりである。

4 歳以上のウスメバルでは、1 個体が 29 年 6 月 10 日まで高層魚礁（水深 85m）で受信され、同海域への滞留が示唆された。その他の個体は、採捕海域である風合瀬沖天然礁 11（水深 98m）も含め、受信されなかった。

3 歳のウスメバルでは、いずれも放流した 28 年 6 月 28 日 20 時以降、高層魚礁（水深 85m）で受信されなかった。その後、1 個体は、11 月 21 日まで、2 個体は、採捕海域である風合瀬沖天然礁 11（水深 98m）において、6 月 20 日頃から受信機を回収した 30 年 2 月 1 日まで受信され、滞留が示唆された。また、発信停止期間を設定した個体のうち 1 個体が、電池寿命となる 1 月 14 日まで同海域で受信された。



※ ()内の数字は放流時における年齢を示す

図 2.5-4 水深 85m の高層魚礁で放流したウスメバルの受信状況（Case P29-1～24）

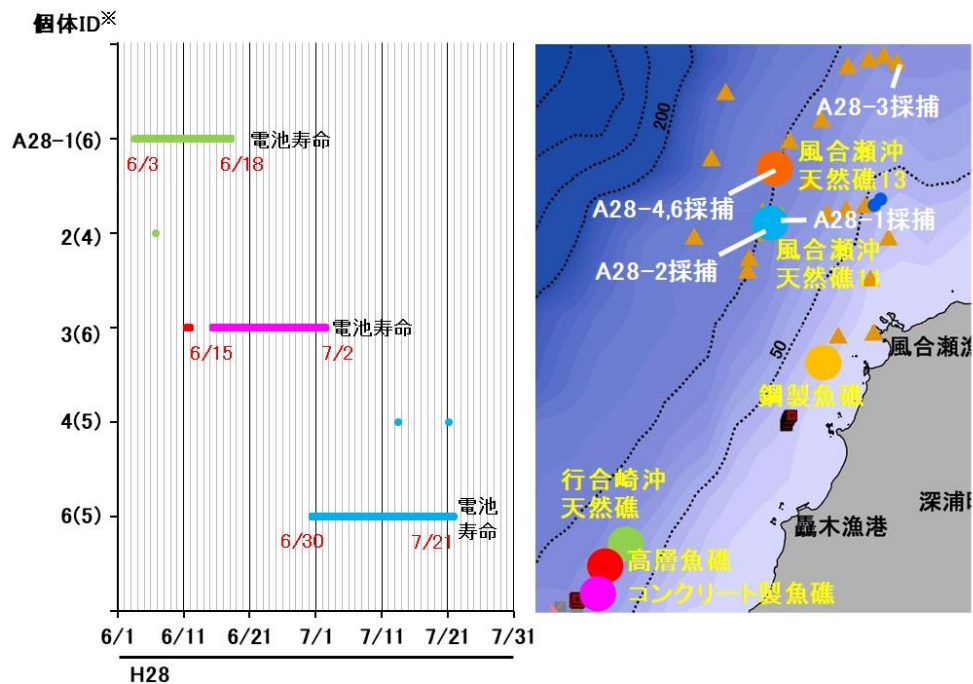
(5) 追跡型調査終了後の受信確認（平成 28 年 6 月）

追跡型調査の調査船による追跡終了後の滞留海域における設置型受信機による受信状況は、図 2.5-5 に示すとおりである。

Case A28-1 の 6 歳魚は、28 年 6 月 3 日 13 時から、電池寿命となる 18 日 4 時まで、行合崎沖天然礁（水深 80m）で受信され、滞留が示唆された。

Case A28-3 の 6 歳魚は、28 年 6 月 15 日 11 時から、電池寿命となる 7 月 2 日 11 時まで、コンクリート製魚礁（水深 80m）で受信され、滞留が示唆された。

Case A28-6 の 5 歳魚は、28 年 6 月 30 日 11 時から、電池寿命となる 7 月 21 日 21 時まで、風合瀬沖天然礁 11（水深 98m）で受信され、滞留が示唆された。



※（ ）内の数字は放流時における年齢を示す

図 2.5-5 追跡調査終了後の滞留海域におけるウスメバルの受信状況 (Case A28-1、3、6)

2) 滞留海域における遊泳水深

(1) 4歳魚以上

滞留海域における4歳魚以上の遊泳水深の経時変化は、図 2.5-6 (1) ~ (8) に示すとおりである。

行合崎沖天然礁に滞留した4歳魚以上の遊泳水深は65~75m、風合瀬沖天然礁では85~100mで増減を繰り返しながら推移した。コンクリート製魚礁では、70~80mで増減を繰り返しながら推移した。高層魚礁では、遊泳水深が29年6月に表層近くまでとなった。

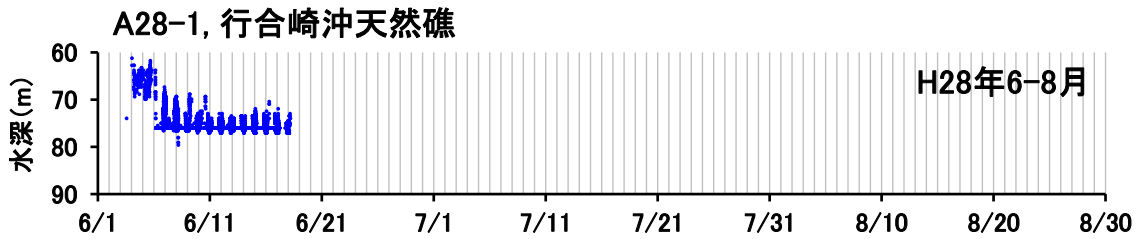


図 2.5-6 (1) 滞留海域における4歳魚以上の遊泳水深 (A28-1)

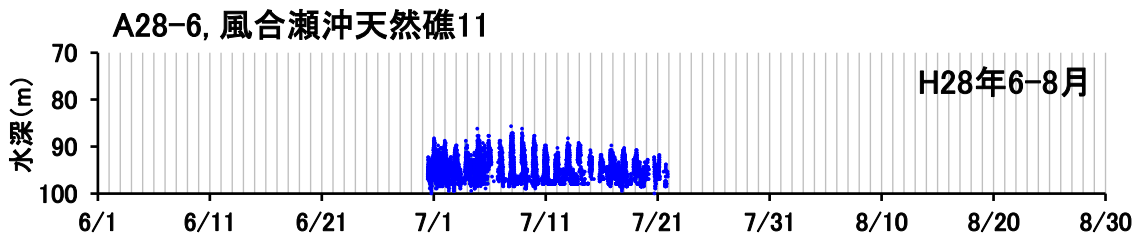


図 2.5-6 (2) 滞留海域における4歳魚以上の遊泳水深 (A28-6)

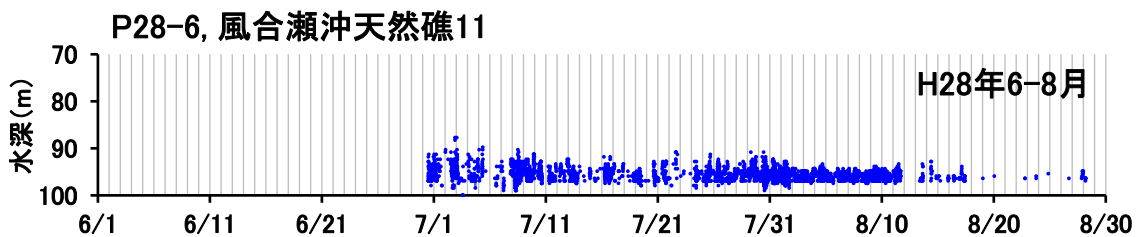


図 2.5-6 (3) 滞留海域における4歳魚以上の遊泳水深 (P28-6)

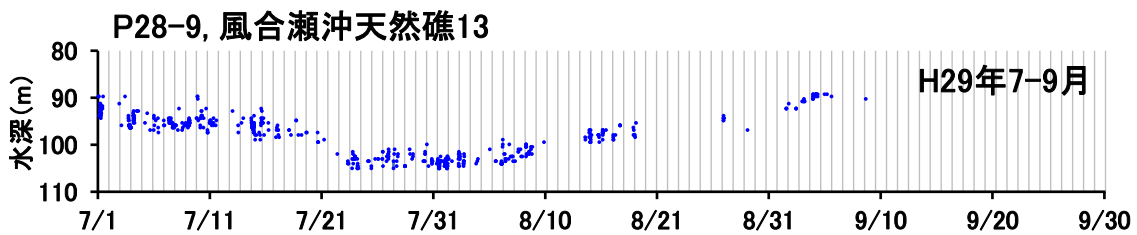


図 2.5-6 (4) 滞留海域における4歳魚以上の遊泳水深 (P28-9)

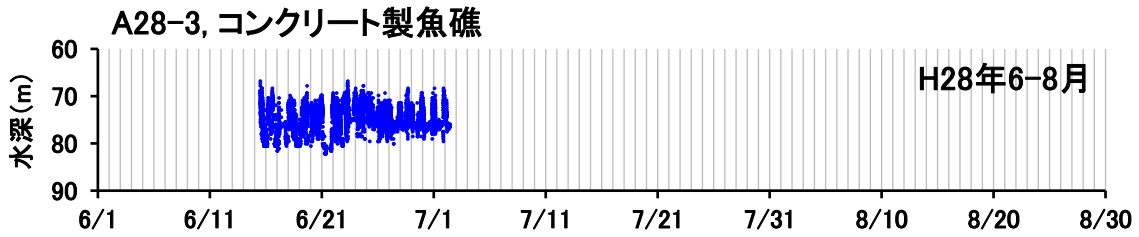


図 2.5-6 (5) 滞留海域における4歳魚以上の遊泳水深 (A28-3)

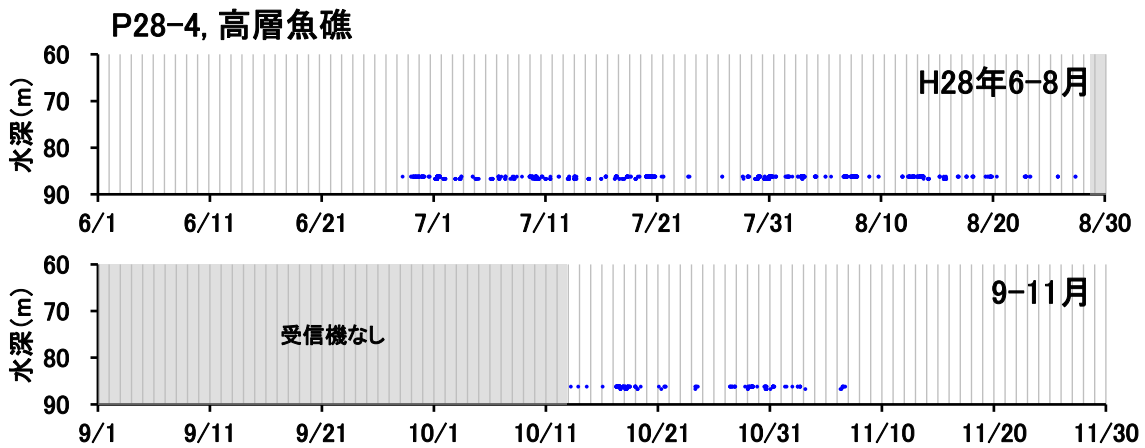


図 2.5-6 (6) 滞留海域における4歳魚以上の遊泳水深 (P28-4)

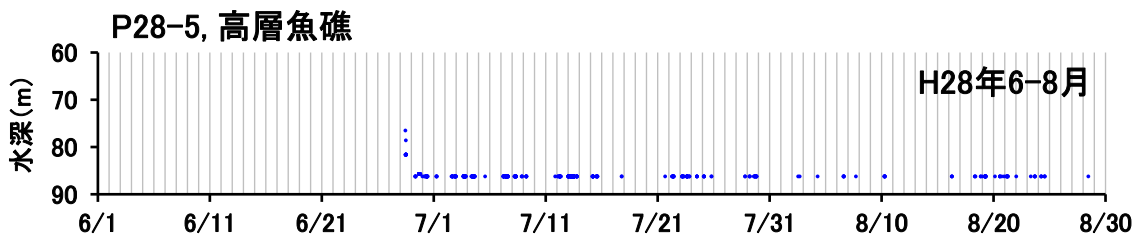


図 2.5-6 (7) 滞留海域における4歳魚以上の遊泳水深 (P28-5)

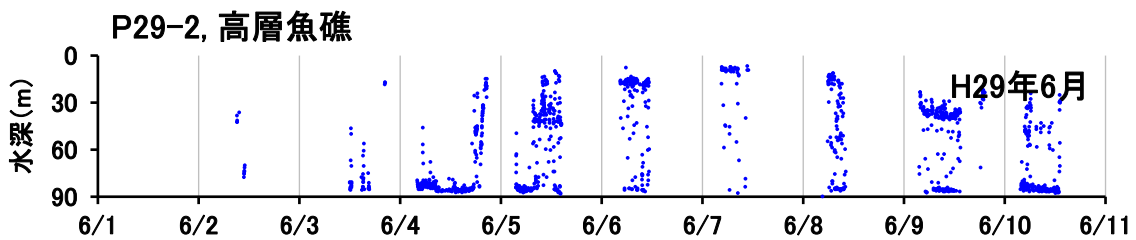


図 2.5-6 (8) 滞留海域における4歳魚以上の遊泳水深 (P29-2)

(2) 3 歳魚

滞留海域における 3 歳魚の遊泳水深の経時変化は、図 2.5-7 (1) ～ (11) に示すとおりである。

風合瀬沖天然礁 11 に滞留した 3 歳魚の遊泳水深は 70～100m の範囲で増減を繰り返しながら推移した。

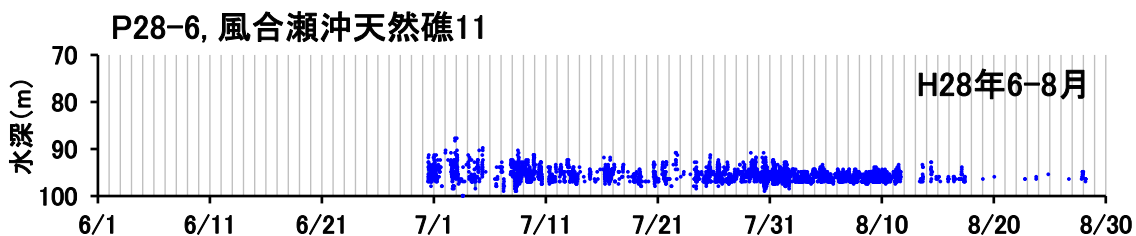


図 2.5-7 (1) 滞留海域における 3 歳魚の遊泳水深 (P28-6)

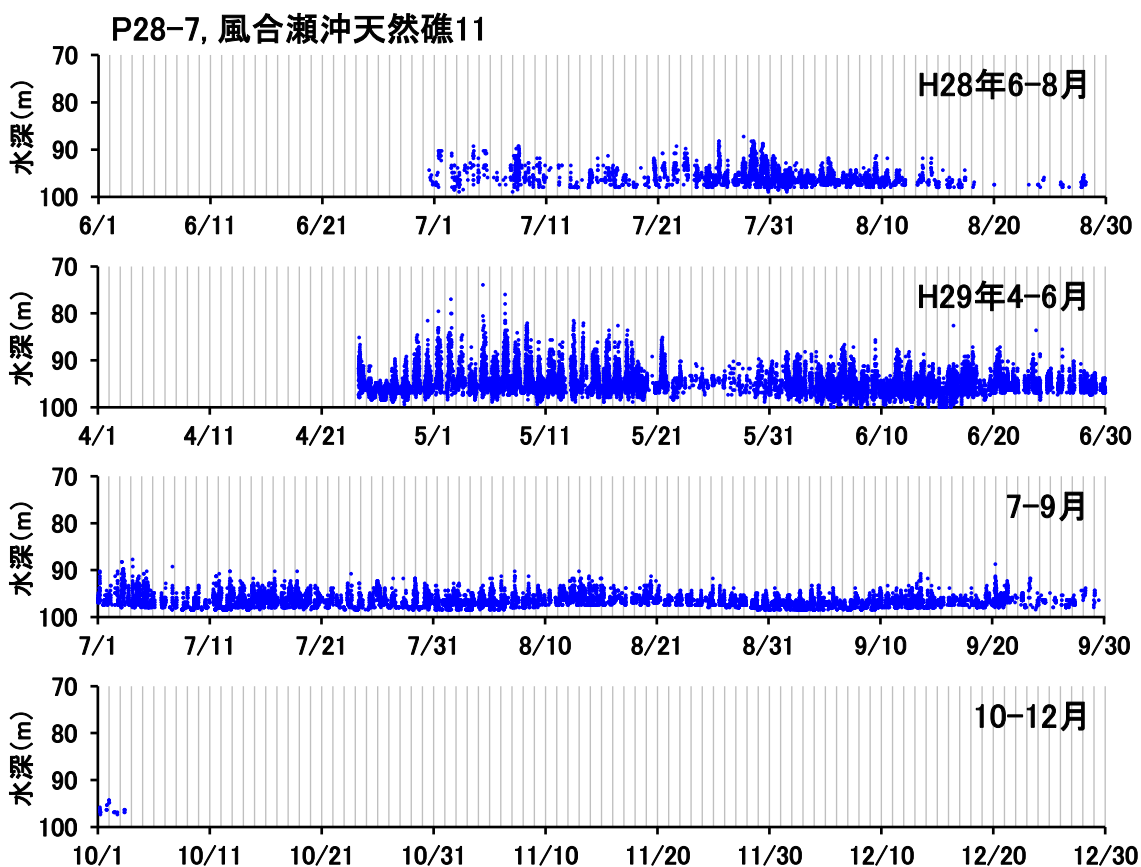


図 2.5-7 (2) 滞留海域における 3 歳魚の遊泳水深 (P28-7)

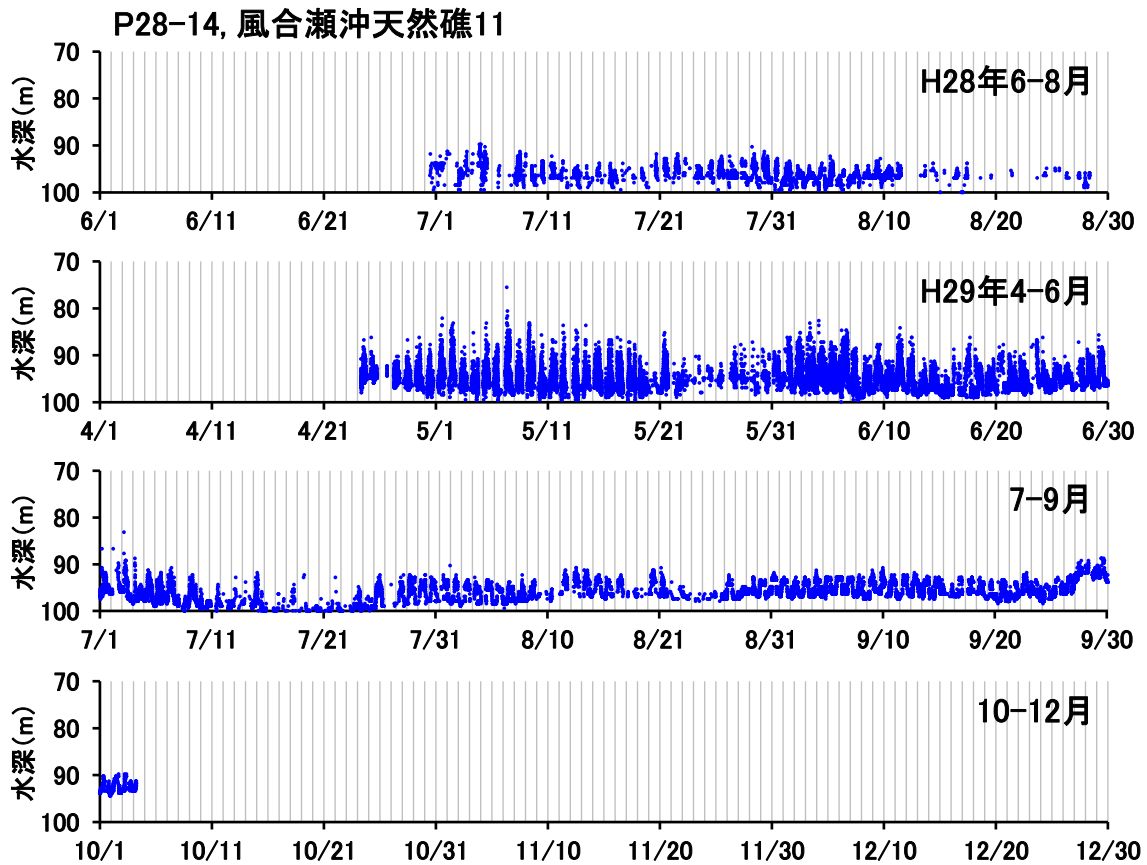


図 2.5-7 (3) 滞留海域における3歳魚の遊泳水深 (P28-14)

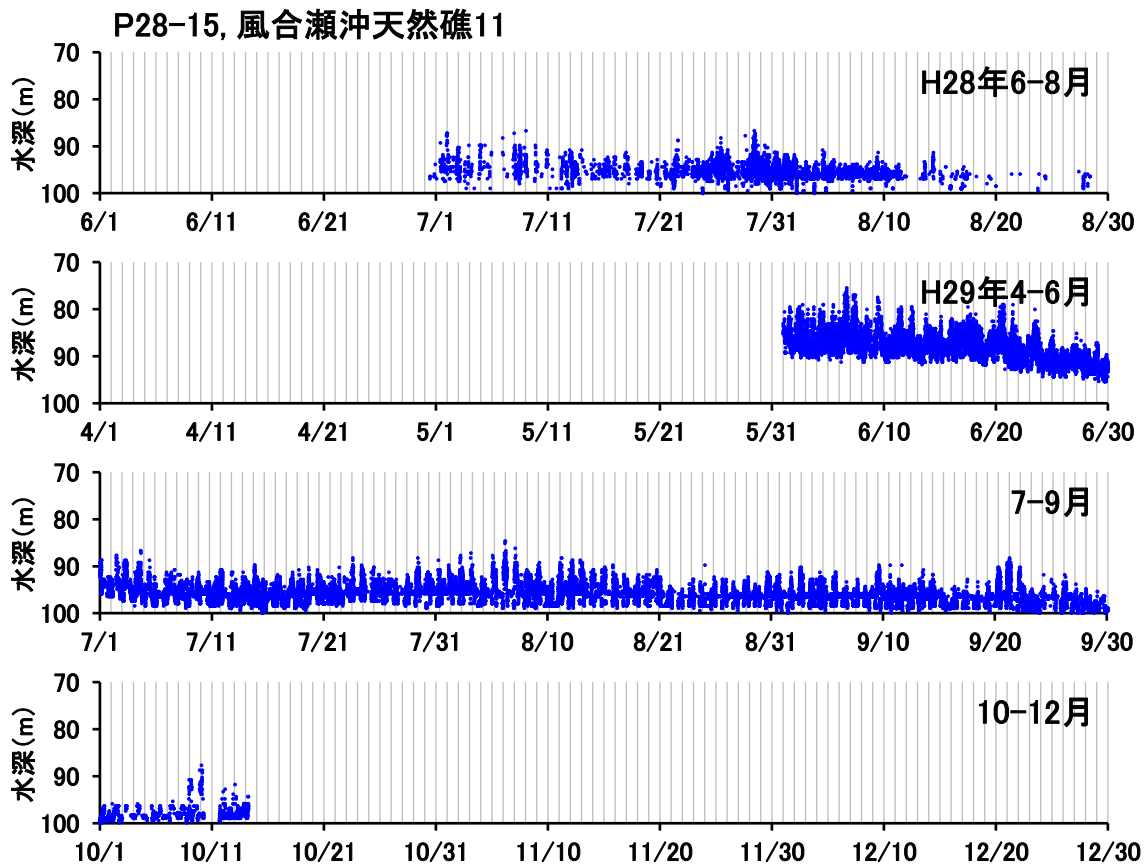


図 2.5-7 (4) 滞留海域における3歳魚の遊泳水深 (P28-15)

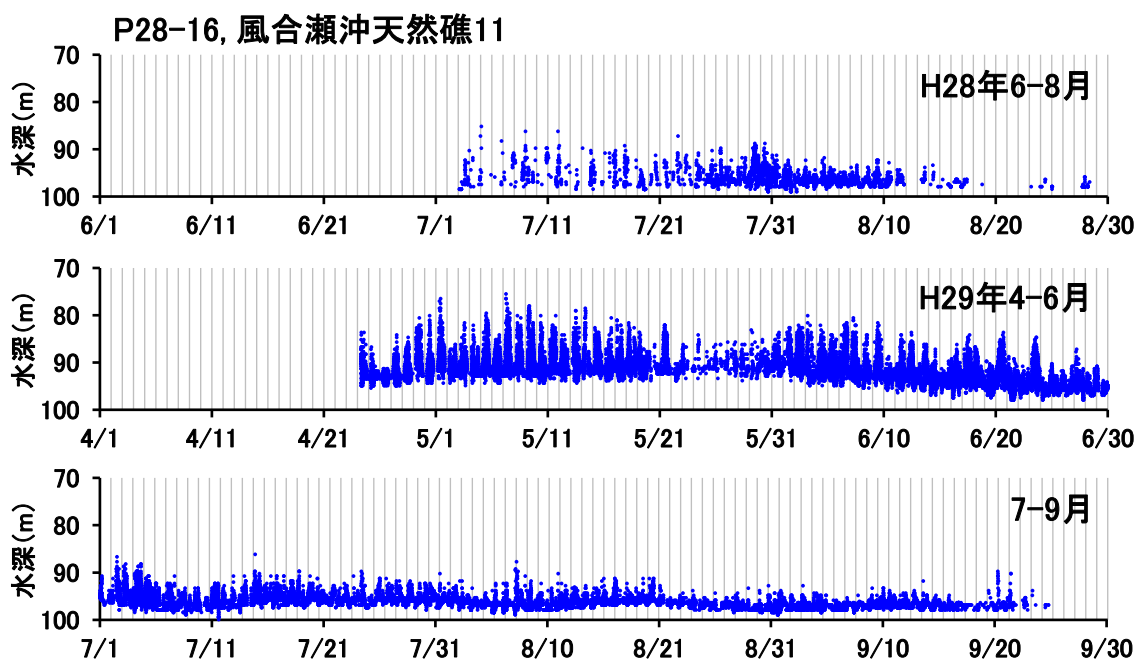


図 2.5-7 (5) 滞留海域における3歳魚の遊泳水深 (P28-16)

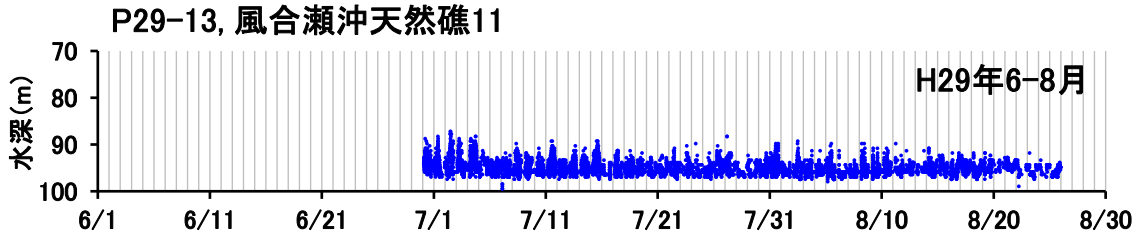


図 2.5-7 (6) 滞留海域における3歳魚の遊泳水深 (P29-13)

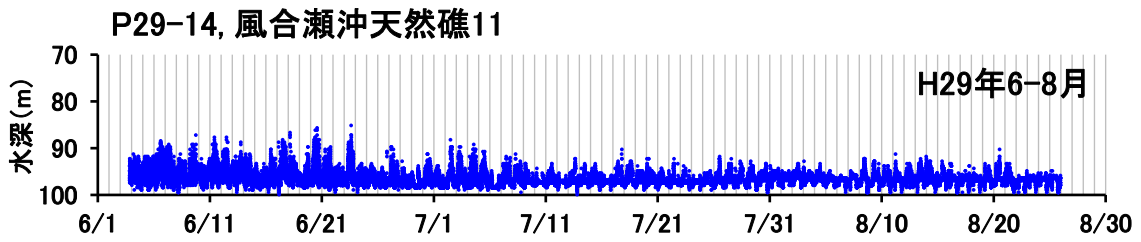


図 2.5-7 (7) 滞留海域における3歳魚の遊泳水深 (P29-14)

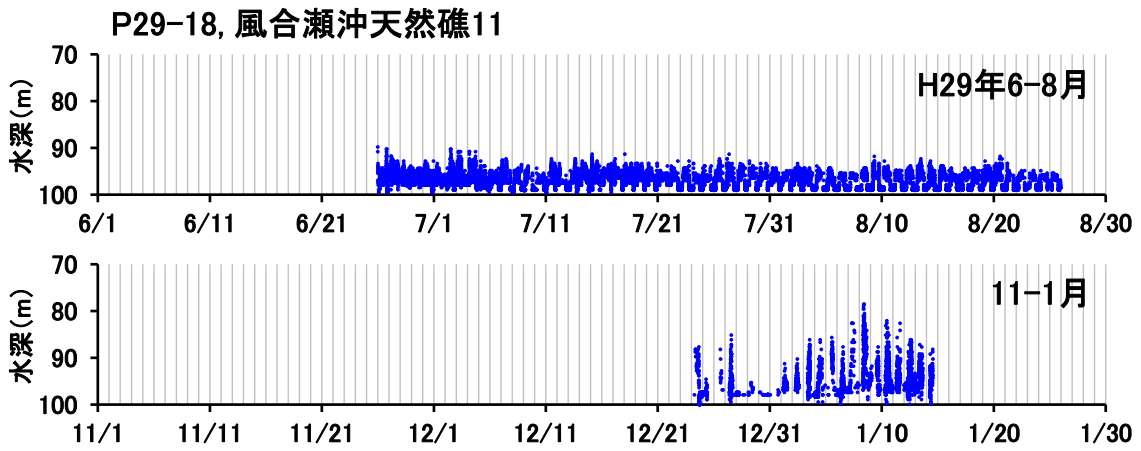


図 2.5-7 (8) 滞留海域における3歳魚の遊泳水深 (P29-18)

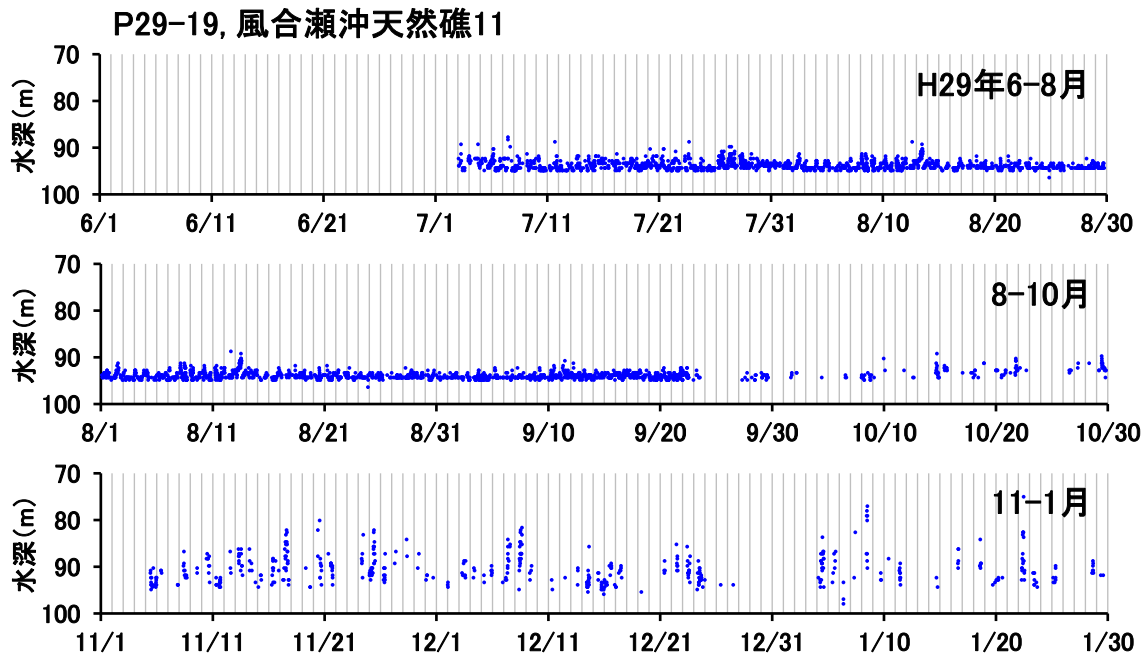


図 2.5-7 (9) 滞留海域における3歳魚の遊泳水深 (P29-19)

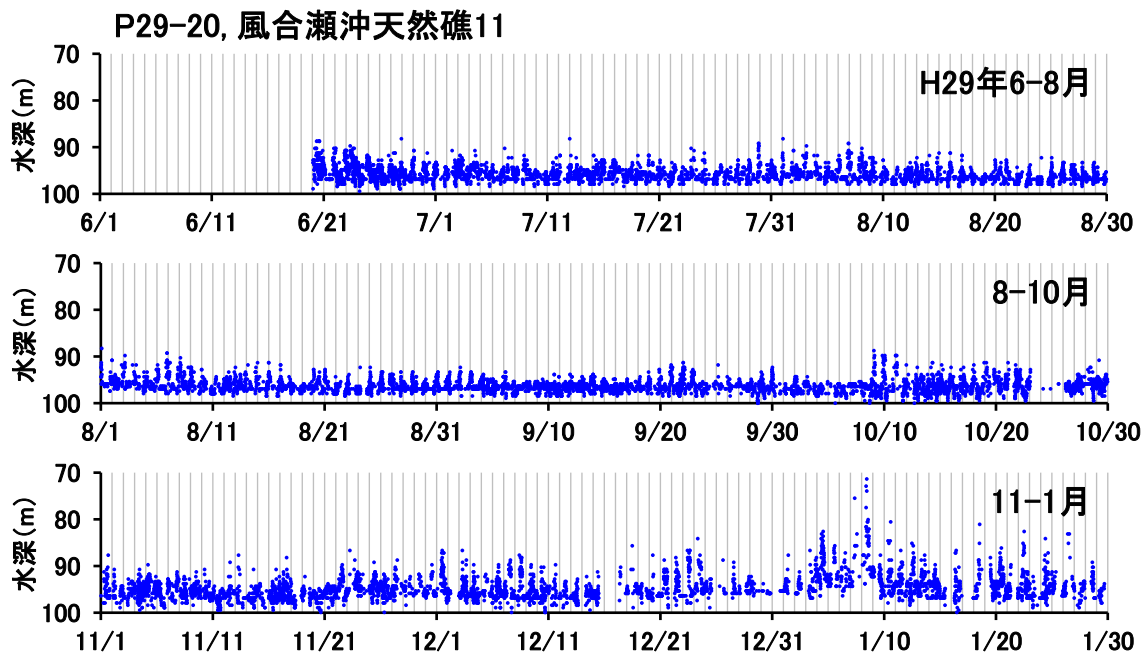


図 2.5-7 (10) 滞留海域における3歳魚の遊泳水深 (P29-20)

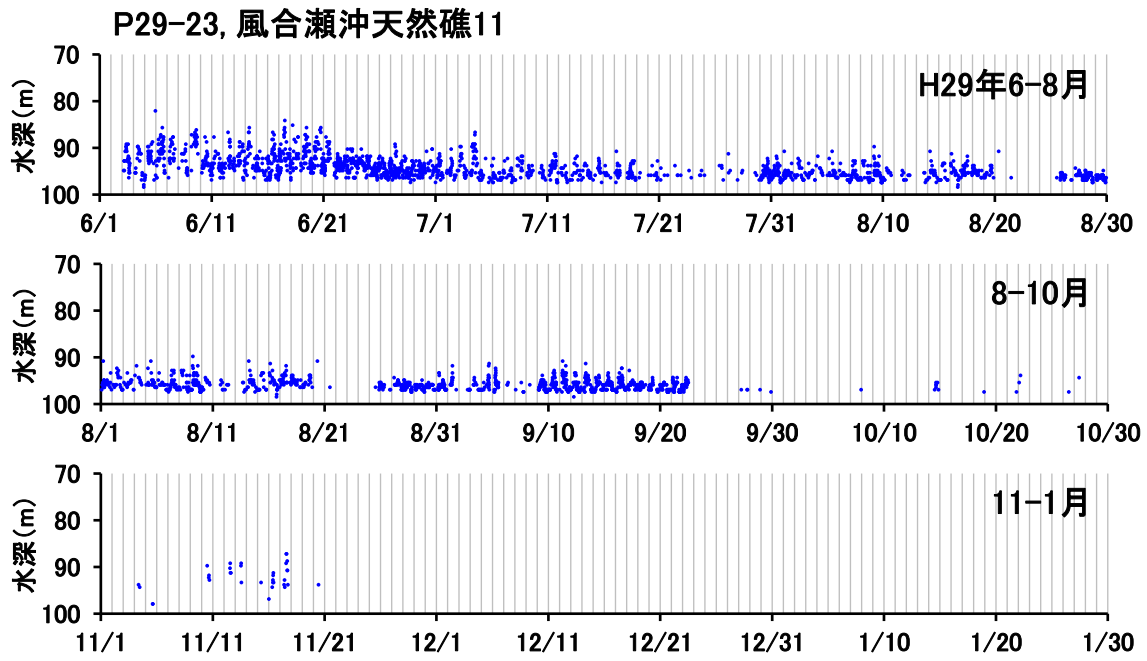


図 2.5-7 (11) 滞留海域における3歳魚の遊泳水深 (P29-23)

3) 滞留海域における遊泳加速度

(1) 4歳魚以上

滞留海域における4歳魚以上の遊泳加速度の経時変化は、図 2.5-8 に示すとおりである。高層魚礁に滞留した4歳魚以上の遊泳加速度は5~30m/s²の範囲で推移した。

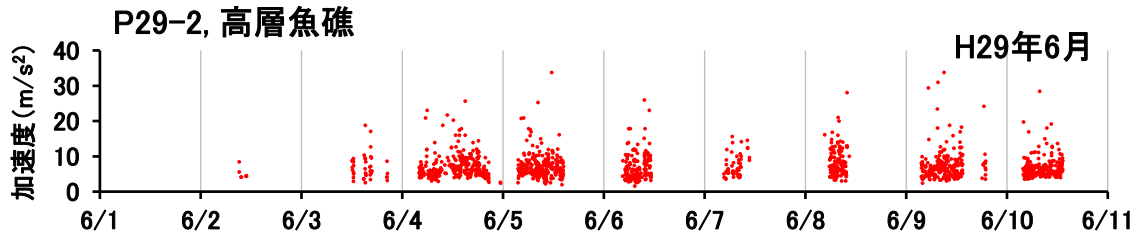


図 2.5-8 滞留海域における4歳魚以上の遊泳加速度 (P29-2)

(2) 3歳魚

滞留海域における3歳魚の遊泳加速度の経時変化は、図 2.5-9 (1) ~ (6) に示すとおりである。

風合瀬沖天然礁 11 に滞留した3歳魚の遊泳加速度は変動が大きいものの、0~30m/s²の範囲で増減を繰り返しながら推移した。

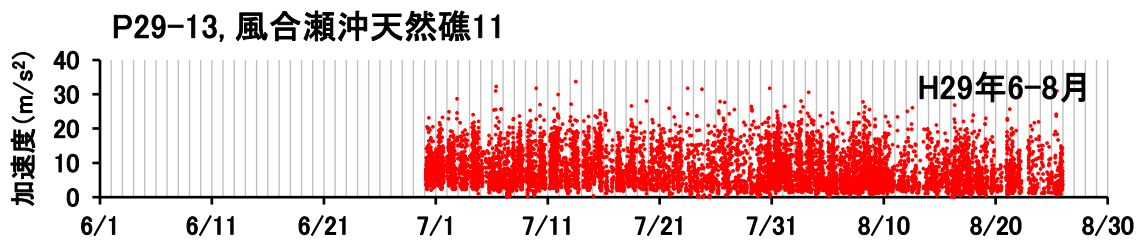


図 2.5-9 (1) 滞留海域における3歳魚の遊泳加速度 (P29-13)

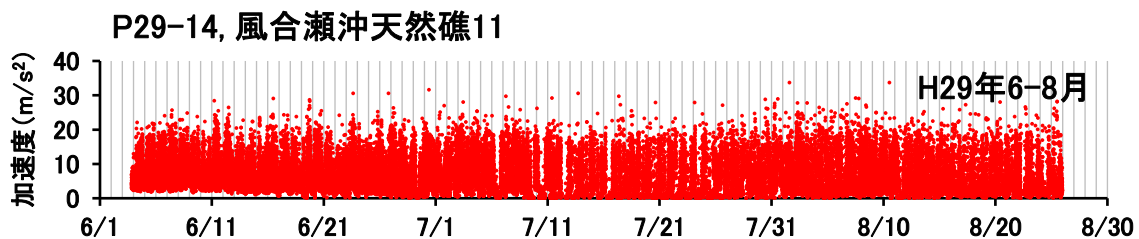


図 2.5-9 (2) 滞留海域における3歳魚の遊泳加速度 (P29-14)

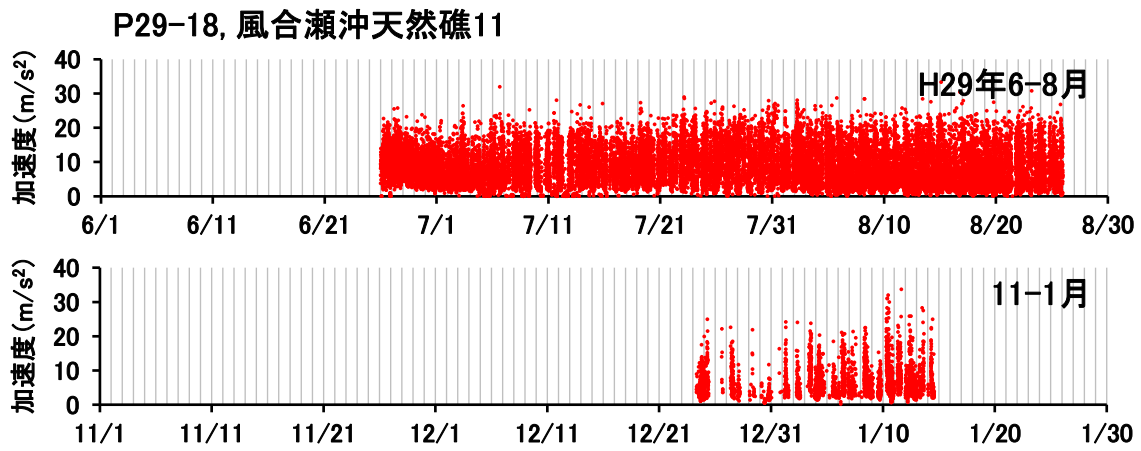


図 2.5-9 (3) 滞留海域における3歳魚の遊泳加速度 (P29-18)

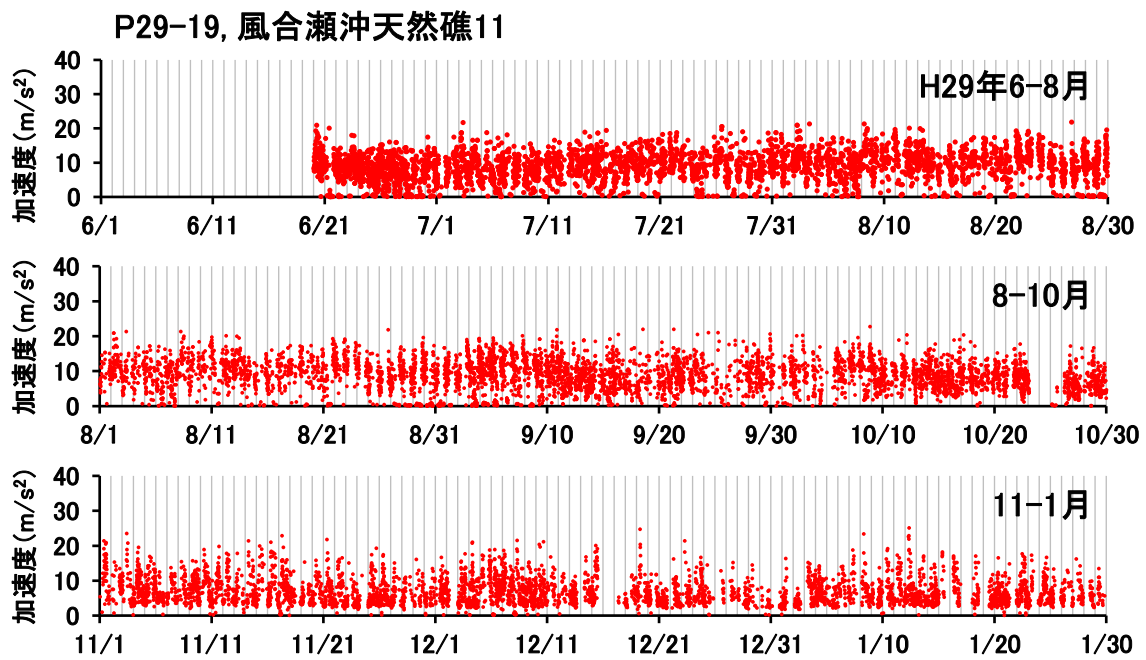


図 2.5-9 (4) 滞留海域における3歳魚の遊泳加速度 (P29-19)

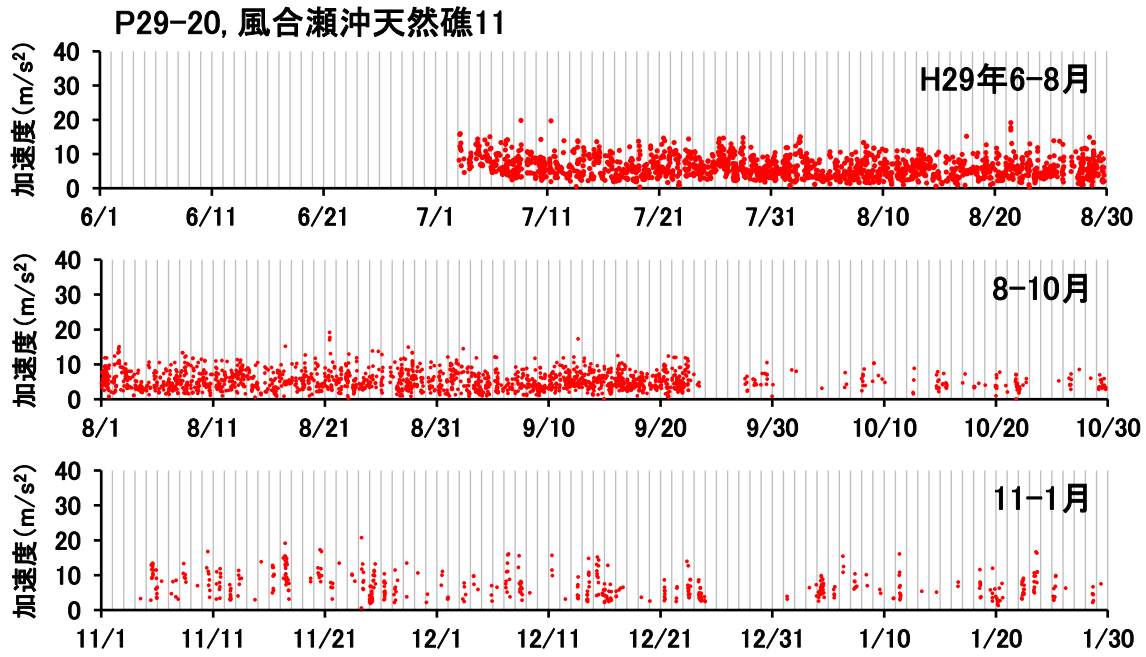


図 2.5-9 (5) 滞留海域における3歳魚の遊泳加速度 (P29-20)

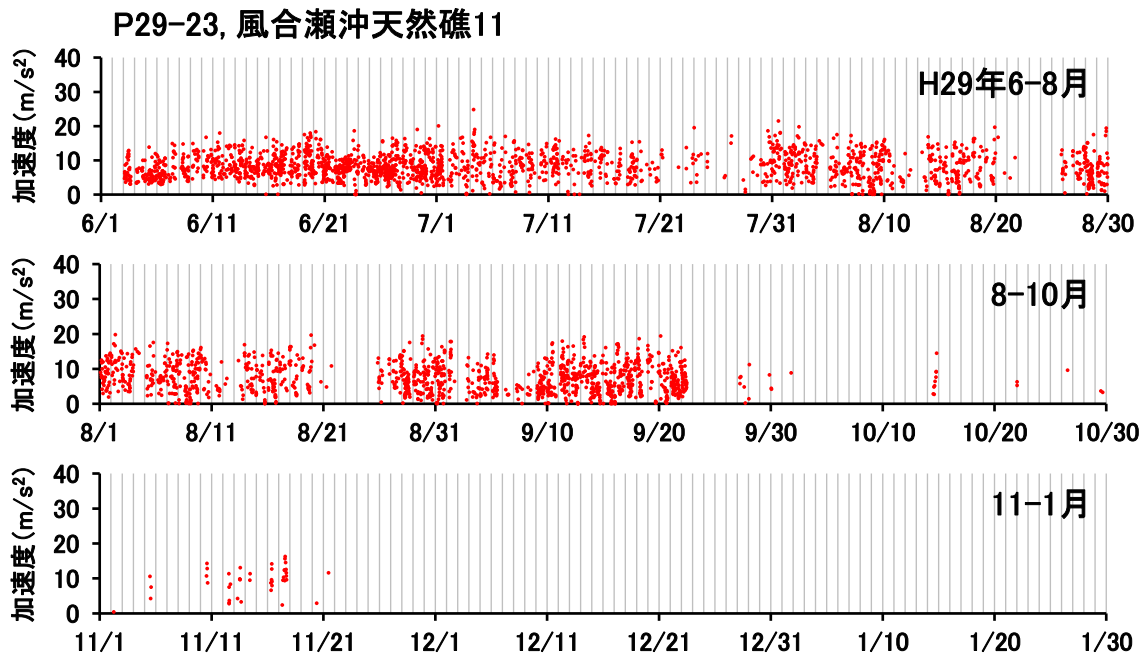


図 2.5-9 (6) 滞留海域における3歳魚の遊泳加速度 (P29-23)

3. 計量魚探調査

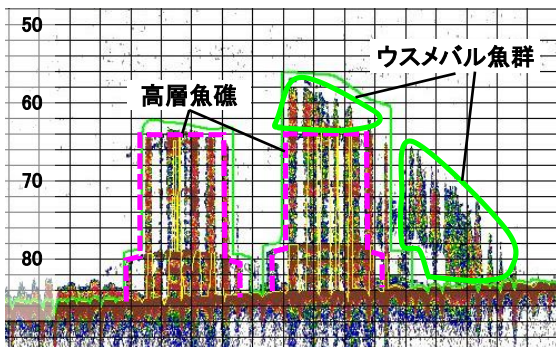
日中の高層魚礁、風合瀬沖天然礁 16 および夜間の風合瀬沖天然礁 8 におけるエコーグラムは図 3-1 に、ウスメバル魚群の水平分布および鉛直分布は図 3-2 に示すとおりである。

高層魚礁では、日中、下流側に約 50m 程度の範囲までウスメバル魚群が分布していた。鉛直方向については、海底および高層魚礁の天端より主に 5~10m 上方で魚群が形成された。なお、高層魚礁における、同時期の漁獲調査の結果、3 歳魚の占める割合が 67%と最も高かった。

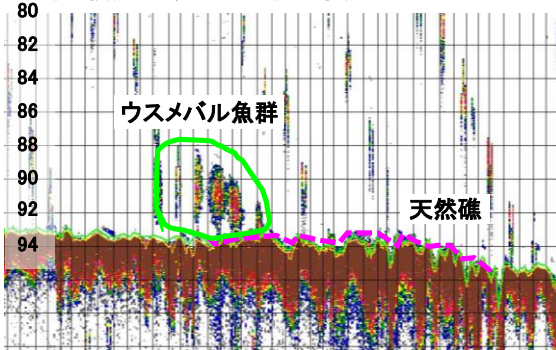
風合瀬沖天然礁 16 では、日中、下流側に約 50m 程度の範囲まで魚群が分布していた。鉛直方向については、海底より 5~10m 上方で魚群が形成された。

風合瀬沖天然礁 8 では、夜間、魚礁の近傍に魚群が分布していた。鉛直方向についても、魚礁の直上でのみ魚群が形成された。

高層魚礁(日中)



風合瀬沖天然礁16(日中)



風合瀬沖天然礁8(夜間)

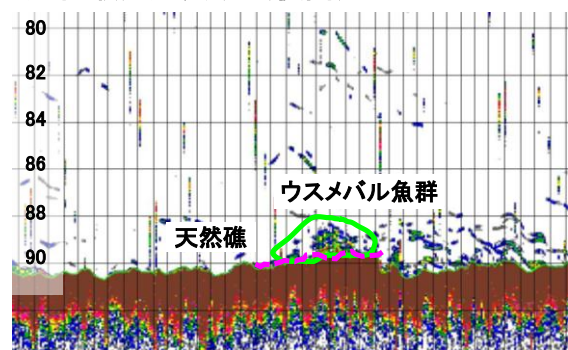


図 3-1 高層魚礁および天然礁におけるエコーグラム

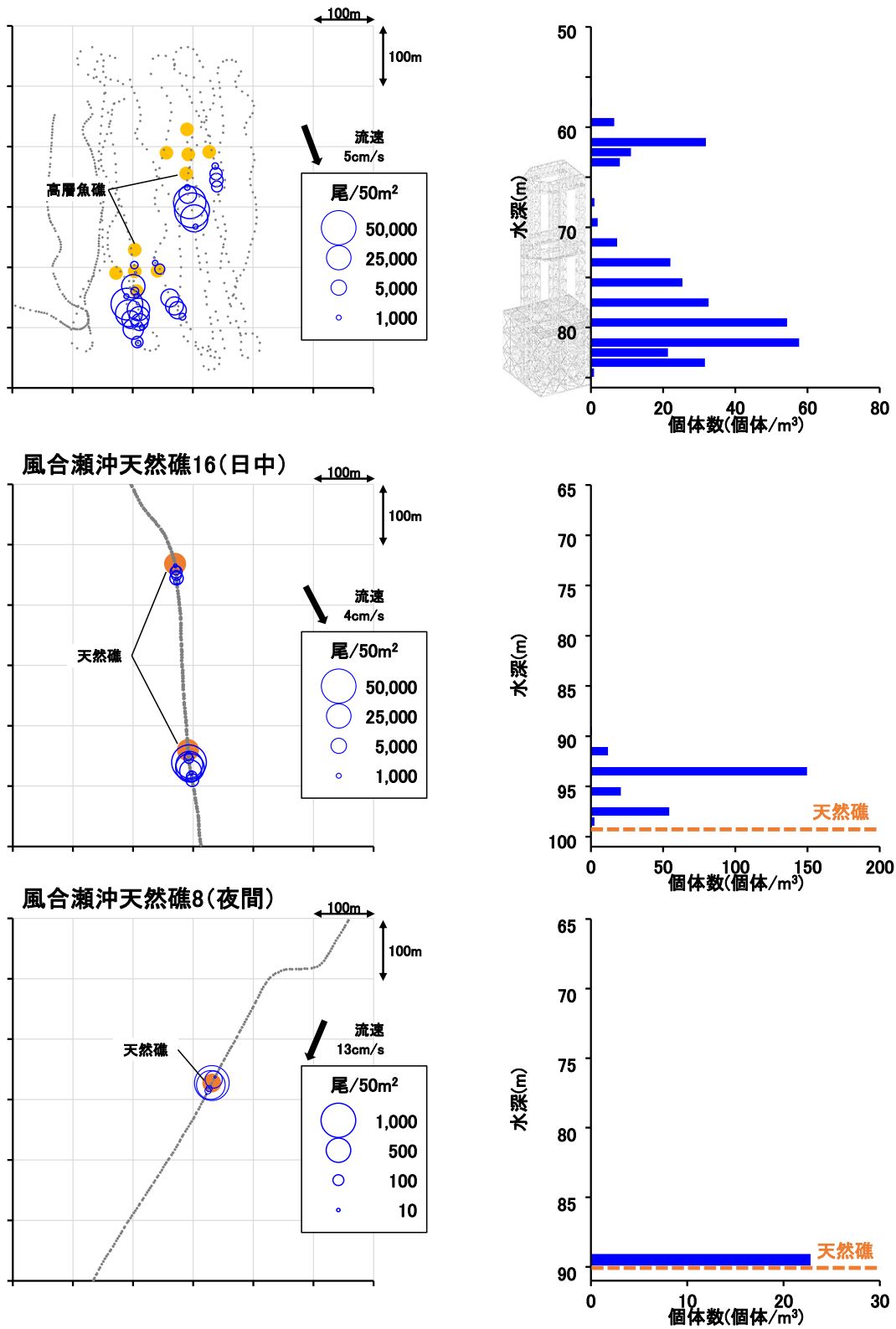


図 3-2 高層魚礁および天然礁における魚群の分布（左：水平分布、右：鉛直分布）

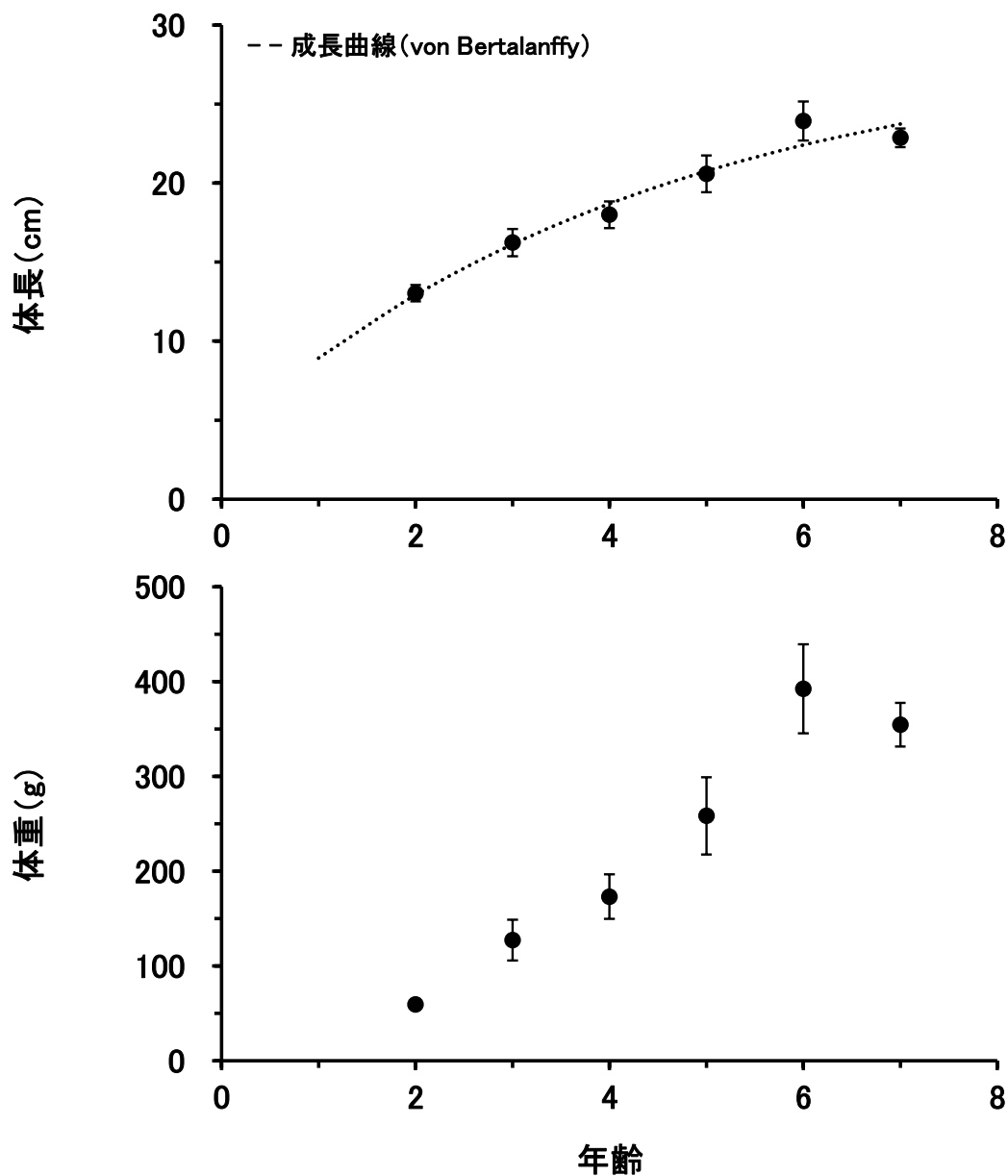
4. 漁獲調査

4.1 成長

ウスメバルの耳石の輪紋から査定した年齢と体長、体重の関係は、図 4.1-1 に示すとおりである。

ウスメバルの体長の成長が von Bertalanffy の成長式に従うと仮定し、最小二乗法によりパラメータを求めた結果、次のとおりとなった。

$$TL = 29.13 \times [1 - \exp\{-0.22017 \times (t + 0.66326)\}]$$



※ I は標準偏差を示す

図 4.1-1 年齢と体長、体重の関係

4.2 分布

ウスメバルの採捕地点別の年齢組成は図 4.2-1 (1) ~ (3) に、年齢別の出現頻度と水深の関係は図 4.2-2 に示すとおりである。

2 歳魚は、55~110m の範囲で採捕されており、55~74m で出現頻度が高かった。3 歳魚は、74~113m の範囲で採捕されており、97~110m で出現頻度が高かった。4 歳魚は、55~126m の範囲で採捕されており、75~94m で出現頻度が高かった。5 歳魚は、74~126m の範囲で採捕されており、99~126m で出現頻度が高かった。

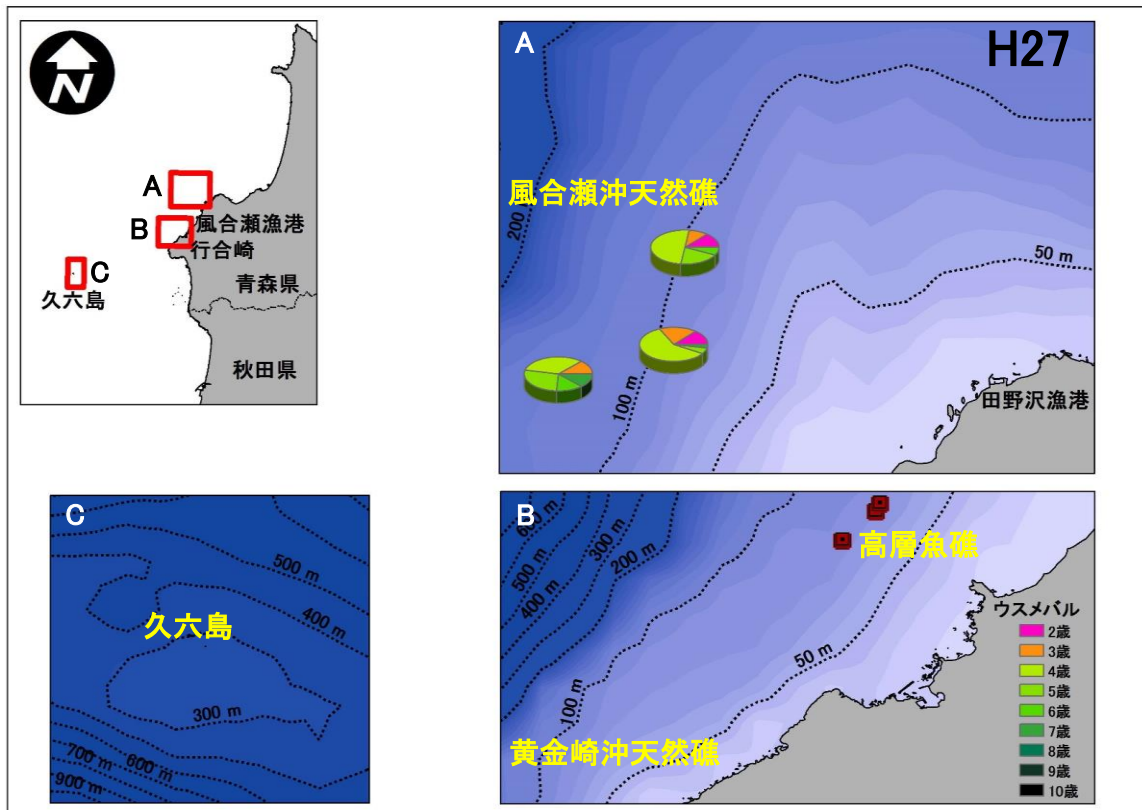


図 4.2-1 (1) 採捕地点別の年齢組成 (27 年 6 月)

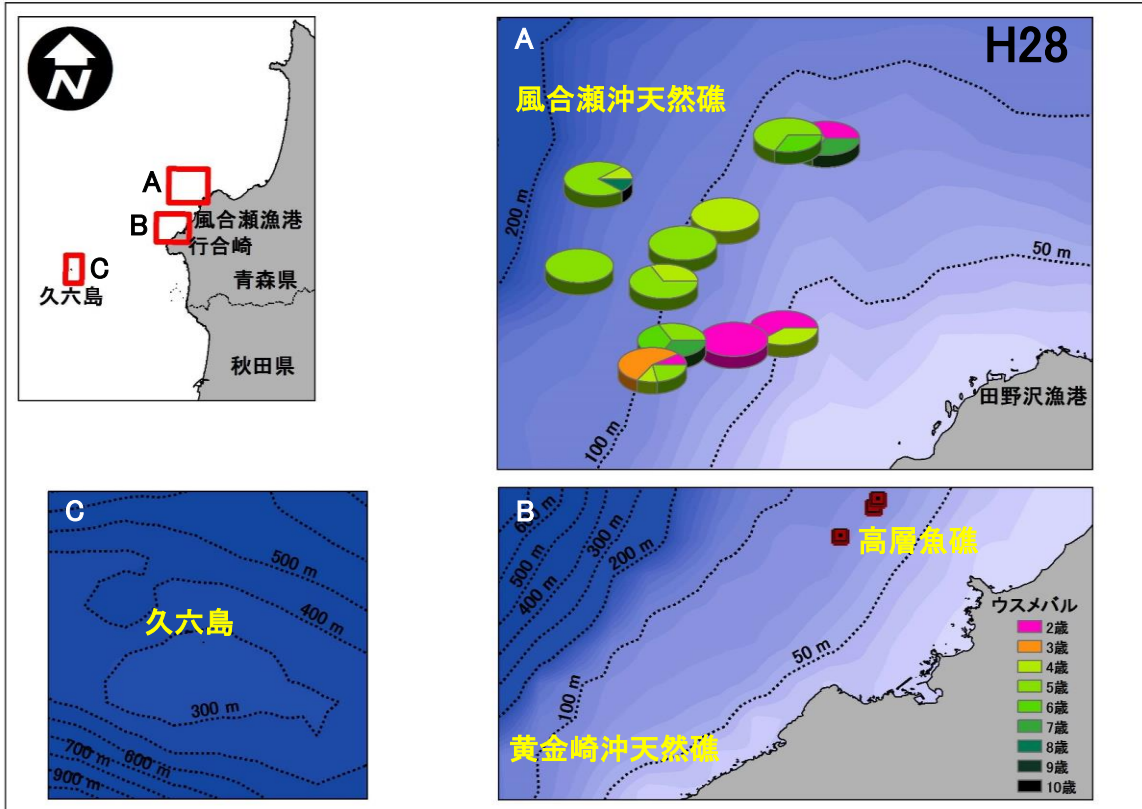


図 4.2-1 (2) 採捕地点別の年齢組成 (28年5、6月)

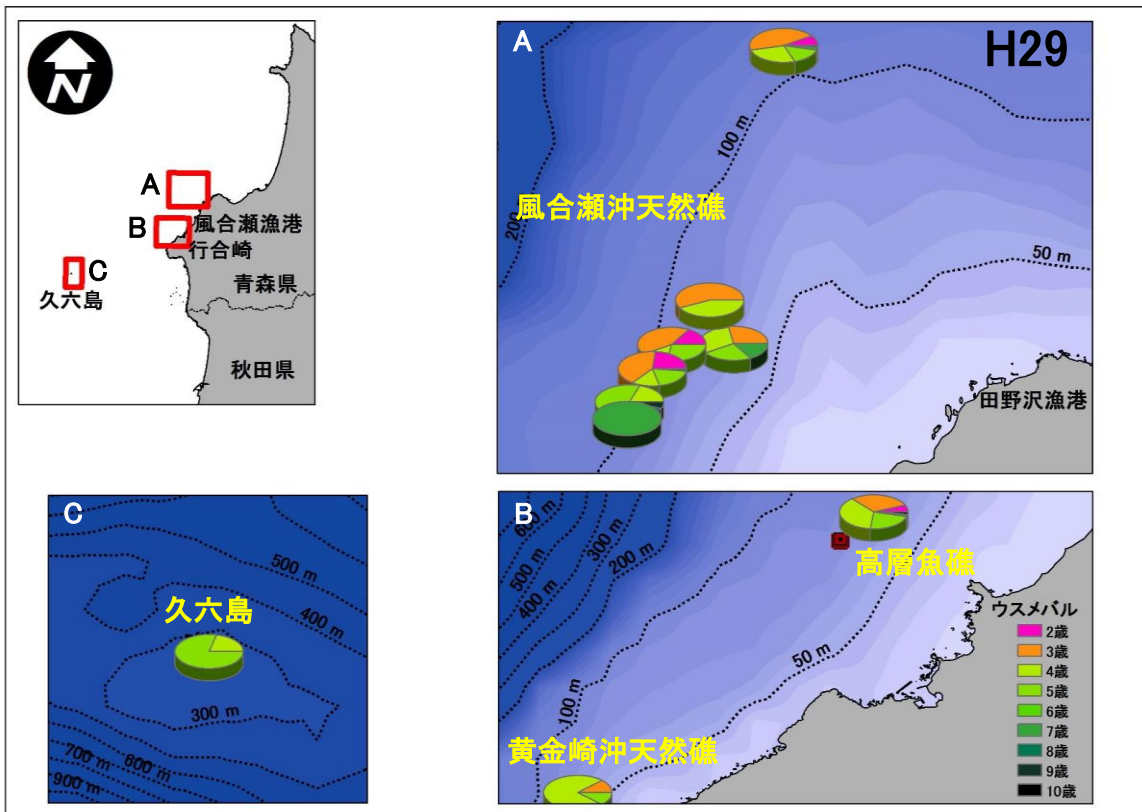


図 4.2-1 (3) 採捕地点別の年齢組成 (29年4、5、6月)

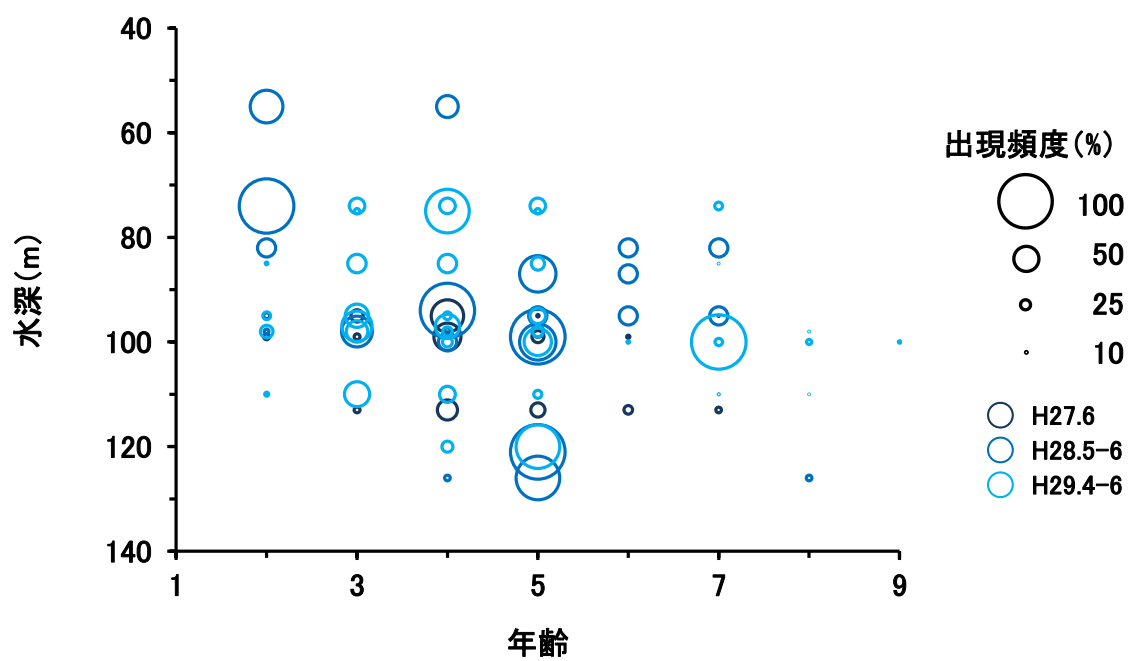


図 4.2-2 年齢別のウスメバルの出現頻度と水深の関係

5. 観察調査

鋼製魚礁および風合瀬沖天然礁における魚類の目視観察結果は、表 5-1 に示すとおりである。

平成 27 年 6 月では、水深 30m の鋼製魚礁において、全長 3cm のウスメバルが 30 個体観察された（写真 5-1）。水深 13～25m の風合瀬沖天然礁では、ウスメバルは確認されなかった。

28 年 5 月では、鋼製魚礁においてウスメバルは観察されず、6 月では、全長 5～7cm のウスメバル 116 個体が確認された（写真 5-2）。

表 5-1 潜水目視観察結果

魚種	全長 (cm)	平成 27 年				平成 28 年		
		6 月				5 月	6 月	
		風合瀬沖天然礁				鋼製魚礁	鋼製魚礁	鋼製魚礁
		21	22	23	24			
		21m 700 m ²	13m 600 m ²	16m 2,000 m ²	25m 100 m ²	30m 144 m ²	30m 144 m ²	30m 144 m ²
マダイ	50		3					
	40		5	30				
	20		10		50			
クロダイ	30		3					
スズメダイ	7	2,000		5,000	50			
コブダイ	80	5		10				
	50		1					
ササノハベラ	10	30	5	40				
キュウセン	20					10		
アカメバル	15	50	50	1,000				
	10				20			
ウスメバル	5～7							116
	3					30		
クロソイ	30					1		
	25						5	6
キツネメバル	30					1		
	20						3	4
メバル属	20						5	10
アイナメ	25～30		1		2		6	6
	20	2		10	2			
	15	5		10	3			
	10	5	2	10				
ヒラメ	70					1		
ババガレイ	30	1						
ウマヅラハギ	20					300		13
合計		2,098	80	6,110	127	343	19	155

※ 調査地点下段の（m）は水深帯、（m²）は観察面積を示す。



写真 5-1 全長 3cm(27 年 6 月)



写真 5-2 全長 5~7cm(28 年 6 月)

6. 耳石の酸素安定同位体比

年齢別の耳石酸素安定同位体比は、図 6-1 に示すとおりである。

同じ年級群における耳石の酸素安定同位体比は、0 歳から 2 歳にかけて高くなった。異なる年級群間においても、同年齢時では、耳石の酸素安定同位体比は概ね同じ値を示し、0 歳から 2 歳にかけて増加し、3 歳以降では年齢に伴う耳石の酸素安定同位体比の変化はみられなかった。

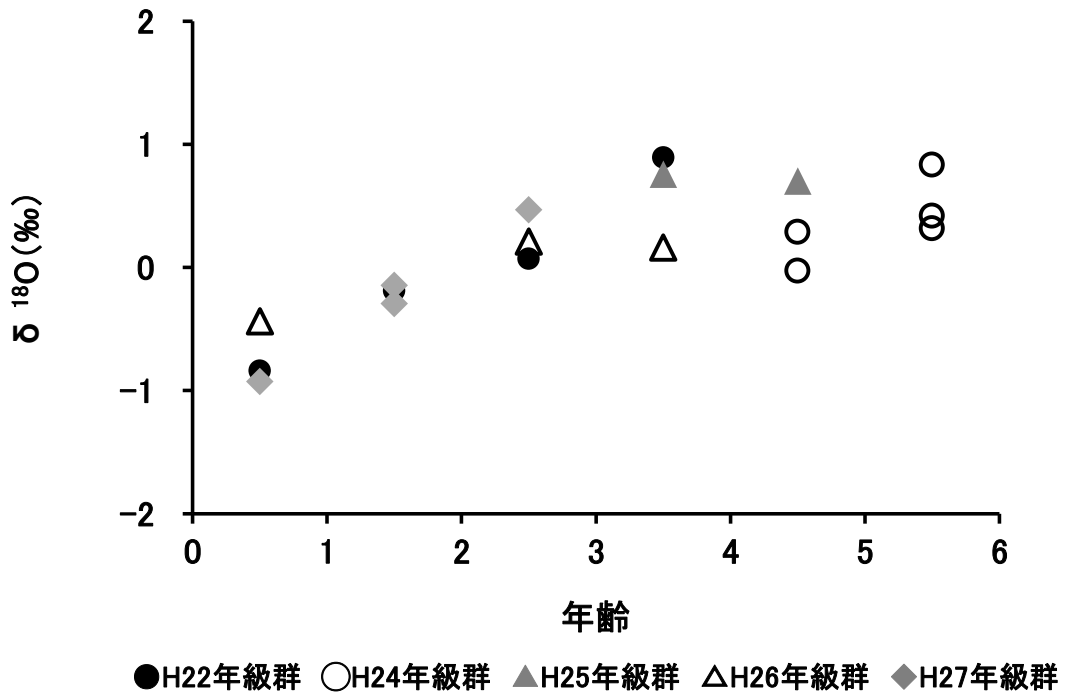


図 6-1 年齢別の耳石の酸素安定同位体比

7. 成熟調査

漁獲調査により採捕したウスメバルの GSI の経時変化は、図 7-1、図 7-2 に示すとおりである。

雌の GSI は、29 年 4 月下旬に高層魚礁の 4 歳魚で最高 (1.4) となり (写真 7-1)、6 月にかけて低下した。また、29 年 4~6 月雌の生殖腺について残留卵は確認されておらず、6 月においても成熟過程の個体が確認された。本調査海域において 29 年 4 月から 6 月にかけて採捕したウスメバルの雌について、4 歳魚以上の GSI が 3 歳魚に比べて高かった。雌の GSI の季節的な変化および年齢による違いは、風合瀬沖天然においても同様であった。

雄の GSI は、調査期間において、29 年 11 月中旬に 3 歳魚で最高 (0.9) を示した (写真 7-2)。なお、11 月以降に採捕されたウスメバルは、殆どが 3 歳魚であり、雄 GSI の年齢による違いについては不明である。

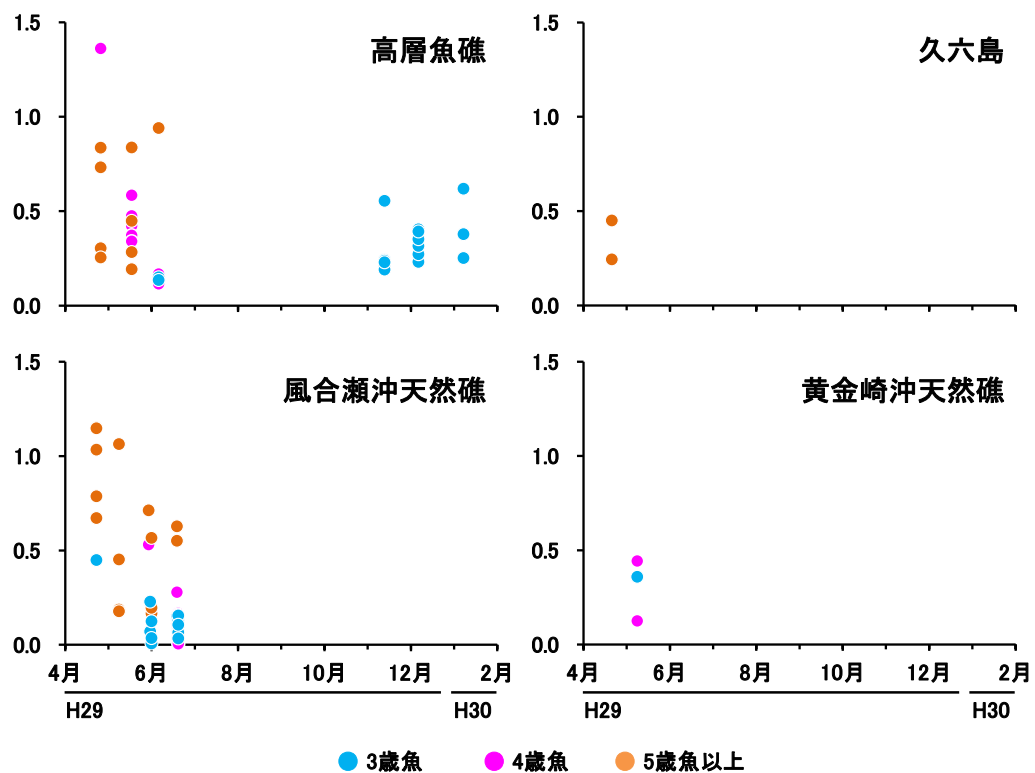


図 7-1 ウスメバル (雌) の GSI の経時変化

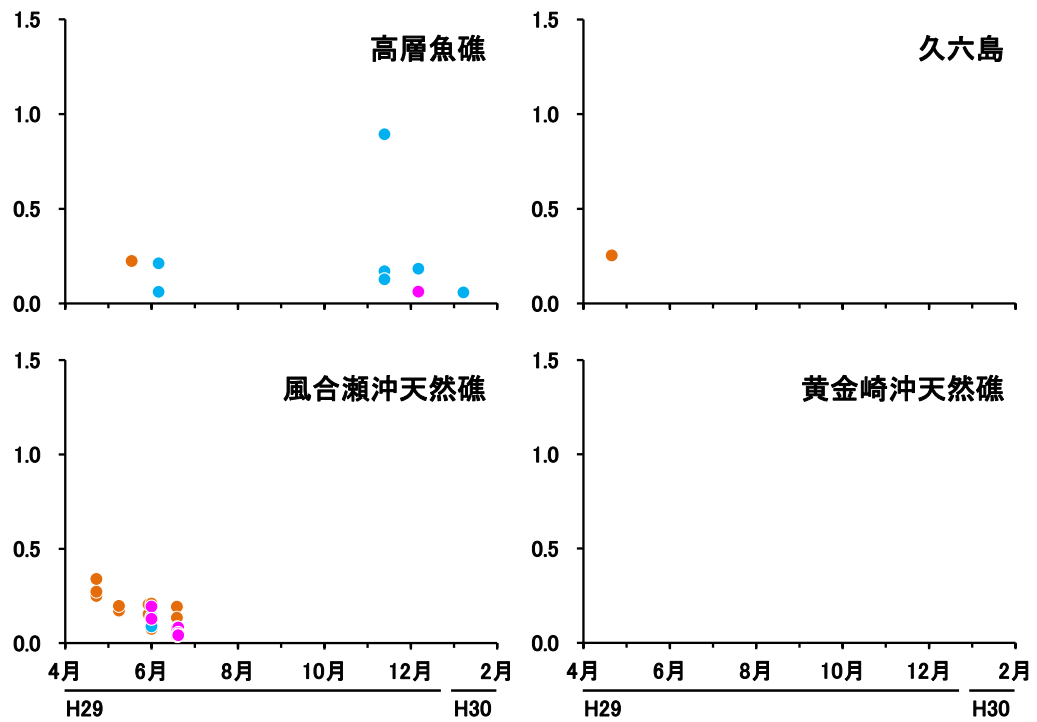


図 7-2 ウスメバル (雄) の GSI の経時変化



写真 7-1 ウスメバル雌の生殖腺



写真 7-2 ウスメバル雄の生殖腺

8. 食性調査

8.1 胃内容物

胃内容物中の組成は、図 8.1-1 に示すとおりである。

ウスメバル 2 歳魚の胃内容物中には、カイアシ類や魚類の鱗片が確認された。3 歳魚では、カイアシ類が優占していた。4 歳魚では、魚類や端脚類、その他の節足動物が含まれ、カイアシ類の出現頻度は減少した。5 歳魚では、カイアシ類はほとんど出現せず、魚類や端脚類、その他の節足動物が優占した。

胃内容物中に出現したカイアシ類の中では、*Neocalanus plumchrus* が優占していた。

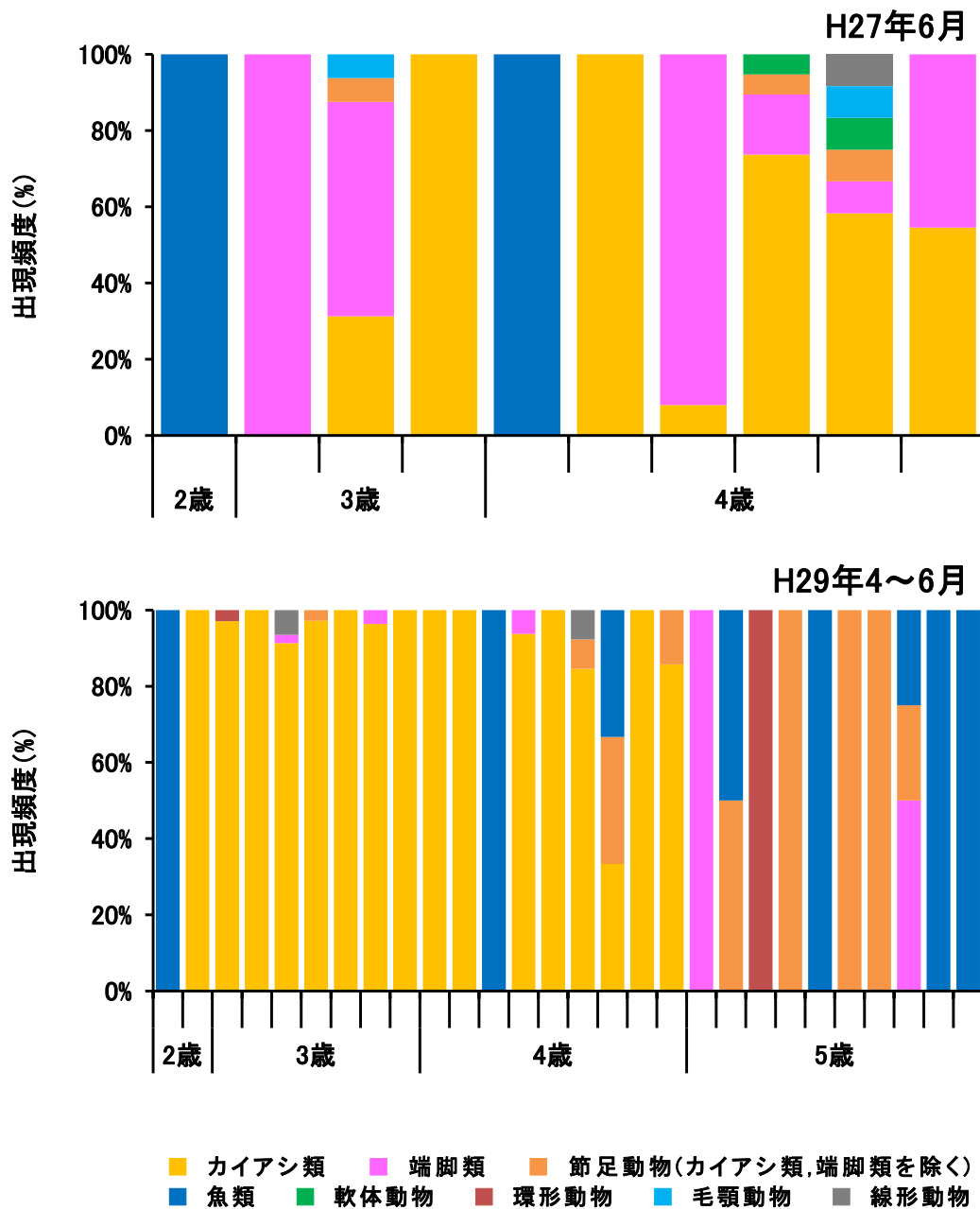


図 8.1-1 ウスメバル胃内容物の組成 (上: H27 年 6 月、下: H29 年 4~6 月)

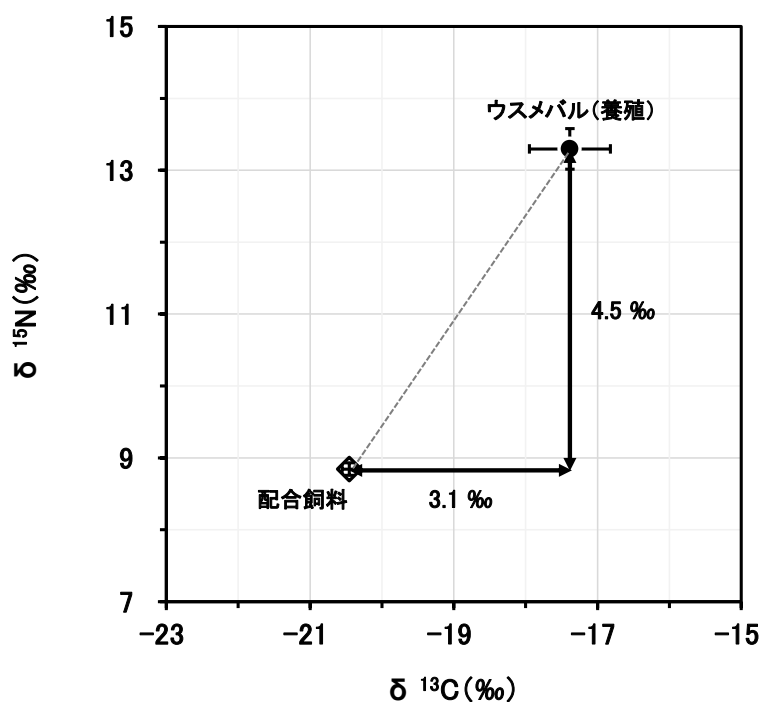
8.2 炭素・窒素安定同位体比

1) 濃縮係数

ウスメバルの養殖個体および飼育に用いられた配合飼料の CN マップは、図 8.2-1 に示すとおりである。

ウスメバル筋肉の炭素・窒素安定同位体比は、それぞれ $-17.4 \pm 0.6\text{‰}$ (Mean \pm SD)、 $13.3 \pm 0.3\text{‰}$ であった (N=6)。配合飼料の炭素・窒素安定同位体比は、それぞれ $-20.5 \pm 0.1\text{‰}$ 、 $8.8 \pm 0.1\text{‰}$ であった (N=3)。

以上より、ウスメバルの濃縮係数は、炭素安定同位体比 3.1‰ 、窒素安定同位体比 4.5‰ と算定された。



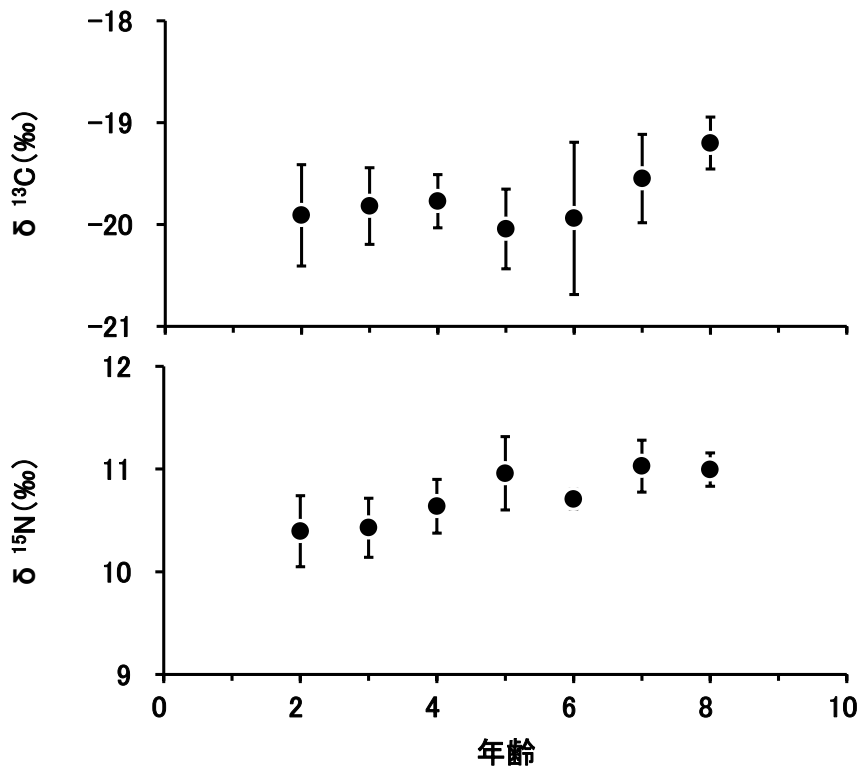
※ I は標準偏差を示す

図 8.2-1 ウスメバルの養殖個体と飼育に用いられた配合飼料の CN マップ

2) 炭素・窒素安定同位体比

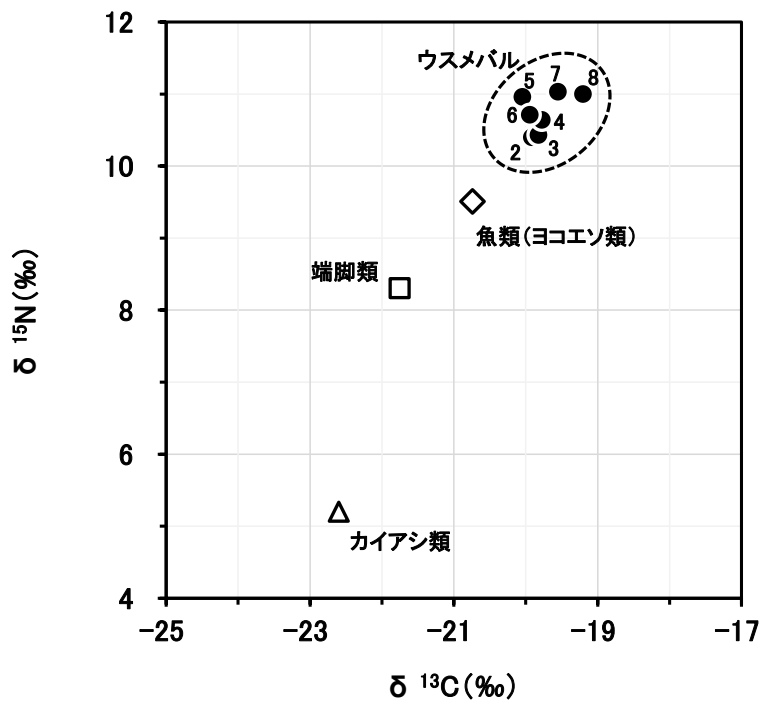
ウスメバルの年齢別の炭素・窒素安定同位体比は図 8.2-2 に、ウスメバルおよび餌料生物の CN マップは図 8.2-3 に示すとおりである。

栄養段階の指標となる窒素安定同位体比は、2、3 歳 10.4‰ 、4 歳 10.6‰ 、5~8 歳 $10.7 \sim 11.0\text{‰}$ であり、3 歳から 5 歳にかけて高くなる傾向を示した。



※ I は標準偏差を示す

図 8.2-2 ウスメバルの年齢別の炭素・窒素安定同位体比



※ 図中の数字はウスメバルの年齢を示す

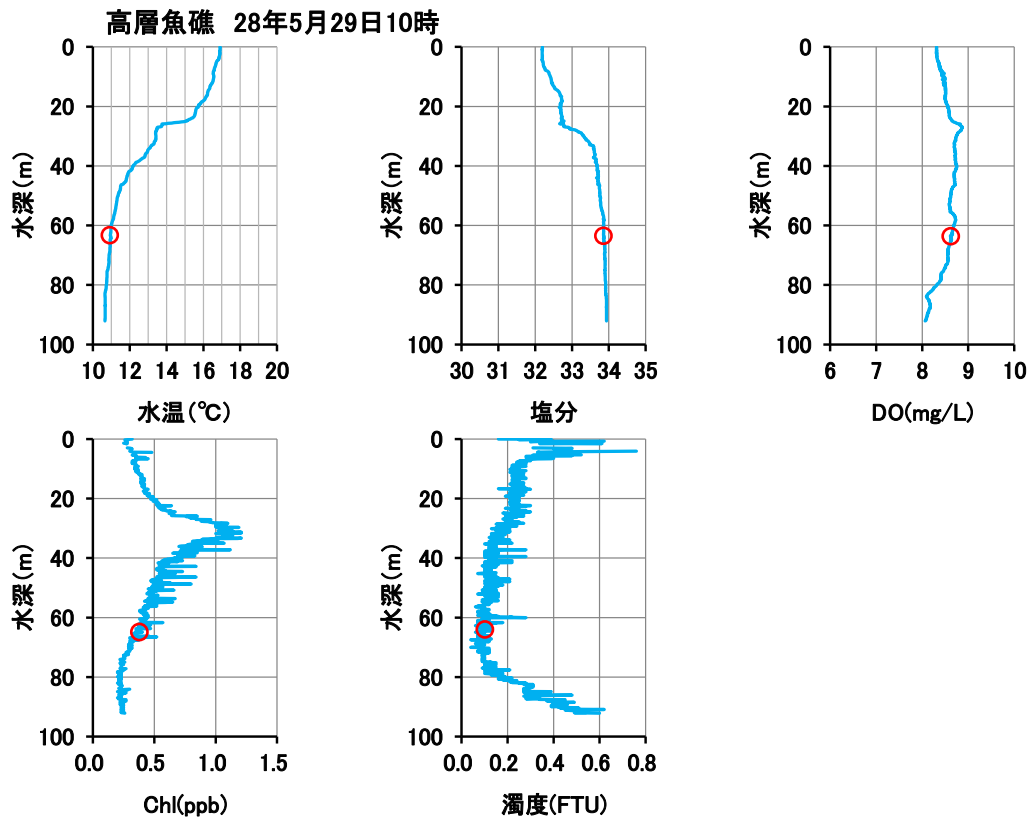
図 8.2-3 ウスメバルおよび餌料生物の CN マップ

9. 生息環境調査

9.1 水質調査

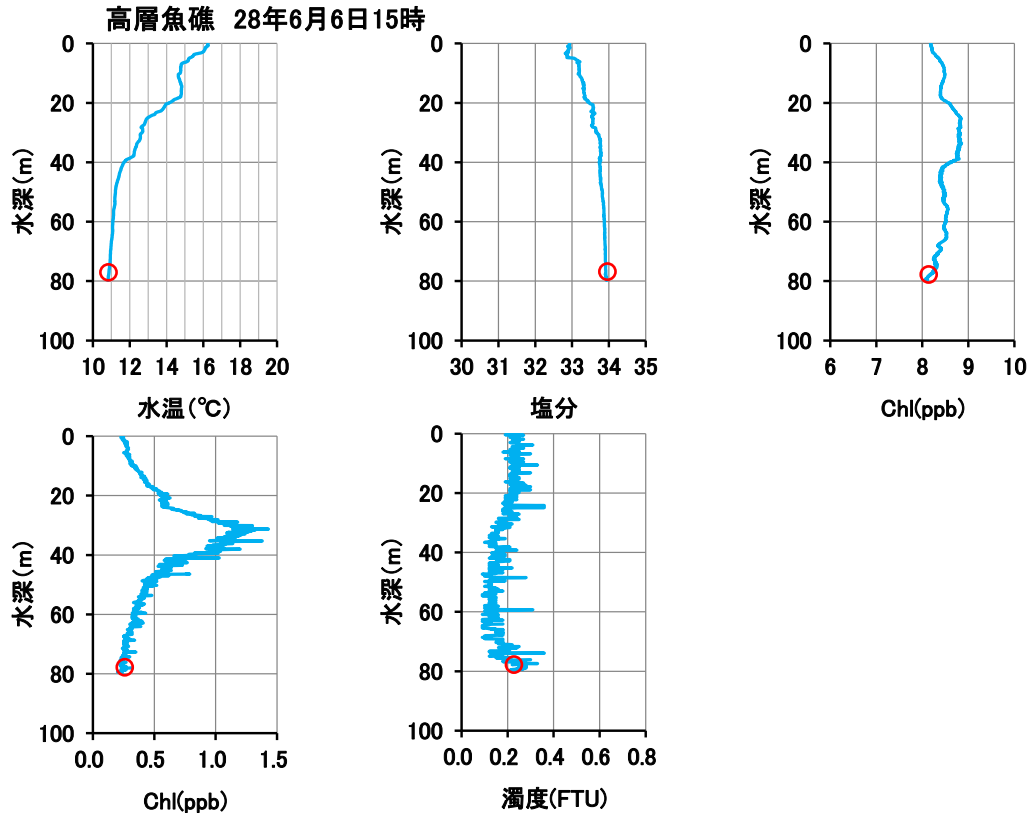
1) 水質の鉛直観測

放流海域における水質の鉛直分布は図 9.1-1 (1)、(2) に、放流海域および滞留海域における水質の鉛直分布は図 9.1-2 (1) ~ (4) に示すとおりである。



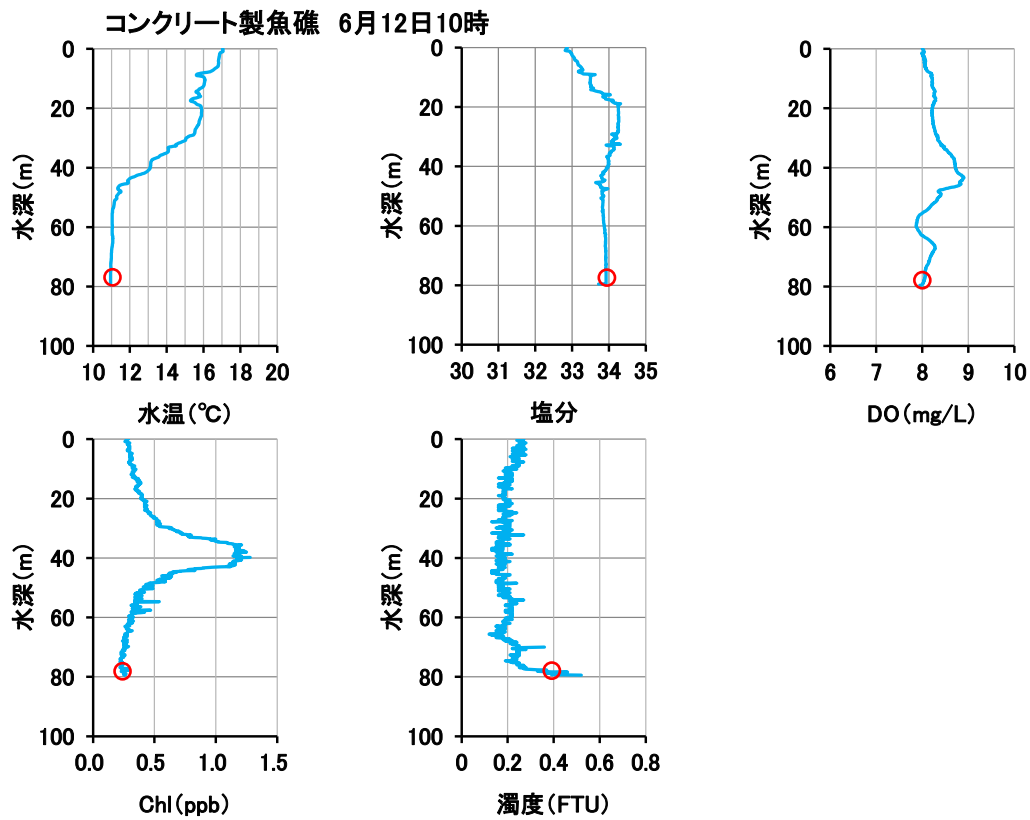
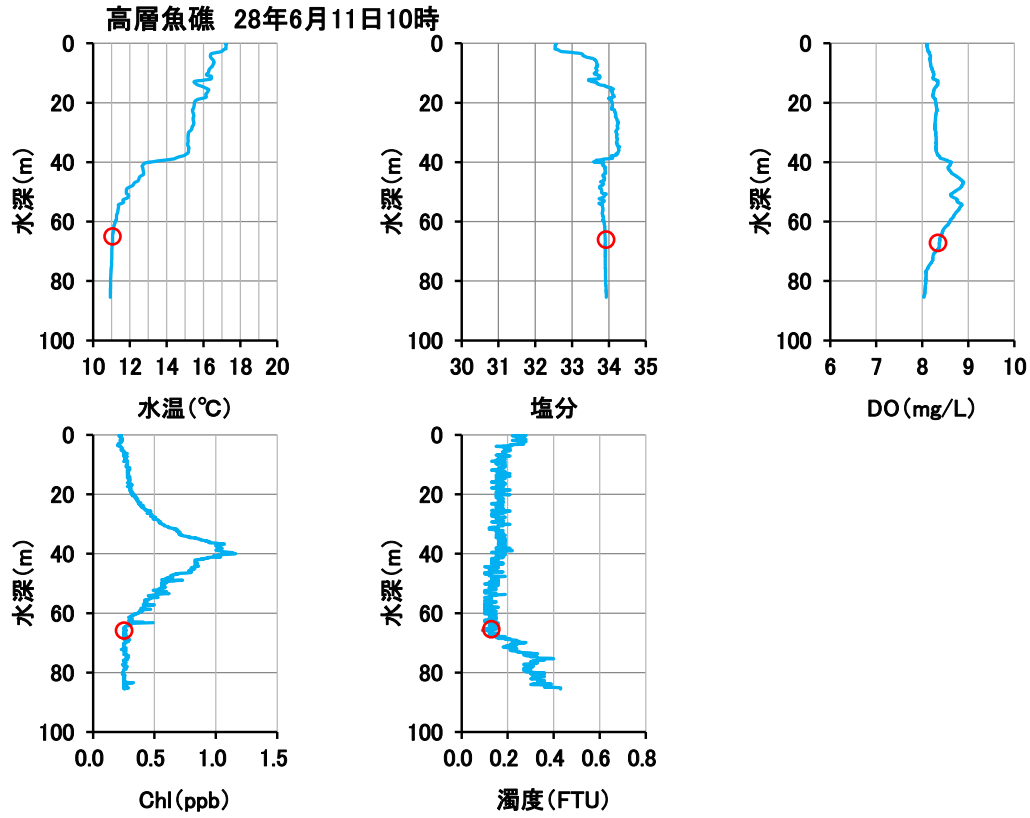
※ ○はウスメバルの遊泳水深を示す

図 9.1-1 (1) 放流海域における水質の鉛直分布 (Case A28-1)



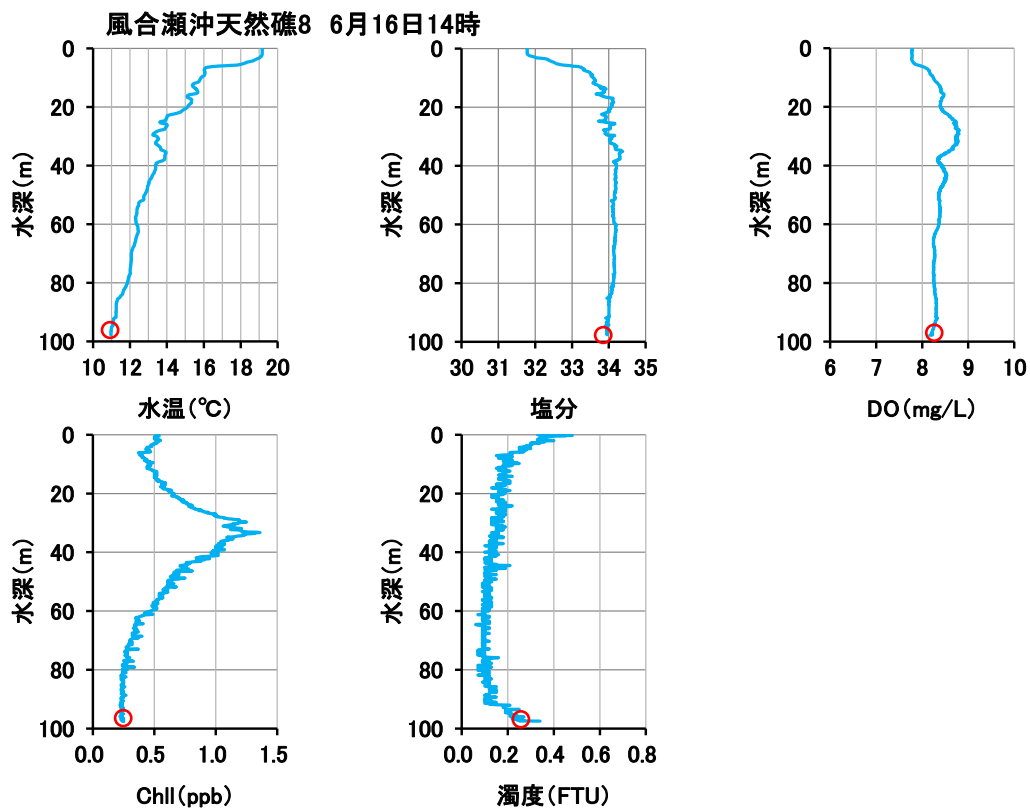
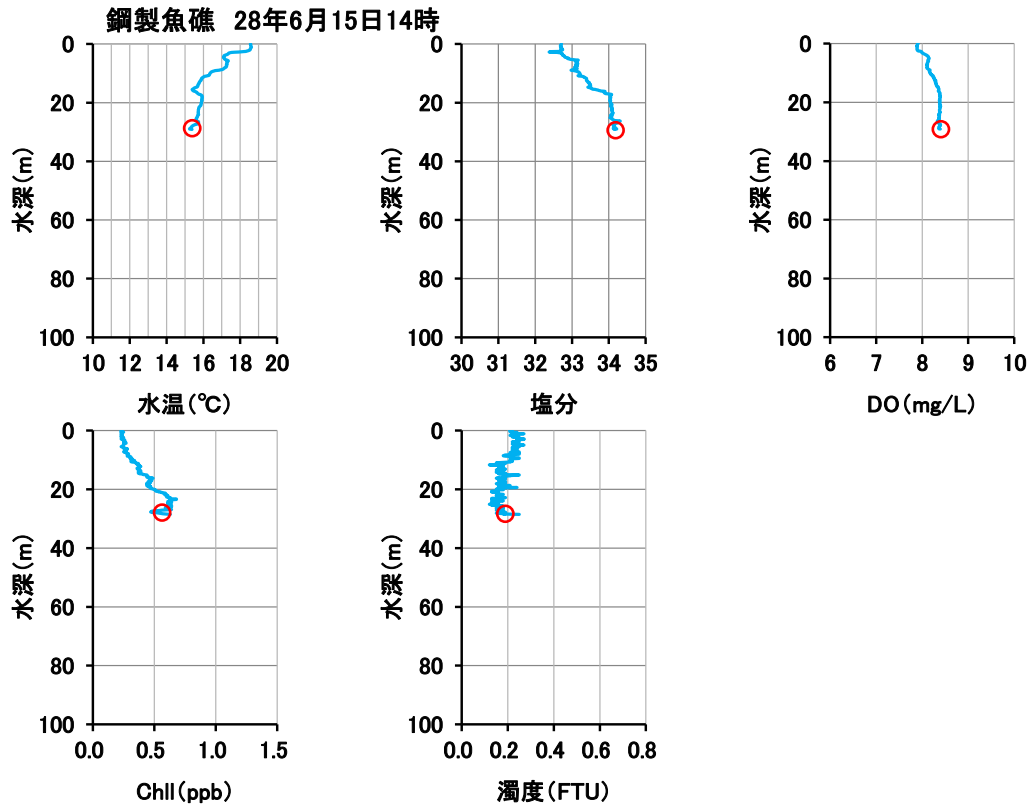
※ ○はウスメバルの遊泳水深を示す

図 9.1-1 (2) 放流海域における水質の鉛直分布 (Case A28-2)



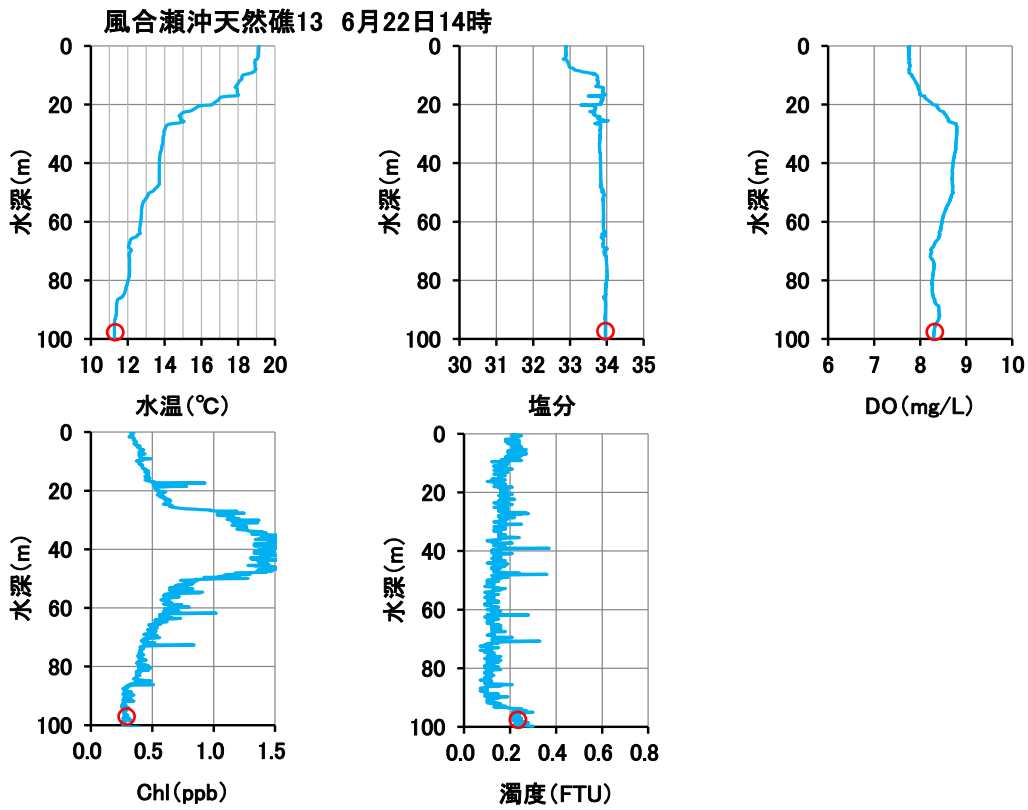
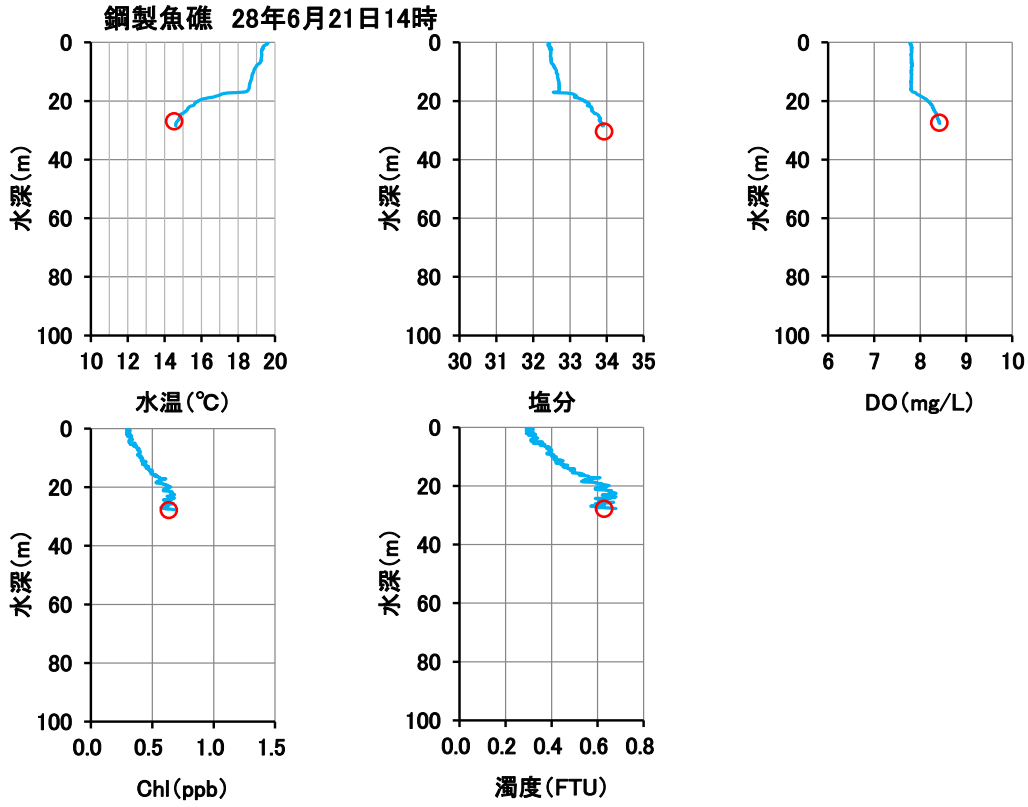
※ ○はウスマバルの遊泳水深を示す

図 9.1-2 (1) 放流海域および滞留海域における水質の鉛直分布 (Case A28-3)



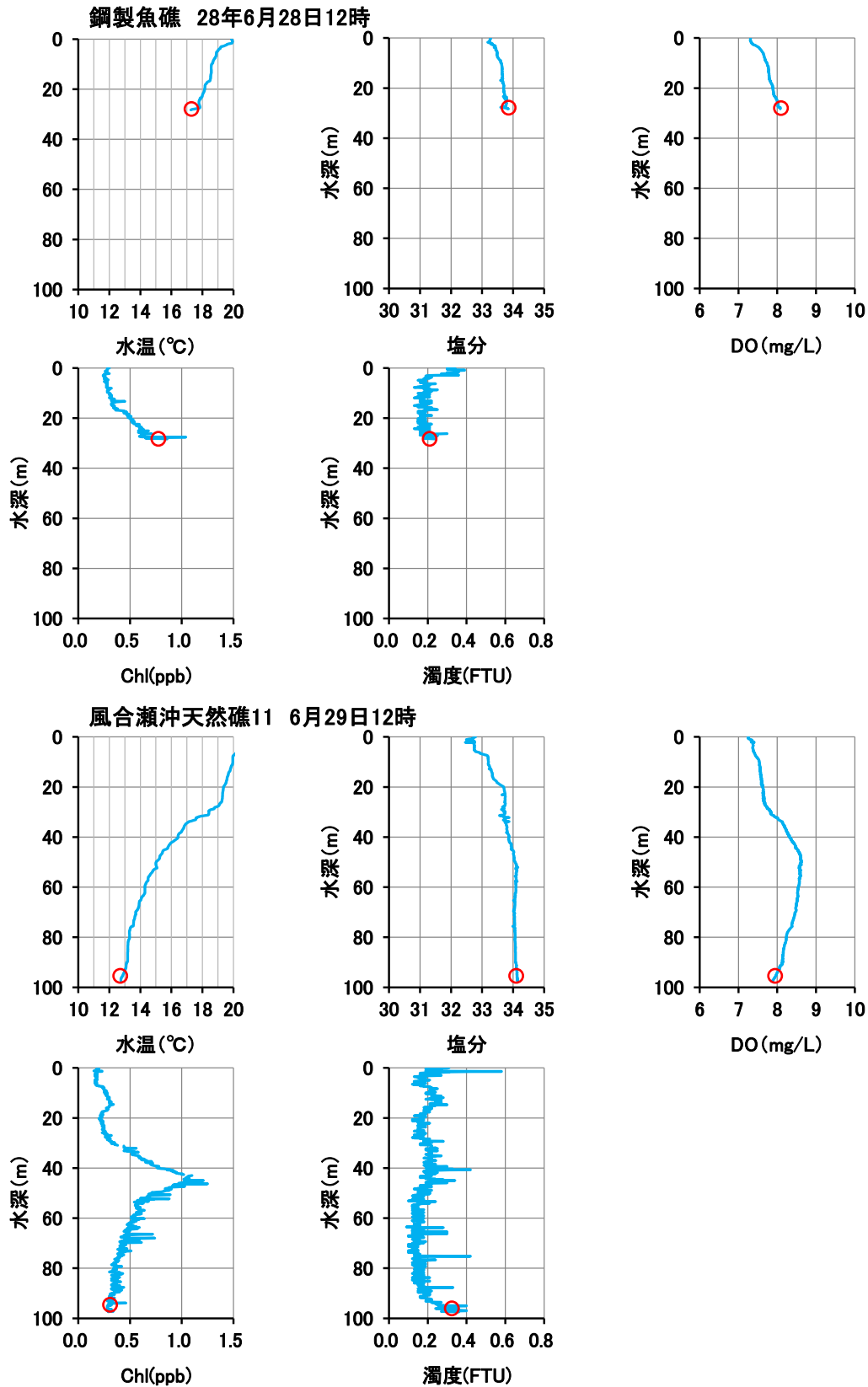
※ ○はウスメバルの遊泳水深を示す

図 9.1-2 (2) 放流海域および滞留海域における水質の鉛直分布 (Case A28-4)



※ ○はウスメバルの遊泳水深を示す

図 9.1-2 (3) 放流海域および滞留海域における水質の鉛直分布 (Case A28-5)



※ ○はウスメバルの遊泳水深を示す

図 9.1-2 (4) 放流海域および滞留海域における水質の鉛直分布 (Case A28-6)

2) 水温の連続観測

高層魚礁（水深 85m）における水温の経時変化は、図 9.1-3 に示すとおりである。

水深 85m の高層魚礁における水温は、平成 28 年 5 月 11℃から上昇し 10 月 19℃となり、29 年 3 月にかけて低下して 9℃となった。6 月頃まで 10℃前後で推移した水温は、8 月にかけて上昇して 18℃となり、10 月に一時的に 5℃程度まで低下したものの、11 月には 17℃まで上昇し、30 年 2 月にかけて低下して 9℃となった。

なお、28 年 6 月 28 日の高層魚礁における水深 85m の水温は 13.3℃、風合瀬沖天然礁における水深 100m の水温は 12.8℃、29 年 6 月 2 日では、それぞれ、11.3℃、11.1℃であり、概ね同じであった（図 9.1-4）。

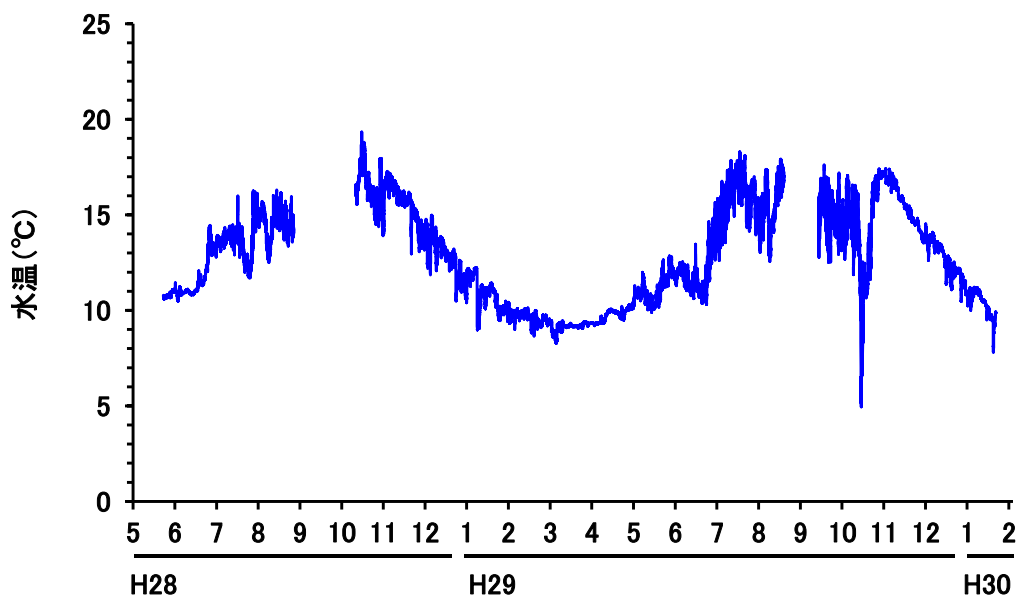


図 9.1-3 高層魚礁（水深 85m）における水温の経時変化

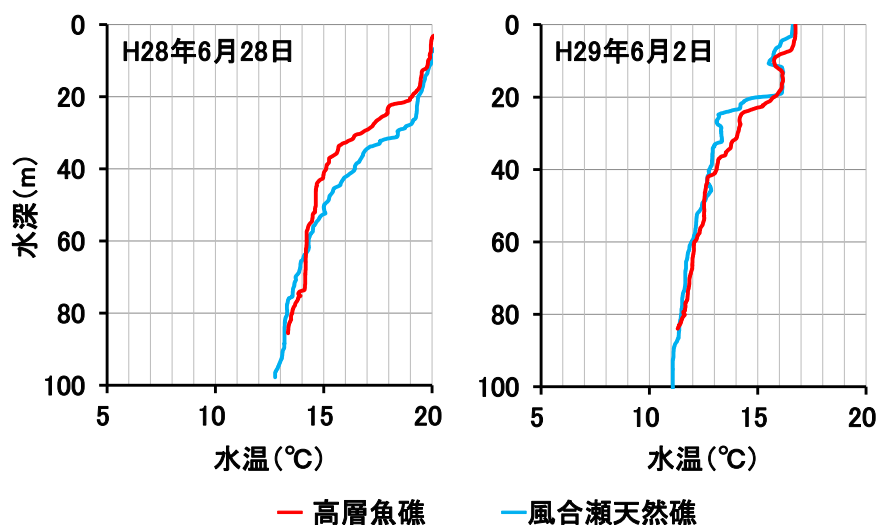


図 9.1-4 高層魚礁（水深 85m）と風合瀬沖天然礁（水深 100m）の水温の鉛直分布

9.2 流況調査

水深 85m 高層魚礁における流況の経時変化は図 9.2-1 に、流向別流速の出現頻度は図 9.2-2 に示すとおりである。

水深 85m 高層魚礁では、北北東～北東の流れが卓越し、次いで南南西～南西の流れの出現頻度が高かった。

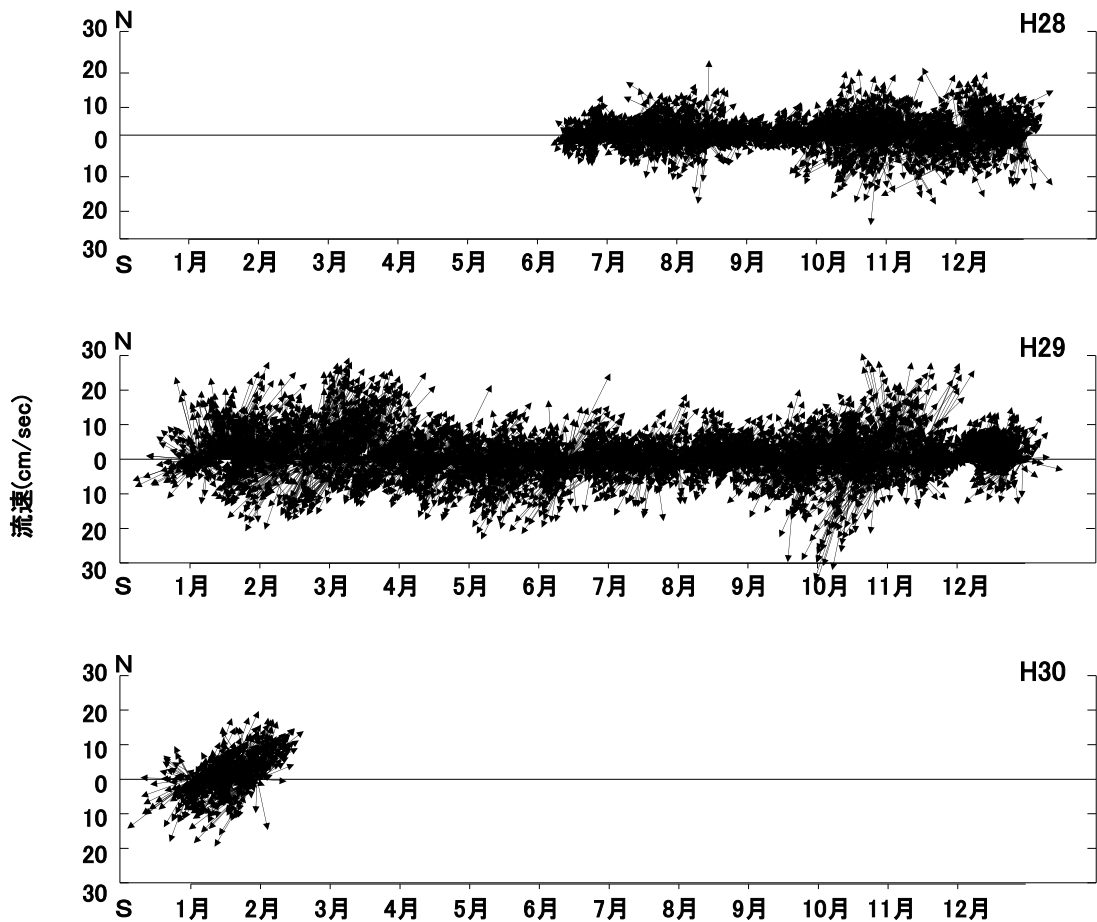


図 9.2-1 高層魚礁（水深 85m）における流況の経時変化

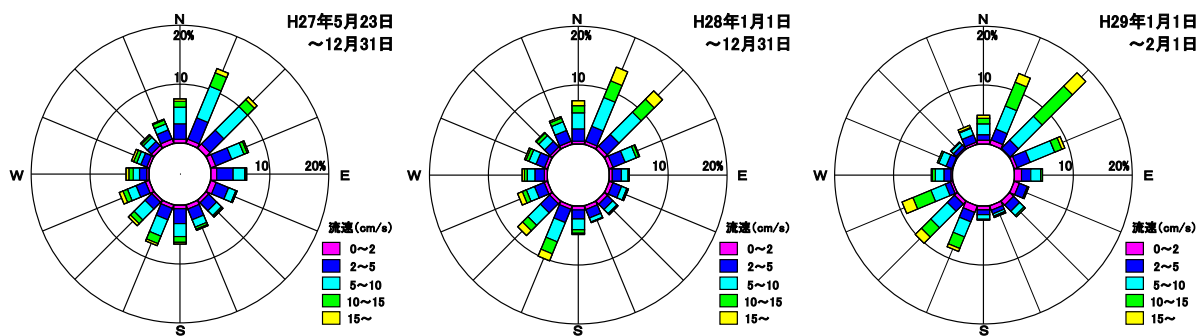


図 9.2-2 高層魚礁（水深 85m）における流向別流速の出現頻度

9.3 既存資料の収集と整理

JADE2¹⁰⁾ データを基に作成した、青森県深浦町地先における海底の水温分布の季節変化は、図 9.3-1 に示すとおりである。

当該海域における海底水温は、1月から4月にかけて概ね全域で9~11℃である。5月頃から徐々に海底の水温は上昇し始め、7月に水深30mまで分布していた18~21℃の水温帯は、沖方向に延伸し、10月には水深50mまで分布する。その後、水温は低下し、水深50mでは11月15~18℃、12月11~13℃となる。

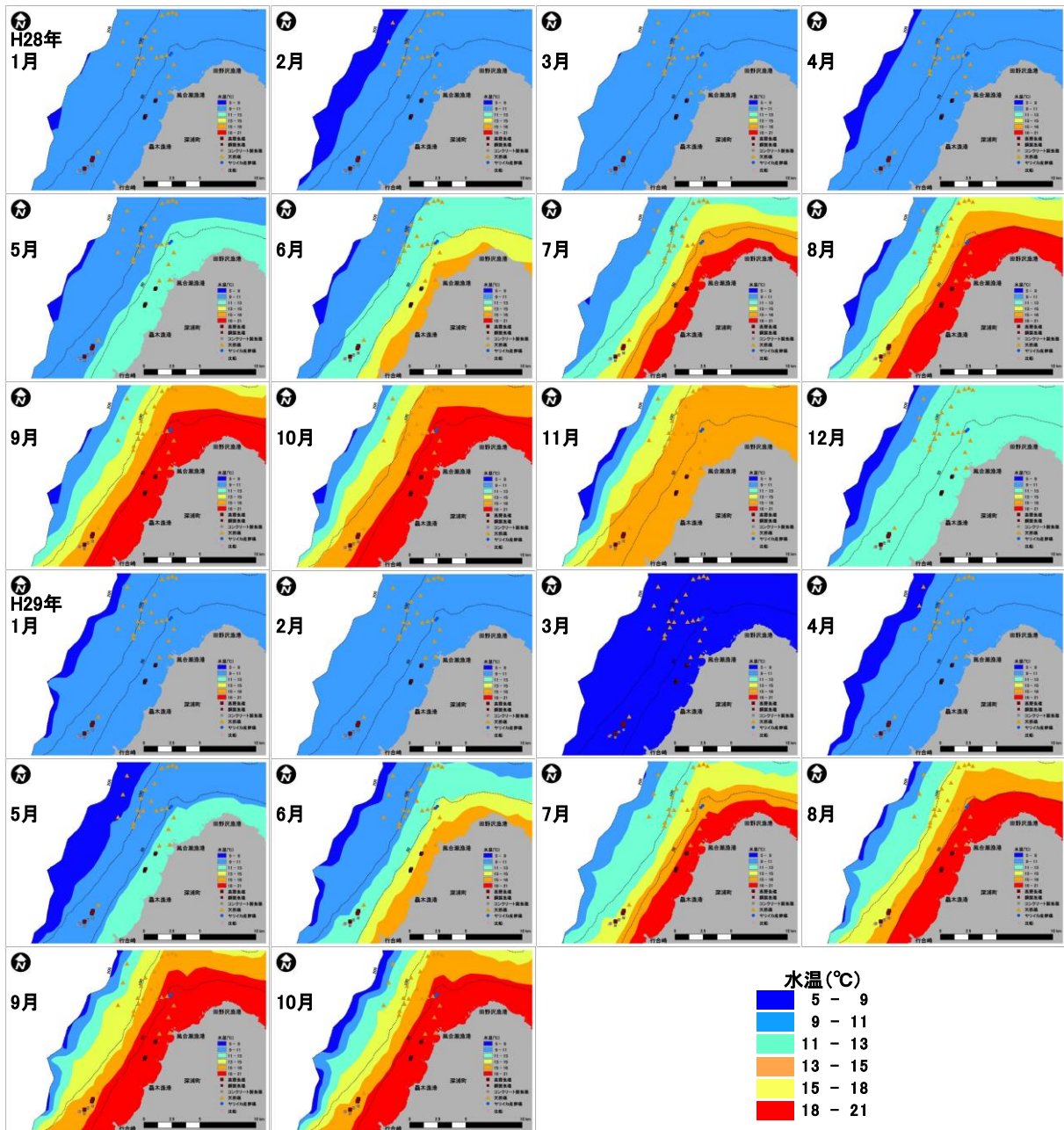


図 9.3-1 調査海域における海底の水温分布の季節変化 (JADE2¹⁰⁾ データを基に作成)

VII 考察

1. 魚礁性

ウスメバルの漁場は沖合の天然礁が主体となっている¹⁵⁾³⁴⁾ことや、人工魚礁においてもウスメバルの蝟集が確認されている³⁵⁾。本調査の漁獲調査においても、高層魚礁および天然礁で、3~4歳魚を中心としたウスメバルが採捕された。

3歳魚の滞留海域および滞留期間についてみると、設置型調査により、29年6月に鋼製魚礁（水深30m）で放流した後、採捕海域である天然礁（水深98m）に移動し、30年2月まで滞留することが確認された。また、28年6月に高層魚礁（水深85m）および鋼製魚礁（水深30m）で放流したウスメバル3歳魚は、受信機を回収した8月まで採捕海域である天然礁（水深98m）に滞留し、同海域に再び受信機を設置した29年4月から電池寿命となる10月までの期間、4歳になっても滞留することが確認された。

4歳魚以上の滞留海域については、追跡型調査において、日の入りまで放流した高層魚礁（水深85m）や鋼製魚礁（水深30m）に滞留した後、1~7km程度離れた天然礁（水深80~100m）やコンクリート製魚礁（水深80m）に移動し、滞留することが確認された。また、設置型調査により、4歳魚が放流海域である高層魚礁に28年6月から11月までの期間滞留することが確認された。

なお、ウスメバル3歳魚および4歳魚以上が滞留した期間中の高層魚礁（水深85m）における水温は9~19℃であり、殆どの期間において既往知見による好適水温帯の範囲内であった（図9.3-1）。

このように、ウスメバルは長期間にわたり、天然礁や人工魚礁によく集まる種類であることが示された。また、特に3歳魚では、帰巢能力を有することが示唆された。

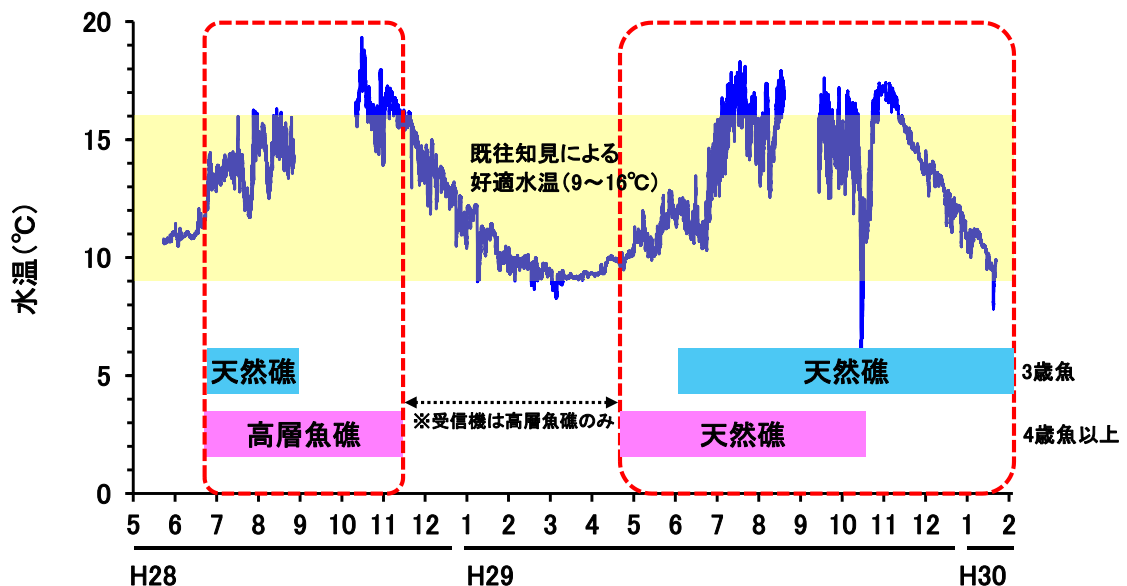


図 9.3-1 ウスメバルの滞留期間と水温

2. 生息環境に対するウスメバルの行動

2.1 水温と遊泳水深

追跡型調査時における、放流海域および滞留海域の水温の鉛直分布は、図 2.1-1 に示すとおりである。

平成 28 年 5 月 29 日、6 月 6、11 日に水深 85m の高層魚礁で放流した 4 歳以上のウスメバルは、高層魚礁に滞留している間、天端から下段までを遊泳した。このときの水温は、天端（水深 65m）から下段（水深 85m）まで 11℃であった。また、日の入り後に高層魚礁を離脱して海底上方を遊泳移動し、ウスメバルが滞留したコンクリート製魚礁（水深 80m）や天然礁（水深 98m）における遊泳水深の水温も、概ね 11℃であった。

一方、28 年 6 月 15、21、28 日に水深 30m に設置された高さ 10m の鋼製魚礁で放流した際の水温は、天端（水深 20m）で 16~18℃、下段（水深 30m）で 15~17℃であり、日の入りまで鋼製魚礁に滞留している間、ウスメバルは鋼製魚礁の下段（水深 30m）に定位した。日の入り後に鋼製魚礁を離脱して海底を遊泳移動した天然礁（水深 98m）における遊泳水深の水温は、概ね 11℃であった。

3 歳以上のウスメバルの好適水温は、9~16℃とされている。水深 30m の鋼製魚礁では天端を遊泳せずに下段に留まり続けたのは、天端の水温が好適水温に対して高く、より水温の低い底層に定位したことによると考えられる。さらに、鋼製魚礁で放流した 4 歳以上のウスメバルが、放流日の夜間に水深 98m の天然礁に移動したのも、より好適な水温を求めて移動したことによると考えられる。

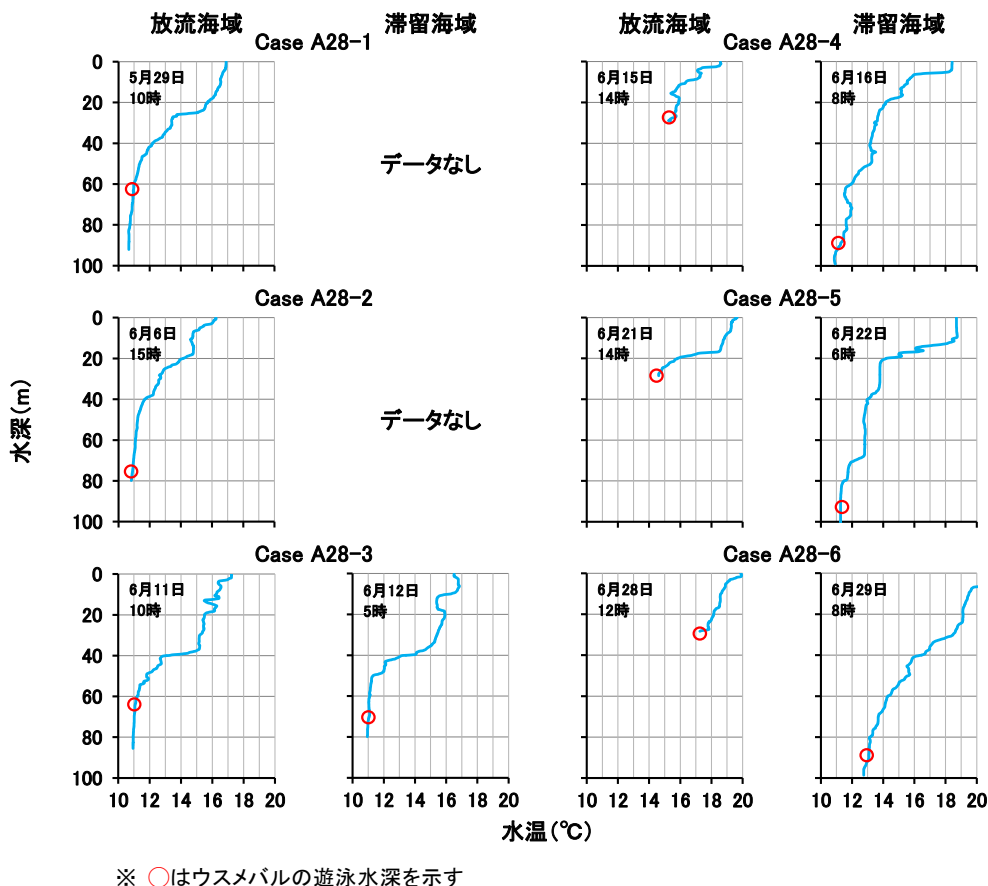


図 2.1-1 放流海域および滞留海域におけるウスメバル遊泳水深の水温

設置型調査において、ウスメバルが水深 100m の風合瀬沖天然礁 13 に滞留している期間における遊泳水深と水温の経時変化は、図 2.1-2 に示すとおりである。なお、当該海域の水温は、鉛直観測の比較より、高層魚礁（水深 85m）の水温と概ね一致していたことから、ここでは、連続観測を実施した高層魚礁の水温を示す。

水温は平成 29 年 7 月 1 日の 10℃から徐々に上昇し、7 月 18 日から 7 月 31 日には 16℃以上となった。ウスメバルの遊泳水深は、7 月 1 日の 90m から徐々に深くなり、7 月 22 日から 8 月 5 日頃まで 105m となった。これは、上述の移動と同様に、滞留海域においても水温が上昇すると、ウスメバルは好適な水温帯を求め、15m 程度深い海域に移動したものと考えられた。

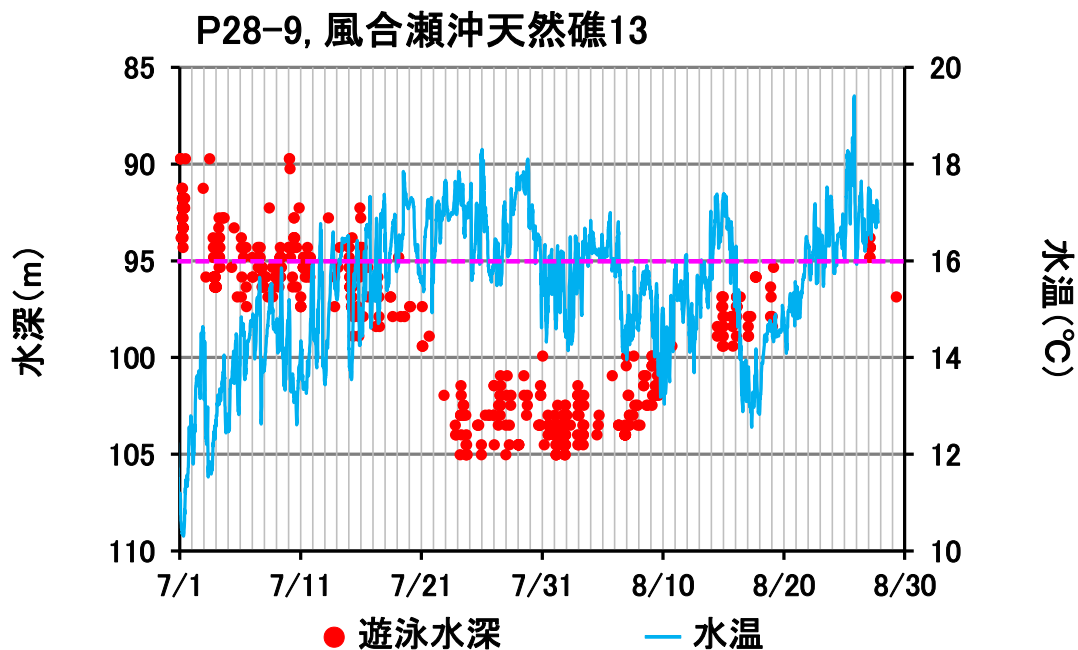


図 2.1-2 水温上昇に伴うウスメバルの遊泳水深の変化

2.2 流れと移動

追跡型調査におけるウスメバルの放流地点からの移動距離と流速の関係は、図 2.2-1 に示すとおりである。

水深 85m の高層魚礁で放流した追跡型調査では、ウスメバルの移動方向と流向は南北方向、東西方向とも一致していた。

水深 30m の鋼製魚礁で放流した追跡型調査では、南北方向について移動方向と流向は一致していた。Case A28-5、A28-6 では鋼製魚礁を離脱した際、流向は東であったのに対し、ウスメバルは沖（西）に向かって移動した。これは、放流した際の水温がウスメバルの好適水温に対して高く、水温が低い沖に向かって移動したものと考えられる。

このようにウスメバルが魚礁に来遊するために重要なウスメバルの遊泳水深や移動方向は、水温および流れと強く関係していることが示唆された。

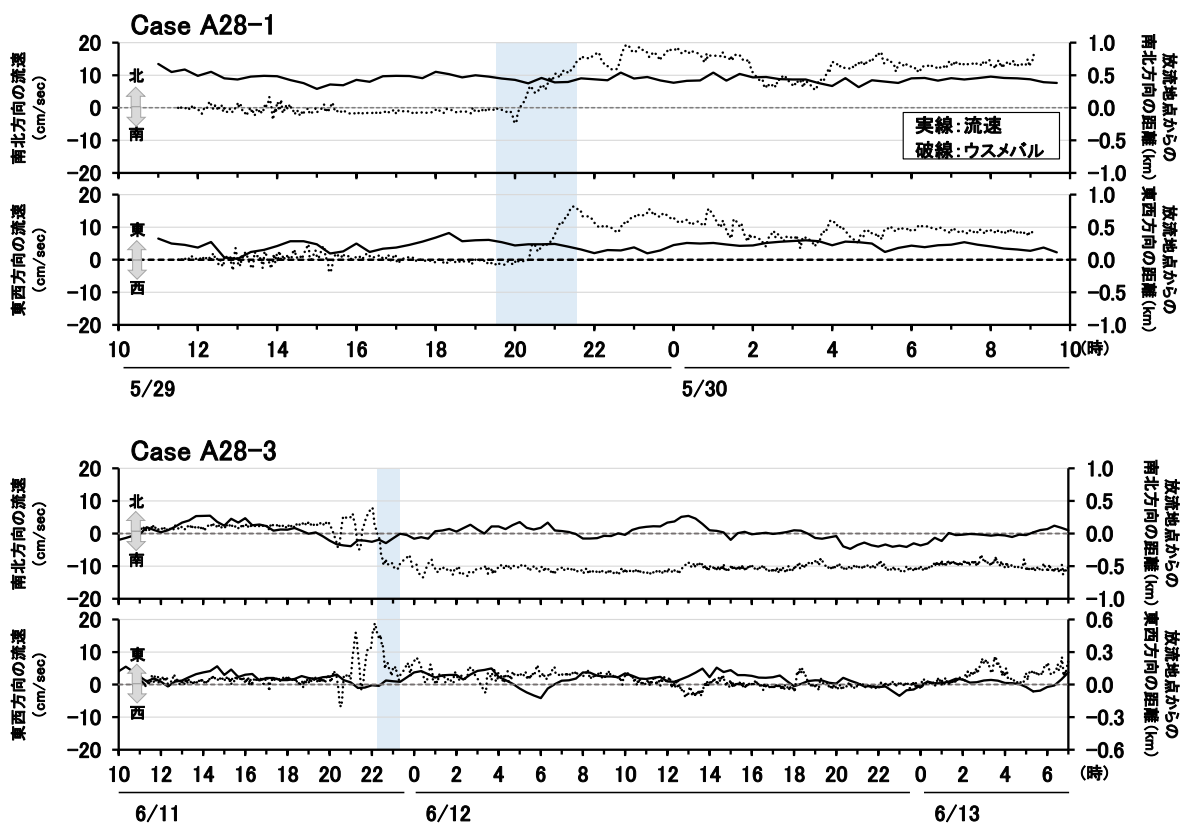


図 2.2-1 (1) ウスメバルの移動と流れとの関係 (Case A28-1、3)

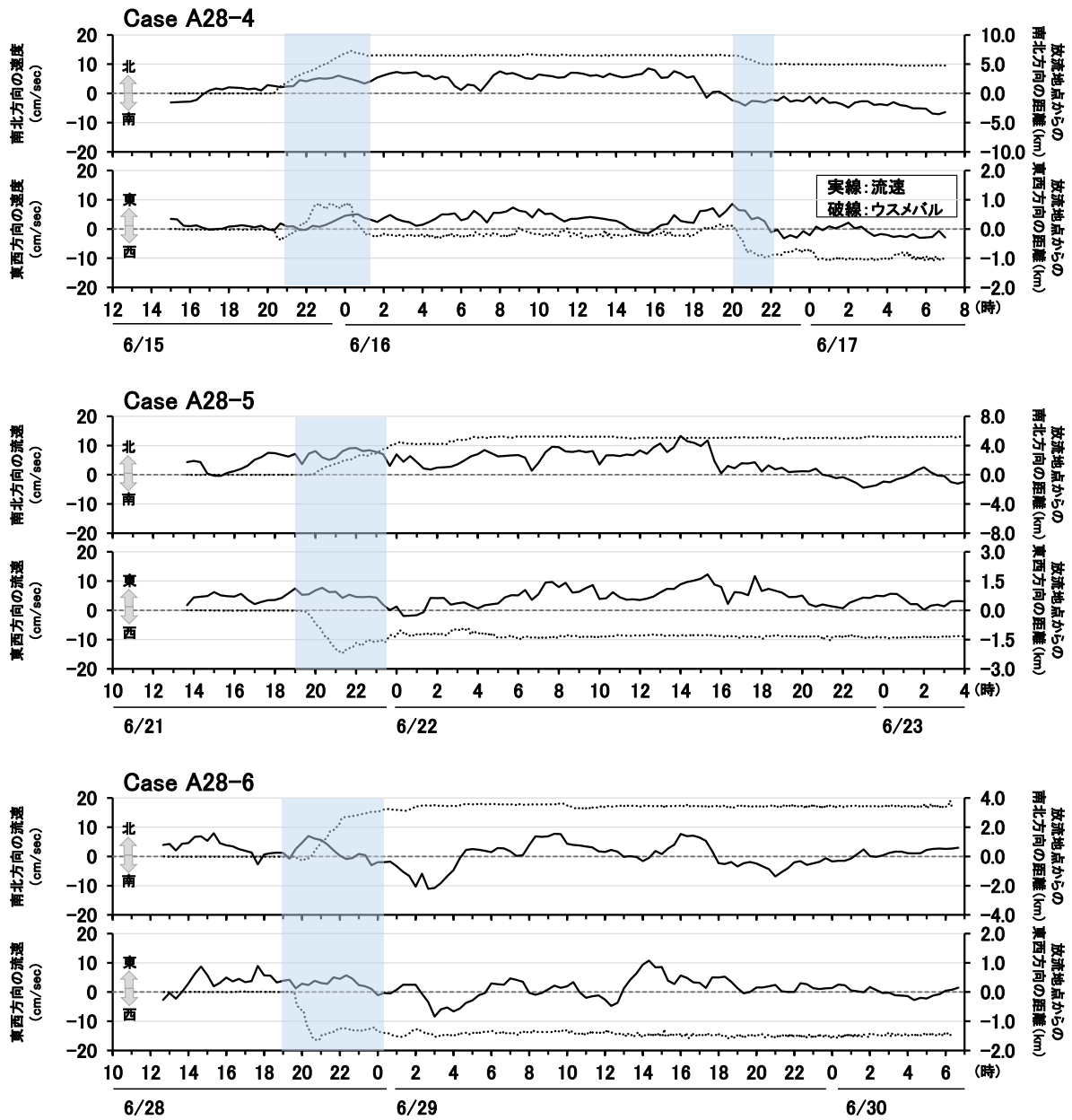
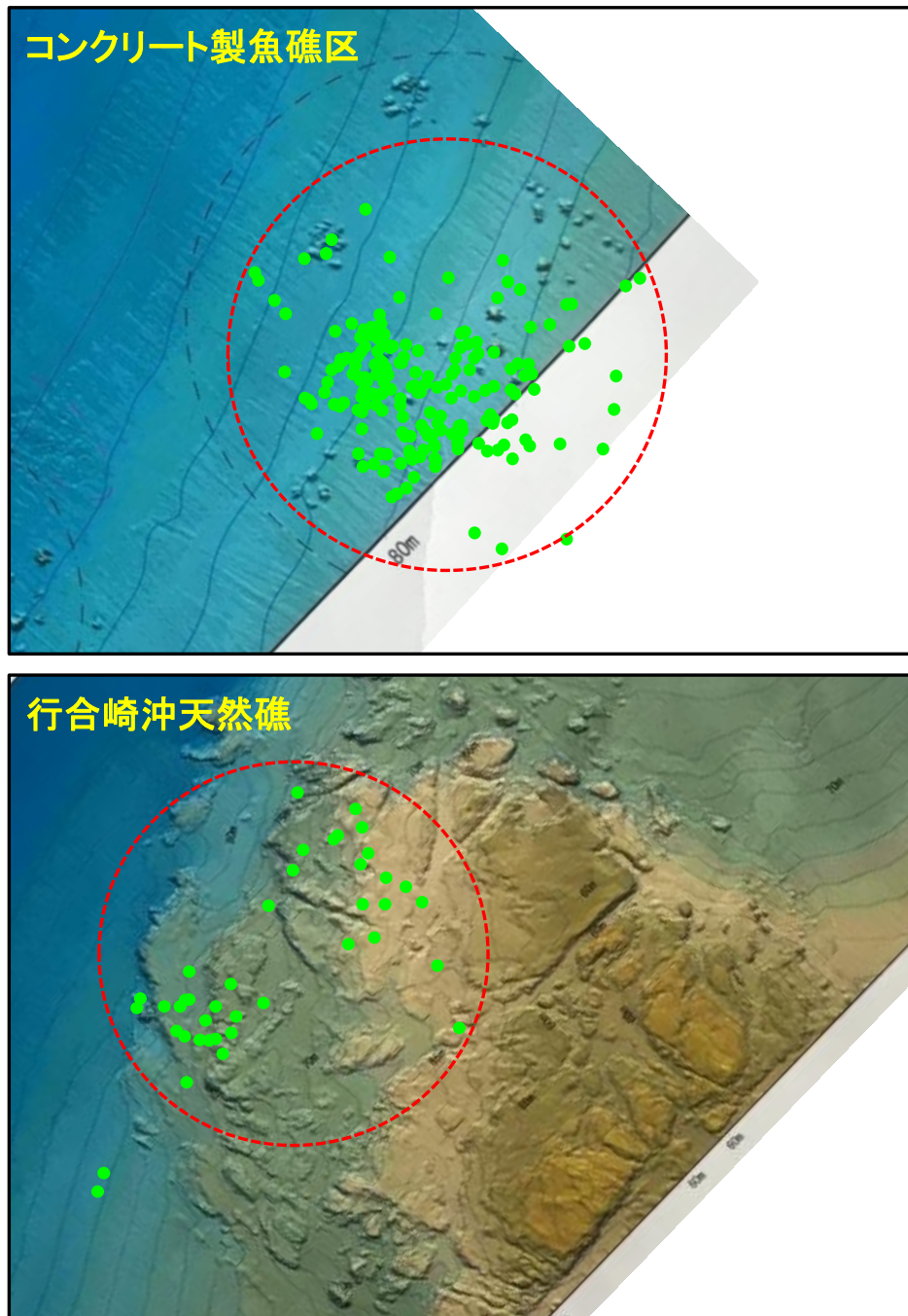


図 2.2-1 (2) ウスメバルの移動と流れとの関係 (Case A28-4~6)

3. 魚礁とその周辺における分布と行動

3.1 魚礁における成魚の分布

追跡型調査において、ウスメバルは水深 80m のコンクリート製魚礁区に滞留している間、300m 程度の範囲を移動した（図 3.1-1）。水深 80m の行合崎沖天然礁においてもウスメバルは、300m 程度の範囲を移動し、高さ 5~10m 程度の天然礁の駆け上がり部に分布する傾向がみられた。



- ※ ●は受信強度が高かった時の受信機（調査船）の一を示す
- ※ 海底地形図は、青森県平成 24 年度赤石・風合瀬地区（深浦）水産環境整備測量より

図 3.1-1 魚礁におけるウスメバルの分布範囲

3.2 幼稚魚の分布域

魚類の耳石の酸素安定同位体比は、一般的に水温と負の相関があるとされる。漁獲調査により採捕されたウスメバルの耳石の酸素安定同位体比は、同じ年級群間において、個体が異なっても概ね同じ値であった。また、異なる年級群においても、同年齢時では、酸素安定同位体比は概ね同じ値であった。このことは、個体や年級群に関わらず、ウスメバルの経験水温は、年齢によって変化することを示している。

水温と耳石の酸素安定同位体比の関係は、これまで水槽実験により様々な魚種について示されている^{36) 37) 38) 39) 40)}ものの、ウスメバルについての知見はない。そこで、ウスメバルの採捕海域と同じ日本海で、底魚のハタハタを対象にした水温と耳石の酸素安定同位体比の関係(図 3.2-1)⁴⁰⁾を参照し、ウスメバルの酸素安定同位体比から経験水温を推定した。

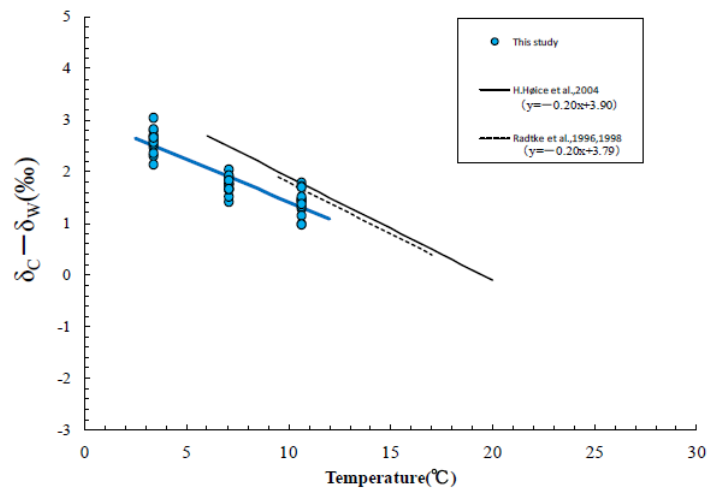


図 3.2-1 ハタハタの飼育水温と耳石酸素安定同位体比の関係⁴⁰⁾

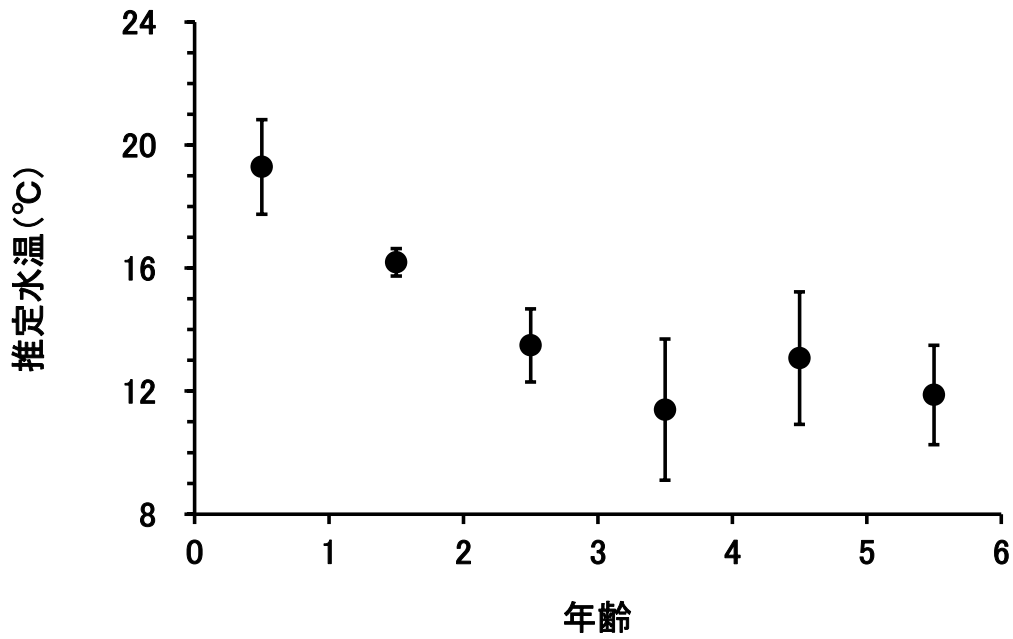
耳石の酸素安定同位体比より推定した、ウスメバルの経験水温は、図 3.2-2 に示すとおりである。

ウスメバルの年齢ごとの経験水温は、年平均で0歳 19°C、1歳 16°C、2歳 14°C、3~5歳 11~13°Cと推定され、ウスメバルの経験水温は、0歳から3歳にかけて段階的に低下することが示唆された。

漁獲調査では、2歳から3歳にかけて分布水深が深くなることが示されており、酸素安定同位体比から推定される経験水温の変化を裏付けるものであった。また、設置型調査によりウスメバル3歳魚がほぼ通年滞留することが確認された水深100mにおける年間平均水温は、概ね12.5°Cであり、耳石酸素安定同位体比より推定された経験水温と概ね一致していた。

調査海域における海底の水温分布の季節変化を考慮すると、耐温性の低いウスメバル稚魚⁴¹⁾は、着底後、7月から10月頃にかけて水温が上昇する時期に沖方向に移動すると考えられる。移動した海域に翌年の春まで滞留し、再び水温が上昇する秋季にかけて、さらに沖方向に移動する。この移動を3歳まで繰り返すものと考えられる。

海底の年間平均水温の分布は、図 3.2-3 に示すとおりである。1歳魚の推定経験水温16°Cを含む水温帯は水深約30mまで、2歳魚の推定水温14°Cを含む水温帯は水深30~70mまで、3歳魚の推定水温11~13°Cの水温帯は水深70~120mまで分布する。



※ 1は標準偏差を示す

図 3.2-2 成長に伴う経験水温（推定値）の変化

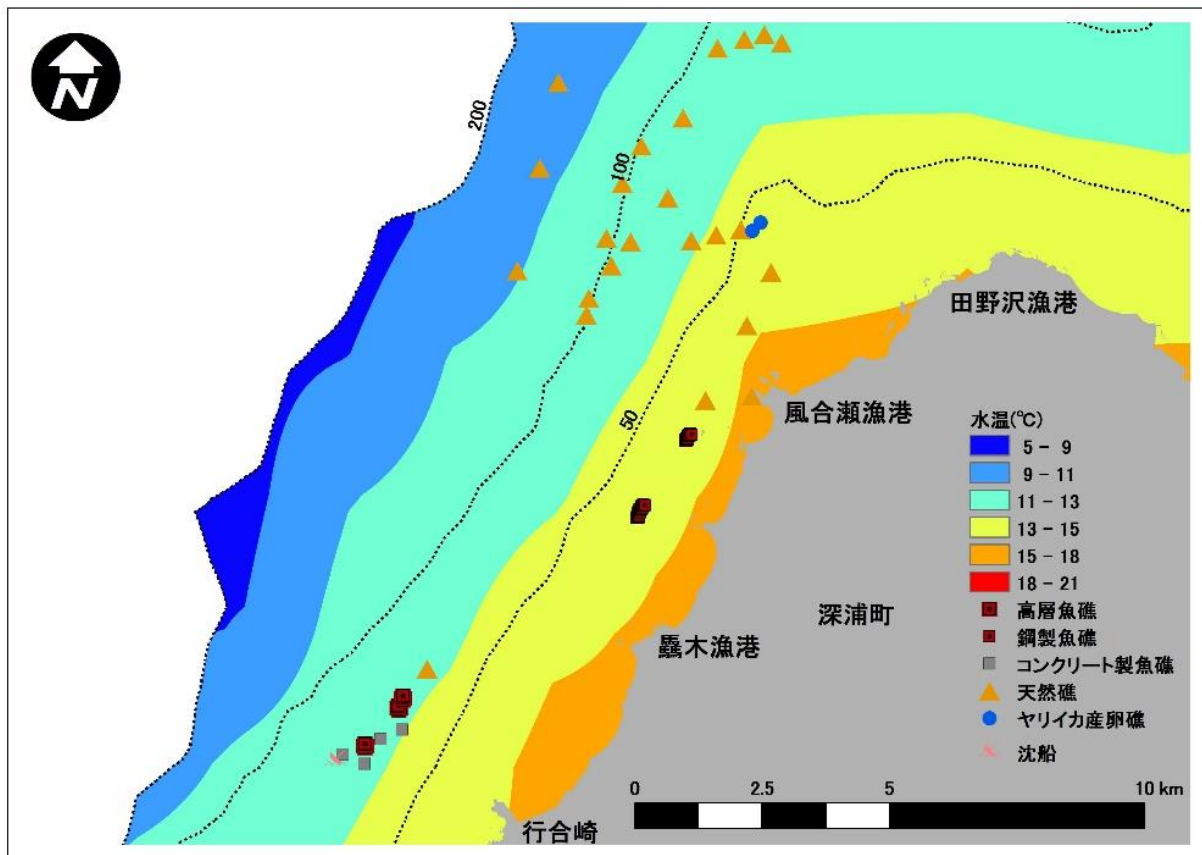


図 3.2-3 調査海域における海底の年間平均水温（JADE2¹⁰ データを基に作成）

3.3 日周期行動

天然礁およびコンクリート製魚礁に滞留したウスメバルの遊泳水深についてスペクトル解析を行った結果、4歳魚以上では、遊泳水深に24時間および12時間の周期性が示された(図3.3-1)。また、日中(6時~18時)と夜間(18時~6時)の遊泳水深には、有意差がみられ(マン・ホイットニーのU検定, $p < 0.05$)、夜間に遊泳水深が5~10m浅くなった。

3歳魚についても遊泳水深に24時間および12時間の周期性が示され(図3.3-2)、日中と夜間の遊泳水深に、有意差がみられた(マン・ホイットニーのU検定, $p < 0.05$)。ただし、4歳魚以上では夜間に遊泳水深が5~10m浅くなるのに対し、3歳魚では日中に5~10m浅くなる。

このような年齢による日周期行動の違いについては、同一の個体でも3歳時(28年7月)では日中に、4歳時(29年7月)では夜間に遊泳水深が浅くなるのが3個体において示されており、成長に伴って日周期行動が変化することが示唆された(図3.3-3)。

高層魚礁における計量魚探調査では、海底および高層魚礁の天端より5~10m上方で、日中に3歳魚を主体とする魚群が形成された。このことから、バイオテレメトリー調査によって把握された年齢による個体の行動の違いは、魚群としても同様の行動であることが示唆された。

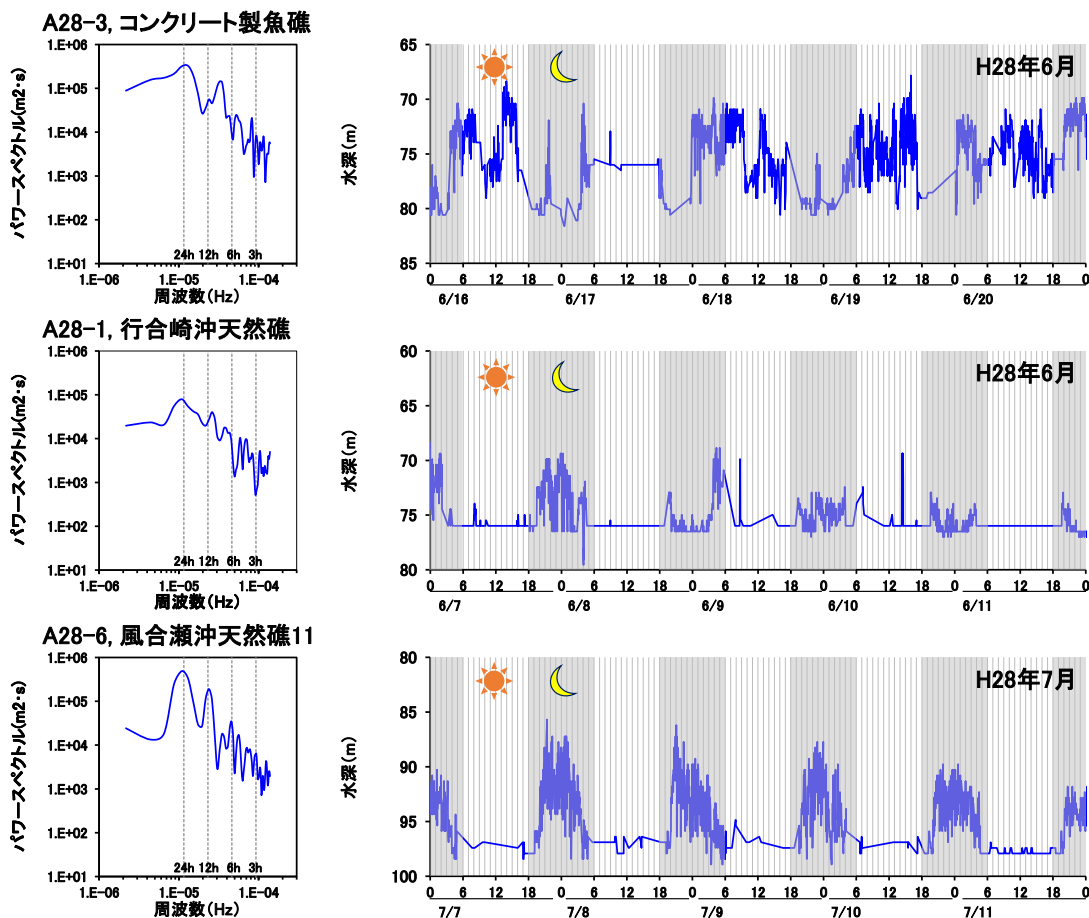


図 3.3-1 遊泳水深のスペクトルおよび5日間の経時変化(4歳魚以上)

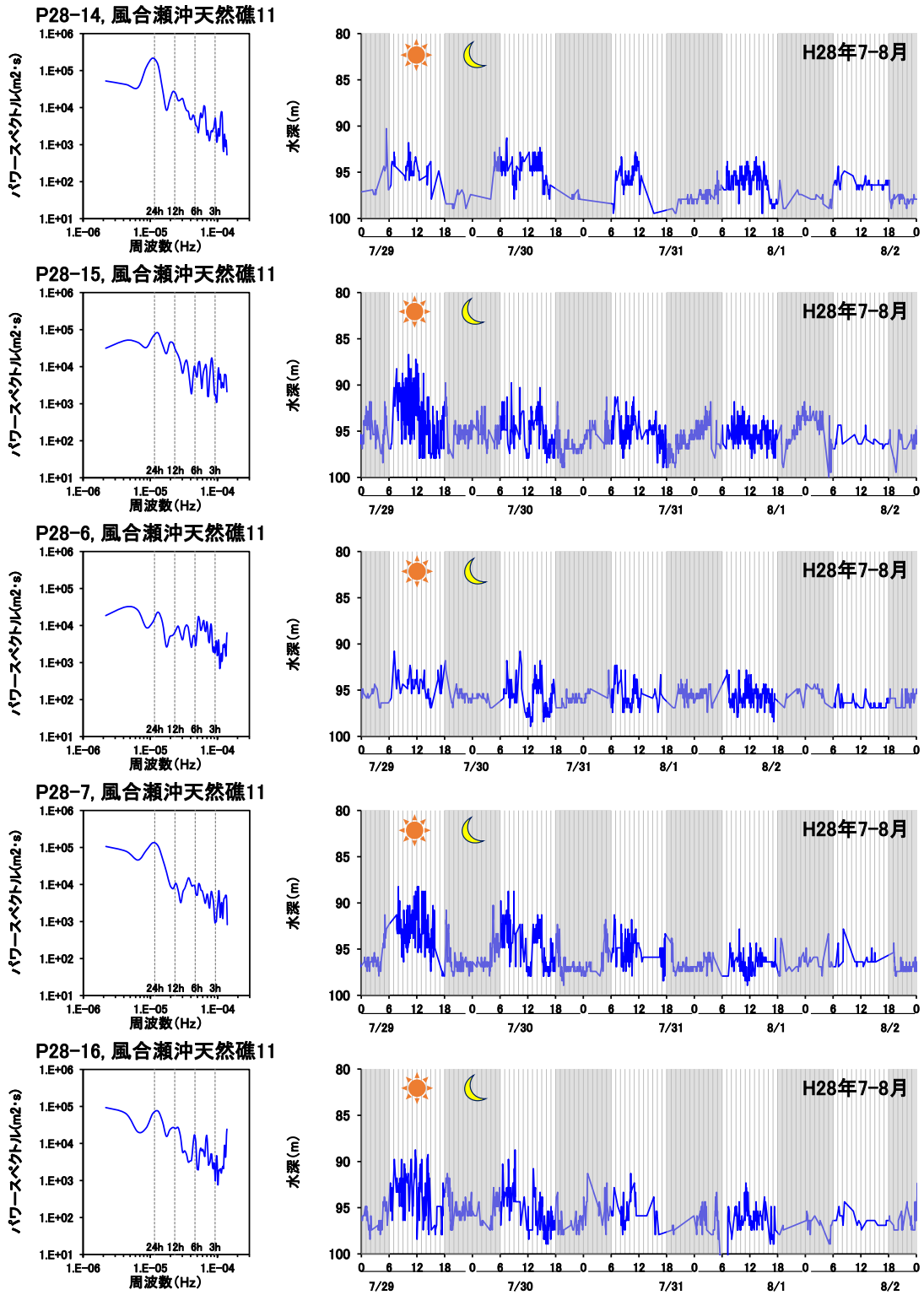


図 3.3-2 遊泳水深のスペクトルおよび5日間の経時変化 (3歳魚)

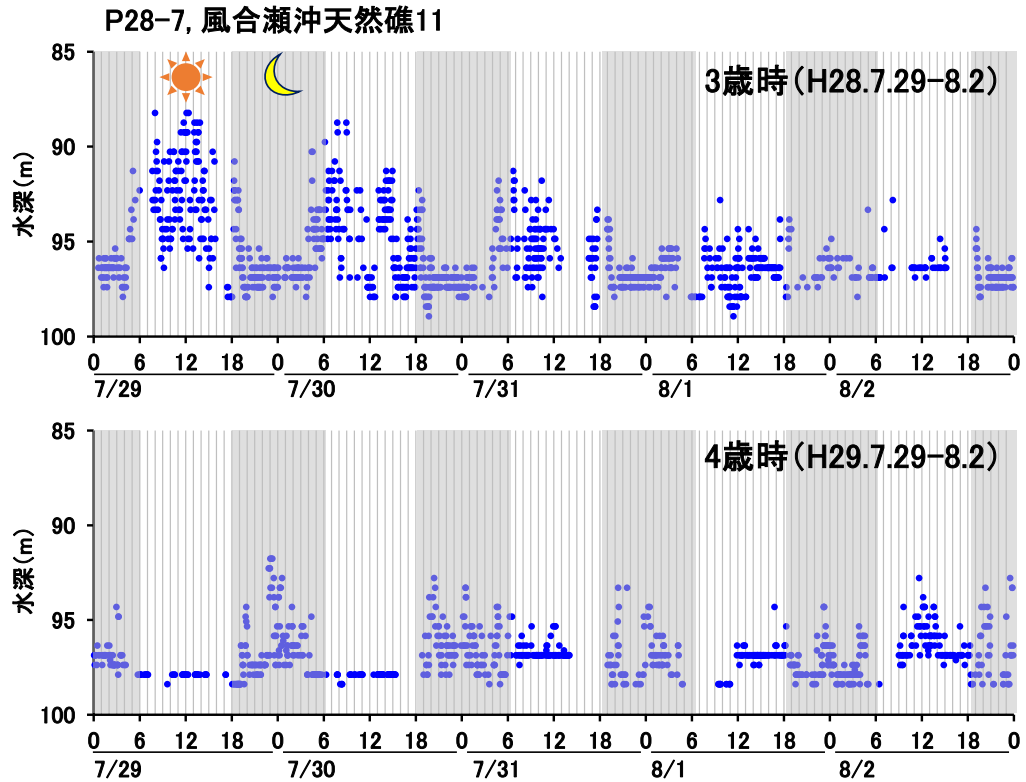


図 3.3-3 (1) 成長に伴う日周期行動の変化 (P28-7)

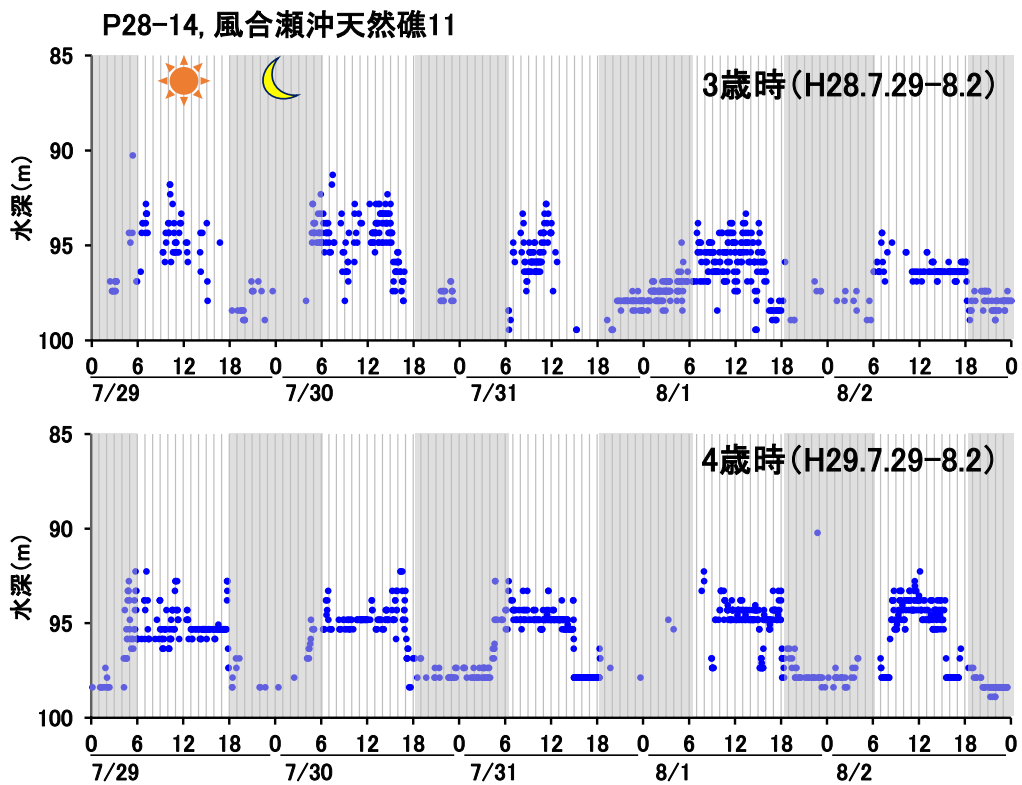


図 3.3-3 (2) 成長に伴う日周期行動の変化 (P28-14)

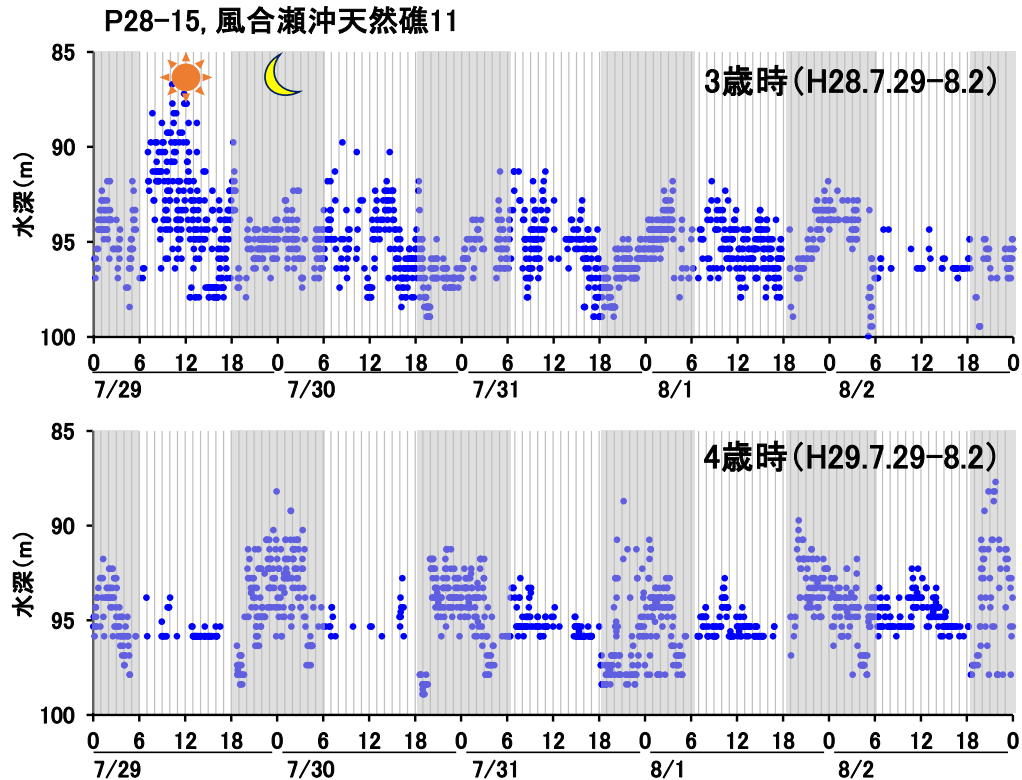


図 3.3-3 (3) 成長に伴う日周期行動の変化 (P28-15)

3.4 摂餌行動

水深 98m の風合瀬沖天然礁 11 に滞留したウスメバル 3 歳魚の遊泳加速度および遊泳水深についてスペクトル解析を行った結果、遊泳水深と同様に、遊泳加速度にも 24 時間の周期性が示され (図 3.4-1)、遊泳水深が浅くなる日中に、遊泳加速度が高くなった。水槽実験によると、ウスメバルが摂餌していないときの遊泳加速度は $2\sim 4\text{m/s}^2$ 程度であるのに対し、摂餌時には 10m/s^2 以上となることが示唆されている。3 歳魚の遊泳加速度が 10m/s^2 以上となる頻度は、夜間に比べて日中の方が高いことから (図 3.4-2)、3 歳魚は遊泳水深が浅くなる日中に摂餌していることが示唆される。

本調査により得られたウスメバルの炭素・窒素安定同位体比の濃縮係数 ($\delta^{13}\text{C}$ 3.1‰、 $\delta^{15}\text{N}$ 4.5‰) を用いて、IsoSource⁴²⁾ により年齢別の餌料の寄与率を求めた。ウスメバル 2 歳および 3 歳魚では、カイアシ類を主に捕食し、5 歳魚以上では、魚類や端脚類の寄与率が高くなる (図 3.4-3)。採捕された胃内容物中のカイアシ類で優占した *Neocalanus plumchrus* は、日中に底層に分布し、夜間に表層や中層まで鉛直移動することが知られている⁴³⁾⁴⁴⁾。

以上より、ウスメバル 3 歳魚は日中に水柱底層に分布するカイアシ類を捕食するために、遊泳水深が 10m 程度浅くなると考えられる。4 歳魚以上については、遊泳加速度のデータが得られていないが、遊泳水深が浅くなる夜間に魚類や端脚類を捕食している可能性がある。なお、これらのウスメバルの行動は、受信機の受信範囲内 (レンジテストより当該海域では約 200m) で測得されたデータに基づくものであり、ウスメバルは魚礁および約 200m の範囲内の周辺海域で摂餌していると考えられる。

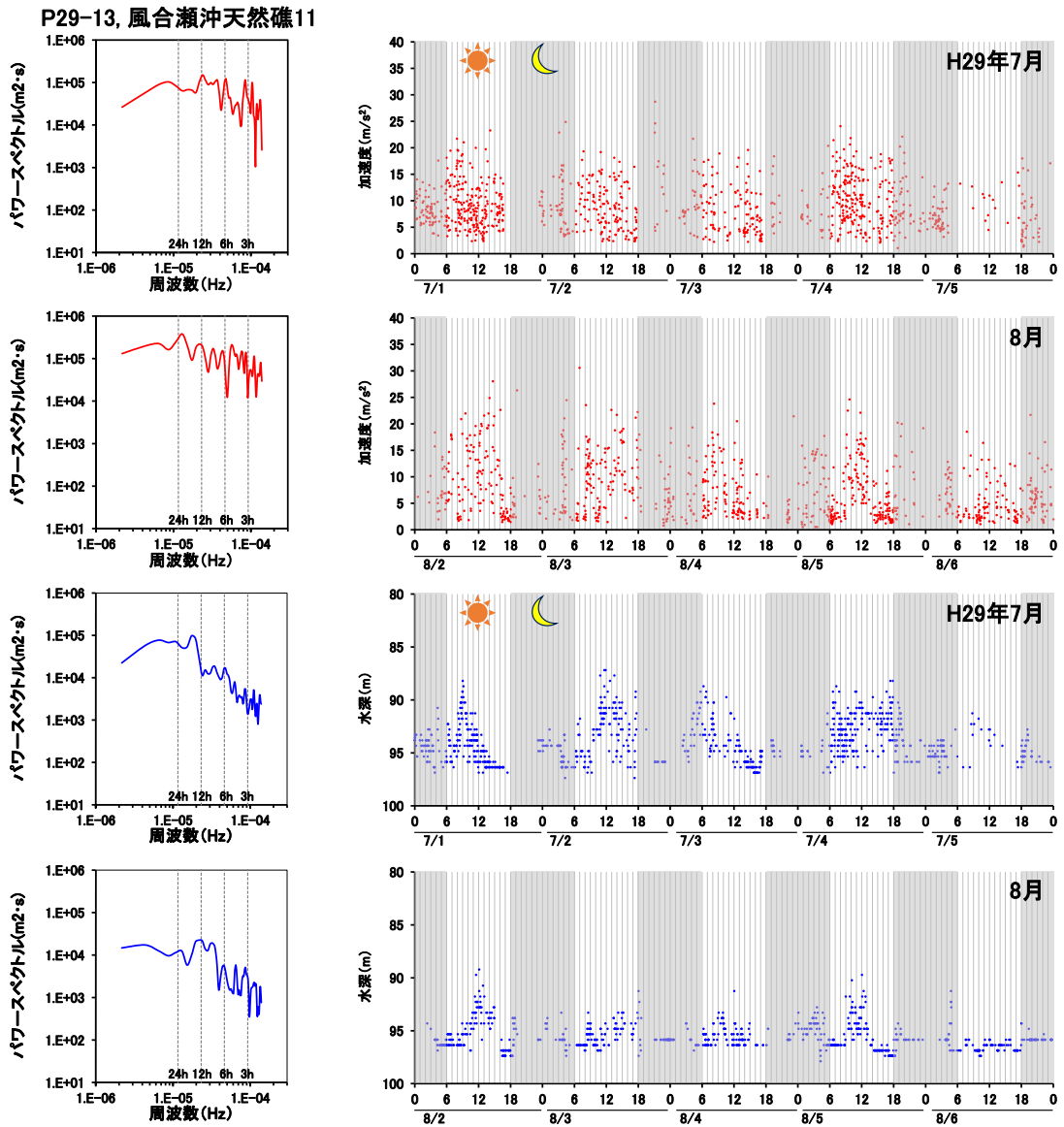


図 3.4-1 (1) 遊泳加速度、遊泳水深のスペクトルおよび5日間の経時変化 (3歳魚)

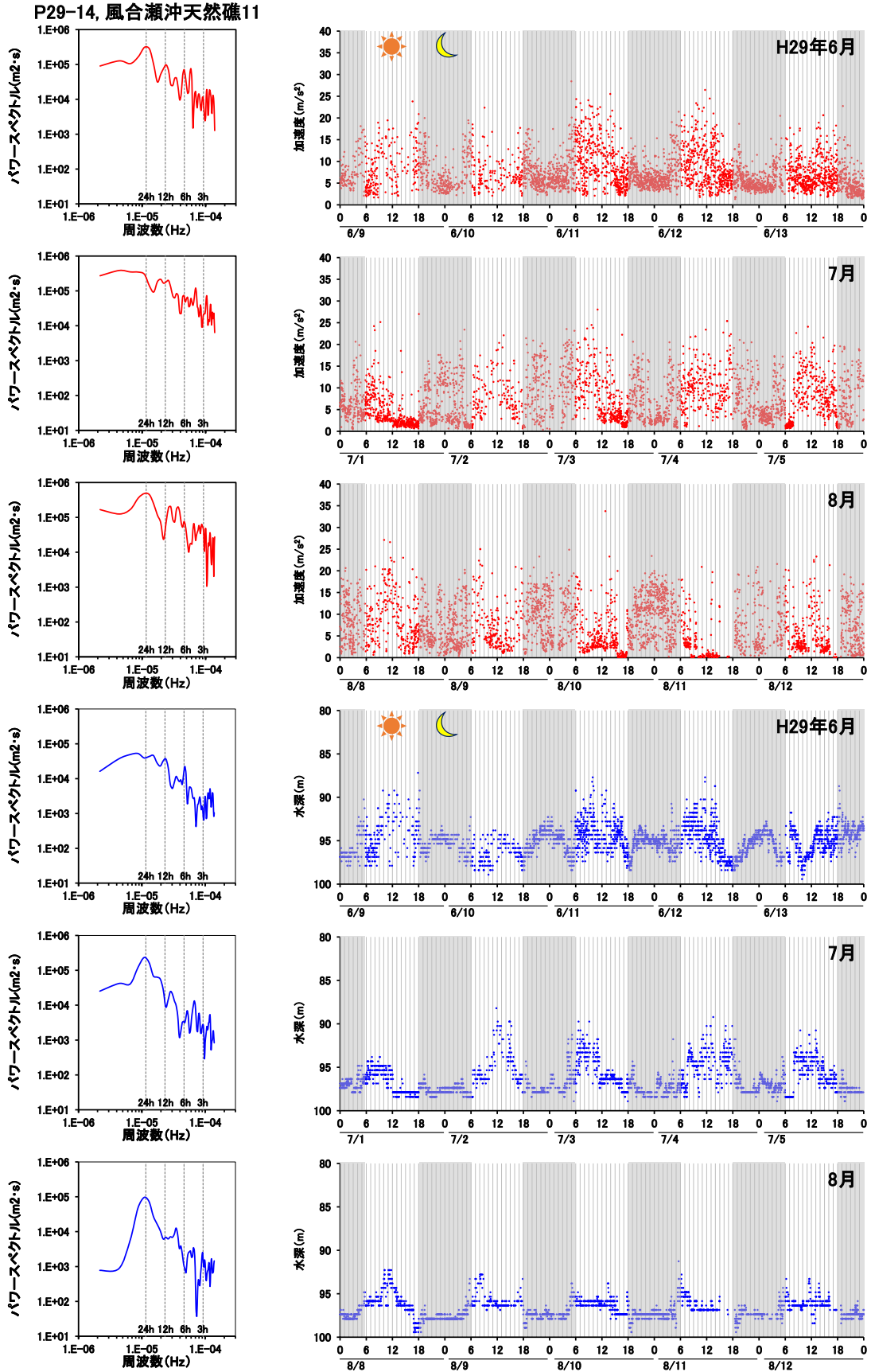


図 3.4-1 (2) 遊泳加速度、遊泳水深のスペクトルおよび5日間の経時変化 (3歳魚)

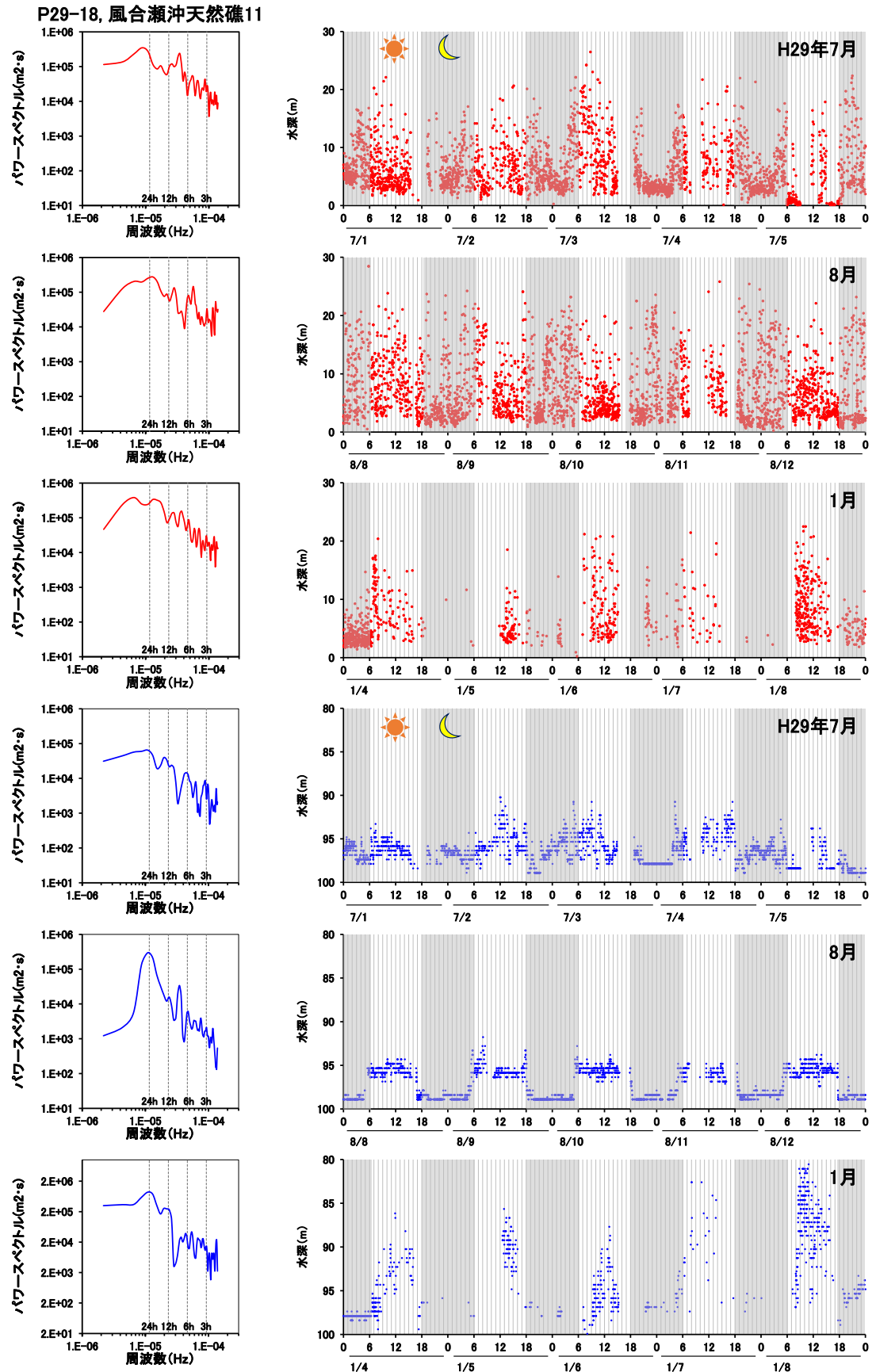


図 3.4-1 (3) 遊泳加速度、遊泳水深のスペクトルおよび5日間の経時変化 (3歳魚)

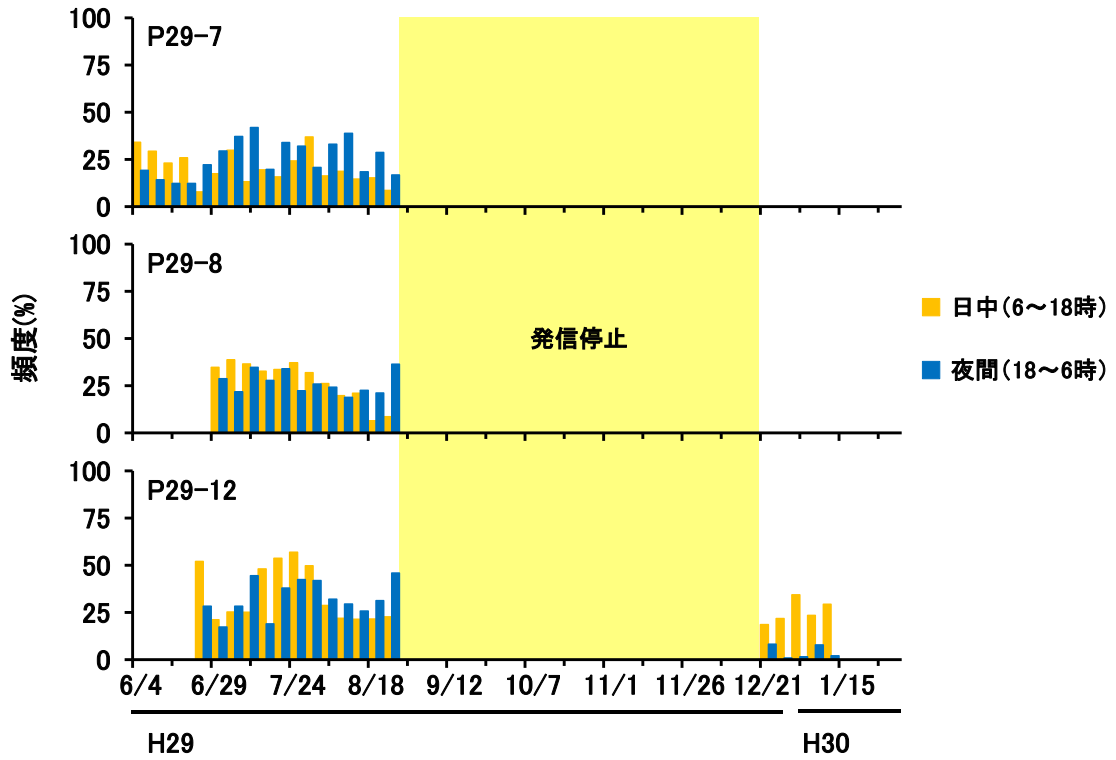


図 3.4-2 3歳魚の日中と夜間における遊泳加速度 10m/s^2 以上の出現頻度

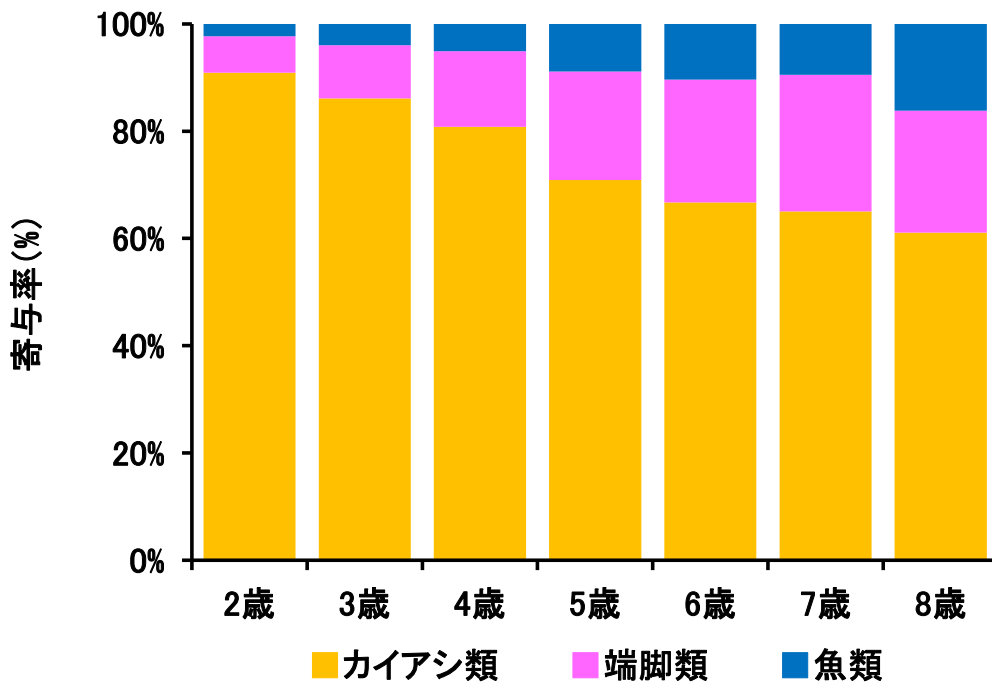


図 3.4-3 ウスメバルの成長に伴う餌料の寄与率の変化

3.5 産仔期および交尾期における魚礁の利用

成熟調査の結果、水深 85m の高層魚礁および天然礁で採捕されたウスメバル（雌）の GSI（ $GSI = \text{生殖腺重量} \div \text{体重} \times 100$ ）は、平成 29 年 4 月下旬に最高となり、このときの生殖腺は成熟過程であった。また、6 月上旬においても成熟過程の生殖腺が確認された。

設置型調査により、29 年 6 月上旬に高層魚礁に滞留した 4 歳魚の遊泳水深は、海面近くまでとなった。追跡型調査においても、27 年 6 月上旬に海面近くまで浮上する状況が捉えられている。29 年 6 月上旬の流況は、南西方向の流向の頻度が最も高く、次いで北東方向の流れが卓越していたが、ウスメバルが海面近くまで浮上する際の流向は、概ね北東方向であった（図 3.5-1）。

ウスメバルは主に刺網や一本釣りにより漁獲され、底建網でも混獲されるが、漁業者によると、産仔期には浮刺網等により、表層付近でウスメバルが入網することがあるとされる。また、日本海において、浮遊期の稚魚は流れ藻に随伴して北上するとされる。

以上より、産仔期においてウスメバルが岸（東）方向の流れのときに浮上したのは、流れによって輸送される仔魚が浅場で着底しやすいように産仔したことによると考えられ、高層魚礁を産仔場所としてウスメバルが利用していることが示唆された。

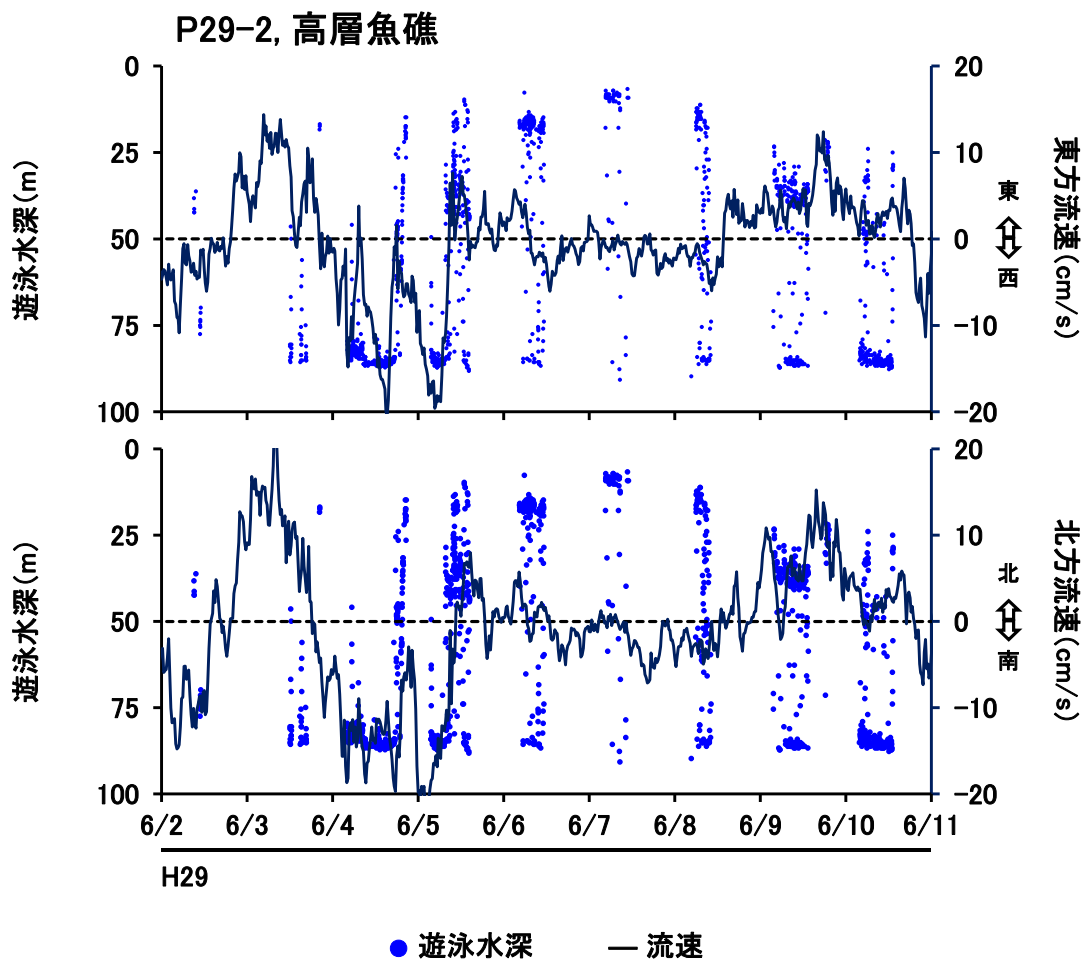


図 3.5-1 産仔期におけるウスメバルの遊泳水深と流速

設置型調査の結果、3歳魚の日中の遊泳水深は、平成29年10月頃までは海底から約10m程度までの範囲で浮上し、11月以降では徐々に浮上する高さが高くなり、30年2月では、海底から約20mまでとなった。水温は11月頃から低下し始め、水温躍層が崩れ、ウスメバルは、より浅い水深まで行動範囲を広げたことが考えられる。このように、ウスメバルの遊泳水深は、水温の緩やかな低下に伴って、徐々に浅くなる傾向を示したが、1月8日の3歳魚2個体の遊泳水深は、海底から約30mと一時的に浅くなった。1月8日前後において、水温、流速および潮位に急激な変化はみられない。

成熟調査の結果、水深85mの高層魚礁で採捕されたウスメバル（雄）のGSIは、29年11月下旬に最高を示した。既往の調査によると、青森県小泊における雄のGSIは、11月に最も高く、3月まで高位で推移し²⁵⁾、青森県における交尾期は12月頃と推察されている¹⁷⁾。ウスメバルの交尾期の行動に関する知見はないが、1月は当該海域において産仔期にあたること、29年1月に雄のGSIが低下していたこと、また、水温等の生息環境に急激な浮上を示唆するような変化はみられなかったことから、1月上旬における海底から約30m上方までの浮上行動は、交尾であった可能性が考えられる。

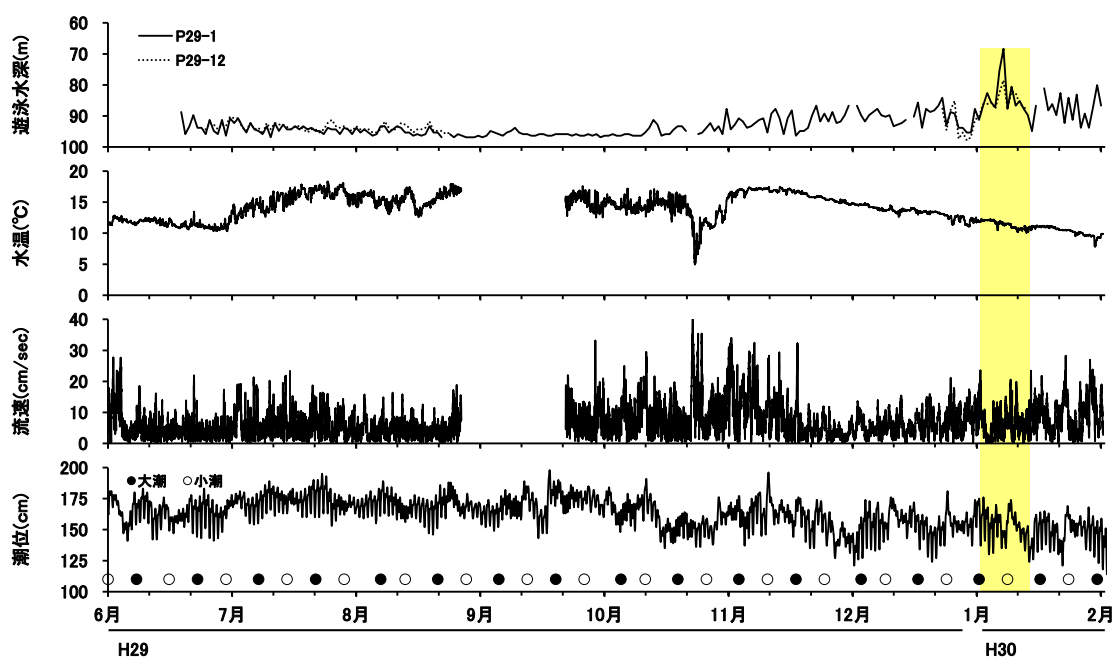


図 3.5-2 交尾期におけるウスメバルの遊泳水深と水温、流速、潮位

VIII 総合考察

1. ウスメバルの生活史

本調査によって得られた知見と既往知見を纏めたウスメバルの生活史の模式図は、図1-1に示すとおりである。

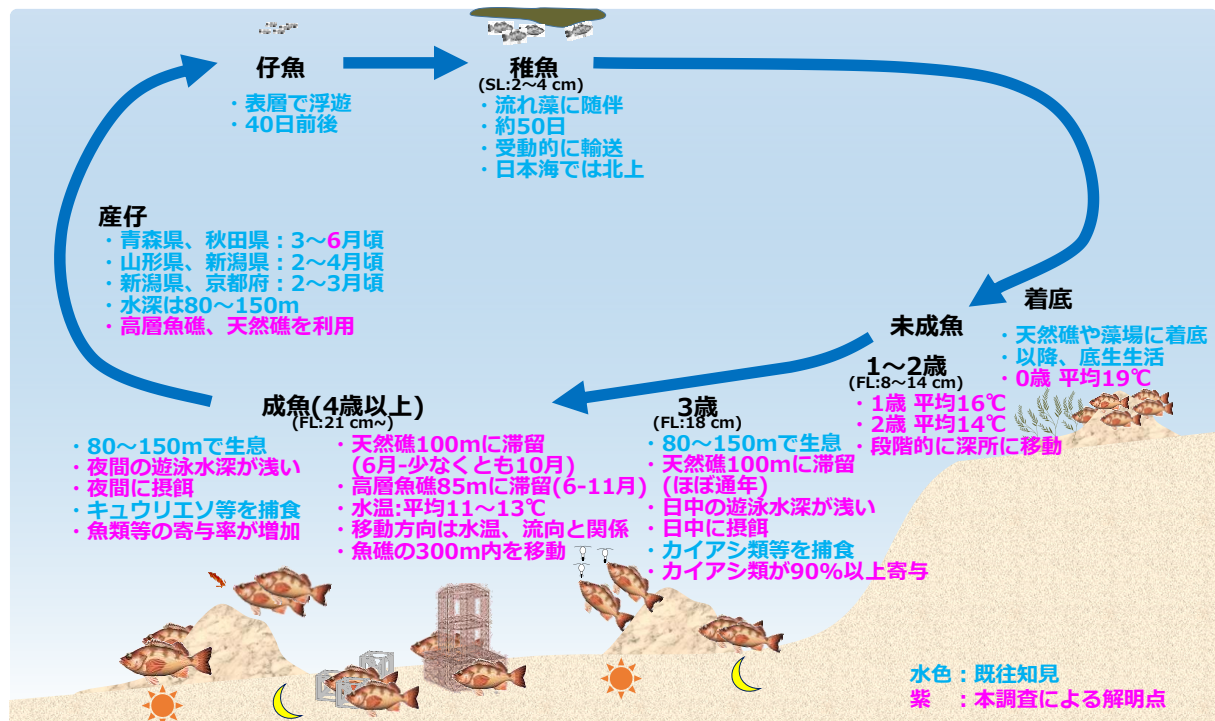


図 1-1 ウスメバルの生活史

流れによって受動的に輸送されたウスメバル稚魚は、藻場や浅場に着底する。耐温性の低いウスメバル稚魚は、水温の上昇に伴って沖方向に移動し、翌年の春まで滞留して、再び水温が上昇する秋季にかけて、さらに沖方向に移動する。耳石の酸素安定同位体比から推定される経験水温より、この移動を3歳まで繰り返し、11～13℃となる水深帯に分布水深を変化させると考えられる。

3歳以降については、個体の行動追跡により、ウスメバルの成長に伴って、日周期行動が「昼型」から「夜型」に変化することが示された。また、ウスメバル未成魚（3歳魚）は、遊泳水深が浅くなる日中に遊泳加速度が高くなり、摂餌していることが示唆された。成魚（4歳魚以上）については、夜間に水深が浅くなり、このときに摂餌しているものと思われる。

未成魚の胃内容物中には、生息域に分布するプランクトンや昼夜に鉛直移動（日中：底層、夜間：表層）するとされるカイアシ類が出現する。成魚の胃内容物には、端脚類や魚類が多く出現する。炭素・窒素安定同位体比による解析では、3歳魚まではカイアシ類が90%以上餌料として寄与し、4歳魚以上では、魚類など高次の餌料の寄与が増加し、索餌活動が活発になる可能性が示唆された。

日周期行動を変化させる要因を検討するためには、餌料生物の日周期的な分布について把握する必要があるが、成魚では成熟のためにより高次の餌料を必要とし、また、未成魚と餌料の競合を回避するために、行動様式を変化させている可能性が考えられる。

成長とともに食性、日周期行動を変化させた成魚は、人工魚礁や天然礁で産仔する。

本調査により、ウスメバルのように深所に生息する魚類についても、適切な採捕、処置および発信機の装着を行うことによって、バイオテレメトリー調査を実施出来ることが明らかとなった。これらに基づいたバイオテレメトリー調査によって、ウスメバルの移動や行動および生態について、直接的に個体の行動を把握することができ、漁場整備を検討する上で有効な資料を得ることができた。また、ここで得られた個体の行動は、計量魚探調査によって、群れとしての行動を表していることも示唆されるものであった。さらに、胃内容物、炭素・窒素安定同位体比を用いた食性解析、耳石の酸素安定同位体比による経験水温の推定もウスメバルの行動や分布を検討する上で有効な手法であることが示唆された。

2. ウスメバルの行動解析に基づく漁場整備の検討

2.1 整備海域の選定

流れ藻から離れたウスメバル稚魚は、水深 10～50m の天然礁や魚礁に着底するとされる。耳石の酸素安定同位体比より推定される経験水温は、0 歳 19℃、1 歳 16℃、2 歳 14℃と年齢とともに低くなり、徐々に深所に移動することが示唆された。これら若齢魚の魚礁周辺における行動については未解明であるが、若齢の未成魚を対象とした保護、育成場は、対象海域において、年間の平均水温が 14～16℃となる海域が望ましいと考えられる。また、1 歳魚および 2 歳魚は主にカイアシ類を捕食していると考えられることから、カイアシ類が豊富な海域が望ましい。

3 歳魚以上の未成魚および成魚については、バイオテレメトリー調査により、ウスメバル分布域は水温と密接な関係があることが示唆された。また、耳石の酸素安定同位体比により推定される経験水温は、3 歳魚以上では 11～13℃である。したがって、漁獲の対象となる 3 歳魚以上の漁場整備海域は、整備の対象海域において、年間の平均水温が 11～13℃となる海域が望ましい。また、3 歳魚は日中に主にカイアシ類を捕食し、4 歳魚以上になると夜間に魚類などの高次の餌料生物を魚礁で捕食していると考えられる。そのため、これらの餌料生物が豊富な海域がウスメバルの増殖にとって望ましい。

2.2 構造物の選定

3 歳魚以上の未成魚および成魚の分布は、水温の影響を強く受け、水温の上昇時にウスメバルは滞留する魚礁内において 15m 程度深い水深帯に移動する様子が捉えられた。したがって、3 歳魚以上の未成魚および成魚を対象とした構造物については、高さを持たせることにより、構造物における水温帯に幅ができ、ウスメバルの滞留期間を延長させることができると考えられる。

また、3 歳魚以上の未成魚および成魚を対象とする漁場整備に必要な条件の一つには、餌料生物となるカイアシ類や魚類などの分布が多くなるような構造物であることも挙げられる。カイアシ類やアミ類などの動物プランクトンは、大型構造物の潮下側に集群しスウォームが形成されている様子が、潜水目視観察等により確認されている⁴⁵⁾⁴⁶⁾。バイオテレメトリー調査では、天然礁に滞留するウスメバルは、高さ 5～10m 程度の天然礁の駆け上がり部に分布する傾向が確認されている。計量魚探調査によっても、高層魚礁および天然礁の潮下側に魚群を形成することが確認されており、ウスメバルは、集群する餌料生物を捕食している可能性がある。したがって、高さのある魚礁は、ウスメバルの餌料供給の面からも有効であると考えられる。

2.3 配置計画

ウスメバルは、滞留する天然礁やコンクリート製魚礁区において 300m 程度の範囲を移動していた。整備にあたっては、単位魚礁を 300m 程度の範囲に複数配置することで、滞留期間を延長させるだけでなく、ウスメバルの蛸集量を高めることができると考えられる。

ウスメバルの分布は水温の影響を強く受け、年齢とともに経験水温は低下すると示唆されるが、底層の水温分布は年々の海流の変動や長期的な気候変動により変化すると考えられる。したがって、広域的には、岸沖方向に上述の魚礁群を複数ユニット配置することにより、環境の変化に対してもウスメバルの逸散を回避し、多様な年齢のウスメバルによる整備漁場の利用を促進できるものと考えられる。

IX 今後の課題

本調査では、3歳魚以上のウスメバルを対象としたバイオテレメトリー調査により、特に3歳から4歳にかけての魚礁およびその周辺海域における行動や分布について多くの知見を得ることができた。4歳魚以上については、追跡型調査により、移動経路や水温に対する応答性について把握することができた。一方で、設置型調査では受信された4歳以上の追跡個体が3歳魚に比べて少なく、長期的な滞留状況や加速度等の変化については、課題も残された。既往知見によると、大型個体の中には数百キロ移動する事例も報告されている。また、本調査においても、発信機を装着して放流したウスメバル4歳魚が、放流地点より約50km南の海域で刺網により再捕された。このように4歳魚以上では、長距離を移動することも考えられる。今後は、複数の受信機の設置によって詳細な移動経路を把握できるシステムの利用等により、4歳魚以上の行動に関する知見の蓄積が必要である。

3歳魚未満のウスメバルについては、耳石の酸素安定同位体比による経験水温の推定から、分布および行動を検討することができた。しかし、ウスメバル若齢魚の滞留海域や移動については未解明である。バイオテレメトリー調査において追跡可能な個体(年齢)は、発信機のサイズの制限を受けることから、現時点では若齢魚を対象としたバイオテレメトリー調査は困難である。ただし、マイクロエレクトロニクス技術は日進月歩で進化しており、さらなる小型化、低価格の実現が期待される。

X 引用文献

- 1) 伊藤靖, 吉田司. 人工魚礁における魚類行動研究への超音波バイオテレメトリー技術の適応とその課題. 水産工学 2013; 49(3): 187-197.
- 2) 光永靖. バイオテレメトリー情報によるマダイの行動・生理に関する研究. 博士論文, 京都大学, 京都. 2000.
- 3) 伊藤靖, 三浦浩, 中村憲司, 吉田司. 日本海佐渡島羽茂地先の人工魚礁における超音波バイオテレメトリーを用いたマアジの行動様式. 日本水産学会誌 2009; 75(6): 1019-1026.
- 4) 伊藤靖, 松本卓也, 中村憲司, 吉川彰. 人工マウンド礁におけるイサキの行動解析と摂餌. 「平成 25 年度調査 調査研究論文集 No. 24」 一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所, 東京, 2013; 55-58
- 5) 海上保安庁ホームページ. http://jdoss1.jodc.go.jp/vpage/depth500_file_j.html
- 6) 柿元皓, 大久保久直, 板野英彬. ヒラメ. 「テレメトリーによる水生生物の行動解析」(添田秀男編) 恒星社厚生閣, 東京. 1990; 31-39.
- 7) 渡辺研一, 高橋誠, 中川雅弘, 太田健吾, 佐藤純, 堀田卓郎. 主要海産養殖魚に対する 2-フェノキシエタノールの麻酔効果. 水産増殖 2006; 54(3): 255-263.
- 8) 兜森良則, 澤田浩一. 計量魚探を用いた新たな資源評価手法の開発. 平成 21 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告書, 地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所, 青森. 2010; 11-14.
- 9) 菊谷尚久. メバル類の資源生態の解明と管理技術開発. 水産関係特定研究開発促進事業総括報告書, 水産庁日本海区水産研究所, 新潟. 2001; 37-43.
- 10) 国立研究開発法人水産研究・教育機構. 拡張版日本海海況予測システム (JADE2). <http://jade2.dc.affrc.go.jp/jade2/>
- 11) 気象庁ホームページ. <http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/genbo/index.php>.
- 12) 石井利典. フカサゴ科魚類のミトコンドリア DNA を指標とした種分化の研究. 上智大学生命科学研究所紀要 1997; 16: 105-111.
- 13) 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水生生物情報データベース. <http://aquadb.fra.affrc.go.jp/~aquadb/cgi-bin/speciesinfo.cgi?LANG=jp&TTAXID=105747&TARGET=1>
- 14) 松原喜代松. 「魚類の形態と検索Ⅱ」 石崎書店, 東京. 1955.
- 15) 桶坪敏明, 田村真通. 青森県日本海沿岸におけるウスメバルの生態と漁業. 栽培技術研究報告 1983; 12(2): 1-11.
- 16) 樋口正仁. メバル類の資源生態の解明と管理技術開発. 水産関係特定研究開発促進事業総括報告書, 水産庁日本海区水産研究所, 新潟. 2001; 72-80.
- 17) 菊谷尚久. メバル類の資源生態の解明と管理技術開発. 水産関係特定研究開発促進事業総括報告書, 水産庁日本海区水産研究所, 新潟. 2001; 43-48.
- 18) 地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所. 津軽海域総合開発調査. 昭和 56 年度青森県水産試験場事業概要, 地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所, 青森. 1982; 106-125.
- 19) 永澤亨. メバル類の資源生態の解明と管理技術開発. 水産関係特定研究開発促進事

- 業総括報告書，水産庁日本海区水産研究所，新潟．2001；48-61.
- 20) 川原洋介．ウスメバル稚仔魚の流れ藻への蝟集、離脱過程に関する形態学的、生態学的研究．修士論文，東北大学，宮城．1999.
- 21) 笠原裕，関野正志，高木儀昌，新井健次．超高層魚礁のウスメバル増殖機能の査．沿岸漁場整備開発調査（直轄）報告書 平成 11 年度，水産庁，東京．2001；54-64.
- 22) 菊谷尚久．メバル類の資源生態の解明と管理技術開発．水産関係特定研究開発促進事業総括報告書，水産庁日本海区水産研究所，新潟．2001；37-43.
- 23) 鈴木智，大地一臣，池原宏二．ウスメバルの年令と成長について．日本海区水産研究所研究報告 1978；29：111-119.
- 24) 三戸芳典．青森県日本海側小泊沖におけるウスメバルの年齢と成長について．北日本底魚部会報 1993；26：27-31.
- 25) 菊谷尚久．水産業関係特定研究開発促進事業（メバル類の資源生態の解明と管理技術の開発）．平成 9 年度青森県水産試験場事業報告，地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所，青森．1999；99-109.
- 26) 大池一臣，鈴木智之，池原宏二．ウスメバル精巣組織の季節変化．日本海区水産研究所研究報告 1978；29：121-135.
- 27) Nagasawa T, Kobayashi T, The early life history of rock fish, *Sebastes thompsoni* (Scorpaenidae) in the Sea of Japan. *Japanese Journal of Ichthyology* 1995；41(4)：385-396.
- 28) 板野英彬．メバル類の資源生態の解明と管理技術開発．水産関係特定研究開発促進事業総括報告書，水産庁日本海区水産研究所，新潟．2001；67-71.
- 29) 笠原裕．メバル類の資源生態の解明と管理技術開発．水産関係特定研究開発促進事業総括報告書，水産庁日本海区水産研究所，新潟．2001；62-67.
- 30) 八森小型船研究会．ウスメバル中間育成・放流試験について．平成 5 年度漁村青壮年婦人活動実績発表大会資料 1994；1-8.
- 31) 大久保久直．ウスメバル．昭和 56～58 年度佐渡海域総合開発調査事業報告書，新潟県，新潟．1984；240-280.
- 32) 永澤亨．ウスメバルの生活史ならびに生態に関する知見の整理と問題点．平成 10 年度山形県沿整直轄調査検討会資料 1999.
- 33) 笠原裕，関野正志，高木儀昌，新井健次．高層魚礁のウスメバル増殖効果について．日本水産工学会学術講演会講演論文集 2000；49-50.
- 34) 笹尾敬，笠原裕．メバル類の資源生態の解明と管理技術開発．水産関係特定研究開発促進事業総括報告書，水産庁日本海区水産研究所，新潟．2001；1-36.
- 35) 伊藤欣吾．長後地区広域漁場整備事業増殖場効果調査．平成 23 年度 地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告書，地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所，青森．2013；87-95.
- 36) Høie H, Otterlei E, Folkvord A. Temperature- dependent fractionation of stable oxygen isotopes in otoliths of juvenile cod (*Gadus morhua* L.). *ICES J. Mar. Sci.*

- 2004; 61: 243-251.
- 37) Patterson W, Smith G, Lohmann K. Continental paleothermometry and seasonality using the isotopic composition of aragonite otoliths of freshwater fishes. *Geophysical Monograph Series* 1993; 78: 191-202.
 - 38) Kim S-T, O'Neil JR. Equilibrium and nonequilibrium oxygen isotope effects in synthetic carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1997; 61: 3461-3475.
 - 39) Kitagawa T, Ishimura T, Uozato R, Shirai K, Amano H, Shinoda A, Tsunogai U, Kimura S. Otolith $\delta^{18}\text{O}$ of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* as an indicator of ambient water temperature. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2013; 481: 199-209.
 - 40) 藤原邦浩, 山田達也, 松倉隆一, 甲本亮太. 飼育したハタハタによる耳石の酸素安定同位体比と環境水温の関係の再考. *東北底魚研究* 2013; 33: 20-22.
 - 41) 大池一臣. ウスメバル稚魚の耐温性. *日本海区水産研究所研究報告* 1977; 28: 1-8.
 - 42) Phillips DL, Gregg JW. Sources partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecologia* 2003; 136: 261-269.
 - 43) 河野時廣. カイアシ類生息環境としての中層親潮. *日本プランクトン学会報* 2000; 47(2): 102-110.
 - 44) Hattori H. Bimodal vertical distribution and diel migration of the copepods *Metridia pacifica*, *M. okhotsensis* and *Pleuromamma scutellata* in the western North Pacific Ocean. *Mar. Biol.* 1989; 103: 39-50.
 - 45) 柿元皓, 大久保久直, 板野英彬, 新井健次. 魚礁における動物プランクトンの分布様式について. *水産土木* 1983; 19(2): 21-28.
 - 46) 伊藤靖. 人工魚礁における有用魚介類の蝟集と増殖機能に関する研究. 博士論文, 北海道大学, 北海道. 2014