

# 第3回土佐黒潮牧場15号離脱原因調査委員会

## 会次第

日時：令和5年5月11日（木）  
13時30分～16時00分  
場所：高知海区漁業調整委員会室  
（WEB会議併用）

1 開会

2 あいさつ

3 議事

（1）土佐黒潮牧場15号離脱原因調査委員会の調査結果報告書（案）について

（2）その他

4 閉会

### 第3回土佐黒潮牧場15号離脱原因調査委員会出席者名簿

日時：令和5年5月11日（木）

13時30分～16時00分

場所：高知県海区漁業調整委員会室

職名	所属	役職	氏名
委員	国立研究開発法人 水産研究教育 機構 水産技術研究所 環境・応 用部門 水産工学部 水産基盤グ ループ	主幹研究員	大村 智宏 (委員長) (Web 出席)
	高知工科大学 システム工学群	教授	楠川 量啓
	琉球大学 工学部 工学科機械工 学コース	名誉教授	真壁 朝敏 (Web 出席)
	(一社) マリノフォーラム 21	技術顧問	吉田 儀弘 (Web 出席)
オブザー バー	日鉄エンジニアリング株式会社 都市インフラセクター 港湾・イン フラ営業部 海洋港湾鋼構造営業 室		桐山 和晃
	日鉄エンジニアリング株式会社 海洋本部 技術部 設計・技術室		笠原 宏紹 (Web 出席)
	日鉄エンジニアリング株式会社 海洋本部 プロジェクト部 プロ ジェクト管理室		川井田 斉
事務局	高知県水産業振興課	課長	津野 健太郎
		課長補佐	井上 久美賀
		チーフ(構造改善担当)	長岩 理央
	高知県漁港漁場課	課長	池田 博文
		課長補佐	谷本 直文
		チーフ(整備担当)	片岡 聡
		技師	有田 大晟

(案)

土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査結果報告書

令和 5 年 5 月

土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査委員会

## 目次

1. 土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査委員会について	・ ・ ・ ・ ・ 1
2. 土佐黒潮牧場の整備状況について	・ ・ ・ ・ ・ 3
3. 土佐黒潮牧場 15 号離脱事故の状況	・ ・ ・ ・ ・ 5
4. 離脱事故の発生原因に関する調査概要	・ ・ ・ ・ ・ 6
5. 離脱事故の発生原因に関する調査結果	・ ・ ・ ・ ・ 18
6. 土佐黒潮牧場 15 号の再設置に係る改善策の提言	・ ・ ・ ・ ・ 19

## 1. 土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査委員会について

令和 4 年 9 月 18 日に発生した高知県表層型浮魚礁土佐黒潮牧場（以下、「黒牧」という。）15 号の離脱事故に関し、発生原因と再設置の際の改善方法を検討するため、学識経験者で構成される土佐黒潮牧場離脱原因調査委員会を設置した（表 1-1）。

令和 5 年 2 月 3 日から 5 月 11 日までに 3 回の委員会を開催し（表 1-2）、設計及び施工方法、回収したブイ及びチェーンの状況、設置海域の海底地質、設置後に経験した気象海象状況、浮体の振れ回り状況、他県の事例等について調査し、離脱原因の推定と黒牧 15 号の再設置に係る改善策の提言を行った。

表 1-1 土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査委員会

所 属	役 職	氏 名
国立研究開発法人 水産研究教育機構 水産技術研究所 環境・応用部門 水産工学部水産基盤グループ	主幹研究員	大村 智宏
高知工科大学 システム工学群	教授	楠川 量啓
琉球大学 工学部 工学科機械工学コース	名誉教授	真壁 朝敏
一般社団法人 マリノフォーラム 21	技術顧問	吉田 儀弘

表 1-2 土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査委員会の開催概要

	日時・場所・出席者・審議内容
第 1 回	<p>【日時】 令和 5 年 2 月 3 日（水）13:30～16:00</p> <p>【場所】 高知県職員能力開発センター201（WEB 会議併用）</p> <p>【出席者】</p> <p>委員：大村智宏、楠川量啓、真壁朝敏、吉田儀弘</p> <p>オブザーバー：桐山和晃、笠原宏紹、中原修（浮魚礁メーカー兼設置回収業者）</p> <p>事務局：津野健太郎、長岩理央、漆山明日美、池田博文、谷本直文、片岡 聡、池添 央</p> <p>【審議内容】</p> <p>(1) 高知県の表層型浮魚礁の整備状況について</p> <p>(2) 土佐黒潮牧場 15 号の諸元等について</p> <p>(3) 土佐黒潮牧場 15 号の流出経緯及び回収状況について</p> <p>(4) 原因推定にかかる諸データについて</p> <p>(5) 本県及び他県の流出事例について</p> <p>(6) その他</p>

第2回	<p><b>【日時】</b> 令和5年3月29日(水) 13:00~14:30</p> <p><b>【場所】</b> 高知県海区漁業調整委員会室 (WEB会議併用)</p> <p><b>【出席者】</b>          委員：大村智宏、楠川量啓、真壁朝敏、吉田儀弘          オブザーバー：桐山和晃、笠原宏紹、中原修 (浮魚礁メーカー兼設置回収業者)          事務局：津野健太郎、長岩理央、池田博文、谷本直文、池添 央</p> <p><b>【審議内容】</b>          (1) 第1回委員会の議事要点について          (2) 第1回委員会で提案された調査・確認事項への回答について          (3) 流出原因の推定(案)と改善の方向性に関する提言(案)について          (4) その他</p>
第3回	<p><b>【日時】</b> 令和5年5月11日(木) 13:30~16:00</p> <p><b>【場所】</b> 高知県海区漁業調整委員会室 (WEB会議併用)</p> <p><b>【出席者】</b>          委員：大村智宏、楠川量啓、真壁朝敏、吉田儀弘          オブザーバー：桐山和晃、笠原宏紹、川井田斉 (浮魚礁メーカー兼設置回収業者)          事務局：津野健太郎、井上久美賀、長岩理央、池田博文、谷本直文、片岡 聡</p> <p><b>【審議内容】</b>          (1) 委員会とりまとめ資料の内容について          (2) その他</p>

## 2. 土佐黒潮牧場の整備状況について

高知県では、カツオやマグロ類等の回遊性魚類を対象とした漁場形成を目的に、昭和59年から表層型浮魚礁「土佐黒潮牧場（図2-1）」の整備を開始した（表2-1）。平成22年からは、土佐湾全域に配置した15基の黒牧について、耐用年数10年を経過したものから順次撤去・更新を行いながら15基体制を維持している（図2-2）。

表2-1 土佐黒潮牧場の設置実績

土佐黒潮牧場 号数	供用	設置年月	供用期間	設置水深 (m)	備考
1号	—	昭和59年12月	2年	550	昭和61年12月撤去
2号	—	昭和62年3月	6年9ヶ月	750	平成5年12月撤去
3号	—	昭和63年3月	8年11ヶ月	550	平成9年2月撤去
4号	—	平成元年3月	7年	750	平成8年3月撤去
5号	—	平成2年2月	7年1ヶ月	700	平成9年3月撤去
6号	—	平成4年2月	14年	815	平成18年2月撤去
	—	平成18年3月	10年	820	平成28年3月撤去
	○	平成28年3月		820	
7号	—	平成5年2月	5年11ヶ月	750	平成11年1月撤去
8号	—	平成7年2月	10年11ヶ月	325	平成18年1月撤去
	—	平成18年1月	10年1ヶ月	325	平成28年2月撤去
	○	平成28年2月		1,030	※設置位置変更
9号	—	平成7年2月	9年9ヶ月	760	平成16年11月撤去
	—	平成17年2月	10年1ヶ月	770	平成27年3月撤去
	○	平成27年3月		245	※設置位置変更
10号	—	平成8年3月	5年3ヶ月	750	平成13年6月離脱
	—	平成15年3月	9年11ヶ月	750	平成25年2月撤去
	○	平成25年3月		775	
11号	—	平成8年2月	8年8ヶ月	760	平成16年10月離脱
	—	平成19年2月	10年9ヶ月	770	平成29年11月撤去
	○	平成29年12月		870	
12号	—	平成9年3月	10年	560	平成19年3月撤去
	—	平成19年4月	9年10ヶ月	595	平成29年2月撤去
	○	平成29年3月		590	
13号	—	平成9年3月	5年10ヶ月	710	平成15年1月離脱
	—	平成16年4月	9年11ヶ月	730	平成26年3月撤去
	○	平成26年3月		730	
14号	—	平成10年3月	10年4ヶ月	850	平成20年7月撤去
	—	平成20年7月	10年8ヶ月	850	平成31年3月撤去
	○	平成31年3月		850	
15号	—	平成10年12月	1年3ヶ月	1,300	平成12年3月離脱
	—	平成13年4月	11年	1,300	平成24年4月撤去
	—	平成24年5月	10年4ヶ月	1,280	令和4年9月離脱
16号	—	平成11年12月	8年3ヶ月	750	平成20年3月離脱
	—	平成22年3月	11年	755	令和3年3月撤去
	○	令和3年5月		755	
17号	—	平成11年12月	5年9ヶ月	1,050	平成17年9月離脱
	—	平成20年8月	11年11ヶ月	1,055	令和2年7月撤去
	○	令和2年11月		1,050	
18号	—	平成13年3月	10年7ヶ月	790	平成23年10月撤去
	○	平成23年11月		795	
19号	—	平成23年2月	10年3ヶ月	1,160	令和3年5月撤去
	○	令和3年5月		1,160	
20号	—	平成22年10月	11年2ヶ月	710	令和3年12月撤去
	○	令和4年1月		710	
21号	—	平成22年11月	11年5ヶ月	1,640	令和4年4月撤去
	○	令和4年4月		1,640	

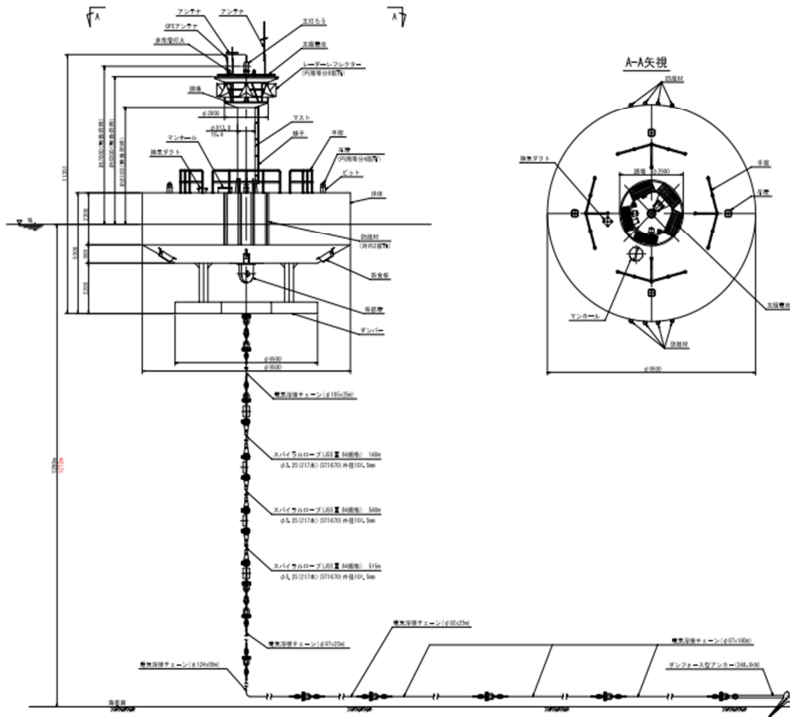


図 2-1 黒牧の一般図 (左) 及び設置写真 (右)

## 土佐黒潮牧場設置位置情報

### Tosa Kuroshio-Bokujo installation location information

土佐黒潮牧場ブイ及び中層浮魚機については、現在、下記の位置に設置されています。付近を航行する船舶は、十分注意してください。漁業にあたっては、利用登録証の記載事項や各海域の申し合せ事項を遵守してください。  
なお、この海域の漁船で毎年12海里を超えて行く場合は、船舶安全法に基づき小国船舶検査機構の船舶検査が必要です。  
※緯度経度については世界測地系となっています。

This information is current as of 1<sup>st</sup> June 2018. 平成 30年 6月 1日現在

**海況情報サービス**

**テレフォンサービス**

黒潮牧場台所(台所) TEL 088-856-1000  
Kuroshio-Bokujo No.8(Saga ofshirami)

黒潮牧場 10号(浮網) TEL 088-856-1001  
Kuroshio-Bokujo No.10(Muroto ofshirami)

黒潮牧場 12号(高知) TEL 088-856-1000  
Kuroshio-Bokujo No.12(Kochi ofshirami)

黒潮牧場 13号(足摺) TEL 088-856-1002  
Kuroshio-Bokujo No.13(Ashizuri ofshirami)

インターネットホームページ  
<http://www.suisan.tosa.pref.kochi.lg.jp/>

携帯電話ホームページアドレス  
<http://www.suisan.tosa.pref.kochi.lg.jp/>

**黒潮牧場ブイ構造**  
構造図参照(高知県)

**高知県 土佐黒潮牧場**

材質・形状・寸法(φ×高)  
浮網用 鋼製 150×1500mm  
足摺用 鋼製 150×1500mm  
浮網用 鋼製 150×1500mm  
足摺用 鋼製 150×1500mm

浮網用 浮網 7-10m  
足摺用 浮網 8-10m

**黒潮牧場ブイ構造**  
(80号-21号)

材質・形状・寸法(φ×高)  
浮網用 鋼製 150×1500mm  
足摺用 鋼製 150×1500mm  
浮網用 鋼製 150×1500mm  
足摺用 鋼製 150×1500mm

浮網用 浮網 7-10m  
足摺用 浮網 8-10m

**中層浮魚機構造**  
(21-100号)

材質・形状・寸法(φ×高)  
浮網用 鋼製 150×1500mm  
足摺用 鋼製 150×1500mm  
浮網用 鋼製 150×1500mm  
足摺用 鋼製 150×1500mm

浮網用 浮網 7-10m  
足摺用 浮網 8-10m

6号-8号-9号-10号-11号-12号-13号-14号-15号-16号-17号-18号-19号-20号-21号	
No.6/No.8/No.9/No.10/No.11/No.12/No.13/No.14/No.15/No.16/No.17/No.18/No.19/No.20/No.21	
灯	モールス符号白丸 毎5秒点滅 (1-1)
実効光度	150カンデラ
光通距離	5海里
付属施設	レーダー反射板、緊急用小型航行灯を装備

図 2-2 土佐黒潮牧場の設置位置図



### 3. 土佐黒潮牧場 15号離脱事故の状況

#### 3-1. 離脱の経過

令和4年9月18日20時に離脱判定距離（半径2マイル）を0.05マイル逸脱したことから、黒牧監視システムから離脱警報が発信され、その後も北西方向への浮体の移動が継続し、設置位置からの距離が2.79マイルに拡大したことから離脱と判断した。

その後、離脱距離は3.71マイルまで拡大したものの、翌19日14時以降はほとんど位置が変わらなくなり、浮体の漂流は停止した。停滞していた浮体は、10月4日に北東方向に再び漂流を開始し、翌5日に停止した。

#### 3-2. 離脱事故当日の気象状況

離脱当日は台風14号が高知県に接近しており（図3-1）、離脱警報が発信された20時時点の有義波高は740cm、風速は17.8m/sであった（図3-2）。

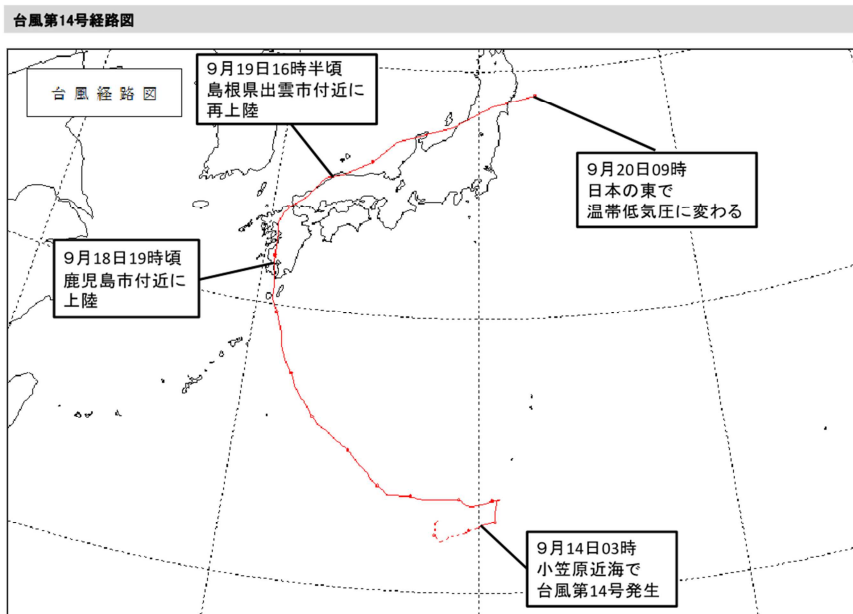


図3-1 台風14号の経路  
(出典：気象庁)

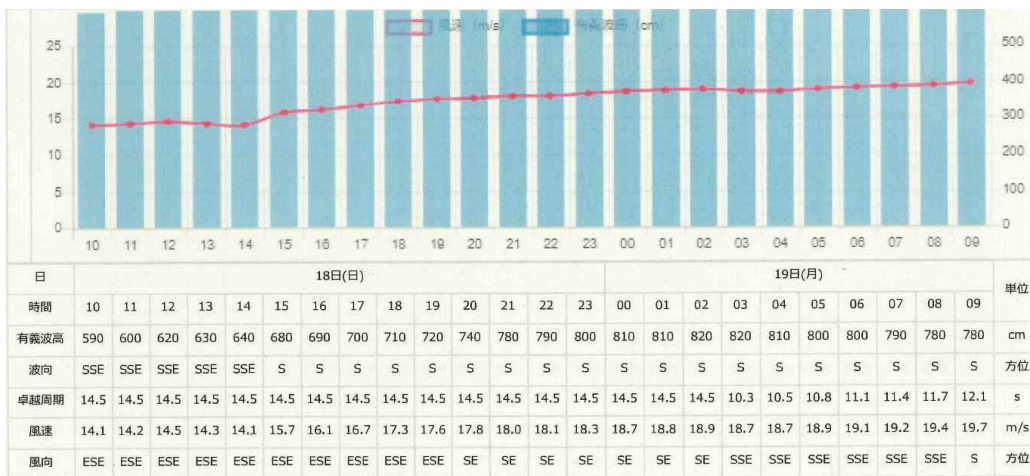


図3-2 黒牧15号離脱前後の有義波高及び風速（出典：高知県作業船位置・回航情報システム）

### 3-3. 回収の経過

10月23日に浮体及び残存係留索の回収工事を実施し、浮体及び係留索のうち下部補強鎖中部(φ124mm、長さ80m)の21リンク目までを回収した(※21リンク目以深は回収できなかった)。回収したものについては、同月31日に係留索を門司港、浮体を北九州市若松港に陸揚げした。

## 4. 離脱事故の発生原因に関する調査概要

### 4-1. 土佐黒潮牧場15号の設計自然環境条件及び諸元

離脱した黒牧15号は平成24年5月25日に室戸岬の東方沖合(北緯33度17分12秒、東経134度29分10秒)に設置されたものである。

設計にあたっては、風速( $U_{10}$ ) 60.0m/s、有義波高( $H_{1/3}$ ) 12.5m、最大波高( $H_{max}$ ) 25.0mなどを自然環境条件に採用しており(表4-1)、これらの値は他の黒牧の設計自然環境条件と同じである。有義波高については、黒牧の耐用年数が10年であることから、耐用年数10年は再現期間30年であるため、30年確率波(30年に1回起こる可能性のある波)を適用している。

表4-1 黒牧15号の設計自然環境条件

項目		値
水深		1,280m
風速	U10	60.0m/sec
	U60	57.0m/sec
波	有義波高 ( $H_{1/3}$ )	12.5m
	最大波高 ( $H_{max}$ )	25.0m
	周期	16.0sec
海水流速	深度0m	2.32m/sec
	深度700m	0.00m/sec
吹送流速	表面流速(ブイ用)深度0m	1.71m/sec
	表面流速(係留索用)深度0m	1.02m/sec
	深度50m以深	0.00m/sec
海底勾配		1/140
底質		シルト

黒牧15号の基本形状及び諸元を表4-2に示す。設計は本県に設置している他の浮魚礁と同じ手法で行っており、今回破断した下部補強鎖中部も含めた係留索の呼び径は、過去の本県浮魚礁の回収品の調査結果に基づいて、本県の他の浮魚礁と同様、摩耗後の破断強度(10年後の残存強度)が係留索の最大発生張力に対して安全率3以上となるように設計されており(表4-3)、設計上の問題は認められない。

また、黒牧15号の設置工事では海上展張方式を採用しているが、本県では、かつては舷側吊下方式(ワ

インディング方式) で黒牧を設置していたが、この施工方法を原因とする係留索のキンクによる離脱事故が相次いで発生したため、平成 13 年の黒牧 18 号の設置工事から海上展張方式を採用しており、施工方法の変更以降、今回まで離脱事故は発生していないことから、施工方法に問題があった可能性は低いと判断される。

表 4-2 黒牧 15 号の基本形状及び諸元

項目		諸元	
ブイ本体	全高	11.351m	
	浮体高	3.1m	
	浮体外径	9.5m	
	全重量	462.8 kN	
	全浮力	2067.9 kN	
係留システム	係留システム	1 点緩係留方式	
	鎖	上側鎖 (No. 1※)	長さ 25m、呼び径 φ 105mm
		下部補強鎖上部 (No. 3)	長さ 25m、呼び径 φ 97mm
		下部補強鎖中部 (No. 4)	長さ 80m、呼び径 φ 124mm
		下部補強鎖下部 (No. 5)	長さ 25m、呼び径 φ 92mm
		下部鎖一般部 (No. 6)	長さ 540m、呼び径 φ 87mm
	ワイヤーロープ	スパイラルロープ (No. 2)	長さ 140m + 540m + 515m, 外径 101.5mm
アンカー	ダンフォース型アンカー	重量 248.9 kN	

※表中の No. は図 4-1 の No. に対応

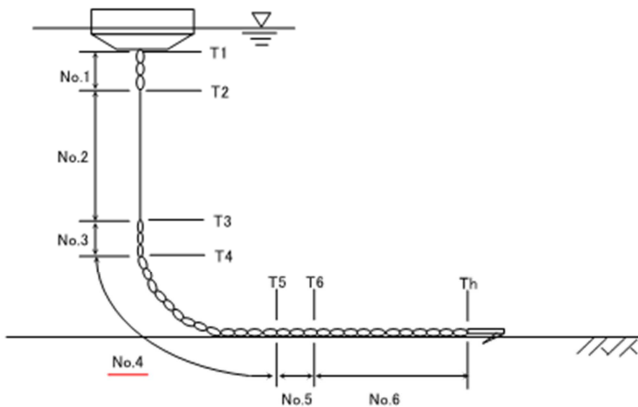


図 4-1 黒牧 15 号係留システムの概略 (No. 4 の上から約 10m の部分で破断)

表 4-3 係留鎖の破断強度

鎖名称	呼び径 (mm)	摩耗代 (mm)	摩耗後の長径 /短径 (mm)	相当径 (mm)	摩耗後の破断強度 (kN)	安全率
下部補強鎖上部	φ 97	20	97/77	85.5	5,323	3.04
下部補強鎖中部	φ 124	58	124/66	85.1	5,274	3.07
下部補強鎖下部	φ 92	20	92/72	80.4	4,761	3.05
下部鎖一般部	φ 87	10	87/77	81.6	4,888	3.19

#### 4-2. 回収した浮体及び係留索の状況

浮体は、過去に発生した船舶衝突の痕跡が残っていたものの、新しい衝突痕は確認されず、機器室内及び機器の損傷もなかったことから、本事故が船舶の衝突によるものである可能性は低いと考えられる。

係留索は、係留環、上側鎖の摩耗量は設計摩耗量以下（係留環（実績、設計）：2.3mm/年、18.6mm/年；上側鎖端末リンク（係留環（実績、設計）：1.1mm/年、11.9mm/年）であり、スパイラルロープにも目立った損傷はなく、下部補強鎖上部にも著しい摩耗は認められなかった。

一方、下部補強鎖中部は21リンク目を最終としてそれ以深のリンクは繋がっていなかった（図4-2）。回収した下部補強鎖中部を詳細に調査したところ、リンク連結部のリンク厚及びリンク断面積はNo. 11リンク目から摩耗が確認され、No. 17以降は安全率3以下、No. 19以降は安全率1以下となっていたことから（図4-3）、黒牧15号の下部補強鎖中部は、破断したリンクを含むNo. 17～21の5リンクに想定を超える異常な摩耗が発生しており、残存強度試験の結果、No. 18～20のリンクは680kNで破断した。



図 4-2 回収した下部補強鎖中部の末端

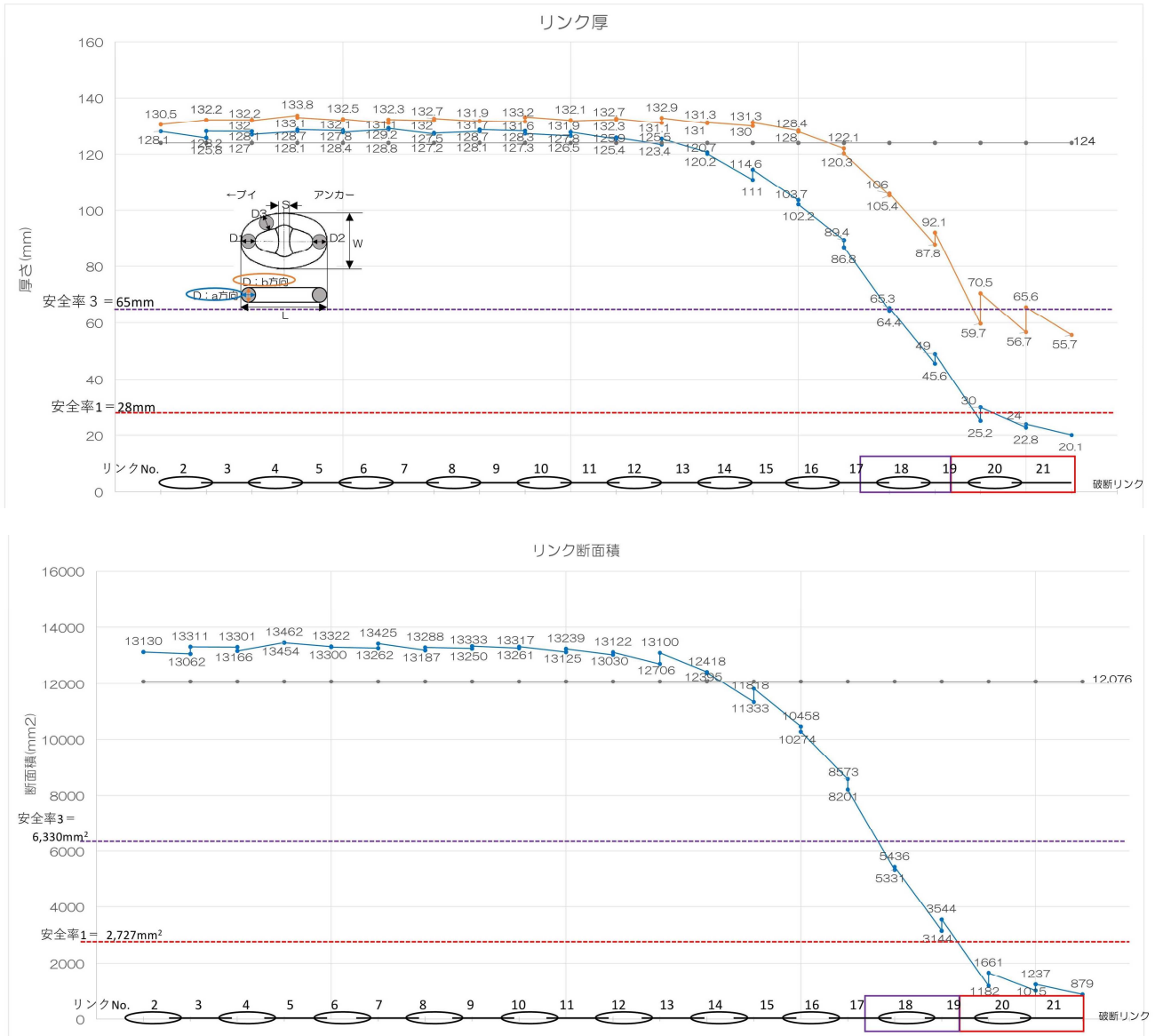


図 4-3 黒牧 15 号の下部補強鎖中部のリンク厚及び断面積

### 4-3. 他の黒牧との摩耗実績及び海底地形の比較

これまでに回収したいくつかの他黒牧のチェーンの摩耗実績と比較しても、離脱した黒牧 15 号の下部補強鎖中部の急激な摩耗は特異的であった (図 4-4)。また、これまでに回収調査を行った黒牧 17 基のうち、下部補強鎖中部の摩耗量が設計摩耗量 58mm を上回った事例は、今回の事例を除いて 1 例もなかった (図 4-5)。なお、下部補強鎖中部の摩耗量と海底地質に関連性は認められなかった (表 4-4)。

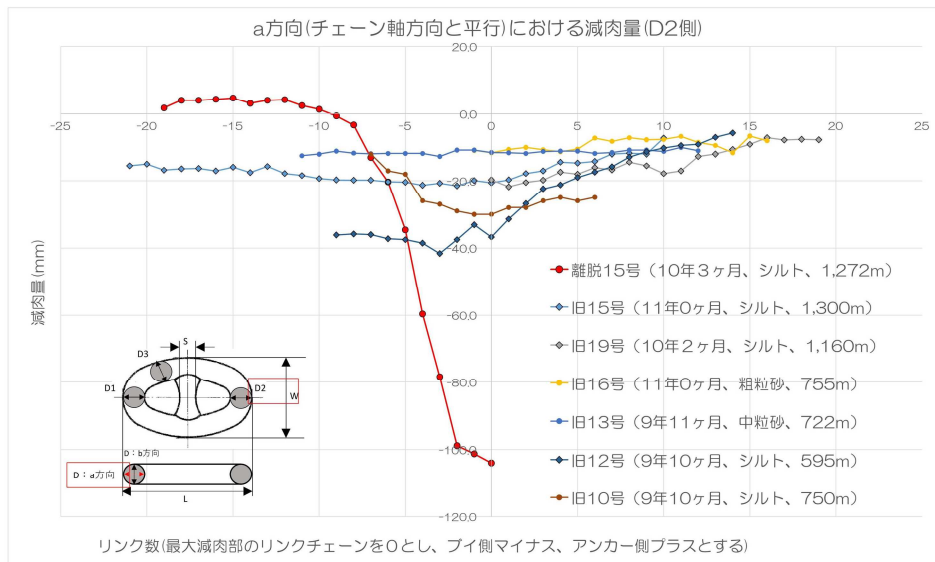
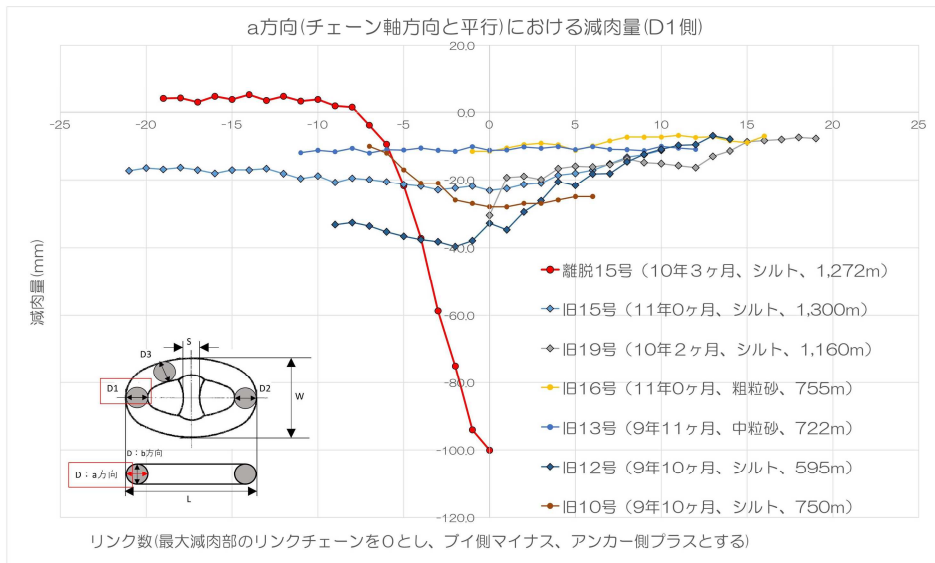


図 4-4 離脱した黒牧 15 号と他黒牧 6 基のチェーン摩耗量の比較

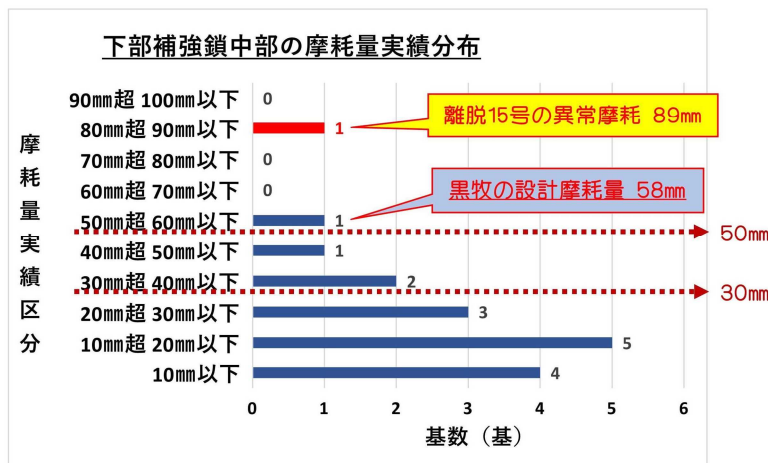


図 4-5 下部補強鎖中部の摩耗量実績分布 (摩耗量は a 方向と b 方向の平均)

補足 1) 水産庁所管 表層型浮魚礁の海底立上り部チェーンの参考摩耗量 = 2~3mm/年 (10年で20~30mm)

※「MP21 浮魚礁設計・施工技術基準」(平成4年3月:(社)マリノフォーラム21)による海底との摩擦の可能性のあるチェーンの腐食・摩耗代の追跡調査報告事例

補足 2) 国土交通省所管 GPS 波浪計の海底立上り部チェーンの設計摩耗量 = 5mm/年 (10年で50mm)

表 4-4 黒牧 7 基の下部補強鎖中部の摩耗量と海底地質

	摩耗量実績 (mm)	設置水深 (m)	堆積物	表層堆積物
離脱黒牧 15 号	89	1,272	未固結堆積物	シルト
旧黒牧 15 号	15	1,300	未固結堆積物	シルト
旧黒牧 19 号	17	1,160	未固結堆積物	シルト・表層堆積物に覆われた強粘性泥
旧黒牧 16 号	6	755	未固結堆積物・堆積岩	粗粒砂
旧黒牧 13 号	5	722	未固結堆積物	中粒砂
旧黒牧 12 号	25	595	未固結堆積物・堆積岩	シルト
旧黒牧 10 号	16	750	未固結堆積物	シルト

#### 4-4. 黒牧 15 号設置後の気象海象状況

黒牧 15 号の設計有義波高 12.5m (30 年確率波) を超える有義波高を記録した台風が、2018 年 8 月 (台風 20 号)、同年 9 月 (台風 21 号及び 24 号) に徳島県南部などに上陸しており、室戸岬沖 GPS 波浪計で観測した最大有義波高はそれぞれ 13.15m、13.66m、13.90m であった (表 4-5、図 4-6、4-7)。

特に、台風 21 号については、最高波高も 24m を超えるとともに、「非常に強い (最大風速が 44m/s 以上 54m/s 未満)」勢力を保ったまま徳島県南部に上陸し、室戸岬では最大瞬間風速 55.3m/s を観測し、最大風速も 48.2m/s と観測史上第 5 位 (観測開始 1920 年 7 月) の暴風を記録している。また、台風の進行方向の右手に位置する気象庁の和歌山観測所 (観測開始 1940 年 1 月) や関空島観測所 (観測開始 2003 年 1 月) でも最大瞬間風速が観測史上第 1 位の暴風を記録 (それぞれ 57.4m/s、58.1m/s) するなど、この 50 年間に観測された台風では最大級の勢力であった。

黒牧 15 号の近隣に設置されている室戸岬沖の黒牧 10 号で測定している潮流をみると、2017 年 8 月に発生した黒潮大蛇行を境として、これまで卓越していた 2~3 ノットの北東向きの流れが弱まり、それ以降、卓越方向のない弱い流れが離脱事故発生時まで継続していた (図 4-8)。

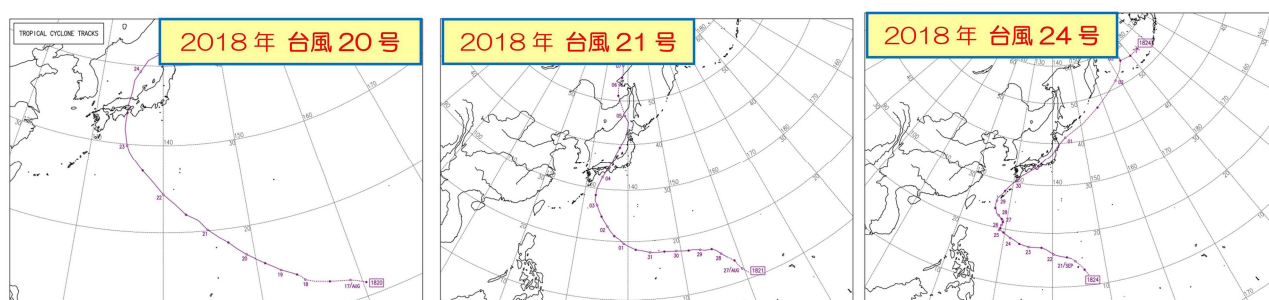


図 4-6 2018 年台風 20, 21, 24 号の進路

表 4-5 黒牧 15 号設置以降に台風が四国に上陸・接近した際の室戸岬沖 G P S 波浪計データ

年	波浪原因 【台風等】	波浪観測地点 【GPS波浪計】	年月日時	時間	最大有義波			時間	最高波	
					有義波高 $H_{1/3}$ (m)	周期 $T_0$ (s)	波向 (度)		最高波高 $H_{1/3}$ (m)	周期 $T_0$ (s)
2012(H24)	台風4号(上陸)	高知室戸岬沖	2012/6/19		～欠測～					
		【参考】 徳島海陽沖	2012/6/19	18:40	9.10	14.3	182	18:40	17.10	14.6
2013(H25)	台風26号(接近)		2013/10/15		～欠測～					
2014(H26)	台風11号(上陸)		2014/8/8		～欠測～					
	台風18号(上陸)		2014/10/5		～欠測～					
	台風19号(上陸)		2014/10/12		～欠測～					
2015(H27)	台風11号(上陸)	高知室戸岬沖	2015/7/16	17:00	10.24	13.1	138	9:40	18.54	14.7
		【参考】 徳島海陽沖	2015/7/16	18:40	10.73	13.8	147	14:20	20.21	13.1
2016(H28)	台風16号(上陸)		2016/9/20	10:40	8.18	10.6	212	10:20	14.33	10.1
2017(H29)	低気圧		2017/4/11	7:20	7.96	11.2	88	10:20	15.15	11.7
	台風5号(上陸)		2017/8/7	7:40	7.87	10.8	204	1:20	14.28	12.0
	台風18号(上陸)		2017/9/17	19:20	9.74	11.3	210	19:20	17.46	11.2
2018(H30)	台風20号(上陸)	高知室戸岬沖	2018/8/23	18:00	13.15	14.9	129	18:20	21.52	14.9
		【参考】 徳島海陽沖	2018/8/23	19:20	12.39	14.6	136	17:40	20.59	15.1
	台風21号(上陸)	高知室戸岬沖	2018/9/4	10:20	13.66	14.6	180	10:20	24.12	14.1
		【参考】 徳島海陽沖	2018/9/4	11:00	14.46	14.6	188	11:20	20.97	14.7
	台風24号(上陸)	高知室戸岬沖	2018/9/30	17:00	13.90	15.0	200	16:40	22.89	14.7
2019(R1)	台風10号(上陸)	高知室戸岬沖	2019/8/15	1:20	9.13	12.2	160	8/14 23:40	15.16	11.4
	台風19号(上陸)	高知室戸岬沖	2019/10/12	3:20	10.85	17.2	121	0:20	15.66	16.5
		【参考】 徳島海陽沖	2019/10/11		～欠測～					
2020(R2)	低気圧(1月豪雨)		2020/1/27	20:40	8.39	11.4	102	20:20	13.48	12.0
	台風10号(接近)		2020/9/7	3:20	8.59	13.5	188	1:00	14.93	14.1
	台風14号(接近)		2020/10/9	9:40	9.31	12.7	91	20:00	14.44	11.8
2021(R3)	台風9号(上陸)	高知室戸岬沖	2021/8/9	5:40	7.87	10.9	204	5:40	13.02	11.6
		【参考】 徳島海陽沖	2021/8/9	8:00	8.12	11.6	204	6:20	12.91	11.2
2022(R4)	台風14号(上陸)	高知室戸岬沖	2022/9/18		～欠測～					
		【参考】 徳島海陽沖	2022/9/18	18:40	8.92	13.2	184	16:00	13.93	12.9

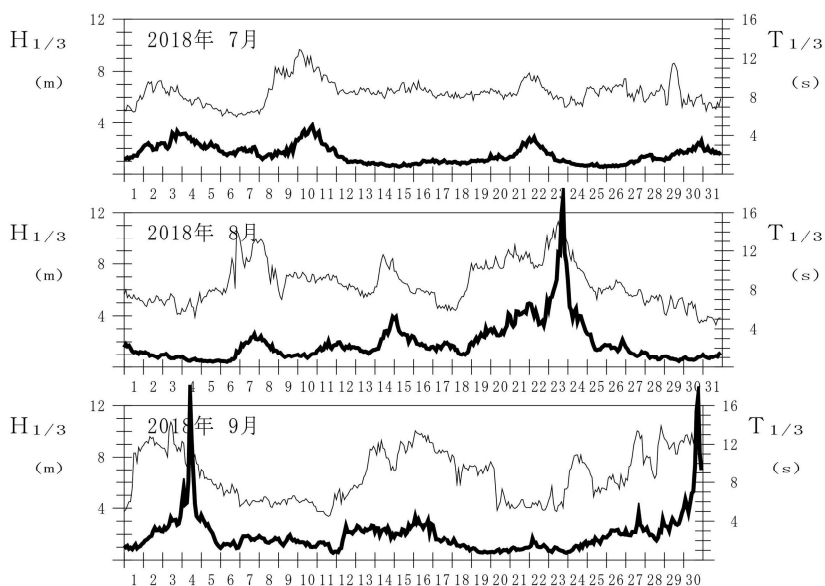


図 4-7 2018 年 7～9 月の室戸岬沖の有義波高及び有義波周期の経時変化（出典：国土交通省港湾局が観測、港湾空港技術研究所がデータ処理したものを利用）



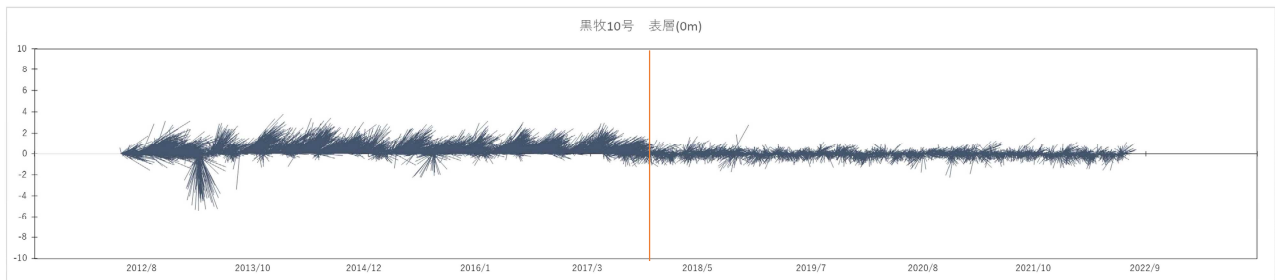


図 4-8 黒牧 10 号表層の流向及び流速の推移

#### 4-5. 設置後の浮体位置

台風の日（表 4-5 参照）を基準として、その前後の期間の浮体平均位置をそれぞれ地図上にプロットしたところ、黒牧 15 号の浮体の振れ回り位置は、2018 年 8 月から 9 月の台風 20、21、24 号接近の際に大きく南方向に移動した後すぐに北方向に移動し、その後 2018 年末から 2022 年の離脱事故発生までの 4 年間はほとんど変化がなかった（図 4-9）。このことは、2018 年 8 月末以後の浮体位置のヒストグラム（東西方向）及び頻度散布図にも示されており（図 4-10）、2018 年 8 月末以降は、それ以前に比べて振れ回りの範囲が狭くなっていた。また、2018 年 8 月末以前のヒストグラムは、供用期間 10 年を満了して回収した旧黒牧 15 号のヒストグラムと類似していた。これらのことから、2018 年 8 月及び 9 月の台風をきっかけとして、黒牧 15 号は浮体が振れ回りにくい状態になってしまっていたと推察される。

また、黒牧 15 号の近隣に設置されていた旧黒牧 19 号の振れ回りの位置は、概ね黒牧 15 号と同じような傾向で移動しているが、2018 年 8 月から 9 月の台風接近の際の南方向への移動が小さく、台風以降も振れ回り位置に大きな変化があるという違いが認められた（図 4-11）。このことが、黒牧 15 号と類似した場所及び時期に設置された旧黒牧 19 号で下部補強鎖中部の摩耗が少なかったこと（表 4-4、図 4-4）に関係しているものと推察される。

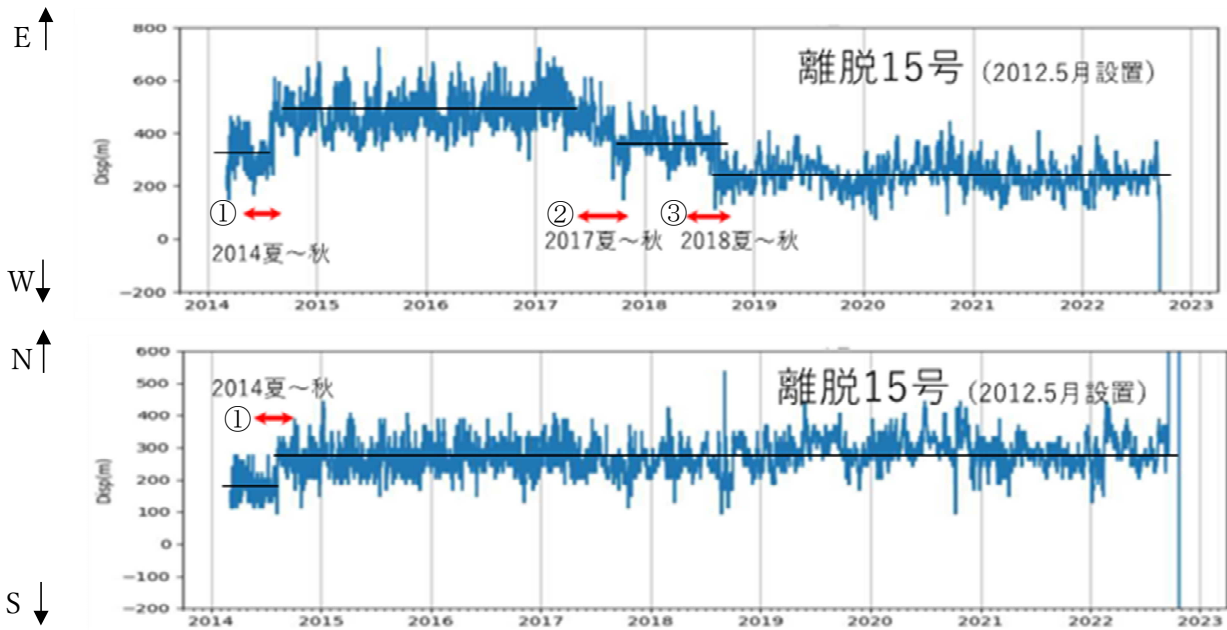
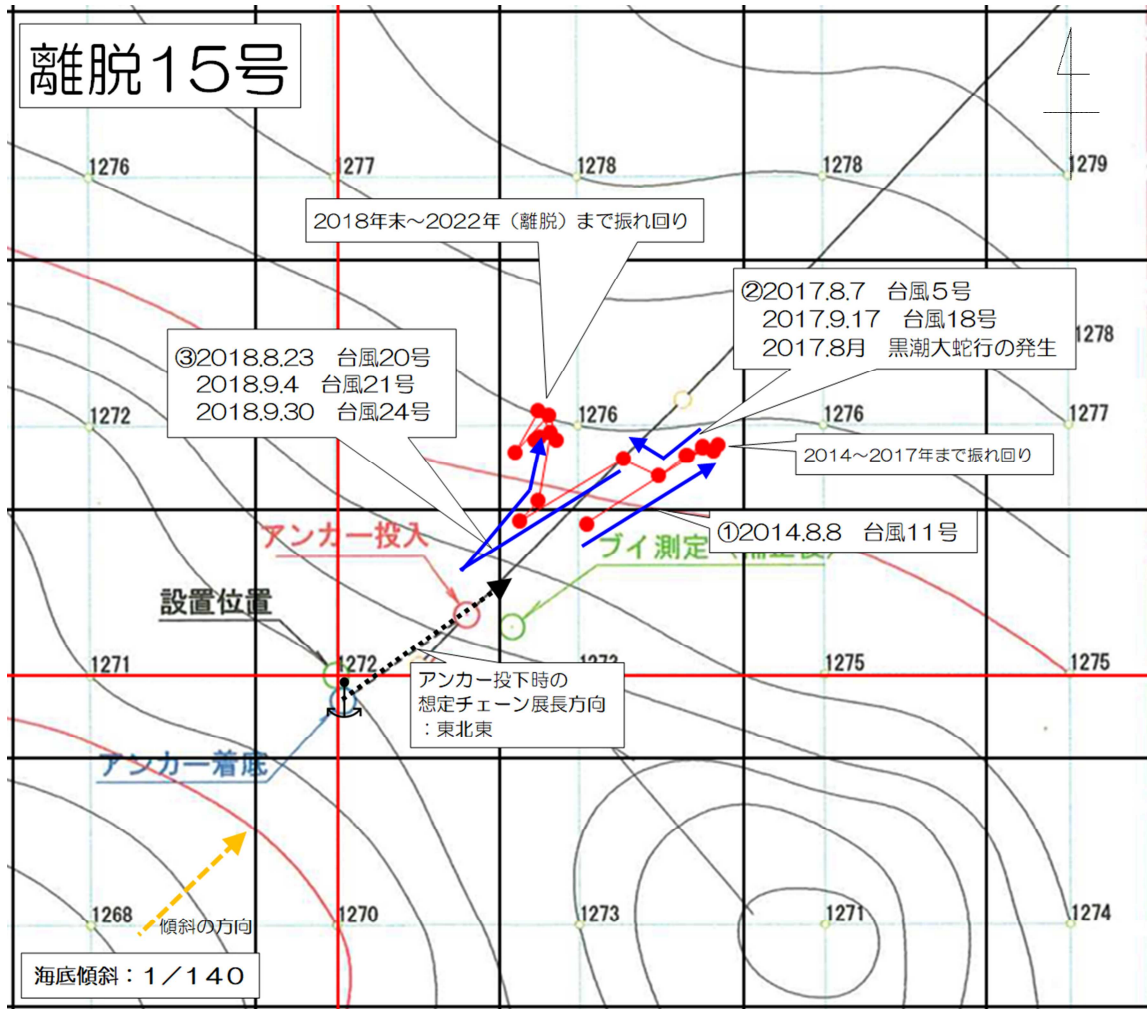


図 4-9 離脱した黒牧 15 号の振れ回り位置の変化

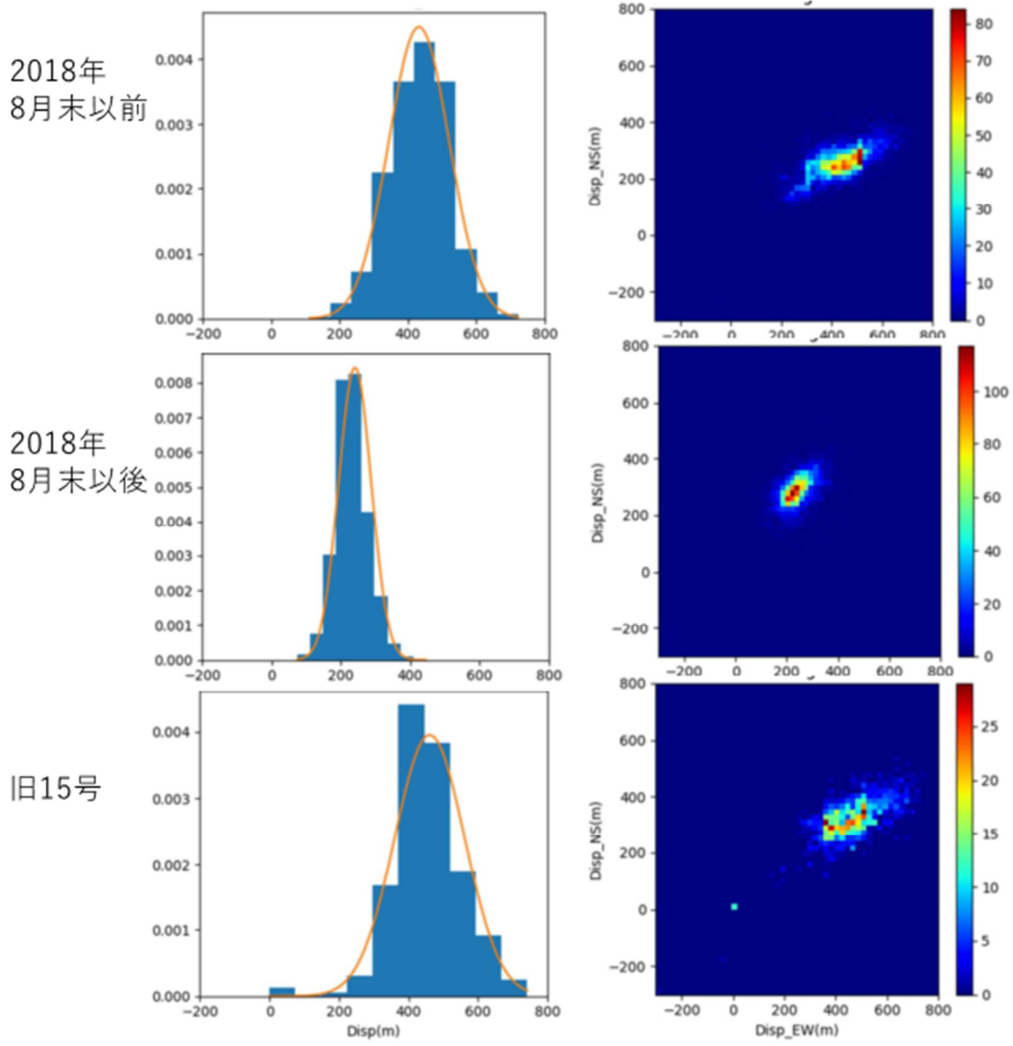


図 4-10 2018 年 8 月末以前及び以後の黒牧 15 号浮体位置のヒストグラム（東西方向）及び頻度散布図

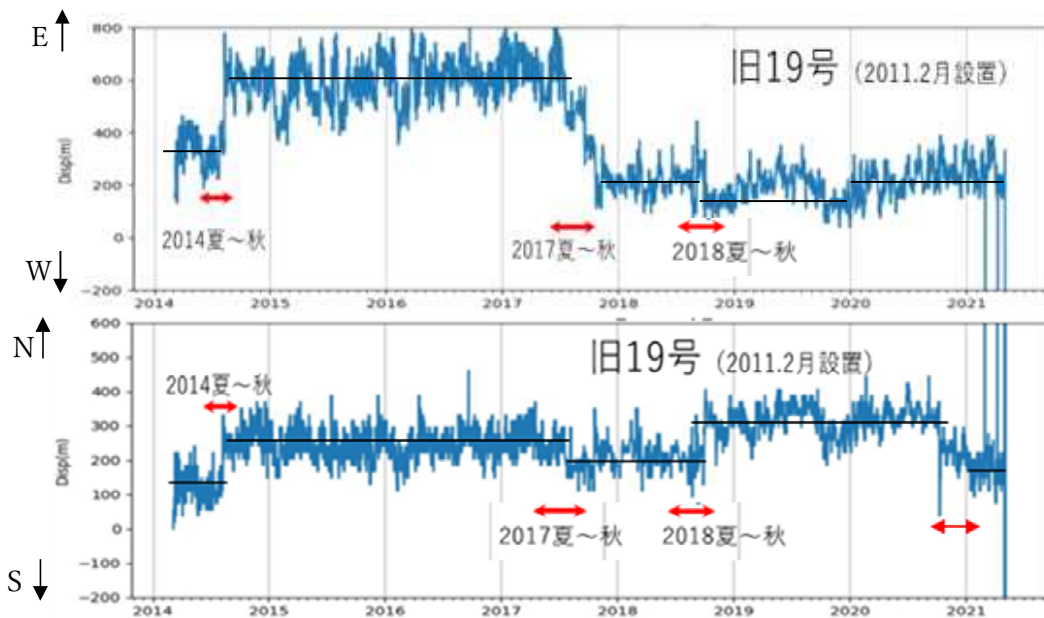
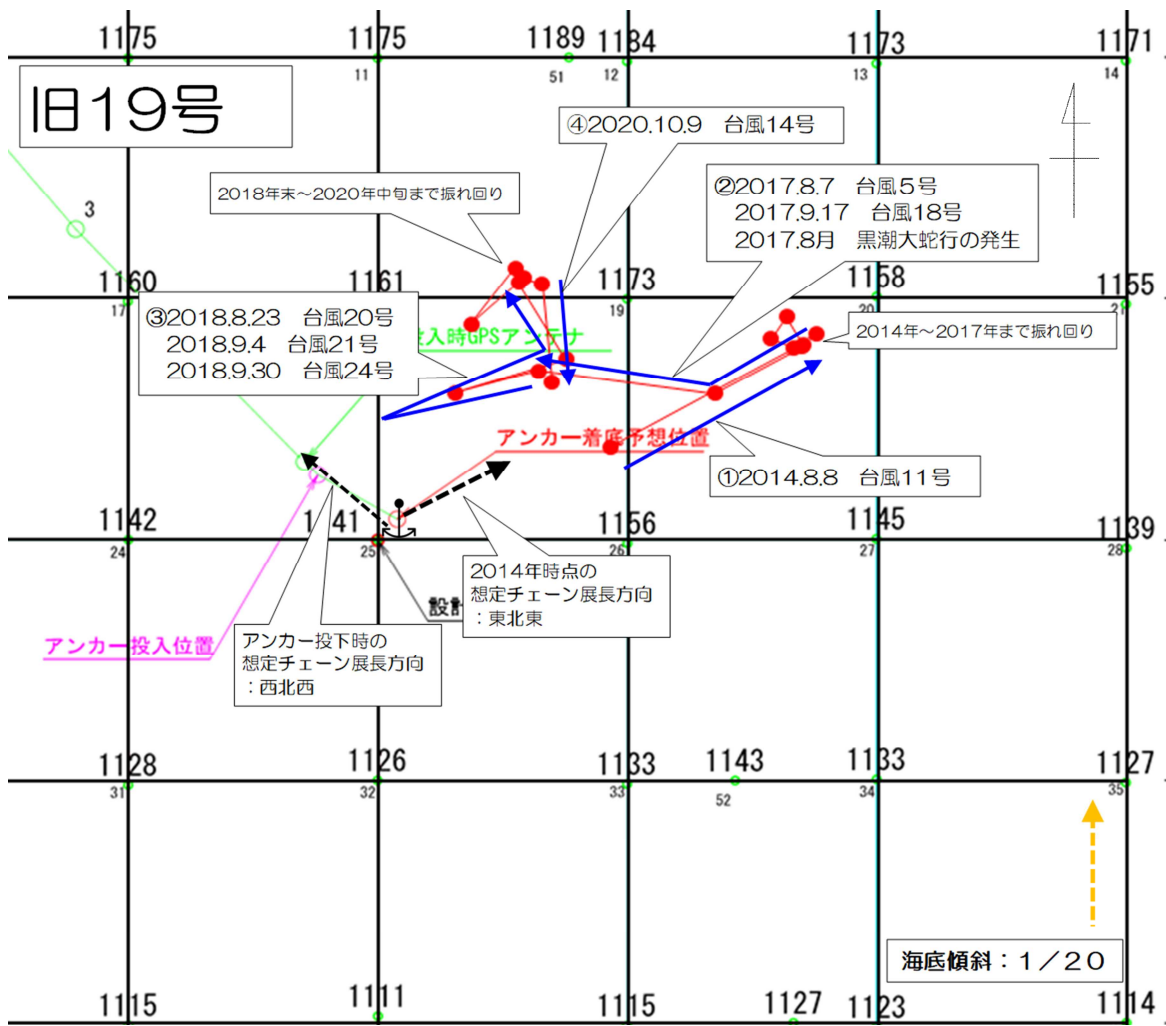


図 4-11 旧黒牧 19 号の振れ回り位置の変化

#### 4-6. 他の離脱事故事例について

黒牧 15 号と同様に、下部補強鎖中部の海底立ち上がり部付近のリンク破断を原因としたブイの流出事故は、これまでに宮崎県の表層型浮魚礁（2021 年）、国土交通省の徳島海陽沖GPS波浪計（2013 年及び 2018 年）で発生している。このうち、宮崎県及び 2013 年の徳島海陽沖GPS波浪計の事例では、海底立ち上がり部付近の特定箇所に負荷が集中することでリンクの異常摩耗が発生したと推察されており、徳島海陽沖GPS波浪計の場合には、設置の際にチェーンが複雑に絡み合い、海底立ち上がり部で固定点化状態となったことが異常摩耗の原因とされている（吉川，2015）。

また、国土交通省の宮城中部沖GPS波浪計の耐用年数満了・引き揚げ後の経年劣化調査では、海底立ち上がり部の 5 つのリンクに局所的な異常摩耗（設計摩耗量 58mm に対して最大摩耗量 75mm）が発生しており、ブイの振れ回り領域が一部に集中していたことが原因と推察されている（畠山，2019）。

出典：吉川 祐子（2015）. 徳島海陽沖 GPS 波浪計の再設置について，四国地方整備局  
(<https://www.skr.mlit.go.jp/kikaku/kenkyu/h27/pdf/02.pdf>)

畠山 貴之・川村 浩・佐々木 武・百澤 康雄（2019）. GPS 波浪計経年劣化の検証について，沿岸  
技術研究センター論文集, No. 19.

## 5. 離脱事故の発生原因に関する調査結果

- (1) 今回の離脱事故は、下部補強鎖中部の海底立ち上がり部付近のリンクが想定を大きく超えて異常に摩耗し、著しく強度が低下していた状況において、令和4年9月18日に本県に接近した台風14号の高波や強風による過剰な引っ張りで当該リンクが破断したことによって発生したものと考えられる。
- (2) 下部補強鎖中部の海底立ち上がり部付近リンクの異常な摩耗は、主に次の2つの要因によって生じたものと推察される。
  - 1) 2018年夏～秋に本県に接近した台風で設計有義波高以上の有義波高を受けたことで想定以上のブイの上下動や急激な振れ回りが発生し、そのことによって下部補強鎖中部チェーンが重なり合う等して海底立ち上がり部が固定点化の状態となった。
  - 2) 海底立ち上がり部が固定点化の状態となったことで、チェーンに想定した余裕がなくなり、潮位変動や潮流、波浪、風による浮体運動に伴って、下部補強鎖中部の特定部分に過剰な負荷が集中する状況となった。

## 6. 土佐黒潮牧場 15 号の再設置に係る改善策の提言

前章において、今回の離脱事故は、設計有義波高を超える有義波高を短期間に 3 回受け、そのことによって下部補強鎖中部（海底立ち上がり部付近）のチェーンが重なり合い等によって固定点化してしまい、潮位変動や潮流、波浪、風による浮体運動に伴って、特定部分のリンクが異常摩耗したことが原因であると推察した。

設計有義波高は 30 年に 1 度発生する可能性のある波高であること（30 年確率波）、土佐黒潮牧場の整備開始から今回の事故までの 39 年間にチェーンの固定点化によるリンクの異常摩耗及び離脱事故は一度も発生していないことから、本離脱事故は極めて特異的な事象によって引き起こされたと考えるのが妥当であり、今後、同様の事象が再度発生する~~とは考えにくく~~確率は低いと言える。そのため、今後、黒牧 15 号を再設置する際の改善策として以下を提言する。

- (1) 摩耗代を十分考慮した現在の設計及びこれまでのブイ整備において全く問題が起きていない海上展張方式による施工については現状のとおりとする。
- (2) 新設の黒牧 15 号を現設計位置に設置すると、海底に残された離脱黒牧 15 号の係留索（下部補強鎖中部からダンフォースアンカーまでの 634m）と干渉する可能性があるため、新設の黒牧 15 号の設置位置は、上記と干渉しない位置に変更する。
- (3) 特異的な事象による固定点化もしくは異常摩耗への対応として、係留システムのバランスやチェーンの軽量化等による負荷軽減に関する工夫を検討するとともに、他の事例や実績を参考にしながら、海底立ち上がり部リンクの強度の高い規格への変更についても検討を行う。