

論考資料

2026年3月16日 辺野古沖で発生した大波の 発生要因を探る

仲座栄三
8月12日

本資料の無断使用を禁ずる

1

本資料は、転覆の要因を大波の作用にあると捉え、その大波がどのように発生したのか、また予測値とどのように関係するのかを科学的に検討したものです。

したがって、本資料の内容は、筆者による科学的分析の結果を示すものであり、その結果が事実そのものを直接示すものではありません。

すなわち、本資料は、筆者の科学的分析によってこのような結論が導かれること、あるいはこのような観点から検討する余地があることを示すものです。

ご活用に当たっては、各自の判断と理解のもとでお取り扱いください。

本分析が、今後の科学的検討の端緒となれば幸いです。

2

真理は汝らに自由を得さしべし

3

転覆事故要因
メディアによる指摘

- 1) 沖縄地方に沿岸波浪注意報が発令中の出航
- 2) 定員ぎりぎりの乗船
- 3) リーフに近づき過ぎた
- 4) 抗議船の利用

4

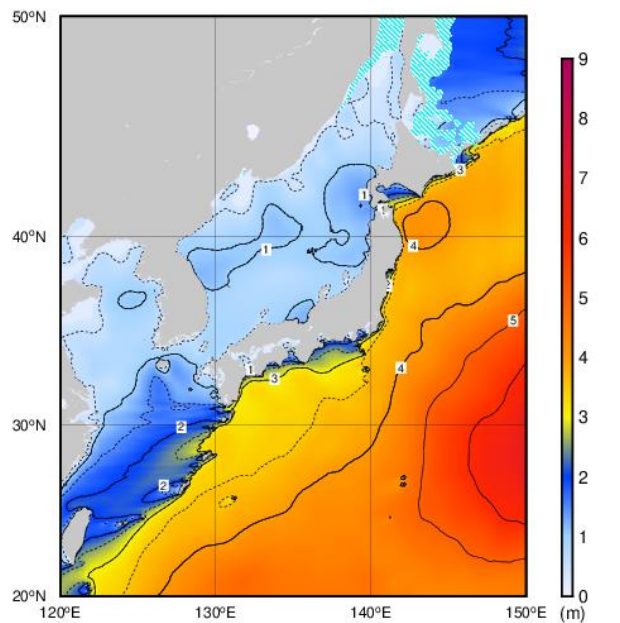
波

H, T, h
波高、周期、水深

5

実際はどうで
あったか？

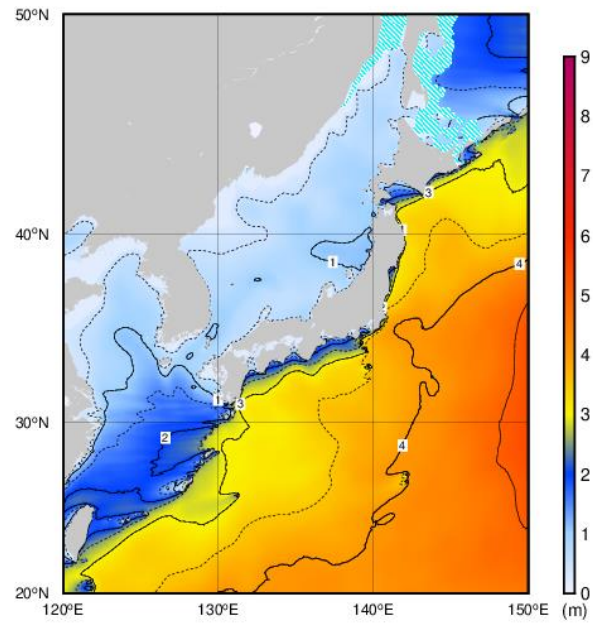
気象庁発表の
沿岸波浪実況
図（予報値）



All rights reserved. Copyright © Japan Meteorological Agency

2026年3月15日21時 の沿岸波浪実況図

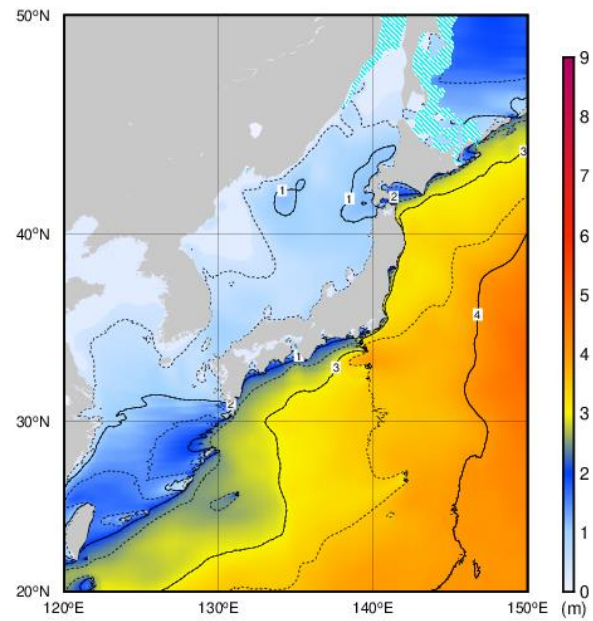
6



All rights reserved. Copyright © Japan Meteorological Agency

2026年3月16日09時 の沿岸波浪実況図

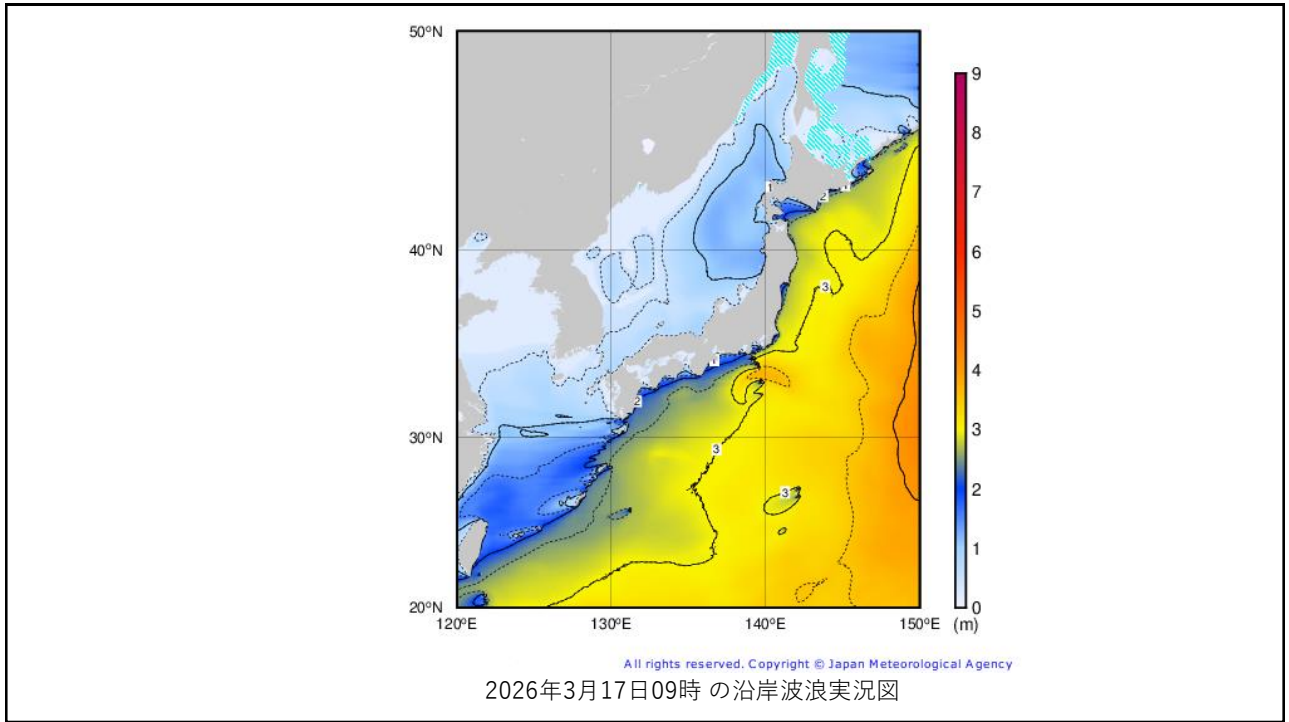
7



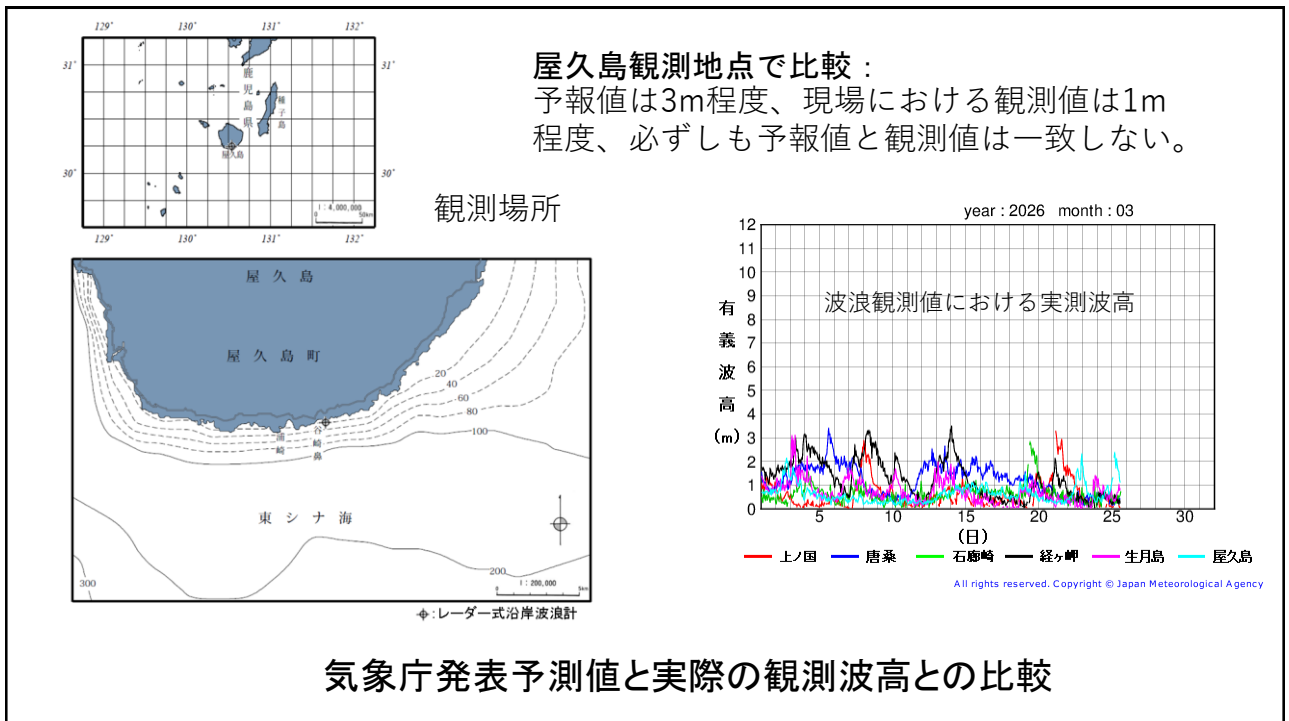
All rights reserved. Copyright © Japan Meteorological Agency

2026年3月16日21時 の沿岸波浪実況図

8



9



10

私が分析を始めた動機

事故の発生に心病み続けていた

海上保安庁の説明 4～5m の波によって転覆

当時 4～5m の大波の発生を、通常の推定では説明困難

逆流中を進む波の波高増大と波形勾配増大で説明を試みる

11

Sir Geoffrey Ingram Taylor (1886–1975)

"The action of a surface current on ocean waves"(Proceedings of the Royal Society of London. Series A, 1943)

発表: 1942年（英国戦時研究レポート）/ 1943年公刊

逆流中での波の波高増大と 波形勾配増大の基礎式

$$(EC_g/\sigma)_0 = E(C_g - U)/\sigma$$

$$\sigma_0 = \sigma - kU$$

12

実験による波高増大の確認

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 682 Sept. 1990

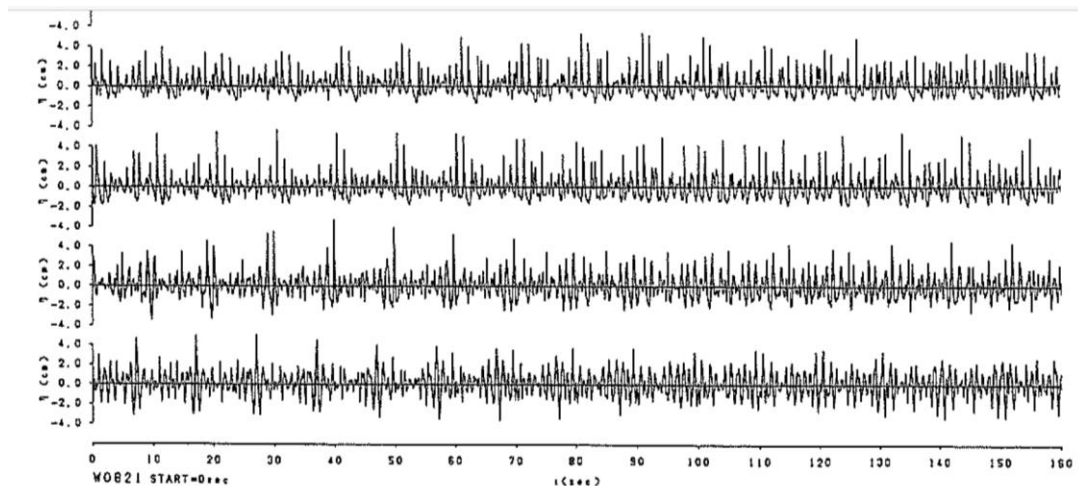
河口部での波の変形に関する二次元実験

鷗 谷 広 一
惟 住 智 昭
佐 々 木 豊 喜

13

流れ無し

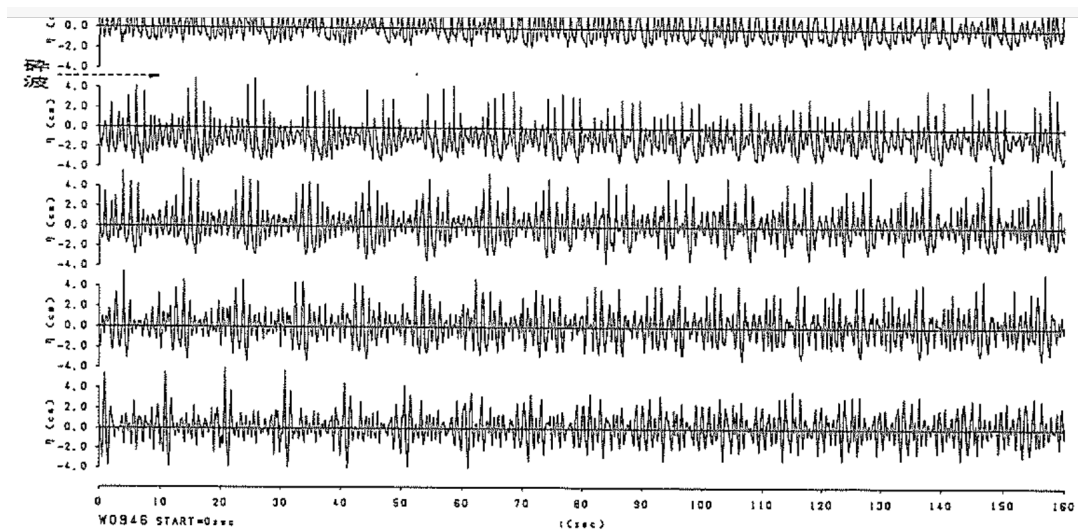
実験によって得られた波の波形



14

流れ有り

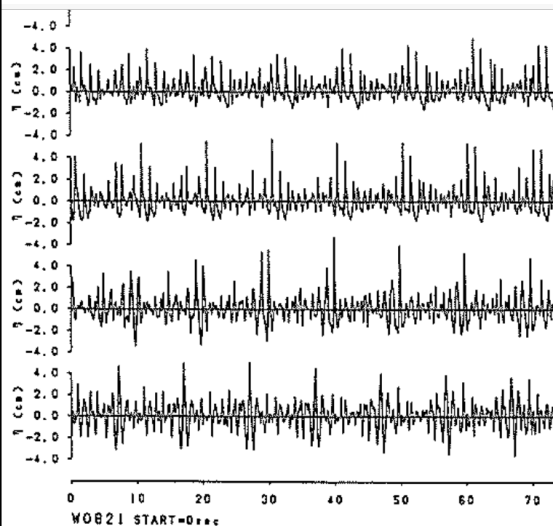
実験によって得られた波の波形



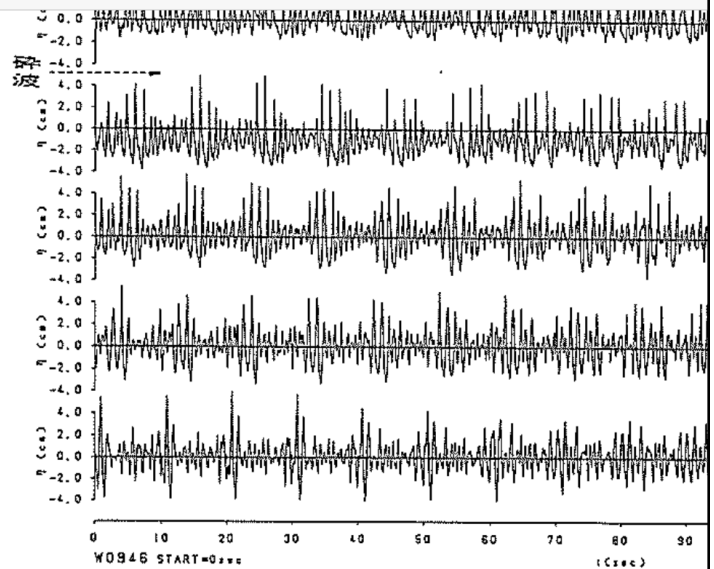
実質流速 おおよそ-2.5m/s

15

波形の比較



逆流なし



逆流あり

16

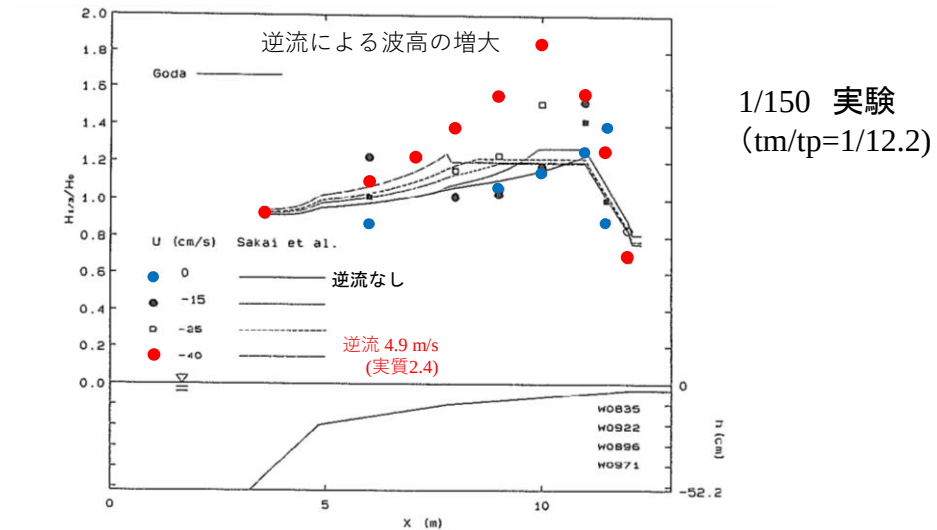
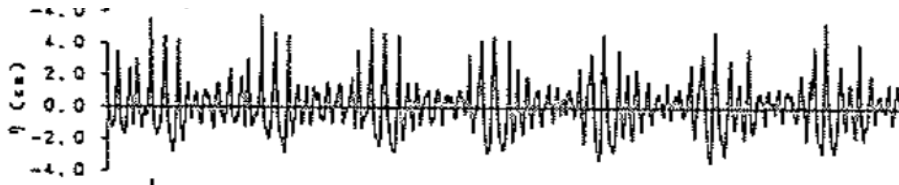


図-14(a) 有義波高の変化 (規則波 1) 実験 $H=2.3\text{cm}$ $T=1.25\text{s}$
 実際 3.5m 15.3s

17

うねり性の波形 (波群) の例



平均波高、有義波高、最大波高
 $\bar{H}$ H_s H_{max}

18

ローグ波 (rogue wave) フリーク波 (freak wave) 異常な

異常な巨大波、巨大海洋波、突然現れる

似た言葉に **sneaker wave** (スニーカー波) がある。

- 主に海岸で、浜にいきなり駆け上がる一際大きな打ち寄せ波。
- 高さの統計的定義ははっきりせず、油断した人をさらう不意の高波」という意味合いが強い。

19

•周辺の「有義波高」(significant wave height) の少なくとも2倍以上の高さをもつ波

•周囲の波列から統計的に見て極端に外れた一波

•通常の波の到来に比べて突然・孤立して現れることが多い

20

実際に観測された代表的事例

ドラウプナー波 (Draupner wave, 1995年)

北海のノルウェー沖「ドラウプナー (Draupner) 油田」構造物近傍
1995年1月1日、有義波高約 12m の海況の中で、単一波高が約 25.6m に達したと記録
初めて計測機器で信頼性高く記録されたローグ波として有名
その後の「rogue wave 理論」の基準例として頻繁に引用される (en.wikipedia.org)

クイーン・メリー号遭遇波 (第二次世界大戦末期)

北大西洋、ニューファンドランド沖、大型客船 RMS Queen Mary が輸送任務中、
船体中央部に推定 25~28m 級の巨大波を受け、転覆寸前まで大きく傾斜したと報告
長らく「船乗りの怪談」とされていたローグ波が、
実際に大型客船でも起こり得ることを示した歴史的事例とされる (prod-01-alb-www-noaa.woc.noaa.gov)

2020年 カナダ・ウキヌフ沖の観測例

カナダ・ブリティッシュコロンビア州沖、太平洋の観測ブイ、2020年11月頃の事象として
報告、周辺有義波高の約 3倍に達する「4階建てビル級」のローグ波
統計的に非常にまれで、過去記録の中でも「最も極端なローグ波の一つ」とされた
(livescience.com)

21

逆流中の波高増大による転覆事故事例（遊漁船「五六丸」転覆事故）

✳ 事故の概要 (AIによるまとめ)

発生日時は2023年12月6日午後3時ごろ

場所は、宮崎県宮崎市の宮崎港、大淀川河口付近の南航路入口周辺

対象は遊漁船「五六丸」（総トン数約3.9トン、船長1人と釣り客5人が乗船）

結果として、船長と釣り客1人の計2人が死亡し、4人が重軽傷を負った

当時は波浪注意報が出ていて、うねりを含む波が高い状況だった。(newsdig.tbs.co.jp)

🌊 どのように転覆したか

運輸安全委員会の調査報告によると、次のような経過が整理されている。

宮崎港の定係地へ戻るため、大淀川河口近くの南航路入口へ進入

河口付近では、磯に碎ける波に加え、**三角波を伴う高さ約2メートルの波浪が発生していた。**

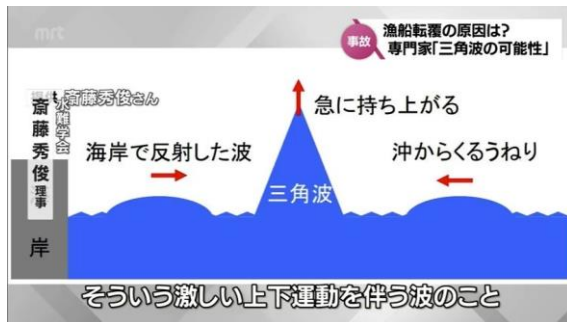
船は「追い波」（船尾側から来る波）を受ける向きで接近しており、船長は速度を落として航行。船尾側から来た波が船を追い越す形になり、その下り斜面で船尾が持ち上がりつつ船体が前方へ加速。その結果、船首が前方の波の斜面に突っ込むような姿勢になり、左舷の船首側のブルワーク（舷側の立ち上がり）が水没、急激に浸水して、船は転覆したと推定される。

乗客の証言としても「後ろから大きな波を受けて船が回転するように転覆した」という趣旨の話が報道されており、突然の異常な波の影響がうかがえる。

22



2023年12月7日(木) 19:00



MRT

<https://newsdig.tbs.co.jp/articles/mrt/882028?page=2>

23

パラメータ	設定値	物理的意味
沖合波高 (H0)	1.2 m	進入前の外洋の波高
波浪周期 (T)	7.0 s	沿岸・河口に押し寄せる標準的なうねり/風浪
河口水深 (h)	4.0 m	宮崎港・大淀川河口南航路入口付近の浅海浅瀬水深
逆流流速 (U)	-1.8 m/s (約 3.5 ノット)	河川流 + 下げ潮 (引き潮) による外洋方向への流れ

24

4. なぜ「五六丸」は転覆したのか？（物理的メカニズムの解明）

試算された数値を、船体運動学（ブローチング現象 / Surf-riding & Broaching-to）にあてはめると、転覆までのプロセスが明確になる。

[沖合からの進入] 波高 1.2m, 波長 76.5m

▼（大淀川河口入口：水深 4m × 逆流 1.8m/s）

[波浪の短縮・急増] 波高 2.4m, 波長 22.0m へ圧縮（急激な三角波・高波の形成）



[追い波での乗波 (Surf-riding)]

- ・船長は速度を落として進入。
- ・波長 22m の波浪エネルギーが追尾。波高 2.4m の下り斜面で船尾が持ち上げられる。



[船首の突っ込み (Bow-diving) & 復元力喪失]

- ・加速された船首が前方の波の登り斜面（波谷）へ深々と突き刺さる。
- ・左舷船首ブルワークが水没し大量浸水 + 船首が固定軸の役割を果たす。



[横転・回転転覆 (Broaching-to)]

- ・追い越す波の力で船尾が振られ、急激に横を向く（回転動作）。
- ・復元力を失った船体が左舷へ一気に横転・転覆。

25

辺野古沖における転覆事故事例

2014 ダイビング船の転覆 想定外の大波

2025 作業船の転覆 波については触れられていない

26



27



琉球朝日放送
報道制作局 2026年3月23日

日本水難救済会 遠山純司理事長「**波浪注意報**が出されてたということは、基本的に波の高さ2.5mの波が発生する可能性があるということなんですよ。この2.5mの波のときにこの小型船ですね。これだけもう**定員ギリギリ**の人を乗せて、安定性が悪い状態になって**出港するというのは基本的にあり得ません**。危険な状態になってからではそれから離脱するというのは極めて困難です」

また、今回の事故は**船長や運航団体に刑法犯が適用される可能性が高い**といいます。

日本水難救済会 遠山純司理事長「**業務上過失致死傷**ということで、これは船を危険な状態にして乗っている人にですね、死に至らしめるケガを負わせるということですね。もう一つは**業務上過失往來危険罪**。これは船を運航してですね、船に安全の危険を生じさせるということですね。これが成立する可能性が高く、まず海保はこの容疑で捜査を開始しているということですね」

28

今回立件される可能性があるのは3つの容疑です。

1つ目が必要な注意を怠り、人を死亡、または負傷させる『業務上過失致死傷』

2つ目が、船長などが船などの往来に危険を生じさせ、転覆などさせる『業務上過失往来危険』

そして3つ目が『海上運送法違反』です」

琉球朝日放送 報道制作局 2026年3月23日

29

斎藤秀俊 コメント

長岡科学技術大学教授（水難学会理事）

「事故当日の気象庁の波浪予想図では、日本の2000kmも東にある低気圧から丸1日かけて強力なうねりが沖縄に届いていた」、「通常、波の周期は7～8秒だが、事故当時は13秒ほどで、最近は見ることのない波長だった」、「辺野古沖で発生したうねりは年に数回あるかないかの極めて珍しい、強力なものだった。--- こうなるとどんな安全対策をしても防げなかったのではないか」

（2026. 3. 18 琉球新報、読売新聞WEB版）

30

逆流説による辺野古沖転覆事故に対する試算

- 基本諸元:

- 周期 $T = 8.0 \text{ s} \implies \omega_0 = \frac{2\pi}{8.0} \approx 0.7854 \text{ rad/s}$

- 沖合波長: $\lambda_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \approx 99.8 \text{ m}$

- 沖合群速度: $c_{g0} \approx 6.24 \text{ m/s}$

- 水深 20 m での波形変化（静水時）:

分散関係式 $\omega_0^2 = gk_0 \tanh(k_0 h)$ を解くと:

$$0.7854^2 = 9.81 \cdot k_0 \tanh(20k_0) \implies k_0 \approx 0.0711 \text{ m}^{-1} \quad (\lambda \approx 88.4 \text{ m})$$

- 静水時の固有群速度: $c'_{g0} \approx 6.18 \text{ m/s}$

31

パターンB : 逆流 $U = -2.0 \text{ m/s}$ (約 3.9 ノット) の場合

1. 波数と波長の変化:

$$0.7854 = \sqrt{9.81k' \tanh(20k')} - 2.0k' \implies k' \approx 0.1385 \text{ m}^{-1} \quad (\lambda' \approx 45.4 \text{ m})$$

- 波長は元 (99.8m) の半分以下 (45.4m) に急縮されます。

2. 絶対群速度の減速:

- 固有振動数: $\sigma' \approx 1.127 \text{ rad/s}$

- 固有群速度: $c'_{gr} \approx 3.93 \text{ m/s}$

- 絶対群速度（流速込み）: $c'_g = 3.93 - 2.0 = 1.93 \text{ m/s}$

- エネルギー伝播速度が $6.24 \text{ m/s} \rightarrow 1.93 \text{ m/s}$ へと 69% も途絶・減速（約1/3）します。

32

3. 1次元波高増幅率:

$$f_{\text{current}} = \sqrt{\left(\frac{\omega_0}{\sigma'}\right) \left(\frac{c_{g0}}{c_g'}\right)} = \sqrt{\left(\frac{0.7854}{1.127}\right) \times \left(\frac{6.18}{1.93}\right)} = \sqrt{0.697 \times 3.202} \approx \mathbf{1.49 \text{ 倍}}$$

- 1次元基本波高: $H_1 = 2.0 \text{ m} \times 1.005 \times 1.49 \approx \mathbf{3.00 \text{ m}}$

33

3. 2次元屈折集光と非線形効果を加味した総合試算

河口の地形（導流堤や浅瀬）や海流の流軸による2次元屈折・集光（ $f_{\text{focusing}} \approx 1.25\text{--}1.35$ ）
および非線形効果（ $f_{\text{nonlinear}} \approx 1.20\text{--}1.30$ ）が合算された場合の最終波高を試算します。

総合算定結果

逆流流速 (U)	1次元線形増幅	波長 (λ')	1次元基本波			
−1.5 m/s	1.26 倍	53.9 m	2.53 m			
−2.0 m/s	1.49 倍	45.4 m	3.00 m			
...				地形集光 + 非線形加算	総合試算波高 (H_{total})	総合増幅率
Hi = 2.0m				×1.25 × 1.20	3.80 m	1.90 倍
				×1.30 × 1.25	4.88 m	2.44 倍

34

2. 波勾配（陰しさ）の急増と三角波化

流速 -2.0 m/s の場合、波長が 45.4 m まで押しつぶされ、波高は最大 4.88 m に達します。

• 波勾配 (H/λ') :

$$\frac{H_{\text{total}}}{\lambda'} = \frac{4.88 \text{ m}}{45.4 \text{ m}} \approx 0.107$$

砕波条件からの推定
 $0.14 \times 45.4 = 6.4 \text{ m}$

波勾配が 0.107 に達すると、理論的な砕波限界 (0.142) にかかなり接近するため、波の頂部が尖り、水沫を巻き上げて崩れる危険な三角破砕波（フリーク波）が局所的に発生する状態となります。

3. まとめ

水深 20 m ・周期 8 s の条件では、浅水効果自体はほぼ働きませんが、 $1.5 \sim 2.0 \text{ m/s}$ 程度の逆流が存在するだけで、波高は $3.8 \sim 4.9 \text{ m}$ （元の $1.9 \sim 2.4$ 倍）へと急激に増大し、波長が半減することで極めて急峻な波高が形成されるという結果になります。

35

逆流中の波の波高増大説から、**想定外の長周期の波の浅水変形による波高増大説へ変更**

理由： 転覆事故当時の動画やビデオ画像が公開されたことにより、転覆時の波の様子や、うねりの伝播様子が分かり、転覆要因を見直した。

36

7月29日 記者会見 動画公開 (2026年)
https://note.com/beloved_tomoka/n/n88895e4de831
波については約 18 秒間の動画

動画の分析により

- 1) 不屈・平和丸転覆時の波高を **7~8m** と推定 (証言との対応)
- 2) うねり性の波 周期は **18s** 程度と推定
- 3) うねり来襲方向 東
- 4) 逆流中の波高増大とは異なる要因による大波の発生と判断
- 5) 大波の発生要因を浅水効果による極端な波高増大 (予測不可能な巨大波の発生) とし、試算を行う。

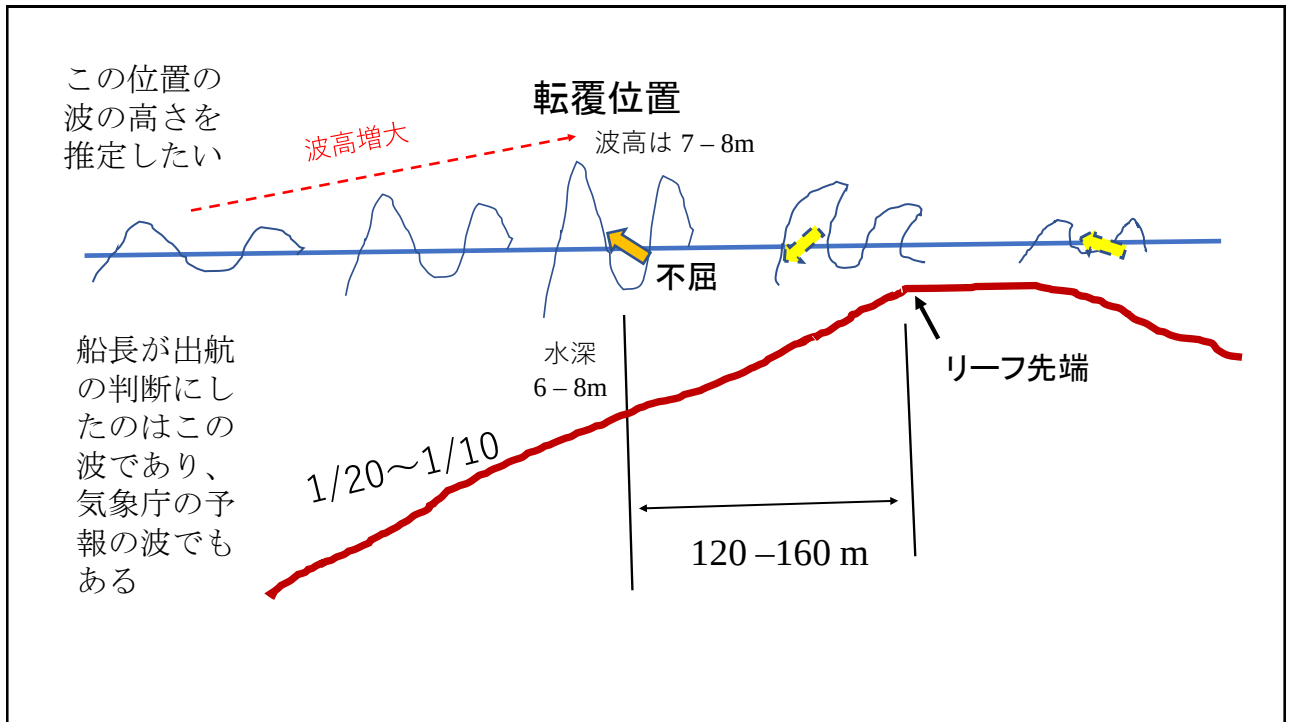
37

出航の判断は誤っていたと言えるか、検証

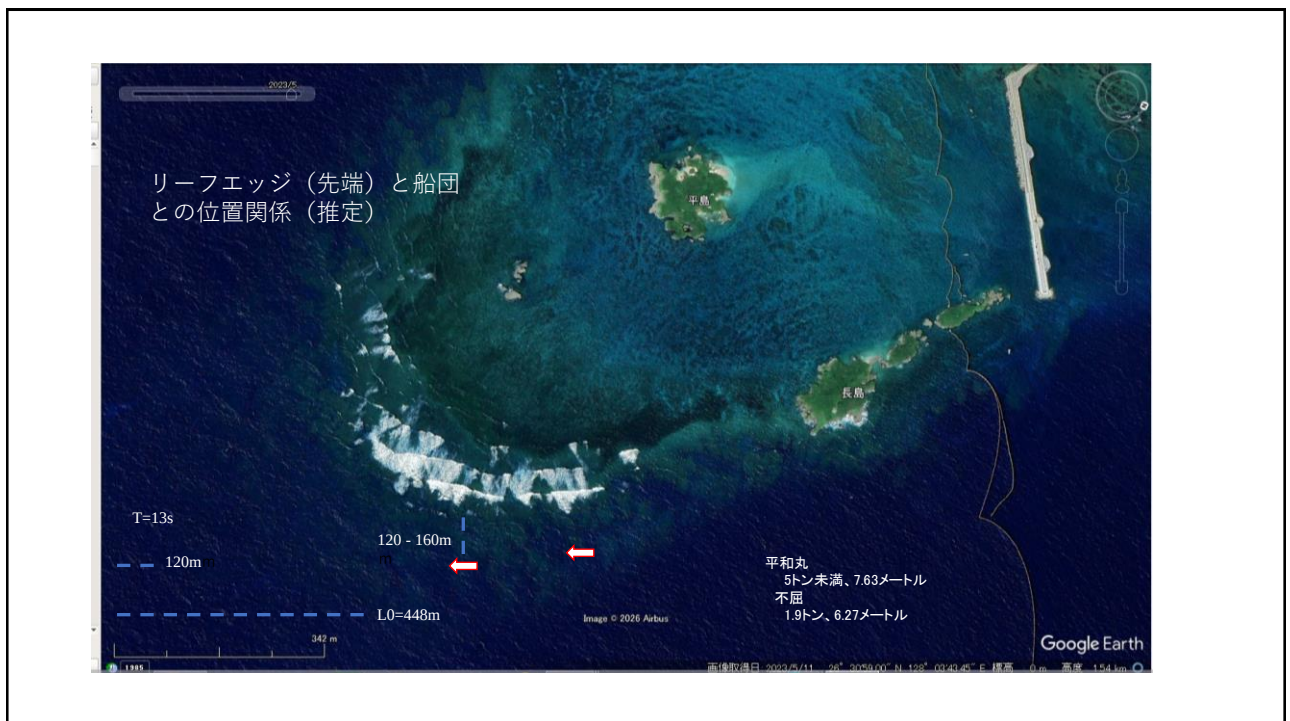
- 1) 画像などから転覆をもたらした大波 **H** を判定
- 2) 科学的に波の変形を計算し、波高増大前の元の波の波高 **Hi** を推定する

検証: 計算値 **Hi** が船長の判断値 **Hd** を超えるなら、船長の判断は誤っていたと言える。

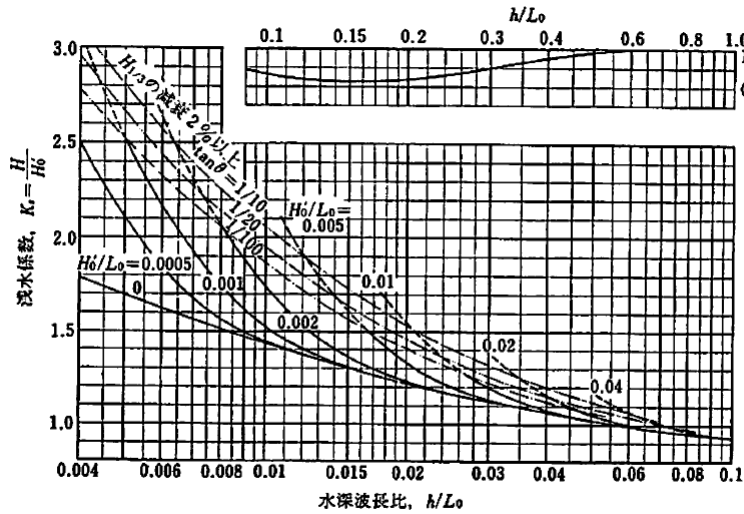
38



39



40

図3-23 浅水係数の算定図¹⁹⁾

水深が浅くなるに従って波高がいくら
増大するか（浅水効果）が予測できる

41

周期、水深から波長を求める

付表-2 水深—周期—波長および波速の表 (2)

水 深 (m)	周 期 (s)		6.0		7.0		8.0		9.0		10.0	
			波 長 (m)	波 速 (m/s)	波 長 (m)	波 速 (m/s)	波 長 (m)	波 速 (m/s)	波 長 (m)	波 速 (m/s)	波 長 (m)	波 速 (m/s)
0.5			13.16	2.19	15.39	2.20	17.62	2.20	19.84	2.20	22.06	2.21
1.0			18.43	3.07	21.61	3.09	24.78	3.10	27.94	3.10	31.09	3.11
1.5			22.36	3.73	26.29	3.76	30.19	3.77	34.08	3.79	37.95	3.80
2.0			25.57	4.26	30.14	4.31	34.67	4.33	39.18	4.35	43.68	4.37
2.5			28.31	4.72	33.46	4.78	38.56	4.82	43.62	4.85	48.62	4.85
3.0			30.71	5.12	36.39	5.20	42.01	5.25	47.58	5.29	53.13	5.31
3.5			32.84	5.47	39.02	5.57	45.13	5.64	51.18	5.69	57.19	5.72
4.0			34.75	5.79	41.42	5.92	47.98	6.00	54.48	6.05	60.92	6.09
4.5			36.49	6.08	43.61	6.23	50.61	6.33	57.53	6.39	64.40	6.44
5.0			38.07	6.34	45.63	6.52	53.05	6.63	60.38	6.71	67.64	6.76
6.0			40.48	6.81	49.24	7.03	57.47	7.18	65.57	7.29	73.58	7.36
7.0			43.19	7.20	52.39	7.48	61.37	7.67	70.20	7.80	78.92	7.89
8.0			45.19	7.53	55.16	7.88	64.86	8.11	74.38	8.26	83.77	8.38
9.0			46.91	7.82	57.61	8.23	68.01	8.50	78.19	8.69	88.22	8.82
10.0			48.37	8.06	59.78	8.54	70.85	8.86	81.68	9.08	92.32	9.23
11.0			49.62	8.27	61.72	8.82	73.44	9.18	84.89	9.43	96.12	9.61
12.0			50.69	8.45	63.44	9.06	75.80	9.48	87.85	9.76	99.67	9.97
13.0			51.60	8.60	64.98	9.28	77.96	9.74	90.59	10.07	102.98	10.30
14.0			52.38	8.73	66.35	9.48	79.93	9.99	93.14	10.35	106.07	10.61
15.0			53.03	8.84	67.58	9.65	81.73	9.65	95.51	10.61	108.98	10.90

42

付表-4 水深—周期—波長および波速の表 (4)

水深 (m)	16.0		17.0		18.0		19.0		20.0	
	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)
1.0	50.0	3.12	53.1	3.12	56.2	3.12	59.4	3.12	62.5	3.13
2.0	70.5	4.40	74.9	4.41	79.4	4.41	83.8	4.41	88.2	4.41
3.0	86.1	5.38	91.5	5.38	97.0	5.39	102.4	5.39	107.9	5.39
4.0	99.1	6.20	105.4	6.20	111.8	6.21	118.1	6.21	124.4	6.22
5.0	110.5	6.91	117.6	6.92	124.7	6.93	131.8	6.93	138.8	6.94
6.0	120.8	7.55	128.5	7.56	136.3	7.57	144.1	7.58	151.8	7.59
7.0	130.1	8.13	138.5	8.15	146.9	8.16	155.3	8.17	163.7	8.19
8.0	138.7	8.67	147.7	8.69	156.7	8.71	165.7	8.72	174.7	8.74
9.0	146.7	9.17	156.3	9.19	165.9	9.22	175.4	9.23	185.0	9.25
10.0	154.2	9.64	164.4	9.67	174.5	9.69	184.6	9.72	194.7	9.73
11.0	161.3	10.08	172.0	10.12	182.6	10.15	193.2	10.17	203.8	10.19
12.0	168.0	10.50	179.2	10.54	190.3	10.57	201.4	10.60	212.5	10.63
13.0	174.4	10.90	186.1	10.95	197.7	10.98	209.3	11.01	220.8	11.04
14.0	180.5	11.28	192.6	11.33	204.7	11.37	216.7	11.41	228.7	11.44
15.0	186.3	11.65	198.9	11.70	211.4	11.75	223.9	11.79	236.4	11.82
16.0	191.9	11.99	204.9	12.06	217.9	12.11	230.8	12.15	243.7	12.18
17.0	197.3	12.33	210.7	12.40	224.1	12.45	237.5	12.50	250.8	12.54
18.0	202.4	12.65	216.3	12.72	230.1	12.78	243.9	12.84	257.6	12.88
19.0	207.4	12.96	221.7	13.04	235.9	13.11	250.1	13.16	264.2	13.21
20.0	212.2	13.26	226.9	13.35	241.5	13.42	256.1	13.48	270.6	13.53

43

T=8.0s 通常のシナリオ

波浪注意報から沿岸波高を 3m 程度と認識

波浪条件設定

周期 T = 8.0s (経験的に、波高 H = 2.5 – 3.0m と推定)

ANN提供動画より波の砕波位置 リーフ先端より沖側 120m程度

水深 h = 6.0m

沖波波長 $Lo = 1.56T^2 = 1.56 \times 8.0 \times 8.0 = 100.0m$

転覆場所水深 6m における波長 (表より) 57.0m

砕波条件式から砕波波高Hbの推定

 $Hb/L = 0.142 \tanh(kh)$: 修正Michell式 (1893年, $Hb/Lo \approx 1/7$) $Kh = (2\pi/L)h = (2 \times 3.14/57.0) \times 6.0 = 0.66$ $Hb/L = 0.142 \tanh(0.66) = 0.142 \times 0.58 = 0.08$ $Hb = 0.08 \times 57.0 = 4.6m$ 転覆時の波の高さ

海保が想定する転覆時の波の高さとほぼ一致する

44

水深が浅くなることによる波高増大（沖波波高 H_i の逆算）

$$h/L_0 = 6.0/100.0 = 0.06$$

$$H_b/L_0 = 4.6/100.0 = 0.05$$

浅水変形換算図を読む

微小振幅波理論（太線） : $K_s = 1.0$
 非線形変形（細線） : $K_s' = 1.1$

砕波波高より沖波条件を推定 $H_b = K_s' H_{max}$

$$H_{max} = H_b/K_s' = 4.6/1.1 = 4.2m \quad H_{max} = 1.6 H_s \text{ の関係より}$$

$$H_s \text{（有義波高）} = 4.2/1.6 = 2.6m \quad \text{沖波} H_i \text{はほぼ} 2.5m \text{と推定される}$$

屈折係数を $K_r = 1.1$ 程度と推定すると、 $2.6/1.1 = 2.4m$
 沖波波高 H_i はほぼ 2.5m と推定される

沖の波（予報値）	最大波の出現	浅水効果	屈折効果
2.5m	× 1.6	× 1.1	× 1.1

波高増大した波の波高 $\approx 5.0m$

海保の説明：気象庁予報は 3.0m 程度、
 転覆時波高は 4～5m とほぼ一致

事故時の動画
 より推定され
 る波高
 7-8mより低い

周期の長いう
 ねりの発生を
 説明できてい
 ない



経験知を説明
 できる

45

評価：

波浪注意報が発令されていたことにより、辺野古沖の波の波高を 2.5m、周期を 8.0s と想定すると、転覆をもたらせた波の高さは、浅水効果や屈折効果によって 4 - 5m に達していたと推定され、海保の説明とほぼ一致する。説明は、一般的な経験知の範囲内である。

船長Aの判断を「沖の波高 1.5m - 2.0m 程度（航行可）」と推定すると、転覆時の波は 2.9m - 3.9m となり、海保の説明「波高 4 - 5m」には達しない。

すなわち、波浪注意報発令下であり、「沖の波高は 2.5 - 3.0m 程度であった」「船長の判断は過小評価であった」と設定しないと、転覆をもたらせた波の波高「4 - 5m」を推定できない。

しかしながら、転覆時の画像やビデオ映像などから分析された波高は 7m を超え、周期は 18s 程度と推定されるため、上の設定や議論は経験知内であっても、事実を説明していない。

46

次に、波の周期を台風時の大波の際によく観測される 13s に変更した場合について検討を行ってみる。

47

T=13.0s

台風時の波を想定し、周期13秒の波より推定

波浪条件設定

周期 $T = 13.0\text{s}$ 波高 $H = ??$ (逆算により算出する)

ANN提供動画より転覆場所 リーフ先端より沖側 120m-160m

水深 $h = 6.0\text{m}$

沖波波長 $L_o = 1.56T^2 = 1.56 \times 13.0 \times 13.0 = 264.0\text{m}$

転覆場所水深 6m における波長 (表より) 97.3m

砕波条件式から砕波波高の推定

$H_b/L = 0.142 \tanh(kh)$: 修正Michell式 (1893年, $H_b/L_o \approx 1/7$)

$kh = (2\pi/L)h = (2 \times 3.14/97.3) \times 6.0 = 0.39$

$H_b/L = 0.142 \tanh(0.41) = 0.142 \times 0.37 = 0.05$

$H_b = 0.05 \times 97.3 \approx 5.0\text{m}$ 転覆時の波の高さ

推定値 7-8m
より低い



海保の説明の範囲内

48

水深が浅くなることによる波高増大（沖波波高の逆算）

$$h/L_0 = 6.0/264.0 = 0.02$$

$$H_b/L_0 = 5.0/264.0 = 0.02$$

浅水変形換算図を読む

微小振幅波理論（太線） : $K_s = 1.2$

非線形変形（細線） : $K_s' = 1.6$ （著しい波高増大）

砕波波高より沖波条件を推定 $H_b = K_s' H_{max}$

$$H_{max} = H_b/K_s' = 5.0/1.6 = 3.1m \quad H_{max} = 1.6 H_s \text{ の関係より}$$

$$H_s \text{（有義波高）} = 3.1/1.6 = 1.9m \quad \text{沖波はほぼ } 2.0m \text{ と推定}$$

屈折係数を $K_r = 1.2$ 程度と推定すると、 $1.9/1.2 = 1.6m$

沖波はほぼ 1.5m と推定

沖の波（出航時推定）	最大波の出現	浅水効果	屈折効果
1.6m	$\times 1.6$	$\times 1.6$	$\times 1.2$

波高増大した波の波高 $\approx 5.0m$

転覆時の波高は 4～5m の範囲
内とする海保の説明は満たす

事故時の動
画より推定
される波高
7-8mより低
い



沖波は1.6mと
波浪注意報以
下の波でも
5.0mに達する。

波浪注意報発
令中は根拠に
ならない

評価：

沖の波の周期を13s、転覆場所の水深を6mと設定すると、転覆場所における砕波波高は、 $H_b \approx 5.0m$ と推定される。この値は、海保の予測値4 - 5mの上限に当たる。

この場合、水深6mに達するまでに波が受ける浅水効果は、 $K_s' = 1.6$ であり、屈折効果は周期が上がったことから $K_r = 1.2$ に設定された。これにより、先に求めた砕波波高 $H_b \approx 5.0m$ は、入射波高 $H_i = 2.6m$ の波が浅水効果や屈折効果でもたらせたと判断される。

この波高 2.6m は、来襲して来るうねりの中でも最大級の波と推定できるので、有義波高は統計上 $2.6/1.6 = 1.6m$ と推定される。

すなわち、沖の波の有義波高が 1.6m であっても、浅水効果や屈折効果で、5.0m もの波に成長する。この結果は、5m の大波は、波浪注意報の発令の無い条件下でも発生することを意味する。

船長Aの判断を「沖の波高 1.5m - 2.0m 程度（航行可）」と推定すると、船長が判断した航行可とした波の条件であっても、台風時のような状況（周期13s）を考えると、水深 6m の位置では波高 5m の波に達するため、最大波が発生する場合は、小型船の航行は困難を極めるものと推定される。

この場合、波高 5m は、動画などから推定される波高 7m 程度には届いていないが、船長の航行可とした判断は、実は危険側にあったと判断される。しかしながら、波浪注意報（波高 3m）の波の周期が台風時の大波の場合と同様に、周期 13s にまで達していると推定するのは、一般の経験知を超える。すなわち、周期 13s の設定は、経験知を超えて想定外の波となる。

51

T=18.0s

生徒撮影の事故時のビデオ画像より 18s の波を推定

波浪条件設定

周期 T = 18.0s 波高 H = ??（逆算により算出）

ANN提供動画より転覆場所 リーフ先端より沖側 120m-160m

水深 h = 8.0m

沖波波長 $L_o = 1.56T^2 = 1.56 \times 18.0 \times 18.0 = 505.0\text{m}$

転覆場所水深 8m における波長（表より）157.0m

碎波条件式から碎波波高の推定

$H_b/L = 0.142 \tanh(kh)$: 修正Michell式 (1893年, $H_b/L_o \approx 1/7$)

$kh = (2\pi/L)h = (2 \times 3.14/157.0) \times 8 = 0.32$

$H_b/L = 0.142 \tanh(0.32) = 0.142 \times 0.31 = 0.044$

$H_b = 0.044 \times 157.0 \approx 7.0\text{m}$ 転覆時の波の高さ

動画を読み取った値とほぼ一致

52

T=18s 水深が浅くなることによる波高増大（沖波波高の逆算）

$$h/L_0 = 8.0/505.0 = 0.016$$

$$H_b/L_0 = 7.0/505.0 = 0.014$$

浅水変形換算図を読む

微小振幅波理論（太線）： $K_s = 1.3$

非線形変形（細線）： $K_s' = 1.8$ （著しい波高増大）

砕波波高より沖波条件を推定 $H_b = K_s' H_{max}$

$$H_{max} = H_b/K_s' = 7.0/1.8 = 3.9m \quad H_{max} = 1.6 H_s \text{ の関係より}$$

$$H_s \text{（有義波高）} = 3.9/1.6 = 2.5m \quad \text{沖波はほぼ} 2.5m \text{ と推定}$$

屈折係数を $K_r = 1.2$ 程度と推定すると（三角波の発生を考慮）、
 $2.5/1.2 = 2.0m$ 沖波はほぼ $2.0m$ と推定

沖の波（出航時推定）	最大波の出現	浅水効果	屈折効果
2.0m	× 1.6	× 1.8	× 1.2

波高増大した波の波高 $\approx 7.0m$ 動画を読み取った推定値と
 ほぼ一致

波浪注意報からは推
 定困難な巨大波浪の
 発生

想定外の長周期の波



経験知を超える
 長周期 18s

沖波波高は
 2.0m 程度と推
 定され、波浪
 注意報発令中
 は根拠になら
 ない

53

評価：

沖の波の周期を 18s、転覆場所の水深を 8m と設定することは、波浪注
 意報による波高 3m からは、経験知を超える長大な周期の設定となる。

この設定に対し、転覆場所における砕波波高は、 $H_b \approx 7.0m$ と推定さ
 れる。この値は、動画から読み取った波高とほぼ一致する。

この場合、水深 8m に達するまでに波が受ける浅水効果は、 $K_s' = 1.8$
 であり、屈折係数は $K_r = 1.2$ に設定された。これにより、先に求めた砕
 波波高 $H_b \approx 7.0m$ は、入射波高 $H_i = 7.0/1.8/1.2 = 3.6m$ の波が浅水効果や
 屈折効果でもたらせたと判断される。

この波高 3.6m は、来襲して来るうねりの中でも最大級の波と推定でき
 るので、有義波高は統計上 $3.6/1.6 = 2.0m$ と推定される。

54

すなわち、沖の波の有義波高が 2.0m であっても、浅水効果や屈折効果で、7.0m もの波に成長する。この結果は、7m の波は、波浪注意報の発令の無い条件下でも発生することを意味する。

船長Aの判断を「沖の波高1.5m-2.0m程度（航行可）」と推定すると、船長が判断した航行可とした波の条件であっても、水深 8m の位置では波高 7m の波に達するため、最大波が発生する場合は、小型船は動画で捉えられた状態の転覆に至る。

この場合、波高 7 m 、周期18s は、画像やビデオ映像などから推定された波の諸元を説明する。

したがって、数値のみの判断からは、船長の航行可とした判断は、実は危険側にあったと判断される。

55

しかし、波浪注意報で想定される波高3mの波について、その周期が台風時の大波を上回る18 s に達するとみるのは、一般的な経験則を超えている。すなわち、周期18 s という設定は、通常は想定し難い異例の波を前提とするものである。

56

まとめ

船長の判断： 沖波波高 **1.5m ～2.0m** 程度と
判断し出航したと仮定

通常の実験的な波の予想 周期 **8s** 程度

沖の波（予報値）	最大波の出現	浅水効果	屈折効果
1.5 - 2.0m	× 1.6	× 1.1	× 1.1

波高増大した波の波高 **≈ 2.9 ～ 3.9m**

実際に起きた事 周期 **18s** 程度 想定外

沖の波（出航時推定）	最大波の出現	浅水効果	屈折効果	↓
1.5 - 2.0m	× 1.6	× 1.8	× 1.2	

波高増大した波の波高 **≈ 5.0 ～ 7.0m** **対処困難**

57

これまでの議論から推定される転覆事故発生の要因

- 1) 不屈、平和丸を転覆させた**波の高さはおよそ 7m**と推定される。
- 2) **長大な周期 18s**を持つうねりの出現（想定不可能）
- 3) ほぼ南南東～南に向かう船団に対して、波はおよそ 東から来襲
- 4) 船団の出航時の判断、波浪注意報が出ているが、現場にて
沖の波の状況を推定する限り、航行は可能と推定
- 5) **沖側で 2m**ほどの波を想定、最大波高を3.2mと推定し、長大な
周期 18sを想定すると、波高増大は**1.8 倍に達する浅水変形**、1.2
倍ほどの屈折変形を受けて（三角波の発生）、波高は **7m**にも
達する。これは、経験知を超える
- 6) **7m にも達する想定不可能な大波**を受け、不屈、平和丸が転覆

沖縄県内の沿岸における一般的経験知

- 1) 季節風などによる波高 3m 程度の波の周期は 7 - 8s 程度
- 2) 台風時、波高10mを超える大波に対して周期は10 - 15s 程度

58

総括

沖側で 2.0m 程度の波高を有する波が波高 7m を超える大波になることの推定は、これまでの経験知を超える。

沖側で有義波高 1.5m～2.0m（最大波高 3.2m）の波に対して、通常の経験知からは、航行可能と判断される。

周期 18s を有するうねりの発生、その波高が 7m にも達する波高増大となることの判断は、一般の経験知を超える。

波高 3m の波浪注意報のみからは、7m の波高を有する巨大な波の発生予測は困難である。

波の波高のみでなく、波群中の個々のうねりの周期をも予報値として発表する予報システムが必要である。

大波のみではなく、小さな波から浅水効果によって巨大な波が現れる条件が存在することを教訓化すべきで。

59

加えて、辺野古沖では、逆流中を進行する波の波高増大についても、実態を明らかにし、教訓化することが求められる。

工事進行に伴う、波・流れなど環境変化のモニタリングの継続的实施とデータの完全公開が望まれる。

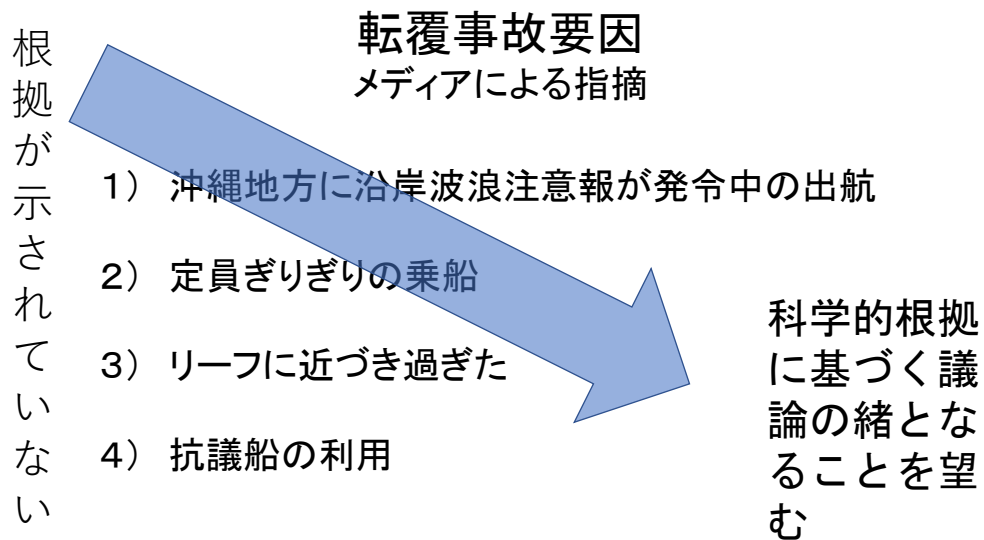
安全な航行のための貴重な情報源となるGoogle Earthの画像などに対して、人工的なマスキングのない鮮明な写真の公開が求められる。

60

出航位置となった漁港より見えるリーフ沖の波浪は、リーフエッジの広がる方向がほぼ南西方向にあるため、今回のうねり（東から西向きに進行）については、海岸に対する入射角が大きく、屈折率の低下によって、波高は入射波高よりも大幅に小さくなる。したがって、漁港位置からは、辺野古沖のサンゴ礁にほぼ直角に入射する巨大化した波の状況が目視観測困難となる。

さらに、他の海岸で、周期18sの波が同様に来襲していたとしても、それほど巨大化しなかった要因は、海岸線と波向き、そしてリーフ前面の水深変化が、浅水効果と屈折効果を極端に高める特性を持たないことによるものと判断される。

61



62