

# 半島陰影部に位置するポケットビーチでの波浪挙動に関する研究

水圏防災工学研究室 高橋 直紀  
指導教員 犬飼 直之

## 1. はじめに

2017年8月11日に福岡県古賀市にある古賀海岸(図-1)において、子ども2人を含む4名が沖に流されて亡くなる事故が発生した。事故が起きた海岸は2つの突堤と人工リーフで構成されたポケットビーチであり、両突堤外側にはそれぞれ花鶴川と中川の河口が位置するという地形的特徴を有している。

事故発生時、それまで波は低く海域は穏やかだったが、急激に海象が悪化し、浅瀬に座っていた子供らが数秒で十数メートル沖に流された。

本研究では、データ解析や数値計算により、事故発生時の気象および海象を把握し、流れ成分の検討を行うことで事故発生のメカニズムを明らかにすることを試みた。

## 2. 現地調査概要

現地調査は事故から約1ヶ月後の2017年9月10日に行った。事故が発生したとみられる左側突堤根元付近で海面着色剤による流れの可視化(図-2)や人工リーフ付近までの水深調査を行い、得られた結果を本研究の検討に用いた。調査時のNOWPHAS玄界灘観測所りでの有義波高は0.29m、周期は3.4sと穏やかな海象であった。この調査では局所的に15cm/s程度の沖方向への流れが生じ、着色剤は20mほど流れた後、海浜流もしくは吹送流の影響により、岸と平行な流れに遷移した。この調査により、低波浪状態でも離岸流が発生し得る海岸であることを確認した。

## 3. 事故発生時の海象・気象など各成分の検討

### (1) 波高と波向の傾向

NOWPHAS玄界灘における2007年から2016年の波向別の波高出現頻度分布を図-3に示す。本研究における方位はNOWPHASに準拠して16方位区分を用いている。この海域における傾向としては波向「北北東」が卓越していることが挙げられる。NOWPHAS玄界灘のすぐ南には大島と地島があるため南寄りの波浪はあまり観測されず極少数である。全波向において波高は1.0m前後の割合が多いが、波向「北北東」時は約13%が波高2.0m以上になっており、比較的高波浪である。また、

夏季(8月)は西寄りの波向が増加する傾向がある。



図-1 古賀海岸周辺地形

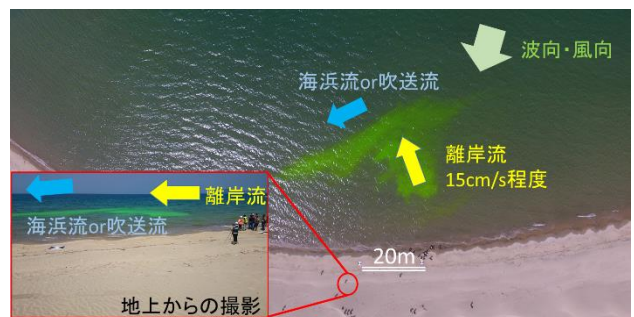


図-2 UAVによる着色剤での流れの確認の様子

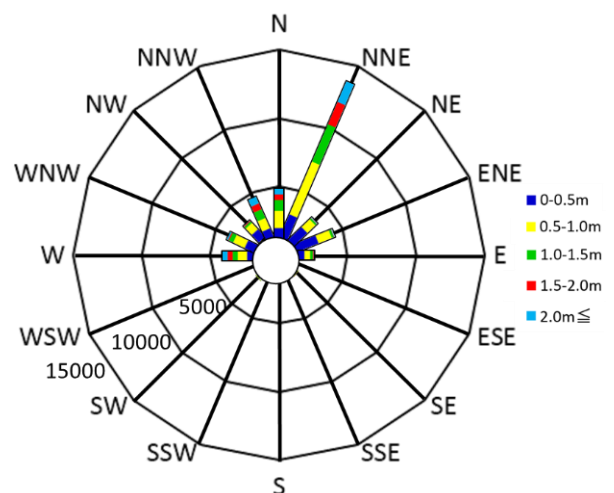


図-3 古賀海岸の地形測深結果

## (2) 河川流出流

図-4より、事故の前日から雨雲はほとんど福岡県を通過しておらず、事故現場に近い花鶴川の庄橋水位観測所（河口から約2km）では水位の変動が3cm未満だったことから河川流出流による影響は小さいと考えられる。

## (3) 吹送流

海上風による影響を考慮するために、吹送流の検討を行う必要がある。ここでは、犬飼らの手法<sup>2)</sup>を参考に、式(1)から式(4)に示すように、静水圧近似した運動方程式および連続式を陽的に差分した数値モデルを用いて現場海域付近の吹送流の数値実験をおこなった。使用した地形情報は500mメッシュ水深データで、表層から1m, 5m, 10m, それ以深の4層に区切った。図-5に九州北西部沿岸を対象に行った計算の結果を示す。計算は事故発生時の状況（風速7m/s, 風向NNW）を仮想し、4時間の吹送を行った。古賀海岸付近では上方から下方へ沿岸部に沿うように吹送流が進行しており、弱い循環流が生成している。一般に吹送流は風速の2~4%程度と言われているが、本計算結果ではそれを大きく下回るため、吹送流による大きな海象変動は無かったと考えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0 \quad (3)$$

$$-P_w g - \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

$u, v, w$ : 流速(m/s),  $h$ : 水深(m),  $f$ : コリオリ係数

$A_h$ : 水平渦動粘性係数,  $A_z$ : 鉛直粘性係数

## (4) 潮汐流

図-6に事故発生日と現地調査日における博多東浜での潮位の推算値を示す。事故発生日と現地調査日の両日ともに正午ごろに満潮となっており、その後18時くらいまで下げ潮という傾向であった。下げ潮が最大流速となるのは15時ごろであり、事故発生時間の後である。事故が正午過ぎに発生したとすれば、下げ潮の影響を多大に受けたとは考えにくく、潮汐流の影響は小さいと思われる。

## (5) 波浪

事故発生日におけるNOWPHAS玄界灘での波高と波向の経時変化を図-7に示す。波高は有義波高であり、波向は前後10分ずつの20分間を平均しプロットしたものである。この日の波高は比較的高く、1日を通して1.0mを超えている。昼ごろに波高は最も高くなっており、11:40には1.73mを記録している。また、ほぼ全ての時間帯で波向は「北北東」となっているが、11:20と12:20に波向が「北北西」に遷移している。

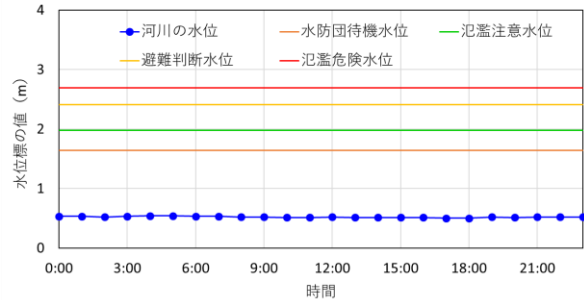


図-4 庄橋水位観測所計測値（事故発生日）

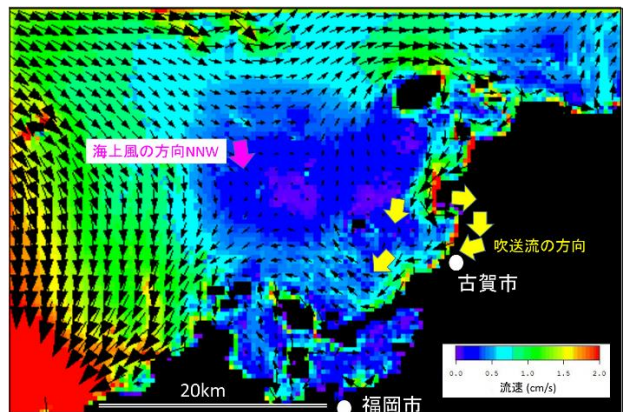


図-5 九州北西部での吹送流の流速・ベクトル分布

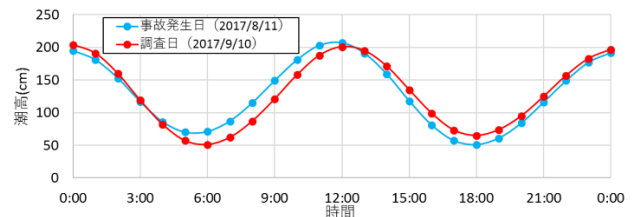


図-6 事故日と調査日の潮汐曲線

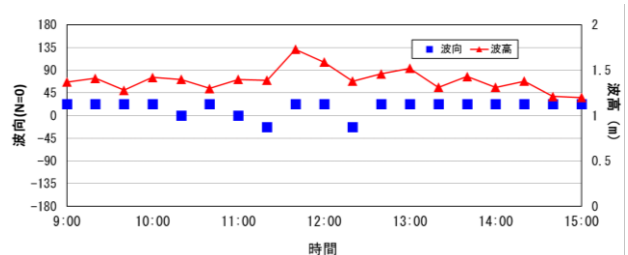


図-7 波高・波向の経時変化（事故発生日）

古賀海岸への波浪の入射の概念を図-8に示す。波向「北北西」時は遮蔽物もなく、沖から古賀海岸へ波浪が減衰することなく直接入射する。玄界灘で卓越している波向「北北東」時、古賀海岸は島や半島の影になっているため、回折によって波高は減衰すると考えられる。事故当時、現地には遊泳の危険性を喚起する看板があったが、卓越波向では通年で比較的静穏状態になるため、海岸を訪れる人が多いのではないかと考えられる。本研究ではこの2つのパターンの波向について検討を行った。

波向「北北西」時の波浪がNOWPHAS玄界灘で観測されてから古賀海岸に入射するまでの所要時間を求めた(図-9)。NOWPHAS玄界灘と古賀海岸の「北北西」に対応した平行距離は約20kmであり、式(5)から波群速度 $C_g$ を求めることで、NOWPHAS玄界灘において観測された波向き「北北西」の波浪が古賀海岸に到達するのに $L/C_g \approx 70$ 分を要するという結果が得られ、事故発生日の12:20に観測された波向「北北西」の波浪は13:30過ぎに古賀海岸に到達すると考えられる。事故が発生したのは13:40頃であるため、波向「北北西」の観測波浪の現地までの到達時間は概ね合致している。

$$C_g = \frac{c}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \quad (5)$$

$C_g$ : 群速度(m/s),  $C$ : 波速(m/s),  
 $k$ : 波数,  $h$ : 水深(m)

続いて、松永ら<sup>3)</sup>の手法を参考に第三世代波浪推算モデルSWAN (Simulating WAVes Nearshore)を用いて有義波高・最大波高と波向別で、計4ケースでの古賀海岸の波高変化の把握を行った。このモデルはWAM(the WAVE Modelling group)をベースに拡張したもので、浅海域での計算に強いことや、パラメータの豊富さによる自由度の高さ等が特徴として挙げられる。推算には500mメッシュの水深データを用い、NOWPHAS地点を北側境界として観測値を参考に造波を行った。計算時間は先ほど得られた波浪到達時間70分とした。

「有義波高1.38m:北北東入射」のケース(図-10)では古賀海岸での波高は0.26mと低波浪であったが、「有義波高1.38m:北北西入射」に遷移すると波高は0.80mとなった。さらに「最大波2.46m:北北西入射」のケース(図-11)では波高1.11mにまで増大した。

本計算によって、波向の遷移で波高は約3倍増大するという結果が得られたとともに、静穏時の地形性による波浪の減衰を確認することができた。



図-8 波高・波向の経時変化(事故発生日)

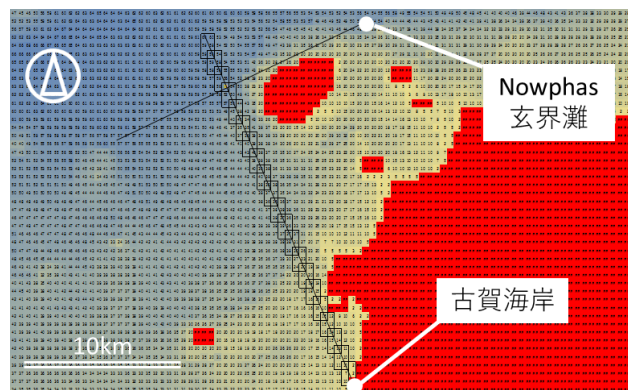


図-9 古賀海岸とNOWPHAS玄界灘の位置

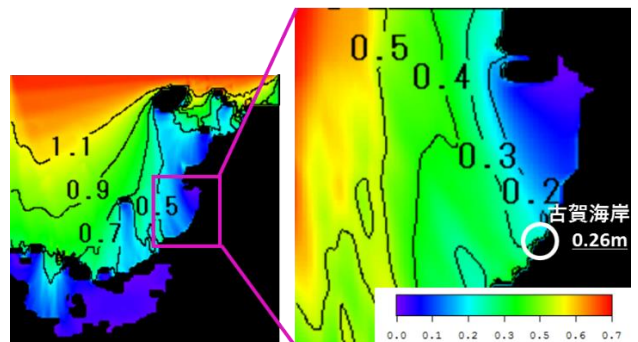


図-10 波高分布「有義波:北北東入射」

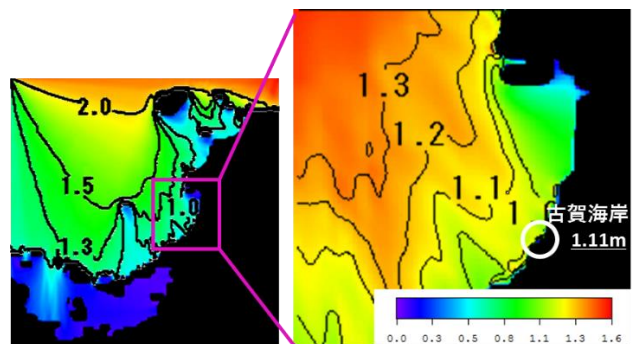


図-11 波高分布「最大波:北北西入射」

## (6) 風況

玄界灘での風況と海象の関係を把握するために、NOWPHAS での波高・波向に加え、NOWPHAS 地点を地点 A、北東に 330km の日本海を地点 B とし、それぞれの風向を用い検討を行った。

玄界灘において海象が安定するケースの経時変化を図-12 に、海象が悪化するケースを図-13 に示す。玄界灘における海象と風況は大きく 2 つのパターンに分けることができる。まず、海象が安定するケースでは風は南方向から入射しており、東シナ海からの波浪と日本海からの波浪が玄界灘付近で入り乱れるため波向は $-90\sim 90^\circ$  で不規則に分布している。この状態で波向が北北西に遷移しても波高は 0.5m 前後と微小であることから、海象は安定する。しかし、海象が悪化するケースでは風向が南から北方向に宣しており、波向は北北東に収束している。それに伴い、波高は増大し 1.0m を超えるようになっている。この状態で波向が北北西に遷移すると古賀海岸において海象が一気に悪化し、事故発生日はこのケースに該当すると考えられる。

続いて、事故発生日における波高・波向・風向の経時変化を図-14 に示す。事故発生日、風向は 1 日を通して北になっており、波向は北北東に収束している。波高は 1.0m を超えており、昼ごろには 2.0m 弱を記録している時間帯もある。この状態で波向が 12:20 に突発的に北北西に遷移したことで、日本海で発達した高波浪が微小な減衰で古賀海岸に入射したと考えられる。図-15 に示すように事故当日、中国地方沖を低気圧が東進しており、この気圧配置の影響によって海象が悪化した。

## 4. まとめ

本研究により、河口流出流、吹送流、潮汐流は事故の原因とは考えにくく、波浪が主要成分であると考えられる。

玄界灘における波向が「北北東」から「北北西」に遷移することで海象が大きく悪化することが判明した。また NOWPHAS 玄界灘で観測された波向「北北西」の波浪は約 70 分後に古賀海岸に到達する。

今回の海難事故は低気圧の停滞に起因した玄界灘での波高増大によるものであり、波向が突発的に「北北西」に遷移したことで、発達した高波浪が古賀海岸に直接入射したため急激な海象悪化に繋がったと考えられる。定常的な振動流である離岸流ではなく、急な高波による事故であると考えられ、古賀海岸の地形性と位置関係によって発生した事故である。

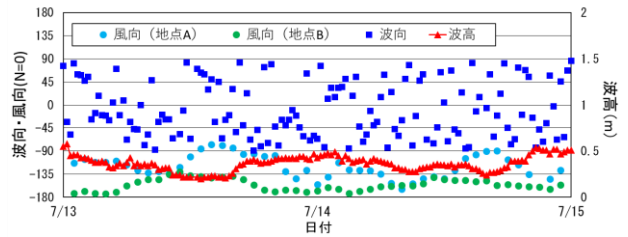


図-12 玄界灘海象安定ケース

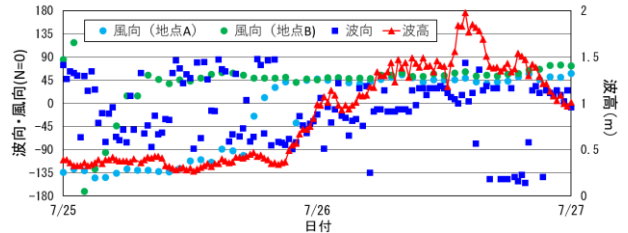


図-13 玄界灘海象悪化ケース

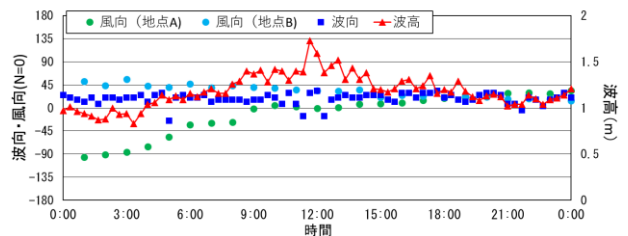


図-14 事故発生日 (海象悪化ケース)

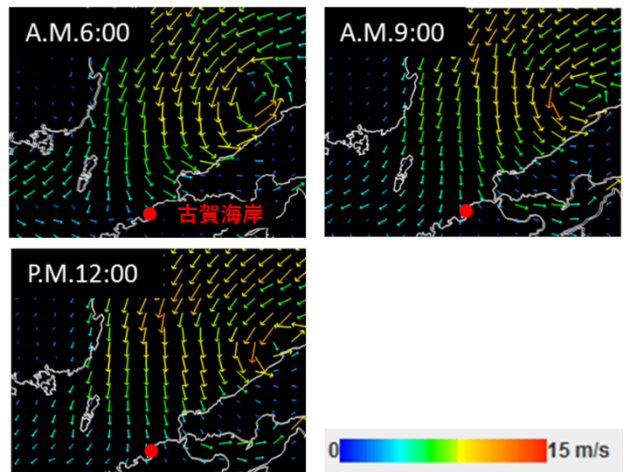


図-15 風速ベクトル (事故発生日)

## 参考文献

- 1) (独法)港湾空港技術研究所: NOWPHAS (全国港湾海洋波浪情報網), 国土交通省
- 2) 犬飼直之, 早川典生, 福嶋祐介, Peter SHENG: 直線状海岸付近の吹送流による水位変動についての研究, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.391-395, 2001.
- 3) 松永由希子, 犬飼直之, 中野雅子, 大谷内忠夫, "新潟県中越沖地域における沿岸域の波浪特性について", 土木学会, 土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 第 28 巻, pp.86-89, 2010.