

X バンドレーダを用いた離岸流の発生探知に関する検討

Detection of Rip Current Occurrence with X-band Radar

山川泰司¹・武若 聡²

Taishi YAMAKAWA and Satoshi TAKEWAKA

Averaged X-band radar images have been analyzed to detect occurrence of rip current. Radar images were collected at research pier HORS on a straight sandy coast. Radar images capture wave propagation, breaking and run-up motions. Hourly averaged images have been processed, in which characteristic cross shore patterns have been observed frequently. This pattern resembles to neck and head of a rip current captured in aerial images. Cross shore wave propagation speeds were smaller at zones where the patterns were observed suggesting existence of offshore-wards current. Wave and tide conditions were analyzed, showing the pattern formation was most frequent when the waves are high, shore normal incident, and tide level is low, which are equivalent to the known conditions of rip current occurrence.

1. はじめに

離岸流は海難事故の主要な原因の一つであり, その発生を探知することは防災上重要である. しかし, 実海岸における離岸流の探知は簡単ではない. 例えば, 海面状況の目視観測, フロート・染料の放流, 流速計の設置といった方法で離岸流の探知が試みられているが, 広範囲を連続的に観測することは難しい.

本研究では, X バンドレーダを用いて海面を観測し, 平均化処理した画像中に現れる岸沖方向の特徴的なパターンが離岸流の発生を捉えたものと考え, パターン発生位置の波の進行速度, パターンの発生強度と海象条件の関係を調べた. これらの解析結果を示し, X バンドレーダを用いた離岸流の発生探知の可能性について検討する.

2. 観測の概要

X バンドレーダは回転するアンテナからマイクロ波を照射しエコーを捉える. 得られたエコーデータを画像化することで波浪場の状況を知ることが出来, 広範囲, 高頻度の観測に適している. X バンドレーダを, 例えば, 武若ら (2003) が前浜地形の解析, 武若・Ahmed (2004) が波浪場の観測に適用できることを報告している.

X バンドレーダ観測は茨城県鹿島灘に位置する (独法) 港湾空港技術研究所の波崎観測棧橋 HORS で行った (図-1). 後浜にある研究施設の屋上に X バンドレーダ (日本無線 (株) JMA-3925-9) を設置し, 2005 年 4 月から連続的に観測を行っている. 沿岸方向 5.6 km, 岸

沖方向 2.8 km の海面のエコーデータを記録し, 約 17 分間の原レーダエコー画像を平均化した平均画像が 1 時間毎に収集される. 本研究では 2005 年 4 月から 2006 年 4 月の間に取得されたデータを解析し, X バンドレーダを用い離岸流の発生を探知することについて調べた.

解析の際には波浪と潮汐の観測記録を使用した. 波浪データは鹿島港 (NOWPHAS (ナウファス), 設置水深 24 m, 港湾空港技術研究所海象情報研究室) で観測された有義値 (波高・周期・波向) を用いた. 波向は沿岸方向に沿って銚子漁港方向を 0°, 鹿島港方向を 180° とした. 潮位は銚子漁港の観測値 (気象庁) を用い, 本研究では HORS で使用されている DL 値に換算した.

図-2 に X バンドレーダ観測で得られる原画像データの一例を示す. 画像の上方向が沖合方向, 左側が鹿島港方向, 右側が銚子漁港方向である. レーダ波の反射強度



図-1 観測地点

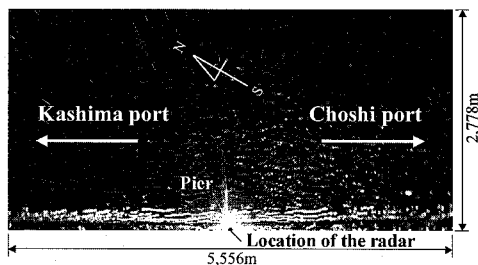


図-2 原レーダ画像

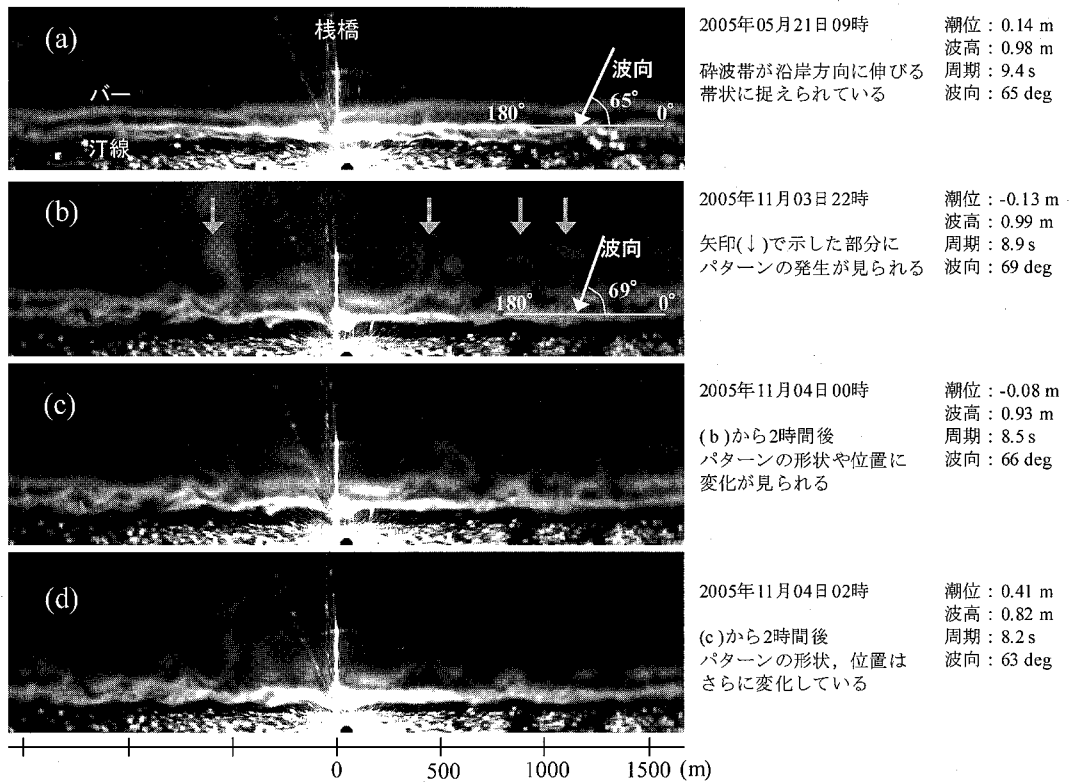
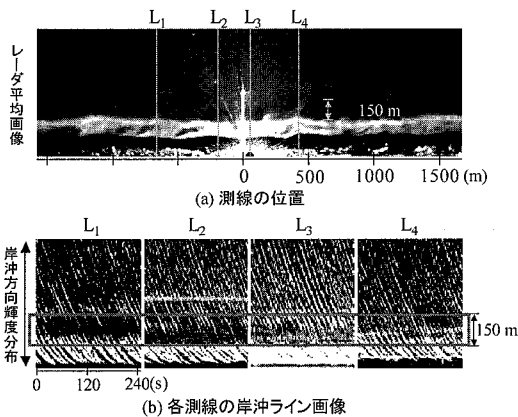


図-3 平均画像と特徴的なパターンの出現



枠は(a)におけるパターンの発生範囲を示し、
輝線の傾きが岸沖方向波速に相当

図-4 パターン発生位置における岸沖方向の波速

表-1 計測測線上の波速
(2004年2月19日20時:波高1.1m, 波向90°, 潮位-0.03m)

計測測線	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
パターン発生	小	無	無	大
岸沖方向の平均波速(m/s)	6.1	6.6	6.7	5.8

に輝度が対応しており、波の峰、碎波などによる反射の強い位置で輝度が高く記録される。画像の下方中央部から沖合に伸びる高輝度の直線部が観測栈橋である。

3. パターンの発生と波速

図-3に17分間の観測データを平均した平均画像の例を示す。輝度の高い部分は主に碎波によりレーダ波が強く反射される位置に相当する。図-3(a)に示すように、栈橋の根元から沿岸方向に伸びる高輝度の帯が水際位置(汀線)であり、明暗の境界として確認できる。また、栈橋中央付近から沿岸方向に伸びる高輝度の帯がバーの位置に相当し、汀線とこの間に碎波帯がある。

時間帯によっては、平均画像中に碎波帯付近から沖合に伸びる白いすじ状のパターンが捉えられることがある(図-3(b))。形状は離岸流の発生を捉えた航空写真に見られるリップヘッド周辺の碎波パターンに非常に類似しており、時間的、空間的に変化している(図-3(c), (d))。このようなパターンが発生する時間帯は観測期間全体を通して散見されたが、一見しただけではパターンの形状、大きさ、発生数、発生位置、発生間隔などについて規則性を見いだすことはできない。

パターンの発生が離岸流によってもたらされていると考え、パターン領域内外の波の進行状況を調べた。これ

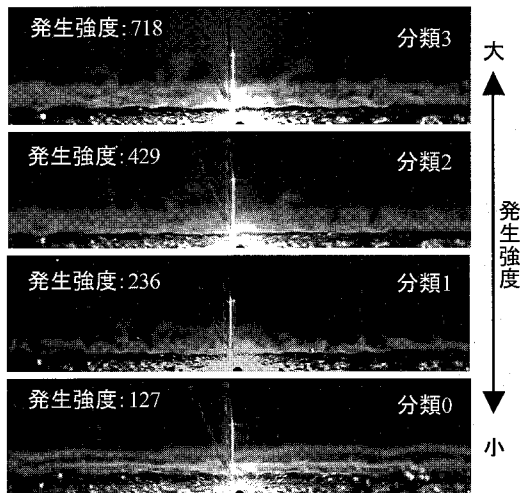


図-5 パターンの発生強度 (目視による判定結果: 分類0~3, 輝度値分布の解析結果: 127~718)

には原レーダエコー画像が保存されている2004年のデータを使用した。

図-4(a)は2004年2月19日20時に取得された平均画像である。パターンが生じている位置における波速を平均化に用いた256組の原画像に捉えられた波の進行状況より調べた。パターンの発生が見られる岸沖方向のライン L_1 及び L_4 、パターンの発生が見られない位置に L_2 と L_3 を設定し、そのライン上の波の伝播状況を調べるために岸沖ライン画像を作成した(図-4(b))。岸沖ライン画像は、縦軸に岸沖方向の輝度分布、横軸に時間を取り、ライン上の輝度分布の時間的変化を表したものであり、輝線の傾きは岸沖方向の波の伝播速度に相当する(武若・Ahmed, 2004)。図-4(b)内の長方形で囲まれた領域は図-4(a)にてパターンが発生していると判断した約150mの岸沖方向領域である。測線 L_1 から L_4 のそれぞれについて20波の進行状況から平均の波速を求めた(表-1)。パターンの発生が見られた L_1 、 L_4 では、波速は相対的に小さく、パターン発生が大きかった L_4 において波の進行速度が最小となった。

波の進行速度が低下する要因としては、離岸流と浅水変形による効果が考えられる。ここで解析したのは碎波帯が始まる領域であり、パターンの発生位置やパターン形状が、時間的、空間的に頻繁に変動することが多い。したがって、平均画像に現れる特徴的なパターンは、緩やかに変動する離岸流によりもたらされていると考えた。

離岸流のある場所が高輝度のパターンとしてレーダ平均画像中に捉えられるメカニズムについては、推論の域を出ないものの、波速の低下で浅水変形が進み、波面が急峻になり、また周辺域よりも碎波が多く生じレーダの反射が強くなったためではないかと考えている。

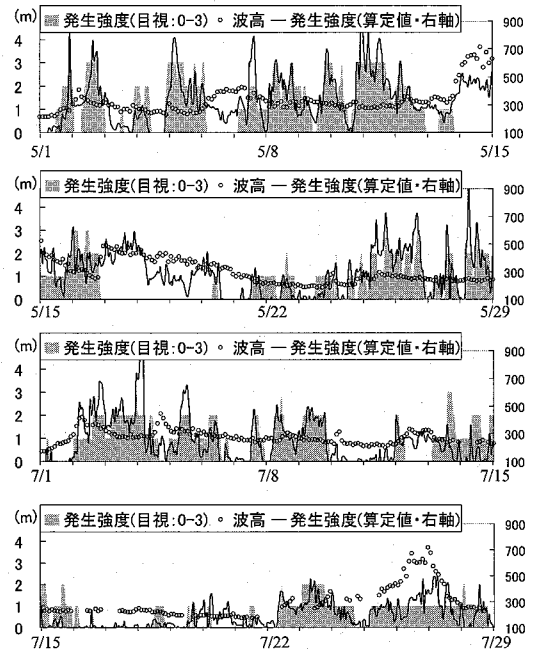


図-6 パターン発生強度の変化 (2005年5月, 7月)

4. パターンの発生と海況

(1) 発生強度の算定

パターンがどのような海象条件で発生するか明らかにするため、画像中に捕らえられた全体的なパターンの発生概況の程度を定量化し、波浪、潮汐との関係を調べた。

まず、パターンの発生強度を、数、大きさ、輝度を指標として目視で4段階(分類0~分類3)に分類した(図-5)。

次に、パターンの発生をより客観的、定量的に評価することを目指し、レーダ平均画像の輝度分布から発生強度を算定することを試みた。沿岸方向に測線を設け、これに沿って輝度分布変動積算値を求め、これが発生強度を代表する指標になり得るかを調べた。この際、レーダと観測位置の相対位置を考慮した輝度補正、栈橋等の高輝度散乱部の補正処理を行った。発生強度の算定例を図-5に示す。目視判定と整合が期待される結果が得られた。

目視による発生強度と輝度値の分布により評価した発生強度の比較を2005年5月と7月の1300時間分のデータについて行った(図-6)。輝度分布から算定した発生強度は、おおむね目視で分類した4段階の評価とよく対応している。しかしながら、図-6中の2005年5月14日付近および5月17日からの数日間には両者に大きな乖離が見られる。波高が大きい時間帯では、レーダ画像中の輝度が全体的に上昇し、目視ではパターン発生が判

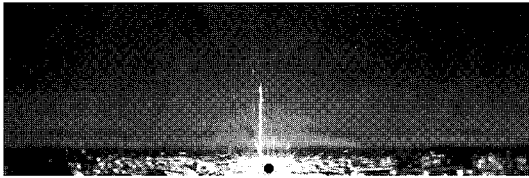


図-7 高波高でパターンの発生を判別できない例
(2005年7月26日2時 波高2.13m)

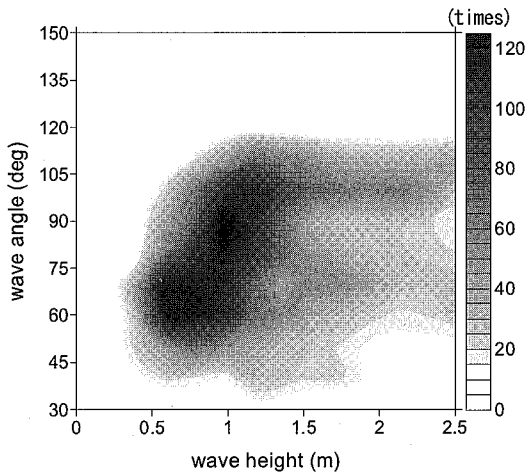


図-8 波高-波向結合頻度分布
(2005年4月～2006年4月)

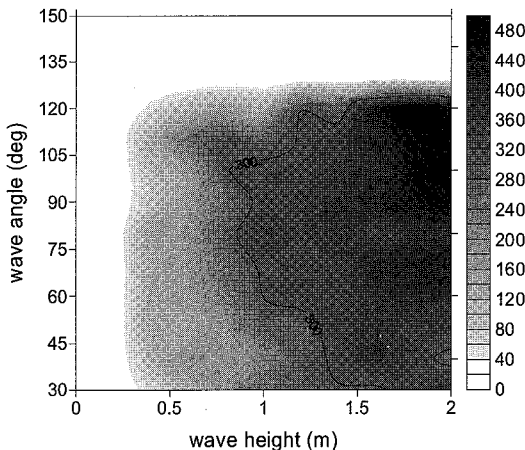


図-9 パターンの平均発生強度と波高・波向の関係
(2005年4月～2006年4月)

別できない(図-7). 一方、輝度値の分布は局所的な変動が大きくなり、発生強度は大きく評価される。波高が大きい時にも離岸流の発生があると考えられるが、ここでは目視によりパターンの発生が確認できた波高が2m以下の場合に限定して引き続き解析を行う。

表-2 発生強度と海況との関係

発生強度	～199	200～399	400～	全 体
サ ン プ ル 数	1304	1310	1001	3615
平 均 周 期 (s)	8.39	7.83	8.16	8.13
平 均 波 高 (m)	0.84	1.21	1.36	1.12
平 均 潮 位 (m)	0.72	0.69	0.60	0.68
波 向 90°からの ずれの平均(度)	22.3	20.0	15.9	19.6

(2) 波高・波向と発生強度

2005年4月から2006年4月までの間に得られた平均画像から毎時の発生強度の算出を行い、パターン発生強度と鹿島港で観測された波高、波向、周期、銚子漁港で観測された潮位との関係を調べた。

観測期間における鹿島港の波高-波向の結合頻度分布を図-8に示す。観測海域の入射波向は季節的に変動することが知られており、夏季は南方(波向:0-90°)から、冬季は北方(同:90-180°)からの入射が多い。

次に、パターンの発生強度と波高、波向の関係を調べた。これを行うために解析期間の全時間帯を波高・波向ごとに分け、波高・波向別に発生強度を平均した値を求めた(=平均発生強度)。平均発生強度と波高・波向の関係を図-9に示す。なお、先に示したように、波高が2m以上の時間帯では、輝度分布から算定した発生強度と目視によるパターン発生確認の相関が小さかった。ここでは、波高が2mを超える約1割の時間帯のデータを解析対象から除外した。

一般的に波高が高くなるほど平均発生強度が大きくなる傾向にある。観測海域で頻繁に観られる波高1m程度の平均発生強度について考える。波向が80°から90°のあたりで平均発生強度が大きくなり、波向がこの角度から離れるにつれて平均発生強度は小さくなる。これは、波高が同じ条件のときは、波向が垂直入射に近いほど発生強度が大きくなる傾向にあることを意味している。

(3) 海況と発生強度

前節で用いたデータセットを用い、発生強度と海況の関係を別の観点から調べた。発生強度が200未満、200以上400未満、400以上の3つの時間帯に分類し、各時間帯に観測された海況の平均の値を算出し比較した(表-2)。解析対象は海況データ、レーダ画像がともに取得され、かつ波高が2m以下の時間帯である。

発生強度と相関が見られるのは波高、波向、潮位である。発生強度が大きい時間帯では、平均波高は大きく、波向は海浜に対して垂直入射に近く、平均潮位は低い。一方、発生強度と波の平均周期、潮汐位相(上げ潮、下げ潮)に明瞭な関係性は認められなかった。

離岸流の発生メカニズムに関する既往の研究では、離岸流は波高が大きいとき、波向が垂直入射に近いほど発

生しやすいとされている。また、実海岸の観測において潮位が低いときに離岸流が発生しやすいとも報告されている(たとえば西ら, 2003; 西ら, 2004; 吉井ら, 2006)。パターン発生強度が大きくなるのは、波高がある程度大きいこと、波向が垂直入射に近いこと、潮位が低いことなどであり、これら条件の特徴は、既往の離岸流の発生条件と整合する。

5. 結 び

Xバンドレーダで観測された平均画像中のパターンについて、その成因と発生条件について調べた。その結果、パターンの発生位置では波の進行速度の低下が見られること、発生条件がこれまでの海岸工学の研究で明らかにされてきた離岸流の発生条件(波が垂直入射に近いとき、波高が大きいとき、潮位が低いときなどに発生する可能性が高い)とはほぼ合致することを明らかにした。以上より、パターンは離岸流、特にリップヘッド部に形成される碎波帯領域を捕らえたものと考えられ、Xバンドレーダを用い離岸流の発生を検知する可能性を示した。

今後の検討課題として、沿岸方向のパターン発生間隔、持続時間、岸沖方向の規模、地形とパターン分布の関係などを調べることで、離岸流の直接的な観測結果とパターン照合、パターンのイメージングメカニズムの解明、高波高時におけるパターン発生判断の更なる検討などが挙

げられる。

謝辞: (独法)港湾空港技術研究所漂砂研究室にはレーダ観測、地形データの提供などで便宜を図っていただきました。(株)プライア・コンサルタント坂本光氏には離岸流の目視観測結果をご提供いただきました。ここに記して謝意を申し上げます。

参 考 文 献

- 武若 聡・後藤 勇・西村仁嗣(2003):Xバンドレーダを用いた前浜地形の観測, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 546-550.
- 武若 聡・Ahmed, Ahmed S. M. (2004):Xバンドレーダを用いた荒天時の浅海域波浪場の観測, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 46-50.
- 西隆一郎・萩尾和夫・山口 博・岩根信也・杉尾 毅(2003):水難事故予防のための離岸流調査に関する基礎的研究, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 156-160.
- 西隆一郎・山口 博・岩淵 洋・木村信介・村井弥亮・徳永 企世志・古賀幸夫(2004):宮崎県青島海岸での離岸流観測, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 151-155.
- 吉井 匠・出口一郎・藪崎洋隆・有田 守(2006):地形性離岸流の発生条件について, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 96-100.
- 港湾空港技術研究所 海象情報研究室, 全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS)波浪データ, <http://www.pari.go.jp/bsh/ky-skb/kaisho/index.htm>, 参照 2007-05-01.