

天竜川河口における波と流れの干渉に関する分析

筑波大学第三学群工学システム学類	学生会員	○高橋 亮
筑波大学システム情報工学研究科	学生会員	高橋 悠
筑波大学システム情報工学研究科	正会員	武若 聡

1. はじめに

リモートセンシング技術の一つである X バンドレーダを用い、天竜川の河口付近の波の挙動を観測した。ここでは、その周波数特性、河口における波と流れの干渉に関する解析結果を示す。

天竜川では 2003 年より「天竜川ダム再編事業」に着手し、今後土砂供給の増加が期待される。砂の海域への供給を効率的にする上で、河口の挙動を理解することは重要である。

2. レーダ画像分析

天竜川河口付近に設置した X バンドレーダより取得される画像を図-1 に示す。橋や道路などの人工物、小島、波の峰等がレーダ波の強い反射をもって確認できる。原画像は 5556m×5556 m の範囲を捉え、2 秒に一枚、各時間に 520 枚収集される。また、これを平均化した画像から地形を読み取った。

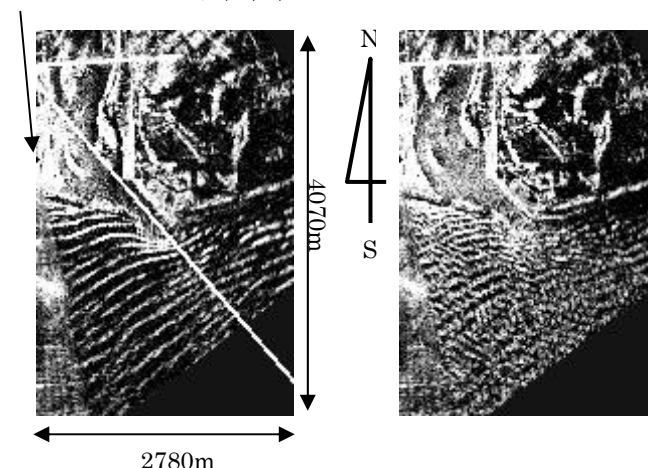
(1)画像の判読

2007 年の台風 9 号が上陸する前後の 9 月 5 日 17 時から 7 日 10 時までのデータを解析した。図-1(1)に示す 5 日 17 時の画像では、波が南東から北西方向に向けて進行していることが確認できる。また、沿岸付近に近づくにつれて屈折していく状況や、河口付近において波が円弧状に減速している様子、さらに砂洲の決壊部において大きい波が砂洲を超えていく様子も確認できる。一方、図-1(2)に示す 7 日 4 時の画像では、上に説明した入射波に加えて新たに南西から東向きに進行する波の存在が読み取れる。この波は 7 日の 0 時から現れ、4 時に最も顕著になり、その後勢力を弱め消えていった。また、全時間帯にかけて波が川道内に進行する様子を見ることができた。

(2)卓越周波数によるフィルタリング

1 方向からの波が観測された時間として 5 日の 17 時を、2 方向からの波が観測された時間として 7 日の 4

X バンドレーダ設置位置



(1)2007 年 9 月 5 日 17 時

(2)2007 年 9 月 7 日 4 時

図-1 X バンドレーダ画像例

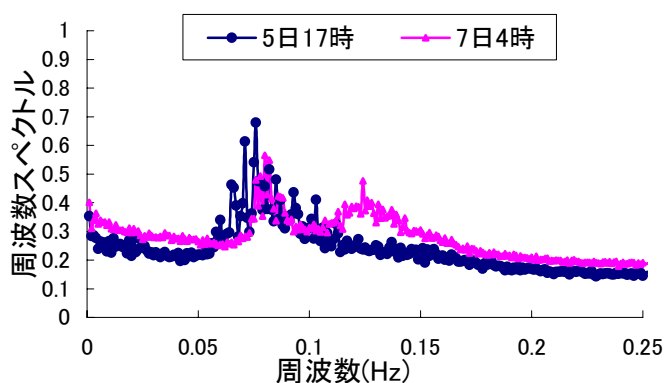


図-2 輝度変化の周波数解析結果

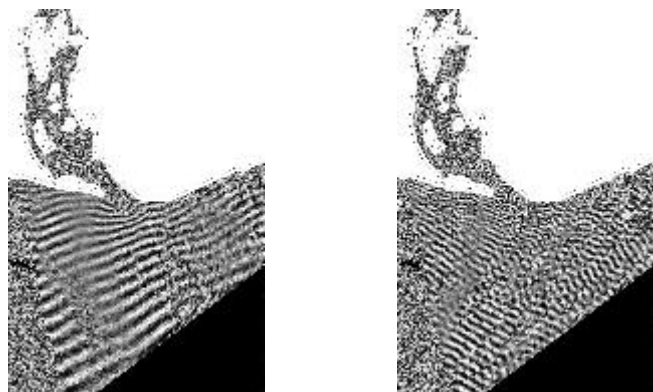
時をそれぞれ例にとり、各時間においてどのような波が卓越しているかを調べた。レーダ画像の四方に 20 の側線(それぞれ 100 ピクセル)を設け、輝度変化の周波数 (FFT)解析を行い、周波数スペクトルを調べた (図-2)。なお、各位置における周波数スペクトルは、1024 秒間の計測結果から求めたもので、最大パワー値で無次元化した後に空間平均化したものである。

5 日の 17 時におけるスペクトルでは 0.074~0.078

キーワード：X バンドレーダ・河口の水理・天竜川

連絡先：住所；茨城県つくば市天王台 1 丁目 1 番地 1 筑波大学内 第三学群 E 棟 211 号室

TEL；029-853-5600 (8268) FAX；029-853-5207 E-mail；takaryo@surface.kz.tsukuba.ac.jp



(1) f_1 (0.078~0.082 Hz) (2) f_2 (0.120~0.128 Hz)

図-3 7日4時の周波数フィルタリングレーダ画像

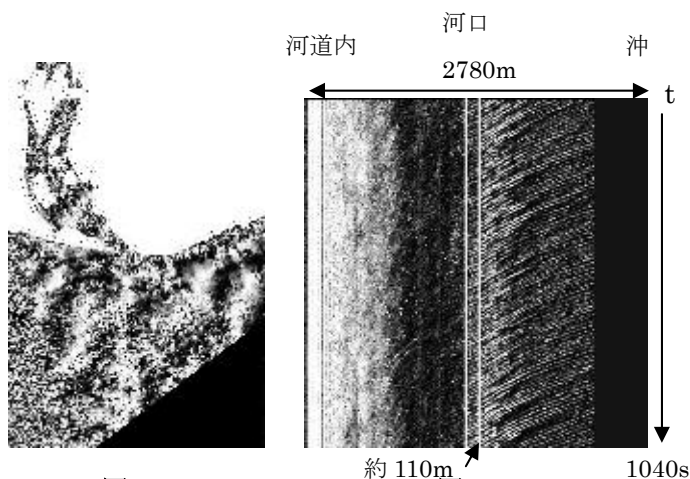


図-4

5日17時の f_3 による河川沿い岸沖ライン画像例
フィルタリング画像

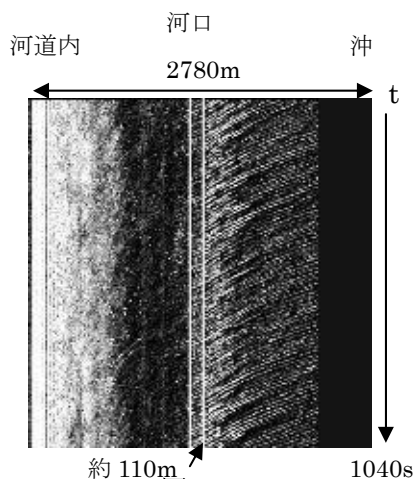


図-5

(5日17時)

Hz (13.1~13.8 s)の変動が卓越している。一方、7日4時のスペクトルでは0.078~0.082 Hz (12.5~13.1 s), 0.120~0.128 Hz (8~8.5 s)にそれぞれ卓越する成分があり、先に判読した2方向の入射成分に対応する。

7日4時の卓越周波数 f_1 (0.078~0.082 Hz)と f_2 (0.120~0.128 Hz)を用い、連続する256組のレーダ画像をフィルタリングし、その位相を表示した結果を図-3に示す。陸地や小島、橋にあたる部分は波の状況を分かりやすくするため白塗りした。南東から北西方向に進行する波と南西から東方向に進行する波がはっきりと確認できる。南東から北西方向に進行する波の波峰はそろっているのに対して、南西から東方向に進行する波の方向は広く分散しているように読みとれる。

また、5日17時の観測では、不鮮明ながらも、低周波域0.010~0.013 Hz (80~100 s)に卓越する成分が確認できたため、 f_3 (0.010~0.013 Hz)を用い同様の周波数フィルタリングを行った(図-4)。長周期の波が、川を遡っていく様子が見て取れる。

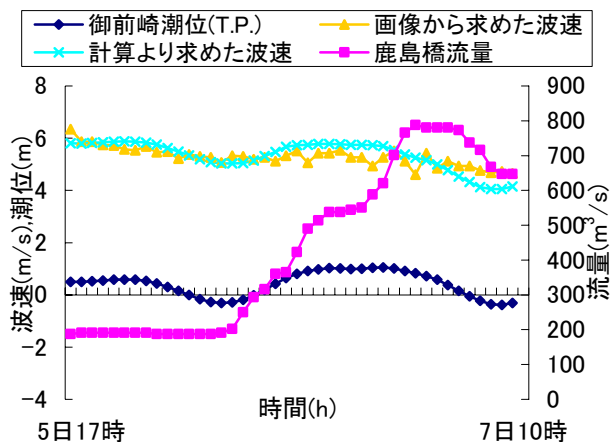


図-6 画像から求めた波速と計算より求めた波速との比較および時間ごとの潮位流量変化

(3)河口領域の波速・水深の推定

輝度値を図-1(1)に示す河川方向沿いのラインから取り出し、その時間変化を時間方向にプロットした画像を図-5に示す。波が時間の進行とともに海側から河川内に向かって伝わっていく様子が見て取れる。画像の中央の2本のライン間(約110m)は、ちょうど河口の位置にあたるように設置した。このライン間の波線の傾きを調べることによって河口付近の波速を求めた。波速の評価は、20本分の平均値を用い、2方向波浪場の時間帯においては南東から北西へ進行する波を対象とした。

河口付近の波速、水深、河川流量、潮位の関係を次式で考えた：

$$C_i = \sqrt{g(h + \eta_i)} - \frac{Q_i}{B_i(h + \eta_i)} \quad (1)$$

ここで、 C_i (m/s)は時間*i*における波速($i = 1, 42$)、 g (m/s²)は重力加速度、 h (m)は河口域水深、 η_i (m)は各時間の御前崎における潮位(T.P.)、 Q_i (m³/s)は天竜川中流に位置する鹿島地点(河口から約25 km)の各時間の流量、 B_i (m)は各時間の天竜川河口幅(レーダ画像から推測)である。

式(1)に各時間の C_i 、 Q_i 、 B_i 、 η_i を与え、観測期間中の誤差が一番少なくなるように水深を推定した($h = 3.28$ m)。式(1)に各値を代入した結果と画像から読み取った波速の比較を図-6に示す。なお、河口幅(およそ175 m)は5日から7日にかけて70cm程度しか増加しなかったために表示していない。画像から求めた波速と計算から求めた波速の時間変化はほぼ一致している。