Xバンドレーダによる利根川の河口フロントの観測

Observation of river front at Tone River with X band radar network

五月女尚樹¹・武若 聡²・中山哲巖³・足立久美子⁴・栗山善昭⁵・柳嶋慎一⁶

Naoki SAOTOME, Satoshi TAKEWAKA, Akiyoshi NAKAYAMA
Kumiko ADACHI, Yoshiaki KURIYAMA and Shinichi YANAGISHIMA

This study analyzed the movement of river front at Tone River by using the echo data observed with X band radar network from January to June of 2010. Relationships between intensities and the propagation speeds of the front, and water level of Tone River, tide level and wind velocity and direction measured at Fishing Port of Choshi were analyzed. Front intensity tends to strengthen when tide level is descending. The alongshore propagation speed and the arrival point of front increase when the alongshore component of wind increases.

1. はじめに

河口フロント付近には独特の流れ場が形成され、海域に土砂や栄養塩が輸送される。土砂は海浜を形成し、栄養塩は植物プランクトンの増殖に必須な物質であり、生態系を支える重要な要素の一つである。ここでは利根川の河口フロントの挙動を調べ、鹿島灘南部の沿岸環境を理解することを目指す。

本研究では2010年1月から6月にかけて、利根川河口付近に設置した3つのXバンドレーダにより河口フロントを観測した結果を示し、その発生条件、伝播状況などの挙動と潮位や風向・風速などの自然条件との因果関係について説明する。

2. 河口フロントの観測

河口フロントは陸水が海域に流れ込んだ時に海水と混ざりあわずに表面を伝わるもので、視覚的に観察されることが多い。Xバンドレーダはマイクロ波を海面に照射し、その反射（エコー）を捉える。エコーは波峰の部分で強く発生することが経験的に知られている。フロント先端には収束流が発生し、波が周辺域と比べて急峻になるため、レーダでその反射を捉えることができる（武若ら2009）。

(1) 観測の概要

レーダ観測は、Radar-1（港湾空港技術研究所波崎観測棧橋）、Radar-2（ウィンドパワーいばらき）、Radar-3

図-1 レーダの配置

（広域波崎RDFセンター）に設置した3つのレーダを使用して行った（図-1）。Radar-3は観測範囲に利根川河口が含まれ、河口周辺のフロントの発生時刻と強度を決定するのに用いた。

各レーダは毎時0分から17分までの間、2秒毎にデータを取得している。データは256諧調の画像として記録され、その輝度がレーダのエコー強度に対応する。Radar-1は1024×512ピクセルで1ピクセルあたり約5.425 m、Radar-2は1024×1024ピクセルで1ピクセルあたり約5.425m、Radar-3は1280×640ピクセルで1ピクセルあたり約7.234 mの解像度の画像を収集している。観測された画像は毎時間ごとに平均化され、2010年1月～6月の半年間に4,344組の画像を取得した。図-2 (a), (b), (c)に各レーダの画像例を示す。H.L.はヘッドランドを表し、

1 学生会員	筑波大学システム情報工学研究科
2 正会員 工博	筑波大学准教授システム情報工学研究科
3 正会員	水産工学研究所 部長 水産土木工学部
4 正会員	水産総合研究センター
	評価コーディネーター 経営企画部
5 正会員 工博	港湾空港技術研究所 特別研究官
6 正会員	港湾空港技術研究所 主任研究員 沿岸土砂管理チーム

(a) Radar-1 画像 (2010年4月3日0時)

(b) Radar-2 画像 (2010年4月2日19時)

(c) Radar-3 画像 (2010年4月13日10時)

(d) 合成画像 (2010年4月2日)

図-2 レーダ平均画像

(a) 2010年2月8日11時

(b) 2010年2月8日12時

図-3 観測船の航跡およびデータ計測時間 (Radar-3)

図-4 水温・塩分濃度の観測結果 (2010年2月8日)

(a) フロント強度 2 (2010 年 4 月 6 日 1 時)

(b) フロント強度 1 (2010 年 4 月 2 日 17 時)

(c) フロント強度 0 (2010 年 4 月 1 日 1 時)

図-5 フロント強度 (Radar-3)

数字はそのNO.を示す。図中に示した部分にフロントがあると考えられる。

また、フロントの沿岸方向伝播を調べるために3つのレーダ画像を合成した画像も作成した(図-2(d))。河口から約18kmまでの範囲を捉えている。例として、2010年4月2日に発生したフロントの挙動を示す。この図に高輝度部として現れているパターンは画像の右側から17時、19時、22時、24時のそれぞれの時刻にレーダに捉えられたフロントである。フロントが利根川河口から発生し、鹿島港へと北西方向に伝播していく様子が捉えられている。

(2) 河口フロントのフィールド観測

2010年2月8日の午前中に、河口付近の沖合で計測器を曳航し水温、塩分濃度などを観測した(図-3)。図中の線が観測船の航跡で、その途中15か所において停船しながら観測を行った。

図-6 フロント発生強度と潮位および風速の海岸線に直交する成分の関係 (2010年4月1日～10日)

図-7 フロント発生強度と風速の海岸線に直交する成分、潮位の変化速度の関係 (2010年1月～6月)

それぞれの画像にはフロントと思われる高輝度部が映っており、観測船がその高輝度部を横切っている。フロントは南北方向に延びており、11時から12時にかけて岸に向かい西方向へ移動している。図-4に各観測地点における、海表面での塩分濃度と水温のデータを示す。ここで、計測をしている間にもフロントが移動していることに注意が必要である。高輝度部のパターンよりも南東方向、つまり河口により近い地点で計測した10時30分、11時38分のデータは水温、塩分濃度が周辺の値より低くなっている。この時間に計測された利根川の河川水温は10℃以下であった。これは、フロントの周辺に河川由来の水があったことを示すもので、これよりレーダ平均画像に映る高輝度部はフロントであると言える。

3. フロントの挙動

ここではフロントの発生強度、フロントの沿岸方向伝播速度、到達地点、発生条件と潮位や風向・風速などの自然条件との関係を調べた。

(1) フロントの発生強度

レーダ画像に捉えられたフロントの鮮明さは変動して

図-8 フロントの到達地点、伝播速度と風速の海岸線に平行な成分および潮位の関係 (2010年4月2日)

いた。ここでは利根川河口でフロントが最も鮮明に捉えられるRadar-3の観測結果を調べた。フロントの強度を目視で0, 1, 2の三段階に分類した。(図-5)フロントが画像で確認できないものを強度0, 確認できるが鮮明でないものを強度1, 鮮明に確認できるものを強度2として著者の一人が読み取った。

河口フロントの発生の有無を調べるために、銚子漁港付近の風向, 風速, 潮位 (気象庁, 図-1参照) と河口フロントの発生強度の関係を調べた。

銚子港の潮位, 風速の海岸線に直交する成分とフロント発生強度の関係を調べた (図-6)。図中の記号の内, 縦線はフロントの発生がレーダ画像に認められた発生時刻を, 記号がその強度を示す。なお, フロント強度が0と判断された時間の記号は表示していない。この図より, 潮位が下降しているときに多くのフロントが発生していることが読み取れる。これは, 潮位が下降する時に, 海と河川の水位差が大きくなり, 河川水が海に流れ込みやすくなるためと考えられる。

図-6を詳細に見ると, 潮位が低下する時間帯でもフロントの発生が捉えられていない時があった。そこで, 銚子 (気象庁アメダス) の風向および風速のデータより, 風速の海岸線に直交する成分 (正; 海から陸, 南西へ吹く方向。負; 陸から海, 北東へ吹く方向) を求めた。これより, おおよそ風速の海岸線に直交する成分が5m/s以上のときにフロントが発生していることがわかる。これは, レーダが海面に発達する波を捉えており, 電波送信方向と波の進行方向が一致する時に波が鮮明に映ることによると考えられる (武若ら 2009)。

図-7に2010年1月～6月のフロントの平均発生強度と

図-9 フロントの最遠到達地点と風速の海岸線に平行な成分の関係 (2010年1月～6月)

図-10 フロントの伝播速度と風速の海岸線に平行な成分の関係 (2010年1月～6月)

風速の海岸線に直交する成分および潮位の変化速度の関係を示す。フロントの平均発生強度は, 風速と潮位変化の階級毎の発生強度の積算値をデータ数で割って求めた。中央の図の明暗は平均発生強度を示し, 図の上方と右側にある表示は, それぞれフロントの平均発生強度と風速の海岸線に直交する成分, 潮位の変化速度との関係を示す。この図より, フロントの発生は, 風速の海岸線に直交する成分がおおよそ5m/s以上の時間帯, 潮位の変化速度が負となる時間帯に強く捉えられている。

以上の関係は, レーダのマイクロ波送信方向と, フロントによって増幅された波の進行方向が一致した時間帯にレーダの反射強度が大きくなることを改めて支持するものである。

棧橋で観測した水温, 塩分濃度とそれらを使用して求めた海水の密度と河川水の密度との差を算出しフロント強度との関係を調べたが, 明確な相関は見られなかった。一つの原因として, 塩分濃度の計測が一日に一回であり, 発生状況が早く変化するフロントの挙動を判断するには計測の頻度が不足していたと考えられる。

(2) フロントの伝播状況

フロントの伝播状況を調べるために, フロントの到達

位置・最遠到達地点および伝播速度と風速の海岸線に平行な成分（正；銚子から鹿島，北西へ吹く方向．負；鹿島から銚子，南東へ吹く方向）との関係を調べた．ここで，フロントの到達位置は河口を0mとして鹿島港へ向かう方向を正方向とし，ある時間のフロント位置の河口からの距離とする．フロントの最遠到達地点は，フロントがレーダ画像から消失するまでに到達した，河口から最も遠い地点とする．伝播速度は，フロントの移動距離から求めた．

図-8に2010年4月2日14時に発生が捉えられたフロントのおおよその伝播速度，到達位置，風速の海岸線に平行な成分，潮位の関係を示す（図-2（d）を参照）．4月2日は中潮であった．この図より，風速の海岸線に平行な成分が大きくなり始めた時間から，伝播速度もそれに伴い増加しているのが分かる．この4月2日に発生したフロントも含め，潮汐の変動とフロントの伝播速度の関係を調べたが，栈橋付近まで伝播したフロントの数が少ないこともあり，両者に明確な関係性は見られなかった．

図-9にフロントの最遠到達地点と，風速の海岸線に平行な成分との関係を示す．レーダで観測可能な範囲を越えて北方に伝播したフロントに関しては，レーダの観測可能範囲が河口から約18,400 mであるため，これを最遠到達地点とした．この図より，おおよそ風速の海岸線に平行な成分が増加するに伴ってフロントの到達地点が河口からより遠くなることが読み取れる．

図-10にRadar-3の画像に映ったフロントの伝播速度と風速の海岸線に平行な成分との関係を示す．先と同様，

北西方向の風速成分が増加するに伴って伝播速度も増加していく様子が読み取れる．

図-6に示したように，フロントは海岸線に直交する風速成分が5m/s以上の時間帯にレーダに捉えられやすいが，それ以外の時間帯にも観測されている．風速の直交成分が5m/s以下の時間帯に観測されたフロントには上に挙げたような性質があると考えられる．

5. 結び

鹿島灘南部に発生する河口フロントの挙動を調べた．河口フロントは潮位が下降している時間帯に現象として生じやすく，風が海から陸へと吹いていると，レーダの特性から観測されやすいと考えられる．また，河口フロントの特性として，風速の海岸線に平行な成分が大きくなると遠方まで伝播し，またその伝播速度が増すことがわかった．

謝辞：本研究を行うにあたり，利根川下流河川事務所にデータの提供を頂いた．この場をお借りして感謝の意を表します．

参 考 文 献

- 武若 聡・高橋 悠・田島芳満・佐藤慎司（2009）：天竜川の河口フロントと河口地形の観測，海岸工学論文集，Vol.56，pp.651-655．
気象庁ホームページ，潮汐観測資料銚子漁港：
<http://www.data.kishou.go.jp/db/tide/genbo/genbo.php>