

夏季における急潮の進入にともなう大振幅内部波の発生

The Generation of Internal Wave with Large Amplitude Associated with intrusion of "Kyucho" in Summer

仁木将人¹・勝間田高明²・杉本隆成³・萩原直樹⁴・古島靖夫⁵

Masato NIKI, Takaaki KATSUMATA, Takashige SUGIMOTO
Naoki HAGIWARA and Yasuo FURUSHIMA

The observation using mooring system (Electromagnetic current meters, Temperature-Salinity meters and Fluorescence-Turbidity meter) at the set net and mounted Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) on the Surugawan ferry were performed in the inner part of the Suruga Bay to monitoring of current variation. The vertical profile of a strong current, the maximum current about 30cm/s, caused by the middle layer intrusion of the Kuroshio warm water was observed with ADCP mounted on the bottom of ferry boat in the summer 2008. After the middle layer intrusion of the Kuroshio water, the internal wave with large amplitude was occurred. The maximum current speed was about 80 cm/s at the eastern part of the bay and the period was half a day. The Kuroshio warm water changed vertical density profile and amplified internal wave.

1. はじめに

本州南岸に位置する駿河湾は、湾口を太平洋に開いた開放性の高い湾であり、また、南海トラフから続く駿河トラフが湾奥まで達しているため日本一深い湾である。湾の南沖を東進する黒潮やその変動に伴う暖水塊の流入が湾内の海洋環境に強く影響を与えることが知られており、駿河湾への外洋水の流入過程に関する研究が活発に行われている（例えば勝間田，2004）。それに対し、進入後の湾内での振る舞いや海洋環境に対する知見は乏しく、駿河湾奥で活発に行われているシラスや桜エビ等の沿岸漁業のためにも、海況変動の監視システムの確立が望まれている。

一般に三保半島と大瀬崎を結ぶ線より北側が湾奥とされている。その循環系には黒潮系暖水の流入ばかりでなく駿河湾奥に流れ込む富士川、狩野川、興津川といった河川の影響も考慮する必要がある。稲葉（1982）およびInaba（1984）は湾内の複数地点での流れの観測から、湾口の環流に対しては黒潮流軸位置が重要な役割をはたすが、湾奥では黒潮流軸位置とは無関係に東部から流入し西部から流出する反時計回りの環流が卓越すると述べている。ただし、湾奥の環流の原因としては、内浦湾の残差流や湾奥の風の可能性を示唆しているが結論は導いていない（稲葉，1996）。また、宇野木ら（1985）は

LANDSAT画像から、富士川、安倍川、大井川からのプリュームが駿河湾西岸沿いに南下し、湾奥の反時計回りの環流の存在を示唆している。しかし、より詳細な理解を得るためには、水平・鉛直方向に多数点での同時観測を長期間にわたって行う必要がある。

そこで湾奥海況監視のため、①清水と土肥を往復する駿河湾フェリーを活用したADCP観測の実施による湾奥水域の水平循環とマクロな鉛直循環流の把握、②湾奥西部の西倉沢定置網東端での係留系による海況観測、③湾口波勝沖でのADCPの係留観測、④小型観測船を活用し

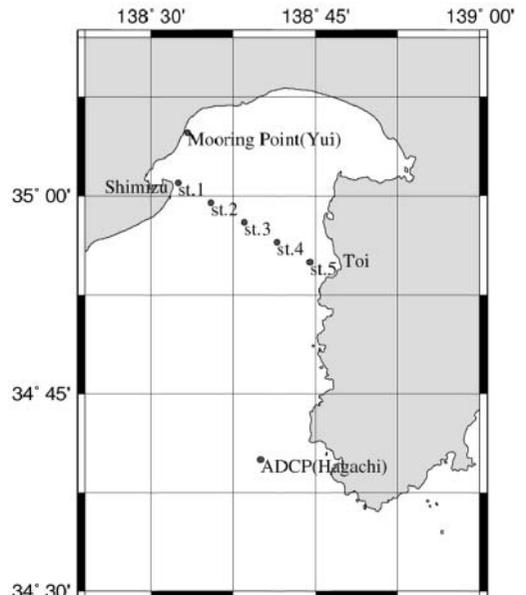


図-1 観測地点の概要

1 正会員 博(工) 東海大学海洋学部准教授
2 博(理) 東海大学海洋学部非常勤講師
3 理博 東海大学海洋学部特任教授
4 理修 東海大学海洋学部講師
5 博(農) JAMASTEC

たCTD観測, の各観測を実施している. その結果から, 夏季に発生した急潮の進入とその後に湾奥全体での大規模な内部波を確認したためこれを検証する.

2. 観測の概要

(1) 駿河湾フェリーに搭載したADCPによる観測結果

駿河湾フェリーは駿河湾奥の清水港と伊豆半島西部の土肥間を片道1時間5分で一日4往復している (図-1参照). 始発は清水港発8:00, 最終は土肥発17:20である. (ただし, 2008年10月までは2船が隔週で運行していたため, データは隔週にしか得られていない.) 駿河湾フェリー「富士 (1554t)」の船底に音響ドップラー式の流速鉛直プロファイラー (ADCP, RD社製ワークホース300kHz) とGPS (ベクター社製CrecentV100-DGPS) を取り付け, 海面下100~150mまでの流速の鉛直分布を層厚4mで計測している.

(2) 湾奥西部定置網を利用した係留観測

湾奥の定点観測として, 由比漁港所有の駿河湾奥倉沢沖の定置網 (水深約70m) に水温塩分計 (アレック電子社製, MDS-CT: 水深5・10・15mの水温・塩分), 流速計 (アレック電子社製, COMPACT-EM: 水深約20・60m) およびクロロフィル・濁度計 (アレック電子社製, COMPACT-CLW: 水深5m) を設置した. 各係留は1ヶ月~2ヶ月程度を予定し, 2007年9月中旬より5回の設置を実施している.

(3) その他の観測

フェリーでの測流にあわせフェリー航路上の5地点で月に1度程度CTD観測を実施している. また, 2008年9月~2009年4月の間, 湾口部の東寄りの波勝沖において水深約600mの海底から立ち上げたADCP (RD社製ワー

クホース150kHz) により連続観測を実施したが, 計器が不調であったため今回の考察対象とはしない.

3. 観測結果および考察

(1) 黒潮流路変動と急潮の概要

対象としたのは, 黒潮前線波動の接岸に伴い暖水が進入してきたと思われる, 2008年9月末から10月の期間である. この時期黒潮は非大蛇行の離岸流路を取るが, 発達した前線波動が伊豆海嶺に沿って北上し, しばしば黒潮を原因とする急潮が駿河湾内に進入している. 図-2に2008年9月28日の関東・東海海況速報 (静岡県水産技術研究所, 2008) を示すが, 黒潮起源の暖水舌が駿河湾内に進入している様子が25℃等温線により確認できる.

(2) 駿河湾奥部における水塊構造

図-3に9月16日および10月15日に実施したCTD観測より航路の中央付近 (st.3) での水温, 密度および塩分の結果を示す. 9月16日の観測結果を見ると, この時期よく成層化し上部混合層では水温が約26℃, 層厚は25m程度である. それに対し, 急潮進入後と見られる10月15日には, 表層から50m層までの水温が23℃程度となり, 躍層境界が30m程押し下げられている. 65mから100m付近にかけて1.5℃から1℃程度全層で昇温が見られ, 両層の間の密度勾配は, 表層に比べ150m層で σ_t が3程度大きい. 塩分に関しては急潮進入後には表層50m付近まではよく混合し高塩分化している. また, 塩分のピークは100m付近に現れている. ここに示さなかった他の4点も概ね同様な傾向にあった. この時期目立った強風イベントは発生しておらず, 後に述べるように急潮が亜表層 (水深40m付近) へと進入している事と併せて考えると, 急潮の進入により表層から50m付近までが一様化し成層界面が押し下げられ, 上部混合層が低温高塩分化したと推察される.

湾奥西部係留系での20mおよび60mの水温変化を図-4に示す. 20m層では9月には2℃程度の振幅の水温変動が見られるが, 10月に入ると振幅が小さくなり10月中旬以降はほとんど見られない. それに対し60m層では水温が

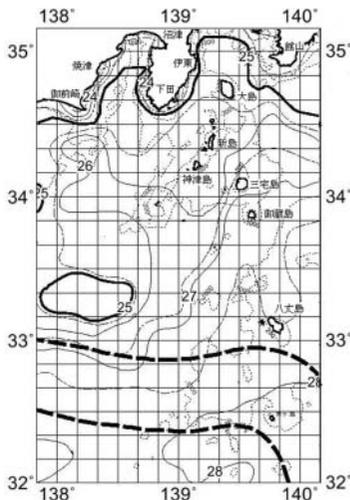


図-2 2008年9月28日の関東・東海海況速報を著者が編集

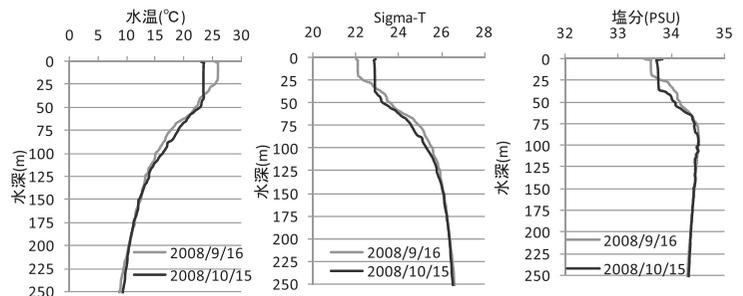


図-3 湾中央でのCTD観測結果の鉛直分布

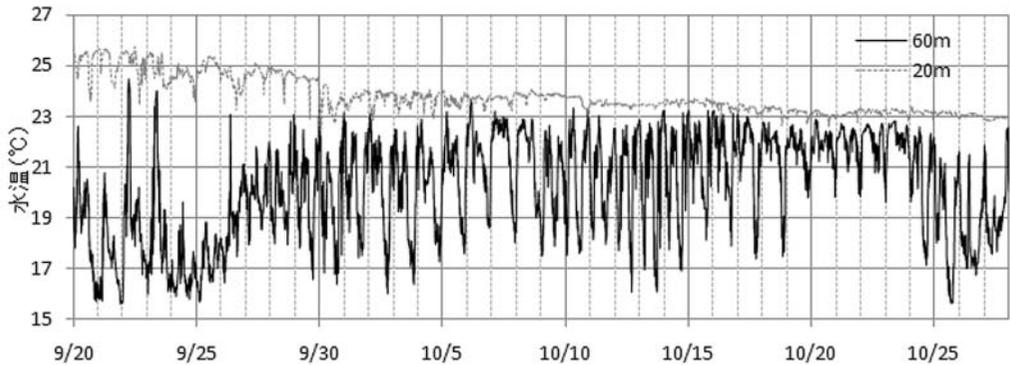


図-4 湾奥係留系での水温観測結果

4～8℃の振幅で変動しており、また、9月25～28日にかけて周期的な変化を示しつつも全体として底層水温が4℃ほど上昇している。駿河湾では半日周潮よりも日周潮流が卓越することが知られているが(宇野木, 1993), 観測期間中は特に10月に半日周期の変化が見られる。

(3) 9月末に発生した急潮の状況

湾奥係留系での水温に併せて流速(60m層の流速計が不調のため20m層のみとする)の25時間移動平均を見ると(図-5), 前述の9月25～28日にかけて60m水深で4度程度の昇温が見られる期間に南西方向の平均流が観測されている。湾奥西部に位置する係留地点では急潮発生時には岸沿いの南西方向の流れが発生する。先に述べたようにこの時期目立った強風イベントはなく、湾奥係留系での底層水温の4℃の昇温と併せて考えると、この平均流が急潮であると判断できる。また、この時のフェリーによる観測から得られた南北方向の流速分布によれば(図-6)湾東側水深40m付近に40m程度の層厚で北向きに流れる水塊が捉えられている。水塊の最強流速は30cm/sを超え密度の低い表層水のすぐ下層に黒潮系の暖水が貫入していることが分かる。また、これ以降数日にわたって同様の流れが観測されていた。

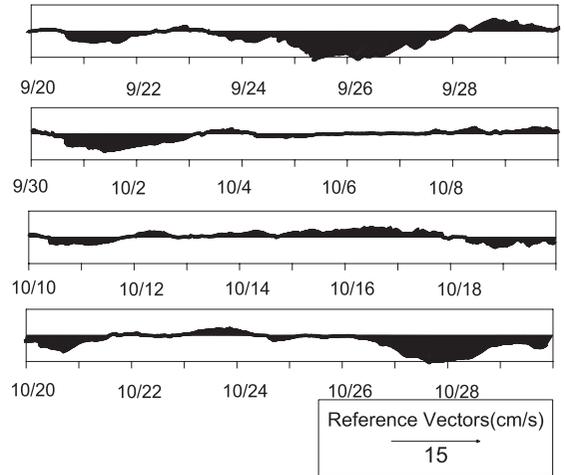


図-5 湾奥係留系での流速観測結果の25時間移動平均

(4) 湾奥部に発生した内部波

図-7には、清水港での潮位変化に、フェリーによる観測結果から、清水土肥間のフェリー航路上で138度34分を通過した直後の測定を西側地点、138度44分を通過した直後の測定を東側地点として代表させ、40m層での南

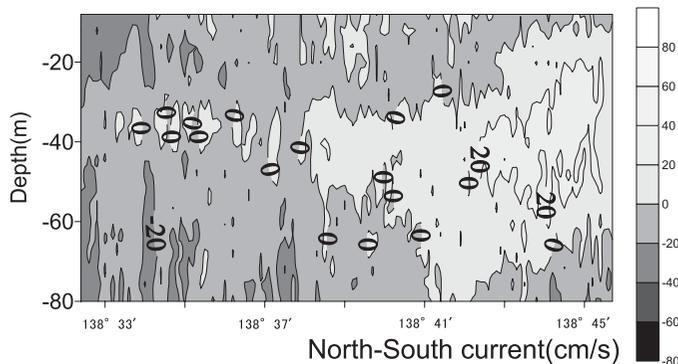


図-6 駿河湾フェリー搭載のADCPより得られた南北方向流層の鉛直断面図(2008年9月28日12:00～13:00:北方成分が正)

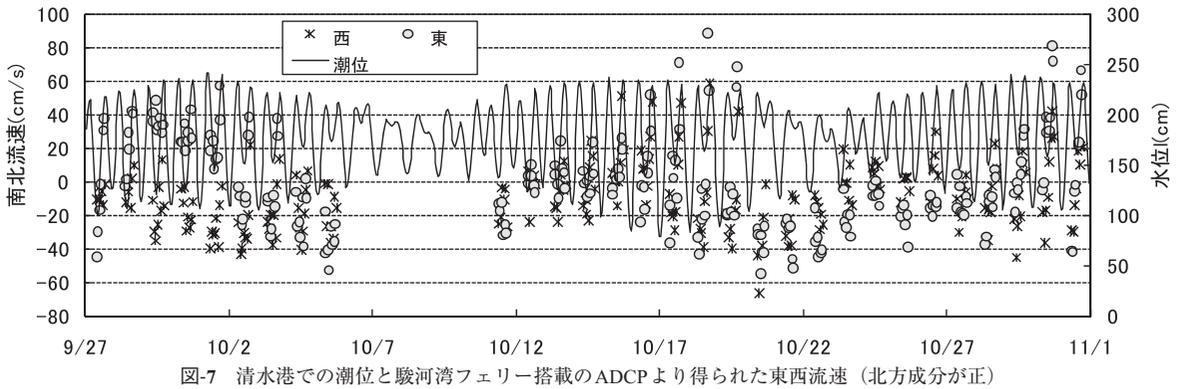


図-7 清水港での潮位と駿河湾フェリー搭載のADCPより得られた東西流速（北方成分が正）

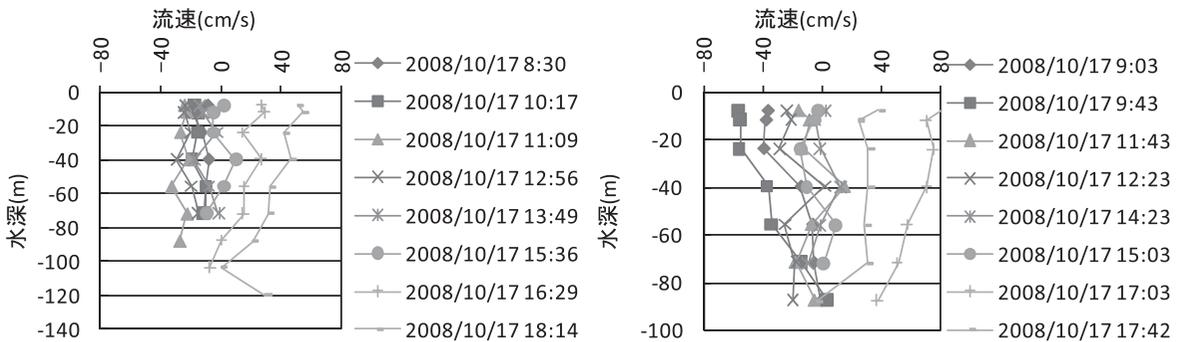


図-8 駿河湾フェリー搭載のADCPより得られた東西地点での南北方向流速の鉛直分布（北方成分が正）

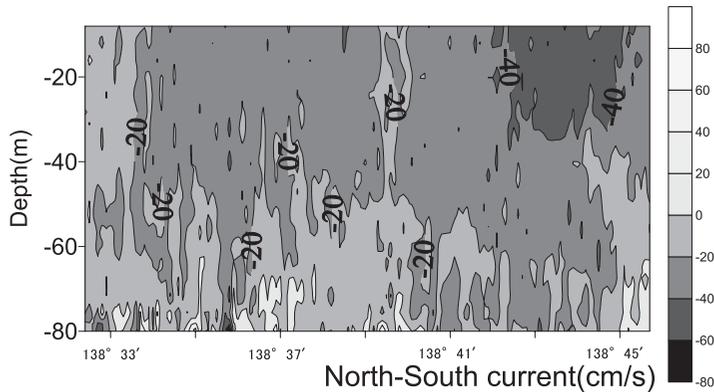
北方向流速をプロットしている。これによると潮位の振幅に応じるように南北方向の流速の振幅も大きくなり、特に10月15～20日にかけて非常に強い流れが見られる。流れの振幅の大きい10月17日の東西地点での流速の鉛直分布を図-8に示すが、東西地点とも100～80m付近を節として振動しているように見え、フェリー搭載のADCP結果からその周期は12～14時間程度である。流れの振幅は東側で大きく、北向きに80cm/sを超える強い流れを見せる。このときフェリー断面全体での流速分布を見ると（図-9）、午前中には全層で南向きの流れを示していたが夕方頃には全層で強く北向きを示し、前述の急潮の亜表層貫入とは大きく異なる現象であることが分かる。図-10に湾奥係留系での20m層流速の南北方向成分を示す。日周もしくは半日周期の流れが見られるが、先の清水港の潮位と併せて考えると、日周期が見られる時期は日潮不等の偏差が大きく高低潮が高い時期であり、内部波が潮位の振幅に大きく依存していることが分かる。フェリーでの観測結果と同様に湾奥においても10月の15～20日にかけて強い流れが見られるが、そのピーク流速は小さい。久保川（1992）は、湾内に暖水が入った場合、沿岸密度流などの重力波が放出されるとともに内部波が発生することを示している。湾奥での流れの25時間移動平均と併せて考えると、この時期潮位に依存

した内部波が湾奥全体に発達していたことが示唆される。内部波の振幅は湾奥に比べ湾中央で大きく、湾西部に比べ湾東部で大きい等の特徴は見られるものの、内部波の発生源やメカニズムに関しては今後検討する必要がある。

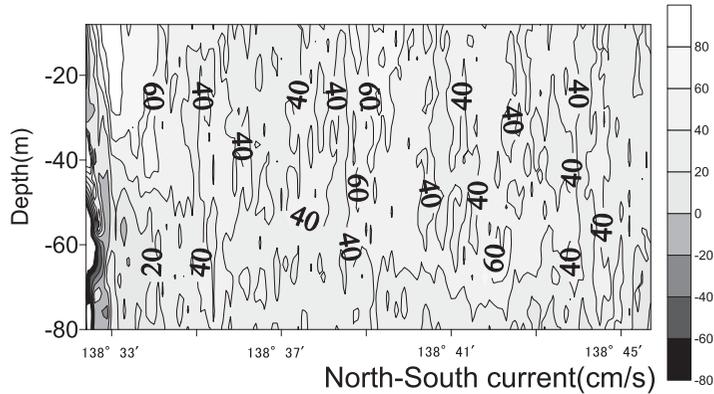
4. おわりに

本研究では大水深で開放的な駿河湾に進入した黒潮系暖水の振る舞いとその後の内部波の発達過程の観測結果を議論した。結論および今後の課題は以下のように要約される。

- (1) 駿河湾フェリーに搭載したADCPにより夏季の急潮の進入に伴う流速断面分布を捉えた。今回のように急潮の鉛直断面分布を面的に捉えた事例はほとんど見られない。
- (2) 急潮（黒潮系水）の亜表層貫入に伴って上部の躍層界面が押し下げられ、湾奥の成層構造が大きく変化していることが確認された。
- (3) 成層界面の深化により大振幅の内部波が湾奥全域に発生する様子をとらえた。発生した大振幅内部波の周期は半日程度であり、流速も非常に大きく急潮規模の流れであり湾奥全域に波及していた。
- (4) 内部波は湾奥係留系地点よりもフェリー航路上で、



(a) 2008年10月17日9:30~10:30



(b) 2008年10月17日17:30~18:30

図-9 駿河湾フェリー搭載のADCPより得られた南北方向流層の鉛直断面図（北方成分が正）

また、湾の西部より東部で流速の振幅が大きく現れていた。

- (5) 内部波の運動そのものを捉えることに成功したが、その発生源やメカニズムに関して今後検討する必要がある。

謝辞：本研究は科学研究費基盤研究（B）（代表者：杉本隆成，課題番号：18380119）の補助を受けて行った。本研究を行うにあたり、駿河湾フェリー株式会社の皆様お

よび西倉沢漁協の皆様から多大なる協力をいただいた。また、三井共同建設コンサルタンツ(株)の鶴谷広一博士より観測機器を提供および貴重なアドバイスをいただいた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

稲葉栄生（1982）：駿河湾の海況と黒潮流軸位置との関係，沿岸海洋研究ノート，19，pp.94-102。
 Inaba,H.(1984): Current variation in the sea near the mouth of Suruga Bay. J. Oceanogr. Soc. Japan, 40, pp.193-198.
 稲葉栄生（1996）：駿河湾の海流，「駿河湾の自然」（東海大学海洋学部編），静岡新聞社，pp.57-64。
 宇野木早苗（1993）：沿岸の海洋物理学，東海大学出版会，672p。
 宇野木早苗・岡見 登（1985）：LANDSAT画像から見た駿河湾・遠州灘沿岸の流動，水産海洋研究会報，47，pp.1-10。
 勝間田高明（2004）：駿河湾への外洋水の流入過程，東海大学大学院博士論文，110p。
 久保川厚（1992）：湾内への暖水塊侵入の力学，沿岸環境研究ノート，Vol.30，No.1，pp.68-78。
 静岡県水産技術研究所（2008）：関東・東海海況速報（オンライン）
http://fish-exp.pref.shizuoka.jp/01ocean/kouseido_200809.html，参照2009-03-20。

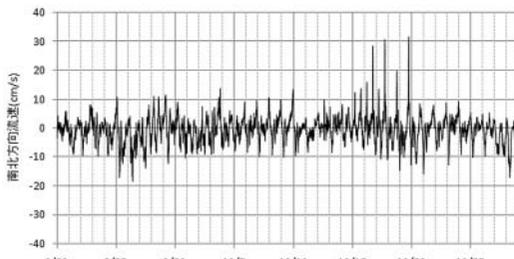


図-10 湾奥係留系での南北方向流速（北方成分が正）