

— 論文 —

## 丹後半島沿岸の前急潮\*

熊木 豊<sup>†\*\*</sup>・北出 裕二郎<sup>‡</sup>・戸嶋 孝<sup>†</sup>

### 要 旨

丹後半島沿岸において係留観測を継続して行ってきた結果、台風や温帯低気圧の通過前に急潮が発生し、定置網に被害をもたらす事例が少なくないことが分かってきた。本研究では、台風 0514 号の最接近前から発生した急潮について、現象の詳細な記述と発生機構の解明を試みた。係留観測記録から、丹後半島沿岸の水温が低下すると同時に半島東部に  $0.8 \text{ ms}^{-1}$  に達する強い北上流が生じたことが示された。この時の流れ場は、EOF 第 1 モードとして、広い範囲で岸を左に見る流れの構造を形成しており、丹後半島の太鼓山の東西風と高い相関を持つことが示された。密度を水平に一様とし、風応力のみを与えた数値実験では、台風最接近前に丹後半島東部に生じた北上流や水温低下変動がほぼ再現されたことから、台風最接近前に丹後半島東部で発生した急潮は、主に風によって励起された沿岸ジェットであることが示された。

キーワード：急潮，台風，沿岸ジェット，丹後半島

### 1. はじめに

京都府の丹後半島やその近隣海域には、定置網が数多く敷設されている。本海域は良い漁場である一方で、気象擾乱にともない急潮と呼ばれる速い流れが度々発生する。そして、ときに定置網が壊れることもある（加藤，1969；河岸ら，1989；和田ら，1990）。定置網のワイヤーロープが切れるなどの深刻な急潮被害は、流速  $0.5 \text{ ms}^{-1}$

以上で起こりやすい（新潟県水産海洋研究所ら，2009）。定置網の深刻な急潮被害を防ぐには、急潮発生前に定置網の一部を取り外して陸上へ退避させる対策が有効である。この対策により、一時的に陸揚げした網が安全なのはもちろんのこと、海中に残されたロープ等にかかる急潮発生時の張力も減ずることができる（新潟県水産海洋研究所ら，2009）。ただし、この対策は漁業者にとって重労働で漁獲も見込めないので、急潮の発生を的確に察知して効率的に講ずることが望ましい。このことから、急潮現象の解明と予測は定置網の防災上重要な研究課題である。そこで、著者らは 2004 年以降に漁業関係者と共に京都府の定置網漁場で流れと水温の係留観測を実施してきた。熊木ら（2005）は、この係留観測で台風 0406 号が若狭湾を北上後に丹後半島北部から東部海域を進行する急潮を捉えた。この急潮は、強風により丹後半島周辺海域で形成された慣性振動や沿岸沈降域が半島沿岸に波及する過程で発生したと解釈された（Igeta *et al.*,

\* 2012 年 1 月 10 日受理；2012 年 7 月 6 日受理

著作権：日本海洋学会，2012

<sup>†</sup> 京都府農林水産技術センター海洋センター

〒626-0052 京都府宮津市小田宿野

<sup>‡</sup> 東京海洋大学海洋科学部

〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7

\*\* 連絡著者：熊木 豊

TEL: 0772-25-3078 FAX: 0772-25-1532

e-mail: y-kumaki01@pref.kyoto.lg.jp

2007). 台風 0406 号の事例のように、丹後半島沿岸では台風や温帯低気圧の日本海通過に伴う急潮が最も典型的である(熊木, 2010).

低気圧の日本海通過に伴う急潮は、丹後半島だけではなく日本海の沿岸各地で度々発生する. 大慶ら(2009)は、台風 0314 号通過後に能登半島東部海域で発生した急潮は、南西風の連吹時に形成された密度流や慣性振動に起因することを示した. 台風の日本海通過後に励起される慣性振動が能登半島東部海域で発生する急潮に関与していることは、浅ら(2007)の数値実験でも確かめられた. また、丸山(2009)は佐渡島東部の海域で台風 0613 号の日本海通過後に慣性周期の急潮を捉えている.

日本海沿岸であとを絶たない定置網の損壊の多くは、上述のように低気圧が日本海の沖合を通過後に発生する急潮が原因である(新潟県水産海洋研究所ら, 2009). ところが、著者らによる丹後半島沿岸の係留観測では、低気圧の最接近前に急潮が記録された事例もいくつかあった. 例えば、台風 0514 号が日本海を通過した 2005 年 9 月 7 日の前日には、まだ台風が丹後半島から遠く離れた九州地方を進行していたにもかかわらず、半島沿岸で急潮が発生した. 丹後半島沿岸に敷設された 2 つの定置網は、この急潮でワイヤーロープが切れた. 太平洋上を進む低気圧による定置網の急潮被害が多い相模湾でも、湾沖を低気圧が通過した後だけではなく、その最接近前に急潮が発生することがある. 宇田(1953)は、気象擾乱の接近時に発生した急潮を前急潮(まえきゅうちょう)と呼び、気象擾乱通過後に発生する急潮と区別した. これに倣って、本論文では気象擾乱通過前に発生した急潮を前急潮、通過後に発生したものを後急潮(あときゅうちょう)と呼ぶ. 相模湾の前急潮について、宇田(1953)は風により沖合暖水が輸送された可能性を指摘したが、その後、前急潮の力学機構を探求した研究は相模湾だけでなく日本海についても行われていない. 前急潮の発生頻度は後急潮に比べて低いが、台風が通過する前に発生するため、急潮予測という観点から、現象を正確に把握して発生機構を明らかにしておくことが必要である. そこで、台風 0514 号接近にともなう前急潮について、流速と水温の係留観測結果および数値実験結果からその力学機構を調べた.

## 2. 観測資料

気象データについては、京都府伊根町の太鼓山風力発電所、鳥取県境市および石川県輪島市にある気象庁の特別地域気象観測所(Fig. 1)における毎時の平均風向風速結果を使用した.

海況については、府内 5 ヶ所の大型定置網漁場(Fig. 1 の①~⑤, 平均水深約 50 m)に、JFE アドバンテック社製の小型メモリー流速計 Compact EM と小型メモリー水温計 MDS-MarkV/T を係留し、15 m 深の流向流速および 15 m 深と 30 m 深の水温を 1 時間毎に測定した. また、気象庁や国土地理院の検潮所(Fig. 1 左側 A~E の沿岸海域)で得られた毎時の水位観測結果を用いた. なお、水位記録は検潮所近傍にある気象庁の気象台や特別地域気象観測所(Fig. 1 左側 A~E)における海面気圧データで気圧補正した.

## 3. 資料解析結果

### 3.1 台風 0514 号接近時の気象・海況変動

2005 年 8 月 29 日(以下、西暦省略)にマリアナ諸島近海上で発生した台風 0514 号は、強い勢力を保ちながら 9 月 6 日に九州西岸付近を北上、同日夜半から 9 月 7 日に日本海を北東方向へ進行した. そして、台風は 9 月 8 日にオホーツク海上で温帯低気圧に変化した(Fig. 2).

Fig. 3 は、9 月 1 日から 11 日までの A. 境, B. 田後, C. 舞鶴, D. 三国, E. 輪島の水位と風向風速である(地点 B と D は水位のみ). 台風が南西諸島から九州沿岸を北上した 9 月 4 日から 6 日にかけて、A, C および E 地点では  $5 \text{ ms}^{-1}$ ~ $10 \text{ ms}^{-1}$  の東北東風から東風が吹き続け、A~E 地点の水位が 0.6 m~0.8 m 下降した. 台風が日本海を北東方向へ進行した 9 月 7 日には、風向が時計回りに変化し、7 日午後から 8 日にかけて A, C および E 地点では  $5 \text{ ms}^{-1}$ ~ $15 \text{ ms}^{-1}$  の南西風から西風となった. そして、全点で水位が 0.6 m~0.9 m 急上昇した.

Fig. 4 は、台風通過前後における 3 時間移動平均処理を施した測点①~⑤の流向・流速である. 測点①では 5

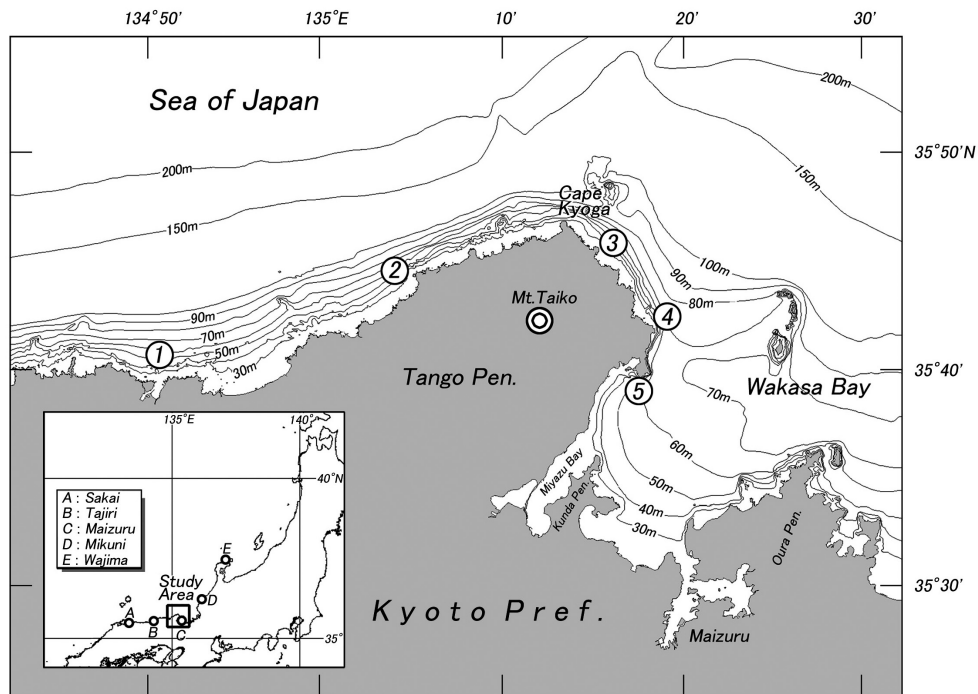


Fig. 1. Bottom topography of the study area. Numerals (1)–(5) and double circle (⊙) show the locations of mooring stations (current and temperature) and Mt. Taiko power plant (wind), respectively. Alphabets (A–E) in the inserted figure show propeller anemometer sites and tidal stations by Japan Meteorological Agency and Geospatial Information Authority of Japan.

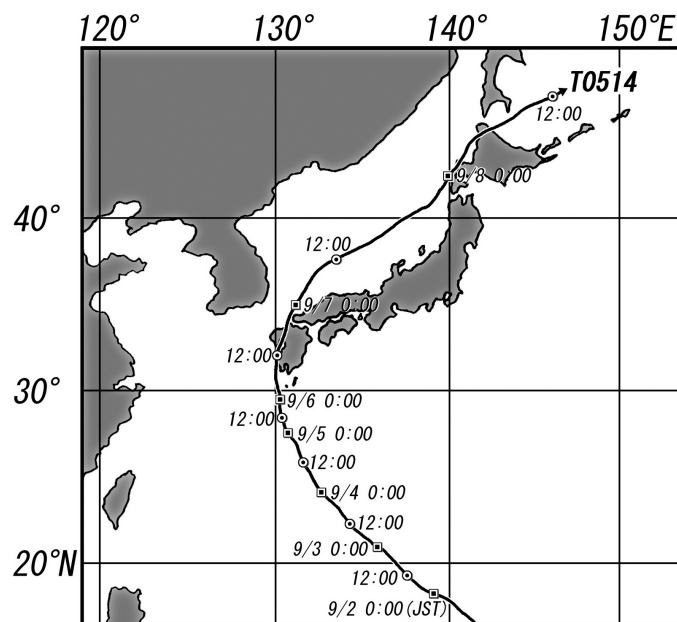
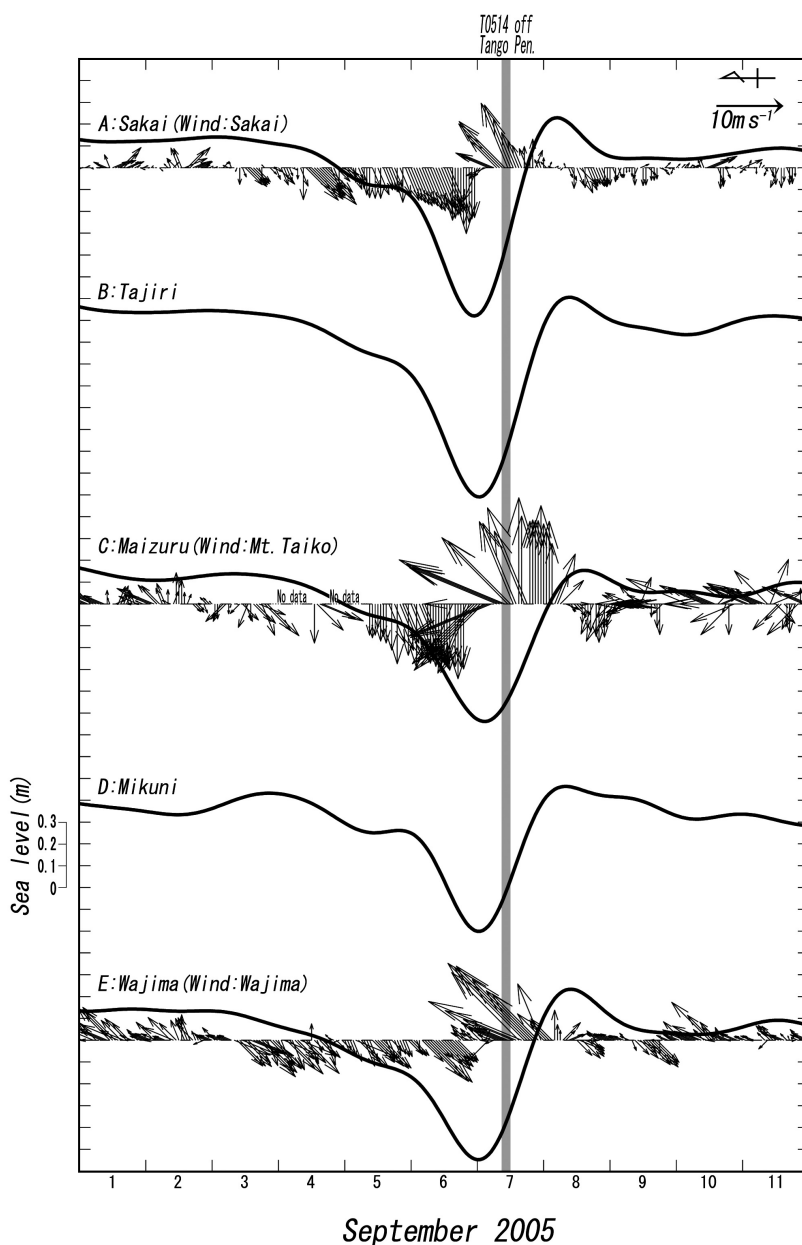


Fig. 2. Track of Typhoon 0514 around Japan.



**Fig. 3.** Time series of sea level, which inverted barometric correction and low pass filtering (Hanawa and Mitsudera, 1985) are made to remove the atmospheric and tidal effect, at 5 tidal stations (A–E, see Fig. 1) and stick diagrams of wind at Sakai, Mt. Taiko power plant and Wajima from 1 to 11 September, 2005. Shading line shows the time when T0514 was approached to the Tango peninsula.

日以降に西向流が卓越し、台風最接近前の7日7時に  $0.3 \text{ ms}^{-1}$  となり、7日22時以降には東向流に変化した。測点②ではすでに5日13時以降に西向流が卓越しており、台風最接近前の7日3時には最大で  $0.4 \text{ ms}^{-1}$ 、その

後の8日14時に  $0.7 \text{ ms}^{-1}$  に達する東向流を記録した。測点③では台風接近前の6日頃より北西に向かう流れが強まり11時に最大  $0.8 \text{ ms}^{-1}$  に達した。測点④の変動は測点③と同様、台風接近前に北上流が卓越し、6日21

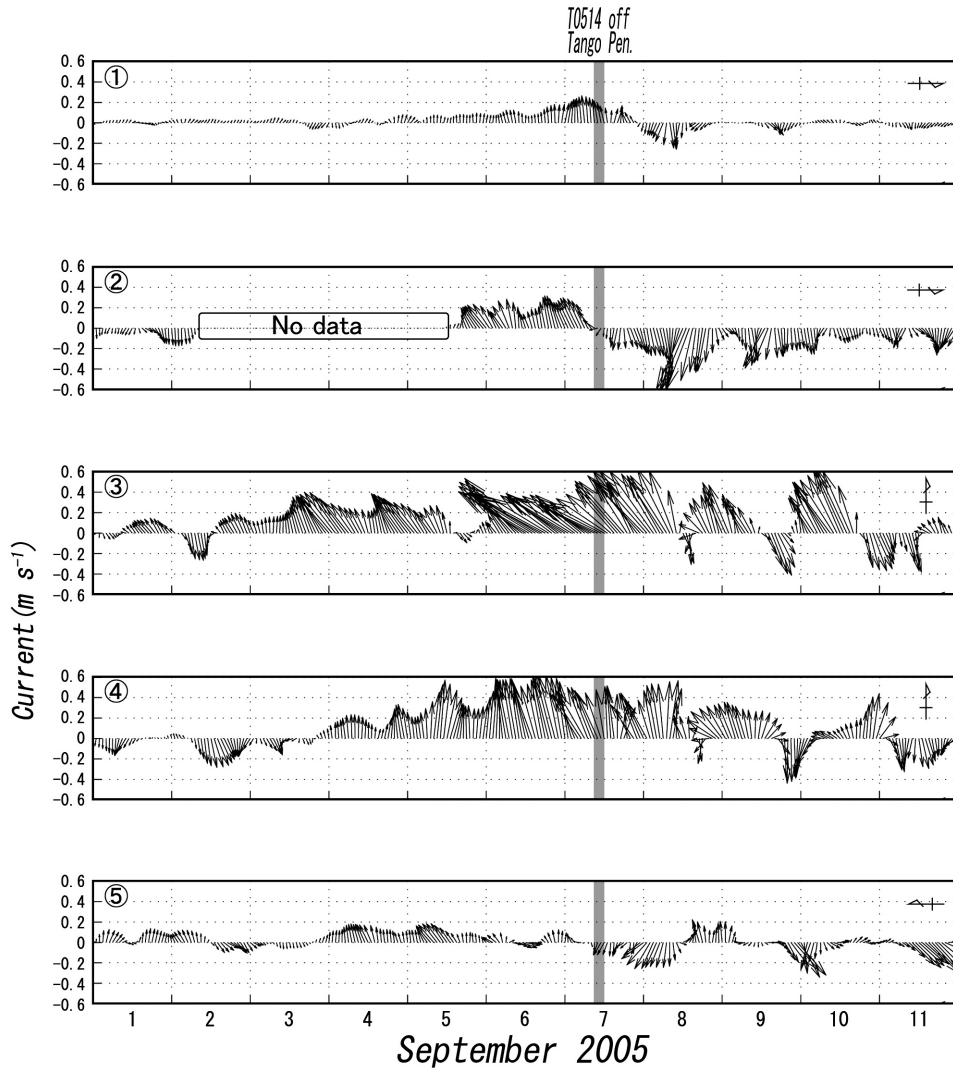


Fig. 4. Time series of 3-hour running averaged current velocity (15 m depth) at 5 mooring stations (①–⑤, see Fig. 1) from 1 to 11 September, 2005. Shaded line is the same as in Fig. 3. Note that vectors directed upward represent westward current at Sta.①–②, northward current at Sta.③–④ and eastward current at Sta.⑤, respectively.

時には最大  $0.7 \text{ ms}^{-1}$  を記録した。測点⑤では4日頃より  $0.1 \sim 0.2 \text{ ms}^{-1}$  の東向流であったが、7日9時以降には西向流に転じた。以上のように、 $0.7 \text{ ms}^{-1}$  を超える強い流れが測点③と④で観測された。

Fig. 5は、9月1日～11日の測点①～⑤における水温である。測点①の15 m深と30 m深では、9月3日以降に下降し始め、台風が最接近する7日午前までに各層ともに  $10^\circ\text{C}$  弱低下した。測点②でも測点①と同程度の

水温低下がみられた。台風通過後の7日午後には測点①と②の各層で急な昇温傾向を示すが、測点②の変動の方が4時間程早い。測点③～⑤の水温は、30 m深では4日以降比較的緩やかに低下したが、15 m深では数時間周期の変動を繰り返した後、6日午後以降急激に低下した。

気象と海況の観測結果をまとめると、台風が丹後半島沖を通過する前から東寄りの風が3日間以上吹き続けた。

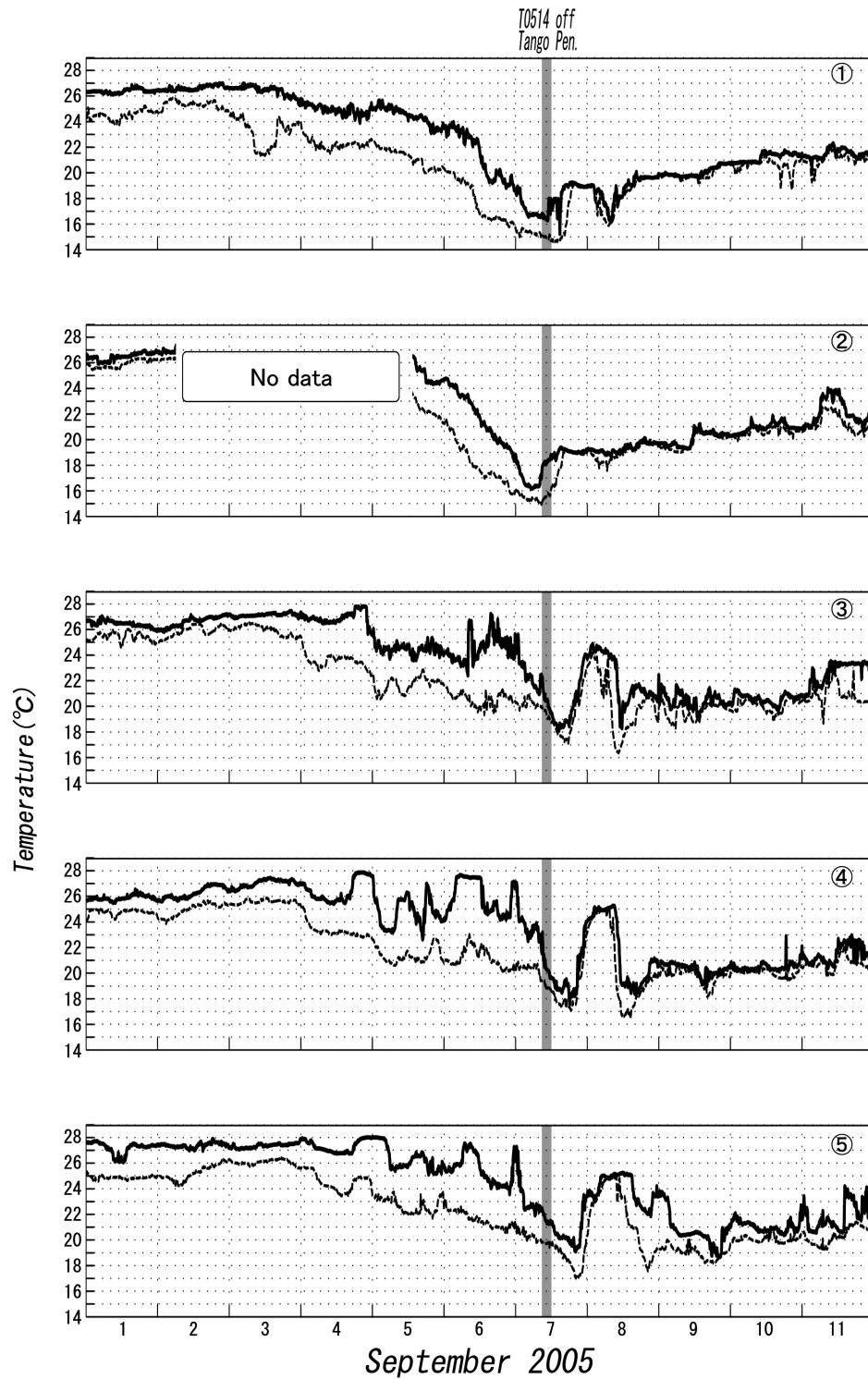


Fig. 5. Time series of temperature (—15 m depth, ---30 m depth) at 5 mooring stations (①—⑤) from 1 to 11 September, 2005. Shaded line is the same as in Fig. 3.

9月5日～7日には、丹後半島および周辺海域の水位と水温が低下するとともに、数日間にわたり丹後半島東部沿岸を北上する強い流れが発生した。以上の前急潮に伴う変動の特徴は、熊木ら(2005)やIgeta *et al.*, (2007)が示した近慣性周期変動が主要因である後急潮とは異なる。

### 3.2 流速の周期変動特性

丹後半島沿岸では、台風の日本海通過による後急潮に伴う流れは周期的に変動することが多い(Igeta *et al.*, 2007; 熊木, 2010)。このような周期変動が前急潮にも存在するのかを調べるために、スペクトル解析をおこなった。Fig. 6は、強い北上流が記録された測点③と④における9月1日～7日の流速南北成分のパワースペクトルである。流速のスペクトルには、I:16～23時間帯、II:25～44時間帯、III:2～4日帯にピークが認められ、低周波ほどエネルギーレベルが高い。各卓越周期帯の流れの時間変動をみるため、強い北上流が記録された測点④での周期帯I～IIIの南北流速成分を非再帰的フィルターにより生データから抽出した(Fig. 7)。周期帯IとIIの流速は、いずれも台風通過後に増大する傾向がみられた。一方、周期帯IIIの流速は、台風最接近の2～3日前から増大し、9月6日に極大を示した。このことから、丹後半島東部で発生した前急潮の期間には、周期帯IIIの変動が主体であったと言える。

### 3.3 流速構造の特徴

次に、台風接近時における2～4日周期の流れの構造をEOF解析で調べた。解析に用いたのは、9月1日から10日までの測点①～⑤における2～4日周期帯の流速の東西・南北成分である。EOF解析は、それぞれの物理量を独立させた10行10列の相関行列に対しておこなった。

Fig. 8は、EOF第1から第3モード(累積寄与率77.5%)の相対流速のベクトルの分布と時間変化を示す。なお、最下段の図は、25時間移動平均値処理を施した太鼓山の風速東西成分である。第1モード(寄与率38.5%)の流速ベクトルは、丹後半島沿岸の広い範囲で

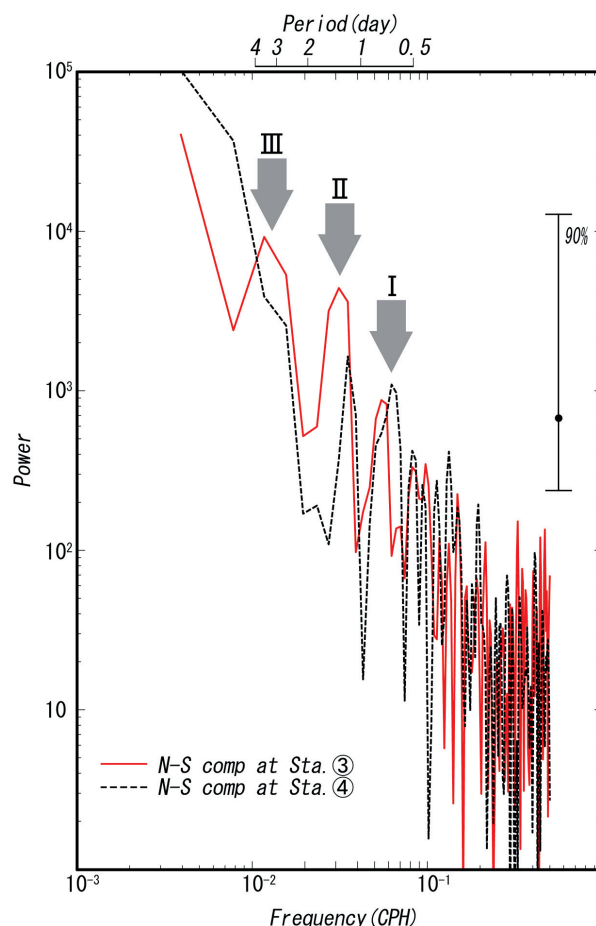


Fig. 6. Power spectra of North-South components of current speed at sta.③ and ④ from 1 to 7 September, 2005. Arrows show dominant period of current.

岸に平行な流れであった。第2モード(寄与率23.8%)の流速ベクトルは、経ヶ岬付近を境に流れのセンスが異なる。第3モード(寄与率15.2%)の流速ベクトルの分布は丹後半島東部南端だけで流速が強くなる構造である。

このうち、第1モードの時係数は9月初旬から負で推移していたが、6日から台風最接近時の7日にかけて大きな正の値を示した。この第1モードの時間変化は、若狭湾周辺海域における風や水位の変化と対応した。第1モードの時係数と25時間移動平均値処理を施した太鼓山の風速東西成分(Fig. 8下段)との相関は、19時間

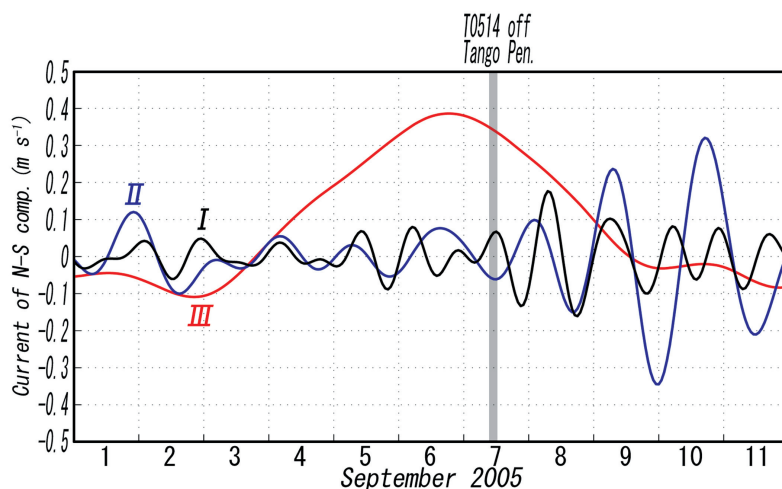


Fig. 7. North-South components of current speed about three band of frequencies (See Fig. 6) at sta.④ from 1 to 11 September, 2005. Shaded line is the same as in Fig. 3.

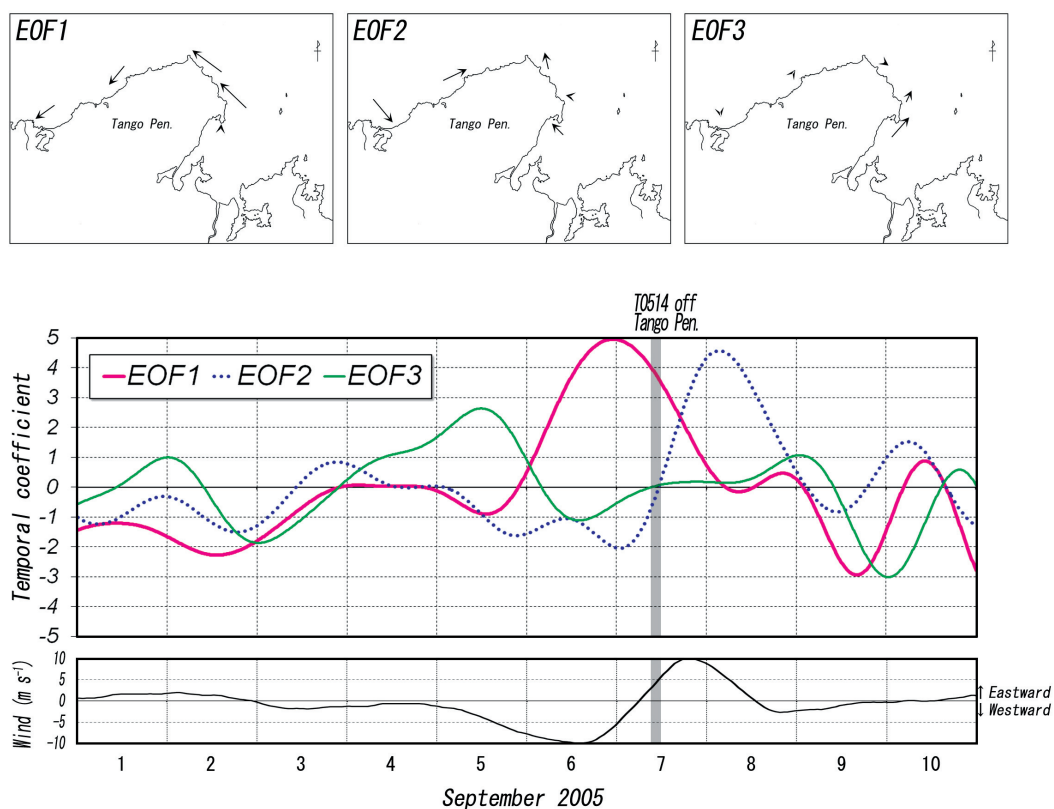


Fig. 8. Results of EOF analysis. (Upper panels) Dominant current direction of EOF1 to 3 mode at each station deduced from eigenvalue of EOF analysis. Vector length shows the relative velocity. (Middle panel) Temporal coefficient EOF1 to 3 mode of 2–4 day periodic current (15 m depth) at 5 mooring stations (①–⑤) from 1 to 10 September, 2005. Shaded lines are the same as in Fig. 3. (Lower panel) East-West components of 25-hour running averaged wind speed at Mt.Taiko power plant.



遅れで最も高い $-0.61$ を示した。また、第1モードの時係数と舞鶴の水位 (Fig. 3) との相関は、時間差なしで $-0.83$ であった。第2モードの時係数と25時間移動平均値処理を施した太鼓山の風速東西成分 (Fig. 8 下段) との相関は、8時間遅れで最も高い $0.75$ を示した。一方、第2モードの時係数と舞鶴の水位 (Fig. 3) との相関は、時間差なしで $0.45$ であった。第3モードの時係数と25時間移動平均値処理を施した太鼓山の風速東西成分 (Fig. 8 下段) あるいは舞鶴の水位 (Fig. 3) の相関は、時間差の有無に関わらずいずれも $\pm 0.1$ 未満であった。

以上から、EOF 第1, 2モードは風と高い相関を持つ流れ場であり、EOF 第1モードは水位変化を伴う流れで風に対して慣性周期 (約20時間) 程度の応答時間を持つこと、EOF 第2モードは風に対して比較的早く応答する流れで水位変化にはあまり影響しない成分であることが分かった。

## 4. 考察

前急潮に関する観測資料を解析した結果、丹後半島東部の強い北上流は、台風の接近に伴う東風の連吹と高い相関を示すことが明らかとなった。また、この東風の連吹期間には、水位が低下し、丹後半島沿岸の水温が下降していた。各測点の水温は、15 m 深と30 m 深で均一になることなく低下していたことから、強風連吹による海水の鉛直混合の影響だけでは説明できない。成層した沿岸海域において、岸を左にみて吹く風が吹き続けたことによる沿岸湧昇は日本各地で観測されている (蓮沼, 1979; 宇野木・海野, 1983; 大谷, 1986; 千手・渡辺, 1999)。すなわち、海岸線が東西に延びる山陰地方沿岸では、台風接近時に観測された水温低下は東寄りの風で引き起こされた湧昇による可能性が考えられる。

湧昇発生域における流れは、沖向きのエクマン輸送や下層からの湧昇流による岸沖方向の循環よりも、湧昇により形成される密度場や海面変位の分布に対応した地衡流場が重要になり、上層に沿岸ジェットが形成される (吉田, 1978; 北出ら, 1996)。台風接近時には、丹後半島沿岸の上層で岸を左にみる流動構造をもつ EOF 第1モードが発達した。また、このモードは東風より一慣性

周期 (約20時間) 程度遅れて発生し、沿岸水位の低下とも良く対応していた。したがって、EOF 第1モードは丹後半島周辺に形成された湧昇域に伴う沿岸ジェットを示すと考えられる。一方、EOF 第2モードは8時間遅れで風の変化と良く対応し、そのピークは台風通過後に見られた。また、潮位との関係が低いことから、風に対して短い時間で応答する成分であると言えるだろう。そこで、次に EOF の第1, 2モードの流れの力学的過程や、前急潮が風のみによって発生し得るものであるのかを調べるために数値実験を行った。

## 4.1 風応力の効果について

### 4.1.1 モデルの概要

数値実験は、静水圧近似およびブシネスク近似を施したプリミティブ方程式系を差分化した3次元レベルモデルで実施した。空間には中央差分、時間には中央差分と前方差分を組み合わせたスキームとした。水温変動を表現するため、水温と塩分の保存式を差分化し数値積分に用い、Mellor (1991) の式により密度を求めた。鉛直渦動粘性係数  $A_z$  と鉛直拡散係数  $K_z$  は、Pacanowski and Philander (1981) に倣って、

$$A_z = A_0(1+5R_i)^{-2} + A_b, \quad K_z = A_z(1+5R_i)^{-1} + K_b$$

のようにリチャードソン数によってパラメータ化し、水温と塩分には同じ拡散係数を用いた。ただし、 $A_0=1.0 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{s}^{-1}\text{)}$ 、 $A_b=1.0 \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{s}^{-1}\text{)}$ 、 $K_b=1.0 \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{s}^{-1}\text{)}$  とした。一方、水平粘性にはスマゴリンスキーモデル (係数0.2) を用いてパラメタリゼーションした。

計算領域は、山陰から能登半島西岸までとその沖合の海域を含む東西250 km および南北200 km の海域である。この海域を1 km $\times$ 1 km の正方格子に分割し、海底地形は日本海洋データセンターのJ-EGG500を用いた。ただし、1000 m 以深の地点は1000 m として、計算時間の短縮を図った。鉛直方向には15層を設定した (各層厚は上から10 m, 10 m, 10 m, 10 m, 10 m, 10 m, 20 m, 50 m, 60 m, 100 m, 100 m, 100 m, 100 m, 200 m, 210 m)。

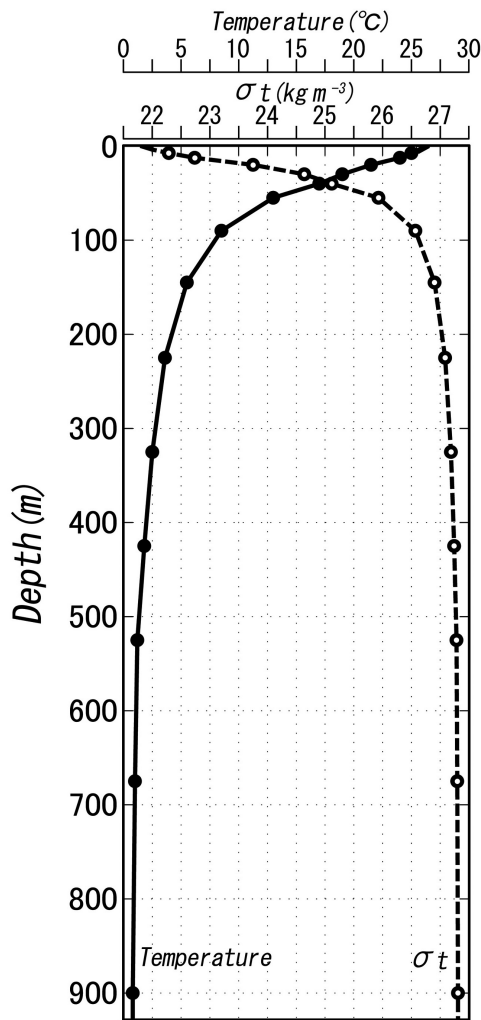


Fig. 9. Vertical profile of temperature and sigma-t using the model. This profile was obtained by CTD observation (R/V Heian) off Tango Peninsula on 29 August, 2005.

現場観測結果から、前急潮の第一の要因は風であると推察できる。そこで、風応力だけで観測された現象をどこまで説明可能なのかを調べる目的で、初期条件は全域で静止状態とし、外力として風応力のみを与える実験を行った。モデルの格子点の風は、Fig. 3 に示した3点での毎時の実測値から最適内挿法（例えば、水野，1995）を用いて求めた。そして、各格子点での毎時の風向風速は、線形内挿によりモデルの時間ステップに置き換えて実験に使用した。モデルの開始時刻は9月4日0時とし

た。初期の密度場は、京都府が所有する海洋調査船「平安丸」で8月29日に実施した丹後半島沖合（36°15'N, 135°10'E）のCTD観測結果をもとに全域に一様に与えた（Fig. 9）。

境界条件は、開境界をSlip条件、陸岸境界をNon-slip条件とし、開境界での波の反射を防ぐため、開境界から20kmの領域にスポンジ条件を用いた。また、開境界における海面変位については、表層エクマン輸送を可能にするためにclamped conditionを適用した（Kitade and Matsuyama, 2000）。

#### 4.1.2 台風接近時の風による流れの発達過程

Fig. 10 と Fig. 11 は、それぞれ実験によって得られた丹後半島周辺海域の15m層と35m層における台風接近時の水温および流れの場である。図は、上から順に台風最接近の15時間前（9月6日17時）、5時間前（9月7日3時）、15時間後（9月7日23時）、30時間後（9月8日14時）に対応する。また、丹後半島上に記したベクトルは太鼓山の風向風速を表している。丹後半島周辺の沿岸海域に着目すると、東風が連吹した台風最接近の15時間前には、岸に沿った広い範囲で水温の下降域が形成された。15m層では、この水温下降域は沖合域に比べて1~3°C低く、岸沖方向の幅は約15kmである。この距離は、内部変形半径  $NH/f \approx 13$  km（ただし、NはFig. 9の初期成層から求めたバイサラ振動数  $2.2 \times 10^{-2} \text{s}^{-1}$ 、Hは平均水深50m、fはコリオリパラメータ  $8.5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ）と匹敵する。また、内湾域を除く丹後半島沿岸では岸を左手にみる流れが卓越しており、EOF第1モードの流速構造（Fig. 8）と良く対応する。台風最接近5時間前には、半島全域や若狭湾内の水温下降域がさらに発達するとともに半島東部の北上流も強まった。台風通過15時間後には、水温下降域は若狭湾奥西部を除いて解消され、台風最接近前とは流向が反転し、岸を右手にみる流れとなった。この7日23時は、西風が最大になってから6時間後に相当し、EOF第2モードの時係数が増大した時期（Fig. 8中段）と一致する。数値実験結果では、測点に対応する格子点での流れは丹後半島東部を除くと北東ないし東方向であった。これは、EOF第2モードの流速構造（Fig. 8上段）と対応した

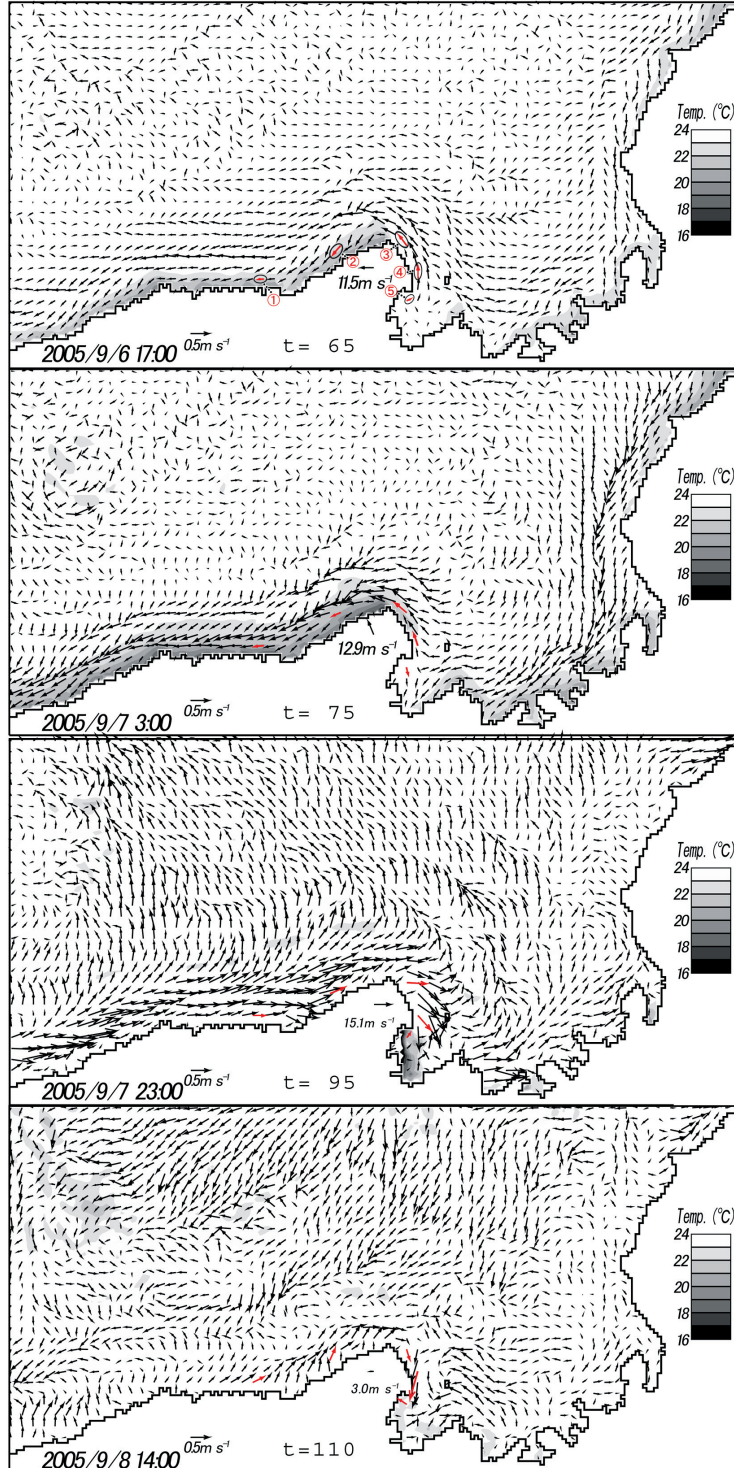


Fig. 10. Result of numerical simulation of current velocity and temperature at 15 m layer from 6 to 8 September, 2005 (time steps 65–110 hours). Wind vector at Mt.Taiko power plant and current mooring stations corresponding to ①–⑤ are also indicated.

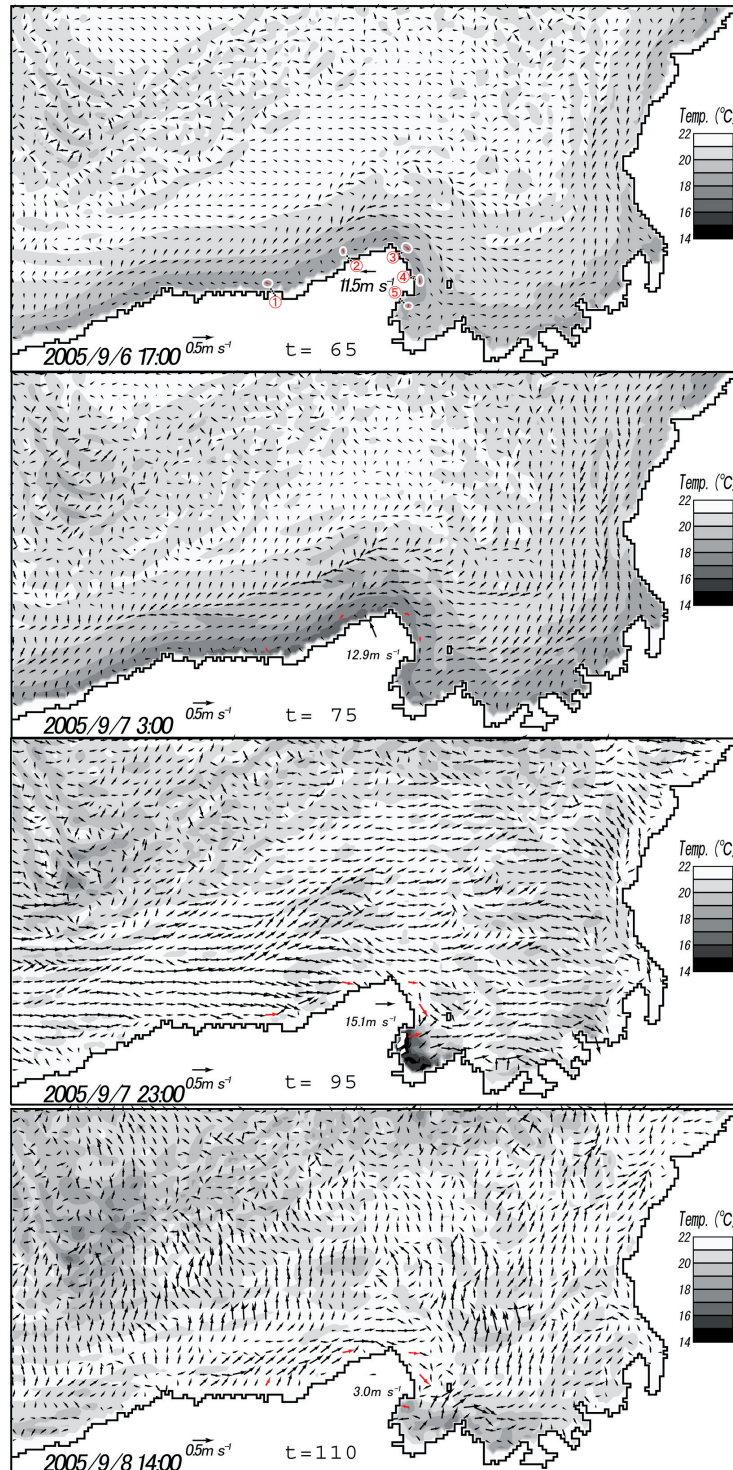


Fig. 11. Same as Fig. 10 except for 35 m layer.

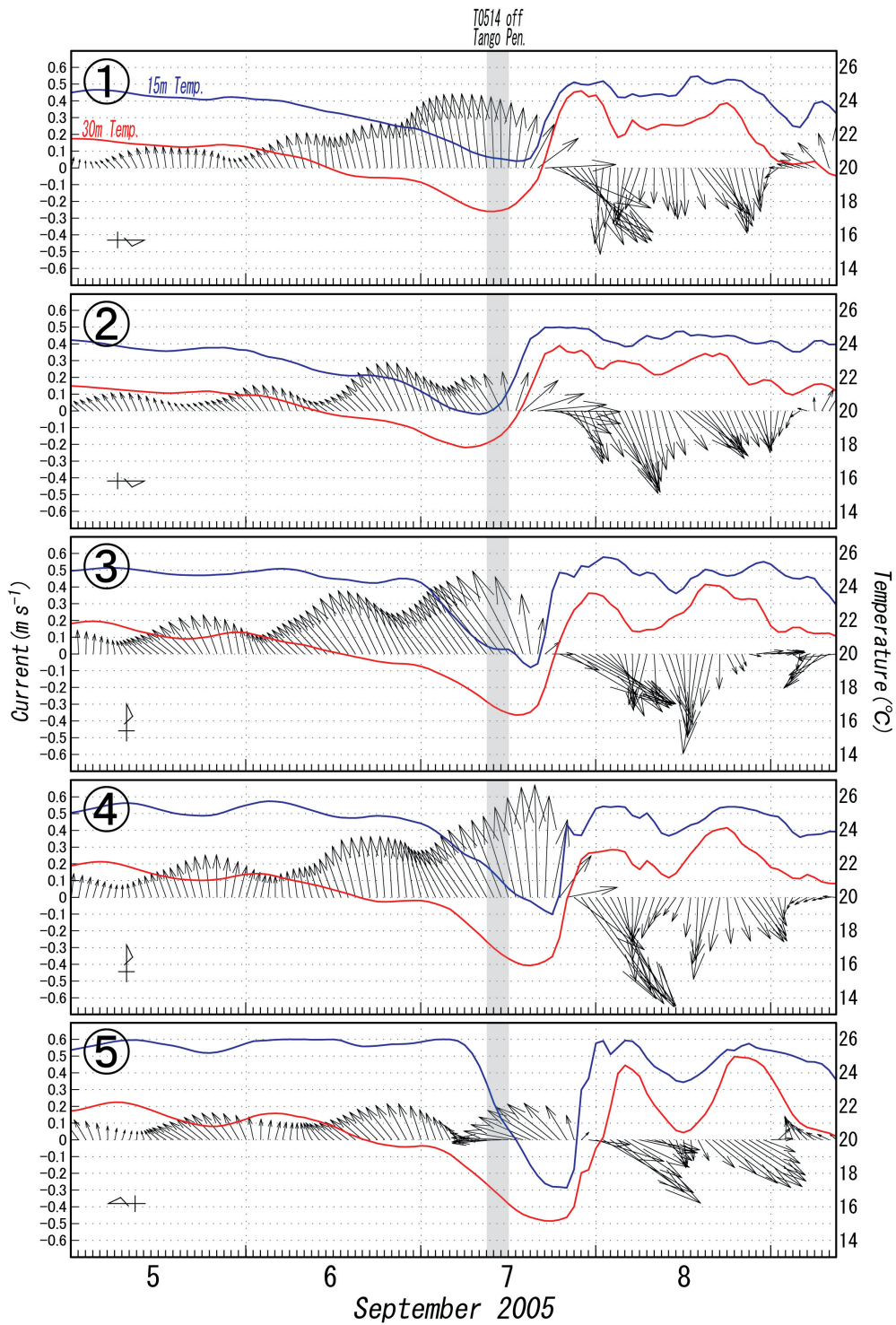


Fig. 12. Result of numerical simulation of current velocity (15 m layer) and temperature (blue curve : 15 m layer, red curve : 30 m layer) at sta.①–⑤ from 5 to 9 September, 2005. Shaded lines are the same as in Fig. 3. Note that vectors directed upward represent westward current at Sta.①–②, northward current at Sta.③–④ and eastward current at Sta.⑤, respectively.

分布であると言える。台風通過 30 時間後には、若狭湾奥西部の水温下降域は解消された。

Fig. 12 は、測点①～⑤に相当する格子点の 9 月 5 日から 9 日の流向流速 (15 m 層) と水温 (15 m 層, 30 m 層) の数値実験結果である。測点①と②の 15 m 層では、水温が 9 月 7 日の 13 時と 8 時にそれぞれ極小を示し、以降に昇温と同時に東流へと転じた。測点③と④では、降温を伴う北上流は台風通過直後まで継続し、測点③では 7 日の 13 時、測点④では 18 時に  $0.6 \text{ ms}^{-1}$  に達した。測点⑤では、台風最接近までは降温と共に北上流あるいは東向流が卓越するが、その後昇温と同時に流向は反転して南西に向かう流れが強まった。いずれの測点においても、台風通過前の水温下降とともに岸を左にみる流れが発達し、昇温と同時に反転して岸を右にみる流れとなる点は共通している。

数値実験結果を観測結果と比較すると、(1) 岸を左にみる流れが水温下降と同時に生じている点、(2) 水温・流速変動が測点①よりも測点②で早く起こっている点、(3) 水温低下が測点③から⑤にかけて伝播している点、(4) 測点①と②の水温は緩やかに低下するが、測点③～⑤の 15 m 深水温は 9 月 7 日に急に低下しだす点など、台風の最接近前から台風が通過して沿岸水温が上昇するまでの変動の特徴は良く一致している。(1) は EOF 第

1 モード (Fig. 8 上段) にもみられた特徴で、沿岸ジェットの構造を示すと考えられる。(2) の特徴は、台風の通過に伴い風向が東から西へ時計回りに変化した際、東西に海岸線が伸びた測点①では湧昇から沈降へと変化するが、海岸線が北東に傾いた測点②では少し先に応答したと考えればよいだろう。(3) は湧昇域が岸に沿って伝播していることを示す。また、(4) は丹後半島周辺の水温分布と流れの関係 (Fig. 10 の  $t = 65, 75$ ) から分かるように、丹後半島の東には若狭湾内の表層水が沿岸ジェットと風による吹き寄せによって丹後半島東部に押し付けられ、湧昇域 (水温下降域) が波及しにくかったためと考えればよい。

以上の点から、前急潮に関連する現象は風応力のみを与えた実験によりほぼ再現できたと言え、沿岸ジェットが前急潮の主な原因と判断できる。

なお、台風 0514 号通過後に丹後半島東部の水温は上昇に転じた。この昇温後の流速変動は、数値実験で上手く説明できているとは言えない。数値実験結果と観測結果が一致しない点を次節で議論する。

#### 4.2 基本場の流れによる影響

本研究の数値実験結果では、台風の通過後に丹後半島

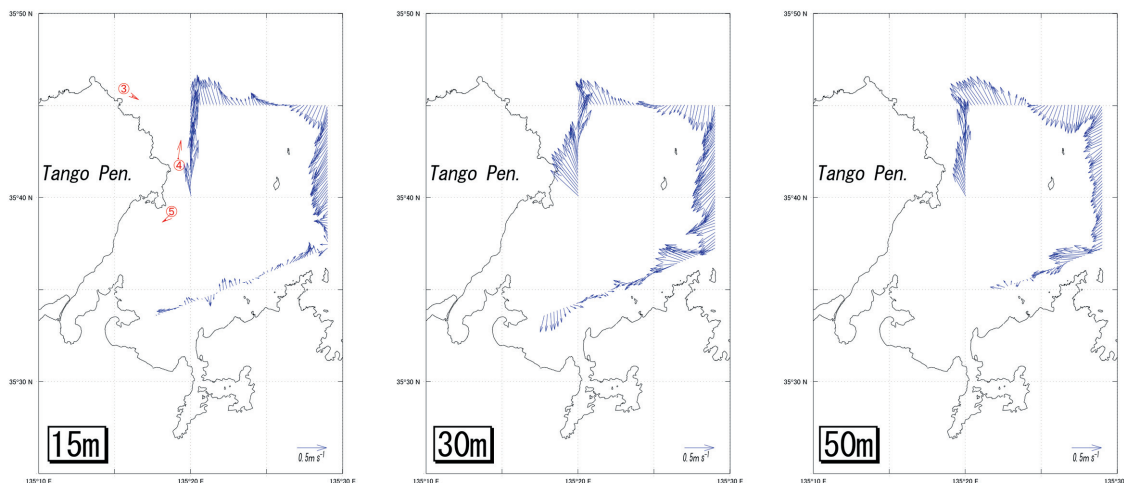


Fig. 13. Stick diagrams of current speed at 15 m, 30 m and 50 m depth in the western part of Wakasa Bay from 11:44 to 14:28 9 September, 2005 (by R/V Heian). Current vectors at 3 mooring stations (③–⑤) are also indicated.

沿岸で水温が上昇すると同時に岸を右にみる流れが発生し、若狭湾へと伝播することが示された。この変動は、後急潮として熊木ら(2005)や Igeta *et al.* (2007) で報告されている現象と良く対応する。台風 0514 号の場合には、測点③と④で9月8日の正午頃に弱い南下流が見られる程度で、台風通過後の後急潮に対応する強い南下流は発生せず、変動しながらも強い北上流が9月10日まで続いていた (Fig. 4)。9月8日以降には台風による風の影響がないことから、測点③と④で持続した北上流は風応力の効果だけでは説明できない。

9月9日には、平安丸により若狭湾西部海域で ADCP による観測が実施されていた。この測流結果には、測点③と④の東の海域で北上する流れが記録されている (Fig. 13)。この北上流は、若狭湾西部に形成されている時計回りの渦流の一部であると見受けられ、測点③と④で台風通過後も継続して観測された北上流の一因になった可能性がある。

宇田(1930)は、若狭沖における対馬暖流の強勢時には若狭湾で時計回りの地形性渦流が誘発されやすいことを指摘している。若狭湾沖からの冷水域(通称 山陰若狭沖冷水域)の南下が、湾内の渦流の形成に関与すると報告もある(橋本, 1982)。本研究の数値実験で再現された北上流が、係留観測で記録された北上流よりも  $0.1\sim 0.2\text{ ms}^{-1}$  小さかったことに関しても、この渦流の効果を考慮していないことによる可能性がある。また、若狭湾の渦流との関連は不明だが、千手(2009)が湾東部の越前岬周辺海域で対馬暖流の接岸による急潮を捉えている。以上、本研究の主目的である前急潮現象の力学機構の解明は、ほぼ達成できたとと言えるが、今後、丹後半島沿岸の流れをより正確に予測するには、気象擾乱の影響に加えて若狭湾の渦流や対馬暖流の影響も考慮する必要がある。

## 謝 辞

京都府漁業協同組合連合会、京都府定置漁業協会および府内漁業関係者の方々には、定置網漁場における海洋観測を援助して頂きました。また、水産総合研究センター日本海区水産研究所の井桁庸介博士には有益なご助言を頂きました。心より御礼申し上げます。なお、本研究は、

農林水産省の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」および「平成 20 年度～22 年度 自動観測ブイを用いたリアルタイム沿岸漁場環境モニタリングによる地球温暖化影響評価手法の開発事業」により実施しました。

## References

- 浅勇輔, 広瀬直毅, 千手智晴 (2007): 能登半島東岸において 2004 年に発生した急潮の数値実験. 海の研究, **16**, 39–50.
- 花輪公雄, 三寺史夫 (1985): 海洋資料における日平均値の作成について—日平均潮位を扱う際の留意点—. 沿岸海洋研究ノート, **23**, 79–87.
- 橋本祐一 (1982): 若狭湾及びその近海の流動について. 海と空, **58**, 1–11.
- 連沼啓一 (1979): 東京湾における流動の特徴. 沿岸海洋研究ノート, **16**, 67–75.
- Igeta, Y., Y. Kitade and M. Matsuyama (2007): Numerical experiment on Kyucho around the Tango Peninsula induced by Typhoon 0406. *J. Oceanogr.*, **63**, 835–847.
- 加藤安雄 (1969): 若狭湾の急潮流による定置網の被害について. ていち, **40**, 8–19.
- 河岸賢, 宗清正廣, 飯塚覚, 和田洋蔵 (1989): 定置網破網事故原因についての一考察. 京都海洋センター研報, **12**, 23–29.
- 北出裕二郎, 松山優治, 岩田静夫, 石戸谷博範, 清水顕太郎, 渡部勲 (1996): 台風の通過に伴う相模湾の水温・流速変動. 沿岸海洋研究, **33**, 191–202.
- Kitade, Y and M. Matsuyama (2000): Coastal-trapped waves with several-day period caused by wind along the south-east coast of Honsyu, Japan. *J. Oceanogr.*, **56**, 727–744.
- 熊木豊, 上野陽一郎, 傍島直樹, 松山優治 (2005): 台風 0406 号通過に伴い発生した京都府沿岸の急潮. 海の研究, **14**, 653–664.
- 熊木豊 (2010): 低気圧の日本海通過に伴い京都府沿岸で発生した急潮. 京都海洋センター研報, **32**, 1–6.
- 丸山克彦 (2009): 台風 0613 号通過に伴う両津湾における流れと水温の変化. 新潟県水産海洋研究所研究報告, **2**, 45–49.
- Mellor, G. L. (1991): An equation of state for numerical models of oceans and estuaries. *J. Atmos. and Oceanic Technology*, **8**, 609–611.
- 水野恵介 (1995): 大洋規模の海況解析と最適内挿法. 海の研究, **4**, 187–208.
- 新潟県水産海洋研究所, 富山県農林水産総合技術センター水産研究所, 石川県水産総合センター, 福井県水産試験場, 京都府立海洋センター, 神奈川県水産技術センター相模湾試験場, 東京海洋大学海洋科学部, 九州大学応用力学研究所, (独) 水産総合研究センター日本海区水産研究所 (2009): 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業 日本海における急潮予測の精度向上と定置網防災策の確立. 研究成果報告書, 7–33.
- 大慶則之, 奥野充一, 千手智晴 (2009): 気象擾乱通過後に能登半島沿岸で観測された急潮—2003 年夏季の観測結果より—. 海の研究, **18**, 57–69.
- 大谷清隆 (1986): 短時日吹く風によって生じる沿岸湧昇. 沿岸海洋研究ノート, **23**, 155–165.

- Pacanowski, R. C. and S. G. Philander (1981) : Parameterization of vertical mixing in numerical models of tropical oceans. *J. Phys. Oceanogr.*, **11**, 1443–1451.
- 千手智晴, 渡辺俊輝 (1999) : 台風によって引き起こされた山陰沿岸水温の急低下現象. *海と空*, **75**, 1–8.
- 千手智晴 (2009) : 日本海で発生する急潮の特徴. *ていち*, **116**, 9–18.
- 宇田道隆 (1930) : 若狭湾及其の沿海の流動. *水産試験場報告*, **2**, 17–35.
- 宇田道隆 (1953) : 相模湾の急潮とその予知について (第1報). *日本海洋学会誌*, **9**, 15–22.
- 宇野木早苗, 海野裕 (1983) : 東海・関東沿岸海域における暖候期の低温化現象. *水産海洋研究会報*, **44**, 17–28.
- 和田洋蔵, 河岸賢, 宗清正廣 (1990) : 京都府沿岸の定置網に被害を及ぼした急潮の特徴について. *京都海洋センター研報*, **13**, 57–63.
- 吉田耕造 (1978) : 湧昇流研究の展望. *沿岸海洋研究ノート*, **15**, 96–108.



## *Mae-Kyucho* along the coast of Tango Peninsula

Yutaka Kumaki<sup>†</sup>, Yujiro Kitade<sup>‡</sup> and Takashi Tojima<sup>†</sup>

### Abstract

From recent mooring observations carried out along the coast of Tango Peninsula, we found that stormy current, *Kyucho*, rarely occurred before passage of Typhoon or mid-latitude cyclone and damaged set-net around the peninsula. We examined the characteristics and generation mechanism of the *Kyucho* associated with the case of Typhoon 0514. Mooring current and temperature data obtained at the eastern part of the peninsula showed that the northward strong current (approximately  $0.8 \text{ ms}^{-1}$ ) accompanied with temperature decrease have developed before passage of the typhoon. The currents distributed with the coast on the left hand were extracted as the first EOF mode and its time variation was found to be crossly correlated with the westward wind at Mt. Taiko (at the center of the peninsula). From a numerical experiment using 3D level model with uniform stratification condition, the northward strong current and temperature decrease at the eastern part of the peninsula was well reproduced by forcing of the wind which was blowing more than two days before passage of Typhoon 0514. We concluded that the *Kyucho* occurred at eastern part of the peninsula before passage of Typhoon was due mainly to the coastal jet excited by continuously blowing strong westward wind.

**Key words:** *Kyucho*, typhoon, coastal jet, Tango Peninsula

(Corresponding author's e-mail address: y-kumaki01@pref.kyoto.lg.jp)

(Received 10 January 2012; accepted 6 July 2012)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2012)

---

<sup>†</sup> Fisheries Technology Department, Kyoto Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Technology Center  
Oda-shukuno, Miyazu, Kyoto 626-0052, Japan

<sup>‡</sup> Faculty of Marine Science, Tokyo University of Marine Science and Technology  
4-5-7, Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan