

低気圧の日本海通過に伴い京都府沿岸で発生した急潮

熊木 豊, 戸嶋 孝, 上野陽一郎, 傍島直樹

京都府農林水産技術センター海洋センター

2010年3月

低気圧の日本海通過に伴い京都府沿岸で発生した急潮

熊木 豊, 戸嶋 孝, 上野陽一郎, 傍島直樹

Kyuchu occurring along the Kyoto coast due to a low pressure area passing over the Sea of Japan.

Yutaka Kumaki, Takashi Tojima, Yoichiro Ueno and Naoki Sobajima

The characteristics of Kyuchu that occurred along the Kyoto coast due to a low pressure area passing over the Sea of Japan were analyzed using data on the current obtained at 10 set-net fishing grounds along the Kyoto coast during the summer of 2004. An alongshore current is predominant in the surface layer, and the velocities increased due to the presence of a continuously strong wind (especially east-northeastwards). At this time, kinetic energy with a sub-diurnal frequency increased around the west of Cape Kyoga, and, moreover, energy with a near-inertial frequency increased around the eastern coast of the Tango peninsula. The main oceanic disturbances of the former area are considered to be coastal jets and coastal trapped waves, and those of the latter are coastal trapped waves propagating from the former area and near-inertial oscillations derived from offshore. We suggest that these are the main factors generating Kyuchu in each area.

キーワード：丹後半島，定置網，急潮，沿岸捕捉波，近慣性振動

京都府沿岸海域には定置網の好漁場が点在し、数多くの定置網が敷設されている。定置網では、対馬暖流域に分布するマアジ、サワラ、カタクチイワシおよびブリなど多種多様な魚介類を周年漁獲している。

本府沿岸海域は定置網の漁場として恵まれている一方で、表層を中心にしばしば突発的な速い流れ（以下、急潮）が発生して、時に破網などの漁具被害を引き起こし、定置網の経営体を悩ませている。漁具被害の防止・軽減には、定置網の一部を急潮発生前に陸上に退避させる対策が有効であり、急潮の発生を事前に予測できれば効率的にその防災策を講じることができる。京都府では急潮が発生しやすい夏季から秋季にかけて府内数カ所の大型定置網漁場で小型メモリー流速計を用いた表層流の観測を2004年から実施し、今日まで急潮の発生機構の解明およびその予測手法の確立に努めている。その結果、2004年から2008年までに本府で発生した定置網の漁具被害の大半は、気象擾乱による急潮が主因と推察され、なかでも台風や発達した温帯低気圧の日本海通過に伴う事例が最も多かった（京都府立海洋センターほか,2009）。しかし、低気圧の日本海通過に伴い本府沿岸で発生する急潮の挙動については、まだ不明な点が多い。

そこで、本研究では2004年から2009年までの観測期間中において、日本海上を勢力の強い台風や温帯低気圧が相次いで通過し、定置網の漁具被害が頻発した2004年8月中旬から9月上旬までを対象に、低気圧の日本海通過に伴い本府沿岸で発生する急潮の特性を考察したので報告する。

材料および方法

京都府沿岸の定置網漁場における表層流の平均的な特性を把握するため、沿岸海域10カ所の大型定置網漁場（Fig.1の①～⑩、平均水深約50m）に、JFEアレック電子社製の小型メモリー流速計Compact EMを10 m深または15 m深に垂下係留して10分毎の流向・流速を測定した。本研究では2004年から2009年にかけて、比較的表層流の速い6月から10月までの資料を用いた。なお、小型メモリー流速計の電源電池交換や機器異常などによって欠測期間が発生し、データ量は観測点や年によって異なったが、夏季から秋季における平均的な流況の解明には支障がないものとみなして解析を進

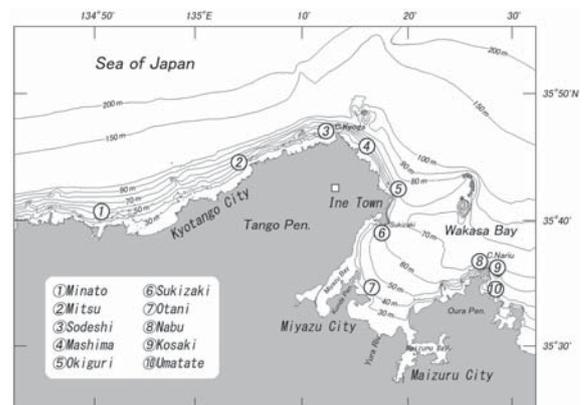


Fig. 1 Bottom topography of the study area. Numbers (①-⑩) and the square (□) show the locations of current mooring stations (set-net fishing ground) and the wind observation site (Mt. Taiko power plant), respectively.

Table 1 Data on the current (mean±S.D.) at each mooring station during summer to autumn 2004 - 2009. Numbers in brackets show the maximum current speed at each mooring station.

Year	Mooring station									
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
2004	0.2 ± 0.1 (1.0)	0.3 ± 0.3 (1.6)	0.3 ± 0.3 (1.9)	0.3 ± 0.3 (2.0)	0.3 ± 0.3 (1.7)	0.2 ± 0.2 (1.3)	0.1 ± 0.1 (0.5)	0.1 ± 0.1 (0.9)	0.2 ± 0.2 (1.4)	0.1 ± 0.1 (0.3)
2005	0.2 ± 0.1 (0.7)	0.4 ± 0.2 (1.5)	No Date	0.3 ± 0.3 (1.9)	0.4 ± 0.3 (1.7)	0.2 ± 0.2 (1.4)	0.1 ± 0.1 (0.7)	0.1 ± 0.1 (0.3)	0.2 ± 0.2 (1.6)	0.1 ± 0.1 (0.3)
2006	0.2 ± 0.2 (1.0)	0.3 ± 0.2 (1.4)	0.4 ± 0.3 (1.8)	0.3 ± 0.2 (1.4)	0.4 ± 0.3 (1.7)	0.2 ± 0.2 (1.2)	0.1 ± 0.1 (0.5)	0.1 ± 0.1 (1.4)	0.2 ± 0.1 (1.1)	0.1 ± 0.1 (1.3)
2007	0.2 ± 0.1 (1.0)	0.3 ± 0.2 (1.5)	0.4 ± 0.3 (2.0)	0.3 ± 0.2 (1.9)	0.4 ± 0.3 (1.5)	0.2 ± 0.2 (1.2)	0.1 ± 0.1 (0.7)	0.1 ± 0.1 (0.7)	0.2 ± 0.2 (1.2)	0.1 ± 0.1 (0.7)
2008	0.2 ± 0.2 (1.2)	0.3 ± 0.2 (1.2)	0.4 ± 0.3 (1.6)	0.3 ± 0.2 (1.7)	0.3 ± 0.2 (1.3)	0.2 ± 0.2 (1.2)	0.1 ± 0.1 (0.3)	0.1 ± 0.1 (0.7)	0.2 ± 0.1 (1.2)	0.1 ± 0.1 (0.5)
2009	0.2 ± 0.2 (1.2)	0.3 ± 0.2 (1.1)	0.5 ± 0.2 (1.4)	0.2 ± 0.2 (1.0)	0.3 ± 0.2 (1.3)	0.2 ± 0.2 (1.2)	0.1 ± 0.1 (0.3)	0.1 ± 0.1 (0.3)	0.2 ± 0.1 (0.7)	0.1 ± 0.1 (0.3)
2004-2009 Ave.	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1

めた。

2004年に発生した台風0415号、0416号、0418号および勢力の強い温帯低気圧が日本海上を通過し、相次いで急潮が観測された2004年8月12日から9月10日までの期間を対象に、各観測点の表層流の時系列解析を行った。解析には、京都府公営企業管理事務所が運営する伊根町の太鼓山発電所 (Fig.1) で10分毎に計測された平均風向流速結果も用いて、各観測点の表層流の変動と風況との関連性を調べた。本府沿岸における表層流の変動は、特に南西風やその反対の北東風の影響を受けやすいことから (熊木ら,2007)、絶対風速に加え、南西風-北東風成分の風速も算出した。熊木ら (2007) は、風の連吹によって一日周期から数日周期 (以下、長周期成分) および本府周辺海域の慣性周期 ($\pi/\omega \sin \phi \approx 20.4$ 時間, ω :地球の自転角速度 2.625×10^{-4} rad/hour, ϕ :海域の緯度 $35^{\circ}45'N$) に近い20時間前後の周期 (以下、近慣性周期成分) を持つ表層流が励起されやすいことを指摘した。そこで、各観測点の流向・流速値から東西方向と南北方向の分速 (m/s) を求めた。本研究では分速値を25時間移動平均した系列を長周期成分、MathWorks社製の数値解析ソフトウェアMATLABで設計した16時間から22時間周期の帯域を透過するデジタル フィルター処理した系列を近慣性周期成分とし、各周期成分の運動エネルギー (J/m) をIgeta *et al.* (2009) に基づき計算した。

結 果

平均的な流況 各観測点における2004年から2009年までの流向頻度をFig.2に示した。観測点①~③では東南東から東北東方向の表層流の出現頻度が高かった (37%~71%)。観測点④では北西から北方向の出現頻度が約45%と高く、次いで南東から南方向が約24%であった。観測点⑤では、北北西から北北東方向の出現頻度が約45%と高く、次いで南南東から南南西方向が約28%であった。観測点⑥では、西南西から南南西方向と、東北東から東南東方向の出現頻度が共に約34%

であった。観測点⑦では、北北西から北北東方向の出現頻度が約30%、南南東から南南西方向の出現頻度が約28%であった。観測点⑧では、東北東から東南東方向の出現頻度が約34%で、次いで西南西から西北西方向が約21%であった。観測点⑨では、北北東から北北西方向の出現頻度が約50%と高く、次いで南西から南方向が約25%であった。観測点⑩では、北から北西方向の出現頻度が約34%で最も高かった。各観測点の流向頻度は様々であったが、共通の特徴としておおむね岸に平行な1方向または両方向の表層流 (以下、並岸流) が卓越した。

2004年から2009年における各観測点の表層流速の統計値をTable 1に示した。調査を実施した6年間では、いずれの観測点においても流速の平均値や標準偏差には大きな年較差はみられなかった。平均流速は、観測点②~⑤では0.3~0.4ノット、観測点①、⑥および⑨では0.2ノット、観測点⑦、⑧および⑩では0.1ノットであった。また、各年の最大流速は、観測点③~⑤では約1.5~2ノット、観測点①、②、⑥および⑨では約1~1.5ノット、観測点⑧と⑩では1ノット前後、観測点⑦では1ノット未満であった。平均流速および最大

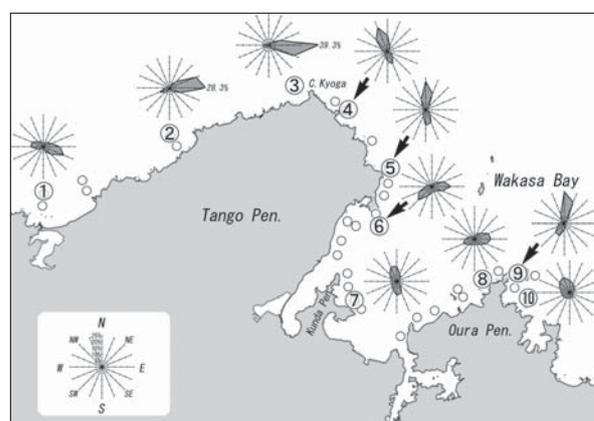


Fig. 2 Frequency distribution of the current direction at each mooring station during summer to autumn 2004 - 2009.

流速は、観測点付近の定置網の急潮被害が比較的多い観測点①～⑥で大きく、逆に急潮被害が少ない観測点⑦～⑩では、観測点⑨を除いて小さい傾向がみられた。

低気圧の日本海通過に伴う急潮の特性 平均的な流況を解析したところ、全ての観測点で並岸流が卓越した (Fig.2)。そこで、本研究では並岸流に着目し解析する。2004年8月12日から9月10日における各観測点の並岸流速の時系列をFig.3に示した。Fig.3には、調査期間中に日本海を通過した低気圧が本府海域に最接近し

た時期を矢印で表した。

台風0415号の場合、8月17日頃から風が強まり、日本海沖合を通過した8月19日から翌20日午前中まで12m/s以上の南西風が吹き続けた。これに伴い、観測点①～③では8月20日を中心に岸を右にみる0.5ノット以上の東方向の並岸流が発達し、最大で流速1ノットを超えた。その後、10m/s以下の北東から東の風に転じた8月21日から22日には、西方向の並岸流が優勢になり、時に0.5ノットを超えた。観測点④～⑥では、台風0415号通過後に1日弱の周期で変動する並岸流が

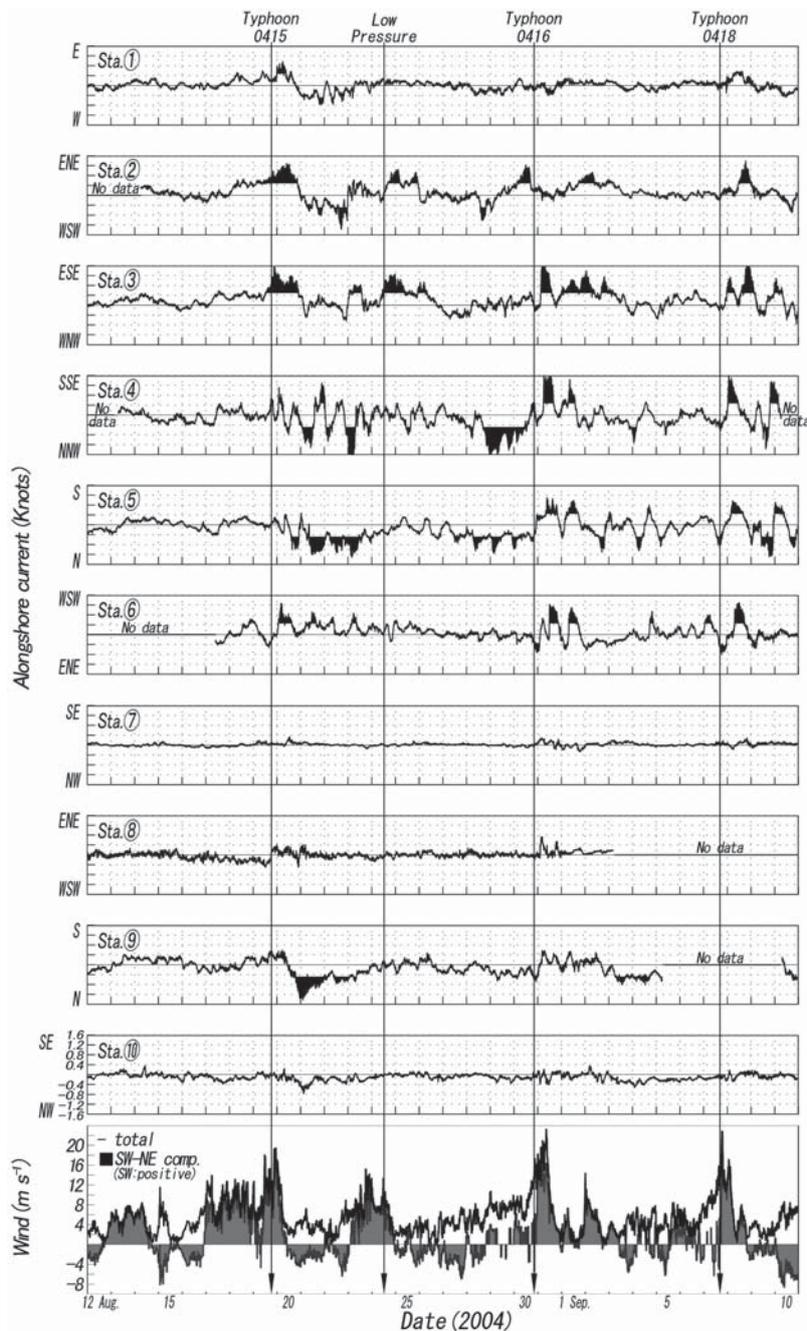


Fig. 3 Time series of the alongshore current speed at 10 mooring stations (Shaded areas: speed of more than 0.5 knot) and the wind speed at the Mt. Taiko power plant (Shaded lines: SW-NE component) from 12 August to 10 September, 2004. Positive values of the alongshore current speed and arrows show current movement with the coast on the right-hand side and periods of marked meteorological disturbance, respectively.

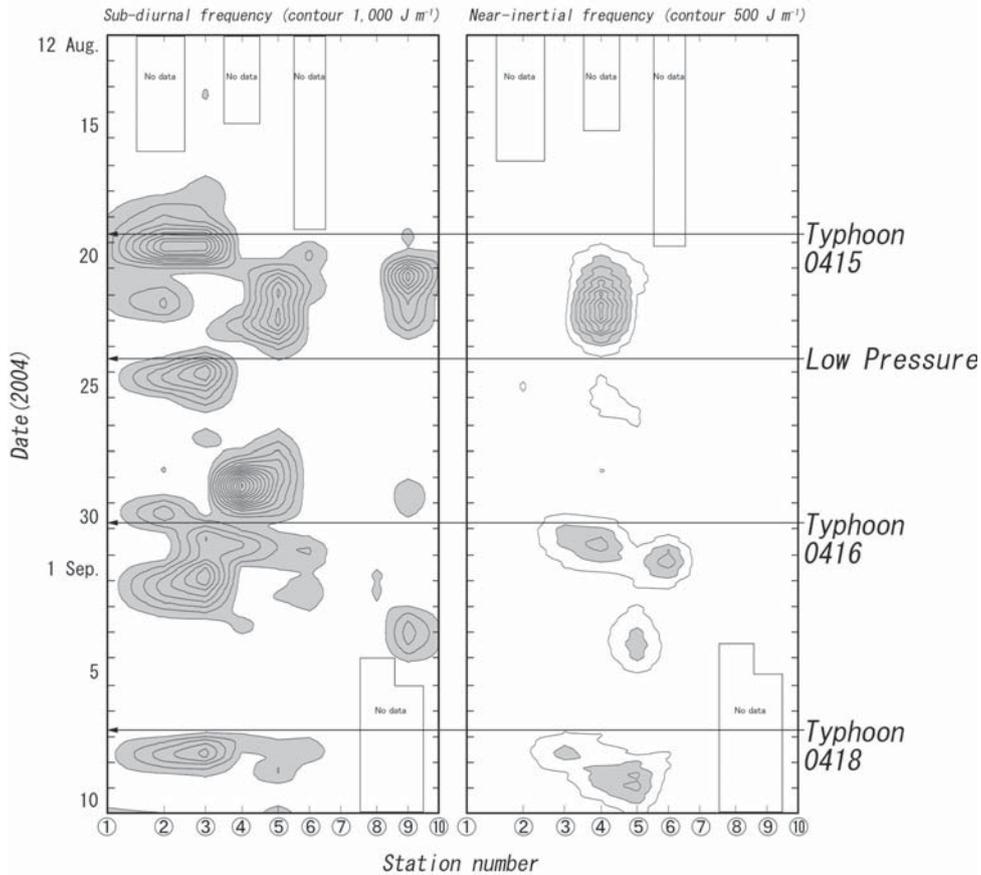


Fig. 4 X-T diagrams of kinetic energy with a sub-diurnal (left) and near-inertial (right) frequency at 10 mooring stations from 12 August to 10 September, 2004. Shaded areas show kinetic energy of more than $1,000 \text{ J m}^{-1}$. Arrows are the same as in Fig.3.

発生した。特に、観測点④では岸を右にみる北北西方向と、岸を左にみる南南東方向の並岸流が1日弱の周期で交互に発生し、その流速は最大で1.6ノットを超えた。観測点④～⑥の並岸流は、台風通過の約4日後に流速0.5ノット以下となった。観測点⑨～⑩では台風通過から約1日後の8月21日に岸を左にみる北方向の並岸流が発達し、特に観測点⑨では約1.4ノットに達した。

8月下旬から9月上旬に日本海を通過した温帯低気圧、台風0416号および0418号の場合、観測点①～③では南西風の連吹時（8月23～24日、8月31日および9月8日）には東方向の並岸流が発達し、逆に北東風の連吹時（8月25～28日、9月10日）には東方向の並岸流は弱まり、西方向の並岸流が発生した。観測点④～⑥では、南西および北東風との対応が観測点①～③ほど明瞭ではないが、低気圧通過後に1日弱の周期変動を伴う並岸流が発達することが多かった。ただし、観測点④と⑤では台風0416号が日本海沿岸を通過する前の8月29日を中心に、岸を左にみる北方向の0.5ノット以上の並岸流がみられた。なお、観測点⑦～⑩では、流速0.5ノット以上に達することはほとんどなかった。

以上のように、流速0.5ノット以上の並岸流は、主

に観測点①～⑥で台風や温帯低気圧の最接近（Fig.3の矢印）を基点とした前後数日間に発生する傾向があった。ただし、並岸流の挙動は観測点によって異なった。

低気圧の日本海通過に起因する表層の流況が観測点で異なる原因を調べるため、風の連吹によって励起されやすい長周期成分および近慣性周期成分の運動エネルギーの計算結果をFig.4に示した。観測点①～③では、長周期成分の運動エネルギーのみが増大するとともに、そのピークは、台風0416号通過後を除いて、低気圧の最接近から約1日後にかけてみられた。観測点④～⑥でも長周期成分の運動エネルギーは増大し、その多くは低気圧通過の1日後から3日後にかけてピークが発生し、観測点①～③よりやや遅れる傾向がみられた。ただし、8月29日のように運動エネルギーの増大が低気圧（台風0416号）通過前にみられる事例もあった。観測点④～⑥では低気圧通過の1日後から4日後にかけて、近慣性周期成分の運動エネルギーも増大した。ただし、台風0416号通過後の観測点④付近を除くと、同期間中に増大した長周期成分の運動エネルギーよりも小さかった。観測点⑧～⑩では、8月29～30日および9月3～4日に観測点⑨を中心に長周期成分の運動エ

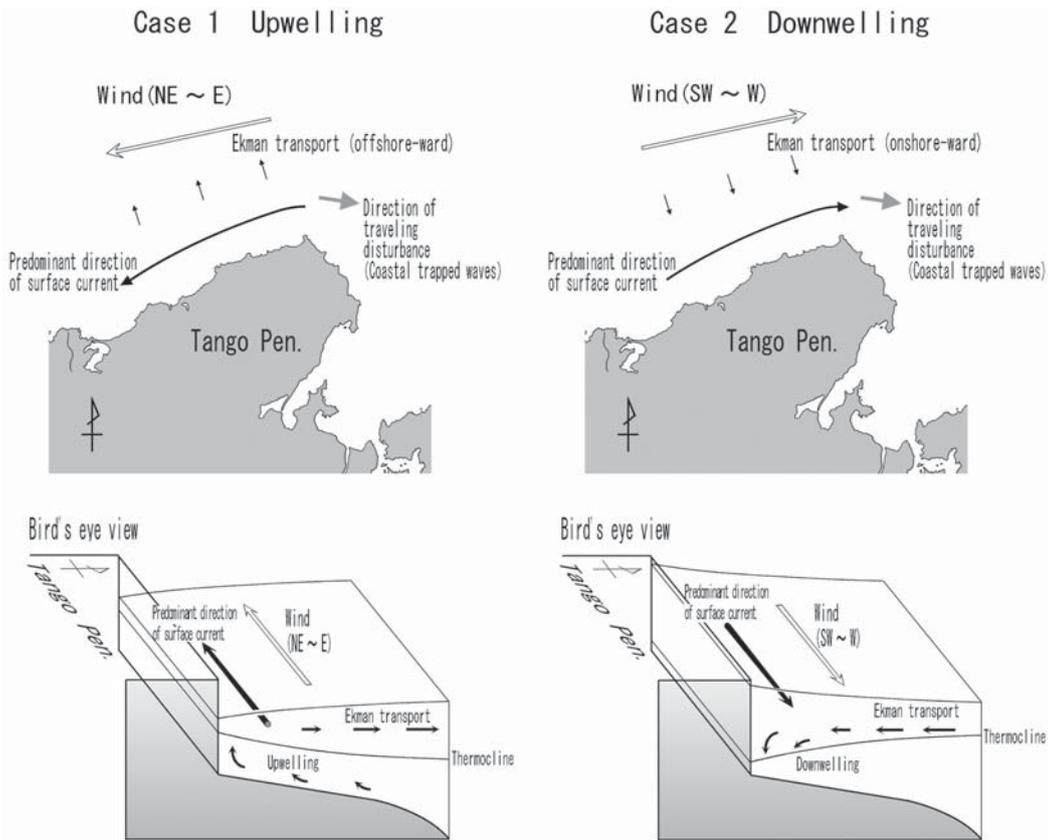


Fig. 5 Schematic view of the alongshore current occurring around the north of the Tango Peninsula associated with coastal upwelling or downwelling.

エネルギーが増大したが、8月21日にみられたピークを除くと、そのエネルギーは他の観測点と比べて小さかった。観測点⑦では、長周期成分および近慣性周期成分の運動エネルギーの増大は認められなかった。

考 察

本府の沿岸表層では、全ての観測点で並岸流が卓越した。低気圧の日本海通過に伴い強い西風から南西風が1日以上吹き続けると、この影響と考えられる並岸流の増大が多く観測点で確認された。その挙動は観測点によって異なり、長周期成分の並岸流が卓越する経ヶ岬以西の観測点①～③、長周期と近慣性周期の並岸流が卓越する丹後半島東部の観測点④～⑥および両周期の並岸流が比較的弱い若狭湾奥の観測点⑦～⑩の3海域に大別されることが分かった。そこで、各海域で発生する急潮の成因を考察する。

経ヶ岬以西の海域では、東方向の並岸流が卓越するとともに、他の海域と比べて流速が大きかった (Fig.2, Table 1)。この要因には、この海域を東進する対馬暖流に加えて、エクマン輸送の影響が大きいと考えられる。本海域では、季節躍層の発達する夏季から秋季には、南西風から西風の連吹で沿岸沈降域が発達し (Fig.5の右)、沿岸ジェット流や長周期の波 (沿岸捕捉波) が生成されやすい (熊木ら,2005, Igeta et

al.,2007)。したがって、この間歇的な現象が東方向の並岸流の増大を引き起こすと考えられる。このことが、台風など発達した低気圧の日本海通過に伴い、本海域で発生する東方向の急潮の主因と推察される。一方、北東風の連吹時には東方向の並岸流は弱まり、西方向の並岸流が発生した (Fig.3)。北出ら (2007) は、この現象について、沿岸湧昇域の発達 (Fig.6の左) に伴って沿岸ジェット流や沿岸捕捉波が生成される結果とした。ただし、今回の解析では西方向の並岸流が東方向ほど速くなることはなかった (Fig.3)。この理由として、調査期間には北東風の連吹期間が南西風ほど長くなかったことや、発生した西方向の並岸流が東方向の対馬暖流に相殺されたり、弱められたりしたなどが考えられる。この点については、今後検証する必要がある。

丹後半島東部の海域では、二方向の並岸流が卓越した (Fig.2)。また、低気圧の日本海通過に伴う南西風の連吹によって、経ヶ岬以西の海域より約半日から2日遅れて長周期成分の運動エネルギーが増大した (Fig.4)。これは、経ヶ岬以西の海域から伝播する沿岸捕捉波が、若狭湾内に進入する過程で生じたと考えられる。Igeta et al. (2009) は、一般的に日本海では風で近慣性振動が励起されやすく、そのエネルギーの一部が沿岸各地の半島先端部の海域に集まり、近慣性

周期の沿岸捕捉波として半島東部を進むとした。また、近慣性振動による流れは、日本海沖合では20時間前後の周期で時計回りに回転するが、半島東部を沿岸捕捉波として進む場合、地形の影響を受けて20時間前後の周期を持つ往復流になる(千手, 2009)。したがって、低気圧の日本海通過後にみられた並岸流の1日弱の周期変動と近慣性周期成分の運動エネルギー増大は、丹後半島東部を進む近慣性周期の沿岸捕捉波の影響と推察される。Igeta *et al.* (2007) は、若狭湾から日本海を北上した台風0406号通過後に本海域で発生した急潮について、長周期と近慣性周期の沿岸捕捉波との相乗効果であることを示した。今回の結果から、台風など発達した低気圧が日本海を通過すると、丹後半島東部に進入する長周期および近慣性周期の沿岸捕捉波が形成され、急潮が発生しやすいと推論された。なお、観測期間中の本海域における近慣性周期の運動エネルギー増大は、3つの台風通過後の方が8月下旬の温帯低気圧通過後より顕著であった(Fig.4)。これは、台風通過に伴う西から南西の最大風速が、温帯低気圧通過に伴うものより大きかったためとみられる。また、台風通過による時計回りの風向変化が慣性振動を増幅すること(広瀬ら, 2010)も一因と考えられる。

若狭湾奥の海域では、他の海域に比べて流速が小さかった (Table1)。気象擾乱後に観測点⑨を中心に長周期成分の運動エネルギーが増大したが、8月21日のピークを除くと、そのエネルギーは他の海域より小さかった。また、近慣性周期成分の運動エネルギーの明瞭な増大はなかった (Fig.4)。これは、主に湾外起源の長周期および近慣性周期の沿岸捕捉波が、内湾の浅海域を進む過程で減衰することが一因と考えられる。このことが、本府沿岸において本海域の急潮発生頻度が比較的に少ない要因と推察される。

今回は、低気圧の日本海通過に伴い発生する急潮を、風況と関連付けて大局的に述べた。今後は、低気圧の太平洋や本州通過に伴い発生する急潮や、若狭湾西部海域で間歇的に発生する時計回りの環流(宇田,1934, 橋本,1982)のような対馬暖流から若狭湾内に派生する流れと定置網漁場での急潮との関連性などを検証する必要がある。

謝 辞

京都府漁業協同組合連合会、京都府定置漁業協会及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にご尽力頂きました。皆様に心より御礼申し上げます。なお、本研究は、農林水産省の「平成18年度～20年度 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～21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。

文 献

- 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.
- 広瀬直毅, 北出裕二郎, 井桁庸介, セルゲイバルラモフ. 2010. 日本海における急潮の再現と予測の数値シミュレーション. ていち, **117**:1-13.
- Igeta Y., Kitade Y., Matsuyama M. 2007. Numerical experiment on Kyucho around the Tango Peninsula induced by Typhoon 0406. *J. Oceanogr.*, **63**: 835-847.
- Igeta Y., Kumaki Y., Kitade Y., Senjyu T., Yamada H., Watanabe T., Katoh O., Matsuyama M. 2009. Scattering of near-inertial internal waves along the Japanese coast of the Japan Sea. *J. Geophys. Res.*, **114**: C10002.
- 京都府立海洋センター. 1984. 京都の海 季報第20号. 6-7. 京都海洋セ, 宮津.
- 京都府立海洋センター, 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, 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. 京都海洋セ, 宮津.
- 北出裕二郎, 井桁庸介, 熊木 豊, 松山優治, 平野大輔. 2007. 日本海の急潮(その3) 若狭湾の前急潮について. 2007年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集. 日本海洋学会, 東京.
- 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, 千手智晴, 上野陽一郎, 松宮由太佳, 大慶則之, 井野慎吾, 丸山克彦, 松山優治. 2007. 日本海の急潮(その1) 日本海中部沿海における秋季の流動特性. 2007年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集. 日本海洋学会, 東京.
- 千手智晴. 2009. 日本海に発生する急潮の特徴. ていち, **116**: 9-18.
- 宇田道隆. 1934. 若狭湾及其の沿海の流動. 水産試験場報告, **2**: 17-33.