

能登半島周辺に急潮を引き起こす気象条件の特徴の解明 —急潮防災を目指して

大慶則之^{1†}, 奥野充一^{1*}, 辻 俊宏¹, 千手智晴²

Determining the features of meteorological conditions inducing *Kyucho* around the Noto Peninsula, aiming to prevent the *Kyucho* disasters

Noriyuki OKEI^{1†}, Junichi OKUNO^{1*}, Toshihiro TSUJI¹ and Tomoharu SENJYU²

Around the eastern coast of Noto Peninsula, events of sudden strong currents (*Kyucho*) often cause serious damages to set-net fisheries. Previous studies have suggested that the *Kyucho* around Noto Peninsula are induced by meteorological disturbances. Here we statistically examined the features of such disturbances in order to understand the mechanisms of the events and to foresee the occurrence, aiming to establish effective measures to prevent the disasters. As the result, we revealed that *Kyucho* damages often occurred after strong southwesterly exceeding $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at Hegurajima Island due to typhoon with central pressure $<990\text{ hPa}$ passing south of 41°N at 137°E . The maximum current velocity (v_{max}) at the eastern coast of the Noto Peninsula was positively correlated with the maximum of the southwest component of wind at Hegurajima (w_{max}). Conversely, v_{max} was negatively correlated with the delay of the appearance of v_{max} after the time of the appearance of w_{max} . Using these relationships, we propose simple methods to predict the occurrence time and v_{max} of *Kyucho* from the forecast information of the magnitude and passage of a typhoon.

Key words: *Kyucho*, wind, typhoon, Noto Peninsula, Hegurajima, disaster prevention

はじめに

能登半島は、本州中部に位置し、日本海沿岸の半島では最大である (Fig. 1)。周辺の海底地形は、西岸から北岸ではなだらかで、大陸棚 (水深200 m以浅の海底) が距岸40–60 kmにまで張り出している。一方、富山湾に面する東岸では、一部を除いて大陸棚は距岸3–10 kmと狭く、急峻な地形となっている。この半島沿岸は周年にわたって北西沖を流れる対馬暖流の影響下にあり、ごく沿岸に来遊するブリなどの暖水性回遊魚を効率的に漁獲する漁法として定置網漁業が古くから発展を遂げてきた。定置網は明治時代以前には台網と称され、15世紀末から16世紀半ばに鰯網漁が行われていたことを示す史料が存在するなど (小境, 2006)、その歴史は中世に遡ることができる。特に半島東

岸は、全国有数の大規模な定置網漁場であり、石川県で操業される定置網の約90% (大型定置網90余統と小型定置網260余統) が集中している。

この能登半島東岸海域では、台風や発達した低気圧が通過した後に、沿岸の流れが突然強まる現象 (急潮) が発生し、しばしば定置網の破損や流失などの大規模な被害をもたらしている。近年では、台風の接近・上陸が相次いだ2003年から2005年にかけて、大型定置網の主側張ワイヤー切断による身網の損壊流失など、合わせて20億円に達する甚大な被害が発生している。

濱邊 (1926) には、能登半島東岸海域の急潮に関する最も古い報告が記されている。それによると、1925年11月から12月に猛烈な急潮が3回発生し、珠洲市蛸島沖から七

2011年4月5日受付, 2012年7月4日受理

¹ 石川県水産総合センター

Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center, 3–7 Ushitsu, Noto, Housu, Ishikawa 927–0435, Japan

* 現所属: 石川県環境部里山創成室

Environment Department Satoyama Creation Office, Ishikawa Prefectural Government, 1–1 Kuratsuki, Kanazawa, Ishikawa 920–8580, Japan

² 九州大学応用力学研究所

Research Institute for Applied Mechanics, Kyusyu University, 6–1 Kasuga-koen, Kasuga, Fukuoka 816–8580, Japan

† ooeki@pref.ishikawa.lg.jp

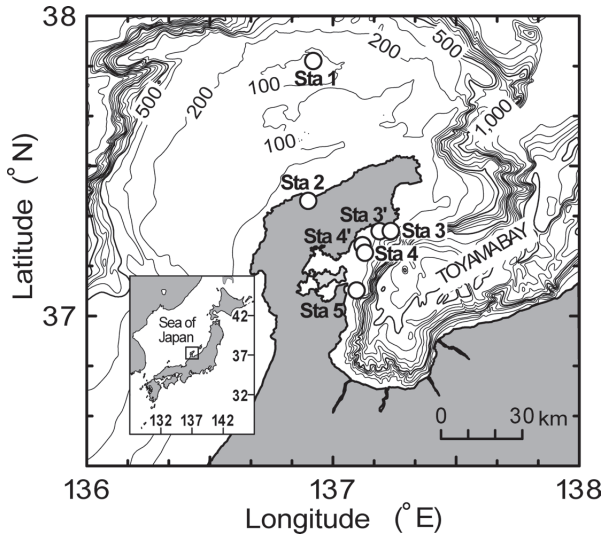


Figure 1. Bottom topography around Noto Peninsula and locations of the observation stations (Sta 1: Hegurajima, Sta 2: Wajima, Sta 3: Ogi, Sta 3': Oura, Sta 4: Maenami, Sta 4': Ukawa, and Sta 5: Onogi). Numerals on the contour line are depth in meters. Inset shows the location of the study area.

尾市佐々波沖に至る11の定置網漁場で漁具の流失などの甚大な被害が発生している。また、隣接する富山県氷見市の沿岸では、1957年12月に強風による大時化の後に急潮が発生し、大型定置網に被害を与えたと報告されている(安田, 1960)。これらの報告から、急潮は古くから能登半島東岸の定置網漁業に対する脅威となっていたことが窺われるが、メモリー式電磁流速計が普及する近年までは、流れの長期連続観測が困難であったことから、当該海域の急潮に関する本格的な研究が行われることはなかった。

しかし1990年代に入ると、1991年の台風19号通過の際の急潮をはじめとする大規模な急潮が頻発し、定置網の被害が相次ぐようになった。これを受けて、石川県水産試験場(現石川県水産総合センター)では1993年から能登半島東岸に係留系を設置して流れの連続観測を開始した。さらに2001年からは、流れの測点を半島北端から東岸南部の5ヶ所に拡充するとともに、サーミスターチェーンを用いた各層水温の連続観測を開始した。この結果、急潮は季節温度躍層の発達する時期に、台風や低気圧の通過に伴って強い南西風が吹いた後に発生しやすいことや、暖水の移動に伴って、能登半島東岸を北から南に伝播することが明らかとなった(大慶・奥野, 2005)。

その後、2003年から2005年にかけて日本海中部地域の定置網漁場で急潮被害が頻発したことを受けて、日本海沿岸と太平洋沿岸の水産・海洋研究に関わる九機関が連携して、農林水産研究高度化事業「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」が2006年から3ヶ年にわたり実施された。この研究を契機に、若狭湾から佐渡に至

る日本海中部海域で発生する急潮の実態や、その発生機構に関する研究が大きく進展した(熊木ほか, 2005; Igeta et al., 2007; 丸山, 2009)。

能登半島周辺海域については、浅ほか(2007)が2004年に発生した急潮を数値モデルで再現し、急潮発生の主要因は強風によって発生した慣性振動流であることを報告した。また、大慶ほか(2009)は、2003年に発生した急潮の特徴を精査し、台風の通過に伴う南西寄りの強風により半島西岸に吹き寄せられた表層暖水が、回転系の密度流あるいは沿岸捕捉波として陸岸沿いに移動する現象であることを示した。また、Igeta et al. (2009)は、沖合で発生した近慣性周期の内部重力波のエネルギーが半島先端に集中することにより強流が発生すると報告している。これらの研究はいずれも、気象擾乱が急潮の発生に重要であることを指摘している。

太平洋岸の相模湾においても、沿岸の定置網に大きな被害をもたらす急潮の存在は古くから知られており、その実態や発生機構が検討されてきた(木村, 1942; 宇田, 1953)。松山ほか(1992)は、1975年と1988年の水温と流れの連続観測結果から、急潮の発生要因は、(1)黒潮接岸に伴う湾内への黒潮系暖水の流入、(2)台風通過に伴う北寄りの強風により房総沿岸に吹き寄せられた沖合表層水の沿岸捕捉波としての伝播、(3)内部潮汐流による循環流の強化、の3タイプに分けられると述べた。(1)のタイプの急潮を、Yamagata (1980)は回転成層流体中の衝撃波として、また、Kubokawa and Hanawa (1984)は回転系での岸に沿う密度流の進入として説明している。また近年では、岸沿いの強風により房総半島に生じた沿岸捕捉波が相模湾に伝播して急潮を引き起こすことが、数値再現実験により明らかにされている(井桁ほか, 2003; Igeta et al., 2007)。このように相模湾では急潮の実態と発生機構の解明が進められた結果、各地の水位やリアルタイム観測ブイによる水温や流況、各種気象情報などを総合的に解析し、急潮発生の兆候があると認められた場合には、「急潮予報」が定置網漁業者に提供されるようになっている(岩田ほか, 1998; 石戸谷ほか, 2008; 清水ほか, 2009; 石戸谷, 2009)。このうち、台風起因する急潮に関して石戸谷ほか(2008)は、相模湾の定置網漁場では、台風がはるか沖にあってもうねりが高く網撤去が難しい場合があることや、週末に重なると人員の確保が難しく十分な安全対策がとれなくなることを考慮し、対策作業に3-4日を要することを見込んでの予報提供が求められると指摘している。

これに対して能登半島東岸では、台風接近の直前まで気象・海象に著しい変化がみられない場合が多いため、しばしば備えが不十分の状態では急潮に襲われ大きい被害を受ける。したがって、この海域の定置網漁業者に対して、急潮が発生する可能性が高いと判断された場合に速やかに網撤去が行えるように、台風接近のできるだけ早い段階から急

Table 1. Details of the observation at each station.

Observation station	Item	Sensor depth (m)	Interval (min)	Period	Water depth (m)
1 (Hegurajima)	Wind	—	30–60	1 Jan. 1993–31 Dec. 2007	—
2 (Wajima)	Wind	—	60	13 Aug. 1996–18 Aug. 1996	—
3 (Ogi)	Current	10	10–60	7 May 2001–23 May 2007	75
3' (Oura)	Current	10	10	25 July 2007–31 Dec. 2010	90
4 (Maenami)	Current	10	10–60	6 Jan. 1993–23 May 2007	83
4' (Ukawa)	Current	10	10	25 July 2007–31 Dec. 2010	69
5 (Onogi)	Current	10	10–60	9 May 2001–27 July 2007	73

潮の発生時期や規模に関する具体的な情報を提供し、注意を喚起することが重要である。そのためには、時々刻々発表される台風の予想進路や中心気圧、風の前報値から、急潮の発生時刻や規模を推定する手法を確立する必要がある。

そこで本研究では、過去に日本海および能登半島周辺を通過した台風に伴う気象・海象変動のデータを解析し、急潮発生指標となる気象条件をまず抽出する。続いて、実際に能登半島東岸で発生した強流と海上風との関連を明らかにする。そのうえで、気象庁が発表する台風や風の前報データを利用した、急潮の最大流速や発生時刻の簡易な予測方法を提案する。

解析資料

能登半島沿岸に発生する急潮には、前述のとおりいくつかの発生原因が考えられるが、ここでは大慶ほか(2009)で扱った台風や低気圧の通過後に突発的に発生する強流を対象とする。

能登半島東岸の主要な定置網漁場の北部 (Sta 3: 小木)、中央部 (Sta 4: 前波)、南部 (Sta 5: 大野木) の3ヶ所で得られた流れのデータを解析した (Fig. 1)。流況観測に関する詳細は、Table 1に示すとおりである。各測点の10 m深に、メモリー式電磁流速計 (アレック電子製ACM-8MまたはCOMPACT-EM) を係留し、10–60分ごとに起動して流れを測定した。測定値には、測器起動時に1秒間隔で計測された10個 (起動間隔10分の場合) または30個 (起動間隔30分または60分の場合) の瞬間値の平均を用いた。観測期間は、Sta 4では1993–2007年の15年間、Stas 3および5では2001–2007年の7年間である。

台風については、係留系による流況観測が行われた1993–2007年に発生したものを対象とした。能登半島沖の日本海または35°N以北の本州中部地方を通過した台風の経路と勢力を、国立情報学研究所のウェブサイト「デジタル台風」 (<http://www.digital-typhoon.org/>) から収集した。台風通過前後の風については、地形の影響が少ない舳倉島 (Sta 1) でのデータ (海上保安庁観測) を用いた。ただし、

台風が舳倉島と能登半島の間を通過し、舳倉島と能登半島沿岸で強風の向きが逆になったケースでは、後者での風の代表値として気象庁輪島測候所 (Sta 2) のデータを用いた。

急潮被害の把握は、2003年以降は県内の主要漁場への電話による聞き取り調査によったが、それ以前の期間に関しては、過去の報道記録から被害のあった事例を抽出した。

解析結果と解釈

A. 台風と急潮被害

1. 経路による台風のタイプ分け

1993–2007年に、能登半島沖の日本海または35°N以北の本州中部地方を通過した台風 (Fig. 2) は、経路に着目して以下の4型に類別された。各型の件数は、I型が8、II型が13、III型が6、IV型が6で、II型が最も多かった (Fig. 3)。

I型：能登半島の位置する137°E上で41°N以北の海域を通過したもの

II型：137°E上で38–41°Nの日本海中部海域を通過したもの

III型：137°E上で35–38°Nを通過して日本海に進入したもの

IV型：137°E上で35–38°Nの陸域を経由して本州の陸域を進行したもの

2. 各経路型の台風がもたらした強風の特徴

風向：能登半島沖の日本海を通過するI型とII型では南から西、能登半島から本州中部の陸域を通過するIII型とIV型では北から東であった (Fig. 3a)。

経路タイプと最大風速の頻度分布の関係：I、II型の方が、III、IV型よりも $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の強風の出現頻度が高い。また、急潮被害は風速が $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ を超えた場合に発生している (Fig. 3b, 3c)。

次に、137°E上における台風の能登半島からの距岸距離、中心気圧と舳倉島での最大風速、急潮被害の発生状況を整理し、急潮被害の発生につながる台風の特徴を精査した (Table 2)。なお、台風が137°Eを通過した時刻、緯度、中

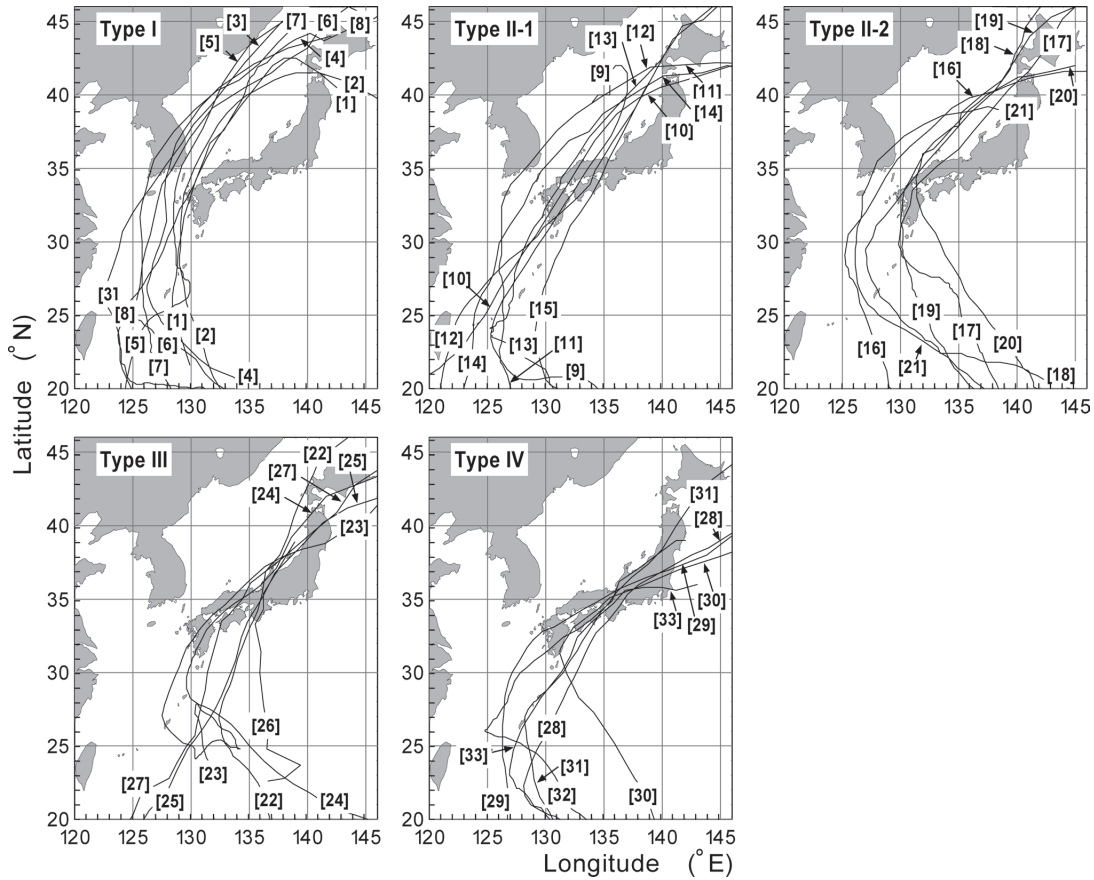


Figure 2. Track charts of typhoons passed north of 35°N at 137°E in the period from July 1993 to September 2007. The numbers I–IV and [1]–[33] indicate the type of the typhoon tracks and the reference number of the typhoons in Table 2, respectively. For Type II, which contains many tracks are separately shown in two charts to avoid confusion (Type II-1 and II-2).

心気圧は、前後の観測位置と通過時刻から線形補間により見積もった。計10件の被害のうち7件は、台風が40°N付近までの能登半島沖海域を990 hPa未満の中心気圧で通過し（II型）、舳倉島で $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の南西または南南西の風が観測された場合に発生している。また、41°Nよりも北の海域を980 hPaの強い勢力を保って通過した場合（I型、T0314）でも、 $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ を超える南西風が観測されており、急潮被害が発生している。一方、台風が能登半島西岸に沿って北上した場合（III型、T9426）や本州中部内陸部を981 hPaの強い勢力で通過した場合（IV型、T0423）でも、急潮被害が発生している。前者は、台風の通過に伴い、 $21 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ の北東風に続いて、吹き返しの南西風が強まったもの、後者は、集計期間中で最大の $23 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ に達する北東風が観測されたものである。

以上をまとめると、台風の通過に伴う急潮被害は、中心気圧990 hPa未満の台風が能登半島沖の日本海を通過し、舳倉島で $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ を超える南西寄りの強風が吹く場合に発生しやすいが、北東風が強まる場合にも警戒が必要である

ことがわかった。

B. 舳倉島の風と能登半島東岸の強流との関係

Table 2に示す33件の事例のうち、流れの観測値が得られている25件について、舳倉島の風と能登半島東岸の流況との関連を調べた。風の南西–北東成分と各測点における卓越流向成分の時間変動（Figs. 4–7）を見ると、風に対する流れの応答は、次の4つの型に大別できることがわかる。

- A型：南西寄り（南、南南西、南西、西南西、西）の強い風が吹いてから数時間ないし1日程度経過した後に、半島東岸を右手に見る（上り潮の）強流が発生するもの（Fig. 4）
- B型：南西寄りの強風が吹いても、これに対応した強流が発生しないもの（Fig. 5）
- C型：北東寄り（北、北北東、北東、東北東、東）の強風が吹いてから1日程度経過した後に半島東岸を左手に見る方向の強流（下り潮）が発生するもの（Fig. 6）
- D型：北東寄りの強風が吹いても、これに対応した強流

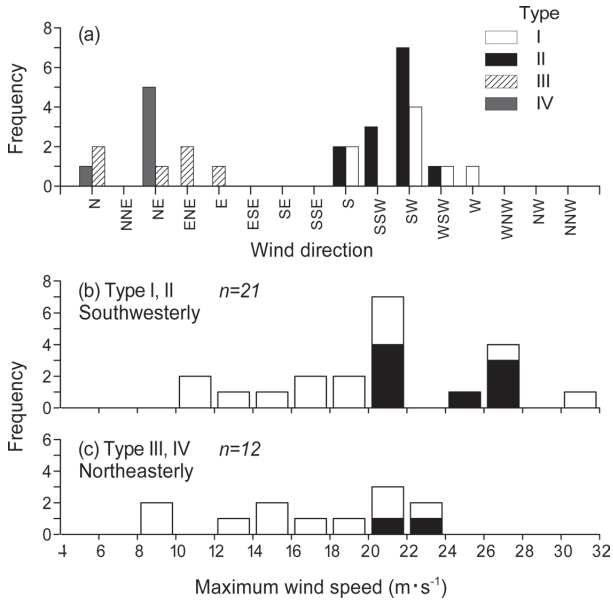


Figure 3. (a): Frequency distribution of wind direction when the maximum speed was recorded at Sta 1 (Hegurajima) by typhoon Types I–IV. (b): Frequency distribution of the maximum speed of southwesterly by typhoons Types I and II. (c): Frequency distribution of the maximum speed of northeasterly by typhoons Types III and IV. Shaded part of the bars in (b) and (c) indicate the number of typhoons accompanied with *Kyucho* that damaged set-net fisheries.

が発生しないもの (Fig. 7).

各型の件数は、Aが13で最も多くこの海域の急潮の典型的なものと言える。次いでDが5、Bが4、Cが3となっている。

風に対する流れの応答に関するこれら4つの型と、先述の台風の経路型 (IからIV) との対応を調べると、A型は、経路型IIで8例と最も多く、次いでI型が3例、III型が2例となっている。III型で見られた2例は、台風が能登半島西岸沿いを北東に進んだ場合に発生したものである。1つは風速21 m·s⁻¹の北東の強風の後、吹き返しの強い南西風が観測された例 (T9426 : Fig. 2の台風 [22]), もう1つは舢倉島と能登半島の間を台風が通過し、沖合では強い北東寄りの、沿岸では強い南西寄りの風が観測された例 (T9612 : Fig. 2の台風 [23]) である。なお、B型では経路型Iの4例、C型では経路型IVの3例、D型では経路型IIIの4例とIVの1例が対応している。

最も件数が多いA型について、流速最大時における流向分布 (Fig. 8a) を詳しく調べると、各測点とも、等深線に沿って岸を右手に見る方向に強流が発生する傾向があり、Sta 3では西南西向き、Stas 4および5では南南西向きの流れが多い。A型では、能登半島東岸を北から南に向かって (すなわちSta 3からSta 5に向かって) 強流が伝播する様

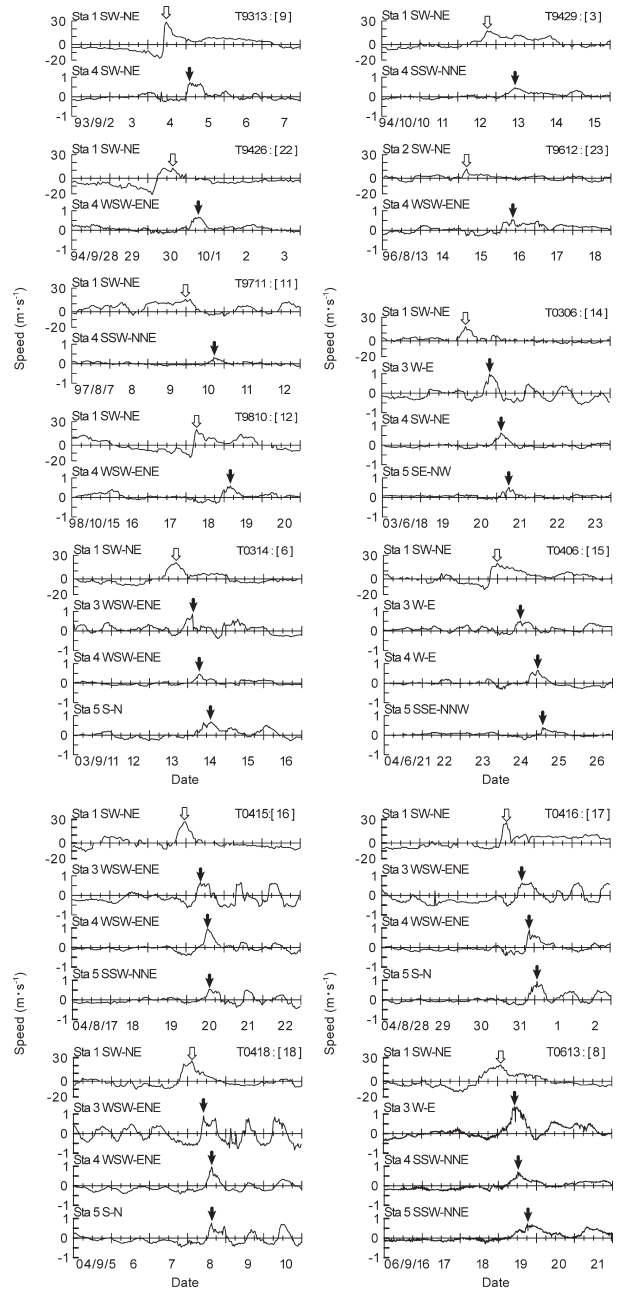


Figure 4. Time series of the southwest-northeast component of winds at Sta 1 (top of each case) and current speeds in the main-axis direction at Stas 3–5 (lower panels of each case) in Pattern A. Positive values at Sta 1 show the southwesterly, and positive values at Stas 3–5 show the westward to the southward currents. Open and solid arrows denote the striking peaks of the wind and current, respectively. In the case of [23], the wind at Sta 2 (Wajima) is shown.

子が窺われる (Fig. 4)。この現象は、半島西岸に蓄積した沖合の表層暖水が回転系の密度流あるいは沿岸捕捉波として伝播するものと理解されている (大慶ほか, 2009)。そ

Table 2. Detail of the typhoons passed around Ishikawa Prefecture and observed maximum wind velocity at Hegurajima in recent years.

Type	Typhoon	Information about the typhoons at 137°E				Wind data observed at Hegurajima				Track	
		Time	Core atmospheric pressure (hPa)	Latitude (N)	Distance from the shore (km)	Max. wind velocity (m·s ⁻¹)	Time	Max. southwest component of wind (m·s ⁻¹)	Time		Kyuchu damage
I	T9306	1993/07/31 09:00	996	42°00.0'	510	14 WSW	1993/07/30 20:32	12.9	1993/07/30 20:32	[1]	
	T9307	1993/08/11 14:40	992	40°57.3'	390	19 SW	1993/08/11 07:32	19.0	1993/08/11 07:32	[2]	
	T9429	1994/10/13 01:30	987	44°18.0'	760	20 W	1994/10/12 22:32	17.6	1994/10/12 18:32	[3]	
	T9503	1995/07/25 00:18	1,003	42°42.4'	590	11 SW	1995/07/24 15:32	11.0	1995/07/24 15:32	[4]	
	T0006	2000/08/01 14:10	1,004	44°32.2'	790	9 WSW	2000/08/01 14:43	8.3	2000/08/01 14:43	[5]	
	T0314	2003/09/13 18:15	980	41°34.0'	460	21 SW	2003/09/13 16:43	21.0	2003/09/13 16:43	[6]	
	T0603	2006/07/12 01:14	1,000	43°09.5'	640	12 S	2006/07/11 15:25	10.0	2006/07/11 19:55	[7]	
	T0613	2006/09/18 14:08	985	42°37.7'	570	21 SW	2006/09/19 01:55	21.0	2006/09/19 01:55	[8]	
	II	T9313	1993/09/04 18:00	985	40°12.0'	310	31 SSW	1993/09/04 11:32	28.6	1993/09/04 11:32	[9]
		T9514	1995/09/24 13:35	997	39°13.3'	200	19 S	1995/09/24 13:32	18.0	1995/09/24 16:32	[10]
		T9711	1997/08/10 00:08	990	40°56.9'	390	16 SW	1997/08/09 23:43	16.0	1997/08/09 23:43	[11]
		T9810	1998/10/18 05:00	980	38°18.0'	100	20 SW	1998/10/18 06:43	20.0	1998/10/18 06:43	[12]
		T9918	1999/09/24 21:00	970	40°00.0'	290	25 SW	1999/09/24 23:43	25.0	1999/09/24 23:43	[13]
T0306		2003/06/20 06:49	993	39°46.9'	260	21 SW	2003/06/20 06:43	21.0	2003/06/20 06:43	[14]	
T0406		2004/06/21 19:20	981	38°01.3'	70	20 SW	2004/06/21 23:43	20.0	2004/06/21 23:43	[15]	
T0415		2004/08/19 22:26	972	40°02.3'	290	27 SW	2004/08/19 22:43	27.0	2004/08/19 22:43	[16]	
T0416		2004/08/31 04:42	975	38°14.6'	100	26 SW	2004/08/31 06:43	26.0	2004/08/31 06:43	[17]	
T0418		2004/09/07 22:34	963	39°29.1'	230	26 SW	2004/09/08 02:43	26.0	2004/09/08 02:43	[18]	
III	T0514	2005/09/07 18:00	985	40°00.0'	290	27 SSW	2005/09/07 16:55	25.0	2005/09/07 17:55	[19]	
	T0705	2007/08/04 04:17	994	39°42.9'	250	20 S	2007/08/03 20:55	18.0	2007/08/03 22:55	[20]	
	T0711	2007/09/18 01:00	1,007	39°06.0'	190	17 WSW	2007/09/17 17:25	16.0	2007/09/17 16:55	[21]	
	T9426	1994/09/30 04:30	983	37°27.0'	10	21 NE	1994/09/30 02:32	-12.9	1994/09/30 15:32	[22]	
	T9612	1996/08/15 04:18	982	37°30.4'	10	21 N	1996/08/15 05:32	-14.8	1996/08/15 05:32	[23]	
	T9719	1997/09/17 08:21	1,004	36°50.6'	—	16 E	1997/09/17 04:43	-11.3	1997/09/17 04:43	[24]	
	T9807	1998/09/22 17:27	983	36°29.5'	—	21 N	1998/09/22 18:43	-17.6	1998/09/22 17:43	[25]	
	T9808	1998/09/21 22:46	999	36°26.2'	—	9 ENE	1998/09/21 21:43	-8.3	1998/09/21 21:43	[26]	
	T0304	2003/06/01 01:23	994	37°16.2'	—	13 N	2003/06/01 06:43	-11.1	2003/06/01 02:43	[27]	
	IV	T9314	1993/09/09 12:00	1,000	35°18.0'	—	8 NE	1993/09/09 13:32	-8.0	1993/09/09 13:32	[28]
		T9708	1997/06/28 21:52	980	35°56.0'	—	17 NE	1997/06/28 20:43	-17.0	1997/06/28 20:43	[29]
T9916		1999/09/15 14:08	999	35°31.7'	—	14 NE	1999/09/15 11:43	-14.0	1999/09/15 11:43	[30]	
T0310		2003/08/09 11:04	978	36°11.5'	—	14 NE	2003/08/09 09:43	-14.0	2003/08/09 09:43	[31]	
T0421		2004/09/30 01:24	993	36°34.4'	—	22 N	2004/09/30 04:43	-16.6	2004/09/30 03:43	[32]	
T0423		2004/10/20 21:21	981	35°46.8'	—	23 NE	2004/10/20 18:43	-23.0	2004/10/20 18:43	[33]	

For the explanations for “Types I–IV” and “Track number,” see captions of Figs. 4–8.

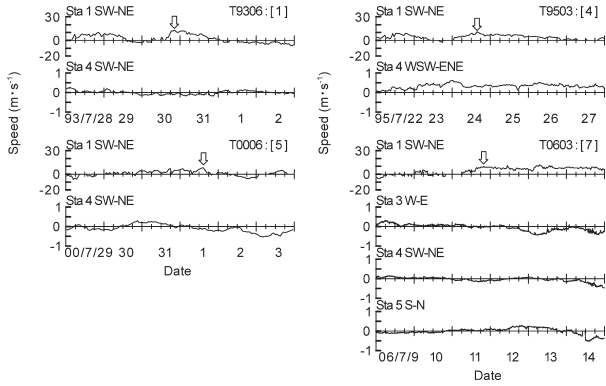


Figure 5. Time series of the southwest-northeast component of winds at Sta 1 (top of each case) and current speeds in the main-axis direction at Stas 3–5 (lower panels of each case) in Pattern B. Positive values at Sta 1 show the southwesterly, and positive values at Stas 3–5 show the westward to the southward currents. Open arrows denote the striking peaks of the wind.

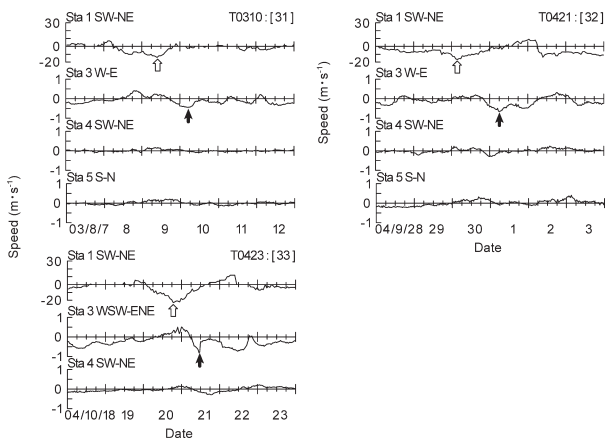


Figure 6. Time series of the southwest-northeast component of winds at Sta. 1 (top of each case) and current speeds in the main-axis direction at Stas 3–5 (lower panels of each case) in Pattern C. Positive values at Sta 1 show the southwesterly, and positive values at Stas 3–5 show the westward to the southward currents. Open and solid arrows denote the striking peaks of the wind and current, respectively.

ここで、強風後に最初に観測された最大流速 (Fig. 8b) と、船倉島で南西寄りの風が最大値を示してから流速が最大値を示すまでの時間差 (Fig. 8c) を測点別に調べた。その結果、最大流速は、Sta 3では $51\text{--}140\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、Sta 4では $32\text{--}98\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、Sta 5では $33\text{--}95\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲であった。一方、時間差はSta 3では $7.3\text{--}17.6\text{ h}$ 、Sta 4では $10.4\text{--}29.4\text{ h}$ 、Sta 5では $12.3\text{--}28.3\text{ h}$ の範囲にある。測点ごとの平均最大流速と平均時間差は、Sta 3で $86\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 11.4 h 、Sta 4で $76\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 16.1 h 、Sta 5で $66\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 19.8 h であった。平均的には、Sta

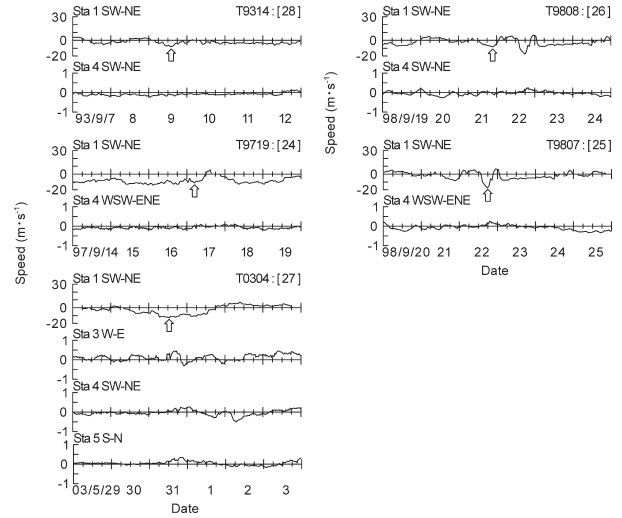


Figure 7. Time series of the southwest-northeast component of winds at Sta 1 (top of each case) and current speeds in the main-axis direction at Stas. 3–5 (lower panels of each case) in Pattern D. Positive values at Sta 1 show the southwesterly, and positive values at Stas 3–5 show the westward to the southward currents. Open arrows denote the striking peaks of the wind.

3から5にかけて強流域が伝播する過程で次第に流れが減衰する様子が窺われる。

次に、最も観測データの多いSta 4について、船倉島での最大風速 (T9612については、輪島での最大風速) と急潮の最大流速、および急潮の発生時刻との関係を調べた。風速の南西成分の最大値が観測されてから上り潮の最大流速が観測されるまでの時間差との関係 (Fig. 9a) を見ると、最大風速と急潮発生までの時間には有意 ($p < 0.05$) な負の相関が認められ、南西風が強いほど急潮の到達時間が短い傾向がある。一方、風速の南西成分の最大値と上り潮の最大流速との間にも有意 ($p < 0.01$) な正の相関が認められ (Fig. 9c)、南西風が強いほど、発生する急潮の最大流速も大きい傾向がある。これらの関係は、急潮が密度流的な性質をもつことを示唆している。すなわち、南西風が強いほど半島西岸に蓄積される暖水の量が大きくなり、暖水の層が厚くなるため、暖水前面のフロントはより強い流れを伴いつつ、より速く伝播すると思われる (Kubokawa and Hanawa, 1984)。

気象情報を活用した統計的急潮予測手法の提案

先に述べたとおり、能登半島東岸では、台風が接近する直前まで気象・海象に大きな変化がみられない場合が多い。しかし、ある台風の進路が予測された結果、その台風の通過に伴ってこの海域に急潮が発生するおそれがあると考えられた場合には、予測される急潮の具体的な情報を、台風接近時のできるだけ早い段階で漁業者に示し、必要な場合

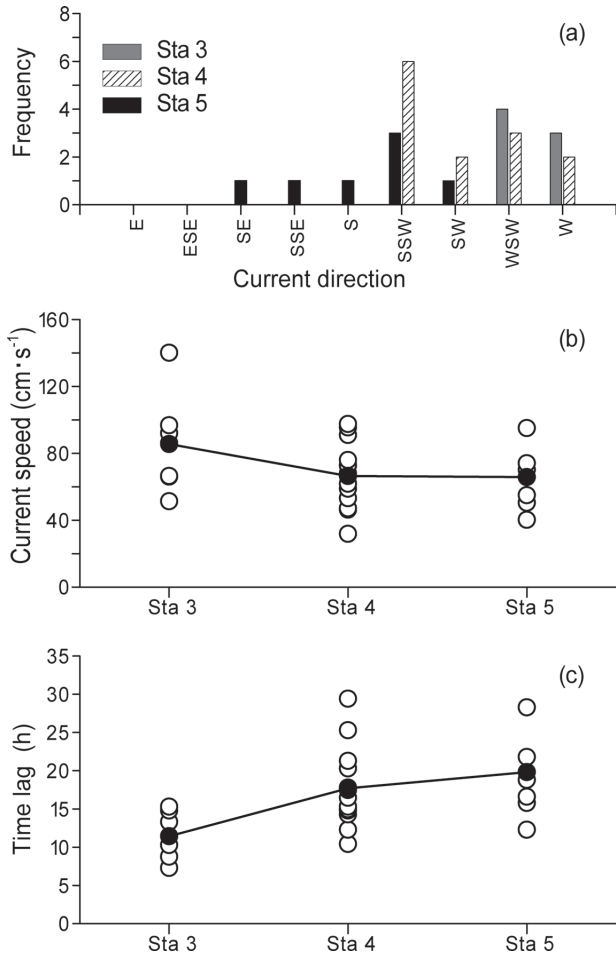


Figure 8. Frequency distribution of the direction at the maximum current speed (a), the maximum southward alongshore current speed (b) and the time lag from the occurrence of the maximum southwesterly wind at Sta 1 to the occurrence of the maximum southward alongshore current (c) at Stas 3–5 in Type A. Shaded circles in the middle and lower panels show the average current speed and time lag at each station.

には防災対策を促すべきである。そこで本節では、急潮の発生を予測する手法を、風の前報値が得られない期間（台風通過の4日以上前）と、風の前報値が得られる期間（台風通過前の3日間）に分けて検討した。

風の前報値が得られない期間では、気象庁が発表する「台風に関する気象情報」に掲載される5日先までの台風の前報進路を参考に、問題とする台風経路がIからIVのどの型かをまず判定する。最も警戒すべきI, II型と判定された場合には、続いて以下に述べる方法により舢倉島での風速を予測する。

I, II型の21事例 (Table 2) を対象に、舢倉島で観測された風の南西成分の最大値 (目的変数 Y_1) を、台風の137°E上における中心気圧 (X_1) と能登半島西岸からの距離 (X_2),

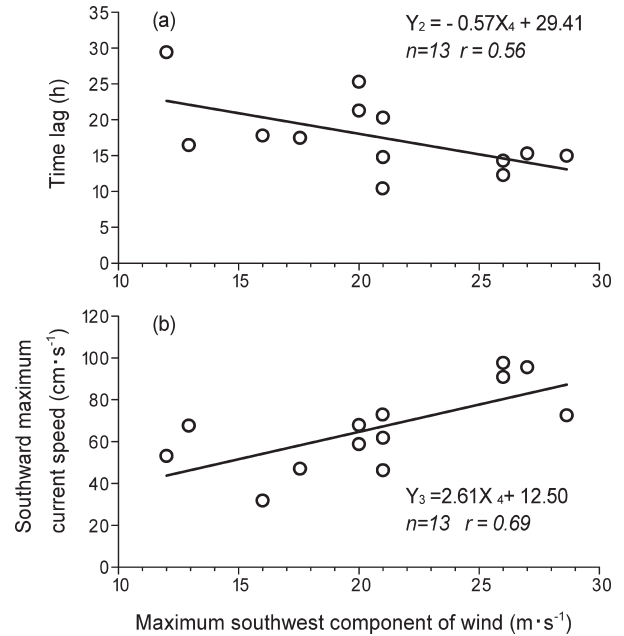


Figure 9. Relationships between the maximum southwest component of winds at Sta 1 and the maximum southward alongshore currents (a), and time lags (b) at Sta 3 in Type A. The time lags show the time from the occurrence of the maximum southwest component of wind at Sta 1 to the occurrence of the maximum southward alongshore current at Sta 3.

および能登半島付近における進行速度 (X_3) によって説明する重回帰分析を行った。なお、台風の進行速度はトラックデータより、137°Eに最も近い位置と、その位置から12時間前の位置の直線距離から算出した。偏回帰係数を検定した結果、説明変数 X_1, X_2 には有意性が認められた ($p < 0.05$) が、 X_3 には有意性が認められなかった。そこで、説明変数を X_1, X_2 の2項目に絞って再検討した結果、重回帰式

$$Y_1 = -0.33X_1 - 0.01X_2 + 344.15 \quad (1)$$

が得られた。式 (1) の重相関係数 R は0.86で、回帰には有意性が認められた ($p < 0.01$)。この結果は、台風が地衡風バランスにあることを考えると妥当である。また、標準偏回帰係数は $X_1: -0.67, X_2: -0.33$ となり、中心気圧の方が能登半島西岸からの距離よりも寄与が大きいことがわかった。この式 (1) に、台風の予想進路から推定される能登半島西岸からの距離と中心気圧を代入すると、舢倉島での南西風の最大風速を予測できる。この段階で、舢倉島で20 m·s⁻¹以上の南西風が予測された場合には、さらなる警戒が必要である。

次に、予測された舢倉島での最大風速から、Fig. 9の関

係を利用して、能登半島東岸における急潮の発生時期と最大流速を予測する。発生時期に関しては、Fig. 9aに示した回帰式

$$Y_2 = -0.57 X_4 + 29.41 \quad (2)$$

の変数 X_4 に舳倉島での予想最大風速を代入することにより求める。一方、最大流速はFig. 9bに示した回帰式

$$Y_3 = 2.61 X_4 + 12.50 \quad (3)$$

を用いて予測する。

式(2)、(3)の精度を、2007年から2010年の6-10月に得られた観測データから評価する。Stas 3-5での係留観測は2007年春季で中止され、2007年夏季からはStas 3, 4近傍の定置網にリアルタイム観測ブイを係留して観測を継続している(Stas 3', 4')。ここでは、台風や低気圧などの気象擾乱の通過に伴って舳倉島で $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の南西寄りの強

風が観測された20事例について個別に、Sta 3'とSta 4'の観測データを予測値と比較することにより評価を行った。観測された最大流速(Fig. 10)は、2007年10月20日の1例を除いて、いずれも上り潮であった。最大流速とタイムラグの双方について、予測値 $\pm 30\%$ の範囲にSta 3'またはSta 4'のいずれかの観測値が含まれる場合を「有効」と定義すると、「有効」な事例数は、最大流速で11(55%)、タイムラグで16(80%)であった。最大流速に着目すると、観測値が予測値を上回ったのは4事例であり、予測値は過大に見積もられている。本手法で求められる予測値は、このように無視できない誤差を含んでいる。その原因として、急潮の発生には強風の向きや強さ、連吹時間に加えて、急潮直前の海の成層状況が複合的に関与していることが考えられる。したがって、これらのパラメータを考慮した予測精度の向上が今後の課題である。ただし、漁業者に早期の注意を喚起するという目的では、この程度の精度でも相当の意味がある。防災のために重要なのは、予測される急潮の日時と規模を早期に示し、漁業者に警戒を喚起することである。

一方、能登半島付近の風の子報値が得られる期間では、舳倉島付近の南西風の最大風速の予測値を式(2)、(3)に代入することにより、急潮の発生時刻と最大流速を予測できる。また台風通過時には、海上保安庁により準リアルタイムでウェブサイト「沿岸域情報提供システム」(<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/mics/>)に公開されている舳倉島の風向・風速観測値から、より精度の高い急潮予測を行うことも可能である。この段階では能登半島付近の台風の進路が精度良く予測されている場合が多く、九州大学応用力学研究所の海洋循環モデル(RIAM Ocean Model)を使用した日本海海況予測システム(<http://dreams-i.riam.kyushu-u.ac.jp/vwp/>)の精度も向上することから、本モデルから得られる流況予測値を利用して、より詳細で具体性の高い情報を提供することができる。

以上の方法による具体的な急潮情報を、状況に応じて提供することにより、漁業者に注意あるいは警戒を促し、被害予防のために網撤去等の対策をとるべきか否かの判断基準を与えることができると考えられる。

謝辞

係留観測の実施に多大な尽力をたまわった石川県漁業指導調査船「禄剛丸」又多敏昭船長、町中衛船長、山下邦治船長、「白山丸」白田光司船長、島敏明船長をはじめとする乗組員の方々に心から感謝する。舳倉島の気象観測データは海上保安庁能登航路標識事務所(当時)と海上保安庁七尾海上保安部のご厚意により提供していただいた。厚く御礼申し上げる。本研究の一部は、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」より援助を受けた。

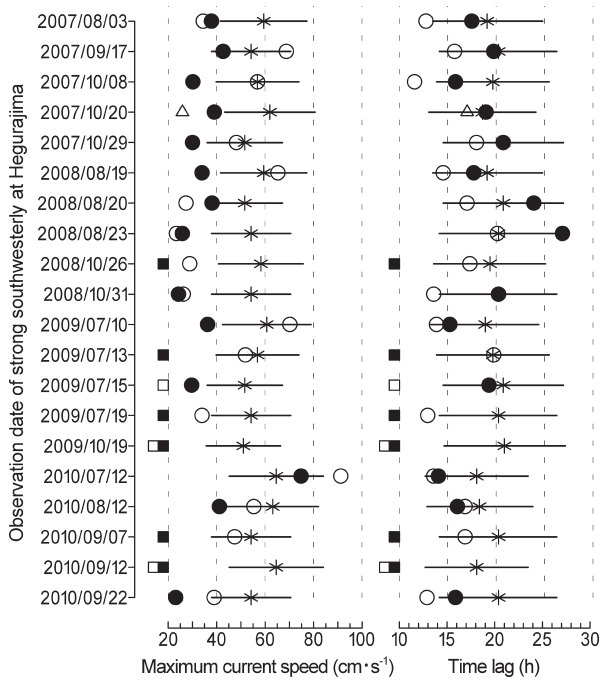


Figure 10. Evaluation of the predicted maximum southward alongshore currents and time lags. Asterisks show the prediction values of maximum southward alongshore current speeds (left panel) and time lags (right panel) by the Eqs. (2) and (3). Horizontal bars show the ranges of $\pm 30\%$ of each prediction value. Open and solid circles show the observation values at Sta 3' and Sta 4', respectively. Open and solid squares show the cases that the peaks of strong currents were absent at Sta 3' and Sta 4', respectively. Open triangles show the cases that the southeastward strong current was observed at Sta 3'.

引用文献

- 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.
- 濱邊清蔵 (1926) 石川県鮒定置網漁業調査. 石川県水産試験場事業報告, 23–37.
- 井桁庸介・北出裕次郎・松山優治 (2003) 台風8818号の通過に伴い発生した相模湾の急潮に関する数値実験. 海の研究, **12**, 603–617.
- Igeta, Y., Y. Kitade and M. Matsuyama (2007) Numerical experiment on *Kyūcho* around the Tango Peninsula induced by Typhoon 0406. *J. Oceanogr.*, **63**, 835–847.
- Igeta, Y., Y. Kumaki, Y. Kitade, T. Senjyu, H. Yamada, T. Watanabe, O. Katoh and M. Matsuyama (2009) Scattering of near-inertial internal waves along the Japanese coast of the Japan Sea. *J. Geophys. Res.*, **114**, 1–15.
- 石戸谷博範 (2009) 急潮・巨大波浪に対する防災対策. 水産海洋研究, **73**, 247–249.
- 石戸谷博範・長谷川雅俊・岩田静夫・松山優治・北出裕次郎・井桁庸介 (2008) 相模湾及び周辺海域の急潮モニタリングと予報. 水産海洋研究, **72**, 207–215.
- 岩田静夫・石戸谷博範・渡部 勲・松山優治 (1998) 定置網の被害の実態と発生要因, 急潮予報について. 水産海洋研究, **62**, 385–391.
- 木村喜之助 (1942) 沿岸の大急潮に就いて. 中央気象台彙報, **19**, 1–85.
- 小堺卓治 (2006) 台網から大敷網へ—富山湾の定置網の歴史と漁
 労—. 日本海学研究叢書, 富山県・日本海学推進機構編, 富山, 3–9.
- Kubokawa, A. and K. Hanawa (1984) A theory of semigeostrophic gravity waves and its application to the intrusion of a density current along a coast. Part 2. Intrusion of a density current along a coast in a rotating fluid. *J. Oceanogr.*, **40**, 260–270.
- 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.
- 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.
- 松山優治・岩田静夫・前田明夫・鈴木 亨 (1992) 相模湾の急潮. 沿岸海洋研究ノート, **30**, 4–15.
- 大慶則之・奥野充一 (2005) 能登半島東岸で観測された急潮の特性. ていち, **108**, 1–10.
- 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. 海の研究, **18**, 57–69.
- 清水顕太郎・岩田静夫・渡部 勲・石戸谷博範 (2009) 相模湾の急潮予報とモニタリング. 水産海洋研究, **73**, 243–247.
- 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.
- Yamagata, T. (1980) A theory for propagation of an oceanic warm front with application to Sagami Bay. *Tellus*, **32**, 73–76.
- 安田豊造 (1960) 潮流が定置網に及ぼす被害について. ていち, **25**, 56–59.