

急潮に強い定置網漁業への転換に向けた現場潮流の解析

漁業資源課 松田 裕太

1 はじめに

定置網漁業は安定的かつ持続的な漁業生産が期待でき、地域に雇用機会を創出し経済を支える重要な基幹漁業である。近年、沿岸で突発的に潮流の流速が増大する急潮（石戸谷 2006）により、定置網漁具の破損や流失、操業機会の損失等の被害が増加している。本県における 2012 年～2021 年までの急潮被害額の合計は 18.4 億円にのぼると試算されており、急潮被害を防ぐことは喫緊の課題である。

急潮被害を防ぐためには、急潮が発生する前に箱網等の定置網の一部を陸揚げして流体抵抗を軽減させる手法が有効である。ただし、敷設した漁具の陸揚げ作業は、漁業者にとって重労働であることに加え、その間の漁業生産の機会を損失してしまうことから、できるだけ避けたい作業である。陸揚げ作業による負担、減収を最小限に留め、かつ、急潮による漁具の破壊を防ぐためには、急潮の発生するタイミングを正確に予測し、早期に漁業者に情報を提供する必要がある。

急潮予測を行うには、急潮がどのような海況でいつ発生するのかなど急潮の発生条件を明らかにする必要がある。このことから、高知県沿岸各地において潮流の定点観測を行い、急潮の日時、流向・流速を把握した。また、同時に水温や塩分などの海洋環境データのほか、人工衛星情報など広範囲な海域の観測情報を加味し、急潮の発生条件を解明することとした。以上により、急潮の発生条件を明らかにしたうえで、急潮予測を行うことを目標とした。

2 方法

(1) 潮流の観測

室戸市佐喜浜町沖の水深 10m・30m、奈半利町沖の 10m・25m、須崎市沖の 10m、黒潮町鈴沖 10m、土佐清水市以布利沖の 10m・25m、大月町古満目沖 10m の合計 9 地点に記録式潮流計（AEM-USB、JFE アドバンテック社製）を設置し、潮流及び水温観測を行った。観測は、10 分に 1 回、1 秒間に 10 サンプルデータを取得する設定で行った。

室戸市高岡沖に、リアルタイム流向流速観測ブイ（ブイ本体：ゼニライトブイ社製オリジナル、ADCP：Aquadopp Profiler 400kHz、NORTEK 社製、リアルタイム通信システム：AOS-SYSTEM、NORTEK 社製）を設置し、30 分に 1 回、10m、30m、70m 層の潮流の観測を行った。また、2021 年 2 月以降に土佐清水市窪津沖で高岡と同じ仕様のリアルタイムブイによる観測を開始した。測定間隔は、高岡と同様に 30 分に 1 回とし、15m、25m、35m 層の潮流観測を行った。

(2) 急潮注意報の発出

都井岬沖で発生した黒潮小蛇行（擾乱）が、土佐湾沖を東進し、紀伊半島西岸に接岸すると、紀伊水道外域の東側から紀南分枝流（殿谷 1981）が進入し、室戸岬東岸において急潮を発生させる可能性がある。また、急潮は、黒潮小蛇行が室戸岬沖を通過した時点から 3～4 日後に発生することが知られている（猪原 2018）。表 1 に示した指標を基準に室戸岬周辺海域における黒

潮小蛇行の動向を監視し、急潮の発生につながるパターンが見られた際には図1のスキームに基づき急潮注意報を発出した。

低気圧及び台風が高知県に接近し、強風が長時間吹き続けた場合、表面の海水が強風によって輸送されるエクマン流が発生する。また、エクマン流により継続的に岸側に海水が輸送された場合、沿岸部に海水が貯められるため高潮位となる。強風が止むと高潮位が解消され、岸側に捕捉されながら移動する沿岸補足波（松山 2001）が発生し、沿岸部において強い流れを発生させる。これらの強風を発生源とした急潮が風急潮である。低気圧及び台風が接近し、風が北東～南の方向かつ15m/s以上の風速で24時間以上連吹する場合に風急潮を対象とした急潮注意報を発出した。

急潮が既に発生している場合には、発生状況と推定発生要因を急潮情報として提供した。

なお、本文中で指す急潮は、流速が51.4cm/s（≒1kt）に達した潮流とした。

（3）急潮発生事例とその発生要因の推定

1）奈半利町大敷で発生した急潮

2022年2月1日に奈半利町大敷で急潮が発生した。急潮の発生過程を調べるために以下のデータを使用した。データは、同大敷の水深10m、25mに設置した潮流計が観測した水温及び潮流データ、高知県海洋漁業指導調査船「土佐海洋丸」が取得した土佐湾周辺海域の流況観測結果、土佐湾沿岸の定点水温観測結果（土佐清水市越港（表層）、黒潮町鈴沖合（10m）、須崎市九石沖合（10m）、奈半利町沖合（10m））、土佐湾周辺の海面水温図の4つであった。

また、JAMSTECアプリケーションラボの海洋予測モデルJCOPE-T（宮澤 2009）により本県沿岸海域全体の流動を再現し、急潮の発生過程を検討した。

2）室戸岬東岸で発生した急潮

2021年12月～2022年1月にかけて室戸岬東岸海域で急潮が発生した。当該急潮の発生過程を調べるため、同大敷近傍に設置したリアルタイム流向流速観測ブイの観測結果と黒潮流路推測図及び海面水温図等を照合し、急潮の発生過程を検討した。

3 結果

（1）奈半利町大敷で発生した急潮

1）水温と潮流の推移

奈半利町における10m、25m層の流向流速ベクトル図（図2）と流速・水温の時系列記録（図3）を示す。急潮は、1月31日23時から2月1日16時の約17時間継続し、最大流速は10m層で65.6cm/s、25m層で53cm/sであった。急潮が発生するまでの潮流の変動を細かく見ると、1月28日までは、弱い流れが発生していたものの、それ以降は徐々に南東向きの流速が強化され、1月29日に10cm/s、1月30日に30cm/s、1月31日に50cm/s以上の潮流が発生していた。

水温記録は、急潮発生前まで、いずれの層でも18℃前後で推移していたが、急潮の発生と同時に1～2℃の水温上昇が確認された。

2) 急潮発生時の土佐湾沿岸域の海況

①土佐湾周辺の水温

2022年1月28日、2月1日の土佐湾周辺海域の海面水温図を図4に示す。1月28日に、室戸岬沖に位置する黒潮小蛇行から土佐湾に向かって暖水が流入する様子が確認できた。土佐湾内に波及した暖水のうち、急潮発生時に観測された19℃の水温前線に着目すると、2月1日にかけて、土佐湾東部の奈半利付近に移動していた。

土佐湾周辺海域における定点水温観測結果と観測点を図5に示す。測定値の間隔は、土佐清水は1日1回、その他の観測点の値は、記録式潮流計により10分に1回観測した値である。いずれの地点でも1月24日～2月1日の期間に1～2℃の急激な昇温を観測していた。昇温が生じた時間は、西側の観測点が早く、東側の観測点で遅い傾向がみられた。概ね土佐湾の西部（土佐清水）から東部（奈半利）にかけて順に発生しており、高水温の前線が土佐湾の西部から東部にかけて通過したことを示唆していた。

②土佐湾周辺海域の流況

2月1日～2月9日に行った調査船による流況観測を図6に示す。流況図では、土佐湾内で西から東にかけて50cm/s程度の流れが発生する様子を捉えていた。急潮が発生した奈半利周辺海域において、沿岸付近では南東向きの流れが発生しており、奈半利で発生した急潮の流向と一致していた。

3) 数値モデルが再現した土佐湾沿岸域～沖合域の海況

JAMSTECが開発したJCOPE-Tによる1月28日～2月5日の土佐湾周辺における水深1m層の海流再現結果を示す（図7）。この期間中、黒潮は概ね31.5°N付近に位置し、黒潮以北の流れは大小多数の渦が相互に作用し合う複雑な様相を呈していた。

1月28日の再現図では、土佐湾沿岸部では弱い西向流が発生していた。また、土佐湾内部の西側で左旋流が、東側で黒潮小蛇行と思われる高水温の右旋流が再現されていた。1月30日～2月1日の再現図では、31.5°N、133.5°E付近に中心を持つ巨大な左旋流から波及する強い西向流が土佐湾に接近し、土佐湾沖合域では強い西向流が発生していた。また、左旋流は土佐湾西部に流れを供給し、沿岸部では東向流を発生させていた。2月2日～2月5日になると、土佐湾から紀伊水道沖合にかけて右旋流が形成され、沿岸域では右旋流に由来する強い東向流が発生しており、図5の土佐湾周辺海域における流況と合致した流れを再現していた。

(2) 室戸岬東岸で発生した急潮

1) 水温と潮流の推移

室戸市高岡に設置したリアルタイム流向流速観測ブイの観測結果を図9に示す。2021年12月29日から2022年1月19日まで南西～南南西方向の急潮が断続的に発生した。この期間中、10～70m層の海底付近に至るまで急潮状態であり、流速の変動も同様に推移していた。最大流速は、10mは77cm/s、30mは80cm/s、70mは79cm/sであった。

2) 急潮発生時の海況変動

急潮発生当時の黒潮推測流路及び海面水温の推移を図 10 に示す。2021 年 12 月 27 日、黒潮は室戸岬南では 31° N 付近を通過した。それから、紀伊半島南沖で 29° N 付近まで南下したあと北上に転じ 31° N を越えた辺りから北西向きに進路を変えた。潮岬沖 32° N で再び向きを替え本州沿岸に沿って進んだ。この範囲の流路は S 字の形状を示した。2022 年 1 月以降、S 字の北側の屈曲部分は紀伊半島東岸に接岸した状態となり、熊野灘～遠州灘に沿って東進した。また、紀伊半島東岸に接岸した際、紀伊水道外域東側から高水温の水塊を供給しており、室戸岬東岸まで達していた。以上より、この時の紀伊水道外域への暖水の進入様式は「紀南分枝流」であった。紀伊半島東岸に接岸した黒潮は、1 月 17～25 日にかけて、紀伊半島東岸に沿いながら東進した。

(3) 急潮注意報の発出

表 2 に今年度に発出した急潮注意報及び急潮情報を示した。急潮注意報は 2 回、急潮情報を 1 回発出した。急潮注意報のうち、急潮が発生したと判定できたのは No. 3 のみであった。以下に No. 1～No. 3 を発出した要因と結果を記す。

No. 1 は、9 月 24 日に台風の接近に伴う風急潮の発生が危惧されたことから、土佐湾周辺全域を対象に注意報を発出した。台風は 9 月 30 日から 10 月 1 日にかけて高知県に接近したものの、台風は想定よりも離れて東進した。各地点で急潮は観測されなかったため、急潮注意報は外れた。

No. 2 は、1 月 7 日の発出時点で既に室戸岬東岸海域で急潮が発生していたため、室戸岬東岸海域から土佐湾沿岸域を対象に急潮情報を発出した。この時、紀伊半島東岸に黒潮が接近したことで、紀南分枝流由来の急潮が発生したと推測されたため、急潮の発生状況と併せて先述の見解について情報提供を行った。

No. 3 は、No. 2 で情報提供を行った際に発生した急潮が継続している状況と併せて、室戸岬沖を黒潮小蛇行が東進していたことから、紀南分枝流由来の急潮が室戸岬東岸海域で発生する可能性があったため、室戸岬東岸海域から土佐湾沿岸域を対象に急潮注意報を発出した。室戸岬東岸海域における潮流は No. 3 の発出以降弱まった。一方、奈半利町大敷において、急潮被害が発生したため、急潮注意報は的中した。

(4) 急潮の規模及び被害

表 3 に 2021 年度に発生した急潮の規模と被害について示す。

2021 年 12 月 29 日から 2022 年 1 月 21 日の期間に高岡リアルタイムブイで観測した急潮は、室戸岬東岸一帯で操業不能日が頻発する被害をもたらした。1 月 31 日から 2 月 1 日に奈半利町大敷で発生した急潮は漁具被害をもたらした。この急潮によって垣網上部の綱が破断され、連鎖的に垣網の破網が発生した。

4 考察

(1) 奈半利町大敷で発生した急潮

1) 急潮の特徴と予測

奈半利町の急潮は、土佐湾内で形成された右旋流が沿岸において強い流れを発生させたためと考えられた。また、急激な昇温現象は、黒潮小蛇行から波及した暖水が土佐湾に進入し、奈半利に達したためと考えられた。

JCOPE-Tによる海流再現図によると、1月28日～2月1日の再現図では、黒潮は31.5°N以南と大きく離岸しており、黒潮小蛇行は土佐湾から離岸、若しくは消滅していた。また、31.5°N、133.5°Eに中心を持つ左旋流など周辺の渦が土佐湾に流れを供給することで、土佐湾の右旋流が徐々に形成される様子を伺うことができた。このことから、土佐湾における右旋流の形成は、黒潮の影響はそれほど小さくなく、むしろ周囲の渦の影響が大きいと推測された。図8に急潮発生過程の模式図を示す。

以上のことから、急潮を予測するためには、土佐湾周辺海域の中・小規模の渦の動向をモニタリングし、土佐湾における右旋流の発生を予測する必要があるとあり、JCOPE-Tなどの予測モデルを活用するのが適当と考えられた。同時に、土佐湾沿岸部における右旋流の接岸をモニタリングするためには沿岸の潮流・水温のリアルタイム観測が必要である。現状では窪津沖リアルタイムブイが稼働しており、このデータが予測情報の参考となると考えられた。

補足として、急潮は奈半利町では観測されたものの、奈半利町と同様に土佐湾内にあり潮流観測を行っていた鈴、九石では観測されなかった。この違いが生じた理由は、奈半利は右旋流に対して流れが直接当たる面に位置していたのに対し、鈴、九石は流れの当たらない面に位置しており、右旋流に対するそれぞれの地理的な位置関係の違いにあると考えられた。このことから、各地点における急潮の発生を正確に予測するためには、より詳細なスケールの海流及び水温を予測する必要性が示唆された。

今回発生した急潮は、南東～南南東方向で60cm/s以上の急潮が観測された。2019年5月以降の奈半利における潮流観測結果では、南東～南南東方向で50cm/s以上の流速は観測されなかった。このことから、今回発生した急潮は、この海域としては珍しい被害をもたらすほどの強い潮流が発生した事例であった。

現場観測とJCOPE-Tの海流再現によって、これまでほとんどわかっていなかった土佐湾内の急潮の発生要因と予測手法について一定の知見を得られた。また、今回行った検証において、数値モデルによる海流再現は非常に有効であった。土佐湾における急潮の発生事例は少ないため、今後も継続的に観測を行い、検証を行っていく。

(2) 室戸岬東岸で発生した急潮

1) 急潮の発生過程

高岡の潮流観測結果、黒潮流路推測流路及び海面水温図を参照すると、高岡において急潮が発生していた期間と紀伊半島東岸に黒潮のS字北側屈曲部が接岸していた期間は概ね一致していた。このとき、黒潮が暖水を供給している様子が海面水温図で確認でき、紀南分枝流が発生していたと推測できる。紀南分枝流は、紀伊水道外域において左旋流を形成する場合があると報告されている(猪原2018)ことから、室戸岬東岸で発生した急潮は、紀南分枝流が紀伊水道外域に左旋流を形成した時に発生したと推測された。

図11に急潮発生過程の模式図を示す。紀伊半島東岸への黒潮の接岸が急潮のトリガーと考

えられることから、同様の海況が見受けられた際に急潮予測が行うことができる可能性がある。今後、潮位・水温変動など詳細な沿岸の海況変動と室戸岬における潮流の変動を検討し、急潮発生過程を検証する。

今回行った急潮の検証より、紀南分枝流による急潮は、黒潮小蛇行が紀伊半島に接岸し発生する従来のパターンと、黒潮が紀伊半島東岸に接岸した際に発生するパターンの二つがあることがわかった。前者は黒潮小蛇行が紀伊半島に接岸した際に急潮を発生させるため、紀伊半島と黒潮が接岸しやすい非大蛇行期に発生し、後者は紀伊半島西岸に黒潮が接岸しやすい大蛇行期に発生する傾向にあると推測される。後者の急潮が詳細な潮流記録とともに観測されたのは、2021年12月が初めてである。今後、検証を行い大蛇行期、非大蛇行期における急潮の特徴を明らかにしていく。

5 謝辞

本研究を進めるにあたり、高岡大敷株式会社、佐喜浜大敷組合、奈半利町大敷組合、九石大敷組合、鈴共同大敷組合、以布利大敷組合、古満目協栄大敷組合、高知県室戸漁業指導所、高知県土佐清水漁業指導所、高知県水産試験場古満目分場の皆様に多大なるご協力をいただいた。記して、感謝の意を表する。

6 引用文献等

石戸谷博範・北出裕二郎・松山優治・岩田静夫・石井光廣・井桁庸介（2006）黒潮小蛇行の東進に伴い相模湾及び東京湾湾口に発生した急潮．海の研究，15，235－247．

猪原亮（2018）高知県沿岸域における急潮予報の試み．ていち，134，57-64

殿谷次郎（1981）大型冷水塊形成による黒潮流及び徳島沿海の海況変動．徳島県水産試験場事業報告書（昭和54年度），128－135．

松山優治（2001）定置網に被害を及ぼす相模湾の急潮について．ていち，99，56-66

宮澤泰正・郭新宇・清松啓司・角田智彦・瀬藤聡（2009）JCOPE 海洋変動予測システムーダウンスケーリングによるスケール間相互作用の解明に向けてー．月刊海洋，41，3，P162-P170，2009

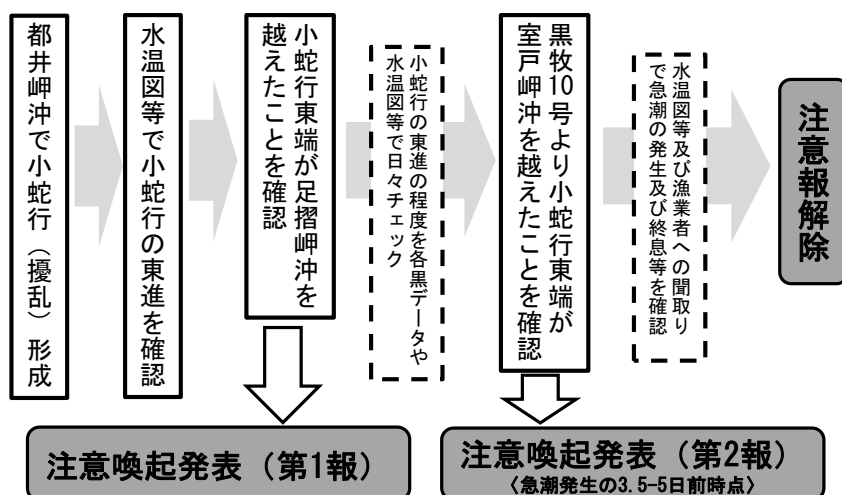


図1. 紀南分枝流による急潮注意報発出スキーム

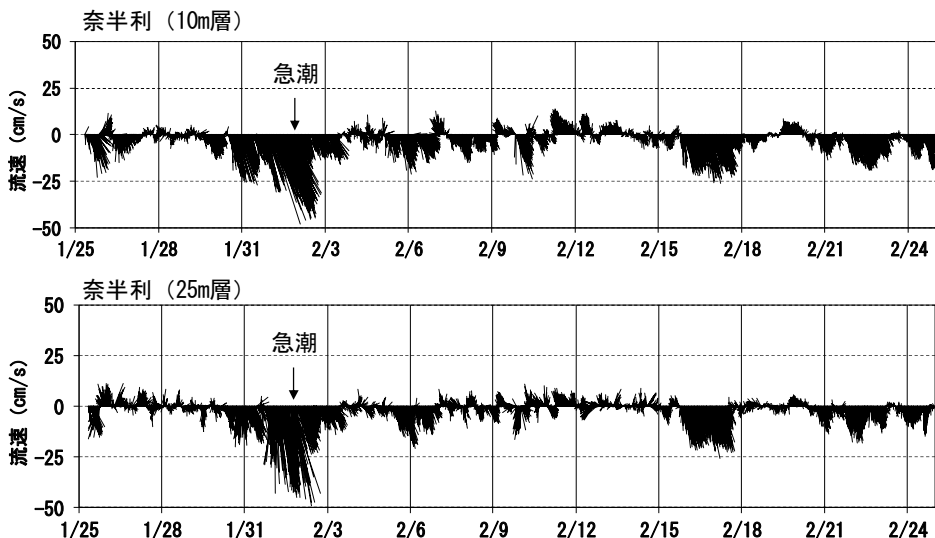


図 2. 奈半利町 10m, 25m 層における流向・流速ベクトル時系列図

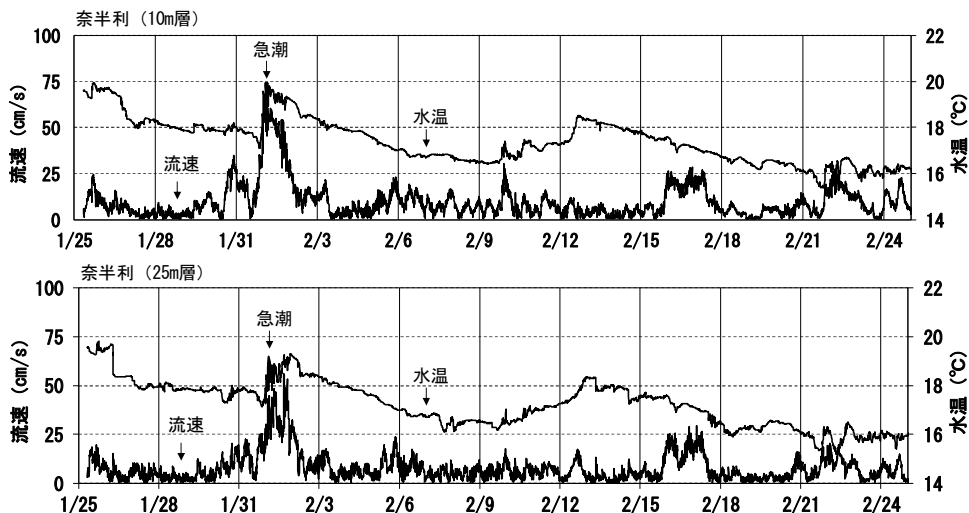


図 3. 奈半利町 10m, 25m 層における流速・水温時系列図

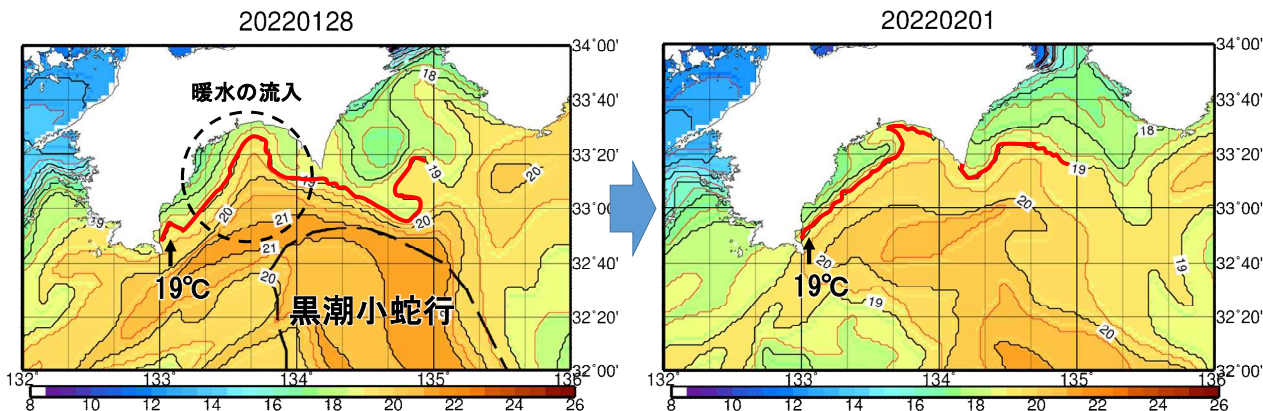


図 4. 2022 年 1 月 28 日、2 月 1 日までの土佐湾周海域の海面水温図
(漁業情報サービスセンター (JAMFIC) 提供)

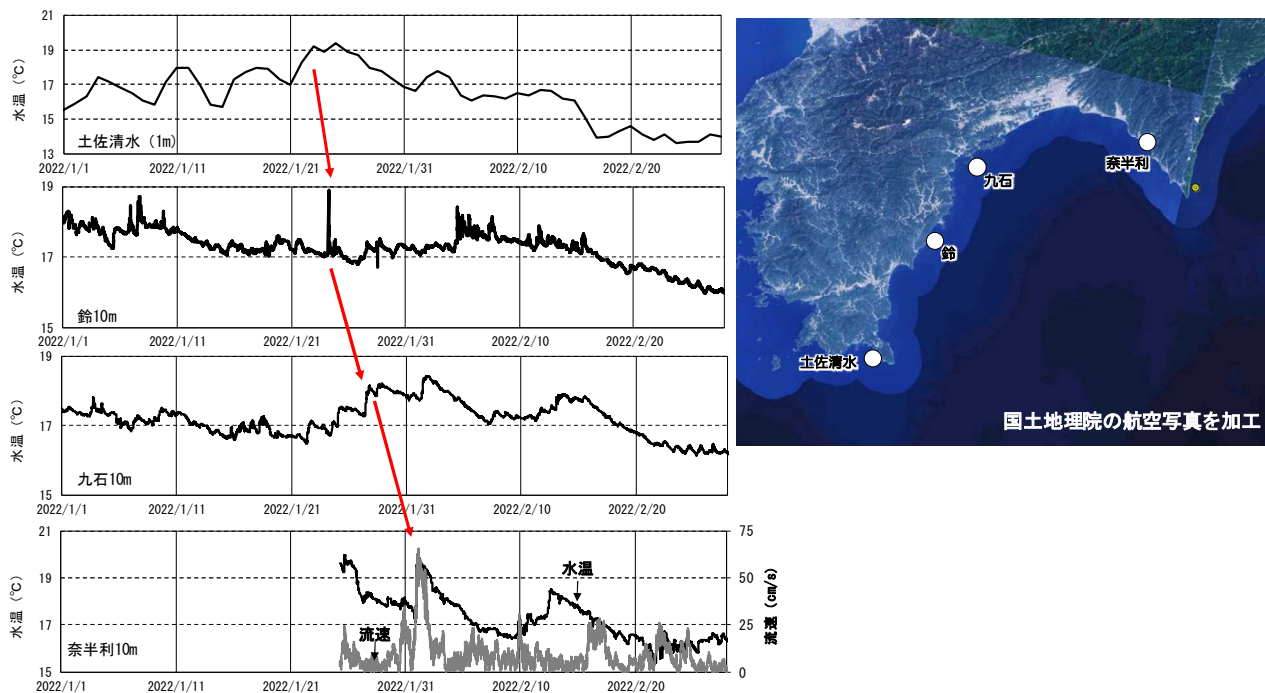


図5. 土佐湾沿岸における沿岸水温の時系列推移（左）と各測定地点位置図（右）
矢印は急激な昇温を観測した日時が西から東へ伝播していることを示す。

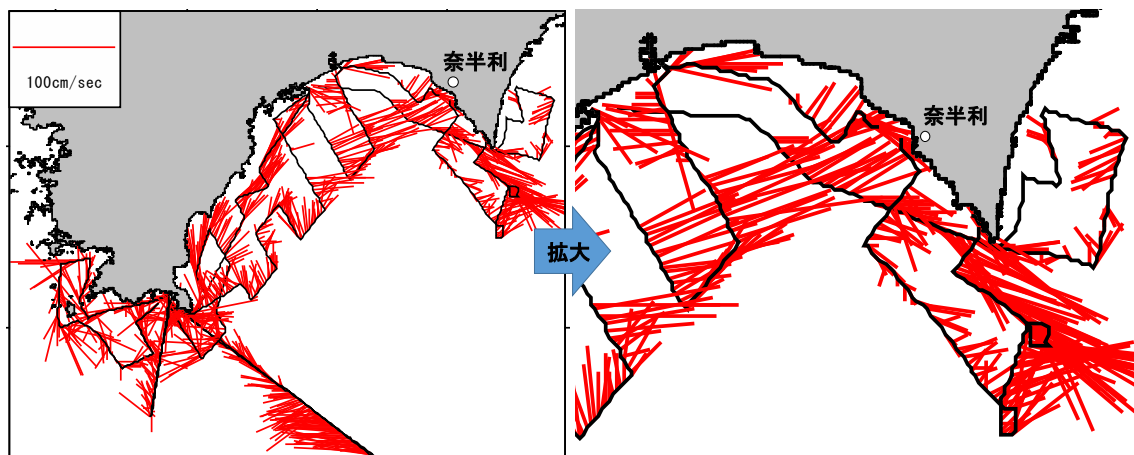


図6. 2022年2月1日～9日に実施した土佐湾周辺海域における流況観測結果
線の長さは表層（16m）の流れの速さ、線の延びる方向は流れの向きを示す。

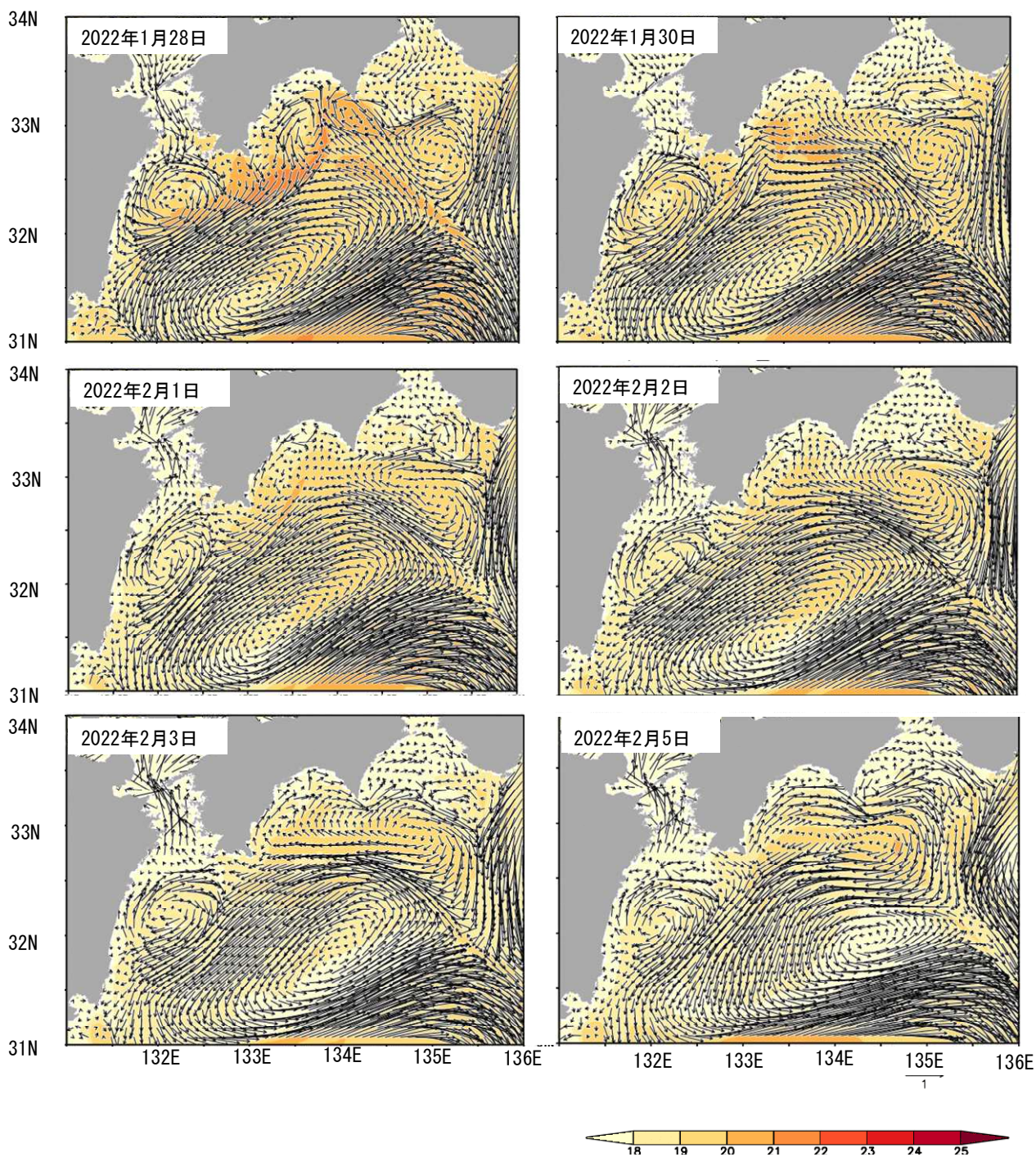


図7. JCOPE-Tによる土佐湾周辺海域の海流再現図
(JAMSTEC アプリケーションラボ宮澤泰正所長代理から提供された図を編集)

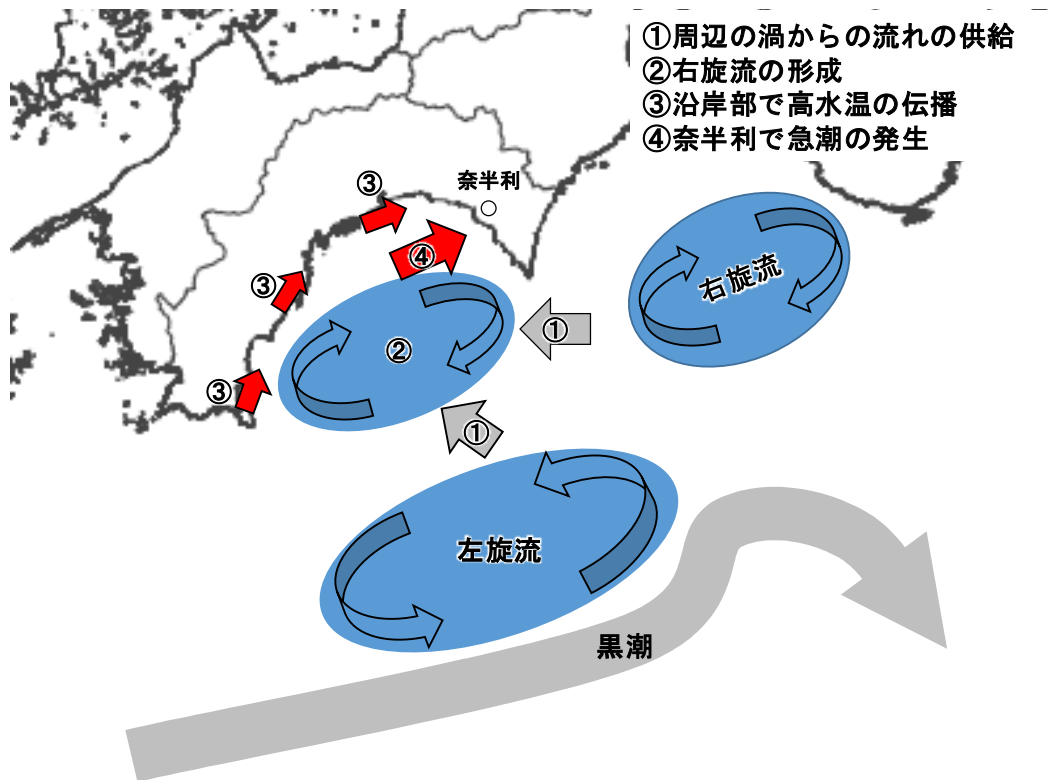


図8. 奈半利における急潮発生過程の模式図
 (国土地理院白地図に当時の海況模式図を追記して作成)

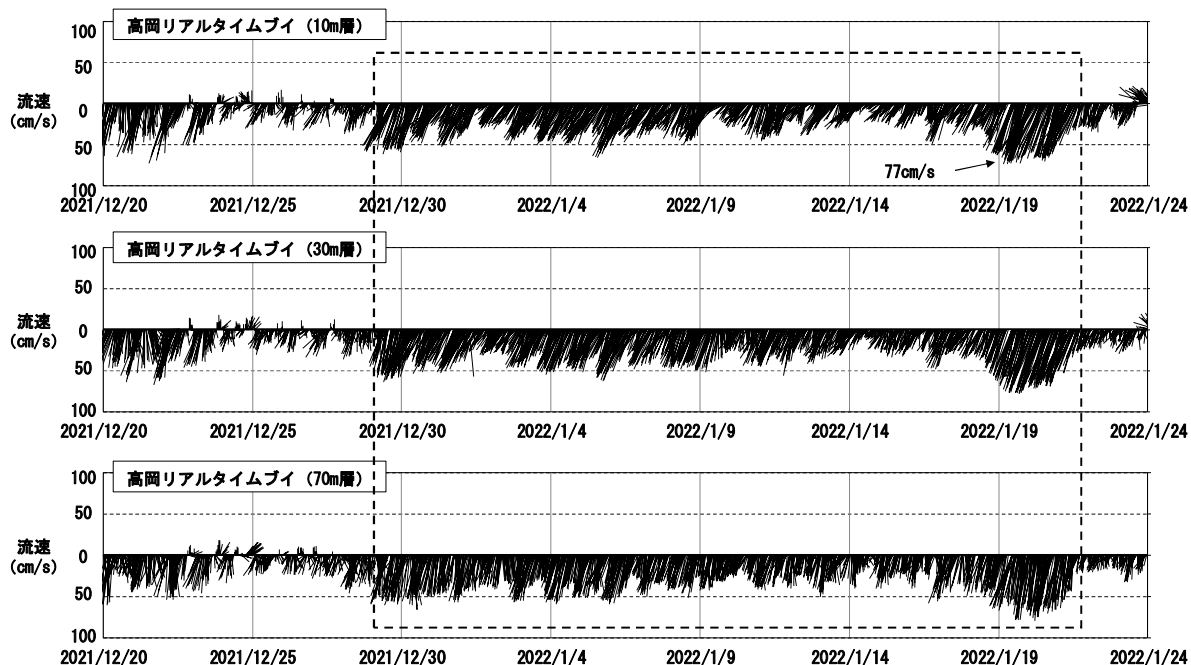


図9. 高岡リアルタイムブイ流向・流速ベクトル時系列図

グラフの中央水平に引いた線を境に上方向への流れが北上流、下方向が南下流を示す。グラフの中央水平線と上下端それぞれとの中間にある水平線は流速 50cm/s (約 1.0kt) を示す。点線四角で囲まれた部分は急潮の発生期間を示す。

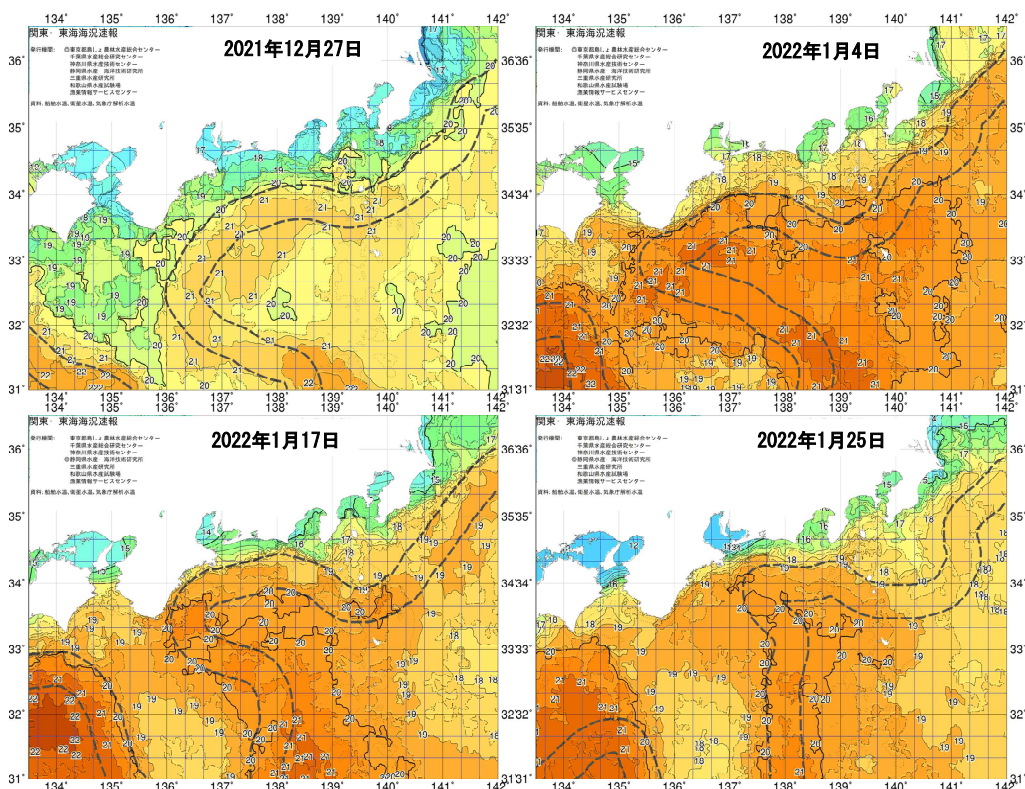


図 10. 黒潮推測流路と海面水温の推移

関東東海海況速報 (<http://sui-kanagawa.jp/Kaikyozu/KantoTokai/>)

2021年12月27日、2022年1月4日、17日、25日発行図を加工した。黒の太破線は黒潮の推測流路を示す。

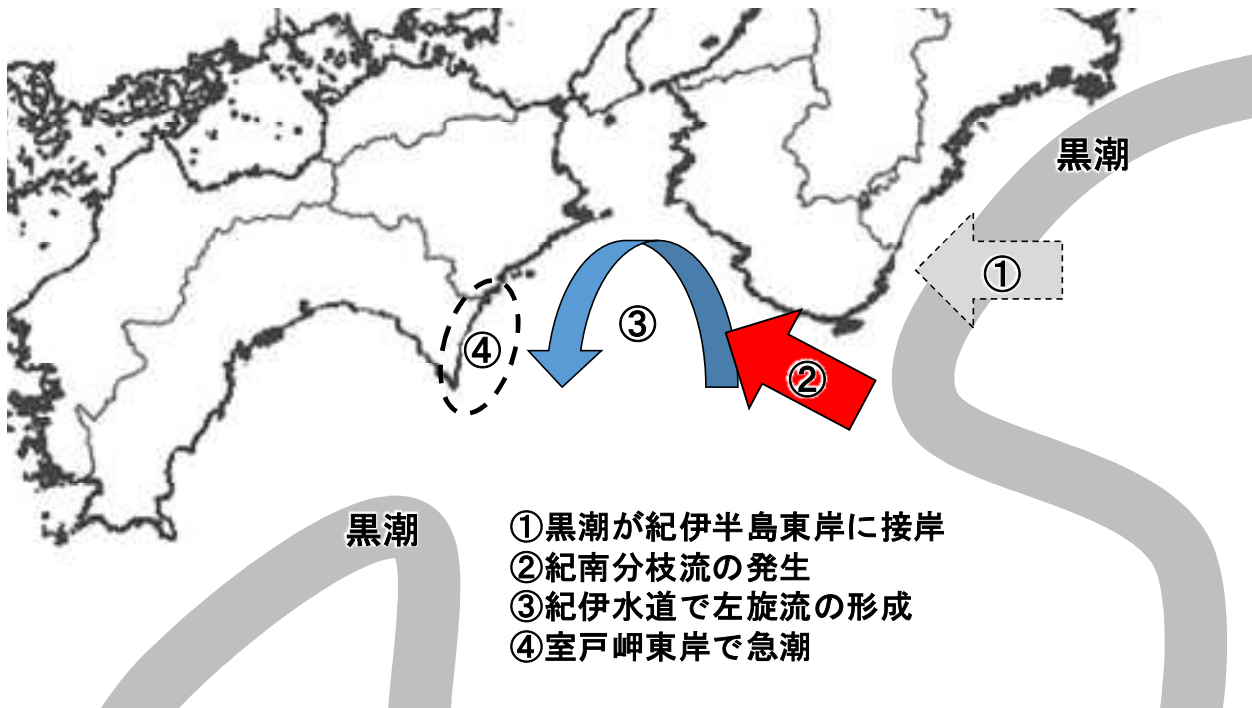


図 11. 室戸岬東岸における急潮発生過程の模式図
 (国土地理院白地図に当時の海況模式図を追記して作成)

表 1. 急潮予測及び要因推定に用いる指標

指標	URL
気象庁HP地点別気圧、潮位、風向・風速データ	(http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php)
海上保安庁HP海流推測図（黒潮流軸位置）	(http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/KAIYO/qboc/)
高知県漁海況情報システム （土佐湾高精度水温画像及び黒潮牧場ブイ情報）	(https://www.suisan.tosa.pref.kochi.lg.jp/top)
高知県漁海況情報システム （高知県沿岸流リアルタイム監視システム）	(https://www.suisan.tosa.pref.kochi.lg.jp/top)
関東東海海況速報図	(http://sui-kanagawa.jp/Kaikyozu/KantoTokai/)
GPV気象予報	(http://weather-gpv.info/)
沿岸波浪予想iMOC（気象庁発表）	(http://www.imocwx.com/cwm.htm)

表 2. 急潮注意報発出状況

No.	発出日	予報種類	急潮種類	警戒海域	成否	急潮発生地点
1	2021/9/24	注意報	風急潮	土佐湾周辺海域	外れ	-
2	2022/1/7	情報提供	紀南分枝流 ^{※1}	室戸岬東岸、土佐湾沿岸	-	室戸岬東岸一帯
3	2022/1/21	注意報	紀南分枝流 ^{※2}	室戸岬東岸、土佐湾沿岸	的中	奈半利
		情報提供	紀南分枝流 ^{※1}		-	室戸岬東岸一帯

※1 紀伊半島東岸に黒潮が接岸

※2 紀伊半島西岸に黒潮小蛇行が接岸

表 3. 観測期間中に発生した急潮の規模と被害

急潮発生期間		観測地点	水深	最大流速 (cm/s)	流向	被害状況
2021/12/29 10:00	2022/1/21 15:00	高岡リアルタイムブイ	10m	77	南西～南南西	芸東大敷一帯で 操業不能日が頻発
			30m	80	南西～南南西	
			70m	79	南西～南南西	
2022/1/31 23:00	2022/2/1 16:00	奈半利町大敷	10m	66	南東～南南東	道網の破断
			25m	56	南東～南南東	道網の破断