

う3段階の赤潮監視・予察を行ってきた(宮原ら2011)。また、韓国沿岸域と同様に対馬暖流の上流部にあたる九州北部沿岸域での有害赤潮発生状況等の監視も実施している。今年度も上記の手順に従って赤潮の監視・予察を行うとともに、発生シナリオの検証と予察精度の向上について検討した。

#### 1) 対馬暖流上流部における有害赤潮の発生状況

今年度は韓国南部沿岸域で8月上旬から中旬に *C. polykrikoides* が低密度で確認された(図2)。最高細胞密度は8月9日に全羅南道麗水市で観測された320 cells/mlだった。また、九州北部海域では伊万里湾や五島列島などで5月から8月にかけて *C. polykrikoides* や *K. mikimotoi* が数千 cells/ml 以上の高密度で確認されていた(図3)。

#### 2) 対馬海峡部における風向・風速

8月の対馬海峡における海上風ベクトルの時系列を図4に示す。韓国南部沿岸域で *C. polykrikoides* が確認された8月上中旬には対馬海峡では北東風が連吹していた。

#### 3) 対馬暖流の流路

9月上旬の50m深水温分布によると、水温フロントは沿岸寄りの年(例えば2003年や2005年)と沿岸から離れた年(例えば2004年)の間に位置しており(図5)、水温フロント位置から想定される対馬暖流の沖合分枝の流路は接岸傾向と離岸傾向の中間的な年であったと推察された。

#### 4) 衛星画像によるクロロフィル高濃度域

韓国南部沿岸域で *C. polykrikoides* が確認された8月中旬に同海域でクロロフィル高濃度域が分布していたが、*C. polykrikoides* の細胞密度は低く局所的な発生だったことから珪藻等の無害種であったと推察される。

#### 5) 赤潮輸送シミュレーションと赤潮到達リスクの可視化

韓国南部沿岸域で *C. polykrikoides* が確認された8月上中旬に全羅南道麗水市沖を始点とする赤潮輸送シミュレーションを実施した。方法は Onitsuka et al. (2010) と同様の粒子追跡計算で、水産研究・教育機構で開発・運用されている JADE2 の流動場再解析値(JADE2.1の日平均値)を用いて行った。計算では *C. polykrikoides* の日周鉛直移動を考慮し(Park et al. 2001)、赤潮を模した粒子の分布深度を昼間(06:00-18:00)と夜間(18:00-06:00)でそれぞれ1m深と20m深に変化させ、一日ごとに400個の粒子を投入した。計算結果は粒子軌跡を可視化するとともに、平成31年度に予察技術高度化として検討した赤潮発生リスク(旬毎)の可視化(鈴木ら2020)も行った。なお、赤潮発生リスクの可視化にあたっては粒子投入時の細胞密度として、韓国南部沿岸域では8月9日から15日までの最高細胞密度を設定し、1ヶ月で細胞密度が約20%に減衰する程度の減衰率( $0.05 \text{ day}^{-1}$ )を与えた。図6に計算結果を示す。8月上中旬に投入された粒子の大部分が韓国東岸を北上し、隠岐諸島や山陰沿岸への到達リスクは低いとの結果が得られた。

一方、山口県油谷湾では8月中旬に *K. mikimotoi* が高密度で観測された(最高細胞密度3480 cells/ml)。対馬暖流上流域の佐賀県伊万里湾では6月下旬から8月上旬にかけて本種赤潮が

発生しており（図 3）、この個体群の一部が輸送された可能性が考えられたため、九州北部海域（伊万里湾沖）を始点とする赤潮輸送シミュレーションも実施した。図 7 に 7 月 10 日に投入した粒子の軌跡を示す。多くの粒子が 8 月上旬にかけて九州北部海域から山陰沖に向けて北東方向に輸送されており、油谷湾で確認された *K. mikimotoi* が九州北部海域から輸送された個体群由来の可能性を示す結果となった。ただし、伊万里湾より東側の九州沿岸域で本種赤潮が報告されていないことや衛星クロロフィル画像でもクロロフィル高濃度域の移動は確認できないことから（図 8）、輸送されたとしても低密度であり、油谷湾で増殖したと推察される。

#### 6) 漁場モニタリング調査

本海域では、*C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* を主要対象種とした。今年度の検鏡結果は、*C. polykrikoides* は低密度で確認され、*K. mikimotoi* は高密度で確認された。一方、その他有害種として、*Cochlodinium fulvescens*、*Dinophysis mitra*、*D. caudata*、*Gymnodinium impudicum*、*Alexandrium* sp. および *Gonyaulax* sp. が低密度で確認された。

##### ① 沖合調査

###### ア) 主要対象種

*C. polykrikoides* は確認されなかったが、山口県沖合で 8 月 2 日に *K. mikimotoi* が 0.002 cells/ml (St. Y1 0 m) 確認された。

###### イ) その他有害種（図 9-1）

兵庫県沖合で、7 月 26 日に *Dinophysis mitra* が 0.003 cells/ml (St. H1 0 m)、0.01 cells/ml (St. H1 20 m)、0.003 cells/ml (St. H4 0 m)、0.003 cells/ml (St. H4 20 m)、0.007 cells/ml (St. H5 20 m)、0.003 cells/ml (St. H6 20 m)、*Cochlodinium fulvescens* が 0.007 cells/ml (St. H5 20 m) 確認された。また、9 月 14 日に *Dinophysis mitra* が 0.01 cells/ml (St. H6 20 m)、*Alexandrium* sp. が 0.053 cells/ml (St. H6 0 m)、*Gonyaulax* sp. が 0.003 cells/ml (St. H3 0 m) 確認された。

##### ② 沿岸調査

###### ア) 主要対象種

*C. polykrikoides* が、兵庫県沿岸で 7 月 6 日に 0.5 cells/ml (St. HS 0 m) 確認された。

*K. mikimotoi* が、山口県沿岸で 8 月 14 日に 3,480 cells/ml (油谷湾大浦漁港 0 m) 確認された。また、*Cochlodinium* sp. が、鳥取県沿岸で 8 月 24 日に 0.003 cells/ml (St. T11)、*Karenia* sp. が、鳥取県沿岸で 9 月 28 日に 0.003 cells/ml (St. T10) 確認された。

###### イ) その他有害種（図 9-2）

*Gymnodinium impudicum* が、島根県沿岸で 7 月 6 日に 0.040 cells/ml (St. S6 0 m) 確認された。

*D. acuminata* が、7 月 8 日に 0.017 cells/ml (St. S2 5 m) 確認された。

*D. caudate* が、島根県沿岸で 7 月 7 日に 0.003 cells/ml (St. S1 0 m)、7 月 8 日に 0.013 cells/ml (St. S3 0 m)、8 月 4 日に 0.003 cells/ml (St. S6 5 m) 確認された。

*Akashiwo sangunea* が、島根県沿岸で 7 月 7 日に 0.003 cells/ml (St. S1 0 m)、7 月 8 日に 0.003 cells/ml (St. S3 0 m) 確認された。

*D. mitra* が、島根県沿岸で 7 月 7 日および 8 日に 0.007 cells/ml (St. S1 0 m)、0.01 cells/ml (St. S1 5 m)、0.007 cells/ml (St. S2 5 m)、0.003 cells/ml (St. S3 0 m) 確認された。

*N. scintillans* が、島根県沿岸で 7 月 8 日に 0.017 cells/ml (St. S2 0 m)、0.007 cells/ml (St. S2

5 m), 0.03 cells/ml (St. S3 0 m), 0.003 cells/ml (St. S3 2 m) 確認された。

### ③ 臨時調査 (図 9-3)

7月6日に兵庫県柴山湾で *C. polykrikoides* が低密度ながら検鏡で確認されたため、臨時で実施。7月14日に 0.23 cells/ml (St. HS 0 m), 7月20日に 0.21 cells/ml (St. HS 0 m) 確認された。8月14日には、山口県油谷湾大浦漁港 (0 m) で *K. mikimotoi* が 3,480 cells/ml 確認された後、赤潮発生に伴い8月16日に日本海沿岸域で臨時調査を実施したが、1 cell/ml 確認したのみであった。

## 7) LAMP法を併用したモニタリング体制の高度化

今年度、各県で実施した *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* の検鏡結果と LAMP 法による検出結果の比較を表 1 および 2 に示す。

*C. polykrikoides* が検鏡で確認された兵庫県の 3 サンプルは、いずれも LAMP 法で陽性を示した。一方、検鏡で確認されなかった兵庫県の 2 サンプル、島根県の 1 サンプルおよび山口県の 2 サンプルも LAMP 法で陽性を示した。

兵庫県のサンプルのうち H3 (9月14日 20 m) および HS (6月7日 0 m) の 2 サンプルは、蛍光目視及び濁度計による判定で 2 回とも陰性を示しており、最終的な判定として陰性とするのが妥当であると考えられた。また、鳥取県のサンプルのうち T11 (8月24日 10 m) の 1 サンプルは LAMP 法では陰性を示したが、検鏡により *C. polykrikoides* の近縁種とみられるプランクトンが確認された。

*K. mikimotoi* については、検鏡で確認されなかったが、島根県の 1 サンプルおよび山口県の 1 サンプルが LAMP 法で陽性を示した。一方、鳥取県のサンプルのうち T10 (9月28日 10 m) の 1 サンプルは LAMP 法では陰性を示したが、検鏡により *C. polykrikoides* の近縁種とみられるプランクトンが確認された。

*C. polykrikoides* または *K. mikimotoi* が検鏡で確認されなかったサンプルが、LAMP法で陽性を示したことにに関して、海水1Lを濃縮して検鏡するため、多くの珪藻類等に紛れ、極めて低密度で当該種が存在していた場合、または、その細胞のコンディションが劣化し、外部形態が変化していた場合、もしくはその両方の場合の可能性のある *C. polykrikoides* または *K. mikimotoi* を検鏡で確認できなかったことが考えられた。

LAMP法の実施時期については、今年度から広域での赤潮発生を想定して採水検鏡後の分析実施時期の短縮を図ることとし、4県が蛍光目視判定により、採水検鏡後の翌日から遅くとも約2週間以内には検査し、結果を共有することができた。より迅速な検査体制が構築され、ひいては、モニタリング体制の高度化に繋がったと考えられた。

## 8) 赤潮発生シナリオの検証

*C. polykrikoides* 赤潮が山陰沿岸域や隠岐諸島周辺海域で出現する条件として、①韓国沿岸域で大規模な赤潮が発生すること、②南西風により韓国沿岸域から *C. polykrikoides* の赤潮水塊が沖合域へ輸送されること、③対馬暖流沖合分枝が接岸傾向であること、この 3 つの条件が全て揃う必要があることが示されている (Onitsuka et al. 2010)。そこで今年度もこれら 3 つの条件を検証した。まず、条件①の韓国南部沿岸域では *C. polykrikoides* が確認されたものの、最高細胞密度は 320 cells/ml に留まっており、大規模発生には至らなかった (図 3)。次に条件

②について、韓国南部沿岸で *C. polykrikoides* が確認された 8 月上中旬に対馬海峡部では北東風が連吹していた (図 4)。また、条件③について、9 月上旬の対馬暖流の沖合分枝の流路は接岸傾向と離岸傾向の中間的な年であったと推察された (図 5)。以上のように、今年度は 3 つの条件いずれも満たしておらず、*C. polykrikoides* が韓国南部沿岸域から隠岐諸島や山陰沿岸域へ輸送される可能性は低かったと考えられた。図 6 の韓国全羅南道麗水市沖を始点とした赤潮輸送シミュレーション結果やモニタリング調査で得られたサンプルの顕微鏡観察や LAMP 法でも上記を裏付けており、今年度の結果はこれまで構築してきた *C. polykrikoides* 赤潮発生シナリオを支持する結果となった。

また、図 7 の伊万里湾沖を始点としたケースでは、投入された粒子が対馬暖流によって九州北部沿岸域から山陰沿岸域を北上し、油谷湾で確認された *K. mikimotoi* が九州北部海域から輸送された個体群由来の可能性を示す結果となった。衛星クロロフィル画像の監視と合わせて今後も九州北部海域からの輸送にも注意していく必要がある。

一方、兵庫県柴山湾では *C. polykrikoides* が 6 月上旬以降断続的に確認されたが、韓国沿岸域ではこの時期に本種の出現は報告されていない。このことから、本種のシストが湾内で越冬し、発芽・増殖している可能性も示唆された。柴山湾の様な海岸線の入り組んだ地形は、山陰沿岸では多くみられる。現時点では、海流等により本種が滞留しやすく、シストが形成されやすい環境条件は不明だが、類似した地形の湾での本種の発生動向は今後注視しておくべきと思われる。

## 引用文献

宮原一隆, 鬼塚剛, 渡辺秀洋, 野々村卓美, 勢村均, 堀玲子, 西川哲也, 宮地邦明, 山口峰生.

日本海における *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮. 日本水産学会誌 2011 ; 77 : 440.

Onitsuka G, Miyahara K, Hirose N, Watanabe S, Semura H, Hori R, Nishikawa T, Miyaji K, Yamaguchi M. Large-scale transport of *Cochlodinium polykrikoides* blooms by the Tsushima Warm Current in the southwest Sea of Japan. *Harmful Algae* 2010; 9: 390-397.

Park JG, Jeong MK, Lee JA, Cho KJ, Kwon OS. Diurnal vertical migration of a harmful dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae), during a red tide in coastal waters of Namhae Island, Korea. *Phycologia* 2001; 40: 292-297.

鈴木雅巳, 門脇慧史, 渡辺秀洋, 松本洋典, 安原豪, 木原浩志, 南部智秀, 鬼塚剛, 坂本節子. 有害赤潮プランクトンの出現動態監視および予察技術開発 エ. 日本海西部海域. 平成31年度漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書. 水産庁, 東京. 2020; 144-161.

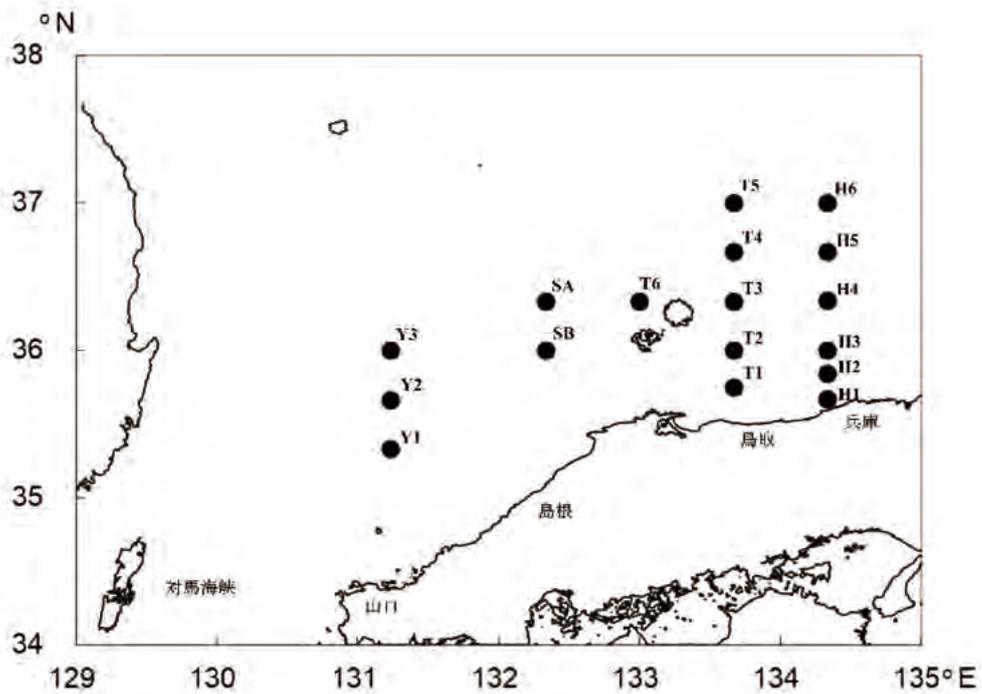


図1-1 日本海西部海域における沖合調査定点位置図

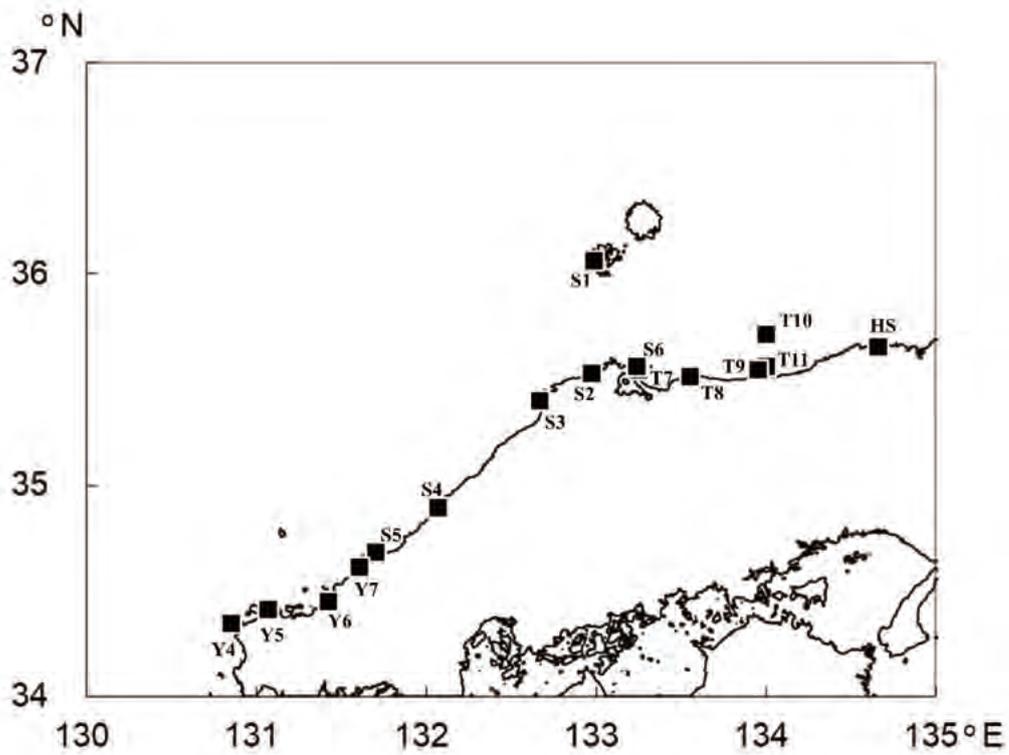


図1-2 日本海西部海域における沿岸調査定点位置図

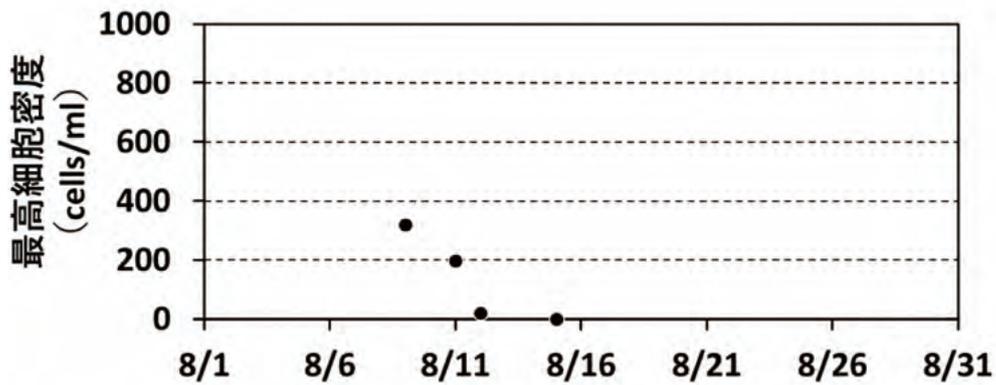


図2 韓国沿岸域における *C. polykrikoides* 最高細胞密度の推移（韓国水産科学院赤潮情報の日々の速報値に基づく）

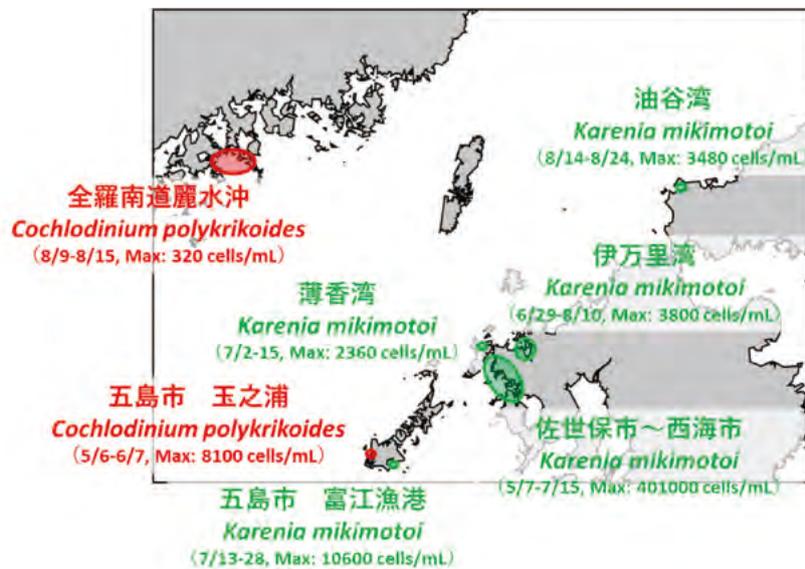


図3 韓国沿岸域および九州北部沿岸域での有害赤潮発生状況

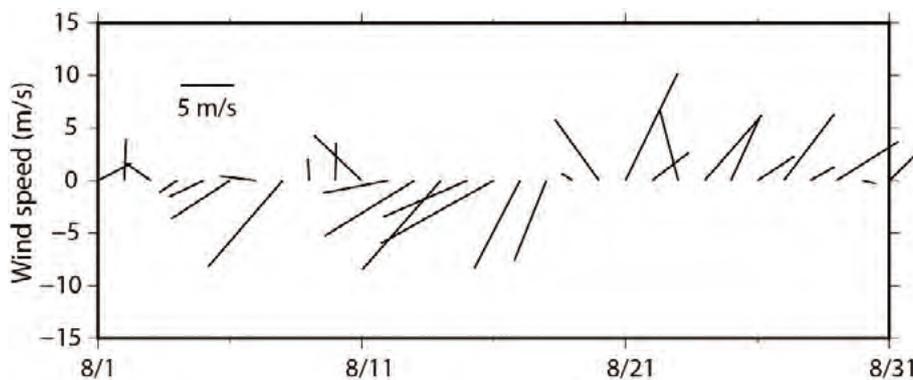


図4 対馬海峡部（34.4°N，128.5°E）における日平均海上風ベクトル（気象庁メソ数値予報モデル GPM-MSM）

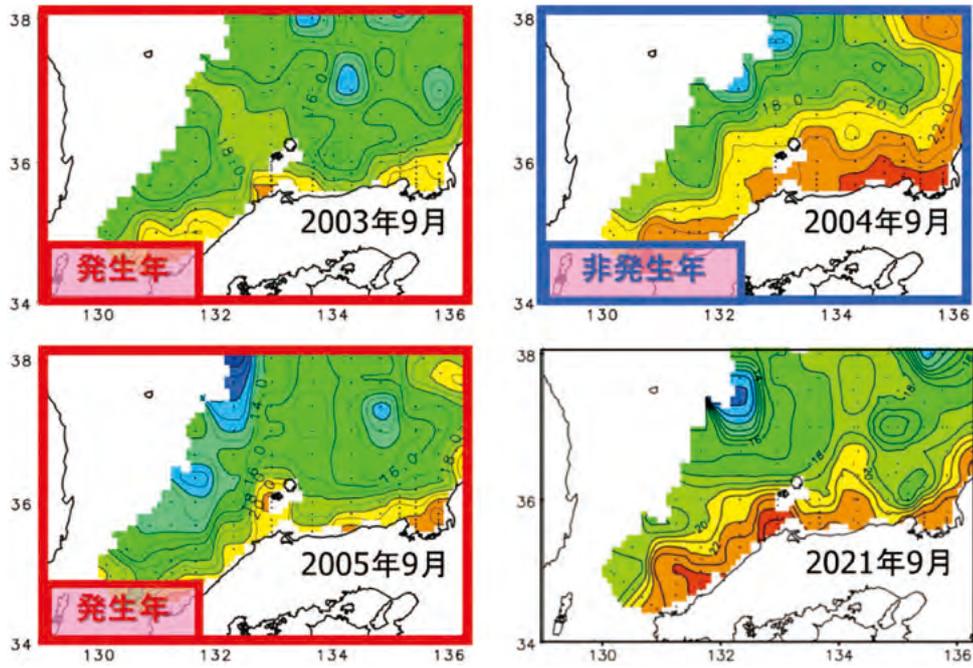


図5 2003～2005年9月上旬および2021年9月上旬の日本海南西部水温分布図（50 m 深）（水産研究・教育機構が発行している日本海漁場海況速報を基に一部改変）

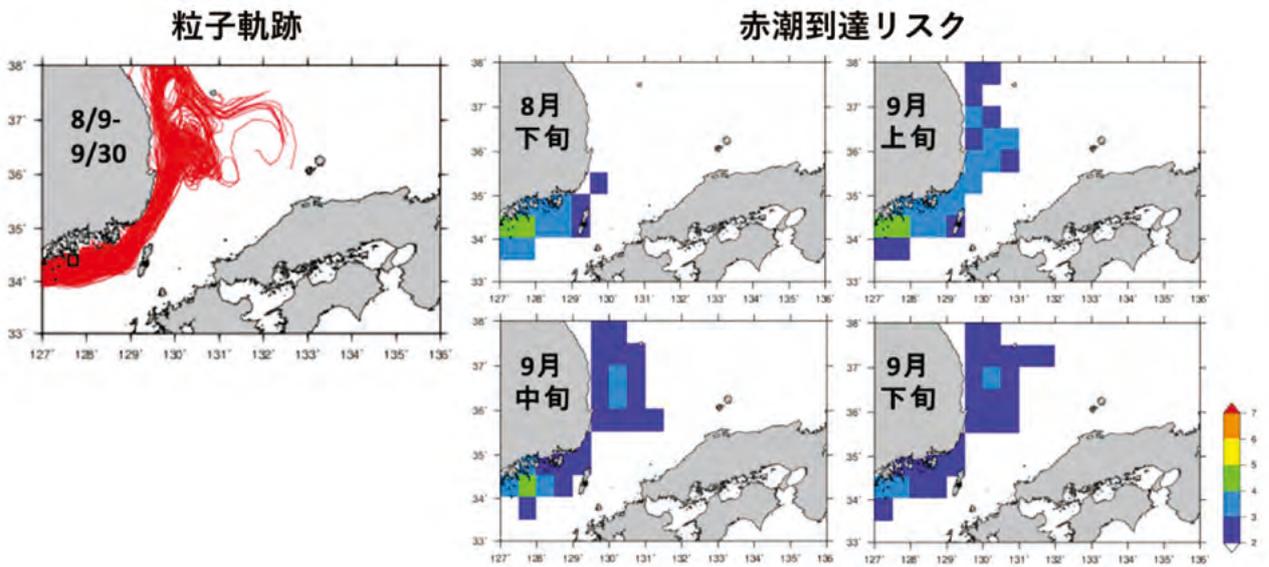


図6 韓国全羅南道麗水市沖を初期位置（黒四角）として実施した赤潮輸送シミュレーションによる粒子軌跡と赤潮到達リスク