

平成22年6月8日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19780159
 研究課題名（和文） 日本海有害藻類赤潮の発生・維持・輸送機構の解明と監視・予測システムの構築
 研究課題名（英文） Elucidation of mechanisms of occurrence, sustentation, and transport of harmful algal blooms in the Sea of Japan, and development of prediction system
 研究代表者
 鬼塚 剛（ONITSUKA GOH）
 独立行政法人水産総合研究センター・中央水産研究所・研究員
 研究者番号：40399647

研究成果の概要（和文）：観測データ及び数値モデルを用いて、山陰沿岸での有害藻類赤潮発生機構を明らかにした。過去の発生事例解析から、2002年以降に山陰沿岸で発生したコクロディニウム赤潮は、対馬暖流上流域から輸送された海流依存型赤潮である可能性が高く、この赤潮は、対馬暖流上流域の大規模発生、対馬海峡周辺の南西風、山陰沖の対馬暖流の接岸流路、という3つの要因が揃ったときに発生することが示唆された。

研究成果の概要（英文）：The occurrence mechanisms of the harmful algal blooms in the San-in area were examined. According to the hindcast analyses, there is a high possibility that *Cochlodinium* blooms occurred in the San-in area since 2002 were current-dependent type of occurrence and were transported from the upstream region of the Tsushima Warm Current. The blooms were thought to occur when a series of sequential conditions were met, which included preceding outbreaks in the upstream region of the Tsushima Warm Current, southwesterly winds around the Tsushima Strait, and the nearshore position of the Tsushima Warm Current off the San-in coast.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	0	1,400,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,400,000	600,000	4,000,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：水圏環境・保全、赤潮、*Cochlodinium polykrikoides*、日本海、対馬暖流、生態系モデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 2002年以降、有害渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef による赤潮が、夏から秋にかけて日本海南西部に位置する山陰沿岸の広い範囲で頻発するようになり、磯根資源を中心に、有用水産生物へ大きな被害をもたらしている。

(2) 瀬戸内海や九州沿岸など赤潮被害の多い海域と違って、日本海沿岸域ではこれまで赤潮に対する監視体制は確立されておらず、漁業被害を軽減するための対策は急務の課題となっている。

(3) 本海域における *C. polykrikoides* 赤潮の特徴として、着色現象が突発的・広域的・同時多発的に発生することが観察されている。このような短期間で広範囲に及ぶ赤潮の監視・予測には、衛星画像や数値モデルを利用することが有効な手段と考えられる。

2. 研究の目的

(1) 対馬海峡周辺海域における現場観測によって、赤潮の増殖・維持機構に関わる海洋環境の季節変動・分布特性を明らかにし、数値モデリングに必要なデータセットを作成する。

(2) 衛星クロロフィル画像や数値モデリングを組み合わせることによって、山陰沿岸における有害渦鞭毛藻赤潮の発生・維持・輸送機構を明らかにし、赤潮の監視・予測システムを構築する。

3. 研究の方法

(1) 対馬海峡周辺海域において、(独)水産大学校練習船による観測を行い、対馬暖流の水塊特性やクロロフィル・栄養塩濃度等の季節変動・分布特性を明らかにする。取得した栄養塩濃度と水温の関係を算出し、有害藻類赤潮の増殖・維持機構に影響を及ぼす日本海南西部対馬暖流における栄養塩分布を推定する。

(2) 九州大学応用力学研究所で開発された海洋循環モデル(RIAM Ocean Model)で計算された流動場と、2002年以降の日本海南西部沿岸域における *C. polykrikoides* 赤潮発生状況をもとに、赤潮輸送シミュレーションを行い、衛星クロロフィル画像(Aqua/MODIS)と比較・検討することによって、赤潮発生源とその山陰沿岸への輸送機構を明らかにする。

(3) (2)の結果をもとに山陰沿岸での赤潮発生シナリオを提示し、現場観測データ等で事前に獲得できる情報から赤潮の監視・予測に有効な指標を抽出するとともに、それらデータと数値シミュレーションを用いた赤潮の監視・予測システムを構築する。

4. 研究成果

(1) 有害藻類赤潮の増殖・維持機構に影響を与える夏季の海洋環境を明らかにするために、対馬海峡周辺海域で船舶観測を行った。対馬海峡周辺の夏季表層では植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩が枯渇しており、亜表層(30m 深付近)に形成された栄養塩躍層以深で濃度が高かった(図1)。また、クロロ

フィル(植物プランクトン色素)濃度は亜表層で極大層を形成しており、栄養塩が枯渇している表層では極めて低かった。大河川もなく沿岸部の人口も少ない山陰沿岸域では陸域からの栄養塩供給も少ないことが想定され、赤潮の発生しづらい環境であると考えられた。次に、これらのデータから水温—栄養塩の関係を算出した(図2)。栄養塩(硝酸塩+亜硝酸塩)は水温増加に対して線形に減少するという関係式が得られ、25°C以上では枯渇していた。対馬暖流域、特に、対馬海峡周辺での栄養塩分布については、これまでデータが少なく、本研究で取得したデータは、半閉鎖性海域である日本海において低次生態系をめぐる物質循環を明らかにするためにも貴重なデータとなる。

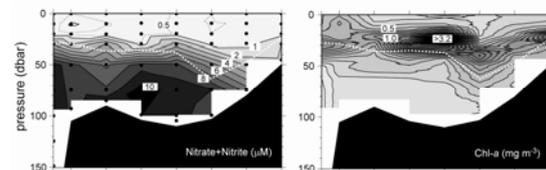


図1 対馬海峡における栄養塩(硝酸塩+亜硝酸塩)及びクロロフィル a 濃度鉛直断面図(Onitsuka et al., 2009 を改変)。

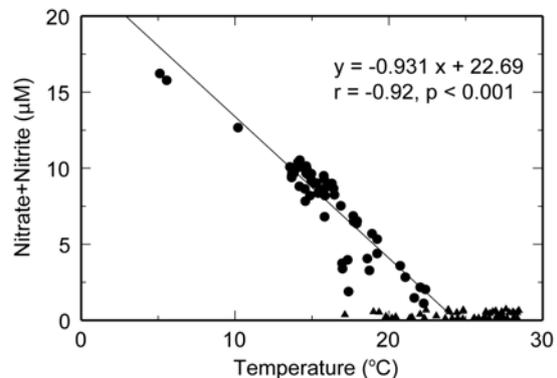


図2 水温—栄養塩相関図(Onitsuka et al., 2009 を改変)。

(2) *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮が山陰沿岸に漂着した2003年夏季、及び隠岐諸島に漂着した2007年夏季の衛星クロロフィル画像(Aqua/MODIS)を調べた結果、赤潮とみられる高クロロフィル濃度域が2週間から1カ月かけて韓国沿岸から山陰沿岸—隠岐諸島に移動していた(図3)。このクロロフィル高濃度域の時空間変動を明らかにするため、九州大学応用力学研究所で開発された日本海況予報モデルによる流動場計算結果(水平解像度1/12度)を用いて、ラグランジュ輸送モデルによる粒子追跡シミュレーションを

行った。2003年及び2007年の衛星クロロフィル画像で濃度 $1\mu\text{M}$ 以上の海域に赤潮を想定した粒子トレーサーを配置し、その後の粒子の移動をシミュレーションした結果、衛星画像で確認された高クロロフィル濃度域の時空間変動と良く一致した。この計算結果より、2003年及び2007年に山陰沿岸—隠岐諸島で発生した *C. polykrikoides* 赤潮は、韓国沿岸で発生し、対馬暖流等によって日本沿岸に受動輸送される海流依存型赤潮であった可能性が高いことが明らかとなった。対馬暖流によって輸送される海流依存型赤潮の存在は遺伝子解析等によって指摘されていたが、海洋物理学的手法でその存在を確認したのは本研究が初めてである。本研究成果は、従来のような富栄養化した閉鎖的な内湾で発生する赤潮と違って、広範囲かつ国境を越えて移動する赤潮に対して、今後早急な対策が必要であることを示唆している。

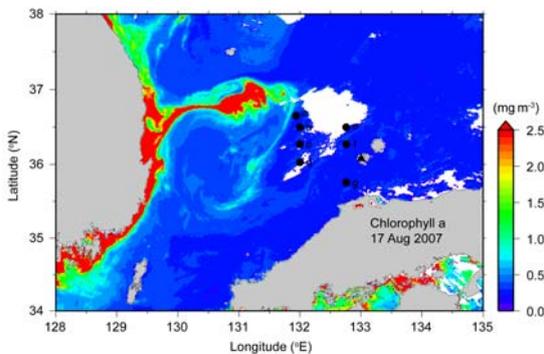


図3 Aqua/MODISによる2007年8月17日の衛星クロロフィル画像 (Onitsuka et al., 2010)。

(3) 山陰沿岸—隠岐諸島では2002年以降、2003、2005、2007年に *C. polykrikoides* 赤潮が発生しているが、対馬暖流上流域にあたる韓国沿岸では1995年以降ほぼ毎年大規模な赤潮が発生しており、韓国沿岸で発生したからといって必ず山陰沿岸で発生するとは限らない。そこで、山陰沿岸に出現した赤潮の発生源の特定とその輸送機構を検討した。2002年以降の *C. polykrikoides* 赤潮の大規模発生海域(韓国沿岸を含む対馬海峡周辺の4地区:麗水(ヨス)沖、巨済(コジェ)沖、蔚山(ウルサン)沖、及び長崎県平戸沖)を初期投入位置とし、ラグランジュ輸送モデルによる粒子追跡シミュレーションを行った。初期投入時期については、韓国国立水産科学院(NFRDI)の赤潮データベースや「九州海域の赤潮(九州漁業調整事務所発行)」により、実際に上記の4地区周辺で赤潮が発生した時期(及びその前後の期間)を設定した。年別のシミュレーション結果によると、投入した初期位置によって粒子の軌跡が異なり、2003、

2005、2007年に山陰沿岸及び隠岐諸島で発生した赤潮は、いずれも韓国沿岸の巨済(コジェ)沖から輸送された可能性が高いことが示唆された(図4)。また、対馬海峡周辺の海上風データや日本海南西部海域の水温場から、赤潮が山陰沿岸—隠岐諸島へ輸送される時の条件として、韓国南東沿岸での南西風による赤潮の沖向き輸送と山陰沖での対馬暖流沖合分枝の接岸傾向が挙げられた。以上の結果から、山陰沿岸—隠岐諸島で *C. polykrikoides* 赤潮が発生するには、時系列に従って、①韓国沿岸での大規模発生、②韓国南東沿岸での南西風、③対馬暖流沖合分枝の接岸傾向、という3つの要因が全て揃うことが必要条件であることが示唆された。この発生シナリオに沿って、上記データを監視することで、いち早く赤潮到達を予測できると考えられる。

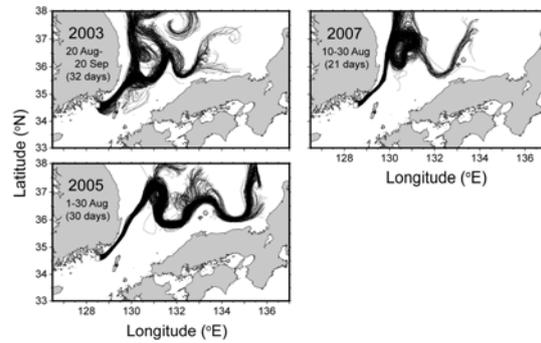


図4 2003、2005、2007年の粒子軌跡 (Onitsuka et al., 2010を改変)。

(4) (1)で得られた水温—栄養塩関係式から栄養塩分布を推定し、既往知見で明らかとなっている増殖速度や環境要因に対する応答を用いて、プランクトン密度の増減を考慮した計算を行った。2003年以外の発生年(2002、2005、2007年)には、韓国沿岸での初期細胞密度と比べて山陰沿岸(2007年は隠岐諸島)到達時に細胞密度は減少しており、この原因として、輸送途中において表層栄養塩がほぼ枯渇していたため増殖できず赤潮は徐々に薄まりながら輸送されたことが考えられた。韓国沿岸での初期細胞密度からほとんど減少せずに山陰沿岸に到達した2003年についても表層への栄養塩の供給は乏しく、小さい死亡率を仮定した場合のみ個体群を維持できるという結果となった。本種の生理生態学的特徴として、独立栄養と従属栄養を併せ持つ混合栄養性や昼夜の日周鉛直移動が報告されていることから、今後は、輸送途中での個体群のサンプリングや室内実験等を組み合わせることで、赤潮維持機構をより詳細に検討していく必要がある。

(5) (3)で提示した発生シナリオをもとに、
 ①長期予測(～1 カ月程度)：7 月以降の韓国沿岸及び九州北部沿岸での発生状況とその際の風向風速(特に南西寄りの風)の監視、②中期予測(～1 週間程度)：対馬暖流流路の検討、衛星画像による高クロロフィル濃度域の時空間変動監視と粒子追跡シミュレーションによる赤潮到達可能性の検討、③短期予測(～数日程度)：調査船による現場調査(有害種細胞数密度等)、衛星画像による高クロロフィル濃度域監視、山陰周辺海域の気象・海象条件の検討、という3段階での赤潮監視・予測の手順を設定した。2009年度は上記に従って赤潮監視・予測を行う予定であったが、対馬暖流上流域での大規模発生がなかったことから検証できなかった。しかしながら、山陰沿岸で赤潮が発生しなかったことで、(3)で提示した発生シナリオの有効性を確認することはできた。2010年以降も上記手順に従った監視・予測と結果の検証を行い、上記手順や手法の改良を続けることで、山陰沿岸における赤潮被害軽減に役立つことが期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 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, 査読有, 9, 2010, 390-397
- ② Onitsuka G, Morimoto A, Takikawa T, Watanabe A, Moku M, Yoshikawa Y, Yanagi T, Enhanced chlorophyll associated with island-induced cyclonic eddies in the eastern channel of the Tsushima Straits. Estuar Coast Shelf Sci, 査読有, 81, 2009, 401-408

[学会発表] (計10件)

- ① Onitsuka G, Miyahara K, Hirose N, Watanabe S, Semura H, Hori R, Nishikawa T, Miyaji K, Yamaguchi M, Transboundary harmful algal bloom in the southwest Sea of Japan. 2010 Ocean Sciences Meeting, 2010年2月24日, Portland

② 鬼塚剛, 宮原一隆, 広瀬直毅, 渡辺秀洋, 勢村均, 堀玲子, 西川哲也, 宮地邦明, 山口峰生, 山陰沿岸におけるコクロディニウム・ポリクリコイデス赤潮の発生機構と予察技術の開発. 水研-JAXA 共同研究発表会「衛星観測システムの海洋生態系研究及び水産業への利用のための基盤技術に関する研究」, 2010年2月5日, 東京

③ Onitsuka G, Hirose N, Miyahara K, Watanabe S, Semura H, Hori R, Nishikawa T, Monitoring and modeling of *Cochlodinium polykrikoides* bloom in the southwestern Sea of Japan. PICES 18th Annual Meeting, 2009年10月27日, Jeju

④ Onitsuka G, Hirose N, Miyahara K, Watanabe S, Semura H, Hori R, Monitoring and modeling in the Japan Sea. Workshop on Marine Environment in the East China Sea and Its Sound Future, 2008年12月6日, 福岡

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

○取得状況 (計◇件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鬼塚 剛 (ONITSUKA GOH)
独立行政法人水産総合研究センター・
中央水産研究所・研究員
研究者番号：40399647

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：