

伊万里湾の流動構造に及ぼす風の影響に関する研究

Study of wind influences on a flow in Imari Bay

鈴木誠二¹・西田渉²・平智樹³・野口正人⁴

Seiji SUZUKI, Wataru NISHIDA, Tomoki TAIRA and Masato NOGUCHI

Recently, eutrophication is serious problem in the Imari Bay because of an increase in load from the land and the food scatter of aquaculture. Therefore, red tides have been generated. Especially, a large-scale red tide gives the aquaculture and the ecology to the extensive damages. So, it is necessary to decrease the red tide. But, the generation mechanism of red tide is not understood in detail. So, to clarify the generation mechanism of red tide, we analyze the wind influences on a flow, which has great influence on generation of red tide in Imari Bay. As a consequence, it is clear that the north-wind has generated a red tide because the wind weakened the water exchange.

1. はじめに

閉鎖性水域において水質悪化は、生態系に甚大な影響を与えるために大きな問題となっている(鈴木ら, 2005). 長崎県と佐賀県の県境に位置する伊万里湾は、湾口部が3箇所しかない閉鎖性の強い湾である。陸域からの汚濁負荷の増加に加え、養殖業が盛んなために餌散布等に起因した富栄養化が進行しつつある。そのため、大小数多くの赤潮が発生している。とくに大規模な赤潮の発生は養殖漁業に甚大な被害を与えるだけでなく、湾内の生態系に大きな影響を及ぼしている。伊万里湾に生息し貴重な天然記念物であるカブトガニの保護・保全の観点から、赤潮への対策が早急に必要である。しかし、未だに伊万里湾において、赤潮の発生・消長機構が明らかではないため、その対策は十分とはいえない。

そこで、本研究では伊万里湾を対象とし、赤潮の発生・消長機構を明らかにすることを最終的な目的としている。ここでは、赤潮の発生因子の1つである湾内流動に対する風の影響について報告を行う。具体的には、3次元流動モデル(ODEM)(中辻, 1994)を用いて、大規模な赤潮が発生した1999年8月の流動に関する再現計算を行い、風が流動構造および赤潮へ及ぼす影響について考察を行う。

2. 伊万里湾の概要

図-1に伊万里湾全域の概要図を示す。伊万里湾は、長崎県と佐賀県の県境に位置しており、環境基準類型指定水域として環境庁に定められた閉鎖性海域81海域のうち



図-1 伊万里湾の概要

の1つである。湾水表面積120km²に対し3つの湾口部(それぞれ幅約1km, 1.5km, 4km)のみで外海と接続し、非常に閉鎖性の強い湾である。湾内には、福島をはじめ大小多数の島が存在し、非常に複雑な地形を形成している。平均水深は約23mと浅く、湾内はほぼ水深50m以浅であり、湾口部で最も深くなっている。福島より湾奥部では水深20m以浅となる。最も西に位置する津島鼻と青島間の湾口部では、急激に水深が深くなり水深50mを超える。湾内には大小約20の河川が流入している。とくに、伊万里湾西部に位置する志佐川は、伊万里湾に流入する河川の中で最も流域面積が大きく、48.1km²(長崎県32.1km², 佐賀県16.0km²)である。

伊万里湾では、ブリ、鯛やクルマエビ等の海面養殖が盛んであり、この海域の大きな特徴の1つである。また、伊万里川河口では干潟域が形成されており、多種多様な生物が生息する。とくに天然記念物であるカブトガニが生息する海域であることから自然環境の管理・保全の必

1 正会員 博(工) 長崎大学助教 工学部 社会開発工学科
2 正会員 博(工) 長崎大学准教授 工学部 社会開発工学科
3 学生会員 長崎大学大学院 生産科学研究科 環境システム工学専攻
4 正会員 工博 長崎大学名誉教授

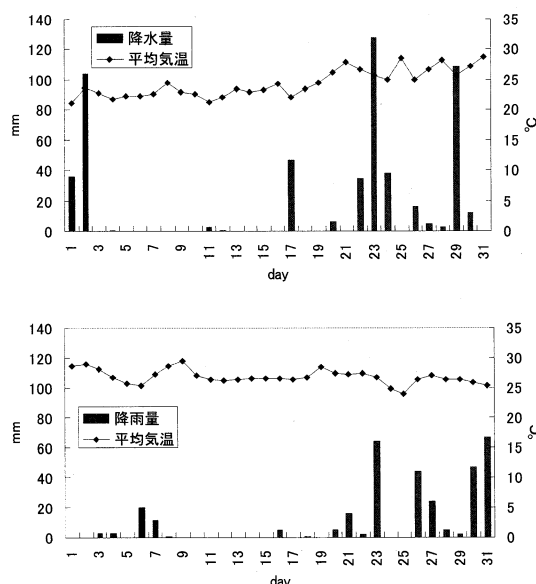


図-2 日平均気温・降雨量(上図:7月, 下図:8月)

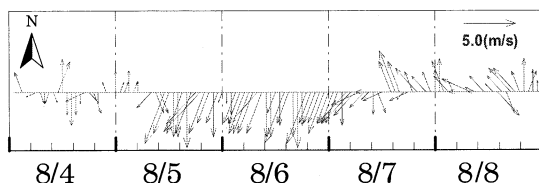


図-3 風向・風速(松浦観測所)

要性が極めて高い。

3. 1999年8月の赤潮発生状況

赤潮が形成されるプランクトンは約40種類以上あり、そのうちの10種類余りが有害プランクトンである。主な有害プランクトンを挙げると、*K.mikimotoi*(カーレニア・ミキモトイ), *C.polykrikoides*(コックロディニウム・ポリクリコイデス), *C.antiqua*(シャットネラ・アンティーク), *H.circularisquama*(ヘテロカプサ・サーキュラーリスマ)などがある。カーレニアはもともとギムノディニウムと言われており、漁業被害を与えるプランクトンとして以前から有名である。しかし、近年になって頻繁に漁業被害を及ぼす有害プランクトンがコックロディニウム・ポリクリコイデスに変化しつつある。1999年8月8日に、コックロディニウム・ポリクリコイデスによる大規模な赤潮が鷹島南部の海岸線約10km海域で発生し(長崎新聞, 1999), 養殖業に7億6000万円の甚大な被害を与えた。

大規模な赤潮の発生要因として、7月~8月の気象が挙げられる。図-2に7月および8月の日平均気温と降雨量を

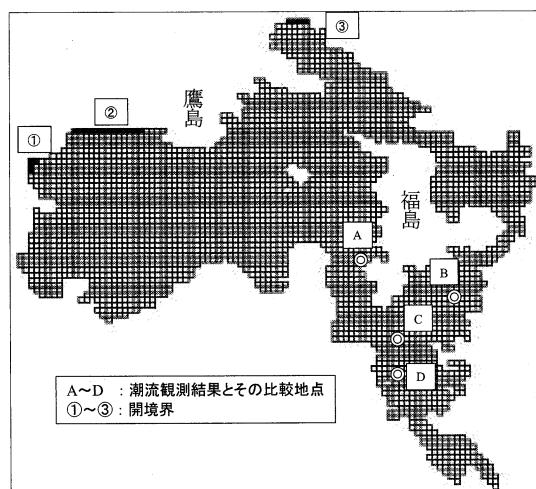


図-4 計算対象領域および潮流橢円算出地点

を示す(松浦観測所)。気温が7月の後半から徐々に上昇したことにより、水温が28℃まで上昇した。7月の後半に大量の降雨が集中し、さらに、赤潮発生直前の8月6, 7日に少量ながら降雨があったため、陸域からの窒素やリン等の栄養塩の供給があったと考えられる。それに加え、8月3日から6日の3日間が小潮であったため、外海との海水交換量が減少したことも要因の1つである。また、大量の植物プランクトンが集積した要因の1つとして風の影響が強い(長崎県総合水産試験場, 2006)と言われている。赤潮発生前の3日間、南向きの風が連吹したことによる影響も大きいと推察される。

松浦観測所で観測された赤潮発生前の風速・風向を図-3に示す。赤潮発生が確認される3日前の8月5日から7日の正午まで平均風速約3.5m/sの南向きの風が連吹した。この風の影響を受けて、多量の植物プランクトンが鷹島南部の海域に集積し、8日に赤潮として確認されたものと推察される。そこで、次章では3次元流動モデルを用いて、風が流動構造および赤潮に与える影響について解析を行う。

4. 風を考慮した数値モデルの概要

(1) モデルの概要

3次元流動モデル(ODEM)を用いて流動計算を行った。基礎式は、連続式、運動方程式、水温・塩分の拡散方程式、熱収支式および密度の状態方程式であり、静水圧近似とブシネスク近似を仮定している。水平方向の渦動粘性係数、渦動拡散係数にはSGSモデルを採用するとともに、鉛直方向の渦動粘性係数、渦動拡散係数には成層効果を考慮して与えている。また、Henderson-Sellors(1985)の算定式を用いて、中立状態の鉛直渦動粘性係数の算定を行っている。移流項の差分化にはTVDスキームを用

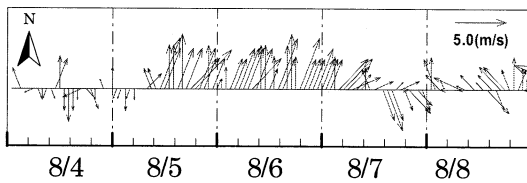


図-5 北向きの風 (Case 2)

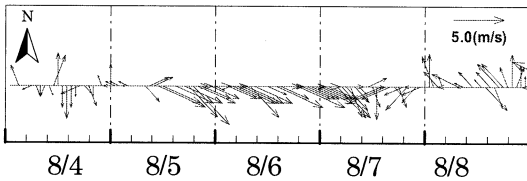


図-6 東向きの風 (Case 3)

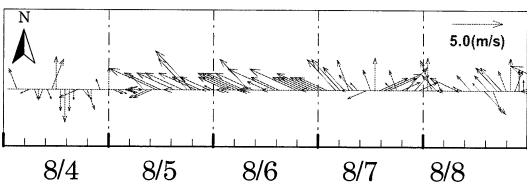


図-7 西向きの風 (Case 4)

いた。

(2) 計算条件

図-4に計算領域を示す。水平方向には、250mの間隔で東西方向に97分割、南北方向に96分割した。鉛直方向には、湾内の流動・密度の鉛直方向の分布を考慮して不規則厚とし、表層から1.5m, 0.4m, 0.5m, 1.0m, 2.0mを9層、5.0mを7層の合計20層とした。初期条件として、観測値に基づいて水温と塩分の鉛直分布を与えとともに、差分時間間隔は3.0秒とした。境界条件として、3箇所の湾口部に振幅68.0cm, 位相265.0°のM2分潮を考慮した潮位変動を与えた。気象条件として、気温と日射の観測値を与えた。また、風の条件としては、風が湾内流動に及ぼす影響を把握するために、風を考慮する場合と考慮しない場合(Case0)の流動計算を行った。前者は、実際の観測値である南向きの風の場合(Case1)、発生前3日間を北向きの風に置き換えた場合(Case2)、東向きの風に置き換えた場合(Case3)、西向きの風に置き換えた場合(Case4)の4パターンの流動計算を実施した。風の境界条件を図-5、図-6および図-7に示す。それぞれ、8月5日から7日の実測の風向を180°、270°および90°回転させたものである。

(3) 計算結果の妥当性の検証

A地点からD地点(図-4)における潮流楕円を図-8に示す。左図に実測値(佐賀県伊万里土木事務所, 1990)をもとに算出されたM2潮流楕円を示すとともに、右図には計算結果に基づいて算出したものを示す。A地点では長

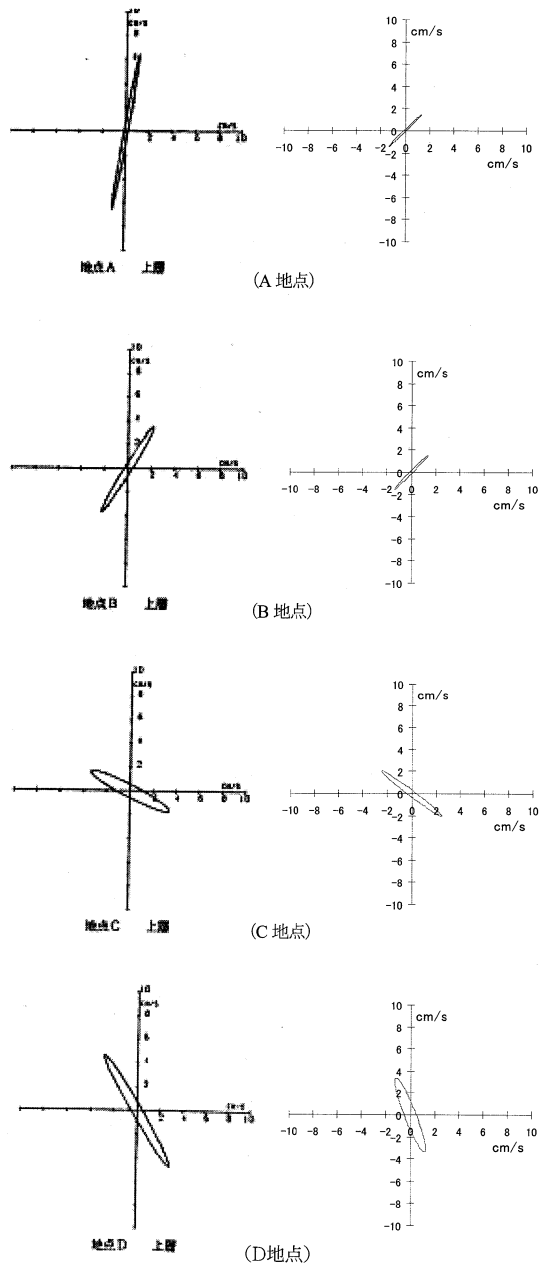


図-8 A～D地点のM₂潮流楕円
(左図：観測結果, 右図：計算結果)

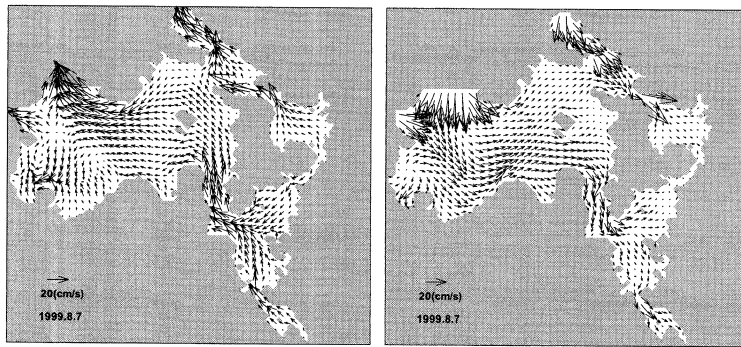


図-9 Case 0 の流速分布(左図：下げ潮最強時，右図：上げ潮最強時)

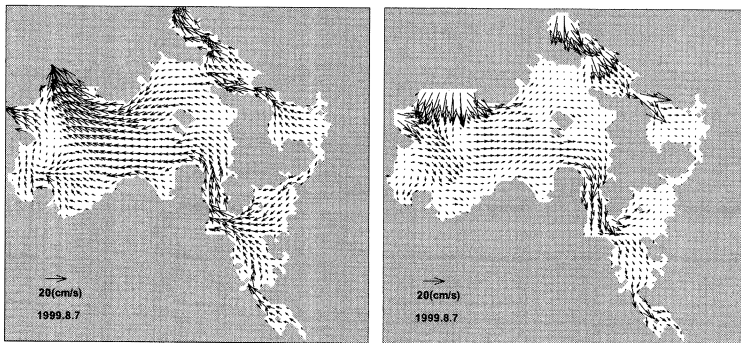


図-10 Case 1 の流速分布(左図：下げ潮最強時，右図：上げ潮最強時)

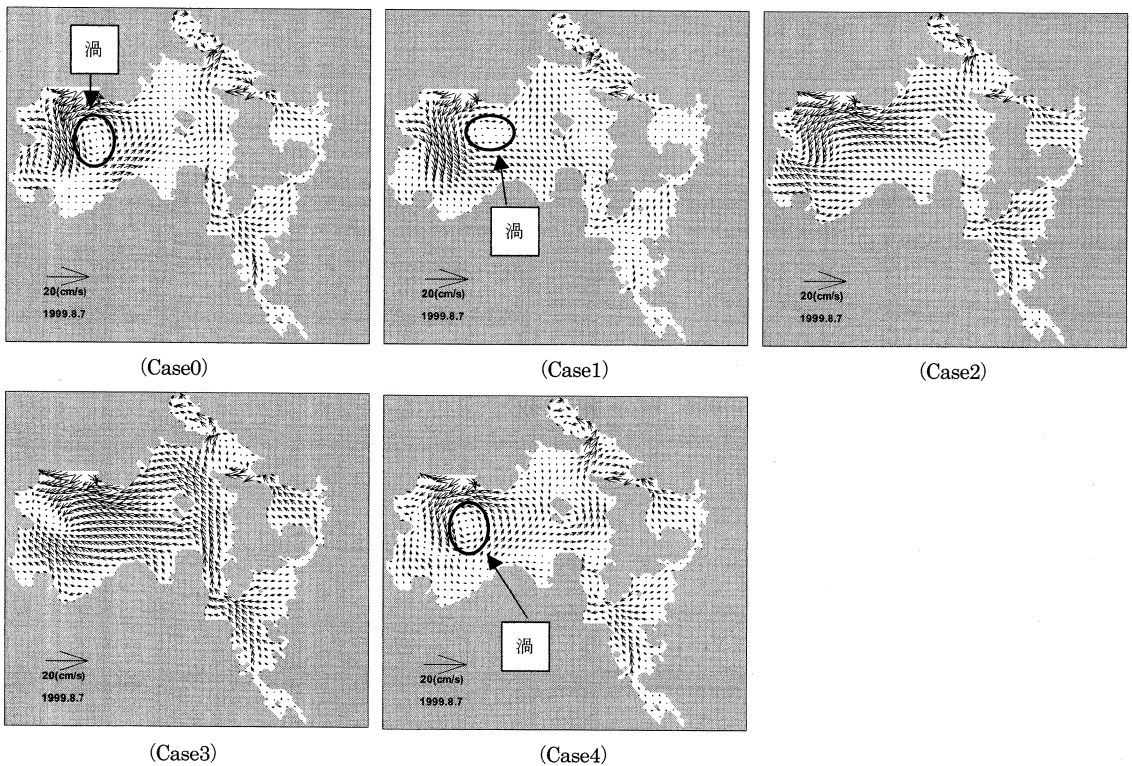


図-11 残差流 (Case0, Case1, Case2, Case3, Case4)

軸の方向、大きさともに計算結果は正確に観測結果を再現できていない。この要因としては、計算メッシュが250mと大きいため、流動が観測されたA地点のようなごく沿岸域の局所的な流れを再現できなかったためと考えられる。B地点、C地点、D地点では、それぞれ長軸の大きさが実測値よりも若干小さいが、長軸の方向はほぼ一致している。

A地点からD地点での実測値と計算値に基づく潮流楕円の比較を行った結果、若干の誤差があるものの、A地点以外の誤差は許容範囲内であった。A点では上記のように沿岸域の局所的な流れが再現できなかったが、大局的には流動構造を再現できていると考えられる。よって、本研究での数値計算結果は、妥当な計算であると判断できる。

5. 流動計算結果

風を考慮しない場合の、8月7日における下げ潮最強時および上げ潮最強時の流動計算結果を図-9に示す。この結果は、以前に実施された流動シミュレーション結果(水理計画, 1997)とほぼ一致している。赤潮の大量発生が確認された鷹島南部を中心に着目すると、下げ潮最強時には西流および、北西流が卓越しその流速は約30cm/sと強い流れとなっている。

一方、上げ潮最強時には、湾外からの流入の影響が鷹島南東部にまで強く及んでいる。すなわち、風を考慮しなかった場合(Case0)には、湾内と湾外との海水交換が強いことがわかる。実際の風を考慮した場合(Case1)の、8月7日における下げ潮最強時および上げ潮最強時の流動計算結果を図-10に示す。下げ潮最強時には、風を考慮しなかった場合に比べ、鷹島南部および南西部における湾外方向への流速が約20%弱くなっている。上げ潮最強時においても同様に約17%弱くなっている。南向きの風が連吹することにより海水交換が弱まったことがわかる。

Case0, Case1, Case2, Case3およびCase4を対象とした8月7日における残差流(24時間50分平均)の計算結果を

図-11に示す。Case1では、鷹島南部および南東部の残差流が弱まっている。風の影響を受け流動構造が変化することにより流れが停滞し、物質輸送が抑制されていると考えられる。また、Case0, Case1およびCase4では鷹島南部の海域に反時計回りの渦が発生している。とくにCase1では、他のケースと比較して渦の規模が若干縮小しているものの、渦の中心が北東へ移動している。この海域は、1999年夏季に大量の赤潮が確認された位置と一致している。この残差流に起因した渦の発生が鷹島南部に大量の植物プランクトンを集積させ、大規模な赤潮の発生要因となった可能性が示唆される。

6. おわりに

本研究では、風を考慮する場合と考慮しない場合の流動シミュレーションを行った。南向きの風が連吹した場合は、鷹島南西部の流速が弱まり、外海との海水交換が抑制されることがわかった。それに加え、鷹島南部および南東部の流速が弱まり、流れが停滞することも明らかとなった。また、残差流により鷹島南西部に反時計回りの渦が発生し、それが大規模な赤潮を引き起こした一因である可能性が示唆された。

参 考 文 献

- (株)水理計画(1997)：伊万里湾における全窒素・全磷の類型指定，調査報告書，第4章，pp.79-82.
- 佐賀県伊万里土木事務所(1990)：平成2年度伊万里港港湾計画調査委託報告書。
- 鈴木誠二，西田修三，金城周平，小野雅史，中辻啓二(2005)：小川原湖におけるヤマトシジミの資源量変動と物質循環，海岸工学論文集，第52巻，pp.1041-1045.
- 中辻啓二(1994)：大阪湾における残差流系と物質輸送，水工学シリーズ 94-A-9，土木学会水理委員会，pp.A9.1-28.
- 長崎新聞(1999)：8月11日，朝刊，23面。
- 長崎県総合水産試験場(2006)：赤潮対策(有害プランクトンの早期識別)について，魚連だより，no.133.
- Henderson-Sellers(1985)：New formation of eddy diffusion thermocline models, Appl. Math Modeling, Vol.9, pp. 441-446.