

河川下流から河口域にかけての有毒赤潮発生機構の解明と抑制方法の検討（その2）

代表者 林美鶴 神戸大学自然科学系先端融合研究環
内海域環境教育研究センター・准教授
共同研究者 藤井智康 奈良教育大学教育学部・准教授
山本圭吾 大阪府立環境農林水産総合研究所水産技術センター・研究員

1. 目的

本研究は、淀川感潮帯で発生するシジミ麻痺性貝毒の原因種である海洋性植物プランクトン *Alexandrium tamarense* の増殖・赤潮形成原因を明らかにすることを目的としており、本年度は現場観測を実施し、海洋性種の生存を可能にする河川上流への海水遡上条件を解析した。

2. 観測方法

淀川大堰から河口までの感潮帯、約10kmに9測点を設定し、河口に横断測線を設けた。各測点ではCTD観測と表・底層の2層採水、測線ではADCP観測を行った。観測は *A. tamarense* が増殖する2~5月に実施し、そのうち3月8日の大潮及び4月2~3日の小潮時期は、一潮汐間に4又は5サイクル繰り返した。2月16日の中潮時、よおよび大潮時期の4月9日、23日、5月7日、21日には、下げ潮時に1サイクル実施した。上記全観測期間を通じて、淀川大堰での毎時の出水量、福島における10分毎の水位及び風向・風速データを、国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所から提供頂いた。

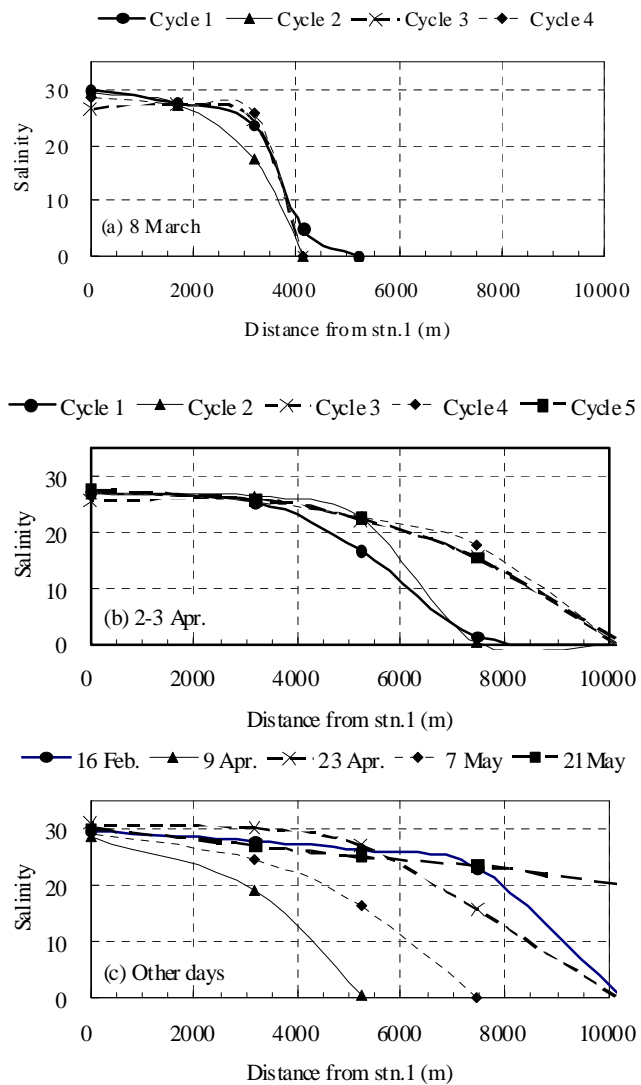


図1 遡上距離の定義

3. 結果

塩分分布で河口の底層から海水が遡上する様子が捉えられ、その範囲は変化していた。海水が分布する下流の下層において、クロロフィル濃度が高い箇所では *A. tamarense* が検出されており、この範囲ではこの種を含む海洋性植物プランクトンが分布してい

たとえられる。上流でクロロフィル濃度が高い場合があるが、この範囲は淡水であるため、淡水性植物プランクトンが増殖していたと考えられる。クロロフィル濃度分布は塩分分布と類似し、このことから海水の遡上により海洋性植物プランクトンの生息可能領域が変化していることが伺える。

そこで、海水遡上距離を以下によって定義し、定量化した。まず各測点での塩分鉛直プロファイルから最大値を抽出した。図1に示す様に、この値を測点位置（河口からの距離）でプロットし、これを平滑線をつないだ。この平滑線で、塩分10の時の距離を海水遡上距離と定義した。5月21日は、最上流のStn.9においても塩分が10以上だった。この日の最大塩分分布は、距離に対して線形に変化していることから、一次近似直線から塩分10となる距離を算術的に求めた。この日の海水遡上距離は、これ以下と考えられる。大潮時期の3月8日は距離の変化が200m以下と小さく、小潮時期の4月2~3日は距離の変化は2,700m以下だった。大潮時期の下げ潮時の観測で、距離変化は最大4,800mで大きく変化した。海水が潮流により輸送されているなら、大潮である3月8日の方が4月2~3日より、遡上距離が長く且つ大きく変化するはずである。一方、一般に潮流が弱いと河口循環流が発達する。すなわちこの結果は、海水輸送にとって河口循環流の寄与が大きいことを示している。

4. 考察

4-1 大潮下げ潮時における海水遡上距離変動

3月8日の下げ潮時間帯（第2サイクル）及び4月9日以降の大潮時期は、いずれも下げ潮時間帯で観測を実施した。そこで、各日の潮流の状態は類似しており、海水遡上距離の違いは主に河口循環流に依存すると考えて、この場合に河口循環流の強さは河川流量に依存することから、海水遡上距離と河川流量の関係を検討する。河川流量は、いずれの日も数日前から段階的な変化があり、観測期間中は安定していた。各日の河川流量として、観測前から、一潮汐周期である12時間の平均値を用いた。

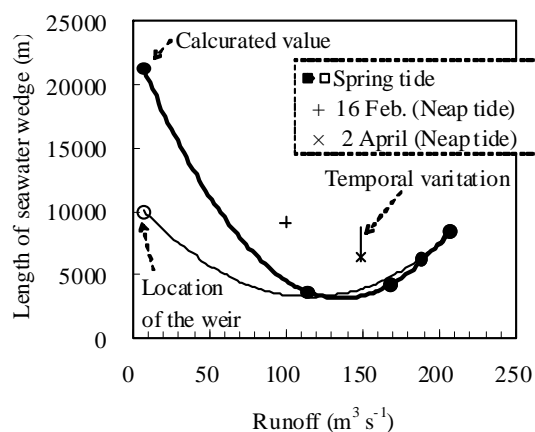


図2 河川流量と遡上距離の相関

平均河川流量と遡上距離の相関を図2に示す。丸印が大潮下げ潮の結果で、これを元に近似曲線を描いた。太線は、淀川大堰まで海水が占めた5月21日について算術的に求めた遡上距離を用いた場合で、淀川大堰の距離を用いた場合が細線である。実際の近似曲線はこの間に存在する。各近似曲線の相関係数は1.0と0.99で、極めて高い相関が見られた。遡上距離と流量との間には、下に凸の二次関数の関係が見られた。これは距離を最小にする河川流量があり、河川流量が多くても少なくても海水遡上距離が伸びる事を示している。2本の近似曲線から距離を最小にする河川流量を求める

と、3205mで $116\text{m}^3\text{s}^{-1}$ 、及び3083mで $136\text{m}^3\text{s}^{-1}$ だった。後述する通り、3月8日は河川流量が安定しており、その場合一潮汐内での遡上距離の時間変動は小さい。よってここで得られた関数は、下げ潮以外の潮汐でも利用できる可能性がある。河川流量が多い場合、河口循環流が発達して距離が大きくなると考えられる。4月9日、23日、5月7日の河口での流速分布では流量がより少なかった3月8日に比べ、上下層の流速差が大きく、河口循環流がより強かったことが示唆される。河川流量が少ない場合は、潮流による海水輸送で遡上距離が大きくなると考えられる。河川流量が極端に少なかった5月21日の河口での流速は下げ潮時の観測結果のため潮流の流入が捉えられていないが、他の日に比べ流速が弱く且つ上下層の流速差が小さく、河口循環流が弱い事が伺える。図2には小潮時期の2月16日（高潮）及び4月2日（下げ潮の第2サイクルと当日の変動幅）の結果も示しており、いずれも大潮よりも遡上距離が伸びる。これは弱混合により河口循環流が強化されるためだと考えられる。

4-2 一潮汐間の海水遡上距離変動

一潮汐間の隔時観測において河川流量はほぼ一定で、河川流量の変化による河口循環流の変化はなく、これによる海水遡上距離の変化はないと考えられる。河口での流動には、潮流と河口循環流が含まれている。河口での流速を上層(0~1.0m)と下層(1.0m~河床)に分けて平均した。上下層の流速の関係を図3に示す。実線示した回帰線から、3月8日の両者には高い線形の相関性があり、 $(\text{上層流速})=0.4\times(\text{下層流速})+13.6$ の近似式が得られる。流れが潮流だけであれば、図中に点線で示した $Y=X$ で変化するはずである。つまり得られた式は、線形の変化で潮流成分を、傾きと切片で残差流を表現している。この日の河口の水深は2.3~2.8mで、平均2.5mとすれば下層の層厚は上層の1.5倍である。これと傾き、つまり上下層の流速比から、下層からの流入量は上層からの流出量の60%となる。流出量には河川水が含まれるため、流出量の方が大きいことは妥当である。切片については、Y切片 13.6cms^{-1} は上層からの流出がない場合の下層からの流入を、X切片の 34.1cms^{-1} は下層からの流入がない場合の上層からの流出を表す。これらに層厚をかけると、やはり流入は流出の60%となる。この様に大潮では、その時に河川流量に応じて安定した河口循環流が形成され、それに潮流が加わる流動構造にあり、河口での流速の変化は潮流によると考えられる。また底層から流入した海水は、強混合により、この日の河川流量下では3km強までしか遡上しなかった。

一方4月2~3日は非線形に変化する。下層の流向が極大の時 $Y=X$ に近く潮流成分が強いが、その間潮流が弱くなると $Y=X$ から離れる。回帰曲線と $Y=X$ との差が残差流、ここでは主として河口循環流であり、その流速は潮流よりも大きく、又下層流速が正となる面積が負となる面積より大きい。この様に4月2~3日は、弱い潮流に時間変動する大きな河口循環流が加わり、下層では多くの時間で海水が供給され、弱混合により上流まで輸送されたていたと考えられる。この河口循環流は河川水に駆動されるが、流量は一定だったため、時間変動はそれ以外の要素に起因している。

以上を把握した上で、遡上距離と流速及び水位との相関を検討した。海水遡上距離

と流速の相関を図4に示す。3月8日の遡上距離の変動幅は小さく、且つ流速との関係は不明瞭であった。一方4月2～3日は、距離が下層での流速と概ね線形にตอบสนองし、流出する時に遡上距離が最も小さくなる。海水遡上距離と水位の相関は、いずれの日も楕円を描く様な変化が見られたため、各点の潮汐を確認したところ類似した潮汐で点が集まっていた。そこで、海水遡上距離の偏差（各日の平均遡上距離からの差）を各日の変動幅（最大－最小）で割ることによりデータを標準化し、図5の通り類似潮汐に分けて図示した。Y軸が大きいほど遡上距離が長いので、高潮で遡上距離が長く、低潮で低く、その間は上げ始めや下げ始めで距離変化が大きい非線形性があり、且つ上げ潮と下げ潮ではヒステリシスがある。

大潮、小潮で一潮汐内での海水遡上距離についてまとめると、3月8日の大潮では、安定した河口循環流に潮流が加わり、河口の流速は潮流で変化した。海水は強混合のためあまり遡上せず、その変化は小さく、河口での潮流とは関係性がない。一方水位とは応答した。これには潮流と潮位の位相差が影響している可能性があるが、いずれにせよ変化は小さい。4月2～3日の潮流は弱く、これに強く且つ時間変動する大きな河口循環流が加わり、これにより海水が上流まで輸送された。遡上距離の変化は大きく、距離の変化は、河口循環流と潮汐の両方にตอบสนองした。河口循環流の時間変動が河川流量以外の要素に起因するので、河口循環流の強さが潮汐にตอบสนองして変化している可能性を示唆している。一般に河口循環流の強さは一潮汐間の平均値によって捉えられているが、一潮汐内で変化について定量的に検討する必要がある。

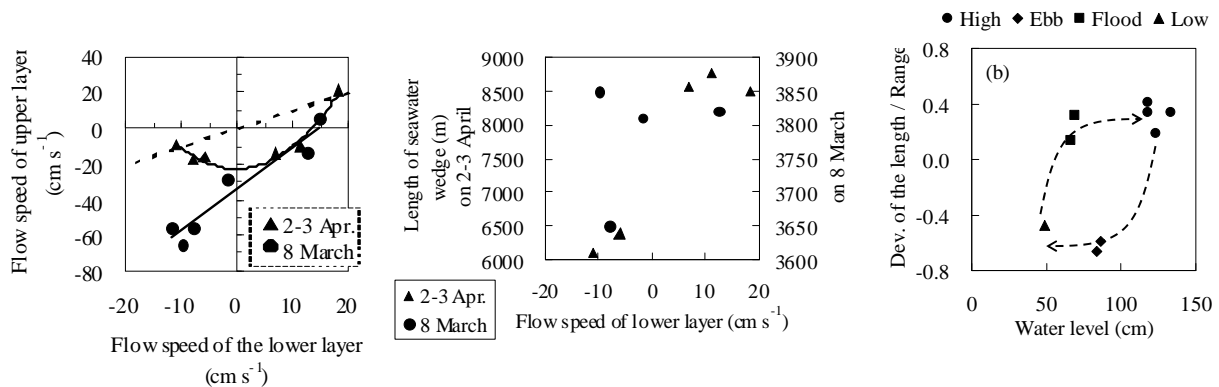


図3 上下流速の関係 図4 遡上距離と流速の相関 図5 遡上距離と水位の関係

5. まとめ

大潮では、2日程度前から概ね安定した河川流量の場合、海水遡上距離を最小にする河川流量があり、116～136 m³s⁻¹の範囲で流量を制御すれば、遡上距離を3083～3205mで止めることができる。大潮では潮流が強いため河口循環流が小潮に比して弱く、一潮汐間の遡上距離変化は小さいため、遡上距離は河川流量に依存すると考えてよい。一方、潮流が弱くなると河口循環流が強化されるため、海水遡上距離は伸びる。小潮時に見られたように、その変化は一定河川流量時においても大きく、潮汐にตอบสนองしている可能性があるため、さらなる検討が必要である。