

淡水流入が諫早湾の水質動態に及ぼす影響について

Influence of Fresh Water's Inflow upon Water Quality Dynamics in Isahaya Bay

多田彰秀¹・中村康裕²・阿部和也³・田井 明⁴・鈴木誠二⁵・中村武弘⁶

Akihide TADA, Yasuhiro NAKAMURA, Kazuya ABE, Akira TAI
Seiji SUZUKI and Takehiro NAKAMURA

In order to reveal the influence of fresh water's inflow upon the dynamic characteristics of water quality in Isahaya Bay, this study deals with in situ measurement by means of not only water quality measuring sensors but also a floating buoy. The obtained results were as follows: (1) It was realized that the front of fresh water which drained from the regulation pond was coming up north along the sea-dyke during flood tide. (2) The inflow of fresh water into Isahaya Bay has advanced the stratification between fresh water and marine water so that *Chattonella* red tide enhanced from Konagai to Takezaki Island.

1. はじめに

近年、諫早湾の調整池北部排水門から小長井町、竹崎島地先にかけての諫早湾北側海域においては、密度成層が発達する夏季に赤潮および貧酸素水塊が頻繁に出現している。また、この時期には梅雨前線の停滞や台風来襲に伴う大雨が多発し、筑後川に代表される一級河川や淡水化した調整池から諫早湾内へ多量の淡水が流入している。これらの挙動については、鯉淵ら(2003)が諫早湾口北側で実施した連続観測結果に基づき、諫早湾の水塊構造に風と筑後川からの淡水流入の影響の大きさを指摘している。さらに、竹之内ら(2008)は、諫早湾湾口部における塩分やクロロフィルa(以降、Chl-aと略記する)の動態と赤潮発生との関連性を明らかにするため、潮流流速、水温、塩分の連続観測を行い、湾口部で計測された表層塩分の急激な低下が筑後川での大洪水の影響によることを明らかにした。また、齋田ら(2010)は、諫早湾内における低塩分水の挙動を把握するため現地観測を行い、満潮時に竹崎島沖表層で観測されたパッチ状の低塩分水が諫早湾内に流入する河川または調整池からポンプ排水によって供給されたものであること、さらに、風の吹き寄せ効果によって諫早湾北部で低塩分水の層厚が増大するとともに、南部で底層水の湧昇が発生していることを報告している。しかしながら、諫早湾に流入する淡水の挙動とそれらが水質動態へ及ぼす影響について詳しく分析した既往の研究は少ない。このようなことを踏

まえて、本研究では、赤潮の移流等にも関与すると考えられる一級河川および調整池からの淡水流入に着目し、現地観測データに基づき、それらが諫早湾の水質動態に及ぼす影響について考察を加える。とくに、淡水流入と赤潮発生との関連性について詳しく検討する。

2. 現地観測の概要

(1) 多項目水質計を用いた水質指標に関する隔日観測

図-1に表示されている観測点M0～M6の7地点において、2009年7月27日から8月28日の約1ヶ月間、多項目水質計(JFEアドバンテック(株)製Model-AAQ1183)を用いて、水温、塩分、溶存酸素濃度(以降、DOと略記)、濁度、クロロフィルa(Chl-a)およびpH等の水質指標に関する鉛直分布を、基本的に隔日で計測した。なお、毎回の観測は9:00～10:20の同一時間帯で実施された。

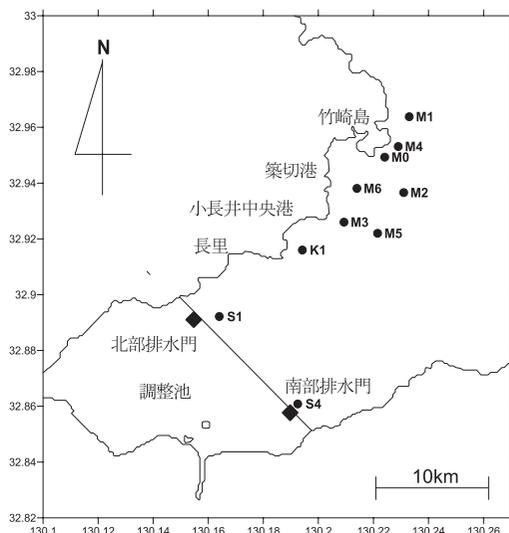


図-1 諫早湾の観測点

- | | | |
|--------|------|--------------------------|
| 1 正会員 | 博(工) | 長崎大学教授工学部 |
| 2 正会員 | | 東亜建設工業(株) |
| 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 | 博(工) | 九州大学特任助教大学院工学研究院 |
| 5 正会員 | 博(工) | 長崎大学助教工学部 |
| 6 正会員 | 博(工) | 長崎大学教授環境科学部 |

(2) 漂流ブイを用いた淡水フロント部の現地観測

2009年8月3日には、諫早湾干拓調整池の南部排水門から排出された淡水の挙動を把握するため、図-1中のS4近傍に漂流ブイを投入してLagrange的な表層流の観測を行った。すなわち、メモリー式GPS（GARMIN社製）を内蔵したブイを使用し、測定間隔を30秒に設定して緯度・経度の記録を行った。ブイはGPSを取り付けるための直径100mmの半球型のドームを設けた直径300mm、高さ50mmの円柱形の浮体と、幅225mm、高さ450mmの塩化ビニル製の板4枚を十字に組み合わせた抵抗体から構成されている（齋田ら、2008）。全高は約700mmで海水に浮かべた場合、約100mmが水面上に出るように調節した。また、淡水フロントおよび漂流ブイの移動に影響が及ばない距離を確保しつつ、上述した多目的水質計を用いて淡水フロント部における水温、塩分および濁度等の鉛直分布も計測した。なお、図-2は漂流ブイを投入してLagrange的な表層流の観測を行った時間帯を示したものである。

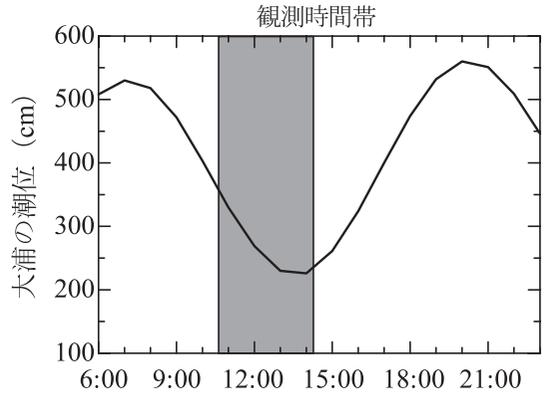


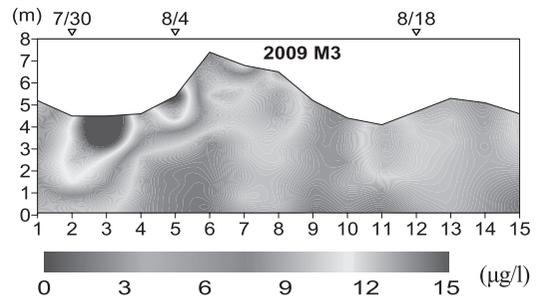
図-2 漂流ブイを用いた淡水フロント部の観測時間帯

3. 観測結果および考察

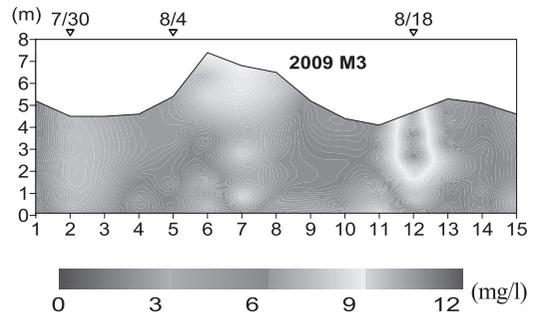
(1) Chl-a, DOおよび σ_t のイソプレット

図-3は、築切港近傍の測点M3で計測されたChl-aとDOのイソプレットを示している。2009年7月30日および2009年8月4日の水表面近傍にChl-aの高い値が確認される。長崎県総合水産試験場（2009）の2009年度赤潮速報に基づけば、7月30日に築切港周辺で、8月4日には小長井中央港周辺でシャットネラ赤潮の発生が報告されている。また、同海域で2008年夏季にChl-aの高い値とほぼ同時に出現した貧酸素水塊（DOが2mg/l以下の水塊）が、2009年夏季の底層においては生じていない。これは、7月末より北風が断続的に吹き、水表面から酸素の供給が十分になされていたためと判断される。さらに、 σ_t のイソプレットに着目すると、観測期間前半（2009年7月27日～8月4日）において σ_t の小さな水塊が確認できる。これは、2009年7月25～26日の大雨に伴う河川からの淡水流入および調整池からの排水（2009年7月26日および2009年8月3日）による影響と判断される。

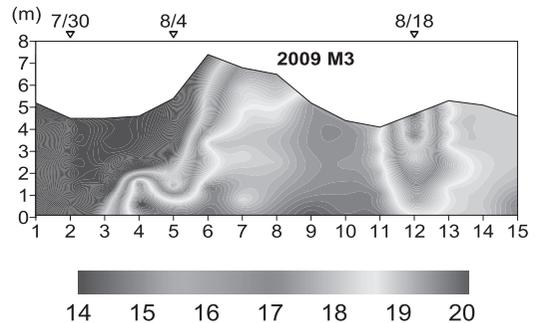
図-4は、諫早湾湾口部に位置する竹崎港口の測点M0で計測されたChl-a, DOおよび σ_t のイソプレット図である。測点M3とほぼ同様な現象が確認できるもの、8月4日の水表面近傍で高い値のChl-aは出現していない。このことは、8月4日に測点M3で計測されたChl-aの高い値の水塊が、諫早湾内の水域、とくに潮受け堤防から小長井中央港地先にかけての水域を起源とするものと考えられる。言い換えれば、8月4日に測点M0で観測された水塊は、測点M3に出現したものと同一起源の水塊とは言い難い。なお、図-5は、長崎県総合水産試験場（2009）の2009年度赤潮速報に基づいて作成した小長井中央港口で



(a) Chl-a

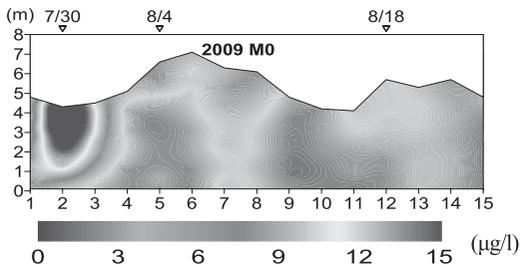


(b) DO

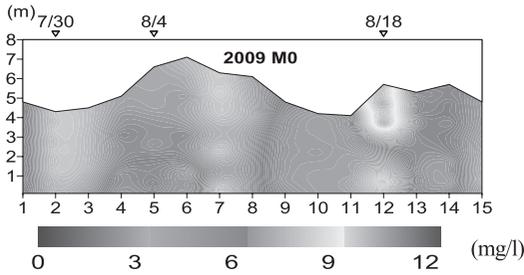


(c) σ_t

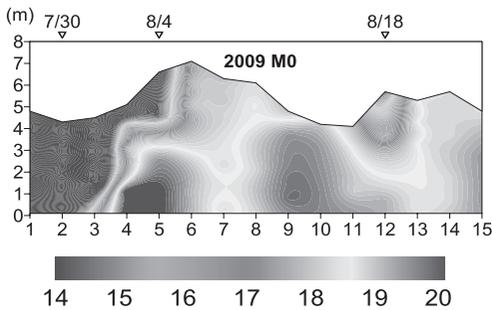
図-3 測点M3におけるChl-a, DOおよび σ_t のイソプレット



(a) Chl-a



(b) DO



(c) σ_t

図-4 測点M0におけるChl-a, DOおよび σ_t のイソプレット

のシャットネラ赤潮個体数の時間的変化を示したものである。シャットネラ赤潮の個体数が、約10,000cells/ml程度出現しているのは、2009年8月1日および2009年8月4日であり、測点M3でのChl-aのイソプレットから確認された知見と一致している。

(2) 鉛直成層度とDOとの関係

Lie et al. (2006) に倣って、諫早湾における成層度の時間的変動を定量的に把握するため、次式を用いて水柱のポテンシャルエネルギー (P) を算出する。

$$P = \frac{1}{H} \int_{-H}^0 (\rho - \bar{\rho})gz \cdot dz \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 H は水深、 ρ は密度、 $\bar{\rho}$ は密度の鉛直平均値、 g は重力加速度、 z は水表面から鉛直上向きに取った座標である。一般的に言えば、 P の値が大きいくほど成層が発達しており、水柱が有するポテンシャルエネルギーは大きい。す

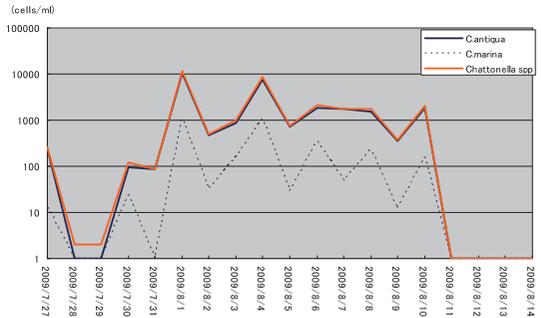


図-5 シャットネラ個体数の時間的変化 (小長井中央港口)

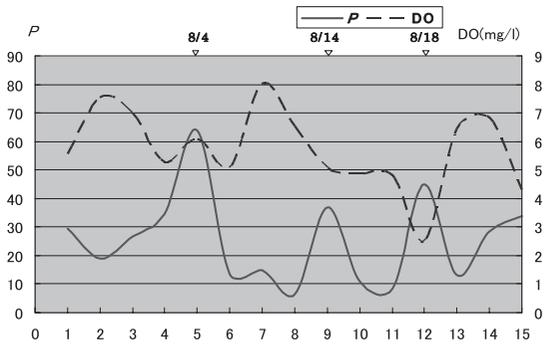


図-6 2009年夏季の鉛直成層度とDOとの関係 (測点M0)

なわち、 P は密度成層の強さを表す指標であるといえる。

図-6は、竹崎港口の測点M0において計測された2009年夏季の σ_t とDOの観測データに基づき、(1)式を用いて算出した鉛直成層度 P (図中の実線)と海底面上1mで計測されたDO(図中の破線)の時間的変化を示したものである。図より2009年8月4日の成層度は60を超えて大きいことが確認できる。この時のDOの値は、2008年夏季のように2mg/l以下の小さな値(多田ら; 2009)を示していないことも分かる。

(3) 調整池南部排水門から排出された淡水の挙動

図-7は、諫早湾調整池の南部排水門から排出された淡水の挙動を解明するために投入された漂流ブイの軌跡を●印で示したものである。投入後、淡水フロント(潮目)にトラップされた漂流ブイ(写真-1参照)は、北北東に向かうとともに、次第に北北西に進路を変えて北上し続けた。また、図-7には船上からの目視観測による13:50~14:06ならびに15:16~15:45における淡水フロントの拡がりを破線で示している。観測中の潮汐条件は、大半が上げ潮であり、風向は北北東であった。このような海象・気象条件にもかかわらず、調整池の南部排水門から排出された淡水は、潮汐(上げ潮)の影響を受けながら、潮受け堤防に沿って北上し続けた。

図-8は、淡水フロント近傍で計測された塩分およびSSの鉛直分布を示している。図中には、観測開始直後の

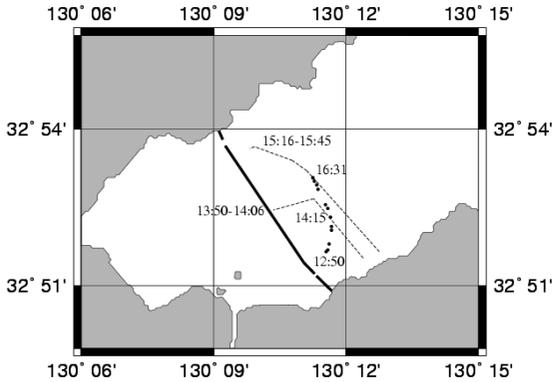


図-7 漂流ブイの軌跡 (2009年8月3日)



写真-1 淡水のフロントにトラップされた漂流ブイの状況

12:50 (太実線), 14:15 (破線) および観測終了直前の16:31 (太破線) が併記されている。SSについては、観測当日に採水した淡水を分析して得られたSSと多項目水質計の濁度の換算式を用いて算出した値である。これらの図より、塩分は表層から水深1m前後までに5から15程度に上昇し一定値を取るとともに、水深2.5m付近で再び25前後まで増加していることが分かる。また、水深

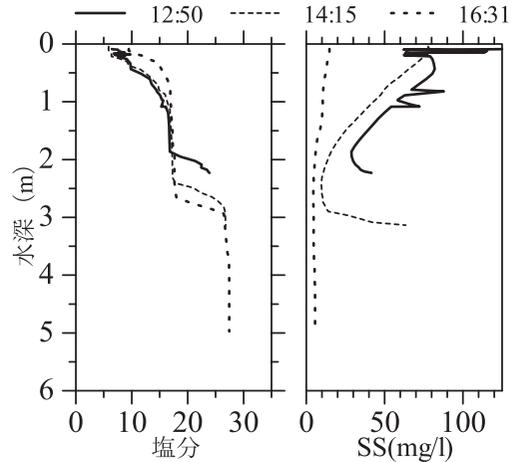


図-8 淡水フロント近傍の水質の鉛直分布

2.5m付近の塩分躍層の位置は、時間とともに深くなっていることも確認される。一方、SSは観測開始直後(12:50)に100mg/lを越える値となっており、高濃度な濁水と判断される。その後、時間とともにSSの値が減少していることも分かる。なお、16:00前後から吹き始めた風による波高の増大に伴って16:30ごろには淡水フロントが目視不可能となった。このため、漂流ブイを用いた淡水フロント部の現地観測を中止することになった。

(4) 竹崎島周辺海域でのChl-aの平面分布

図-9は、シャットネラ赤潮が発生した2009年8月4日(南部排水門から諫早湾へ淡水流入があった翌日)におけるChl-aの水表面および水表面下1mでの平面分布である。図に基づけば、小長井町長里から小長井中央港の広い範囲にわたってChl-a濃度が高い値を示していることが確認される。さらに、図-10は2009年8月4日の測点M0, M3,

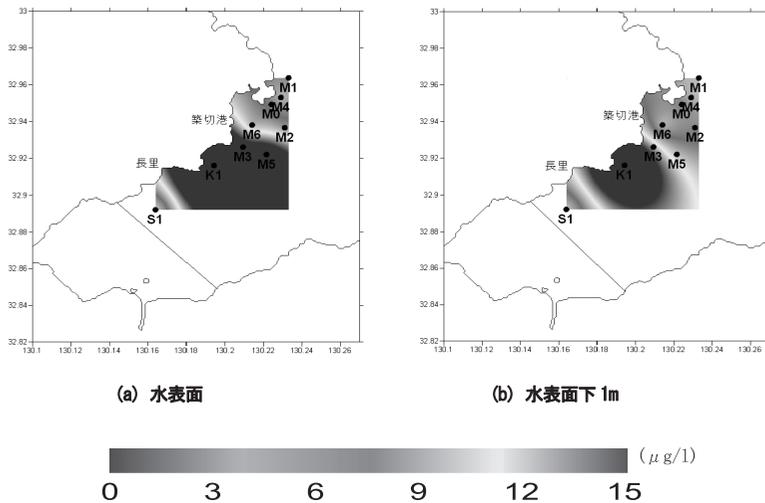


図-9 Chl-aの平面分布 (2009年8月4日)

K1, S1におけるChl-aの鉛直分布を比較したものである。調整池北部排水門地先の測点S1と測点M3との間に位置する小長井小学校地先(測点K1)でChl-aが最大値を示していることも分かる。これは、小長井町長里から小長井中央港にかけての沿岸地形の影響を受けて、調整池から排水された淡水が長期にわたってトラップされやすいためと推測される。

4. おわりに

本研究では、諫早湾に頻発する赤潮の移流等にも関与すると考えられる一級河川および調整池からの淡水流入に着目し、水質の隔日観測およびLagrange的な表層流の観測データに基づき、それらが諫早湾の水質動態に及ぼす影響について考察を加えた。その結果、以下のように明らかとなった。

- (1) 2008年夏季と同様にシャットネラ赤潮の発生とともに高い値のChl-a濃度を水表面近傍で計測することが出来た。
- (2) 調整池の南部排水門から排水された淡水は、水表面から水深2.5mまでの上層を上げ潮の影響を受けながら、潮受け堤防に沿って北上することが確認された。
- (3) 調整池からの淡水流入があった翌日(2009年8月4日)、小長井町長里から小長井中央港の広い範囲で高い値のChl-a濃度が確認された。とくに、小長井小学校地先(測点K1)の表層でChl-aが最大値を示しており、2009年8月3日の淡水流入が当該水域の塩淡水層を促進させるとともに、シャットネラ赤潮を増強させたものと推測される。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所からは筑後川の流量データをご提供頂きました。また、水温、塩分およびChl-a等の隔日観測では、長崎大学大学院生産科学研究科環境システム工学専攻を修了した今林清秀君から多大なご協力を頂きました。さらに、佐賀県大浦漁業協同組合の大鋸辛弘船長にご協力頂きました。なお、本研究は日本学術振興

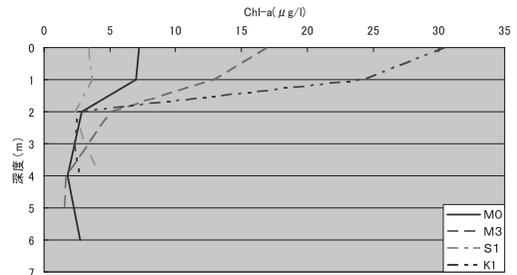


図-10 Chl-aの鉛直分布 (2009年8月4日)

会科学研究費補助金基盤研究A「諫早湾における物理・生物環境の総合調査-6.27諫早湾干拓佐賀地裁判決を受けて-」(研究代表者:松永信博, 課題番号21246078)の援助を受けて実施された。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 鯉淵幸生・佐々木 淳・有田正光・磯部雅彦(2003):有明海における水質変動の支配要因, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.971-975.
- 齋田倫範・矢野真一郎・田井 明・重田真一・小松利光(2008):筑後川から有明海へ流入する河川水の挙動, 水工学論文集, 第52巻, pp.1327-1333.
- 齋田倫範・田井 明・橋本彰博・大串浩一郎・多田彰秀・松永信博・小松利光(2010):諫早湾内における低塩分水の挙動に関する現地観測, 水工学論文集, 第54巻, pp.1543-1548.
- 竹之内健太・多田彰秀・中村武弘・森英二郎(2008):2007年夏季の諫早湾湾口部における塩分とクロロフィルaの動態について, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.1011-1015.
- 多田彰秀・阿部和也・中村武弘・竹之内健太(2009):2008年夏季の諫早湾で発生した赤潮および青潮と水質動態の関連について, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.B2-65, pp.961-965.
- 長崎県総合水産試験場(2009):赤潮速報, <http://www.marinelabo.nagasaki.nagasaki.jp/index.html>
- Lie, Heung-Jae, Cheol-Ho Cho, Seok Lie and Eun-Pyo Lim(2006): Change in the hydrodynamic regime with an indication of depletion after the dyke closure in the Saemangeum area, Proc. Marine Environmental Change by Large Tidal Flat Developments: Comparative Study on Saemangeum, Korea and Isahaya, Japan, pp.29-43.