

# 諫早湾干拓調整池の北部水域における水質変化の現地観測

上原勇一\*・西田渉\*\*・鈴木誠二\*\*・野副泰裕\*

## Field Observation on Water Quality Changes at Northern Area of Isahaya Flood Regulation Pond

by

Yuichi UEHARA\*, Wataru NISHIDA\*\*, Seiji SUZUKI\*\* and Yasuhiro NOZOE\*

In closed water area, the adequate methods on water quality management are required for the prevention of eutrophication. It is essential to understand the temporal and spatial changes of organic matters and nutrimental ones in water area. In this study, the field observation was carried out to grasp the water quality condition at the northern area of Isahaya flood regulation pond. According to the obtained results, although the vertical variations of observed water quality indices were not large, turbidity and concentration of suspended solids took large value near the water bottom. Water temperature and concentration of chlorophyll-a had diurnal variation. The attenuation coefficient of light quantum was estimated as  $6.0\text{m}^{-1}$ , approximately. Absorption rate of light quantum at water surface was about 50% in this pond.

**Key words:** field observation, water quality, temporal and special change, Isahaya regulation pond

### 1. はじめに

閉鎖性の強い水域では、河川等に比べ流れがゆるやかであるために物質が蓄積され、富栄養化を生じやすい。富栄養化は、窒素やリン等の栄養塩が水域へ過剰に供給されるために生じ、植物プランクトンの大増殖や水域内の貧酸素化等を生じさせる要因となる。諫早湾干拓調整池は、閉鎖性の強い水域であり、近年、植物プランクトン的一种であるアオコの異常繁殖が観察されている。アオコは、水面に薄皮状に広がり景観を損ない、不快な臭気を発することから抑制対策を講じる必要がある。また、アオコの増殖は流域からの栄養塩の流入に伴う水域内の栄養塩の濃度の上昇や、水温や日射量、滞留時間等の条件が整うことにより起こるが、動物プランクトンによる捕食等、他の生物との相互関係にあることから、アオコの発生機構は、複雑に変化するものであり、発生、終息の時期を特定し

難い。当調整池では、表土流出防止対策として農業排水の浄化や増殖抑制対策として抽水植物を用いた実証実験等が講じられてきている<sup>1)</sup>。しかしながら、それらの抑制対策については、より効率的な対策の検討が必要とされており、水域内での物質の時空間変化の把握が不可欠である。ここで、過去の研究を述べておくと、当調整池では、水質<sup>2)</sup>や水温<sup>3,4)</sup>に関する研究がなされてきている。また、調整池内のクロロフィル(Chl)と有機態窒素(ON)、有機態リン(OP)には、強い相関関係があり、OPとCODとの相関も強いことも明らかにされ<sup>5)</sup>。窒素やリンの濃度から植物プランクトンの現存量を把握し得ることが示唆されている。

本研究では、諫早湾干拓調整池の北部水域における水質変化を明らかにするために、現地観測を行い、水質の現状の把握を試みた。

平成 26 年 7 月 8 日受理

\* 工学研究科博士前期過程 (Graduate School of Engineering)

\*\* システム科学部門 (Division of System Science)

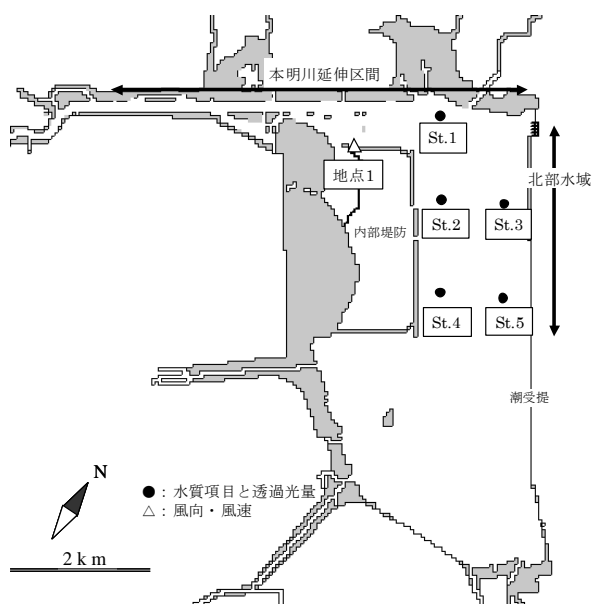


Fig. 1 諫早湾干拓調整池の概要

## 2. 現地観測の概要

諫早湾干拓調整池の概要と観測地点は Fig. 1 のとおりである。観測は 2014(平成 26)年 5 月 8 日 13 時～9 日 11 時に実施した。観測地点は本明川延伸区間と北部水域に合計 5 箇所とし、延伸区間内(St. 1)に 1 地点、北部水域の内部堤防側に 2 地点(St. 2, St. 4)と潮受堤側に 2 地点(St. 3, St. 5)である。測定項目は浮遊懸濁物質(SS)、濁度、クロロフィル(Chl)-a、塩分、溶存酸素(DO)、水温である。SS に関しては、船上で採水し、帰船後に分光光度計(HACH 社製/DR2010)を用いて測定した。採水位置は、水底から 0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 1.5m と表層である。その他の項目は、直読式総合水質計(アレック電子社製/AAQ1183)を用いて測定している。加えて、9 日の午前中には、短波放射による水中への熱供給量の推定のため、光量の鉛直分布を光量子計(英弘精機社製/ML-020P)を用いて測定した。この計測は水面直上と水深方向に 0.1m 間隔で実施した。観測日には、調整池内で風向・風速の連続観測を図中の地点 1 にて行っている。

## 3. 現地観測の結果・考察

### 3.1 水質の時空間変化

#### (1) SS

Fig. 2, 3 に風速の時間変化と SS の鉛直分布の結果を示す。図には、比較例として、Rouse の分布式(式(1))から算定された結果を併記している。なお、実測値①、②については、St. 1 の 9 日 6 時と St. 5 の 8 日 17 時の

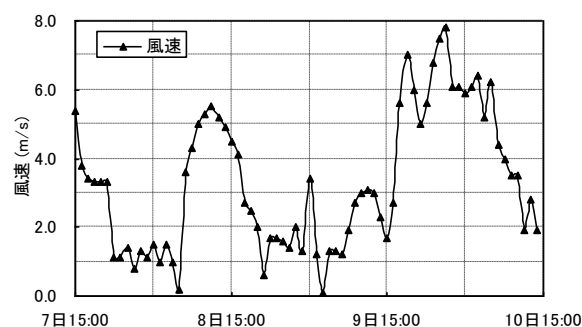


Fig. 2 風速の時間変化

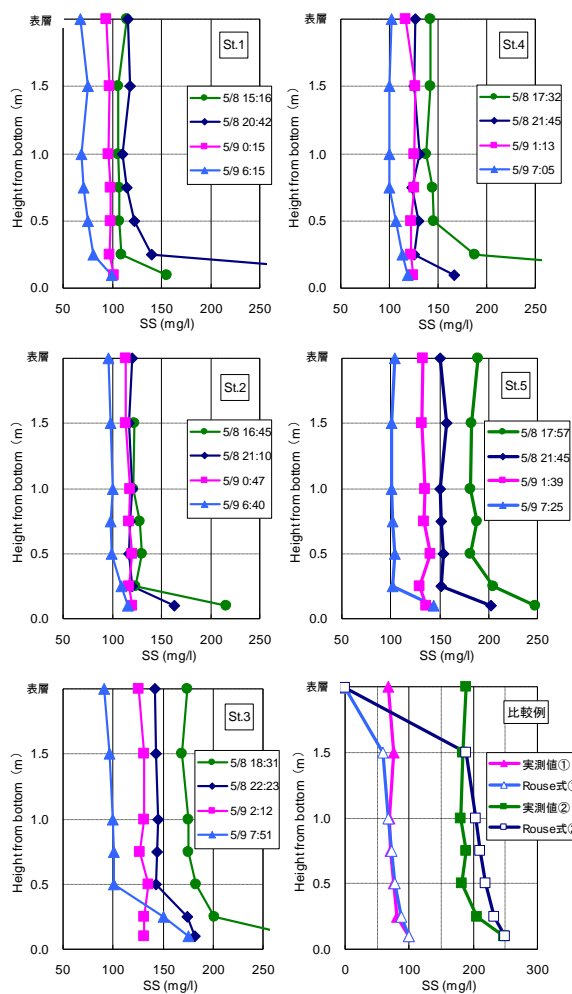


Fig. 3 SS の鉛直分布

測定値である。

$$\frac{C}{C_a} = \left( \frac{D-z_r}{z_r} \frac{D-z_a}{z_a} \right) \zeta \quad (1)$$

ここに、 $C$ : 浮遊砂濃度、 $D$ : 観測地点の全水深、 $C_a$ : 水底からの高さ  $z_a (=0.05D)$  における浮遊砂濃度、である。式中の  $\zeta$  に関しては、実測値と算定値の比較から、0.07 と 0.13 としている。

## 諫早湾干拓調整池の北部水域における水質変化の現地観測

Fig. 2 によると、当調整池での風は昼間に強く、夜間になるに連れて弱くなる日周期的変化を示しており、観測期間の風速は、0.1～5.2m/s の間を推移している。SS の鉛直分布はほぼ一様であるが、底層付近では深夜を除いて著しく高くなる傾向がある。風の観測値と併せて見ると、SS は調整池上を吹く風に伴った変化を示すと推測される。時間変化については全ての地点で朝方に低く、延伸区間を除いて夕方に高くなる。また、水底からの高さ 0.5m から表層までの SS は、延伸区間で 68～122mg/l、内部堤防側の 2 地点で 96～130mg/l と 100～146mg/l、潮受堤側の 2 地点で 91～183mg/l と 101～189mg/l の間を推移している。これらの結果から、SS は延伸区間で比較的低いが、潮受堤側では高いことがわかる。さらに、潮受堤側の水域では一日の濃度差が大きい、内部堤防側では小さいことも考えられる。Rouse の分布式に関して、実測値①との適合性は概ね良好であるが、実測値②については、鉛直分布の概形を捉えているものの、水底からの高さ 0.25m から 1.0m までの算定値は実測値との適合が良くない。これは、水底付近の濃度が極めて高いことが原因として考えられる。

## (2) 濁度

Fig. 4 に濁度の鉛直分布を示す。なお、濁度、Chl-a、塩分、D0、水温に関しては、中央水域よりの潮受堤側で 8 日 22 時の観測が欠測している。鉛直分布に関しては、全ての地点でほぼ一様となる結果を得た。水底付近では先に述べた SS と同様に高くなる傾向がある。時間変化に関しては、延伸区間で観測開始時に最大となり、経時的に緩やかに低下する。その他の地点でも同様に、夕方に最も高く、その後、翌朝まで低下が続く。また、水深 0.0m から 1.0m までの濁度は、延伸区間で 50.4～76.5FTU、内部堤防側の 2 地点で 69.1～84.9FTU と 61.8～94.8FTU、潮受堤側の 2 地点で 63.1～107.0FTU と 68.3～112.4FTU の間で推移している。これらの観測結果から、濁度は延伸区間で比較的低く、潮受堤側では高いことに加えて、一日の濁度の変化が潮受堤側の水域で大きく、内部堤防側では小さいことが推測される。この結果は、第(1)項で述べた SS の観測結果と同様な変化を示しており、両者は水の濁りの指標であることから、こうした共通性が現れたものと推察される。

ここで、SS と濁度との関係を Fig. 5 に示す。同図には両者の回帰式と決定係数( $R^2$ )を併記している。なお、水底からの高さ 0.25m から表層までの測定値を表示している。この図によると、濁度は SS に対して正の相関にあることが分かる。決定係数に関しては、0.8434 で

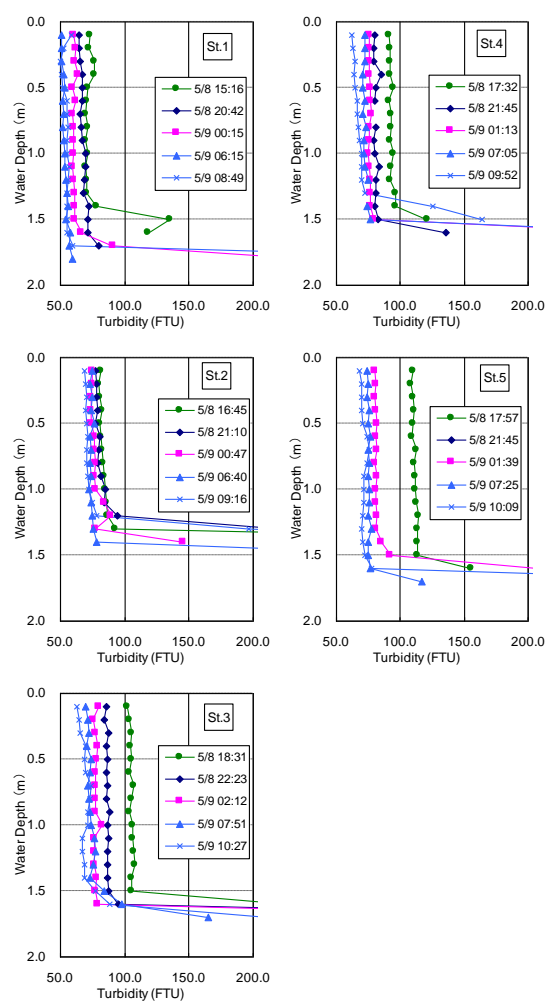


Fig. 4 濁度の鉛直分布

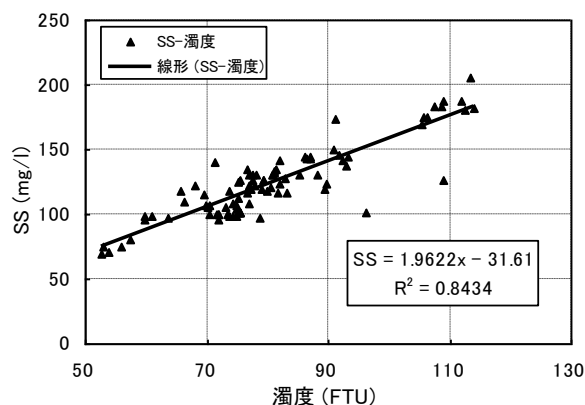


Fig. 5 SS と濁度との関係

あり、強い相関関係にある。この結果から、調整池の濁度は、SS によって概ね把握できるものと思われる。

## (3) Chl-a

Fig. 6 に Chl-a の測定値を示す。鉛直分布に関しては、夕方から深夜にかけて概ね一様である。一方で延伸区間では朝方に表層付近で低く、北部水域の St. 2, 3

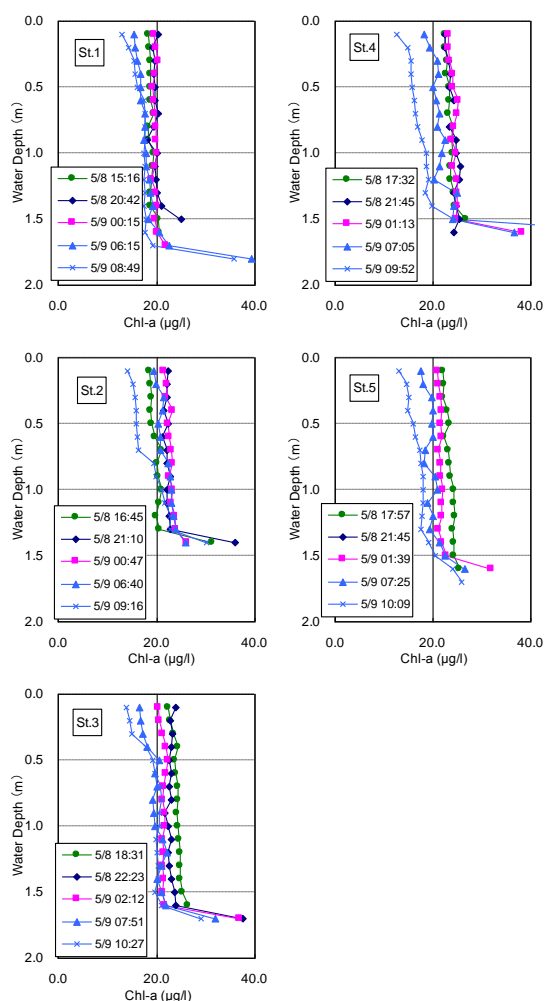


Fig. 6 Chl-a の鉛直分布

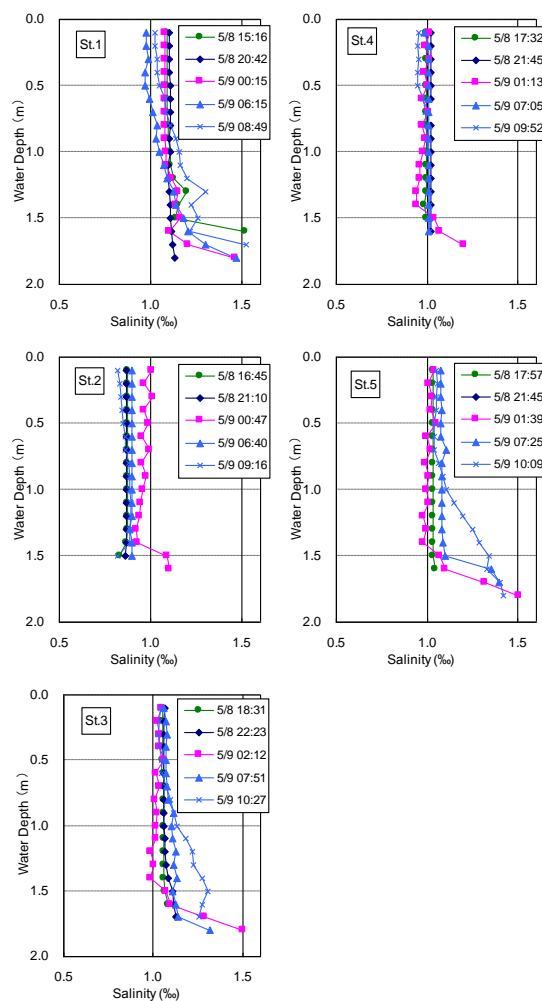


Fig. 8 塩分の鉛直分布

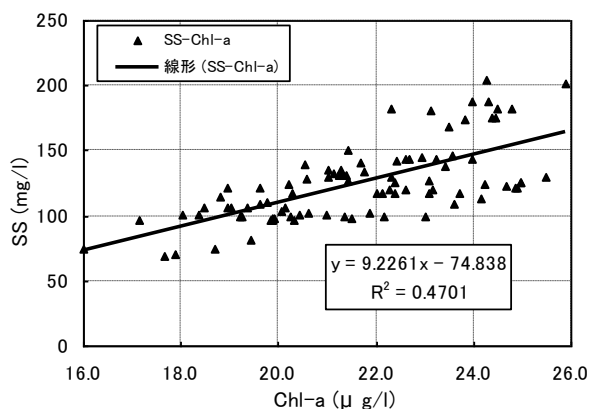


Fig. 7 SS と Chl-a との関係

では、朝方に水深 0.7m と 0.3m 以浅で低下する。また、中央水域よりの St. 4, 5 では、午前中に濃度が著しく低下する。時間変化に関しては、延伸区間で夕方から深夜に変化が小さく、朝方に表層付近のみ低下する。内部堤防側の St. 2, 4 では、夕方から増加し、夜間に最大となった後に、経時的に低下する。潮受堤側の St. 3, 5

地点では、夕方に最大となり、朝方まで緩やかに低下を続ける。Chl-a は植物プランクトンに含まれるため、その指標となる<sup>6)</sup>ことから、当調整池における植物プランクトンは朝方に延伸区間と内部堤防側で表層付近でのみ減少し、潮受堤側では全水深で減少すると考えられる。

ここで、SS と Chl-a との関係を Fig. 7 に示す。同図には、各関係の近似曲線と決定係数 ( $R^2$ ) を併記している。なお、水底からの高さ 0.25m から表層までの測定値を用いている。Chl-a は SS に対して正の相関を示し、決定係数に関しては 0.4701 である。これは、Chl-a を持つ植物プランクトンが水中の浮遊物質として SS に含まれるために、正の相関関係を得たと考えられる。この結果から、Chl-a については、SS によって把握できるものと考えられるが、SS から Chl-a を精度よく求めるためには、継続して現地観測を行い、検討を深める必要がある。

## 諫早湾干拓調整池の北部水域における水質変化の現地観測

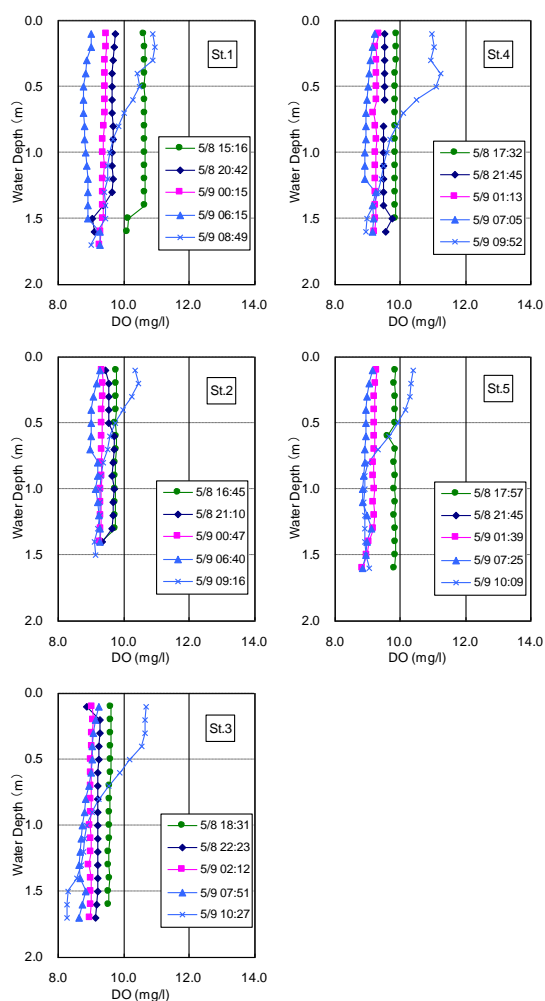


Fig. 9 DO の鉛直分布

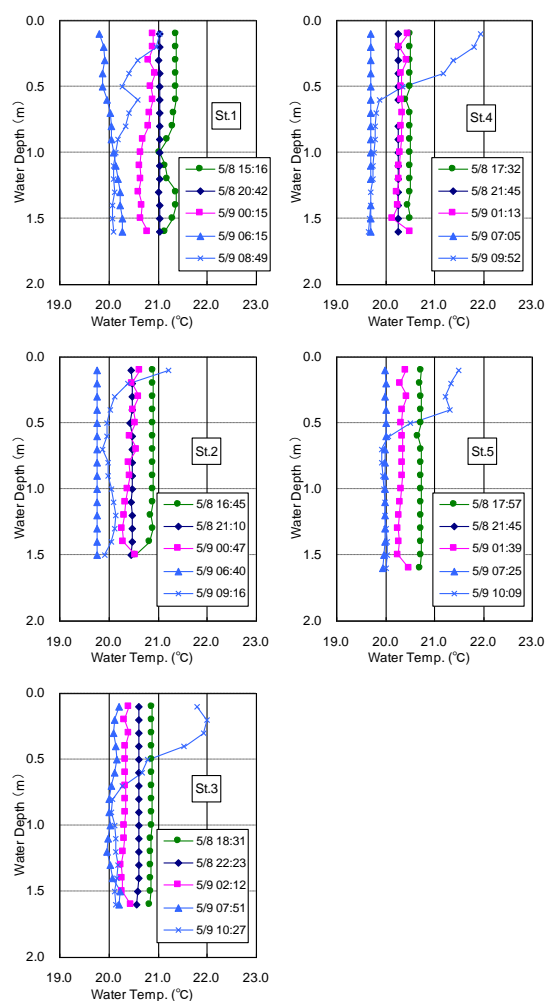


Fig. 10 水温の鉛直分布

## (4) 塩分

Fig. 8 に塩分の鉛直分布を示す。鉛直分布については、延伸区間で夕方から深夜にかけて一様であるが、底層付近で高くなる傾向がある。未明から明け方に表層で低く、水深が深くなるにつれて高くなる分布を示す。内部堤防側の St. 2, 4 では、一日を通してほぼ一様であり、潮受堤側の St. 3, 5 では夕方から明け方に一様であるが、朝方には下層の濃度が高く、延伸区間での変化と似通っている。時間変化については、延伸区間の表層で観測開始時からわずかに増加し、9 時頃に最大となった後に、夜間から明け方にかけてゆるやかに減少し、6 時頃に最小となる。一方で、下層付近では、計測開始時刻からわずかに減少し、最小となった後に徐々に増加し、6 時頃に最大となる。北部水域の内部堤防側では深夜に最大となるが、中央水域側では一日を通して濃度変化が見られない。潮受堤側の 2 地点では、表層付近での変化が乏しく、下層付近では深夜に最小となった後に、翌朝まで増加し最大となる。

これらの観測結果から、塩分の時空間変化は内部堤防側で乏しく、潮受堤側で延伸区間のそれと似た変化を呈すると推測される。

## (5) 溶存酸素 (DO)

Fig. 9 に DO の鉛直分布を示す。鉛直分布に関しては、全地点で夕方から深夜にかけて一様であり、朝方には表層付近で増加する。午後には水底付近の濃度も増加し、一様な分布となることが予測される。時間変化に関しては、夕方から夜間にかけて徐々に低下し、朝方には表層付近から濃度が上昇する。これらの観測結果から、延伸区間と北部水域の全域では、朝方から午後にかけて DO が表層付近から上昇をはじめ、一様な分布となり、夕方から深夜にかけて経時的に減少する日周期変化を呈すると考えられる。

## (6) 水温

Fig. 10 に水温の鉛直分布を示す。この図によると、水温は 19.7～22.0℃の間を推移している。鉛直分布に関しては、夜間に一様であるが、午前中には表層付近

で夜明け以降の短波放射量の増加に伴い上昇する。後術のように、光量は水深 0.5m 以浅で 90%程度が吸収されるため、午前中の水温の上昇は表層付近で顕著に現れたと考えられる。こうした鉛直分布は前年 8 月に実施された観測でも確認されている。時間変化については、観測開始時に高く、夜間にかけて経時的に低下する。夜明け後には、表層から増加し、水表面付近では延伸区間を除いて夕方水温よりも高くなる。これらの観測結果から、日周期変化を呈すると推測される。

### 3.2 透過光量の鉛直分布

Fig. 11 に透過光量の鉛直分布を示す。同図には、光量が水面でその一部が吸収された後に Beer 則に従って減衰しながら透過するものとした式(2)による計算結果も併記している。

$$I(z) = I_0(1 - \beta)e^{-az} \quad (2)$$

ここに、 $I$ : 透過光量,  $I_0$ : 水面直上での光量,  $a$ : 光量の減衰係数,  $\beta$ : 水表面における光量の吸収率,  $z$ : 水深, である。なお、観測結果の再現性から、水表面付近から水深 0.6m までの測定値を用いて係数値を求めた。

観測値から、水中を透過した光量は水深が深くなるにつれて指数的に減衰しており、水深 0.5m と 0.9m 付近での光量は水表面付近での値の 10.7%, 5.5%程度となる。減衰係数  $a$  に関しては、一般的な値として  $0.3\text{m}^{-1}$  されることがあるが、今回の測定値によると延伸区間で  $5.043\text{m}^{-1}$ 、北部水域の内部堤防側と潮受堤側で  $5.899\text{m}^{-1}$ ,  $6.311\text{m}^{-1}$ 、中央水域よりの内部堤防側と潮受堤側で  $5.811\text{m}^{-1}$ ,  $5.567\text{m}^{-1}$  と算定され、当水域での減衰は極めて高いと言える。これは、SS が高いためであり、短波放射形式での熱供給に大きな影響を与えると推測される。延伸区間での減衰は、その他の水域に比べて低く、前年 8 月に実施された延伸区間上流での観測では減衰係数が  $5.128\text{m}^{-1}$  と推定されていることを踏まえると、北部水域の透過光量の減衰は延伸区間に比べて大きいと考えられる。水表面での光量の吸収率  $\beta$  に関しては、St.1 から順に 44, 56, 47, 51, 52% と評価された。過去の計測では 56% と推定されており、延伸区間と北部水域での水表面における光量の吸収率は同程度であると考えられる。これらの観測結果から、光量は水面で 50%程度が吸収された後に、著しく減衰しながら透過し、水深 0.5m 以浅において水表面付近でのその 90%程度が吸収されると推測される。今後の課題として、短波放射形式での熱供給量の推定のために、現地観測を継続して行い、光量子と日射量との関係を明らかにする必要があると考えている。

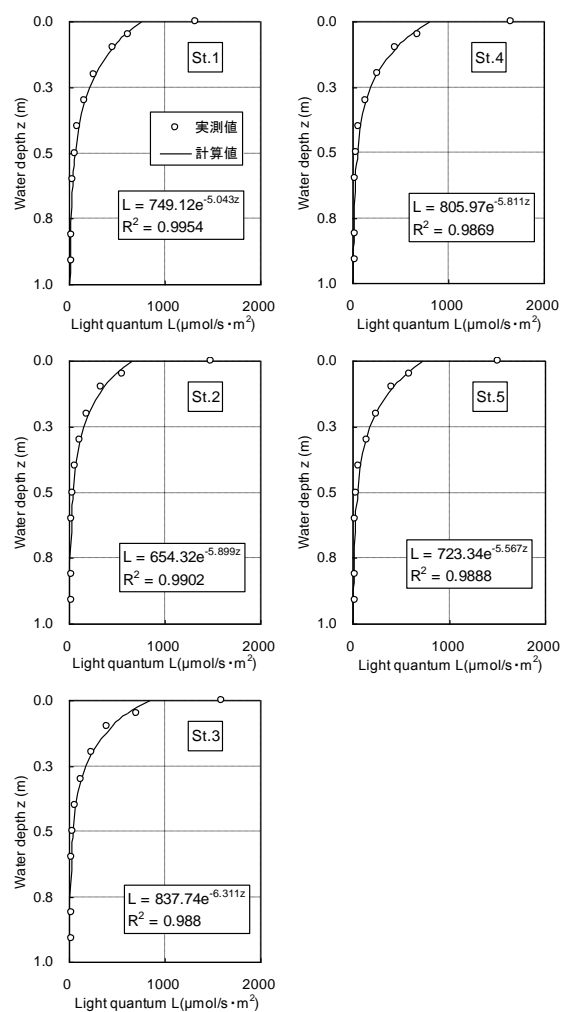


Fig. 11 透過光量の鉛直分布

### 4. おわりに

本研究では、諫早湾干拓調整池の北部水域での水質変化を明らかにするために、現地観測を行い、現状の把握を試みた。

まず、現地観測の結果から次のことが推測された。SS と濁度については、同様の変化を示す傾向にあり、延伸区間で比較的低く、潮受堤側では高い。また、潮受堤側の水域では一日の濃度差が大きい。Chl-a は、北部水域の 2 地点では、朝方に水深 0.7m と 0.3m 以浅で低下する。塩分については、内部堤防側で時空間変化が乏しく、潮受堤側で延伸区間と似た変化を示す。DO と水温については、延伸区間と北部水域の全域で朝方から午後にかけて表層付近から上昇し始め、その後に一様な分布となり、夕方から深夜にかけて経時的に減少する日周期変化を示す。

つぎに、水質項目の関係性に関して、濁度は SS に対して強い相関関係にあるため、SS によって概ね把握できるが、Chl-a との相関関係は若干弱く、SS から Chl-

## 諫早湾干拓調整池の北部水域における水質変化の現地観測

a の濃度を算定するためには、継続して検討を深める必要がある。光量の減衰について述べると、当調整池での光量は、水面で 50% 程度が吸収された後に、著しく減衰しながら透過し、水深 0.5m 以浅において水面付近でのその 90% 程度を吸収する。水中での減衰係数は、北部水域で  $5.5 \sim 6.3 \text{ m}^{-1}$ 、延伸区間で、 $5.0 \text{ m}^{-1}$  程度と算出された。

今後は、透過光量の減衰係数等の推定値や水質項目の関係性を明らかにするために、現地観測を継続するとともに、これらを用いた水質変化の予測モデルの構築と現地適用を行い、当水域における水質変化機構の解明に努めたい。

**謝辞：**本研究を遂行するにあたり、現地観測と連続測定装置の設置・回収に協力頂いた 2014(平成 26)年度大学院 2 年生 重龍樹氏、学部 4 年生 石嶋 健氏、上妻慶祐氏、古野 航氏、七石裕貴氏の各位に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 農林水産省九州農政局：諫早湾干拓調整池のアオコに関する説明資料，  
([http://www.maff.go.jp/kyusyu/seibibu/isahaya/aoko\\_20140530.html](http://www.maff.go.jp/kyusyu/seibibu/isahaya/aoko_20140530.html))
- 2) 古賀憲一，Vongthanasunthom Narumol，荒木宏之，山西博幸，川邊 学，大和則夫：諫早干拓調整池の水質解析，環境工学研究論文集，Vol.40, pp541-550, 2003.
- 3) 西田 渉，鈴木誠二：本明川延伸区間における夏季の水温変化とその数値解析，水工学論文集，Vol.55, 2011.
- 4) 西田 渉，鈴木誠二：本明川延伸区間における夏季・冬季の水温変化とその数値予測に関する研究，環境工学研究論文集，Vol.47, pp49-55, 2011.
- 5) 仁木将人，西田 渉，野口正人，橋本篤史：諫早調整池における水質変化の予測とその評価に関する研究，水工学論文集，Vol.43, pp22-26, 1999.
- 6) 西條八束，三田村緒佐武：新編 湖沼調査法，講談社，pp10-17, 1996.