

2010 年度 修 士 論 文

栄養塩収支による東京湾三番瀬の水質浄化機能評価
Evaluation of Purification Ability Function of Sanbanse
in Nutrients Budget in Tokyo Bay

上代 溪太
Kamishiro, Keita

東京大学大学院新領域創成科学研究科
社会文化環境学専攻

目次

1. 序論	3
1.1. 研究の背景.....	3
1.2. 既往の研究	4
1.3. 研究の目的.....	4
2. 三番瀬の概要	5
2.1. 三番瀬の変遷.....	5
2.2. 三番瀬の環境.....	7
2.2.1. 地形	7
2.2.2. 水質	9
2.2.3. 生態系	9
3. 研究手法	10
3.1. 現地観測	10
3.2. 分析・解析.....	12
3.2.1. 流量の算定.....	12
3.2.2. 水質分析.....	16
3.2.3. 栄養塩収支の算定.....	17
4. 結果	18
4.1. 2009年8月5日の観測.....	18
4.1.1. 観測概要.....	18
4.1.2. 観測結果.....	19
4.1.3. まとめ	37
4.2. 2010年8月10日の観測.....	38
4.2.1. 観測概要.....	38
4.2.2. 観測結果.....	39
4.2.3. まとめ	57
4.3. 2010年11月22日の観測.....	58
4.3.1. 観測概要.....	58
4.3.2. 観測結果.....	59
4.3.3. まとめ	77

5.結論と今後の課題	78
4.3.1. 観測概要.....	78
4.3.2. 観測結果.....	80
参考文献・謝辞	81

第1章 序論

1.1 研究背景

干潟とは海岸線付近の緩やかな勾配の地形で、潮汐により干潮時には干出し、満潮時には冠水する部分を中心とする領域である。干潟には多様な生態系が存在する。豊富な底生生物が生息し、それらを採食する鳥類にとっても不可欠な場となっている。[1]しかし、高度経済成長期以降、埋め立てに伴う護岸工事などによって干潟が消失し始めている。全国で1945年に8.3万haあった干潟も1998年には4.9万haと約4割の干潟が消失していることが環境省の調べで分かっている [2]。

現在は各自治体などが保全活動を促進させ、人工干潟の造成も試みられているがその事例はまだまだ少なく、より一層の知見や理解を増やしていくことが重要と考えられる。

栄養塩の挙動は重要な干潟の機能の一つとなっていることが分かっている。図1.1.1に干潟内の生態系の概略図を示した[3]。干潟はその多様な生態系を通して窒素やリンを海水から除去する水質浄化機能を持ち、富栄養化などの水質環境問題に貢献できる期待は大きい。そのため、干潟の持つ水質浄化機能を定量的に評価することが、今後の干潟の重要性を理解する上で必要となる。

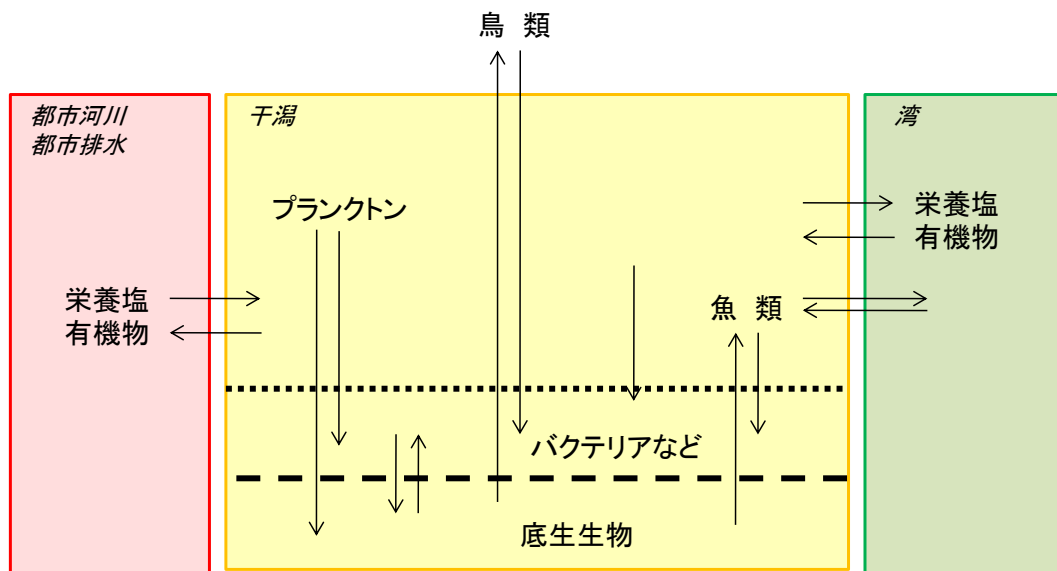


図 1.1.1 : 干潟内の生態系概略図

1.2 既往の研究

干潟と海域は境界線があいまいで、干潟と海域の流出入を測定することが難しい。干潟の水質浄化機能は、海域から流入してきた海水が干潟の底質と物質循環を行い作用している。中村ら（1996）は実験室において底泥と直上水の変化について調べている[4]。また、野村ら（2001）は生態系モデルを用いて干潟の物質収支を見積もっている[5]。このように、水質浄化機能の定量化のために室内実験やシミュレーションを用いて評価することが多いが、それでは実際の流況や地形を考慮することが難しい[6]。

本研究で対象とする三番瀬は現地での測定に向いている形状である。三番瀬に関する研究は、呉ら（2003）の猫実川の河口の底質環境に注目し堆積過程を明らかにする研究[7]などが行われているが、現地での観測により三番瀬全体を巨視的な視点で評価したものはない。

1.3 本研究の目的

前節を踏まえ、東京湾三番瀬において複数回の現地観測より得られたデータをもとに、窒素やリンに注目して一潮汐を通しての物質収支を見積もり、干潟の水質浄化機能を評価する。

第2章 三番瀬の概要

2.1 三番瀬の変遷

三番瀬は東京湾の湾奥に位置している浦安から船橋にいたる約 1800ha の干潟である。図 2.1.1 に三番瀬の所在を示す。

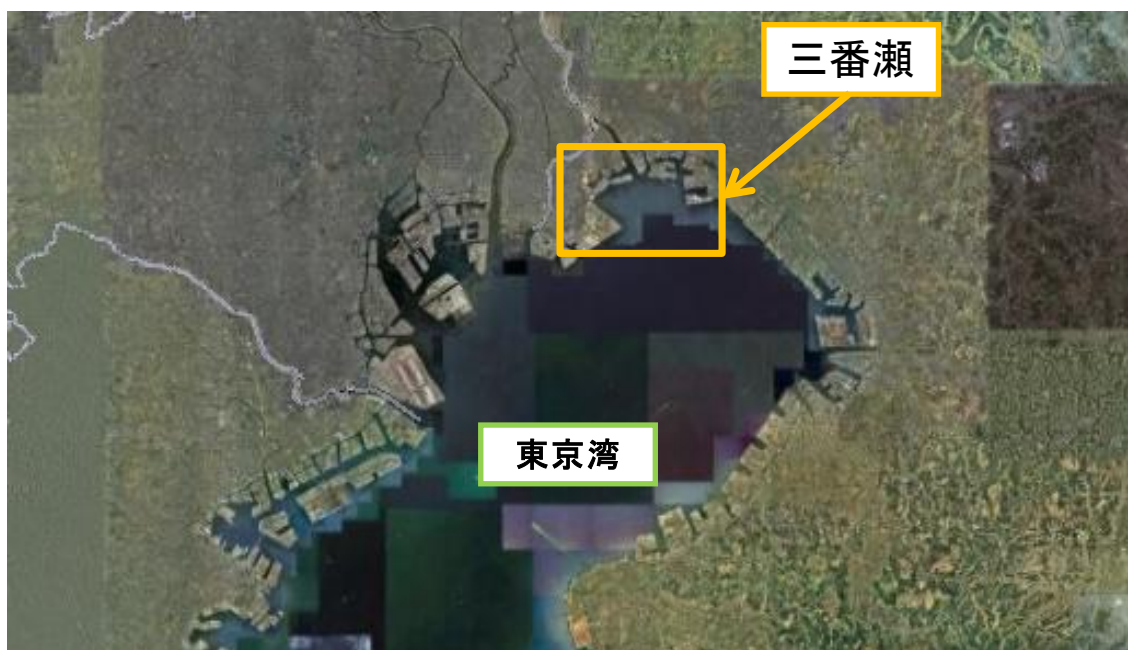


図 2.1.1 三番瀬の所在

三番瀬は江戸時代に本格的に形成され、当時は漁村として大きく発展していた。明治 43 年の利根川大水害を契機に江戸川の改修が行われ、大正 5 年から大正 8 年にかけては江戸川放水路が作られた。また農業・工業用水のための淡水の水資源確保のため海水の混入を阻止しようと昭和 18 年に潮止めを建設し、昭和 32 年には固定堰から可動堰に移り変わった。三番瀬は水害対策や水利用のためなどその時代の生活に合わせて変化していった。図 2.1.2 に三番瀬の変化の様子を示す。かつてはアマモ場が広がり河口干潟や河口湿地も存在したが、それらも消失し、現在では護岸工事や地盤沈下により干潮時に干出する面積も極めて小さくなっている。

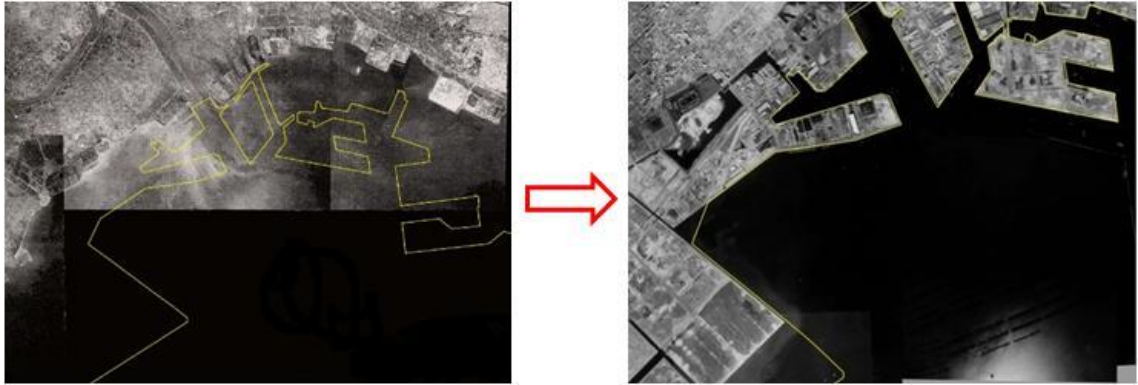


図 2.1.2 三番瀬の変化 (左:昭和 22 年 右:昭和 50 年)

出典：三番瀬再生計画案（2004）

千葉県では、三番瀬の再生や保全を目的とし 2004 年 1 月 22 日に三番瀬再生計画検討会議（円卓会議）からの計画案をもとに、千葉県三番瀬再生計画を策定するなど自然環境の保護に取り組んでいる。

2.2 三番瀬の環境

2.2.1 地形

図 2.2.1 に三番瀬の区域図を示す。前節で述べたように、三番瀬は治水や利水のため様々な人為的要因があり現在のような形状となった。江戸川放水路は台風の出水などに伴い、一時的に可動堰が開かれるが、普段は閉じているため江戸川からの流入は全くない。東京湾に接しており、潮汐での海水交換が1日2回行われる。

図 2.2.2 に三番瀬の等水深線を示す。三番瀬内は典型的な前浜干潟で中央を通る市川航路と海老川河口からの船橋航路を除いては満潮時でも水深 2m 以下と浅い水域である。東京湾側に前置斜面があり急激な水深の変化が見られる。



図 2.2.1 三番瀬

2.2.2 水質

かつて三番瀬は海水と淡水の入り混じる汽水域であったが多様であった塩分濃度もほぼ一様になってしまった。前節で述べたように治水や利水によって水の通里道が変化し、三番瀬へ流入する淡水量が激減したことが要因である。

後背地の都市化による人口増加に対する生活排水処理が進まなかったため、長期間にわたり環境基準を超える栄養塩が三番瀬に流入し、富栄養化をもたらした。富栄養化は赤潮発生だけでなく、浚渫窪地を発生源とする貧酸素水塊による青潮の発生も促進するため生息する生態系に大きな打撃となっている。

また、浅海域生態系モデルを用いて物質循環の検討がされ、浄化量は T-N は 575 (t/年) 、COD は 2245 (t/年) と算定されている。浄化量の多くは脱膾によるものと考えられ、水質の大きな変動がないことを考慮すると浄化量に変化はないものとされる[1]。

2.2.3 生態系

生物の多様性は間違いなく低下していることが伺える。1993 年～1996 年と 2003 年の調査を比べると鳥類に関しては全体的に個体数が減少していることが指摘されている。特に、シギ・チドリ類の個体数は著しく、埋め立てなどによる生息環境の変化が要因と考えられる。

長期的変化では、ハマグリやウミニナ類などの底生生物は姿を消し、外洋の魚類は三番瀬には入らなくなった。その一方で、水生生物の中には比較的多くの外来種の侵入・定着がみられ、これらの外来種が三番瀬の生態系に大きく影響を及ぼすことが懸念されている[1]。

このように三番瀬を取り巻く環境は徐々に変化しており、その傾向は現在も続いているものと予測され、物質循環の変化が推測される。

本研究では物質収支の実態を調査することを目的とし、現在の三番瀬を把握する上で重要な手掛かりになると考えられる。

第3章 研究手法

3.1 現地観測

本研究では、流速測定・採水・水質測定を三番瀬内や前置斜面直上に任意で設けた各 St にて行った。以下にそれぞれの概要を示す。現地では関東地方整備局の方のご協力を得て、アイリス号（図 3.1.1）により観測を行った。

①採水

採水の様子を図 3.1.2 に示す。

表層は約 50 cm 付近を、底層 5m 付近を採水する。航路によって水深が 10m を超える St.1 に関しては鉛直分布をみるため別途最深部の採水を行ったが、第 4 章で示す底層データはほかの St. と同様に扱うため水深 5m の値を底層として扱う。表層は採水バケツを、底層ではバンドン採水器を用いる。この際、ろ過フィルターを通してろ過したものとろ過していないもの 2 種類を 50ml アイボーイに入れ実験室へ持ち帰った。

②流速測定

装置の様子を図 3.1.3 に示す。

流速計（RD Instruments 社製 WorkHorse Sentinel ADCP）を用いて、流速の鉛直分布を測定した。海底までを 50cm ごとに層に分け計測した。底層部に関しては、機材の特性上測定できない。そのため、得られた表層から中層のデータをもとに底層部は補間して与えた。

③水質測定

装置を図 3.1.4 に示す。

計測器（ALEC 社製多項目水質計 AAQ1183）を用いて、塩分・水温・DO・クロロフィル・濁度について計測する。機材の特性上 DO の値が安定するのに時間がかかるためある水深で値が落ち着くまで静止させる必要があり、採水や流速計測と同じ条件にするため 50cm ごとの計測とした。



図 3.1.1 アイリス号

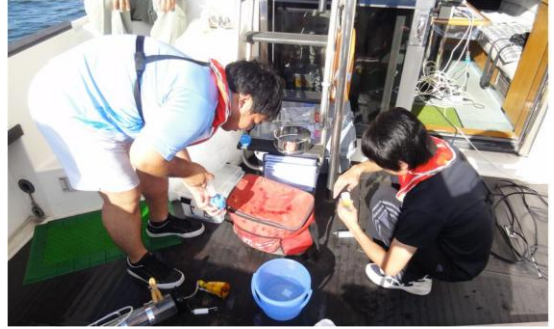


図 3.1.2 採水の様子

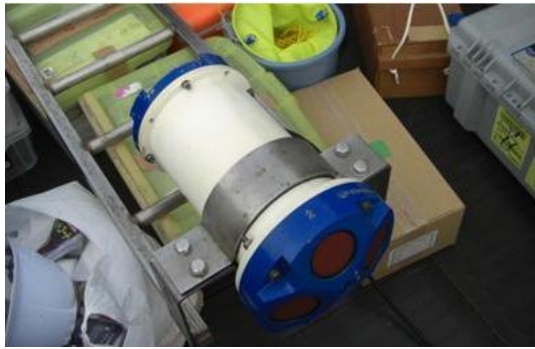


図 3.1.3 ADCP



図 3.1.4 多項目水質計

3.2 分析・解析

3.2.1 流量の算定

三番瀬内は船での航行が難しいため、侵入可能な前置斜面直上に曲線を描くように St.1～6 を決め、三番瀬と東京湾の境として観測を行った。流量を算定する前に、まず三番瀬と東京湾の境界線を決定する必要がある。三番瀬は前述したように東京湾側へ張り出すようにして前置斜面が存在し、境界線も外へ張り出すような曲線を描くようにとるしか方法はない。まず、三番瀬の形状より境界線の両端を図 3.2.1 のように岸の角に設定する。それぞれのうち三番瀬東側を点 a、三番瀬西側を点 g とする。

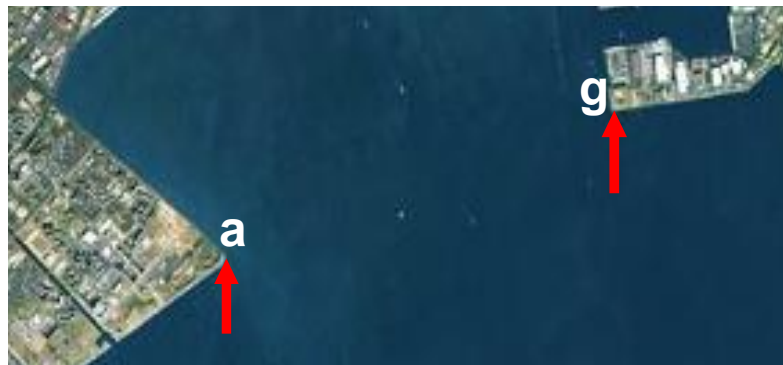


図 3.2.1 境界線両端

次に、6 点の St と先に定めた点 a、g の 2 点を通るようになめらかな曲線を図 3.2.2 のようになる。赤い丸印が観測ポイントである。



図 3.2.2 曲線状の境界線

この曲線を計算で用いる境界線に設定するため曲線に近い形で 6 本の直線をつなぐ。その際 1 本の直線の区間では各 St を代表値として扱うため、出来る限り St 間の中間に位置し設定した曲線上になるよう図 3.2.3 に示すように点 b、c、d、e、f を置く。図中では桃色の点で示した。

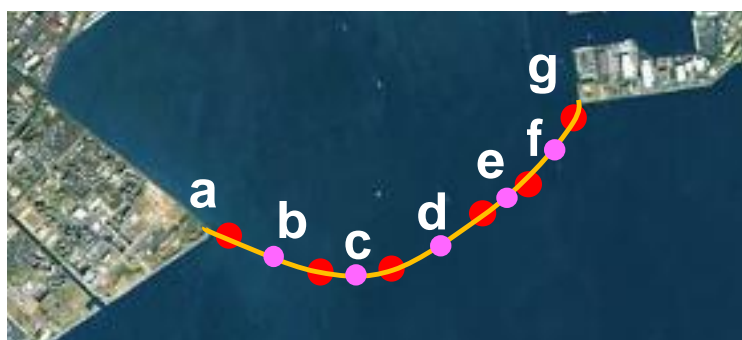


図 3.2.3 中間点

得られた 7 点をそれぞれを隣り合う者同士結ぶ。それぞれを線分 ab、線分 bc、線分 cd、線分 de、線分 ef、線分 fg とする。図 3.2.4 にその様子を示す。以降、図中に示した黄色の線を境界線として扱い、 $St.1\sim 6$ はそれぞれの線分と対応させ、各区間の代表値として取り扱う。



図 3.2.4 直線化した境界線

表 3.2.1、表 3.2.2 に実際に設定した点 a~g の緯度経度を示す。以上の方法を用いたが 2 回の夏季の観測と異なり、秋季観測では当日観測ポイントの変更をしたため点 a~g の所在も変わっている。

表 3.2.1 夏季観測で使した点 a~g

地点名	緯度			経度		
点a	35	39	16.29	139	59	14.70
点b	35	38	56.25	139	59	2.94
点c	35	38	34.81	139	58	37.65
点d	35	38	15.96	139	58	7.91
点e	35	38	3.74	139	57	32.47
点f	35	38	15.21	139	56	48.43
点g	35	38	27.96	139	56	22.45

表 3.2.2 秋季観測で使した点 a~g

地点名	緯度			経度		
点a	35	39	13.14	139	59	12.90
点b	35	39	39.06	139	58	47.82
点c	35	38	29.22	139	58	26.46
点d	35	38	6.72	139	57	51.54
点e	35	38	1.08	139	57	34.82
点f	35	38	12.75	139	56	50.96
点g	35	40	15.12	139	56	55.44

図 3.2.5 に流量算定の概略図を示す。St.1~St.6 に関しては水深 10m を超える東京湾と水深の 2m 程度の三番瀬の間の勾配が急な前置斜面直上にある。下げ潮時に三番瀬直上の海水が東京湾流出するが、その際前置斜面に沿って観測ポイントの底層部に潜り込むことは物理的に考えづらい。また上げ潮時においても第 4 章に示す観測結果から表層の流れの方が底層よりも早く、前置斜面により底層部では停滞しやすく表層からの流入が大きいと考えられる。よって本研究では物質収支を計算する際に用いる流量の値は表層のみとする。この際、用いる流向だが各線分の法線方向を流軸方向とし、中でも三番瀬への流れを正、東京湾への流れを負の値として扱う。三番瀬内部の水深は 2m 以下であることから鉛直方向に 0~2m を表層とする。その他、2~4m を中層・4~6m を底層として 3 層に分割しデータを取り扱う。以下に具体的な計算方法を示す。

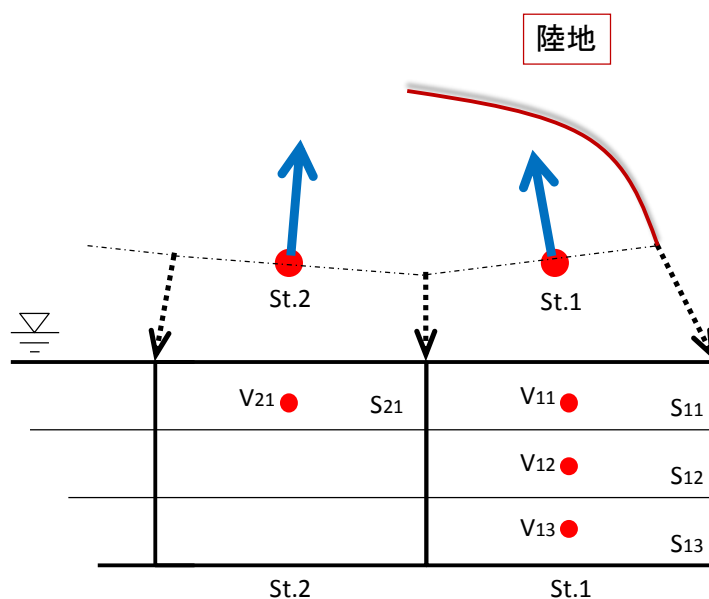


図 3.2.5: 流量算定方法概略図

流速を $V(\text{m/s})$ 、層の断面積を $S(\text{m}^2)$ としている。部分流量 $\Delta Q(\text{m}^3/\text{s})$ と流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ を求める式は以下の式 3.2.1、式 3.2.1 に示すようになる。各断面積は長方形として扱う。

$$\Delta Q_{l1} = V_{l1} \cdot S_{l1} \quad (3.2.1)$$

$$Q = \sum_{l=1}^6 \Delta Q_{l1} \quad (3.2.2)$$

3.2.2 水質分析

栄養塩としての窒素やリンの分類は図 3.2.6、図 3.2.7 に示すように分類される。現地で採水した海水を、BRAN+LUEBEE 社製 AACS-III（図 3.2.8）を用いて以下の項目について分析した。

●全窒素（TN）

●溶存無機態窒素（DIN）：

硝酸態窒素（NO₃-N）、亜硝酸態窒素（NO₂-N）、アンモニア態窒素（NH₄-N）

●全リン（TP）

●溶存無機態リン（DIP）：オルトリン酸（PO₄-P）

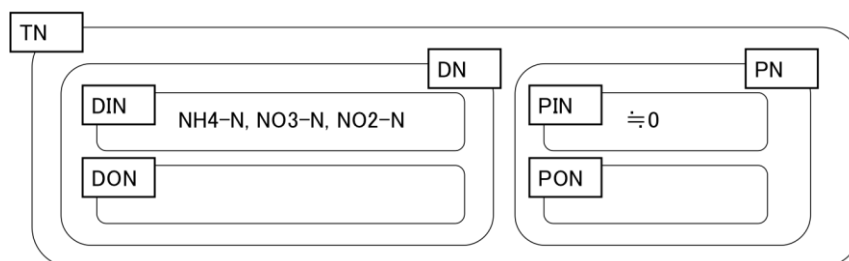


図 3.2.6 窒素の分類

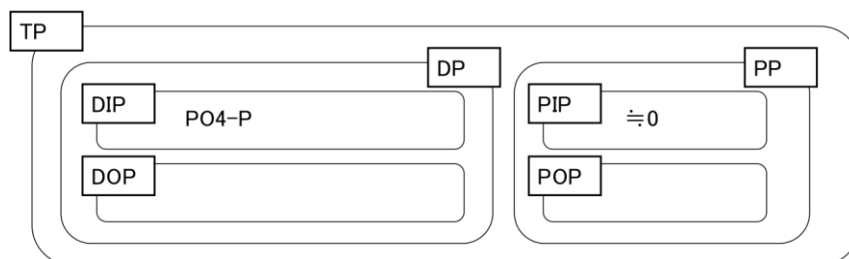


図 3.2.7 リンの分類



図 3.2.8 AACS-III

3.2.3 栄養塩収支の算定

以上より得られた流量と栄養塩濃度より、三番瀬の一潮汐間の物質収支を算定する。

ある時間 t における流量を $Q(t)(\text{m}^3/\text{s})$ とする。本研究では東京湾から三番瀬へ流入する方向を正として考える。その時間帯の物質のフラックス量 $F(t)(\text{mg}/\text{s})$ を $Q(t)(\text{m}^3/\text{s})$ に栄養塩濃度 $C(t)(\text{mg}/\text{m}^3)$ を乗じて求める。

流出時間を $t_1 \sim t_2$ 、流入時間を $t_3 \sim t_4$ とし $F(t)$ をそれらで積分し、流出量 F_{out} と流入量 F_{in} を求める。 F_{out} と F_{in} の差によって物質の収支を算定する。

以下に式 3.2.3～3.2.6 に示す。

$$F(t) = Q(t) \cdot C(t) \quad (3.2.3)$$

$$F_{out} = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt \quad (3.2.4)$$

$$F_{in} = \int_{t_3}^{t_4} F(t) dt \quad (3.2.5)$$

$$F_{total} = F_{out} + F_{in} \quad (3.2.6)$$

第 4 章 観測結果

4.1 2009 年 8 月 5 日の観測

4.1.1 観測概要

図 4.1 と表 4.1 に 2009 年 8 月 5 日に行った観測地点を示す。アイリスで 7:00 から 16:30 の間に上げ潮 2 回・下げ潮 3 回、合計 5 回の RUN の観測を行った。途中、時間に余裕がなかったため RUN4 は St.1~6 のみ観測を行った。

表 4.1.1 観測地点の緯度経度



地点名	緯度		経度	
	緯度	経度	緯度	経度
St.1	35: 39: 13.14	139: 59: 12.90		
St.2	35: 39: 39.06	139: 58: 47.82		
St.3	35: 38: 29.22	139: 58: 26.46		
St.4	35: 38: 6.72	139: 57: 51.54		
St.5	35: 38: 6.42	139: 57: 12.90		
St.6	35: 38: 23.04	139: 56: 31.02		
St.8	35: 39: 24.84	139: 57: 36.96		
St.10	35: 39: 6.66	139: 56: 8.16		
St.11	35: 40: 15.12	139: 56: 55.44		

図 4.1.1 観測地点

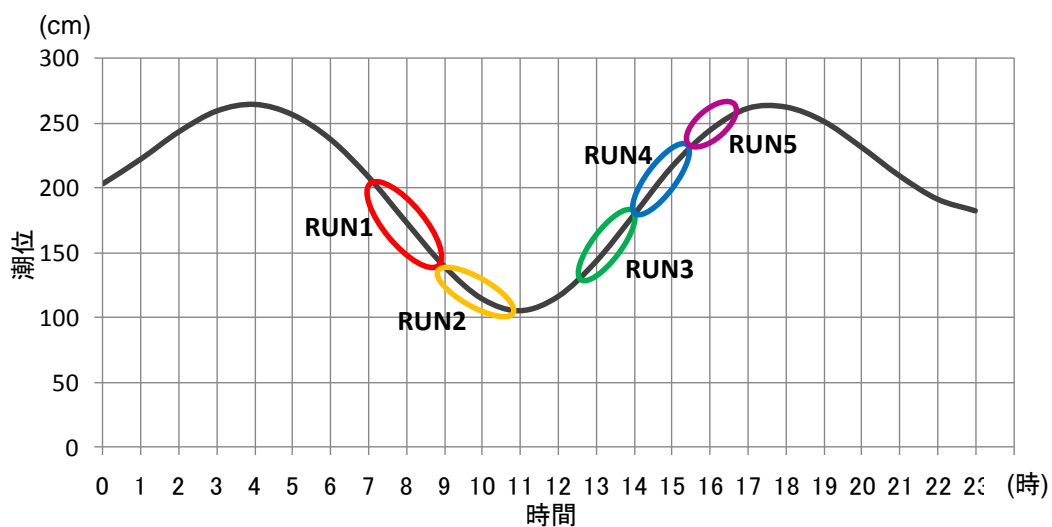


図 4.1.2 潮位グラフと観測行程

4.1.2 観測結果

各 RUN における流速の平面分布を図 4.1.3 に示す。このとき、前述したように三番瀬の水深合わせ 0~2m までの平均流速を表層とし、さらに 4~6m の平均を底層として与え流況を示した。この際 ADCP では底層部の計測が難しく補間するのも困難であった場合欠損としている。

流入時に東京湾の各所で見られる循環流の影響を受けていることが分かる。表層において暖色の矢印で表す下げ潮の RUN1・RUN2 は東京湾へ流れ出す一様な流れがあるのに対し、寒色の矢印で表す上げ潮の RUN3・RUN4・RUN5 では西側からの強い流れの流入が見られた。底層においては表層に比べ非常に流れが弱く、流入・流出ともに表層が主であることが分かる。

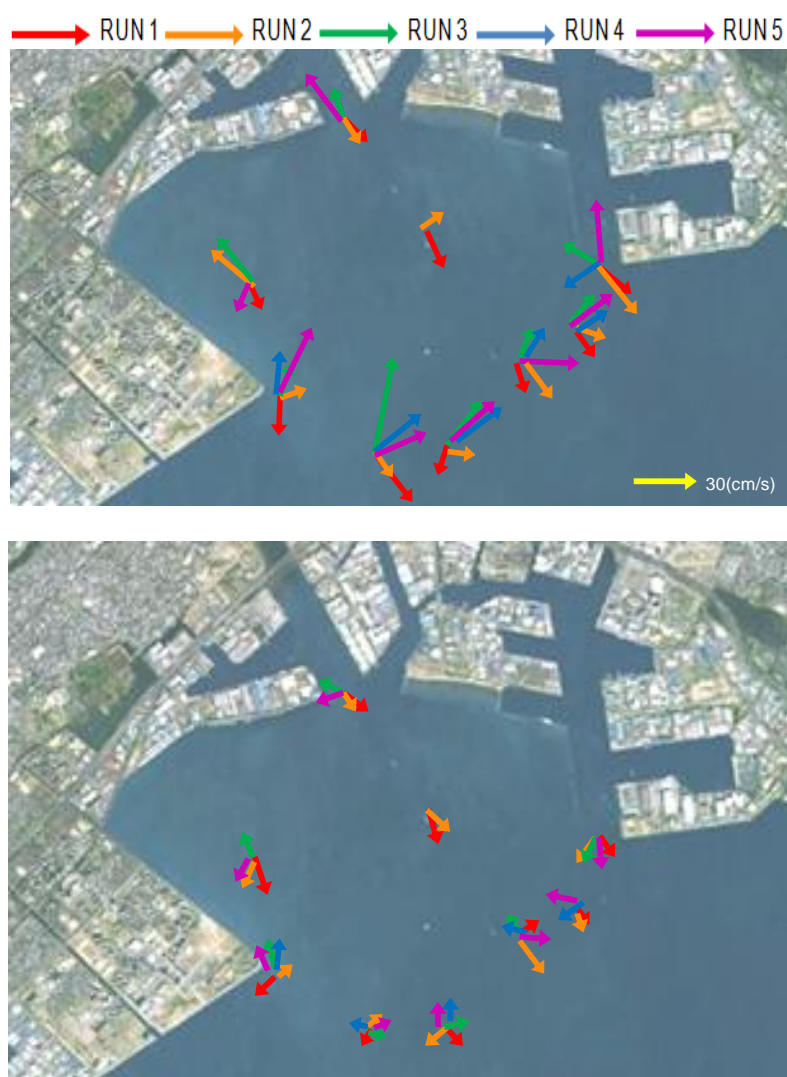


図 4.1.3 流速の分布 (上：表層 下：底層)

図 4.1.4～4.1.8 に多項目水質計で得られた各項目の鉛直分布を示す。それぞれ、時間や場所によっての変化の違いなどを明確にするため、ここでは、縦軸の水深を 0～6m のみの表記とし、各項目ごとに横軸のスケールを合わせてある。

また、図 4.1.9～4.1.13 に多項目水質計により得られた各項目のうち、St.1～6 の変化の様子を示す。左を表層、右を底層に分け変化の様子を見やすくするため場合によって左右の凡例のスケールを変えて表示している。RUN1 の St.1 の多項目水質計データは欠損している。

水温・塩分ともによく対応している。水温は表層部で日中温められるため上昇し、底層部では表層に比べ低くなり、時間的变化に乏しい。塩分はその反対の勾配を示しており、夏季によく見られる成層化した状態といえる[8]。

また、St.1～6 に比べ、三番瀬内部に位置する St.10 における中層部の変化が大きい。とくに RUN2 ではほかの場所と比べ勾配が緩やかで、上げ潮時に 0～2m 付近で大きく変化している。St.10 は浦安市の日の出から市川市の塩浜へ伸びる細い航路上で表層部は三番瀬内とほぼ同様の環境である。夜間に表層の水塊が沈降して表層・中層が似た環境になるのに対し、上げ潮時に流入する際に航路内である中層以下が変化しないことより、本研究で度々説明している流出入ともに表層のみで海水交換が行われていると分かる。

DO に関しては、下げ潮時に低かった値が上げ潮時に東京湾側から高い濃度の酸素が供給されている。貧酸素化の定義はいくつかあるが 3mg/l 以下[9]を基準とすると 3m 以深では常に貧酸素化していることが分かる。特に、St.1 に関してはその傾向が強く濁度の値が中層部でも大きくなっていることを考えると船橋航路内の貧酸素水塊が巻き上げられていることが推測できる。一方、2m までの表層は東京湾からの供給を受ける前の RUN1、RUN2 においても 3mg/l 以上の DO を観測しており、三番瀬は比較的好気的な環境であったことが分かる。

クロロフィルの値は、DO と全体的に同様の傾向を示している。表層部において酸素量が多く、植物プランクトンの存在量が多い水塊が東京湾から供給されていることが分かる。

St.10 に関しては1 潮汐間を通して変化に乏しい。上げ潮時に DO 値の上昇が確認できるが、他の場所に比べ変化量が少ない。流況から考えて St.5、St.6 からの流入の影響が大きいと思われるが、St.10 に行きつくまでに三番瀬直上にあった海水と混ざりあっていることが示唆される。他の場所の DO 値の上昇とクロロフィルの上昇具合に比べ、St.10 では DO の少なさに加えて植物プランクトンの発生に関して制限的な要因があると思われる。

濁度は航路付近の底層部以外概ね、鉛直分布は一様であった。表層において DO・クロロフィルの変化の様子とよく対応している。

St.1 では濁度の値が乱れている。また、現地での採水の際、表層から 5m の海水に強い硫黄臭を感じた。航路などの水深の深いところでは貧酸素化しやすく、貧酸素化した水では底層から溶出した硫化水素が含まれる[8]。濁度の値の上昇・硫黄臭の感知から考えて St.1 では巻き上げが起きていると考えられる。

St.11 では上げ潮時に中層以深で濁度の上昇が見られる。東京湾からの流入に伴い、表層流に引っ張られる形で底泥が巻きあがったと考えられる。

上げ潮時に循環流の影響を大きく受けているのが平面分布の変化でよくわかる。上げ潮時にまず、三番瀬西側から変化していき、その流れが東側に伝播していく。だが、その変化は、表層のみの変化であり、底層部には別の傾向が見られ、特に St.3、St.5 の2点では顕著な違いがある。それぞれ水深の深い航路付近であり流況分布においてもあまり三番瀬へ流入していないことを考えると、航路内部からの水塊の供給が観測中、常に行われていたと推測できる。このことから、一潮汐間を通して、表層部に比べ底層部は平穏な流況であったことが再確認できる。

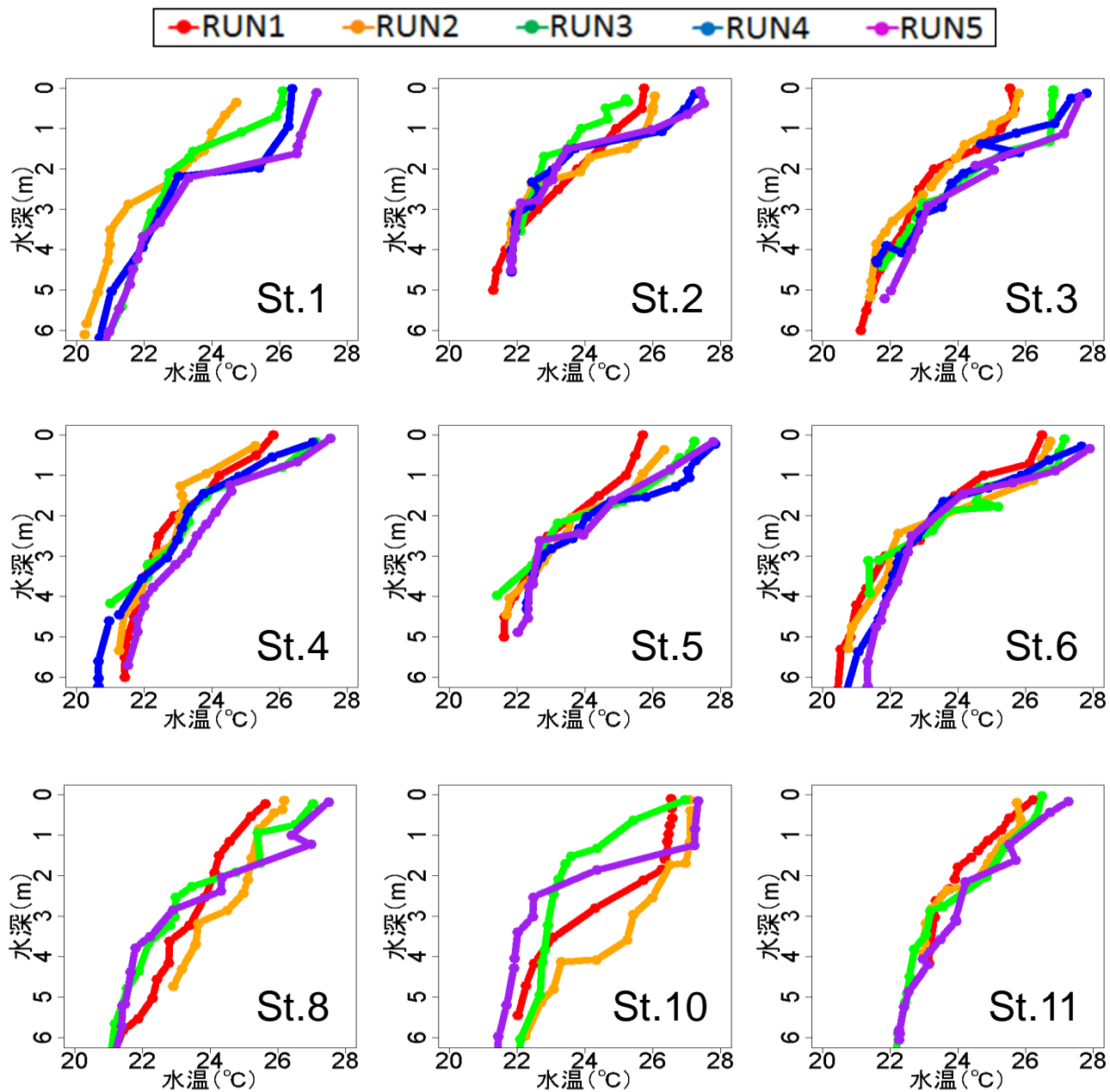


図 4.1.4 水温の鉛直分布

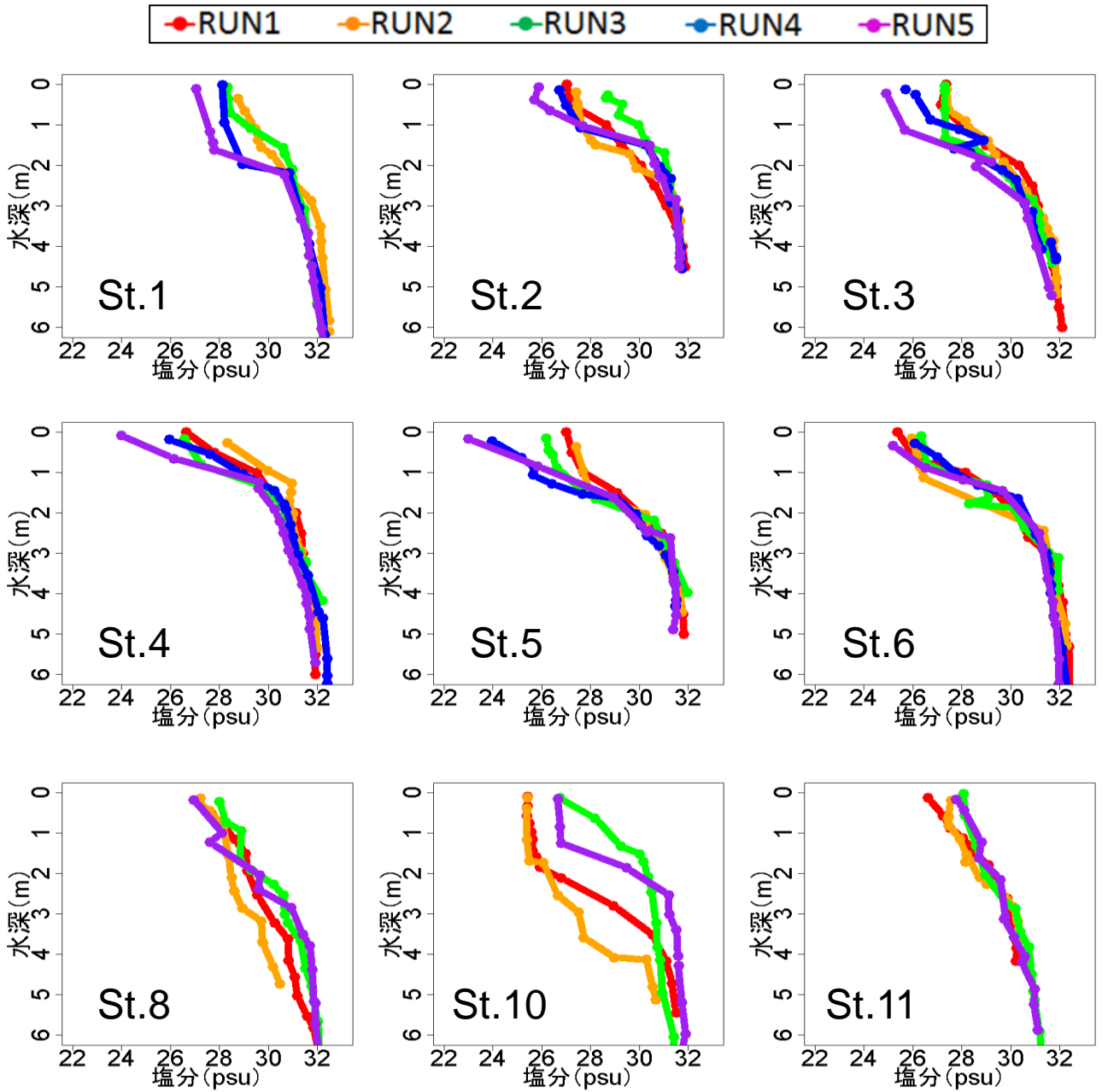


図 4.1.5 塩分の鉛直分布

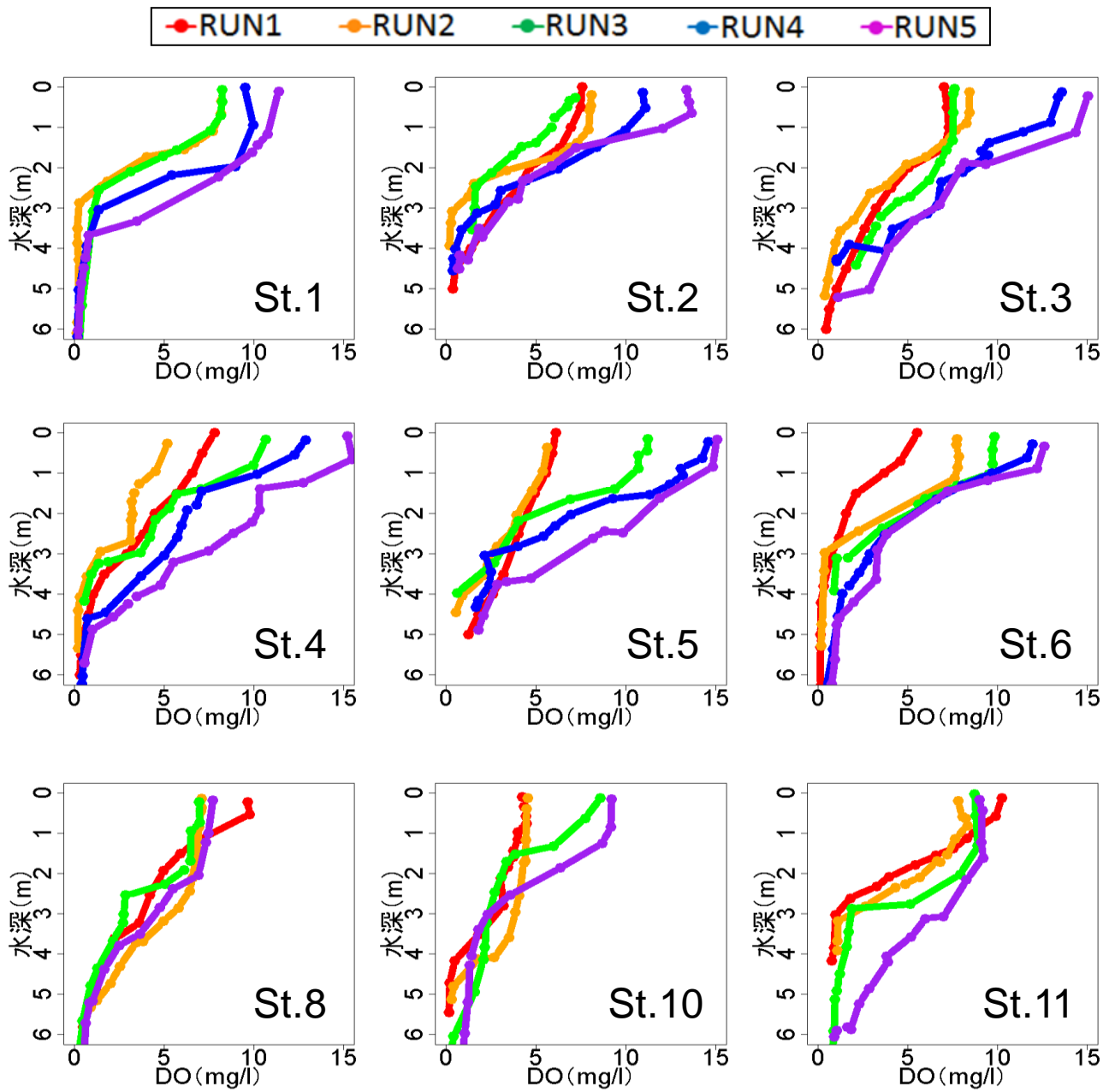


図 4.1.6 DO の鉛直分布

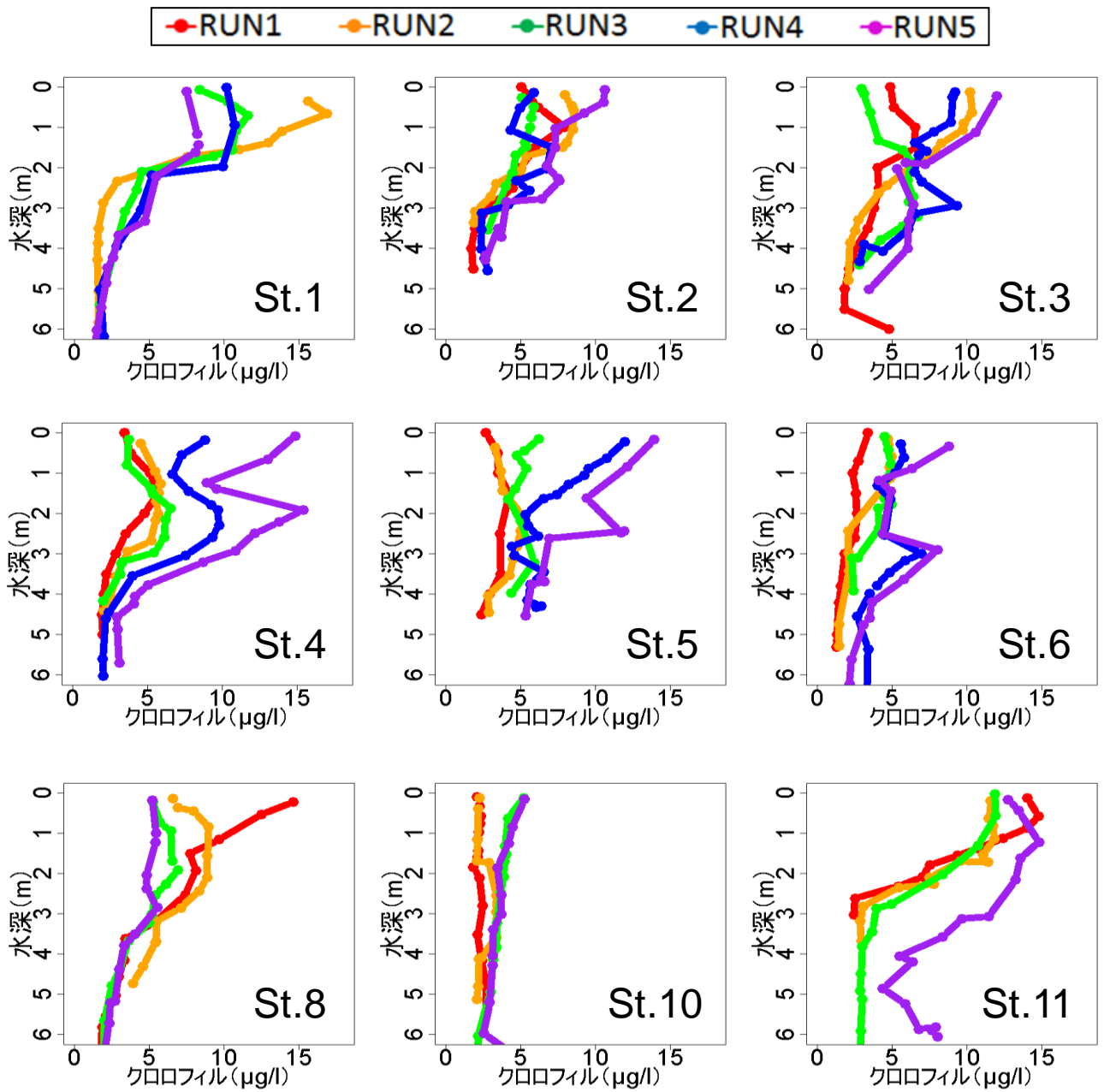


図 4.1.7 クロロフィルの鉛直分布

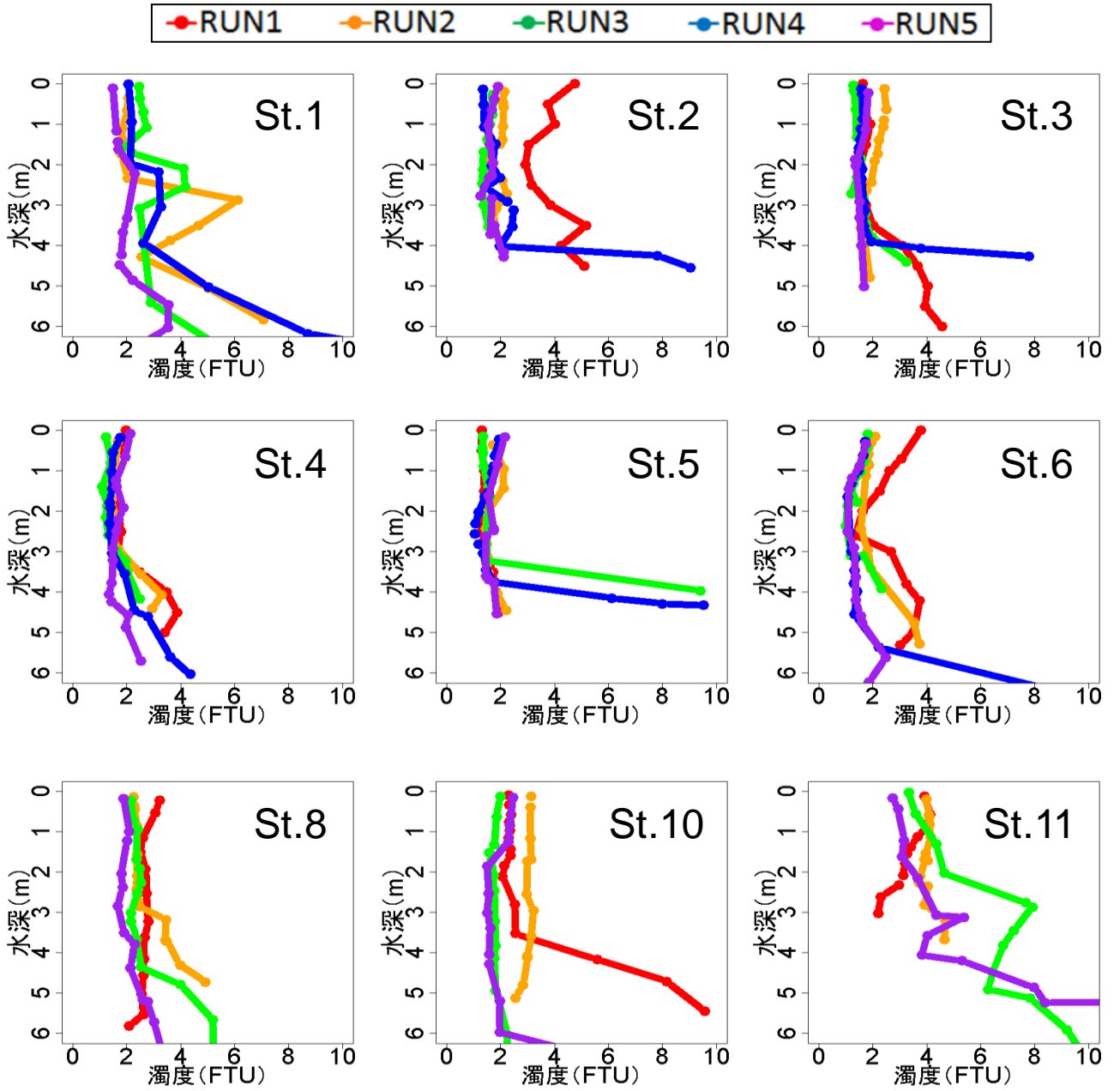


図 4.1.8 濁度の鉛直分布

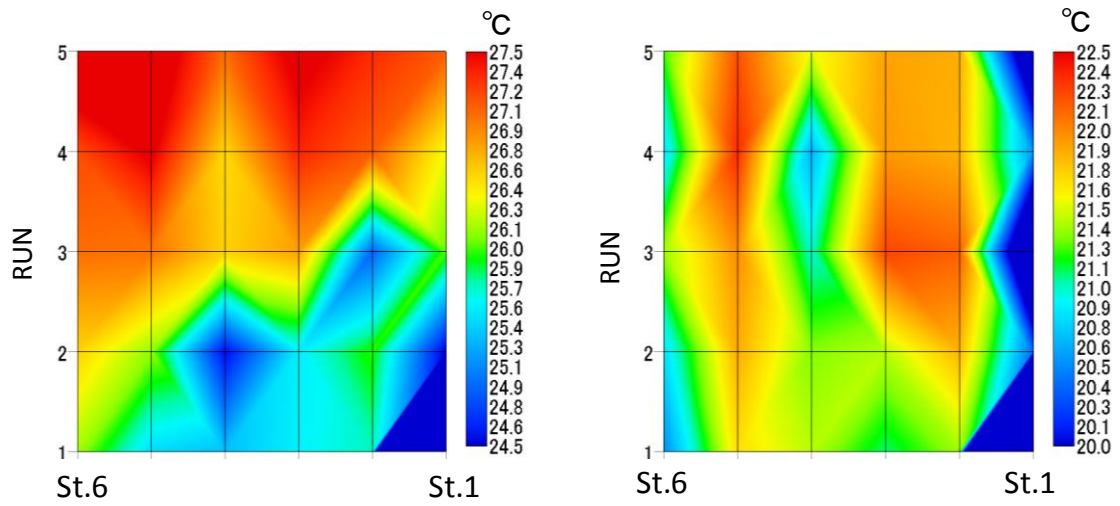


図 4.1.9 水温の時間的変化

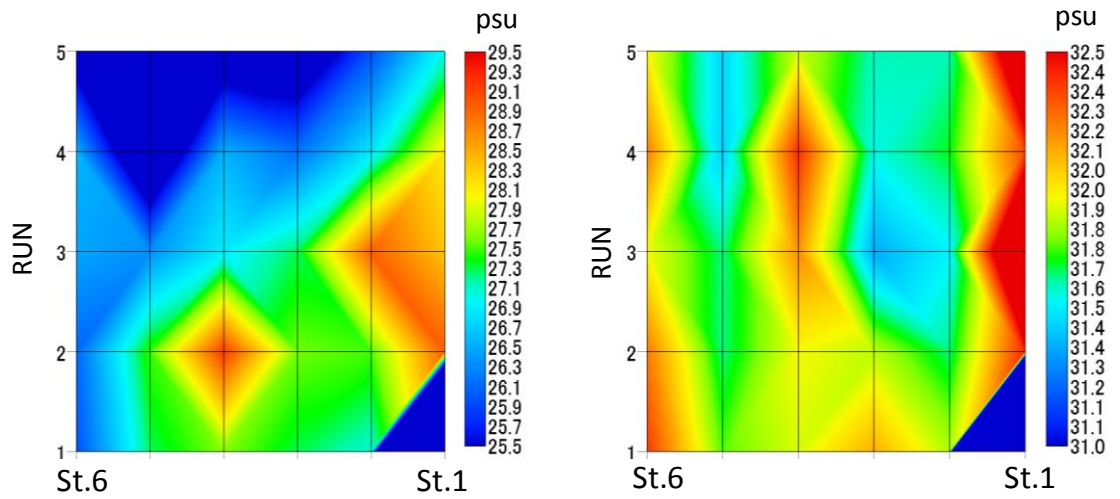


図 4.1.10 塩分の時間的変化

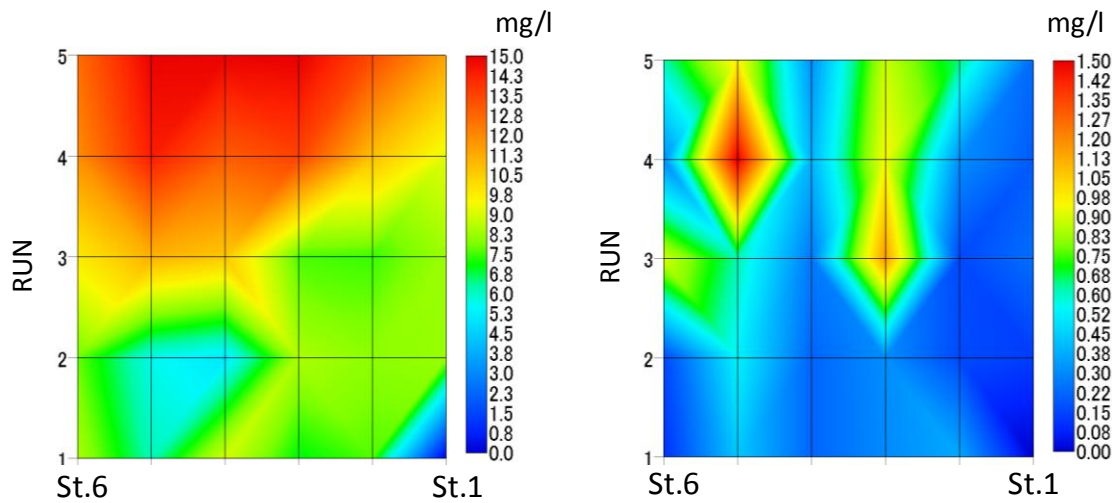


図 4.1.11 DO の時間的変化

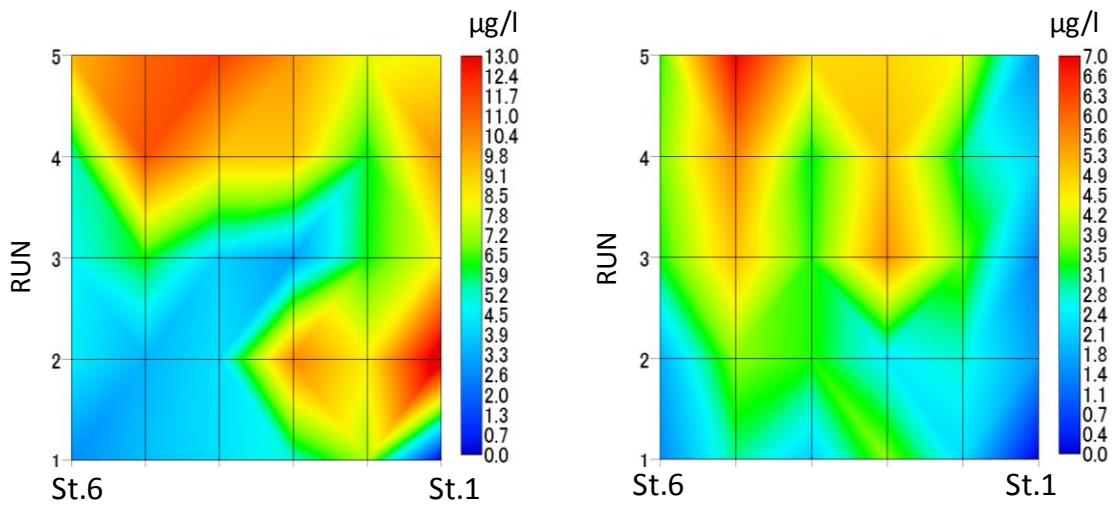


図 4.1.12 クロロフィルの時間的変化

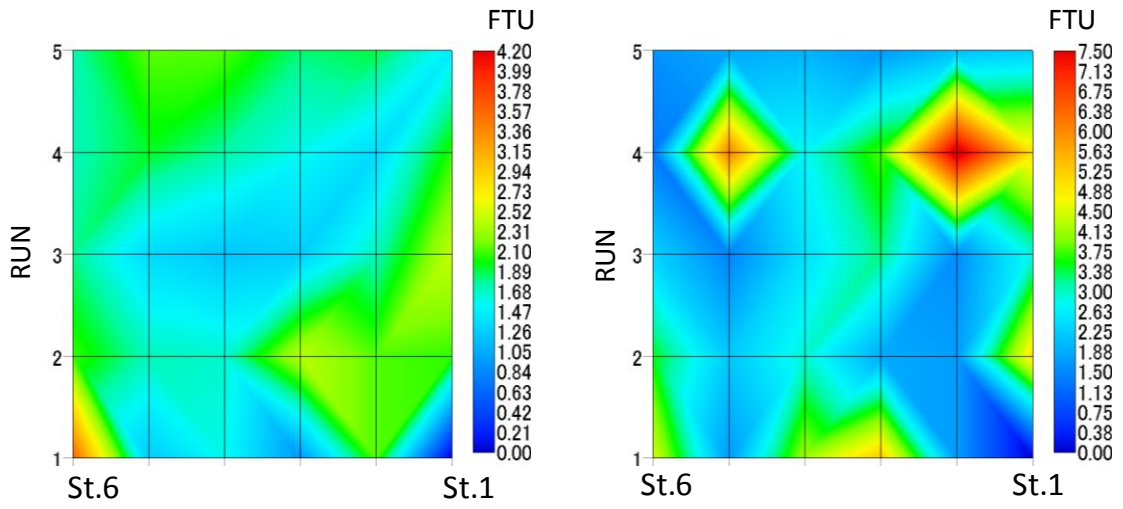


図 4.1.13 濁度の時間的変化

窒素の St.1～6 のデータを図 4.1.14～4.1.18 に、St.1～6 の変化の様子を図 4.1.19～4.1.23 に示す。またリンの St.1～6 のデータを図 4.1.24・4.1.25 に、St.1～6 の変化の様子を図 4.1.27・4.1.28 に示す。左に表層、右に底層のデータを示す。

窒素は各 RUN による大きな変化は見られなかった。溶存無機態の窒素は硝酸態・亜硝酸態・アンモニア態の窒素に分類されるが、一般的に秋季や冬季など溶存酸素が十分に行き渡る環境では硝酸態の比率が大きく、夏季は硝化反応が進まずにアンモニア態が大きくなる。溶存態の値において、硝酸態が少なくアンモニア態が多くなることより、夏季によく見られる環境であることが分かる[8]。

また、多項目水質計のデータと同様上げ潮時に循環流の影響を受け、三番瀬の西側から流入してきていることがわかる。

リンは窒素に比べ、各 RUN による変化が大きい。TP と PO4-P を比較すると、下げ潮の RUN1 では TP が PO4-P の約 2 倍であったのに対し、上げ潮の RUN5 では 4 倍ほどにまで増加している。植物プランクトンは無機物を摂取し、一般的に光合成により有機物を生産する[8]。無機物の増加以上の割合で有機物が増加し、多項目水質計によるクロロフィルの値も上げ潮で大きくなっていることより、東京湾で植物プランクトンが増殖し夏季の十分な光条件のもと光合成が活発に行われ無機物を摂取し、有機物生産された水塊が三番瀬へ流入してきたことが考えられる。

また、底層部と比べ表層部の TP・PO4-P ともに増加が遅れて出ている。成層化し底層部では平穏な流況であったことを考えると、上げ潮時の表層部での早い流れに底層部の栄養塩が引っ張られたことが考えられる。

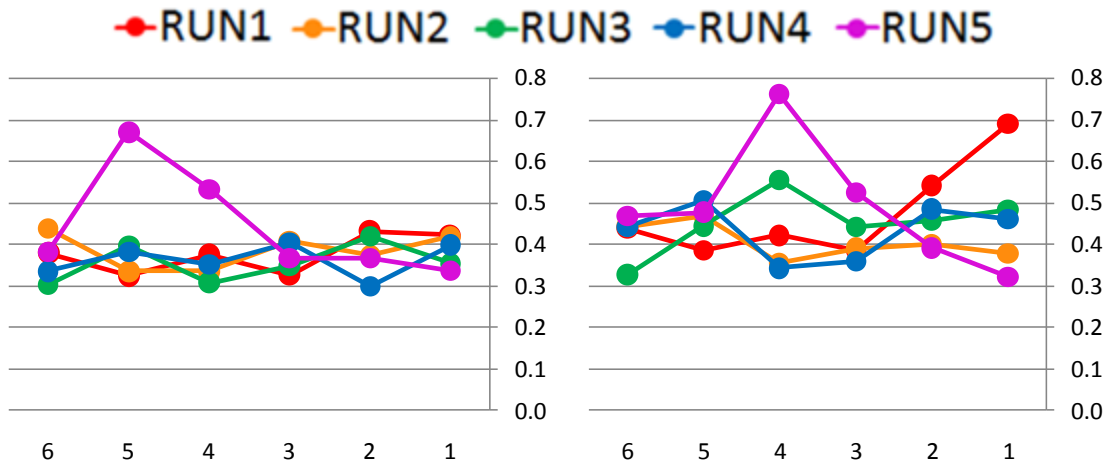


図 4.1.14 TN (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

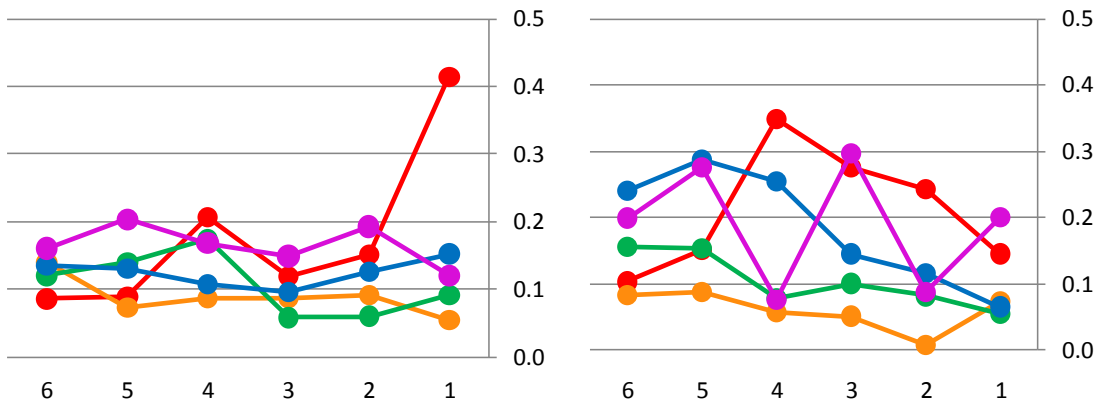


図 4.1.15 DIN (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

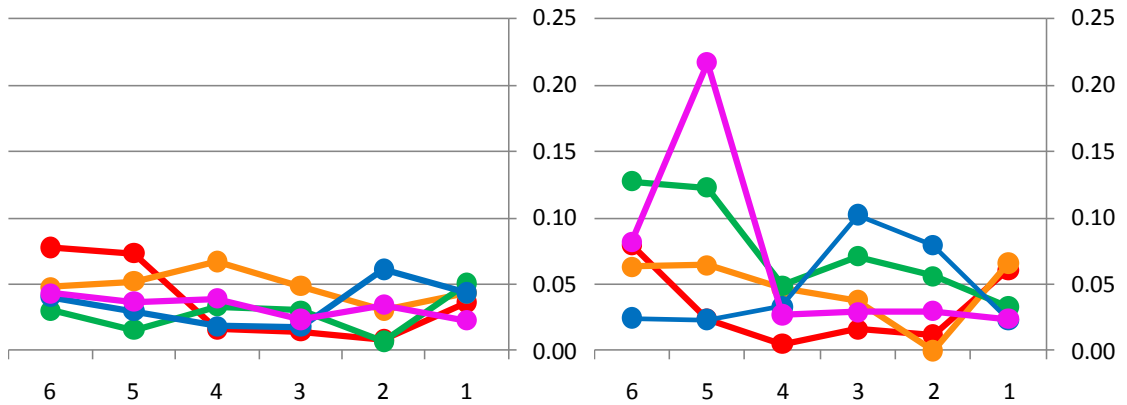


図 4.1.16 NO3 (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

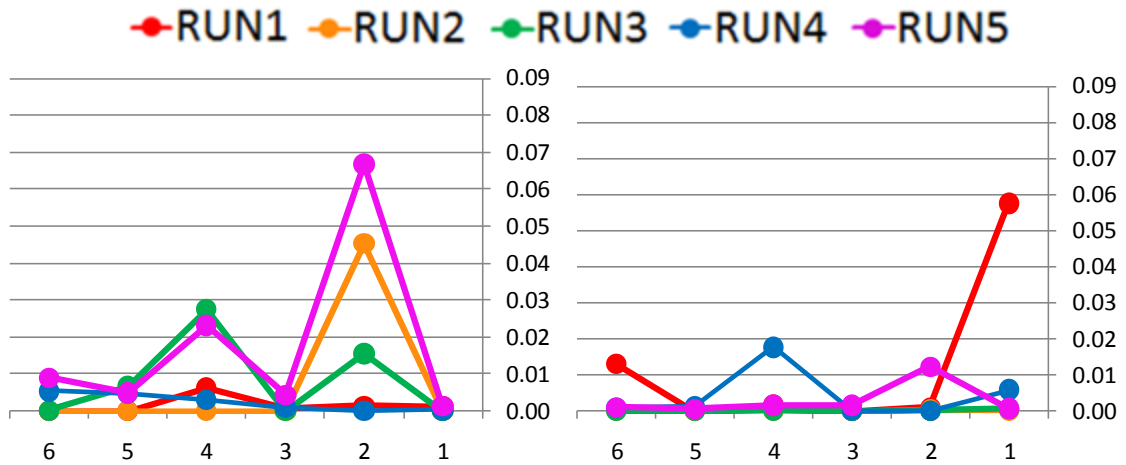


図 4.1.17 NO₂ (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

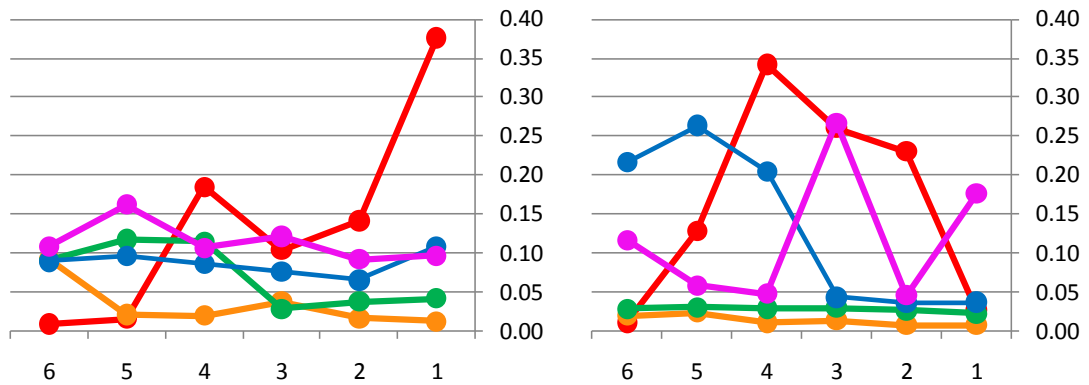


図 4.1.18 NH₄ (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

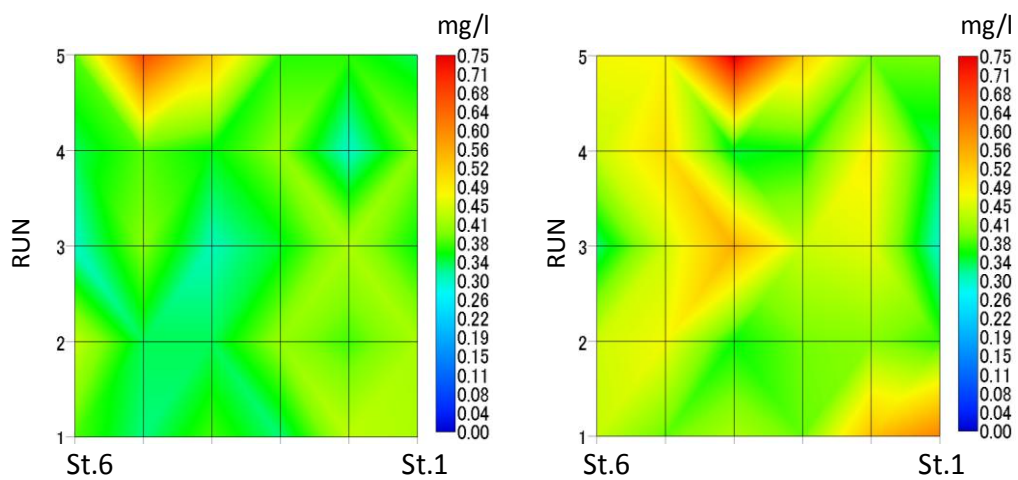


図 4.1.19 TN の時間的变化

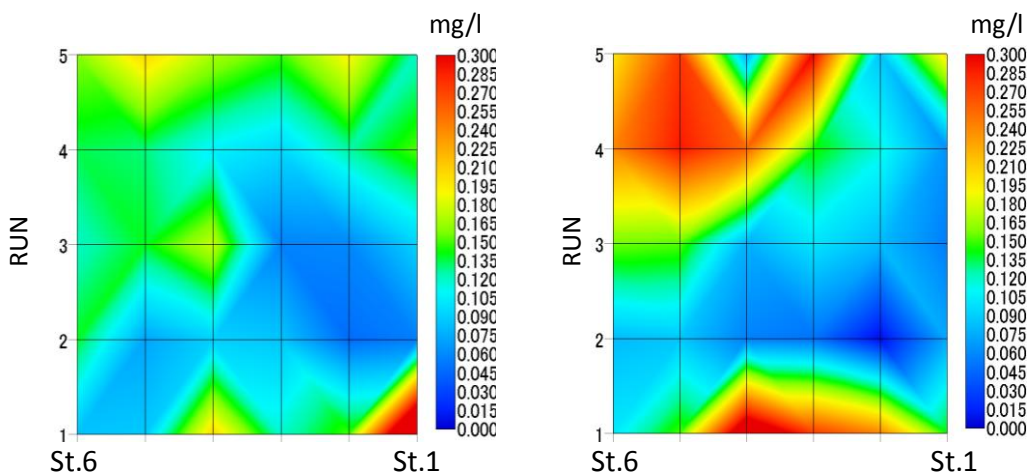


図 4.1.20 DIN の時間的变化

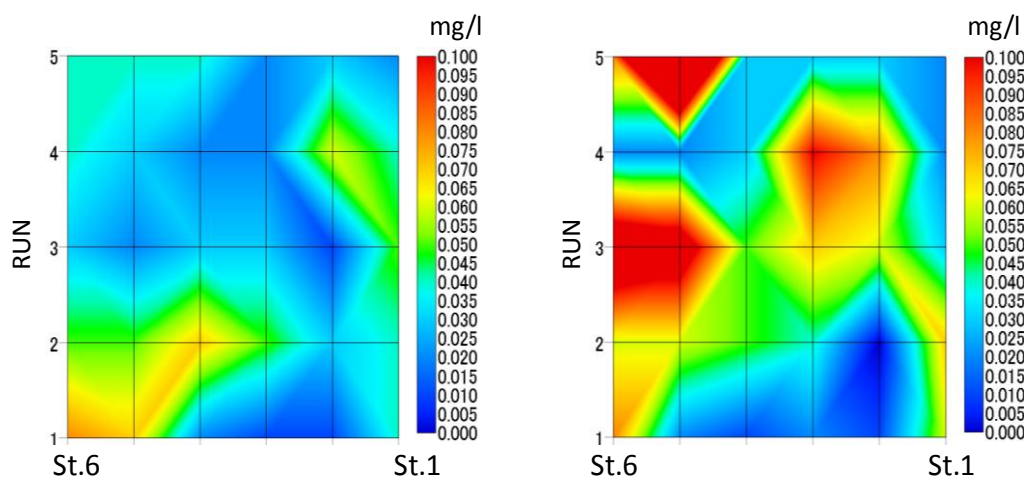


図 4.1.21 NO₃ の時間的变化

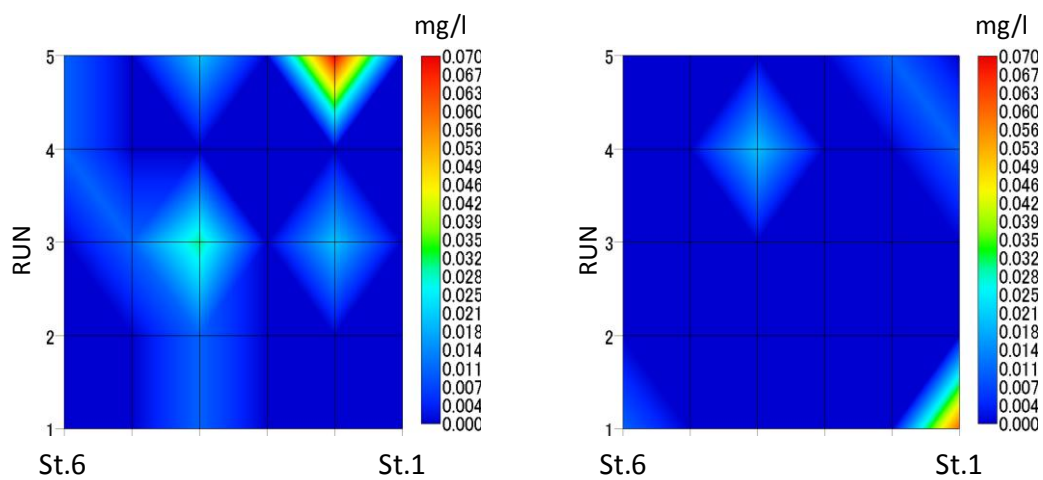


図 4.1.22 NO₂ の時間的变化

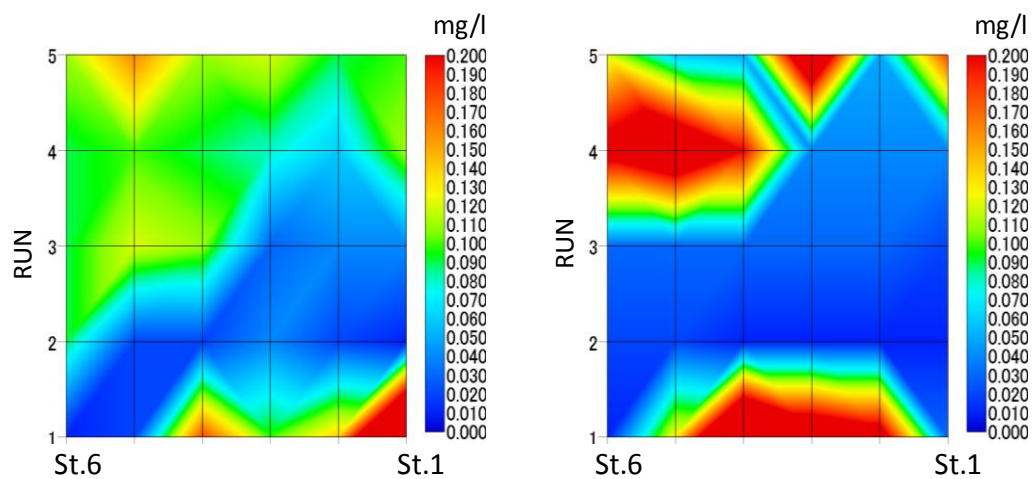


図 4.1.23 NH₄ の時間的变化

● RUN1 ● RUN2 ● RUN3 ● RUN4 ● RUN5

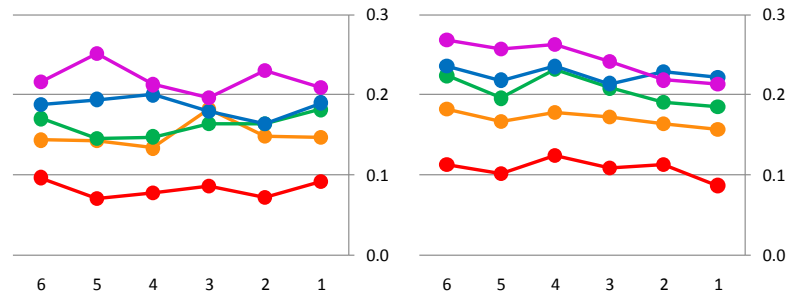


図 4.1.24 TP (横軸: St 番号 縦軸: 濃度(mg/l))

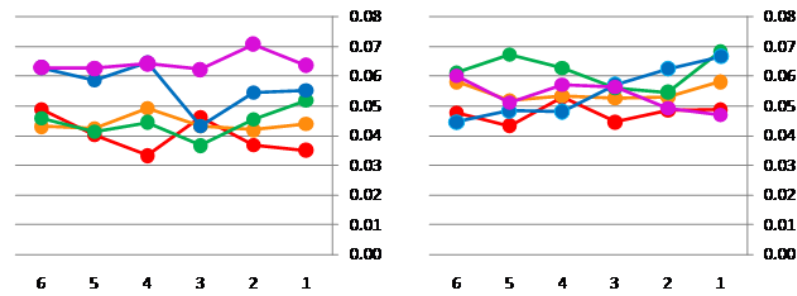


図 4.1.25 PO4-P (横軸: St 番号 縦軸: 濃度(mg/l))

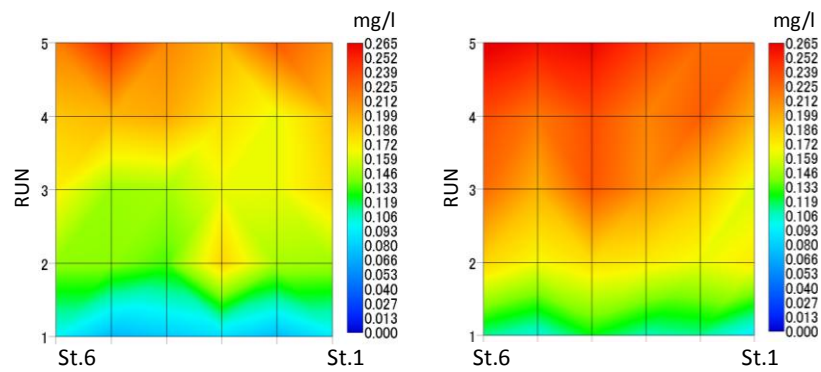


図 4.1.26 TP の時間的变化

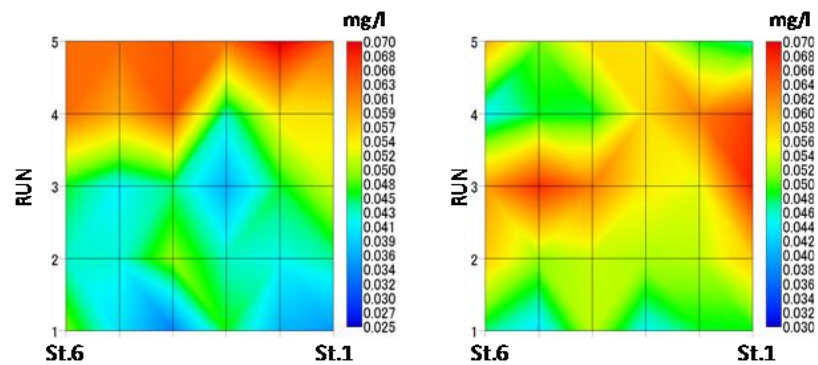


図 4.1.27 PO4-P の時間的变化

表 4.1.2、表 4.1.3 に表層・底層それぞれにおける各項目の相関関係を示す。

表層・底層ともに共通しているのは、水温と塩分に負の相関が見られ、DIN と NH4-N に正の相関が見られたことである。どちらも夏季によくみられる関係である。

表層において、TP と PO4-P に高い相関が見られる。有機物が無機化され PO4-P が上昇したとすれば、底層部の方が高い相関になるはずである。また、PO4-P は植物プランクトンの呼吸時に生成されるが、日中十分な日射があったと考えると光合成が促進され PO4-P が使われやすい環境であったと考えられる。流入負荷によるものや動物プランクトンから排泄され PO4-P が上昇し、TP の上昇につながったことが示唆される。

平面分布の変化の様子から、クロロフィルと濁度の挙動が似ていることが確認できたが、相関の値はあまり高くない。観測中、巻き上げや流入により土粒子が三番瀬に浮遊しており、クロロフィルよりも濁度に大きく影響したことが考えられる。

表 4.1.2 表層部における各項目の相関関係

	TN	NO3	NO2	NH4	DIN	TP	PO4	水温	塩分	DO	クロロ	濁度
TN	1											
NO3	-0.060	1										
NO2	0.043	-0.221	1									
NH4	0.260	-0.527	0.122	1								
DIN	0.271	-0.220	0.342	0.906	1							
TP	0.345	-0.259	0.200	0.423	0.413	1						
PO4	0.193	-0.041	0.181	0.451	0.530	0.804	1					
水温	0.205	-0.238	0.143	0.581	0.577	0.679	0.620	1				
塩分	-0.404	0.070	-0.125	-0.412	-0.458	-0.348	-0.362	-0.748	1			
DO	0.245	-0.283	0.289	0.473	0.484	0.589	0.478	0.600	-0.565	1		
クロロ	0.465	0.050	0.096	0.044	0.098	0.396	0.280	-0.025	0.015	0.506	1	
濁度	0.214	0.540	-0.163	-0.365	-0.219	0.067	0.148	-0.135	0.026	-0.158	0.311	1

表 4.1.3 底層部における各項目の相関関係

	TN	NO3	NO2	NH4	DIN	TP	PO4	水温	塩分	DO	クロロ	濁度
TN	1											
NO3	0.034	1										
NO2	-0.083	-0.030	1									
NH4	0.032	-0.332	0.247	1								
DIN	0.037	0.076	0.360	0.909	1							
TP	0.288	0.174	0.237	0.155	0.259	1						
PO4	0.365	0.205	-0.021	-0.229	-0.150	0.313	1					
水温	0.344	0.228	-0.129	-0.025	0.054	0.074	0.023	1				
塩分	-0.354	-0.181	-0.002	0.018	-0.057	-0.107	-0.082	-0.946	1			
DO	0.154	0.049	-0.019	0.453	0.478	0.284	-0.027	0.395	-0.357	1		
クロロ	0.199	0.300	0.053	0.169	0.304	0.543	-0.006	0.594	-0.530	0.732	1	
濁度	-0.053	-0.095	-0.097	0.042	-0.009	-0.156	0.137	0.141	-0.144	0.047	0.023	1

表 4.1.4 に今回の観測で得られた三番瀬の浄化能力を示す。栄養塩・流速のデータをもとに算出された栄養塩収支を三番瀬全体の面積で割り、1 m²当たりの水質浄化能力として定量化した。その際、本研究では三番瀬への流入を正にとる。

2009年8月5日の観測時には栄養塩各項目に対し、浄化能力を発揮しているといえる。初めての観測であり、さまざまな不手際やアクシデントにより上げ潮・下げ潮を同等に評価できなかつたため、それぞれの潮位変化は下げ潮時で123cm、上げ潮で156cmとなり、若干上げ潮が過大評価となった。しかし、RUN1の値とRUN1と同じ水位に相当するRUN4のリンの値をくらべても十分増加傾向にあることがわかる。

千葉県で試算された浅海域生態系モデルを用いた浄化量は脱窒による浄化が大きくT-Nが575t/年とされているが、今回の観測で得られたデータを単純に1年相当に換算してみると約20t/年となり約30分の1程度の浄化となった。

表 4.1.4 1 m²当たりの水質浄化能力

観測時間	単位:(mg/m ²)			
	TN	DIN	TP	PO4-P
7:00 ～ 16:00	1.11	0.318	0.435	0.114

4.1.3 まとめ

三番瀬周辺に存在する時計回りの循環流による影響が大きい。夜間に三番瀬内で浄化された海水は潮汐により流出し、東京湾から潮汐と循環流によって流入する。成層化した環境では流入の際に、停滞した底層の水塊が表層流に引き上げられることがわかった。

リンの挙動に関してかなり顕著な変化が見られた。夏季には底生生物による分解が活発化したり、光の供給が多いため、植物プランクトンの活動が促進されるなど多くの要因がある中で、リンの濃度のみが顕著に変化したことは何か特別な要因があったと思われる。

RUN1 と RUN5 を比べると TP・PO4-P が急激に増加していることに注目してしまうが、RUN5 の約 5 時間後に RUN1 と同じ水位になる。潮汐によって流出入した海水が浄化されるのならば RUN5 の約 5 時間後の夜間に RUN1 と同程度の栄養塩濃度になっているはずだが、短時間に半分以下の濃度まで減少するかという点について疑問が残る。

4.2 2010年8月10日の観測

図 4.2.1 と表 4.2.1 に 2010 年 8 月 10 日に行った観測地点を示す。また、図 4.2.2 に潮位と作業工程を示す。アイリスでの観測に加え、ゴムボートでの三番瀬内 St.A、St.B の観測を行った。また、当日航路の中は浚渫工事中であったためアイリスでの観測は St1～St.6 のみ行なった。

表 4.2.1 観測地点の緯度経度



地点名	緯度		経度	
	分	秒	分	秒
St.1	35	39	139	59
St.2	35	39	39.06	58
St.3	35	38	29.22	58
St.4	35	38	6.72	57
St.5	35	38	6.42	57
St.6	35	38	23.04	56
St.A	35	39	13.01	56
St.B	35	39	0.12	56

図 4.2.1 観測地点

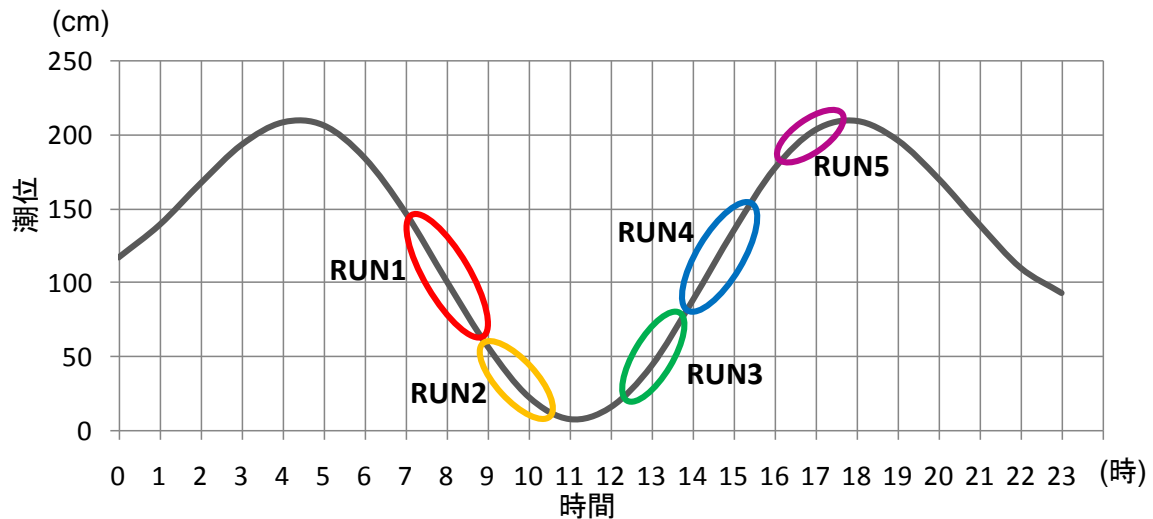


図 4.2.2 潮位グラフと観測工程

4.2.2 観測結果

各 RUN における流速の平面分布を図 4.2.3 に示す。このとき、前述したように三番瀬の水深に合わせて水面から 2m までの平均流速を表層、4~6m の平均を底層として与えた。また、ADCP では最深部の計測が難しく一部欠損している。

底層部は前回と異なり表層と流向に違いはない。上げ潮時に底層からの流入も考えられるが、前回と同様の評価をするため収支の算定には表層流を使用する。



図 4.2.3 流速の分布(上：表層 下：底層)

図 4.2.4～4.2.8 に多項目水質計で得られた各項目の鉛直分布を示す。それぞれ、時間や場所によっての変化の違いなどを明確にするため、ここでは、縦軸の水深を 0～6m のみの表記とし、各項目ごとに横軸のスケールを合わせてある。

また、図 4.1.9～4.1.13 に多項目水質計により得られた各項目のうち、St.1～6 の変化の様子を示す。左を表層、右を底層に分け変化の様子を見やすくするため場合によって左右の凡例のスケールを変えて表示している。なお、RUN5 の St.6 は欠損している。

水温・塩分に関しては、前回 0～6m の間に水温では最大約 8℃、塩分では最大約 10psu の水深による変化が見られた。それに比べると、今回は水温で約 2℃、塩分で約 6psu と変化も小さく勾配も緩やかで成層化していない。

時間変化では水温が日中の日射によるものか温かい東京湾からの海水の影響によるものなどがあるのが分かるが塩分との対応があまり良くない。流入によるものであれば東京湾の方が塩分は高く、流入時にそのような反応があるはずである。そのためあまり海水の交換が活発でなく観測中表層の海水が日射により水温が上昇したと考えるのが妥当である。海水の動きが悪かったと考えると、St.1 の塩分が変化していないのも説明がつく。平面分布の図において三番瀬西側からわずかながら変化していることから、微弱な流入が循環流とともにあり、大きく三番瀬内へ流入し影響するほどの変化はもたらさなかったと言える。

DO・クロロフィルはすべての St でそれぞれ挙動が一致している。植物プランクトンの光合成が十分に行われ水中の酸素量に強く関わったと考えられる。そのため、十分な流入があればこの変化は植物プランクトンの光合成に好条件である夏季において妥当な変化だと言える。しかし、水温・塩分のデータより海水交換が活発でなかったことが示唆されている。循環流による若干の植物プランクトンの流入があったはずだが、上げ潮時の流入が大きかった前回と比べてもあまり変わらないほどのクロロフィルの値であり、それに伴う DO も前回と大きく変わらない。このことより当日、植物プランクトンの活動や増殖が前回の観測時よりも活発になる要因があったと考えられる。

また、ここでも St.1 の底層の時間的変化は乏しい。海水の循環が非常に悪く、殆ど観測中変化がなく同じ環境であったと考えられる。

3mg/l を貧酸素化の基準とした場合、ほぼ貧酸素化は見られなかったと言える。

濁度の鉛直分布はほぼ一様であり、St5・St6の変化はクロロフィル・DOと似ていたため、濁度の変化はクロロフィルによるものであることが分かる。だが前述したように東京湾からの流入が乏しい状況で植物プランクトンのみが流入したとは考えづらい。そのため三番瀬内の何らかの要因により植物プランクトンが増殖し、濁度の変化に関与したと考えられる。

三番瀬内部のStA・StBの2点はDO・クロロフィル・濁度のデータより明らかに対応しておらず、違った環境であることが分かる。時間的変化の少ないStAに比べ、StBは上げ潮時にDO・クロロフィル・濁度の増加の様子はわずかながらの東京湾からの流入があったSt5・St6と類似している。そのため東京湾からの流入はStBでは認められるが、StAには行き届かずあまり海水交換が行われなかった当日の三番瀬を代表していると言える。

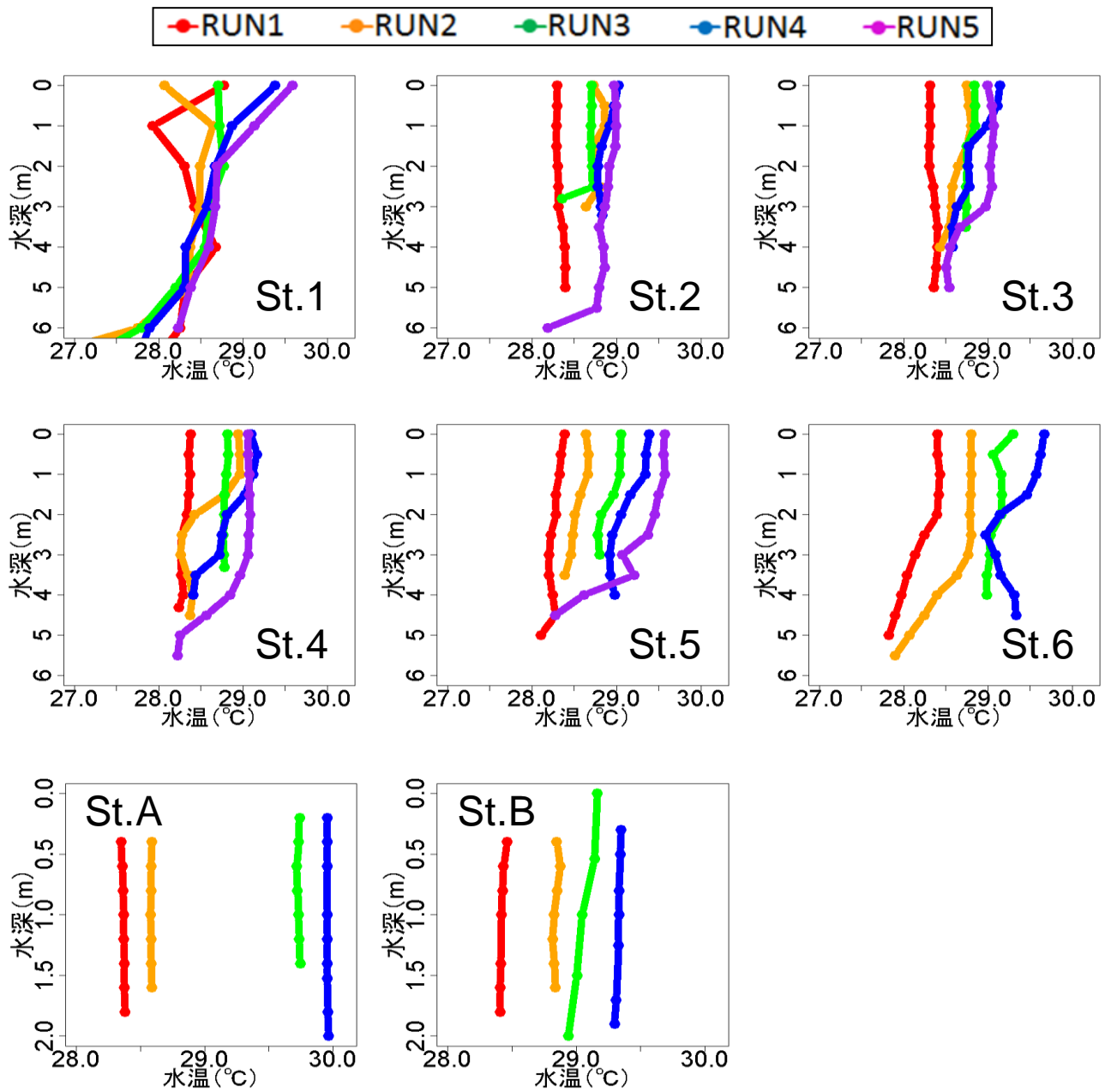


図 4.2.4 水温の鉛直分布

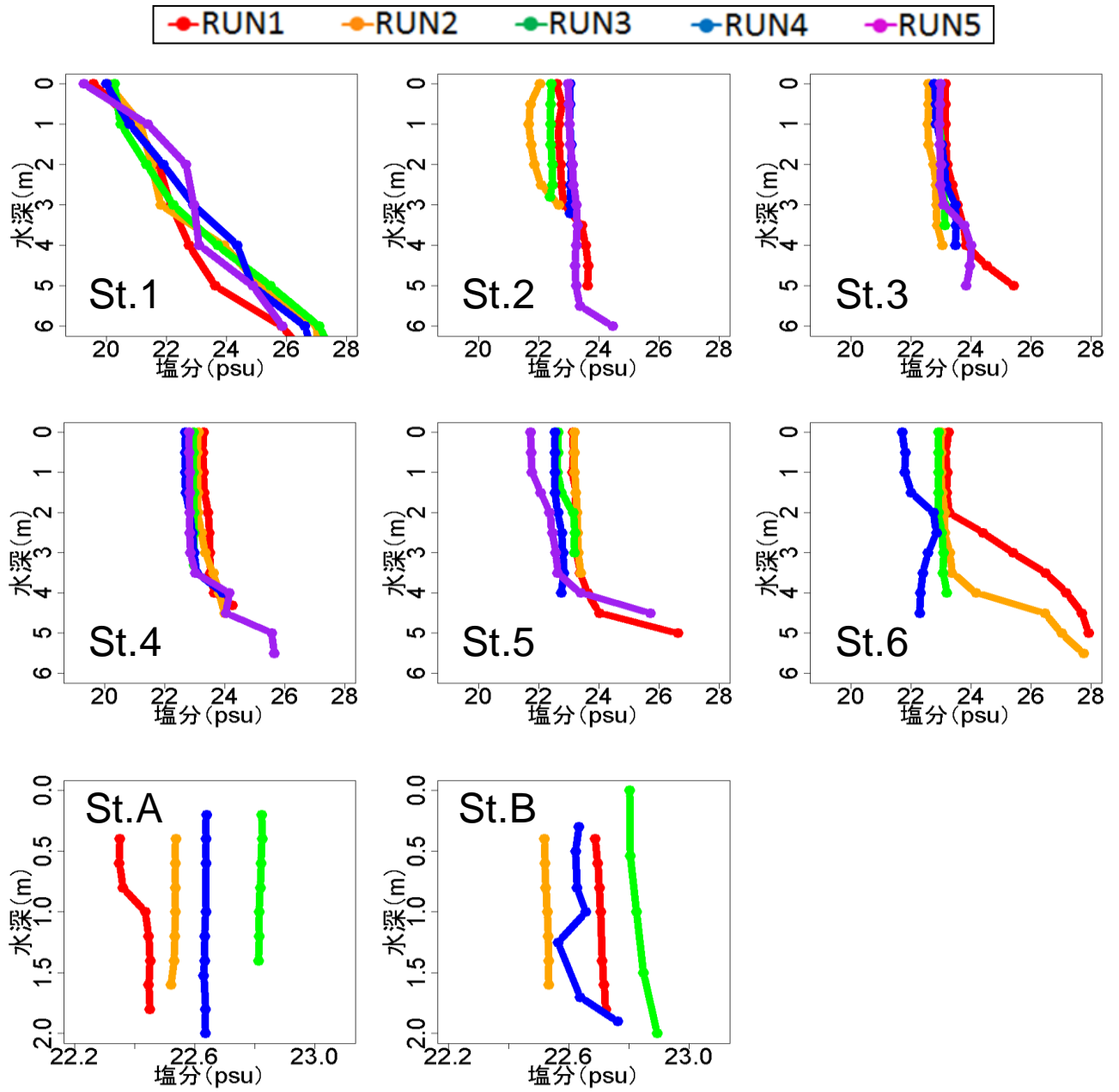


図 4.2.5 塩分の鉛直分布

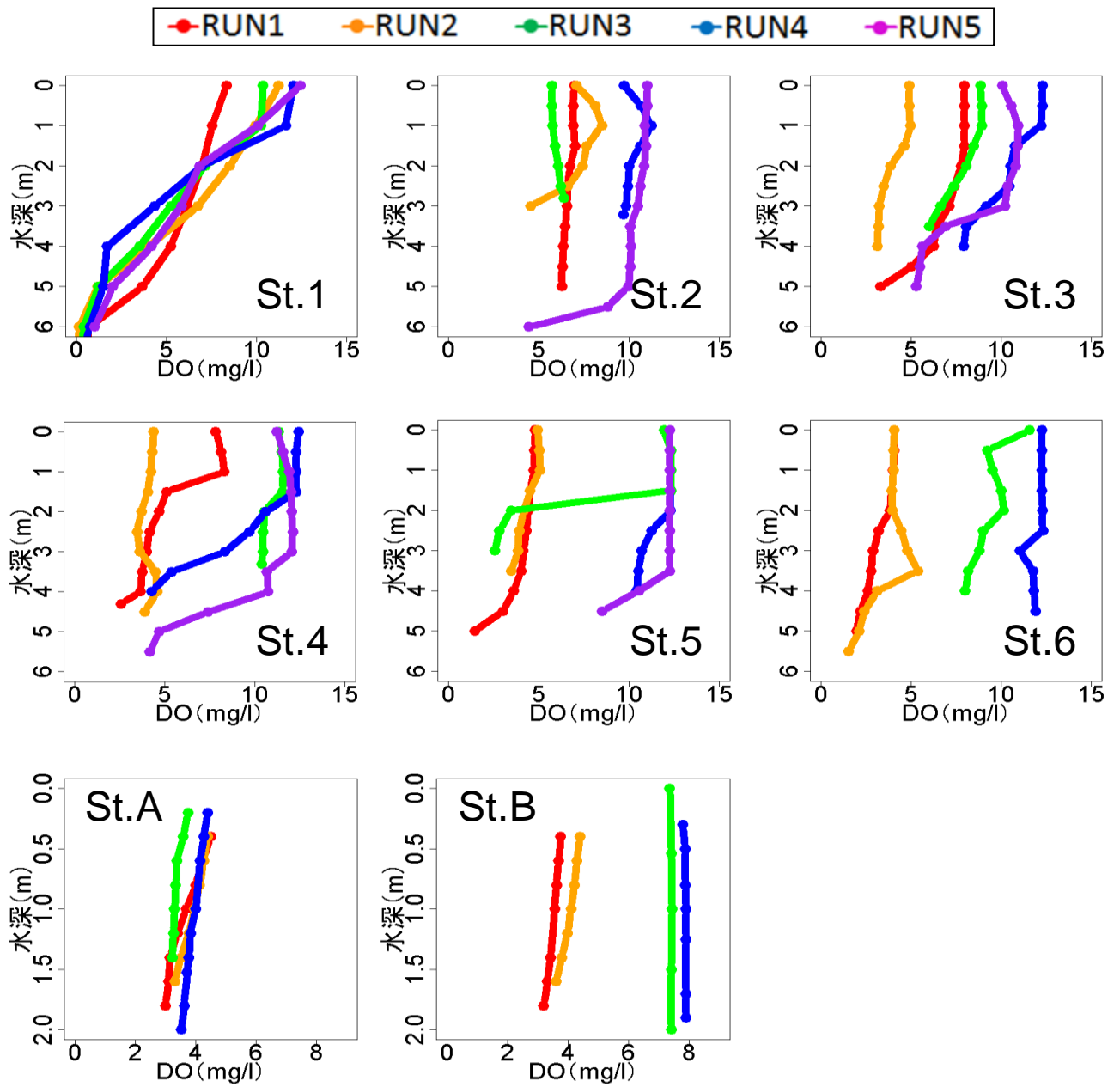


図 4.2.6 DO の鉛直分布

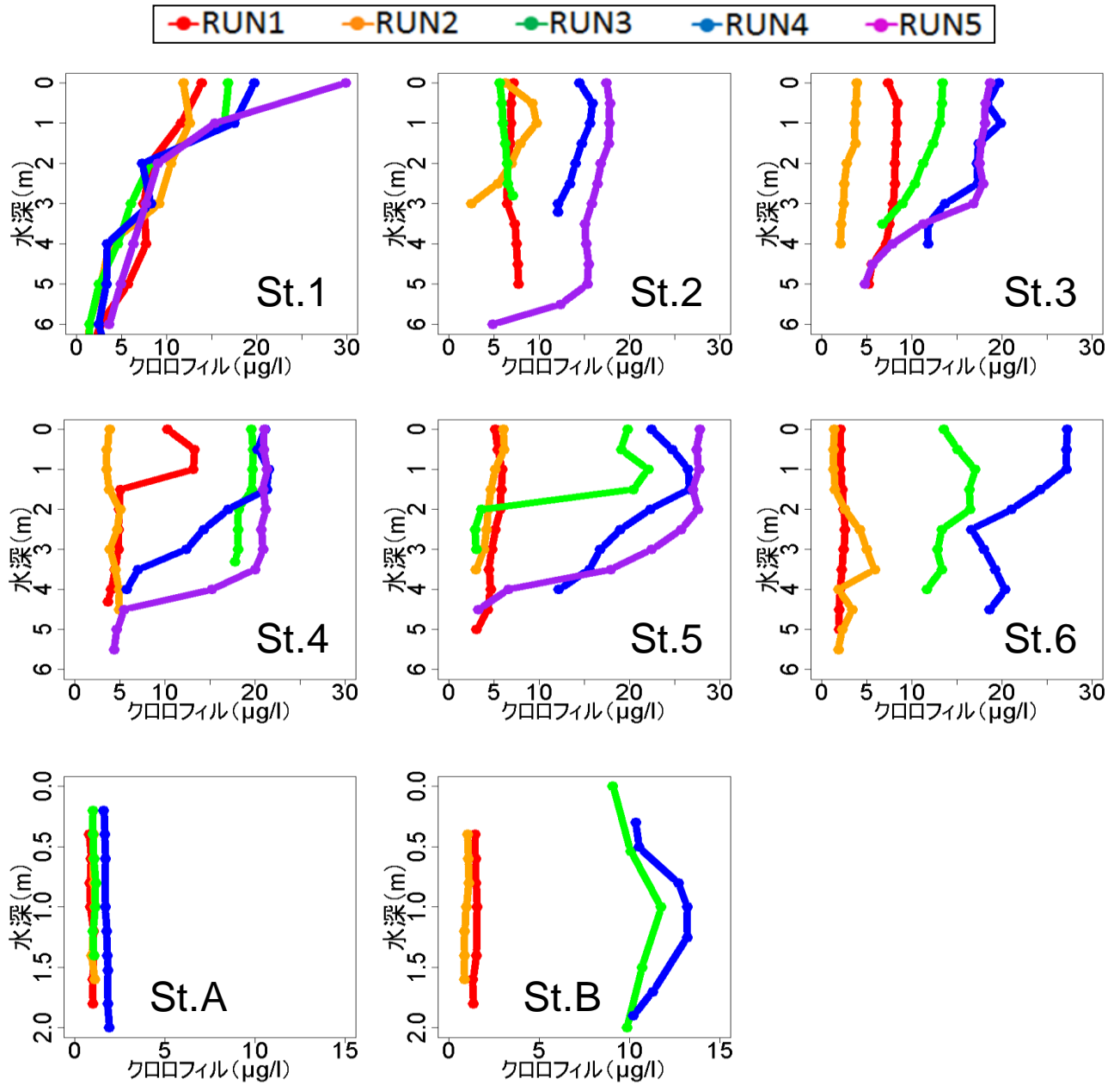


図 4.2.7 クロロフィルの鉛直分布

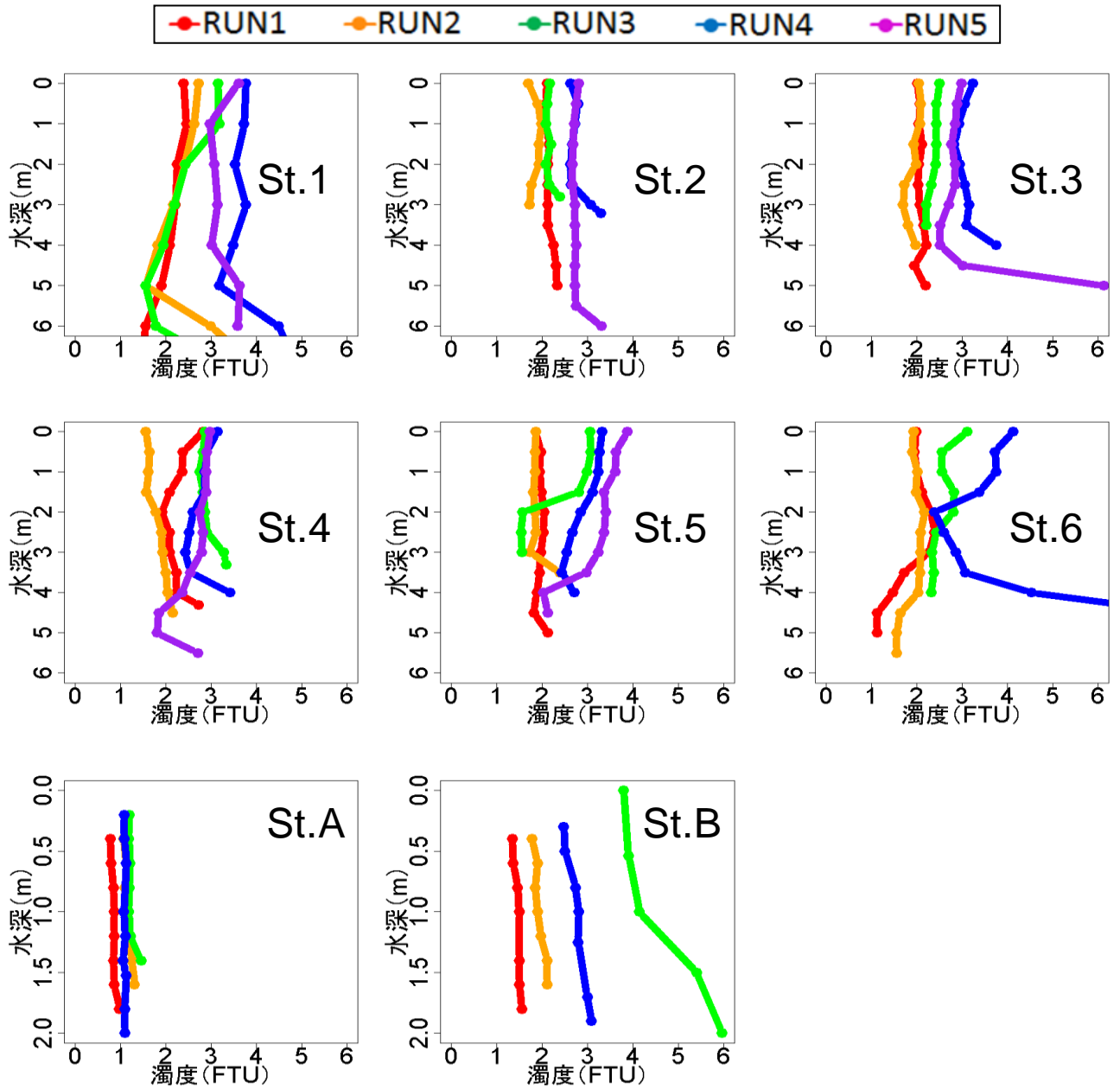


図 4.2.8 濁度の鉛直分布

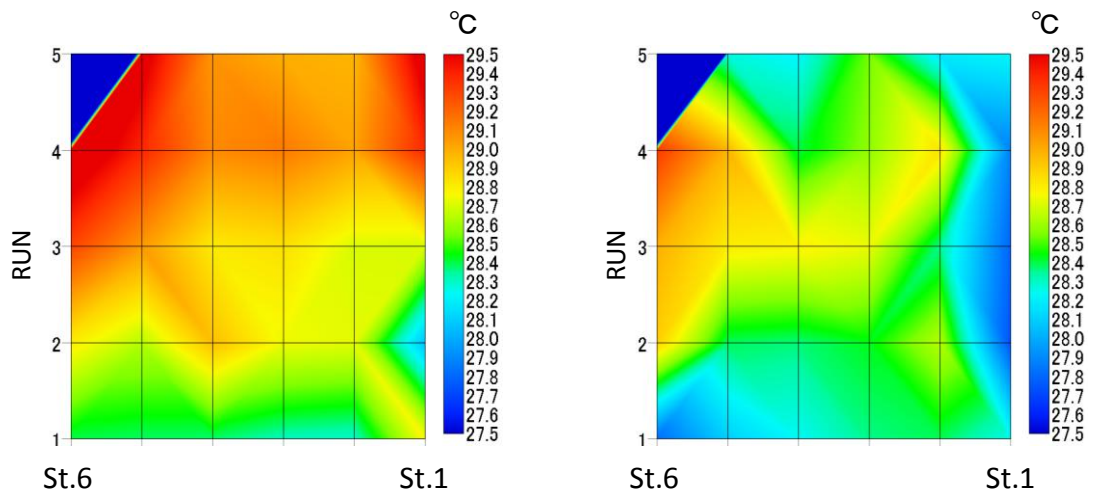


図 4.2.9 水温の時間的変化

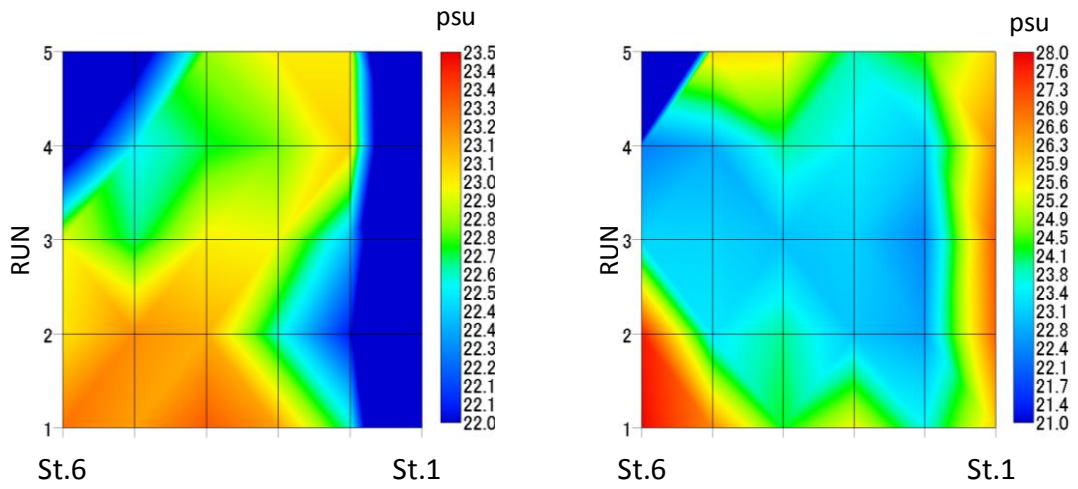


図 4.2.10 塩分の時間的変化

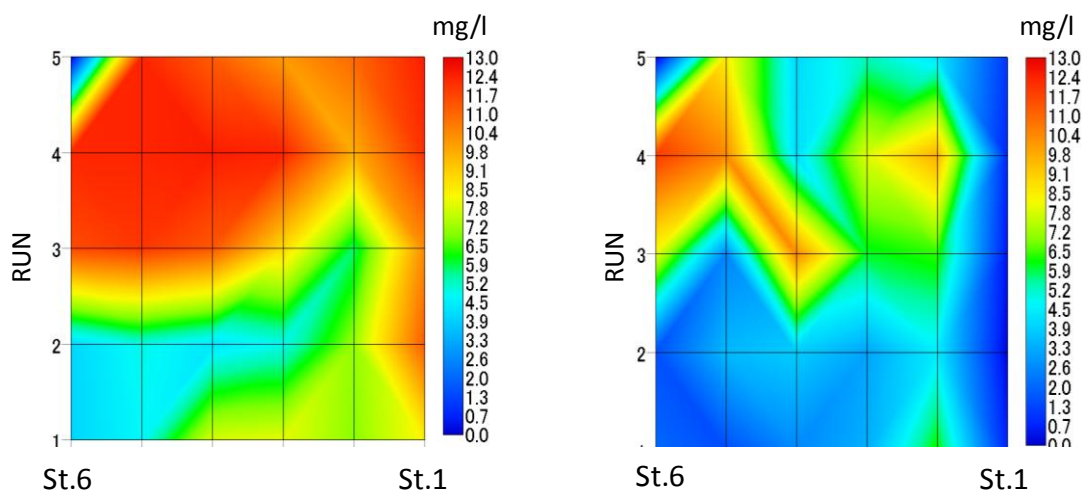


図 4.2.11 DO の時間的変化

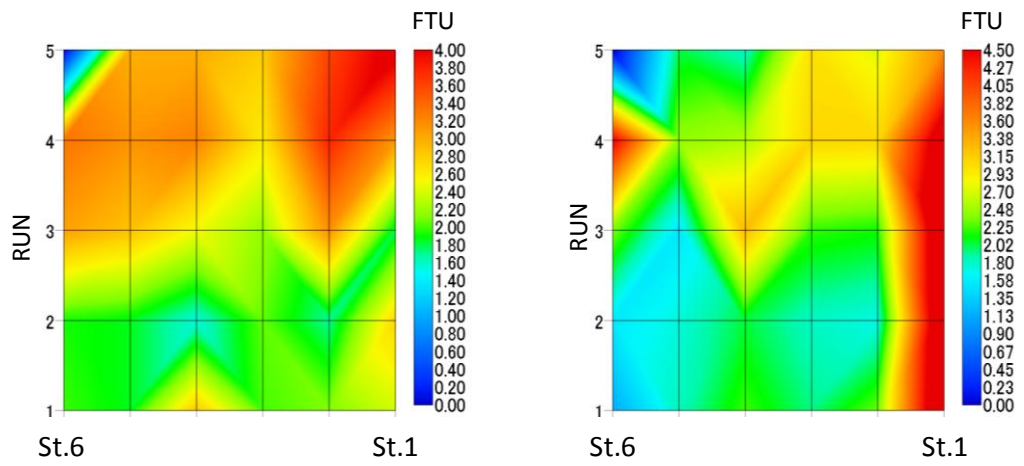


図 4.2.12 クロロフィルの時間的变化

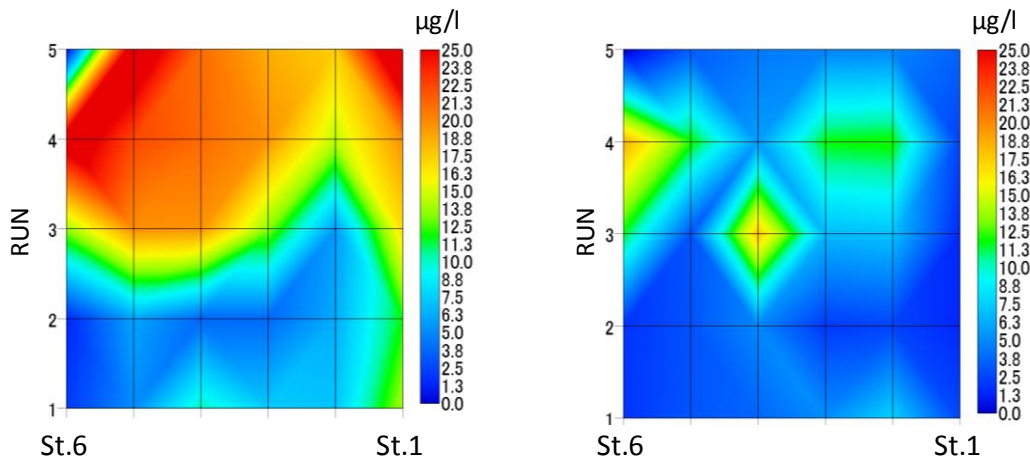


図 4.2.13 濁度の時間的变化

窒素の St.1~6、St.A・St.B のデータを図 4.1.14~4.1.18 に、St.1~6 の変化の様子を図 4.1.19~4.1.23 に示す。またリンの St.1~6、St.A・St.B のデータを図 4.1.24・4.1.25 に、St.1~6 の変化の様子を図 4.1.27・4.1.28 に示す。左に表層、右に底層のデータを示す。

前回同様、窒素は RUN による大きな変化は見られない。流入による影響が少ない今回は、場所によっては観測中ほとんど変化がないところが目立つ。

TN の時間的变化はあまり変化がないが NO₃ の値の変化が見られる。それにつられ、DIN が変化し、その他 2 種類の溶存無機態の変化があまりない。NO₃ が減り、NH₄ が増加すれば夏季の嫌気的な条件下で起きやすい反応であるが、NH₄ の値は変化していない。そのため、脱窒による変化が示唆される。脱窒は脱窒細菌が硝酸塩を酸素源に有機物を分解し、窒素ガスもしくは亜酸化窒素を生成する現象である[8]。

リンは窒素に比べ、各 RUN による変化が大きい。PO₄-P に関しては結果がきれいに出すぎているが、全体的に前回に似た挙動であることが分かる。

2 回の夏季観測より、下げ潮から上げ潮にかけて TP、PO₄-P のどちらも上昇していき、満潮付近に最大値になるとい傾向が見られる。どちらも流出時の濃度はあまり変わらないのに対し、流入時の濃度に違いがある。流入する濃度によらず、ある一定の値まで減少させて放出するバッファーのような役割を果たしていると考えられる。

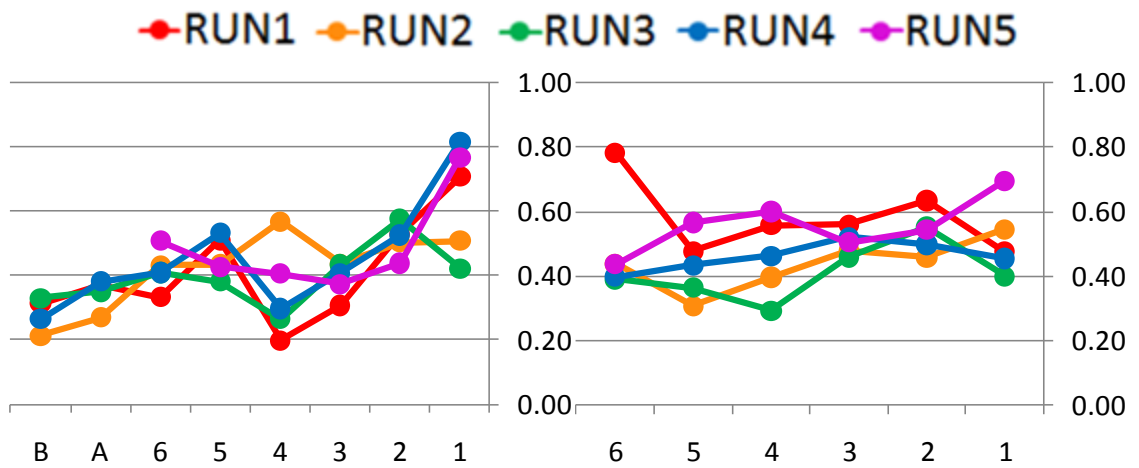


図 4.2.14 TN (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

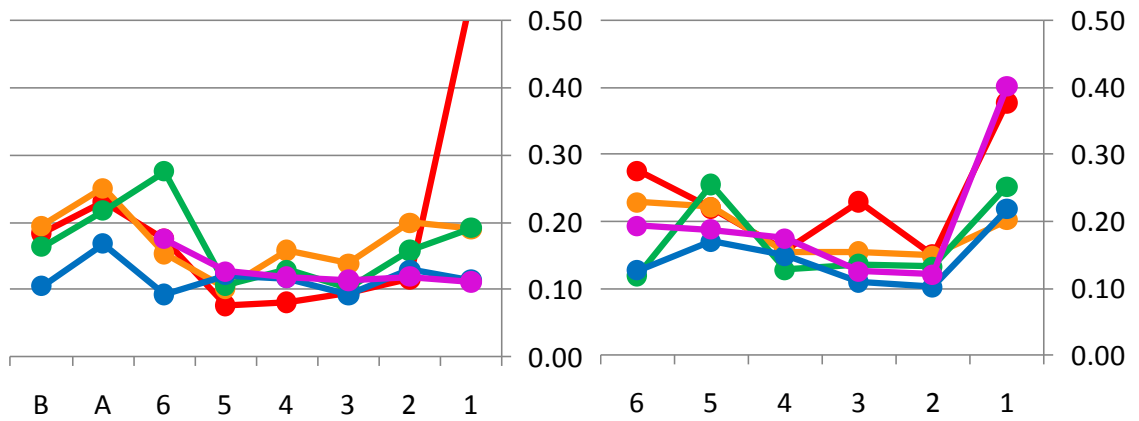


図 4.2.15 DIN (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

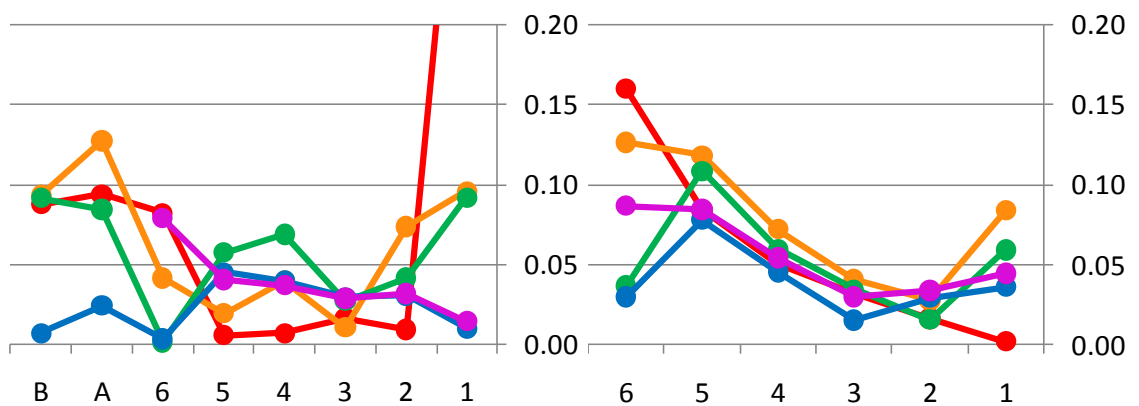


図 4.2.16 NO3 (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

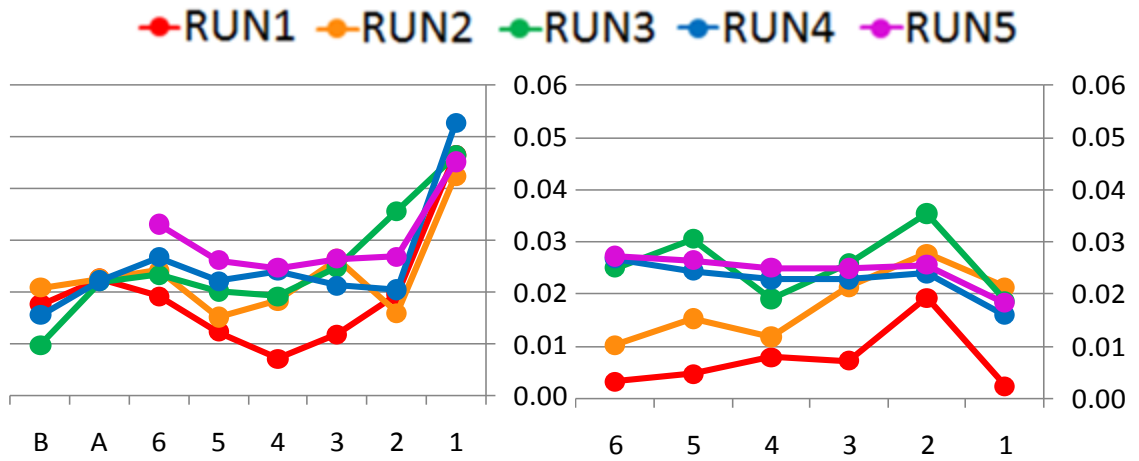


図 4.2.17 NO₂ (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

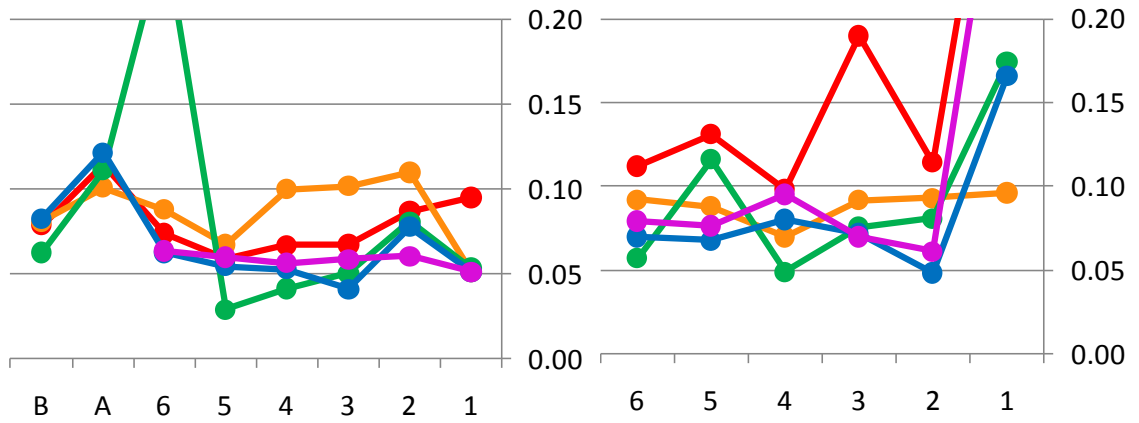


図 4.2.18 NH₄ (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

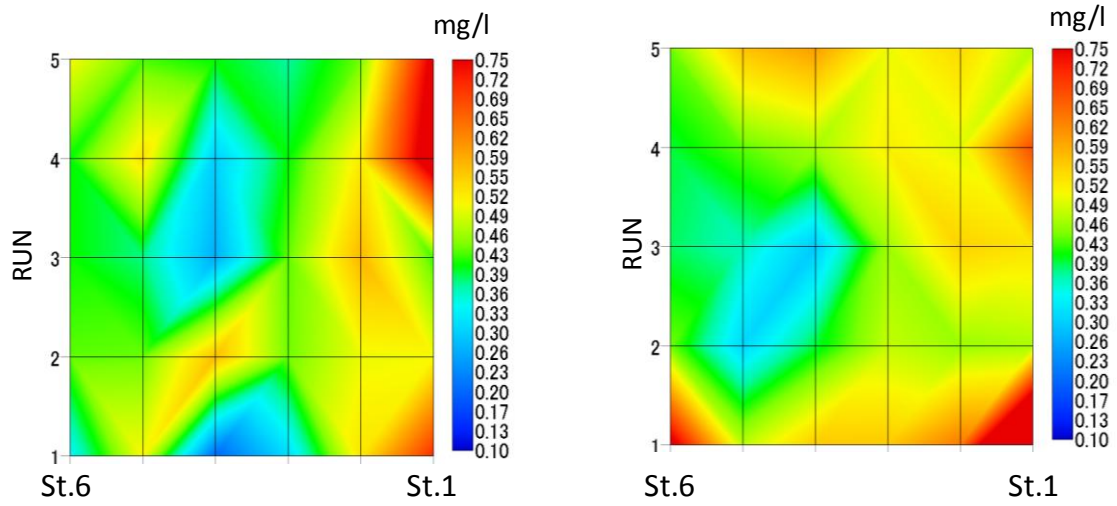


図 4.2.19 TN の時間的変化

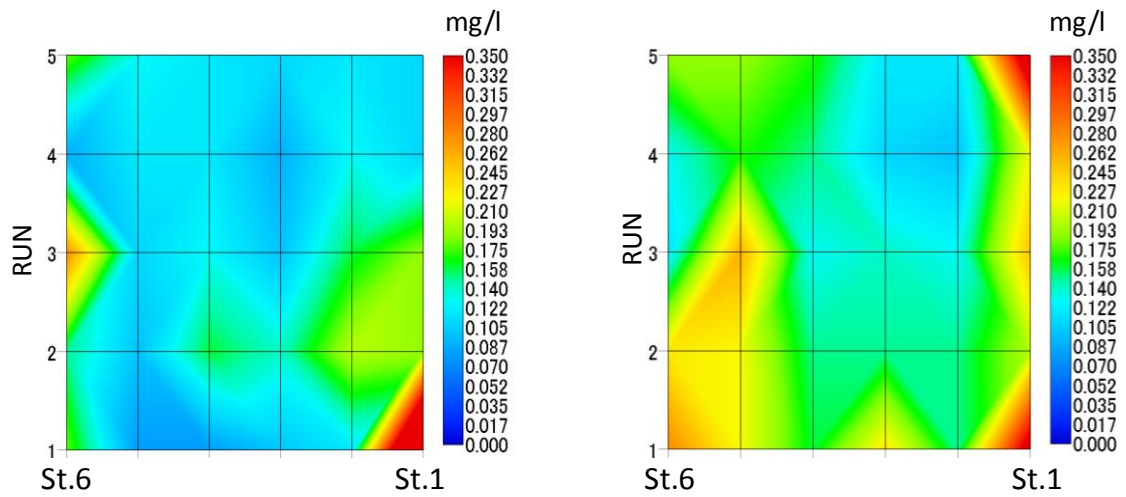


図 4.2.20 DIN の時間的変化

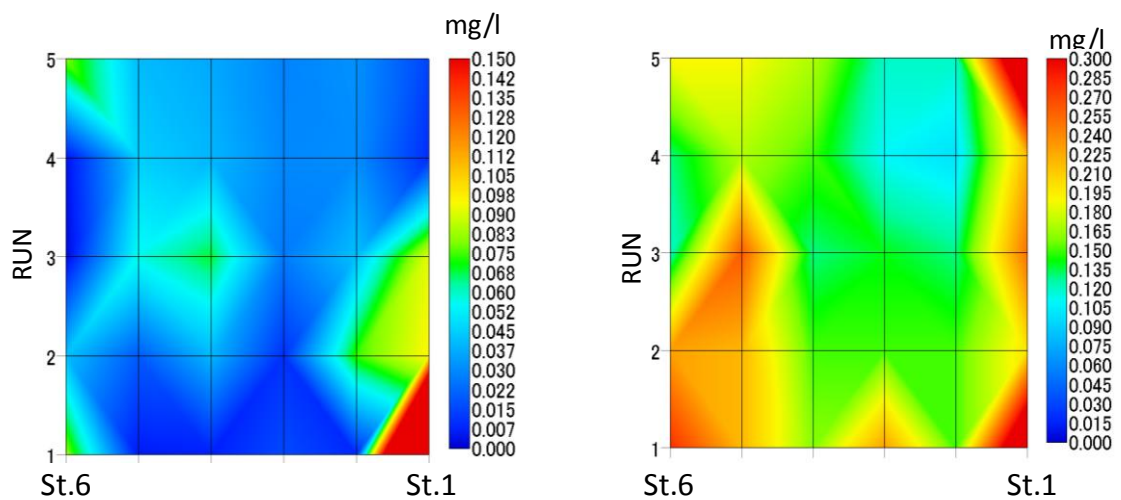


図 4.2.21 NO₃ の時間的変化

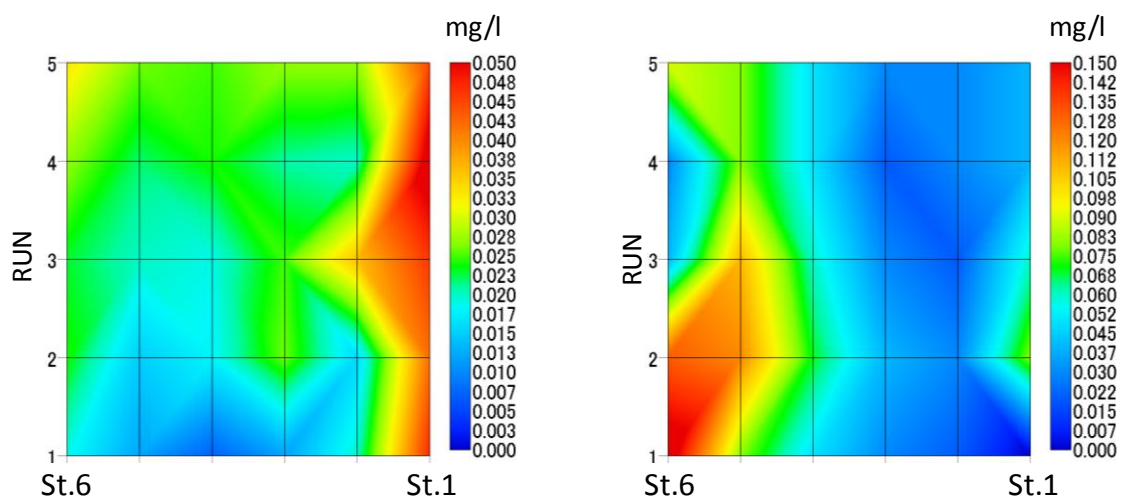


図 4.2.22 NO₂ の時間的变化

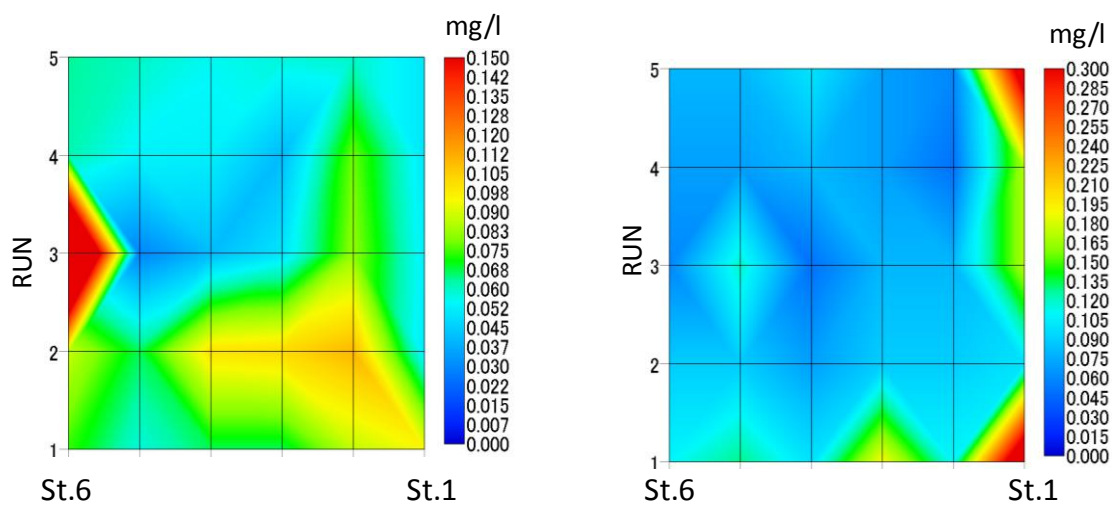


図 4.2.23 NH₄ の時間的变化

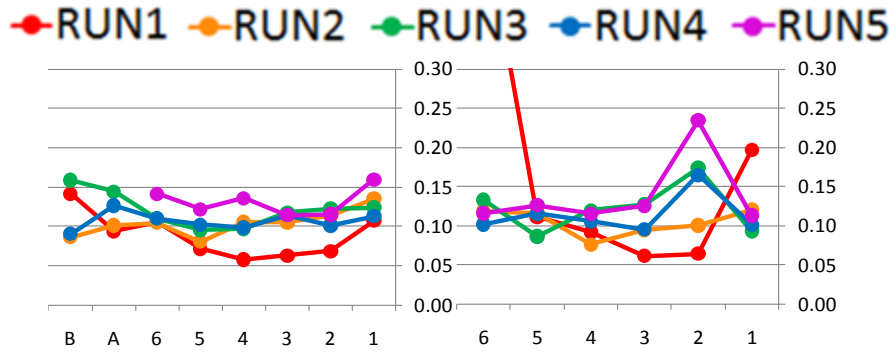


図 4.2.24 TP (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

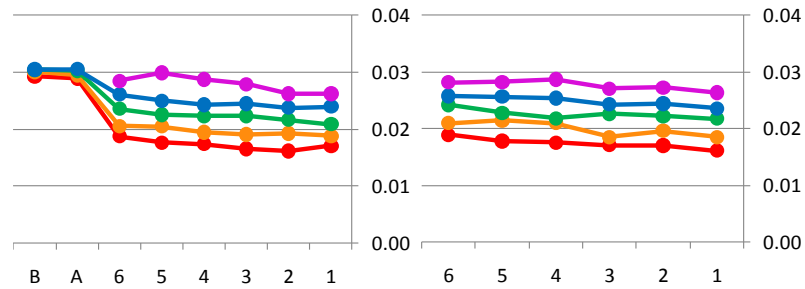


図 4.2.25 PO4-P (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

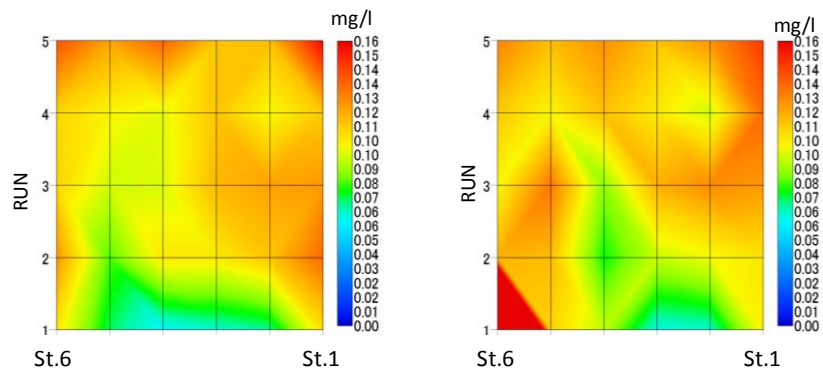


図 4.2.26 TP の時間的变化

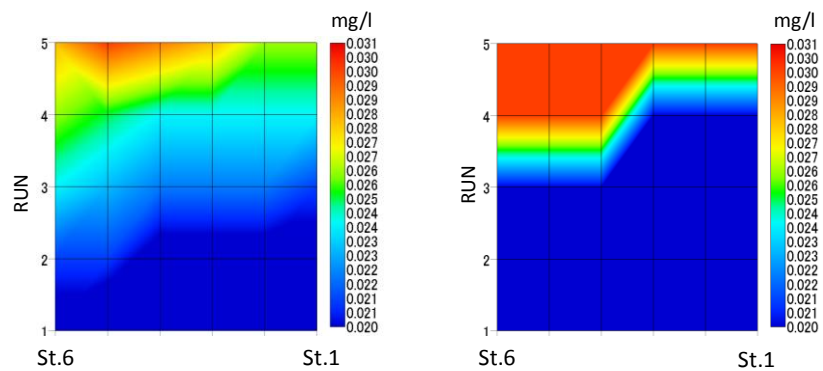


図 4.2.27 PO4-P の時間的变化

表 4.2.2、表 4.2.3 に表層・底層それぞれにおける各項目の相関関係を示す。

どちらも共通しているのが DO とクロロフィルに高い相関があることである。流入量の小さい環境で東京湾からの供給が少ない中、クロロフィルの活動や増殖が活発になるような条件であったといえる。

表層と底層で大きく異なるのは、DIN に対する NO₃-N と NH₄-N の関係である。表層において NO₃-N と DIN に高い相関が見られ、底層では NH₄-N と DIN の高い相関が見られた。流れが激しくなかった今回の観測において、流入によるものとは考えづらい。夏季ながら DO 値が全体的に高く三番瀬一帯に十分に行き渡っていたとすると、NO₃-N の生成が促進されやすいと考えられる。NO₃-N が表層のみに DIN と対応していることから NH₄-N の溶出が底層で活発に行われ、表層部にかけて硝化反応が進み NO₃-N が増えたことが要因の一つと考えられる。

表 4.2.2 表層部における各項目の相関関係

	TN	NO3	NO2	NH4	DIN	TP	PO4	水温	塩分	DO	クロロ	濁度
TN	1											
NO3	0.269	1										
NO2	0.675	0.405	1									
NH4	0.043	0.008	-0.097	1								
DIN	0.332	0.887	0.423	0.453	1							
TP	0.430	0.138	0.686	-0.046	0.184	1						
PO4	0.028	-0.267	0.215	-0.169	-0.271	0.587	1					
水温	0.313	-0.126	0.342	-0.023	-0.071	0.511	0.759	1				
塩分	-0.402	-0.482	-0.497	-0.033	-0.480	-0.380	0.002	-0.204	1			
DO	0.146	-0.061	0.355	-0.081	-0.041	0.385	0.666	0.591	-0.357	1		
クロロ	0.142	-0.041	0.294	-0.094	-0.038	0.428	0.743	0.724	-0.394	0.923	1	
濁度	0.200	-0.151	0.315	-0.107	-0.133	0.406	0.667	0.671	-0.384	0.884	0.908	1

表 4.2.3 底層部における各項目の相関関係

	TN	NO3	NO2	NH4	DIN	TP	PO4	水温	塩分	DO	クロロ	濁度
TN	1											
NO3	0.005	1										
NO2	-0.185	-0.309	1									
NH4	0.277	-0.175	-0.474	1								
DIN	0.266	0.288	-0.529	0.888	1							
TP	0.488	0.389	-0.248	0.029	0.198	1						
PO4	-0.037	-0.072	0.629	-0.293	-0.266	-0.033	1					
水温	-0.079	-0.074	0.314	-0.451	-0.467	-0.071	0.377	1				
塩分	0.245	0.223	-0.467	0.546	0.622	0.261	-0.315	-0.919	1			
DO	-0.195	-0.241	0.498	-0.608	-0.691	-0.075	0.490	0.653	-0.724	1		
クロロ	-0.300	-0.294	0.391	-0.460	-0.578	-0.080	0.437	0.512	-0.554	0.888	1	
濁度	-0.141	-0.398	-0.024	0.422	0.231	-0.136	0.025	-0.654	0.574	-0.206	0.085	1

表 4.2.4 に今回の観測で得られた三番瀬の浄化能力を示す。栄養塩・流速のデータをもとに算出された栄養塩収支を三番瀬全体の面積で割り、1 m²当たりの水質浄化能力として定量化した。その際、本研究では三番瀬への流入を正にとる。また、RUN1 から RUN5 まで観測を行ったが、今回は下げ潮・上げ潮・ともに同等の評価をするために物質収支の計算には RUN1 から RUN4 の値を用いた。

2010年8月10日の観測時にも栄養塩各項目に対し、浄化能力を発揮しているといえる。この浄化量を単純に1年相当に換算してみると、約5t/年と算定できる。前回と比べると4分の1、シミュレーションを用いた千葉県による試算の100分の1のオーダーとなった。前回の観測との大きな違いは成層化か非成層化という点であるが、浄化力の発揮に関して成層化が一つのキーワードであることが示唆される。

表 4.2.4 1 m²当たりの水質浄化能力

観測時間	単位:(mg/m ²)			
	TN	DIN	TP	PO4-P
7:00 ~ 15:30	0.267	0.0535	0.0744	0.0247

4.2.3 まとめ

成層化していない環境でも、浄化能力を発揮するケースであった。成層化しない場合、表層の流速弱まり、三番瀬への栄養塩の供給が減少する。それに伴い、供給される栄養塩量は明らかに現象している。だが、供給される栄養塩が少ないながらある一定の濃度にまで減少させて流出している様子より、夏季における浄化能力に関しては認められる。

前回同様、原因の特定はできないがリンの濃度に大きな変化がみられた。本研究はマクロに三番瀬を捉え観測することが目的であり、その要因までは特定できないが夏季の三番瀬ではリンに対する何らかの要因が働くことが示唆されたため、その要因の特定をすることが今後の課題である。

4.3 2010年11月22日の観測

図 4.3.1 と表 4.3.1 に 2010 年 11 月 22 日に行った観測地点を、図 4.3.2 に潮位グラフと観測工程を示す。三番瀬と東京湾の前置斜面直上の St.1 から St.6 と放水路河口の St.11 の観測を行った。地図上ではあまり差はないが、当日 St.4、St.5 付近で侵入規制がかかっていたためどちらも若干南よりになっている。

表 4.3.1 観測地点の緯度経度



地点名	緯度		経度	
St.1	35° 39′	13.14	139° 59′	12.90
St.2	35° 39′	39.06	139° 58′	47.82
St.3	35° 38′	29.22	139° 58′	26.46
St.4	35° 38′	5.3	139° 57′	55.0
St.5	35° 38′	54.4	139° 57′	21.4
St.6	35° 38′	23.04	139° 56′	31.02
St.11	35° 40′	15.12	139° 56′	55.44

図 4.3.1 観測地点

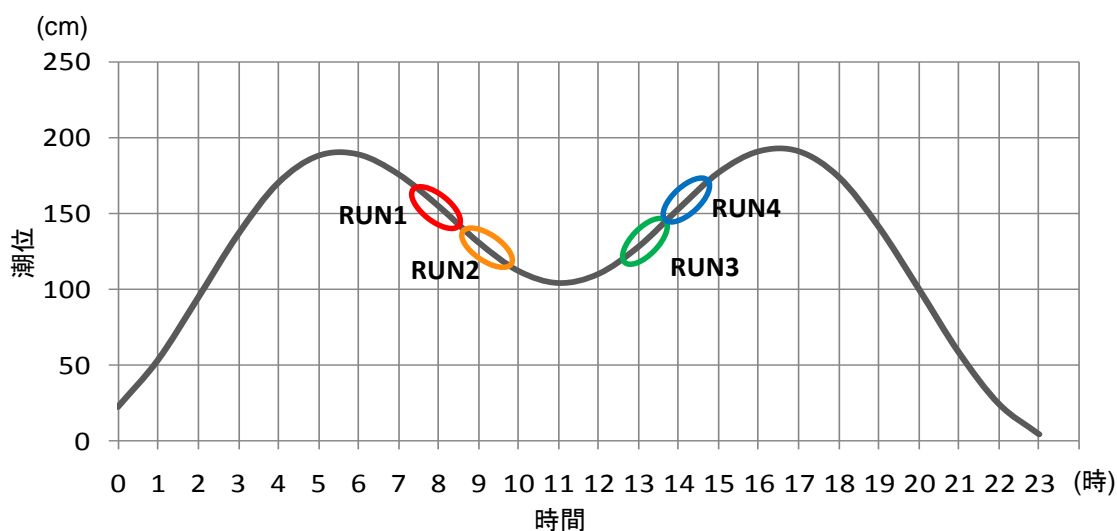


図 4.3.2 潮位グラフと観測工程

各 RUN における流速の平面分布を図 4.3.3 に示す。このとき、水面から 2m までの平均流速を表層、4~6m の平均を底層として与えた。また、ADCP では最深部の計測が難しく一部欠損している。過去 2 回の観測で見られた時計回りの循環流と異なり、秋季の今回は反時計回りの循環流があり、三番瀬への流入は東側から大きいことがわかる。

表層と底層での違いはあまりない。流向に違いはほとんどなく、流速は少し底層の方が弱い程度である。



図 4.3.3 流速の平面分布（上：表層 下：底層）

図 4.3.4～4.3.8 に多項目水質計で得られた各項目の鉛直分布を示す。それぞれ、時間や場所によっての変化の違いなどを明確にするため、ここでは、縦軸の水深を 0～6m のみの表記とし、各項目ごとに横軸のスケールを合わせてある。

図 4.1.9～4.1.13 に多項目水質計により得られた各項目のうち、St.1～6 の変化の様子を示す。それぞれを表層と底層に分けてあり、変化の様子を見やすくするため左右の凡例のスケールを変えて表示している。

下げ潮時に水温の鉛直分布が 2m 付近で変化しているのがわかる。三番瀬の水深と一致することから、夜間に冷却された三番瀬直上の海水が流出し、一時的にこのような鉛直分布となったと考えられるが、水温・塩分の変化量ではともに水深、時間ごとの変化は 1℃ 程度であり、夏季のような勾配や急激な水深による変化が見られず、成層化は全く見られない。

平面分布の変化において時間的な変化よりも場所による違いが大きいことが分かる。夏季では外気の気温が高く日射の影響が強いため、水温は表層が温かく底層に行くにしたがい冷たくなっていく。また、塩分は河川や陸域からの流入を受けるため、表層で低く底層で濃くなる。秋季や冬季は塩分に関して夏季と違いはないが、気温が低いため表層は冷やされ底層へ行くにしたがい高くなる。今回の観測は 11 月末とほぼ冬に近い時期の観測であり、表層において水温・塩分ともに低く、底層でともに高い結果が得られたことは、当日の三番瀬の環境は一般的な秋季の状態であったといえる。その一方で、流入時の変化はあまり見られず、上げ潮時に変化しているのは、水温の表層部のみである。図の右側から変化していることから、過去 2 回とは異なる反時計回りの循環流により東京湾の海水が流入しているといえるが、塩分の変化をみるとあまり変化していないためかなり微量の流入であることが伺える。この点に関しては、流況こそ反対回りではあるが海水交換があまり活発でない前回と似ている。

DO・クロロフィルは下げ潮時に低く、上げ潮で高くなる点において共通している。どちらも流入時に 0～4m で変化していることからクロロフィルの増殖に伴い水中の酸素量が増加しその水塊が東京湾から流入したと考えられる。だが、それぞれの値に注目するとクロロフィル量・DO 値ともに前回ほど高くはない。日射が少ない秋季であり光合成も活発

に出来ず、増殖する要因もなく、さらに東京湾からの流入量も少なくなっているため小さな変化となったと考えられる。

江戸川放水路河口に位置する St.11 では水温・塩分でも同じように上げ潮・下げ潮での変化がほかの場所に比べ少なく、微弱ながら流入する東京湾の海水も三番瀬の奥にまでは行き渡らず特に江戸川放水路内部の海水交換が非常に悪いことが考えられる。

濁度においては、ほぼ変化なく一様であり、St.11 のみ水深による変化が大きくなった。海水交換が非常に悪くなっている水域で東京湾からの流入によることは考えづらい。他の項目ではほぼ鉛直分布が一様であったため、江戸川放水路河口付近で底層からの巻きあげが起き、表層から底層まで一様な環境であったと考えられる。

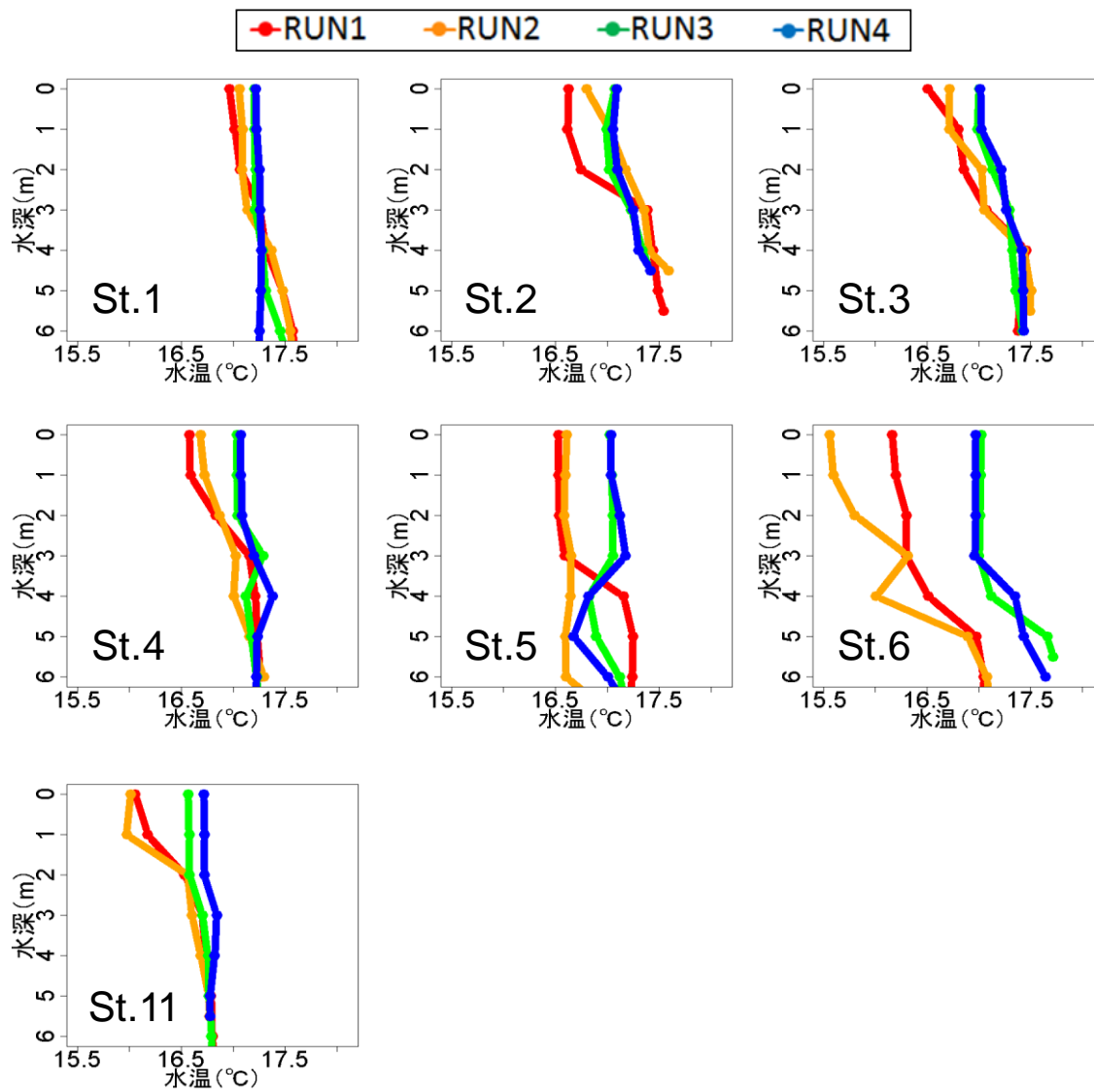


図 4.3.4 水温の鉛直分布

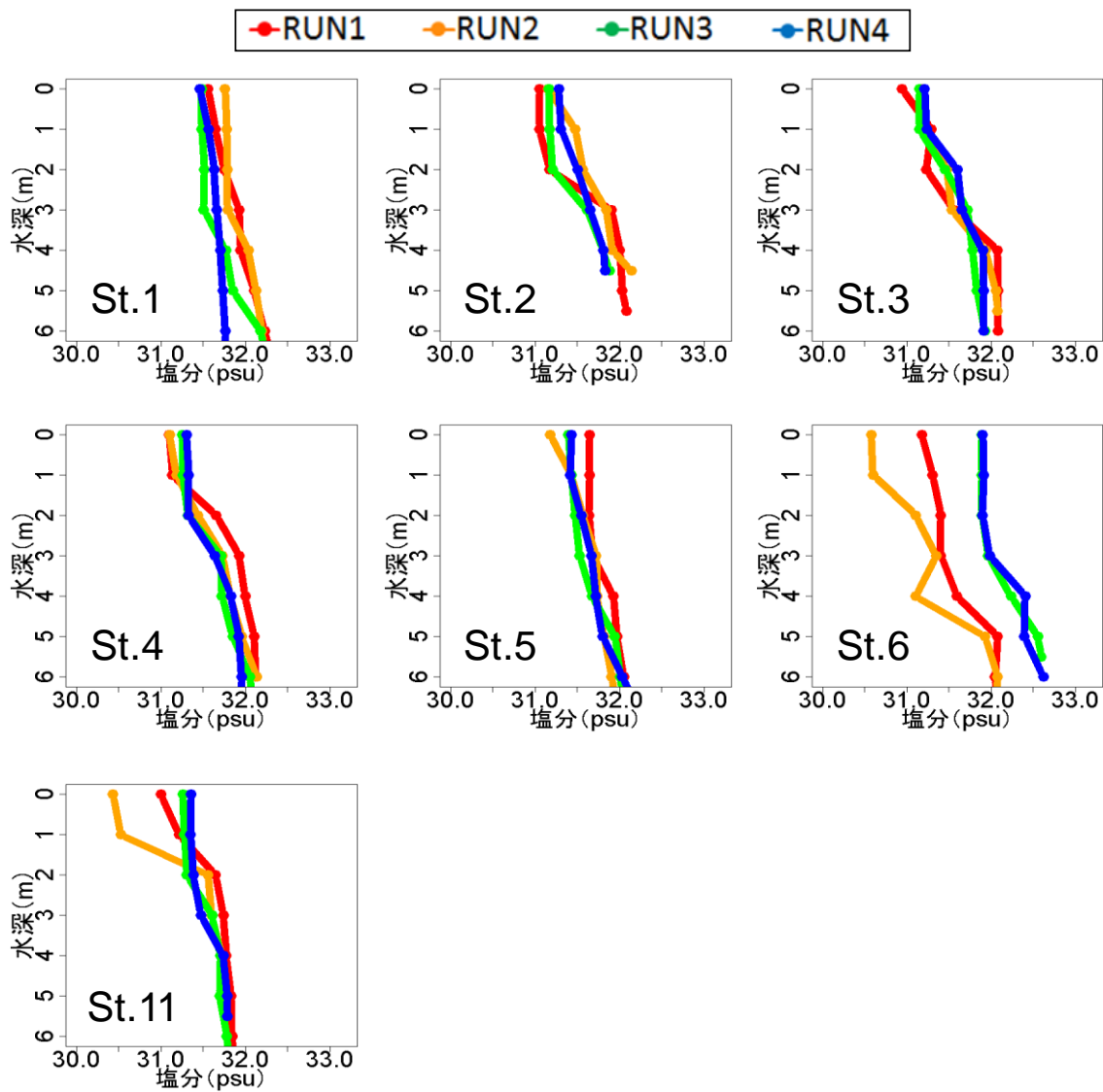


図 4.3.5 塩分の鉛直分布

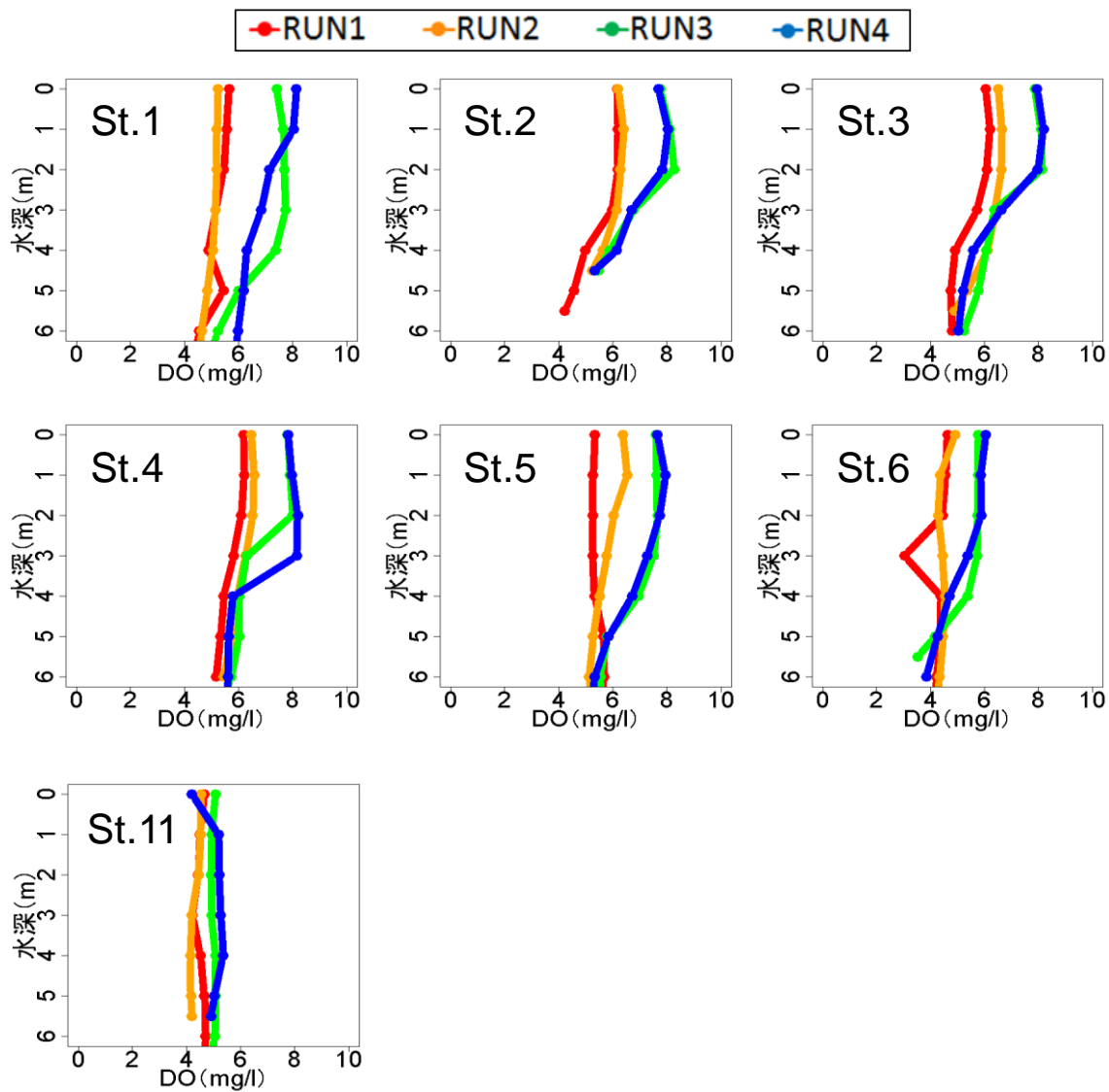


図 4.3.6 DO の鉛直分布

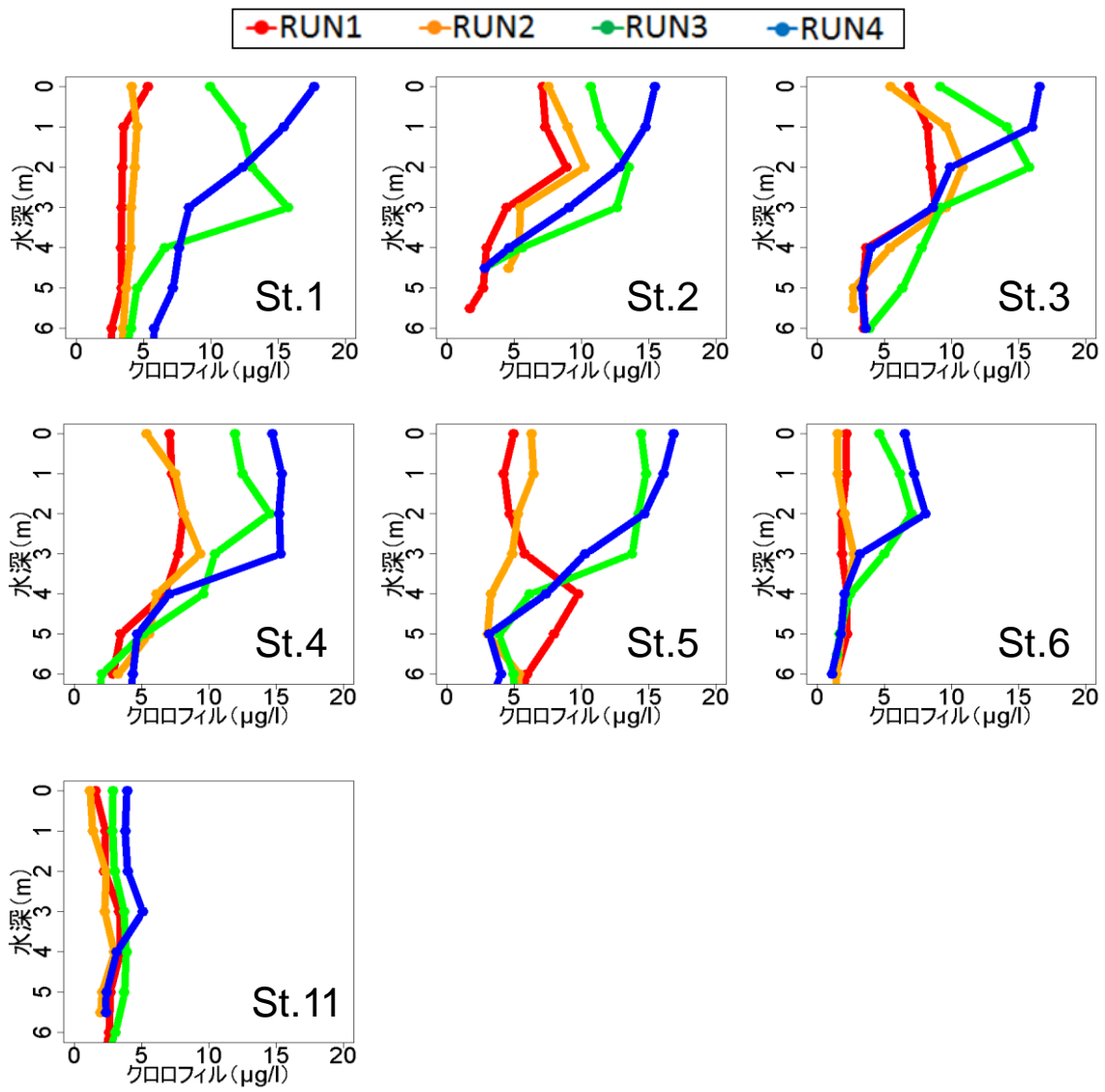


図 4.3.7 クロロフィルの鉛直分布

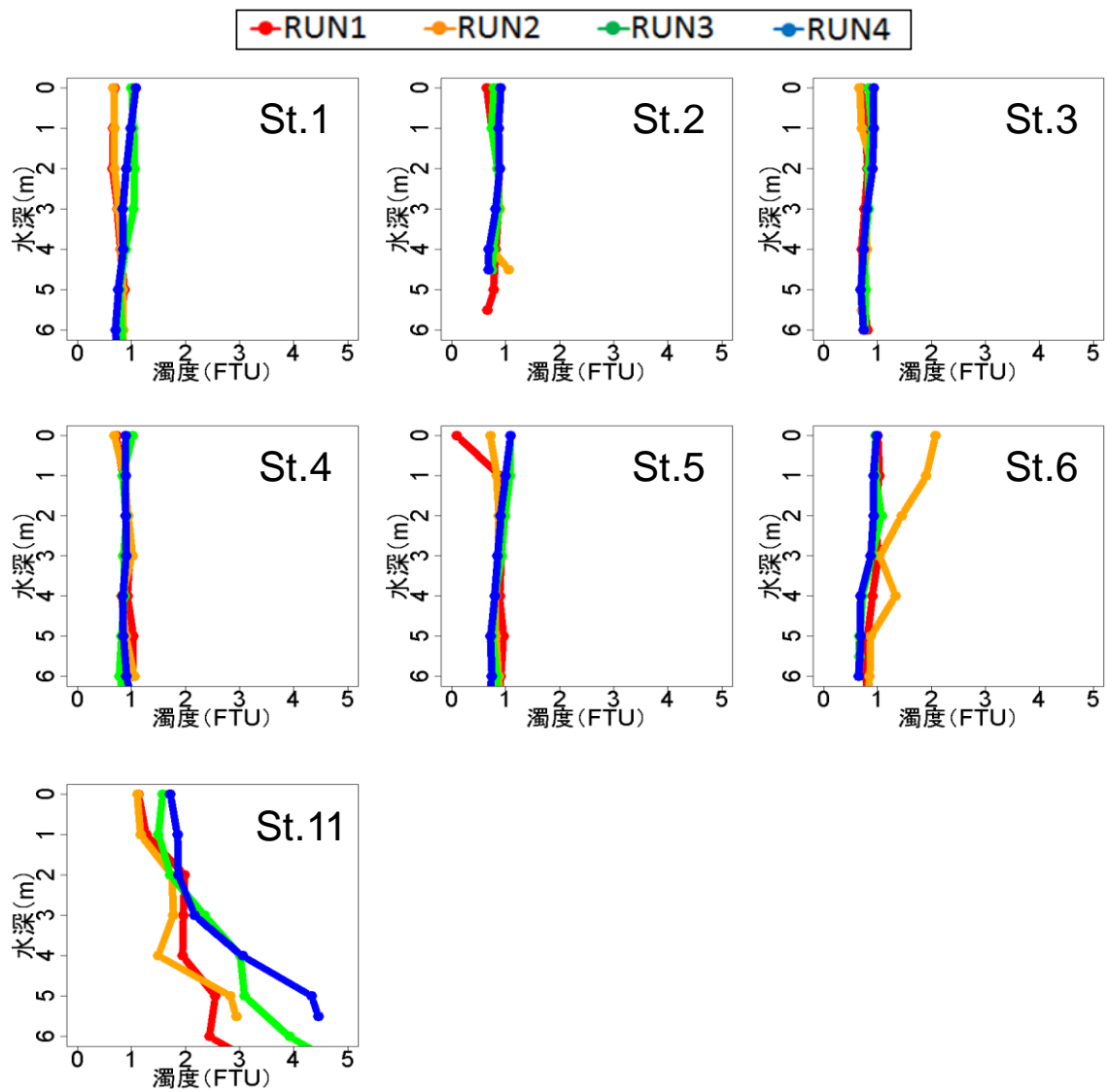


図 4.3.8 濁度の鉛直分布

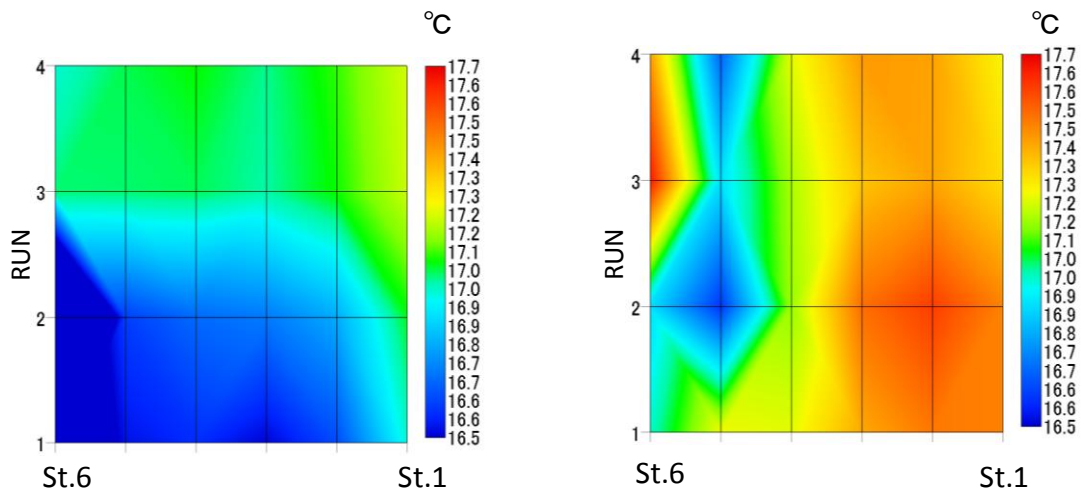


図 4.3.9 水温の時間的変化

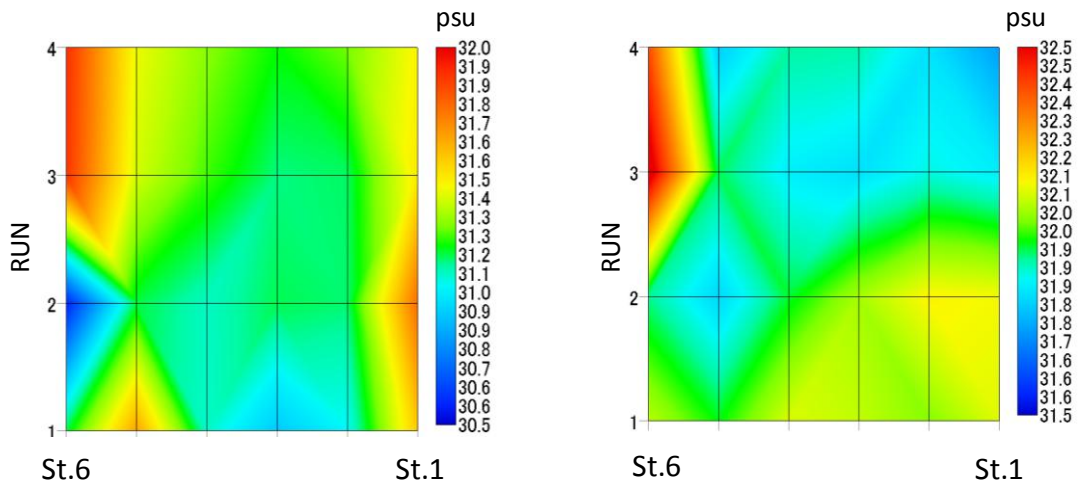


図 4.3.10 塩分の時間的変化

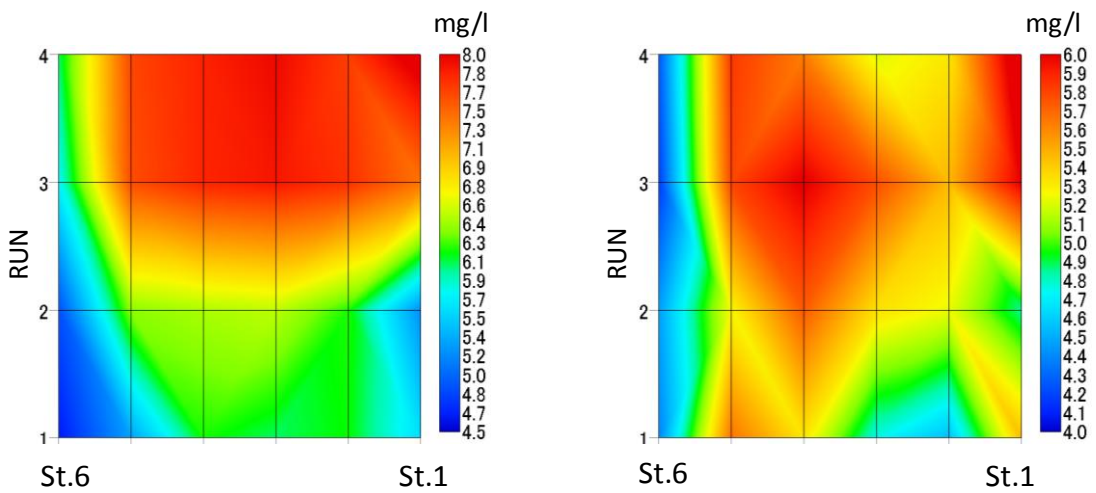


図 4.3.11 DO の時間的変化

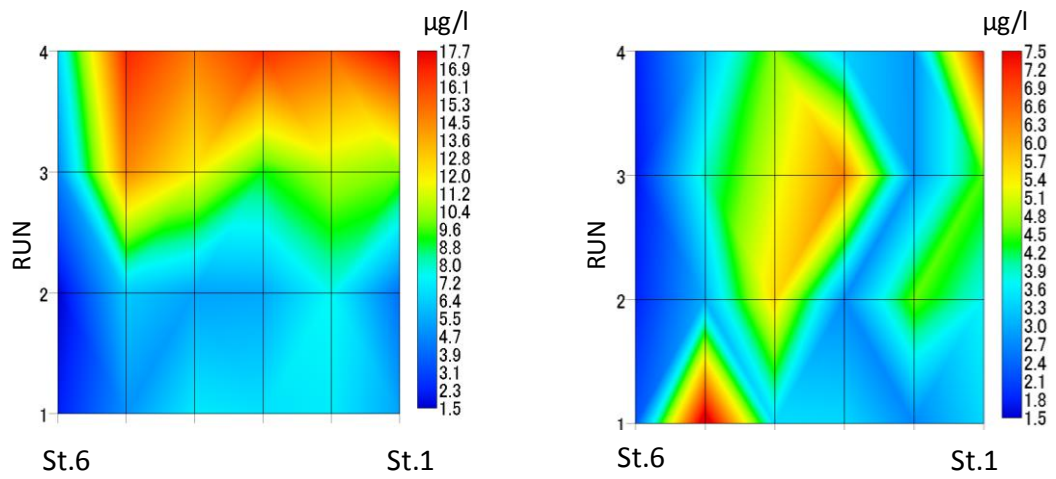


図 4.3.12 クロロフィルの時間的变化

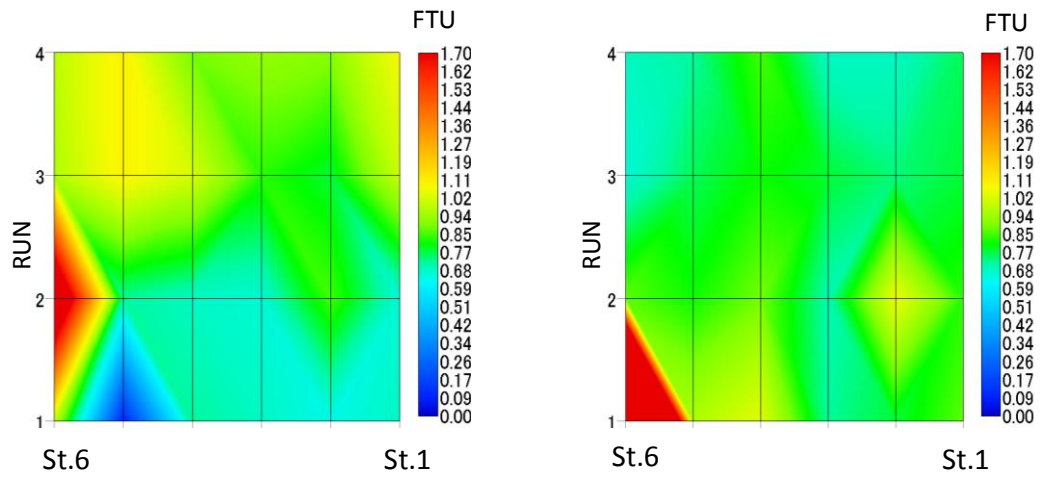


図 4.3.13 濁度の時間的变化

窒素の St.1～6 のデータを図 4.1.14～4.1.18 に、St.1～6 の変化の様子を図 4.1.19～4.1.23 に示す。またリンの St.1～6 のデータを図 4.1.24・4.1.25 に、St.1～6 の変化の様子を図 4.1.27・4.1.28 に示す。左に表層、右に底層のデータを示す。

秋季は一般的に溶存酸素が十分に行き渡り、硝化細菌の活動が活発になり、NO₃-N の生産が促進され、溶存無機態窒素の中でも NH₄-N より NO₃-N の値が大きくなる。栄養塩データより、硝化反応が進み DIN のうち NO₃-N が大部分を占めているためことが分かる。このことより、一般的な秋季の環境であることが分かる。NH₄-N の値の変化の様子が NO₃-N と反対になっている。東京湾からの流入による影響が少ないことがわかっているため、三番瀬内部において溶存酸素が十分に存在し、硝化されやすい環境であったことが考えられる。その環境下において St.6 の底層部は観測中常に NH₄-N の方が NO₃-N に比べ高かったこと顕著である。なんらかの理由により硝化が進まなかった、もしくは、NH₄-N の溶出が顕著に起きていたと考えられる。

リンの時間的変化は前回までと比べると明らかに小さくなっている。TP、PO₄-P ともに時間的変化に乏しい。場所ごとに見ると St.6 のみ違いが顕著であり、他の場所とは違う環境であったことが分かる。

●RUN1 ●RUN2 ●RUN3 ●RUN4

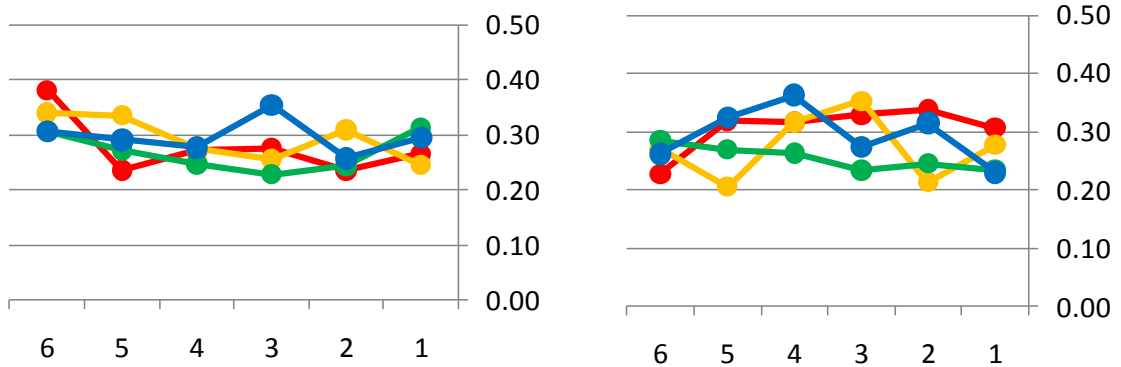


図 4.3.14 TN (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

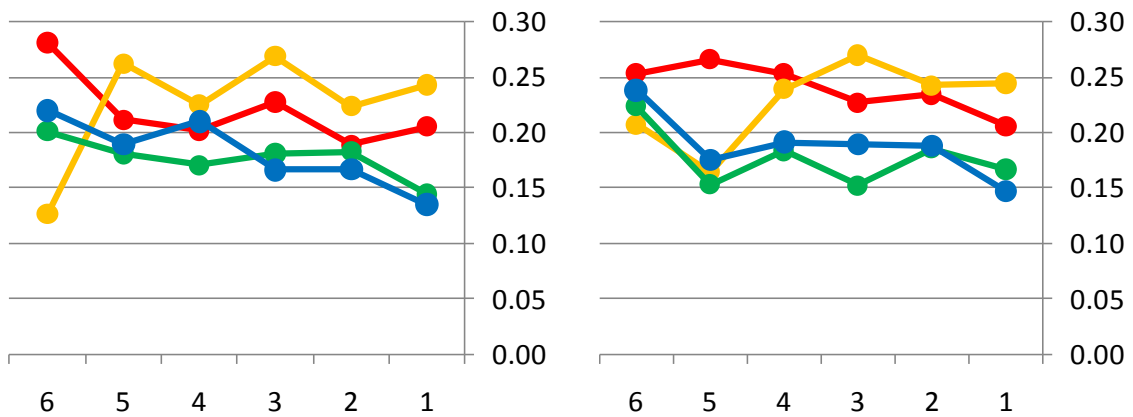


図 4.3.15 DIN (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

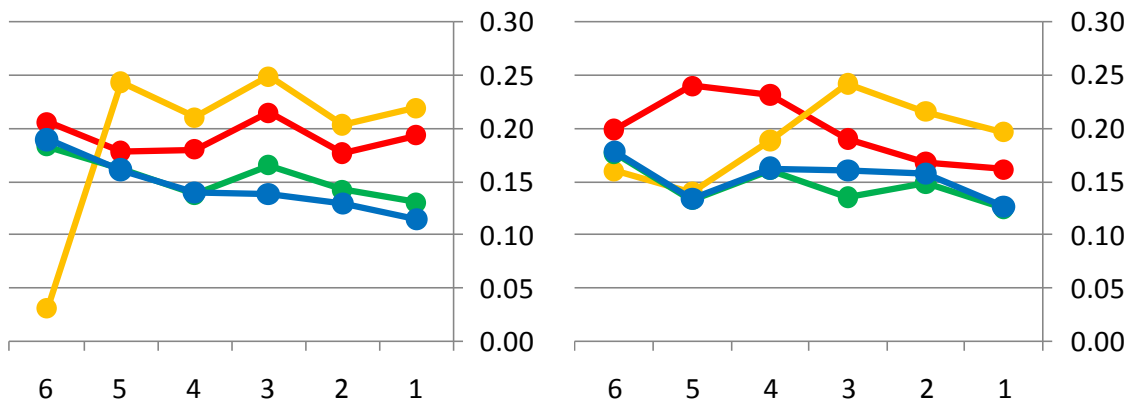


図 4.3.16 NO3 (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

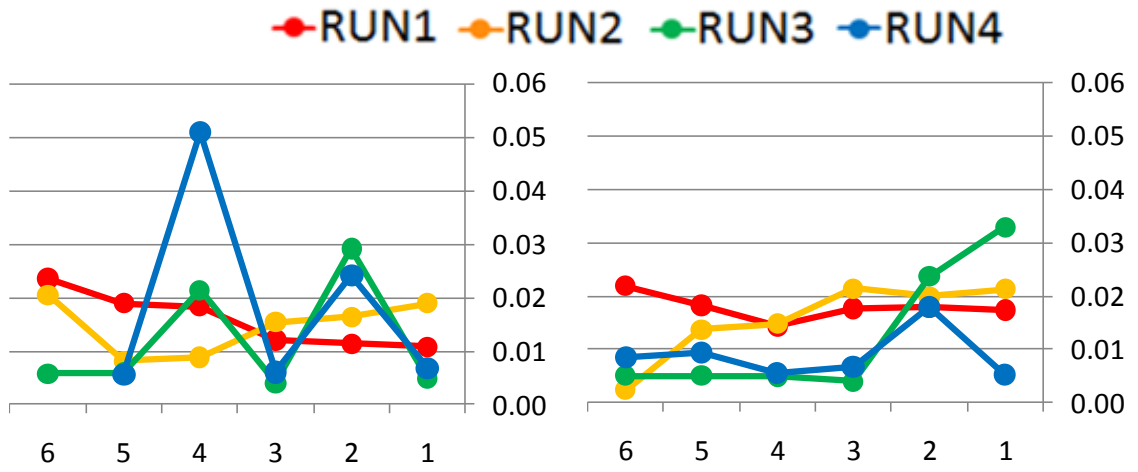


図 4.3.17 NO₂ (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

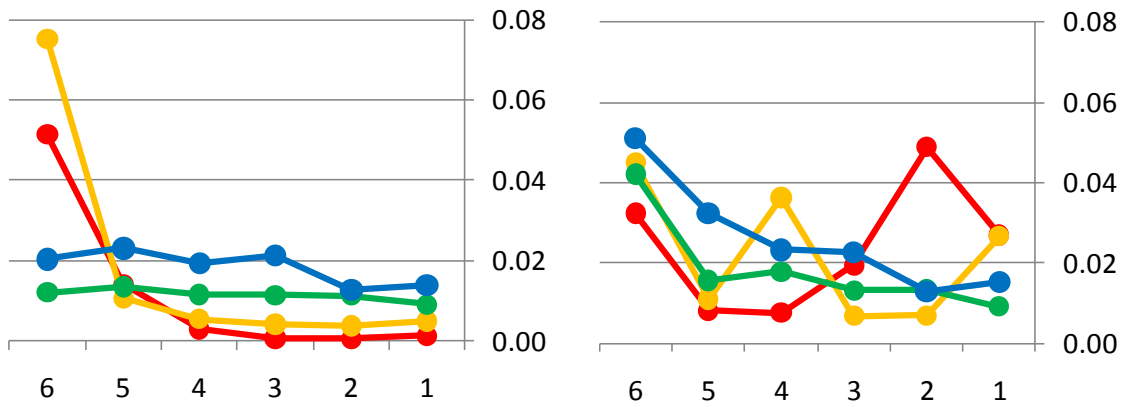


図 4.3.18 NH₄ (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

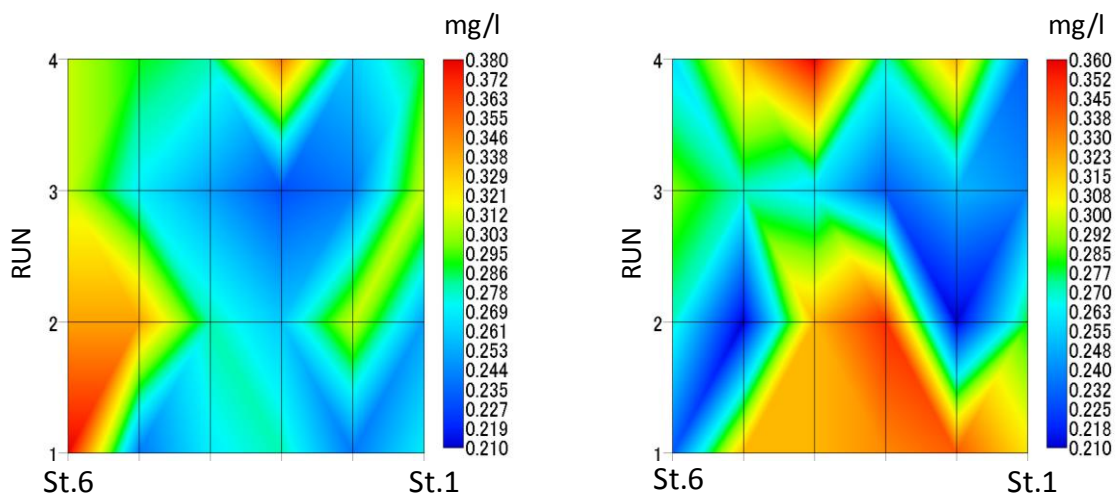


図 4.3.19 TN の時間的変化

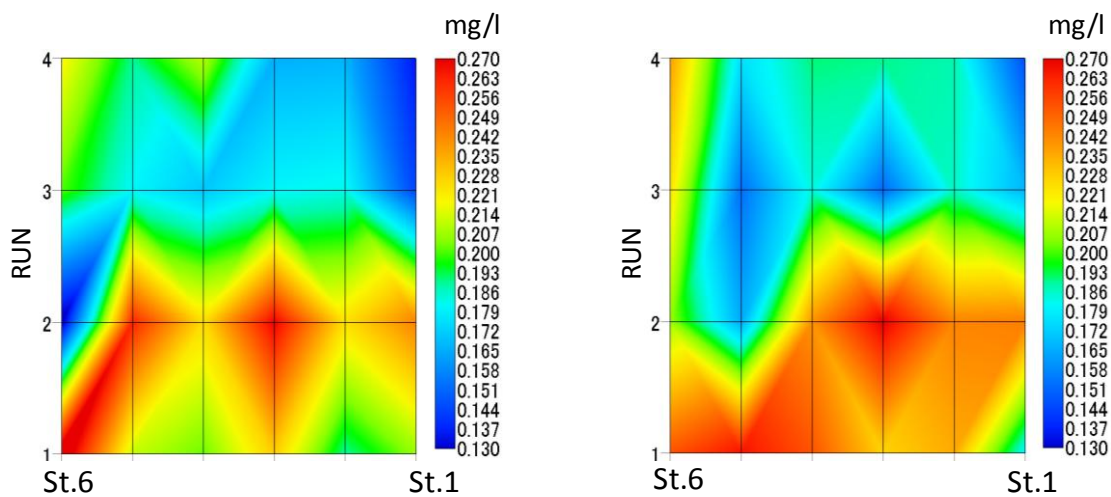


図 4.3.20 DIN の時間的変化

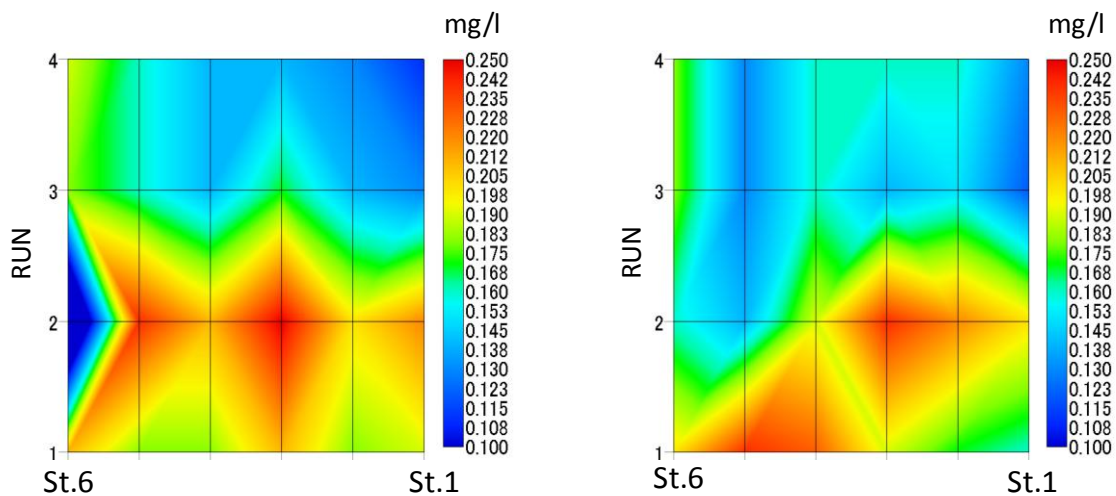


図 4.3.21 NO₃ の時間的変化

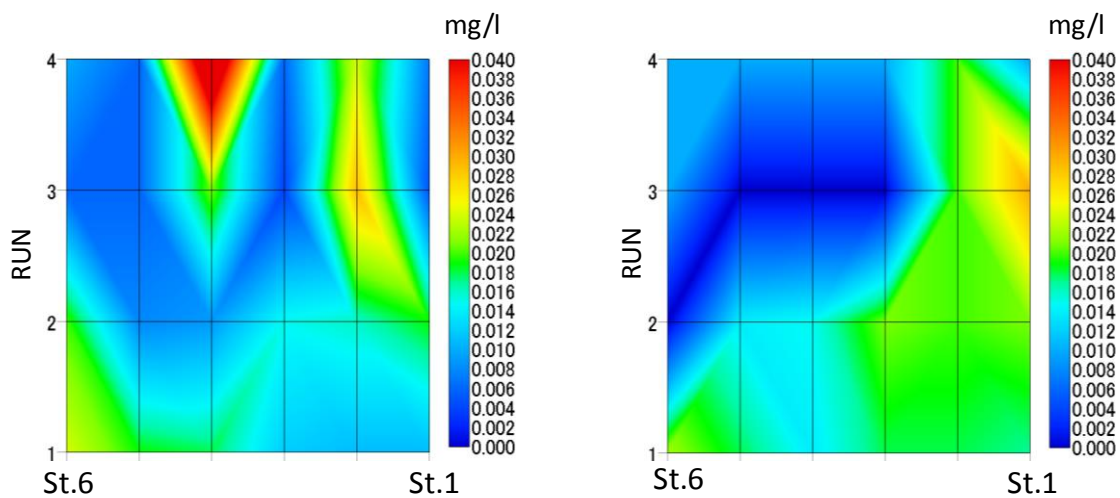


図 4.3.22 NO₂ の時間的变化

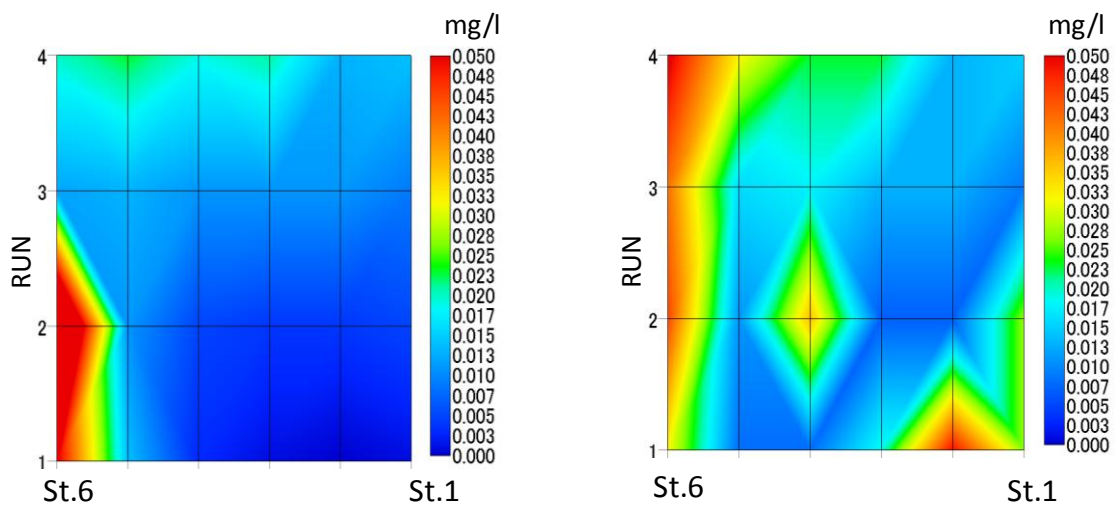


図 4.3.23 NH₄ の時間的变化



図 4.3.24 TP (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

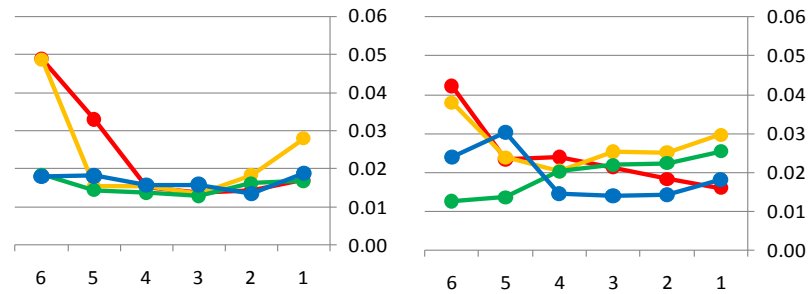


図 4.3.25 PO4-P (横軸 : St 番号 縦軸 : 濃度(mg/l))

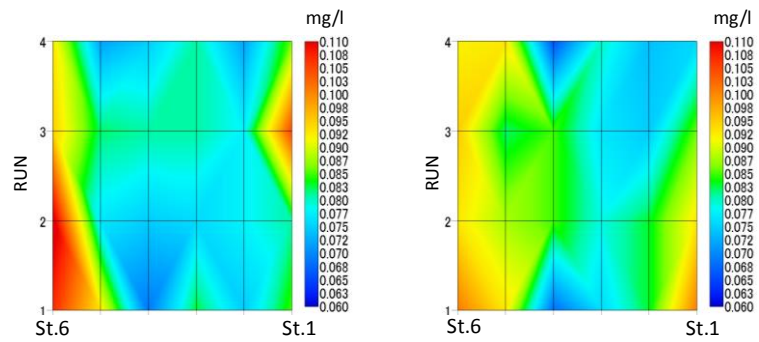


図 4.3.26 TP の時間的变化

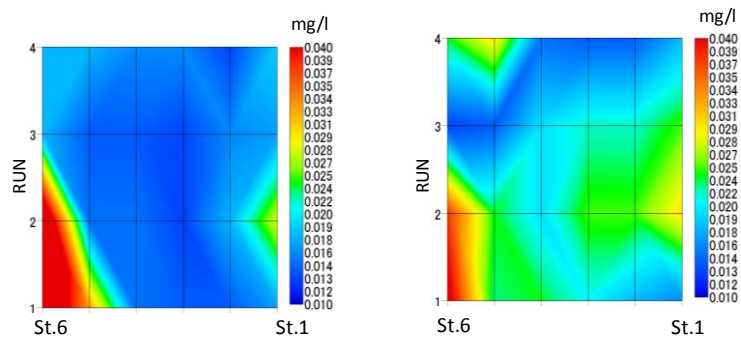


図 4.3.27 PO4-P の時間的变化

表 4.3.2、表 4.3.3 に表層・底層それぞれにおける各項目の相関関係を示す。

どちらも共通していることは、DIN と NO₃-N、クロロフィルと DO の関係である。

DIN と NO₃-N は秋季においてごく一般的な関係であり、クロロフィルと DO の関係も前回同様流入が大きくないことを見ると、夏季ほどではないが植物プランクトンが増殖し光合成が活発化したといえる。

特徴的なのは、表層における TP・PO₄-P・NH₄-N の関係である。溶出による要因が大きいとすれば底層に見られるはずである。生物の活発な活動が見込めないため、外的な要因により供給されそれらを取り込んだり分解したりする要因が少なかったと考えることができる。

表 4.3.2 表層部における各項目の相関関係

	TN	NO3	NO2	NH4	DIN	TP	PO4	水温	塩分	DO	クロロ	濁度
TN	1											
NO3	-0.075	1										
NO2	-0.049	-0.111	1									
NH4	0.508	-0.591	0.108	1								
DIN	0.170	0.856	0.188	-0.144	1							
TP	0.411	-0.418	-0.071	0.778	-0.103	1						
PO4	0.320	-0.317	0.205	0.811	0.109	0.812	1					
水温	-0.376	0.154	-0.161	-0.679	-0.222	-0.589	-0.784	1				
塩分	-0.127	0.301	-0.197	-0.456	0.065	-0.219	-0.420	0.693	1			
DO	-0.452	-0.121	-0.009	-0.536	-0.435	-0.611	-0.676	0.726	0.178	1		
クロロ	-0.261	-0.214	0.001	-0.408	-0.475	-0.582	-0.598	0.717	0.241	0.909	1	
濁度	0.540	-0.672	-0.075	0.767	-0.415	0.526	0.368	-0.359	-0.306	-0.255	-0.139	1

表 4.3.3 底層部における各項目の相関関係

	TN	NO3	NO2	NH4	DIN	TP	PO4	水温	塩分	DO	クロロ	濁度
TN	1											
NO3	0.493	1										
NO2	0.022	0.257	1									
NH4	0.274	0.030	-0.299	1								
DIN	0.539	0.938	0.288	0.338	1							
TP	-0.062	-0.024	0.085	0.567	0.199	1						
PO4	-0.086	0.057	0.194	0.417	0.234	0.644	1					
水温	0.028	0.409	0.287	-0.363	0.279	-0.380	-0.525	1				
塩分	0.041	0.438	0.104	0.063	0.428	0.059	-0.233	0.615	1			
DO	-0.050	-0.204	0.050	-0.663	-0.412	-0.426	-0.414	0.009	-0.486	1		
クロロ	-0.108	0.027	-0.015	-0.530	-0.170	-0.267	-0.258	0.135	-0.318	0.743	1	
濁度	-0.005	0.168	0.002	0.504	0.331	0.465	0.532	-0.514	-0.226	-0.384	-0.277	1

表 4.3.4 に今回の観測で得られた三番瀬の浄化能力を示す。栄養塩・流速のデータをもとに算出された栄養塩収支を三番瀬全体の面積で割り、1 m²当たりの水質浄化能力として定量化した。その際、本研究では三番瀬への流入を正にとる。

過去2回の観測と比べ、浄化能力が発揮されず、秋季は東京湾への供給減となった。ON（有機体窒素）はTNからDNを引くことで得られる。PIN（懸濁無機態窒素）はほぼゼロであるためDNとDINの値を同じものとして扱くと $ON = TN - DIN$ という関係式が成立し、ONは0.024（mg/m²）と正の値を示す。無機態を供給して有機態を浄化していることが分かる。

夏季の非成層化のケースであった前回とくらべ、浄化能力の絶対値はあまり変わりなく符号だけが変化した。このことより、成層化に加え季節ということも三番瀬の浄化能力を考える上で大きく関わっている。物理的要因であれば季節問わず沈降現象は起きるが、季節的での変化を考えると生物による分解など生物学的な要因が効いていることも示唆される。

表 4.3.4 1 m²当たりの水質浄化能力

観測時間	単位: (mg/m ²)			
	TN	DIN	TP	PO4-P
7:00 ～ 14:30	-0.107	-0.131	-0.0246	-0.00691

4.3.3 まとめ

夏季と比べると、明らかに栄養塩の供給源となっていることがわかった。一方で、有機物を浄化し、無機物を放出している。秋季の終盤の気候では底生生物による分解が考えづらく、本来夏季に比べ他の生物の活動が弱まったことが一因であると考えられる。

当日の急な観測ポイントの変更により、物質収支をする上で算定しづらいところに境界線を引くこととなり、流況図からも三番瀬方向へほとんど流入しているようすはない。流出側に少し過大評価をしていることが気にはなるのだが、栄養塩データの平面分布ではとりわけ大きな違いは見られず、周辺的环境と同様の環境で観測できたと思われる。

第 5 章 結論と今後の課題

5.1 結論

3 度の観測を行い、以下の 2 点が三番瀬の物質収支を左右していることがわかった。

①成層化

成層化であるか、非成層化であるかが三番瀬と東京湾の海水交換に深く関わっている。

図 5.1.1 に成層化と非成層化での違いの概略図を示した。

成層化した環境では、底層において流れが緩慢になり栄養塩濃度が濃くなる。表層において流れが速くなり、その速い流れに引き上げられ底層にたまっている水塊が三番瀬へ流入する。

非成層化の状態では表層の流れが底層に比べ微弱ながら早くなっているが三番瀬内部へ流入の影響を強く及ぼせるほどの効果は見られない。底層部では成層化しているとき以上に流れが緩慢で、時間的変化はほとんどなく場所による違いがはっきりとみられる。

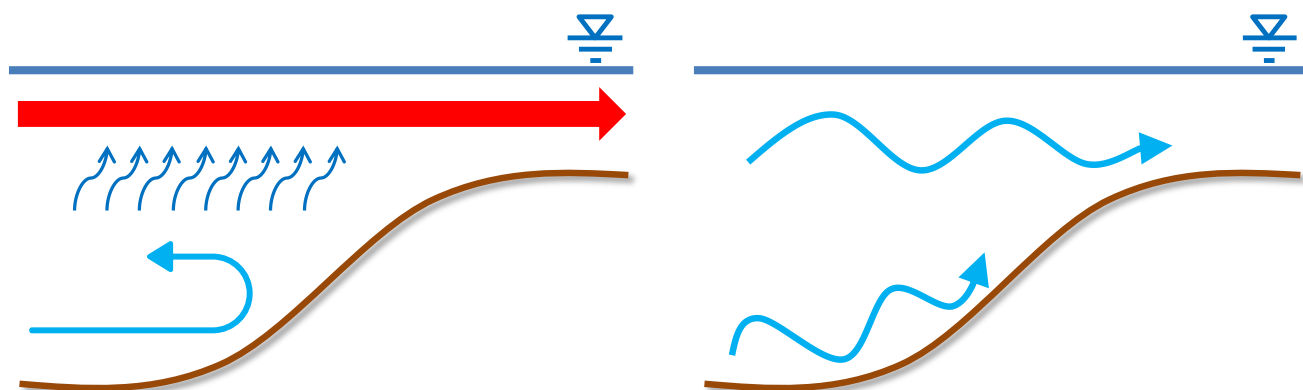


図 5.1.1 流況の違いの概略図

②季節

成層化している 2009 年 8 月 5 日の観測では、前述の通り大きく流入し、それにより収支の差が大きく出た。

2010 年の 2 回は非成層化という点において共通するものの浄化作用の有無という点では反対の結果が得られた。とくに、リンと窒素の挙動に関しては顕著な違いが見られた。2010 年 8 月では夏季ということもあり、三番瀬内の生物の活動が活発化する。原因の特定はできないがリンの浄化が見られたことで、無機態・有機態にかかわらず浄化作用を発揮する要因があるといえる。一方で、有機態の窒素は浄化したとはいえ、11 月では時期的に底生生物による分解などは考えられない。生物が活発に活動することで夏季には備わっていた浄化力が秋季には衰え、今回のような結果に至ったと考えられる。

また、三番瀬の浄化能力に関して以下のようなことが分かった。

成層化・非成層化の違いが見られた 2 回の夏季観測により、夏季の三番瀬においてある一定の浄化能力を保持していることが示唆された。成層化により流入が大きい場合でも、非成層化により流入が小さい場合であっても、下げ潮時にはどちらも同程度の濃度に減少させて流出している。生物による分解や沈降などにより夏季に浄化され、秋季・冬季に栄養塩を供給源になるというバッファーのような役割をしていると考えられる。

5.2 今後の課題

本研究では、三番瀬と東京湾の物質の循環について巨視的な視点で評価することを目的とした。水質の鉛直分布や平面分布など様々な観点から、三番瀬で起きていることを把握し、物質収支について議論してきたが海水の挙動のみによる考察には限界がある。脱窒速度に関する既往研究[10]とくらべ、本研究で得られた浄化能力を比較した。20(g-N/m²・year)程度のオーダーで脱窒が起きているのに対し、2009年8月は約1(g-N/m²・year)、で20分の1、2010年8月は約0.2(g-N/m²・year)と100分の1となり、千葉県が算定した、シミュレーション結果と比べた時と同程度のオーダーの違いが見られた。このことより、三番瀬において脱窒作用により浄化されている栄養塩以上にほかの要因が重なり合っていることが示唆される。成層化の有無・季節的变化・流況など現地観測により分かったことをもとに、精度のよいシミュレーションや底質環境に着目した評価がより干潟の重要性を理解する上で重要であると考えられる。

参考文献

- [1]千葉県 三番瀬再生計画案 (2004)
- [2]環境省 HP: : <http://www.env.go.jp/>
- [3]環境庁 千葉県 谷津干潟環境調査報告書
- [4]中村由行・井上徹教・小松利光(1997): 栄養塩の溶出および SOD に関する室内実験の提案、
水工学水論文集、第 41 巻、pp.433-438
- [5]野村宗弘・小沼晋・桑江朝比呂(2001): 盤洲干潟における潮汐に伴う栄養塩フラックス
に関する現地観測、湾空港技術研究所資料、No.0405、pp.1-19
- [6]児玉真史・徳永貴久・松永信博(2002): 干潟における水質の季節変化とその変動要因に
関する研究、海岸工学論文集、第 49 巻、pp.1116-1120
- [7] 呉海鐘・磯部雅彦・佐藤慎司・渡辺晃: 東京湾三番瀬の猫実川河口における底質環境
の現地観測、海岸工学論文集、第 50 巻、pp.1046-1050
- [8]有田正光(2007): 水圏の環境、東京電機大学出版局
- [9]有明海等環境情報・研究ネットワーク HP : <http://ay.fish-jfrca.jp/ariake/>
- [10]阿部哲也(2006): 有明海における脱窒活性の自空間的変動、平成 17 年度東京大学大学院
院修士論文

謝辞

国土交通省関東地方整備局の方々、あいらすのクルーの方々には三番瀬の現地観測にあたりとてもお世話になりました。急な予定変更や観測中や観測後の差し入れなど多大なるご厚意に感謝いたします。

指導教官である磯部雅彦先生には終始多大なるご面倒・ご迷惑をおかけいたしました。観測では、機材の消失や当日の観測ポイントの侵入禁止などのトラブルにも臨機応変に対応していただきとても心強かったです。また、早朝の車の運転をしていただいた上に、観測も手伝っていただきてしまい申し訳ありませんでした。2年間、お世辞にも出来が良いとは言えない私を温かく見守り指導してくださってありがとうございました。

副指導教官である味埜俊先生には、自分の研究以外のことが見えず視野が狭かった私に適切なアドバイスをしていただき大変お世話になりました。

WESTechの鯉渕幸生先生には、研究のことから野球大会のことまで幅広くお世話になりました。悪条件の中、大変なゴムボートでの観測を担当していただいたことは感謝するとともに陳謝したい気持ちでいっぱいです。

WESTechの黄光偉先生には、入学以前の研究室訪問からお世話になりました。先生の部屋で長い時間割いていただき、WESTechの話をしていただいたことは今でも忘れられません。

WESTechの室園英子さんには、発注や研究室のお掃除など隅々までお世話になりました。薬品発注などで室園さんの部屋にお邪魔したときのちょっとした雑談も楽しかったです。

研究室の皆さま、2年間研究のことやプライベートなことでも大変お世話になりました。真面目に書き始めると本論よりも長い謝辞が完成してしまいそうなのでこの辺で失礼させていただきます。