

2009 年度 修士論文

お台場における Urea の時空間変動に関する現地観測

Field Observation for the Spatiotemporal Dynamics of Urea in Odaiba

中村 裕樹

Nakamura, Yuki

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

第1章 序論

1.1 研究背景	3
1.2 研究目的	5
1.3 Urea とは	6
1.4 お台場海浜公園	7
1.5 CSO の概要	8
1.5.1 合流式下水道実施都市の普及・現在の分布	8
1.5.2 雨天時越流水問題とお台場の関係	8
1.6 東京湾の水質の現状	12
1.7 既往の研究	13
1.8 本論文の構成	14

第2章 現地観測

2.1 観測の目的	15
2.2 観測の概要	15
2.3 晴天時の観測	17
2.4 雨天時の観測	17
2.5 観測準備	17

第3章 分析手法

3.1 Urea	18
3.1.1 分光光度計	21
3.2 Total.E coliform(糞便性大腸菌群数)	23
3.3 栄養塩	25

第4章 観測結果

4.1 概要	26
4.2 St.1 における塩分値の連続データ	26
4.3 晴天時の観測	28
4.3.1 2009年9月23日の観測	28
4.3.2 2009年9月24日の観測	36
4.3.3 2009年9月29日の観測	44
4.3.4 2009年10月27日の観測	46

4.3.5 晴天時の観測のまとめ	48
4.4 雨天時の観測	49
4.4.1 2009年11月11日-14日の観測	49
4.4.2 2009年12月4日-7日の観測	56
4.4.3 2009年12月11日-13日の観測	61
4.4.4 雨天時の観測のまとめ	66
第5章 観測のまとめの考察	67
第6章 Total Coliform の考察	77
第7章 Urea の分解速度実験	
7.1 概要	80
7.2 分解速度実験	80
第8章 研究成果と今後の課題	82
第9章 EcoLAB(自動栄養塩連続測定機)	85
第10章 付録 全観測の実験結果	93
参考文献	97
謝辞	99

第1章 序論

1.1 研究背景

Urea (尿素態窒素) は一般に植物プランクトンの増殖のための窒素源として利用される。(Carpenter et al,1972)海水中の Urea は植物プランクトンによる取り込み(Carpenter et al,1972;McCarty,1972;Eppley et al,1973)、あるいはアンモニア態窒素への分解(Remsen et al,1972)によって減少し、海産動物の排泄(Eppley et al,1973)あるいは有機物の分解(Taga,1972)、また河口・沿岸域においては陸域からの負荷の影響を受け増加する(Remsen et al,1972)。海水中の Urea の生成・消滅の過程は複雑であり、明瞭な季節変動、日収変動などは示さないとされている(Newell,1967;Berman,1974)。

植物プランクトンは、アンモニア \geq Urea の順番で、窒素を使用し、また ^{15}N を用いて自然植物プランクトン群集による各態窒素の取り込みを調べた結果では窒素源の約 1-60%(平均 28%)を占めており(McCarthy,1972)、Urea が植物プランクトンの窒素源として重要であることが分かる。

また、東京都は雨天時合流式下水道越流水(Combined Sewer Overflow, CSO)問題を抱えている。その中でも、お台場海域は年間 160 万人の利用者が訪れる親水空間ではあるが、国内で最も多くの雨天時流出汚染物質が流入するとされ、環境基準で現在は遊泳禁止区域となっている。

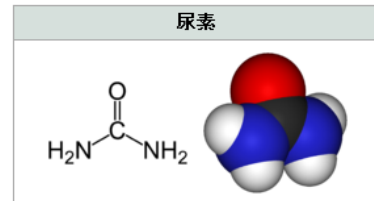
・Urea(尿素態窒素)は植物プランクトンの増殖のための窒素源として利用される

・植物プランクトンは、アンモニア \geq Ureaの順番で窒素を使用する

・自然植物プランクトン群集による各態窒素の取り込みを調べた結果では窒素源の約1-60%(平均28%)と報告されている

出典:
(MCCARTHY,1972)

Ureaは植物プランクトンの窒素源として重要である。



東京都は合流式下水道越流水(Combined Sewer Overflow,CSO)問題を抱えている

CSOは、し尿を含む未処理下水が放出されることによる水質汚濁等が社会問題化され、メディアなどに取り上げれることによって広く認識されてきている



図 1-1 研究背景のフロー図

1.2 研究目的

そこで本研究では、CSO と同時期に、Urea も供給されている可能性があるという仮説を立て、

①晴天時と雨天時の Urea の観測

②Urea の分解実験

の二点をアプローチとし、

①Urea の時空間変動を解明し、降雨量や Total Coliform（糞便性大腸菌群数）と比較することで CSO との関連を議論

②Urea の分解実験をすることでアンモニア態へ移行する速度を計測することを目的とする。

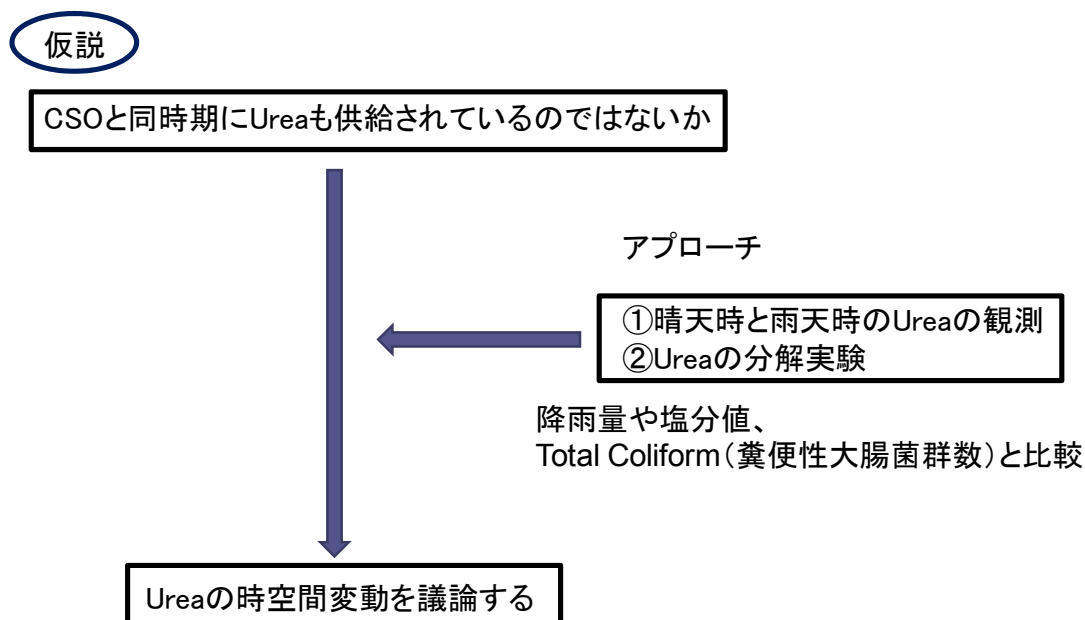


図 1-2 研究目的のフロー図

1.3 Urea とは

Urea (尿素、にょうそ) は、化学式 $(\text{H}_2\text{N})_2\text{C}=\text{O}$ と表される有機化合物。カルバミドともいう。無機化合物から初めて合成された有機化合物として、有機化学史上、重要な物質である。

・性質

無色無臭の結晶で、哺乳類や両生類の尿に含まれる。水に容易に溶け、その溶解度は $108 \text{ g}/100 \text{ mL}$ ($20 \text{ }^\circ\text{C}$)。非線形光学現象を示す。加熱すると分解し、アンモニア、ビウレット、シアヌル酸に変わる。尿素の結晶の構造には、小分子が入るのにちょうど良い大きさの空孔がある。そのため尿素は、ヘキサンなど、さまざまな化合物と安定な包接化合物を作る。過酸化水素との包接化合物 (尿素-過酸化水素付加体、略称 UHP) は、固体の形で取り扱える酸化剤として市販されている。

・排泄

ヒトがタンパク質などから取り入れた窒素のうち、過剰分が尿の中に尿素の形で排泄される。(尿には尿素が含まれており、成人は尿素を 1 日 30 g ほど排泄する。) 最も簡単な窒素化合物はアンモニアであるが、人体に有害なため、安全な尿素として蓄えられ水溶液として排泄される。ただし水溶性であるから水と共に捨てなければならず、濃縮にも一定のエネルギーを要する。水の確保が重要な問題となる陸上生活ではこの点で尿酸にしたほうが有利である。窒素の排泄は、魚類ではアンモニア、哺乳類や両生類では尿素、鳥類や爬虫類では尿酸のかたちで行われる。

・用途

尿素の用途として、保湿クリーム・肥料などとして広く使われており、ホルムアルデヒド (HCHO) と反応させることで尿素樹脂 (ユリア樹脂) も得ることが出来る。高濃度の水溶液はタンパク質、核酸を変性させる作用がある。水と混ぜると吸熱効果が現れる。硝酸アンモニウムと尿素の混合物を水の入った袋と同封し、衝撃を加えて混合物を反応させ冷却効果を得る携帯用の冷却パックとしての用途もある。またディーゼルエンジンでは、尿素を水に溶かした尿素水を使って窒素酸化物を分解している。具体的には、尿素をディーゼルエンジンの排熱で分解し、放出されるアンモニアと排気中に含まれる窒素酸化物を化学反応させ、水と窒素に還元させる。

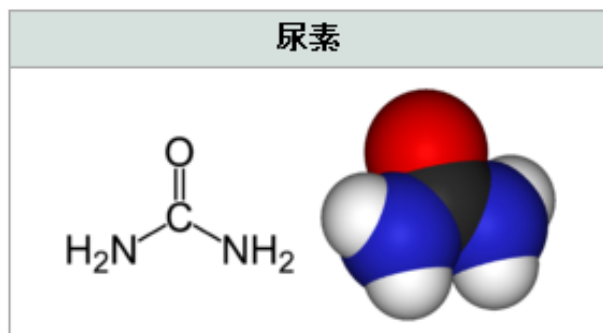


図 1-3 Urea の化学式と構造

1.4 お台場海浜公園

本研究対象地であるお台場海浜公園の概要について示す。お台場海浜公園は隅田川の河口域に位置し、東京湾への入り口となっている。かつては貯木場であったが、昭和40年代から公園としての整備が開始され、平成8年（1996年）に今の形でリニューアルオープンした。人工の砂浜や展望台、ボート施設、シャワー・ロッカー付きのマリンハウスなどがあり、都心に近い憩いの場として親しまれている。磯浜エリアでは釣りができ、浜辺エリアでは無料で潮干狩りが出来るが、現在は遊泳や釣りをすることが禁止されている。レインボーブリッジ、東京都心の夜景を見ることができ、都鳥であるユリカモメやカルガモ、スズガモなどが越冬している。



図 1-4 お台場海浜公園の位置



図 1-5 お台場海浜公園の様子

1.5 CSO の概要

本研究ではCSO と同時期、河川からお台場海域に Urea も供給されているのではないかと
いう仮説を構築した。そこでまず、CSO の概要について説明する。CSO とは合流式下水道に
よる雨天時越流水問題 (Combined Sewer Overflow) の略である。「下水」とは「汚水」と
「雨水」とを合わせたものであり、下水道システムには、これら汚水と雨水とを同一管渠
系で排除する「合流式下水道」と、別々の管渠系で排除する「分流式下水道」とがある。

「分流式」は、家屋の段階から汚水と雨水を分離し、汚水は汚水ますから汚水管を経て
下水処理場へ流入させ、雨水は雨水ますから雨水管を経て河川などの放流先へ放流する方
式である。

「合流式」は汚水と雨水を合わせて集め、1本の合流管に流入させるものであり、それゆ
え雨天時には、晴天時汚水量の一定倍率（希釈倍率；普通3～6倍）までの下水を下水処
理場に送り、残りの下水は放流先近くに設けられた雨水吐き口やポンプ場から河海へ未処
理のまま直接放流している。この問題を、雨天時合流式下水道越流水問題といい、これは
合流式下水道に特有の問題である。

1.5.1 合流式下水道実施都市の普及・現在の分布

昭和30年代までの下水道は、河川の下流部にある大都市を中心として、浸水防除と下水
道の普及促進を重要テーマとしていたため、雨水と汚水を同時に収集できる合流式下水道
による整備が積極的に図られていた。その後、昭和45年の下水道法の一部改正により下水
道の目的に「公共用水域の水質の保全に資すること」が加えられ、以降、分流式下水道に
より重点的に整備されている。

国土交通省の調査では、平成11年度における合流式下水道と分流式下水道の都市数及び
面積は表1.1の通りである。合流式下水道を採用している都市は、全国で192都市、処理面
積は約227千ha程度である。合流式下水道の整備区域は全整備面積の約20%を占めている。
また、合流式下水道は、大都市で多く採用されている。

1.5.2 雨天時越流水問題とお台場の関係

自然吐口およびポンプ場は全国で約3000箇所ある。その下流の水利用形態として主なも
のは、親水利用、漁場、船舶係留場、農業、水浴上、水道源などがある。国土交通省によ
る調査結果(表1-1、図1-6)を以下に示す。

ただし、これまで雨天時の未処理下水の調査および対策は必ずしも十分に実施されてい
なかったこともあり、下水道管理者において、未処理下水の放流状況、未処理下水による
放流先への影響について必ずしも十分把握されていない状況にある。

項目	合流式	分流式	合計
都市数	192	2,027	2,219
処理面積 (千 ha)	227	1,389	1,616

資料：「国土交通省調査」

表1-1 合流式下水道と分流式下水道の都市数および計画面積
(国土交通省都市・地域整備局下水道部、(財)下水道新技術推進機構(2002))

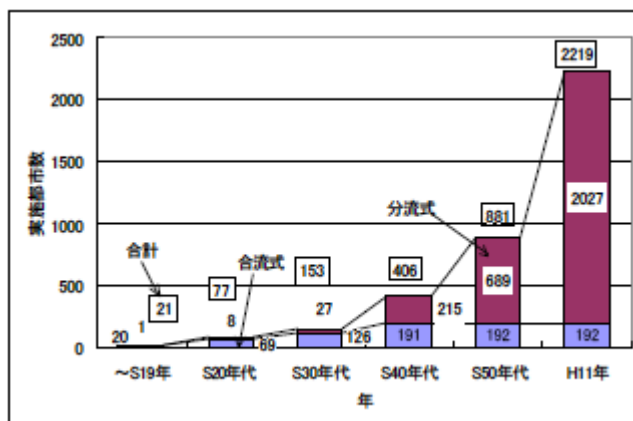


図1-6 下水道着手都市の推移

(国土交通省都市・地域整備局下水道部、(財)下水道新技術推進機構(2002))

人口規模	100万人以上	50～100万人	30～50万人	10～30万人	5～10万人	5万人未満	
総人口 (万人)	2,513	666	1,755	2,616	1,557	3,500	12,607
合流都市数	12	10	34	77	34	25	192
全体整備面積 (千 ha)	267	67	169	270	146	247	1,166
合流式の処理面積 (千 ha)	127	14	34	42	8	2	227
合流式の占める面積割合	47.6%	20.9%	20.1%	15.6%	5.5%	0.8%	19.6%

資料：「国土交通省調査」

表1-2 都市規模別の合流式下水道整備状況
(国土交通省都市・地域整備局下水道部、(財)下水道新技術推進機構(2002))

水利用状況	自然吐き口		ポンプ施設		水処理施設		全体	
	箇所数	%	箇所数	%	箇所数	%	箇所数	%
水道水源	16	0.7%	6	1.0%	10	4.0%	32	1.0%
水浴場	93	4.0%	12	2.0%	9	3.6%	114	3.6%
親水利用	409	17.7%	60	10.2%	17	6.7%	486	15.4%
養殖場	45	2.0%	16	2.7%	13	5.2%	74	2.4%
漁場	230	10.0%	80	13.6%	38	15.1%	348	11.1%
農業用水	74	3.2%	36	6.1%	11	4.4%	121	3.8%
工業用水	15	0.7%	13	2.2%	4	1.6%	32	1.0%
船舶係留場	246	10.7%	56	9.5%	16	6.3%	318	10.1%
港湾	3	0.1%	12	2.0%	6	2.4%	21	0.7%
その他	1	0.0%	0	0.0%	1	0.4%	2	0.1%
不明	711	30.8%	153	25.9%	63	25.0%	928	29.5%
無し	462	20.0%	146	24.7%	64	25.4%	672	21.4%
計	2,305	100%	590	100%	252	100%	3,149	100%

表1-3放流先の水利用状況(国土交通省都市・地域整備局下水道部、(財)下水道新技術推進機構(2002))

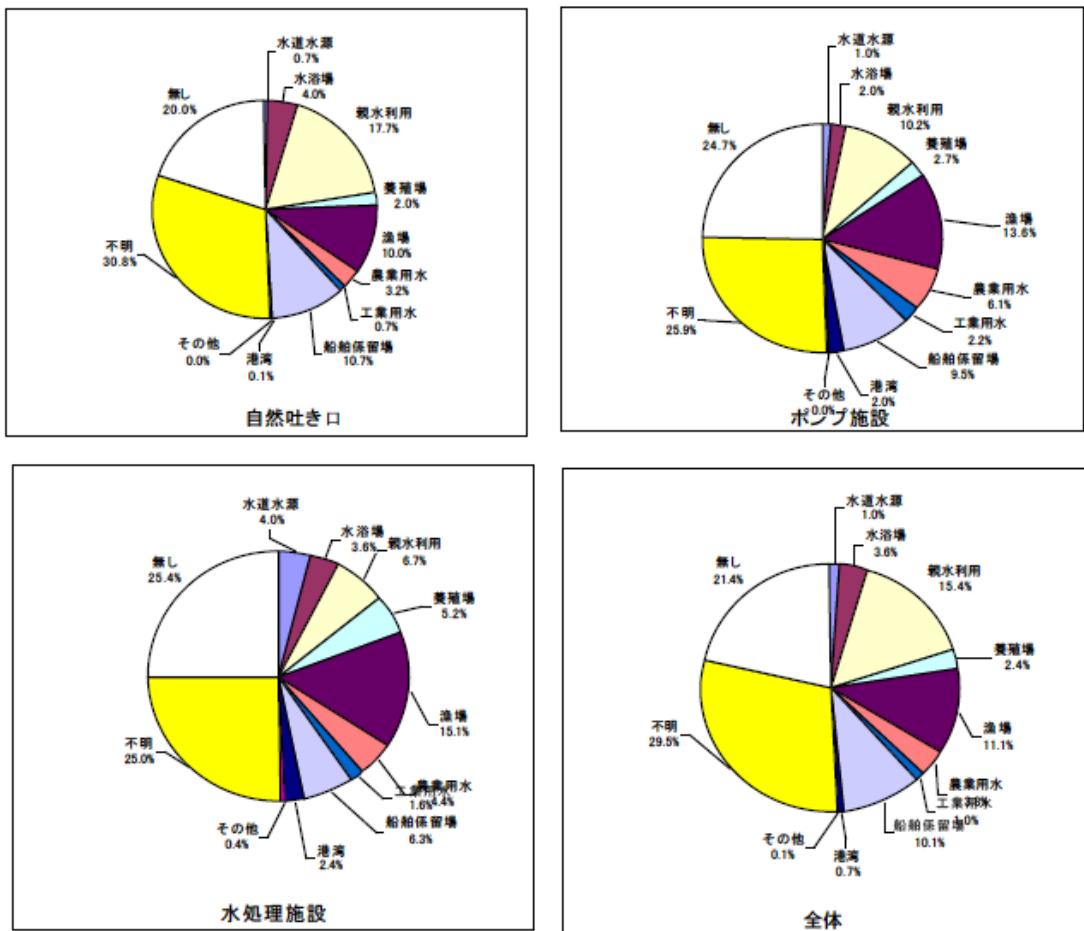


図1-7 放流先の水利用状況

(国土交通省都市・地域整備局下水道部、(財)下水道新技術推進機構(2002))

放流先の水質に求められるものは、その利用形態によるところ大である。親水利用に際しては、細心の注意を払わなければならない。経口などで病原微生物が体内に入り、そして運悪く体内で増殖した場合、糞に病原微生物が含まれることとなる。少なくない人がその場合、下痢や腹痛などの体調不良を訴え、感染症に罹患した事がわかる。一方、少なくない人は感染症に罹患していながらもその症状が出ないことがある。これを不顕性感染といい、多くのウイルス感染症がこれに該当する。この感染者は統計上には現れないが、下水中の病原微生物の排出源となっている。特に、この不顕性感染者は健常人と同様に活発に移動するので、排出が広範囲にわたる場合があり、やっかいである。

平成12年に、東京都のお台場において CSO に由来すると考えられる白色固形物が漂着した。お台場海浜公園は、年間160万人もの人が来園する都内有数の観光スポットであり、マスコミにもとりあげられ、CSO問題が一般に認知された。これを受け、東京都も、お台場海域浄化実験や、合流改善クイックプランなどに乗り出した。知名度、社会的重要度の面で、お台場における合流改善対策への注目は大きい。

お台場海浜公園は、都内で数少ない砂浜のある風景がひろがり、水ぬるむ頃には子供たちが水遊びをする姿が風物詩となっている。現在、遊泳禁止だが、お台場海域浄化実験を始めとして、水と接触できる機会を求める声が大きくなってきている。安心して水遊びのできる水質を取り戻すことは、社会的急務である。

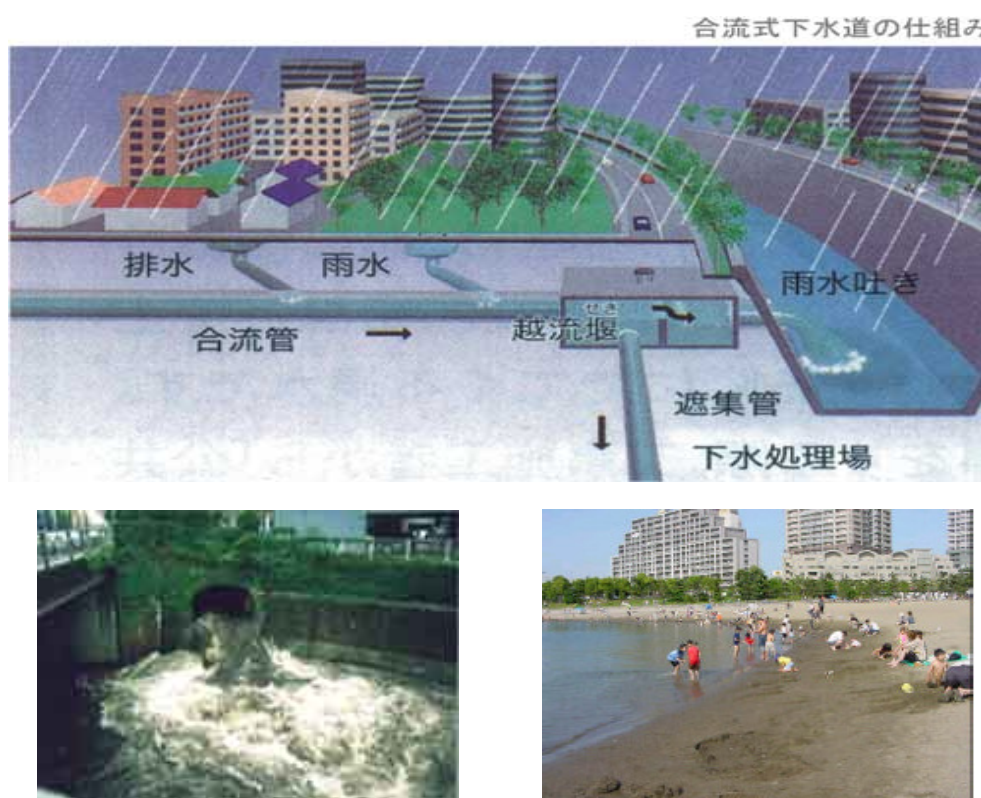


図 1-8 雨天時越流水問題

1.6 東京湾の水質の現状

東京湾内では、毎年赤潮が発生し、発生回数 15~20 回、発生件数 100 日前後と夏季はよく赤潮が発生している(東京湾岸自治体環境保全会議(2002))

赤潮はプランクトンの異常増殖により海や川、運河、湖沼等が変色する現象であり、その死骸が海底に堆積することで、貧酸素水塊を形成する大きな要因となっている。プランクトンの異常増殖は夏季の成層化した湾に陸域からの栄養塩負荷が流入し、そこに強い太陽エネルギーが供給されることで起こる。また、海底の貧酸素水塊が、風によって湧昇すると青潮が発生する。青潮は、海水に含まれる硫黄がコロイド化し、海水が白濁する現象である。夏~秋に東京湾で多く発生することが知られている。赤潮と同様に魚介類の大量死を引き起こす事がある。東京湾のお台場海浜公園や葛西臨海公園、全国各地で水辺に近づくためにハード面の整備、景観美の創造や施設等の建設は行われている。しかし、水辺環境改善の本質は、その海域を形成する水質、抱える課題、問題点を把握した上で改善点や対策を講じることで、見た目だけの綺麗さにだけ囚われてはいけいない。

水質汚濁対策(水質総量規制)の効果によって、東京湾に流入する有機汚濁物質は過去 25 年間で 1/2 以下に大幅に改善されてきた。しかし、依然として赤潮・青潮の発生状況は変わらないことが報告されている。なぜ水質は改善傾向にあるにも関わらず、赤潮・青潮や貧酸素水塊は減らないのか?その要因の一つとして考えられているのが、雨天時流入汚濁の影響である(安藤)。

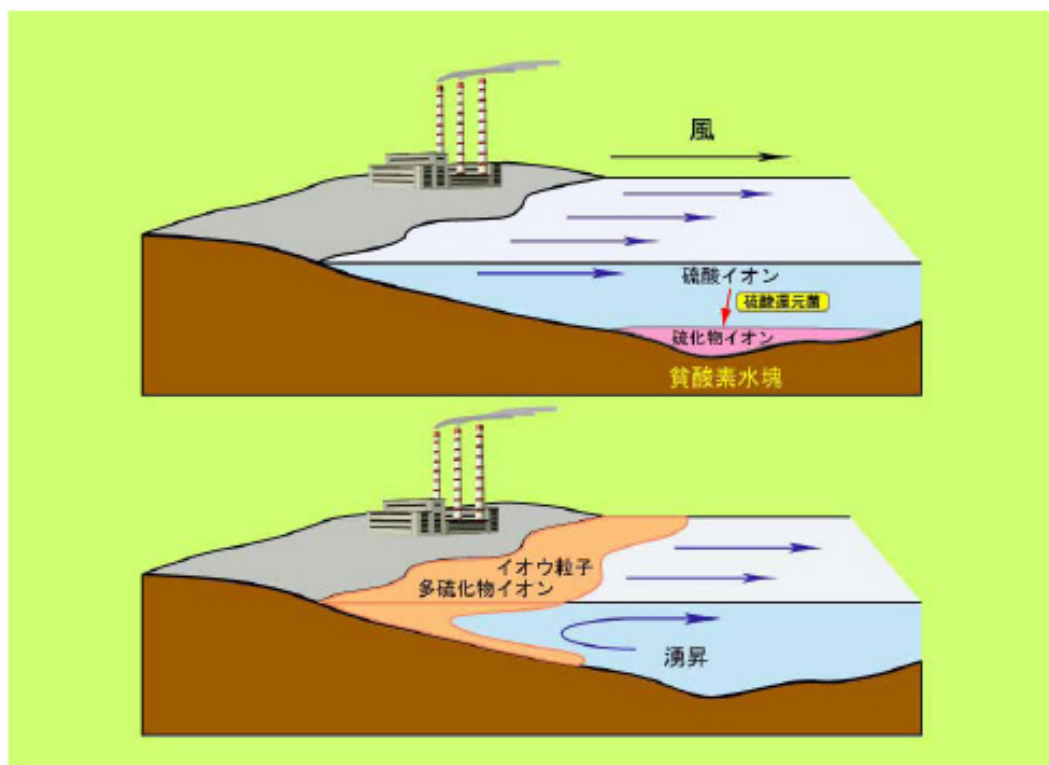


図 1-9 青潮の発生機構

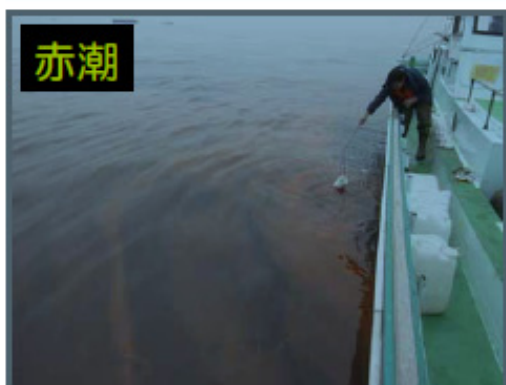


図 1-10 赤潮の様子



図 1-11 青潮の様子

1.7 既往の研究

日本において Urea の挙動に関して報告された研究は少ないが、山本ら(1994)は広島湾、江田湾、周防灘北東部海域及び太田川において Urea の濃度を計測している。太田川の Urea の平均値が他の 3 海域よりも高く、Urea の供給源として陸域からの流入を指摘している。また、徳永ら(1994)は河川水中の尿素の分解に関する微生物学的検討と題し、河川水中の Urea の生分解の様相を報告している。分解実験では Urea はほとんど分解しなかった。この原因として河川水中には尿素分解菌が少ないことおよびウレアーゼを生産する機能を有する従属栄養細菌が多く生育しているが、これらの細菌は河川水中では尿素分解菌に容易に転換しないことが考えられると報告している。

既往の研究では雨天時の CSO における影響 (Total Coliform や病原性微生物) は報告されている(鯉淵幸生,2005)。しかし、CSO における影響として、お台場の Urea の挙動を報告した例はないのが現状である。

1.8 本論文の構成

本論文ではまず、第 2 章で現地観測の概要を示し、どのような場所で採水を行い、現地観測をいかなる頻度で行ったか提示する。次に、現地で採水を行ったサンプルの Urea、Total Coliform、栄養塩の分析方法を第 3 章で示す。第 4 章では、その分析方法で計測したデータを晴天時の観測と雨天時の観測に分けて、潮汐の影響による Urea の濃度や栄養塩の濃度変化、降雨によるそれらの濃度変化を議論する。第 5 章では観測のまとめとして、Urea の濃度変化が何によって支配されているかを考察する。第 6 章では指標性が疑問視されているが、従来より CSO の指標として用いられている Total Coliform の現地観測結果を示す。Urea はアンモニア態窒素に分解することが報告されているため、本研究において Urea の濃度変化を議論するに当たって、その分解速度を把握することは必須であると言える。そこで、第 7 章においてその分解速度の実験結果を報告する。これらを統合し、第 8 章では本論文のまとめとして、研究成果と今後の課題を示す。最後に第 9 章では、今後の課題に取り組むために必要な観測機器である EcoLAB の Urea の測定コマンドを記載する。

第2章 現地観測

2.1 観測の目的

お台場海浜公園海域において、晴天時と雨天時の Urea の濃度変化の挙動を把握することを目的とし、現地での採水、実験を通して降雨量や Total Coliform、各栄養塩や塩分濃度との関係性を明らかにする。

2.2 観測の概要

現地観測は図 2-2 に示した St.1 から St.7 において、2009 年 9 月 23 日から 12 月 13 日まで実施した。期間中、図 2-3 で示した矢印の頻度で行った。



図 2-1 お台場海浜公園の位置

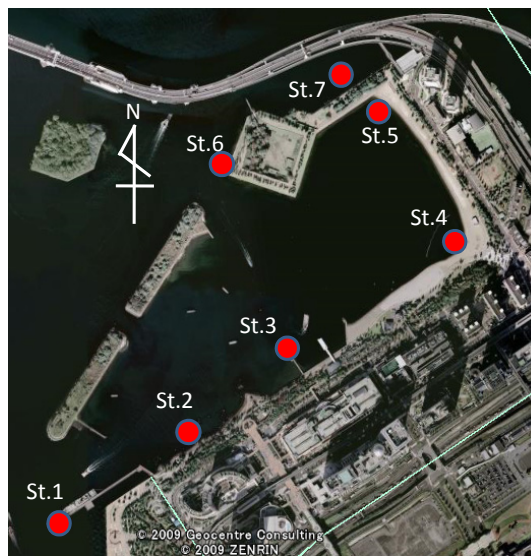


図 2-2 観測地点

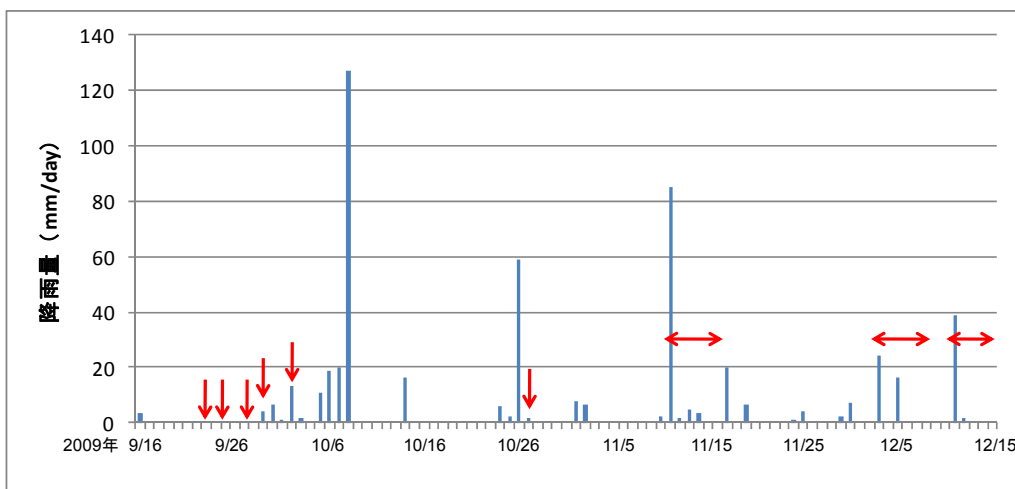


図 2-3 観測期間と降雨量

現場において表層の海水を採水し(10月27日以降は塩分計も使用)、保冷したサンプルを実験室で分析することで、Urea、Total Coliform、溶存態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$)、溶存態リン($\text{PO}_4\text{-P}$)、全窒素(T-N)の測定を行った。



図2-4 St.1の栈橋



図2-5 St.4の浅瀬

St.1・・・係留計があり、海上保安庁から観測地点として貸して頂いているため、今後も研究場所として利用価値が高い

St.2・・・休憩小屋の前。St.3と近いため9月29日以降は観測地点としなかった

St.3・・・小さな栈橋の先。近くに観光船の船着き場がある

St.4・・・近くに簡易的な浄化施設がある。砂浜で静穏域が広がっている

St.5・・・砂浜で静穏域が広がっている。鳥類が頻繁に訪れる

St.6・・・崖になっているため危険。9月29日以降は観測地点としなかった

St.7・・・採水する階段ある。観測地点の中では隅田川の影響を一番受けると推測される地点



図 2-6 採水の様子

2.3 晴天時の観測

9月23日、24日については St.1 から St.7 までを一潮汐の間、9月27日は小潮だったので St.1 から St.7 までを一度、9月29日は満潮時と干潮時の二度 St.1,3,4,5,7(St.2,St.6 以外)、10月27日は一度 St.1,3,4,5,7(St.2,St.6 以外)の各点において、採水バケツを用いて採水を行った。

2.4 雨天時の観測

11月11日から14日までの四日間、12月4日から7日までの四日間、12月11日から13日までの三日間で、纏まった雨が降る日を狙って3,4日連続して現場に通い、可能な限り満潮付近で一度観測を行った。観測地点は、St.1,3,4,5,7(St.2,St.6 以外)の各点において、採水バケツを用いて採水を行った。

2.5 観測準備

- ①I boy、採水ビン(濾過あり用、濾過なし用)
- ②採水バケツ
- ③注射器
- ④濾過フィルター
- ⑤タオル
- ⑥保冷剤
- ⑦塩分計

Urea と栄養塩の分析には濾過したサンプルを使用、Total Coliform の分析には濾過なしのサンプルを使用する

第3章 分析手法

3.1 Urea

(1) 分析手法1

①まず以下に記載する試薬Aと試薬Bを準備する。

・試薬A- 着色

- 1 ジアセチルモノオキシム 8.5g を約 300ml の(脱気水)純水に溶かす
- 2 溶かすためにわずかに温め、チオセミカルバジドを 0.1mg 加える
- 3 完全に溶けるまで温めかき混ぜ、冷やしてから 15 ml のアセトンを加える
- 4 350 ml になるまで純水でメスアップする

・試薬B- 触媒

- 1 FeCl_3 ストック: 0.3 g の FeCl_3 を純水 20ml に溶かす
- 2 750ml の純水に濃硫酸 300ml をゆっくり加える
- 3 濃硫酸は加える間、冷ます時間を取り、小分けにして加える
- 4 FeCl_3 ストック 1.0 ml を加え、かき混ぜる

②サンプル : A : B = 6 : 1 : 3 で混合し 2,3 時間ほど湯煎すると図 3-1 のようにピンク色に着色する。

③その着色した試験管を分光光度計に入れ、スタンダードから検量線を引きサンプルの Urea の濃度を計測する。

尿素標準液 : 尿素 0.1072g を 10の純水に溶かすと、50(mg/l)の標準液となる



図 3-1 Urea の着色の様子

(2) 分析手法 2 <ジアセチル尿素法>

西条らの湖沼調査法という文献に基づく分析手法であり、

試薬

- ①塩化ナトリウム
- ②リン酸ナトリウム：リン酸ナトリウム二水和物 17.7g を濃硫酸 200ml にマグネチックスターラーで完全に溶かす。
- ③ジアセチルモノオキシム溶液：2,3-ブタンジオンオキシム(ジアセチルモノオキシム)5g を際蒸留水 100ml に温めて溶かす。放冷したのち、セミカルバジド塩酸塩 0.06g を加える。
- ④塩化マンガン-硝酸カリウム溶液：塩化マンガン(II)四水和物 50g と硝酸カリウム 1g を再蒸留水 100ml に溶かす。
- ⑤混合試薬：③と④を 1 対 1 で混合する。用事調整

手順

- ①比色管に塩化ナトリウム 5.5g をとる
- ②そこにサンプル 30ml、試薬②4ml、試薬⑤1ml を混合する
- ③70°Cの水浴中で、90 分間暗条件の下で加熱する
- ④水道水で冷却後、波長 520nm で吸光度を測定する
- ⑤標準液の検量線から現存量を求める。

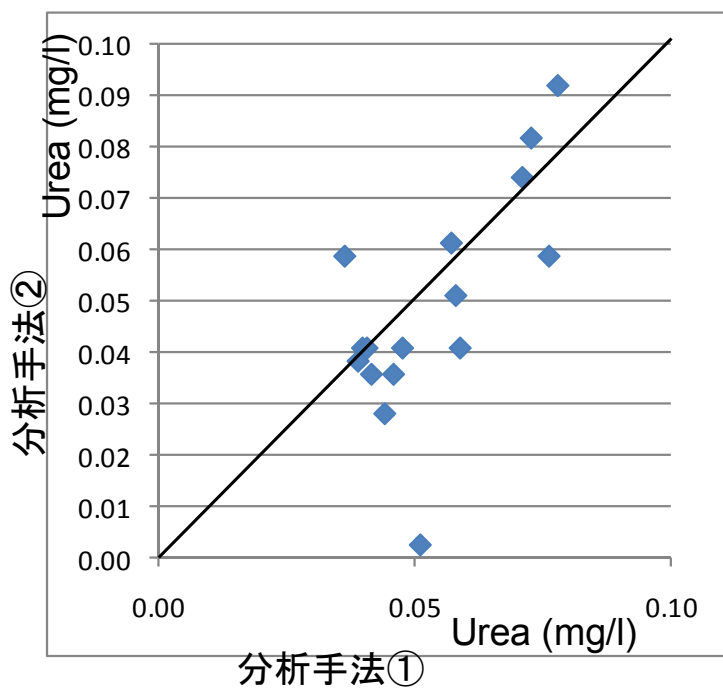


図 3-2 分析手法①と②の相関

図 3-2 に分析手法①と②の相関を示す。一点を除いて両手法には相関があり、適切に Urea の濃度を計測できている。本研究では初めに分析手法②を用いていたが、試薬を容易に準備できる点や、手法②は一つ当たりのサンプルに対して塩化ナトリウムを多く使う点、今後 EcoLAB(第 9 章参照)を使用する際には試薬を溶液にする必要性から、分析手法①を用いる方が良いと考えられる。最終的には、本研究の全サンプルは分析手法①を用いて濃度を計測した。

3.1 分光光度計

本研究室が所有する分光光度計(HITACHI 製 U-2010)を使用して Urea の濃度を計測する手順を以下に記載する。



図 3-3 分析光度計

- ①パソコンを起動する
- ②分光光度計の電源を入れる
- ③UV Solutions 1.2 を起動する
- ④右端の一番上にある **Method** アイコンをクリックする
- ⑤分析条件画面が出てくるので、
 - ・一般タブ 測定モードを定量演算にする
 - ・定量タブ 定量法を指定波長
検量線を一時直線
波長数を 1
濃度単位を%
 - ・装置タブ 波長 1 を **520nm** (切替波長は 340nm のままでよい)
 - ・スタンダードタブ 検量線を引く際に使用するスタンダードの数と濃度を記入する
 - ・モニタータブ、レポートタブは変更する必要はない
- ⑥濃度が 0(mg/l)のスタンダードを 5cm セルか 10cm セルに入れて、分光光度計にセットする
- ⑦右端の上から四番目の **Auto Zero** のアイコンをクリックする
- ⑧0(mg/l)の値が取れたので、記載したスタンダードの一つ目をセットし、右端の上から五番目の **Measure** をクリックする
- ⑨スタンダードの数だけ自動的にセットするように指令がある
- ⑩最後のスタンダードを測り終わるとサンプルの測定に進むかどうかの指令が出るので

OKにする

- ⑪サンプルをセットし、画面左下のサンプル(F4)という所をクリックする
- ⑫一つ目のサンプルが計測出来たら、サンプルを入れ替え再度画面左下のサンプル(F4)という所をクリックする
- ⑬サンプルの数だけ⑫を繰り返す

注意点

- ①ファイルの保存方法が曖昧で、データが保存されないことがある
そこで、終了ボタンを押す前にスタンダードとサンプルの吸光度を手書きで書きとっておく。書き取ったスタンダードの値から検量線を引き、サンプルの濃度を求める方法を取ることも視野に入れておくと良い
- ②本観測では 5cm セルで実験を行った。その際にサンプルと試薬合わせて最低 10ml ほどの分量が必要である

3.2 Total Coliform(糞便性大腸菌群数)

まず、採取したサンプル、1 ml を専用の大腸菌試験紙に均一にしみ込ませる。次にその試験紙をパックに密封させ、細菌試験紙用高温器(37℃)に入れ、15 時間培養させる。培養後に図 3-4 のようになったコロニーを数える。一地点(サンプル一つ)あたり試験紙を 4 枚使用しコロニーの数の平均値を使用する。



図 3-4 Total Coliform のコロニー

注意点

- ・ 冷凍庫での保存などはせず、当日培養を開始するようにする

大腸菌（だいちょうきん, *Escherichia coli* 略して *E. coli*）は、グラム陰性の桿菌で通性嫌気性菌に属し、環境中に存在するバクテリアの主要な種の一つである。この菌は腸内細菌でもあり、温血動物（鳥類、哺乳類）の消化管内、特に大腸に生息する。

大腸菌群とは細菌学用語ではなく衛生上の用語である。ラクトース発酵（乳糖分解し、酸とガスを発生）するグラム陰性、好気性・通性嫌気性で芽胞を形成しない桿菌の全てのこと。*E. coli* であってもこれに該当しないものが多く存在する。

E. coli はそれぞれの特徴によって「株(strain)」と呼ばれる群に分類することができる。それぞれ異なる動物の腸内にはそれぞれの株の *E. coli* が生息していることから、環境水を汚染している糞便が人間から出たものか、鳥類から出たものかを判別することも可能である。*E. coli* には非常に多数の株があり、その中には病原性を持つものも存在する。

その多くは汚水菌（クレブジエラ属菌、サイトロバクター属菌、エンテロバクター属菌）や土壌中の非常によく似た性質のバクテリア（よく知られたものとしては“*Aerobacter aerogenes*”）が大腸菌群として分類される。なお、病原性大腸菌はこの検査法での検出は非常に困難である。

また、水中に含まれる大腸菌群を数値化したものを大腸菌群数(Total Coliform)といい、水質汚濁の指標に用いられる。

バクテリアの代表としてモデル生物の一つとなっており、各種の研究で材料とされるほか、遺伝子を組み込んで有用な化学物質の生産にも利用される

Total Coliform や大腸菌数は、全国の河川や海域で測定され、過去からの豊富な蓄積データがある。山田ら(2005)永翁ら(1996)。岩崎ら(2000)が報告しているように、定量方法も確立されており、糞便汚染の指標として長年用いられてきた。Total Coliform は環境衛生管理上の汚染指標菌として衛生上の飲料水適否判定のために、Schardinger (1892) が提案したものである。大腸菌群はヒトや動物の腸管内に生息し、健康なヒトの糞便 1 g 中に 10 億から 100 億存在するといわれ、そのため微量の尿尿により水が汚染されてもきわめて鋭敏に検出されることになる。しかし、大腸菌群が検出されたからといって直ちにその水が危険であるとはいえず、多数検出されることは、その水は尿尿による汚染を受けた可能性が高く、したがって病原性大腸菌、赤痢菌、サルモネラ菌などの消化器系病原菌により汚染されている危険があるということを示している。

大腸菌群の検出法には、寒天培地を用いて菌の実測値を求める方法や液体培地を用いた試験管法により確率論的に菌数の MPN (最確数) 値を求める BGLB 培地 MPN 法があり、通常前者は菌量の多いと思われる検体に適用される。国土交通省では BGLB 培地 MPN 法を標準法としている。

しかし、今日まで Total Coliform を水質汚濁の指標として用いてきたが、その指標性は低いことが指摘されている。



図 3-5 大腸菌の様子

3.3 栄養塩

観測で採取したサンプルは冷凍保存しておき、BRAN+LUEBEE 社製 AACS-III (図 3.6) を用いて実験室において以下の項目ごとに分析した

- ・ 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)

- ・ 全窒素 (TN)

- ・ 溶存無機態リン (PO₄-P)



図 3-6 AACS-III

なお、栄養塩としての窒素とリンの分類は次の図のようにになっている (図 3-7、図 3-8)。

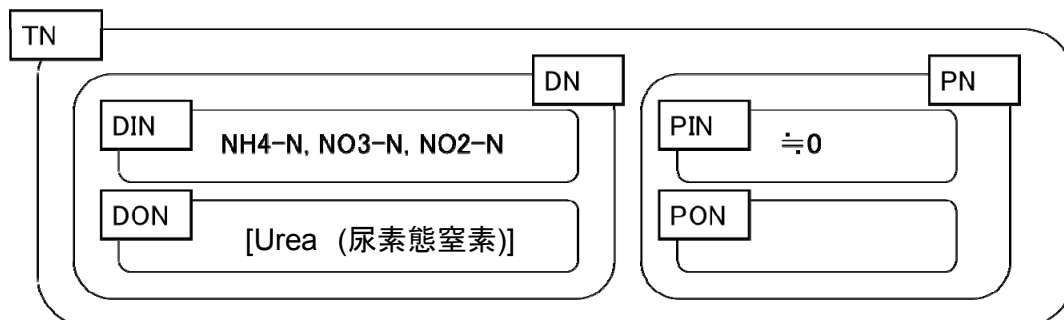


図 3-7 窒素の分類

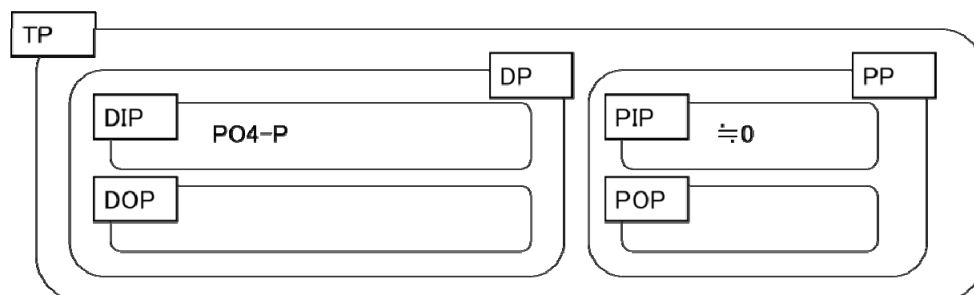


図 3-8 リンの分類

第4章 観測結果と考察

4.1 概要

本章では、観測によって得られた結果とその考察をまとめる。

4.2 St.1 における塩分値の連続データ

まず、観測地点の水質の概要を示す。観測地点 St.1 には図 4-2 のような栈橋があり、8/31 日に水温・塩分計、DO 計、クロロフィル計が固定された図 4-3 の係留計を水面下に設置した。

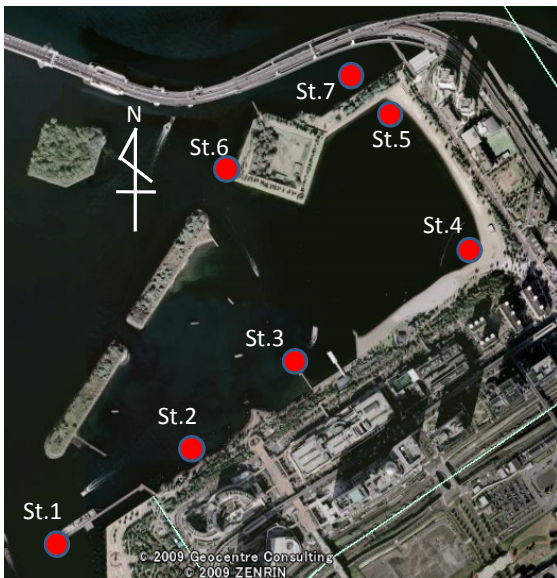


図 4-1 観測地点



図 4-2 St.1 の栈橋

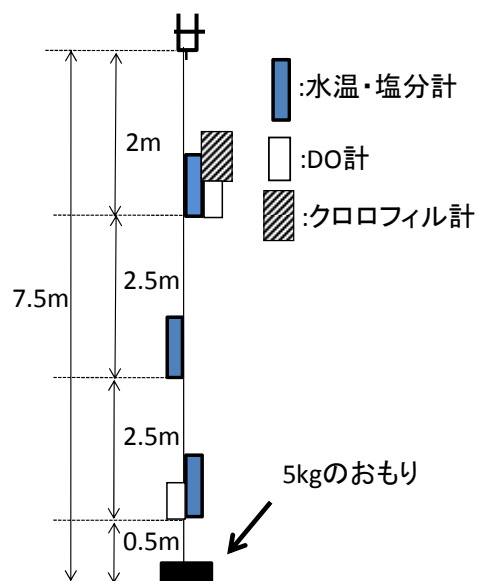


図 4-3 St.1 の係留計

St.1 における 9/1～30 日の塩分計の値を図 4-4 に示す。

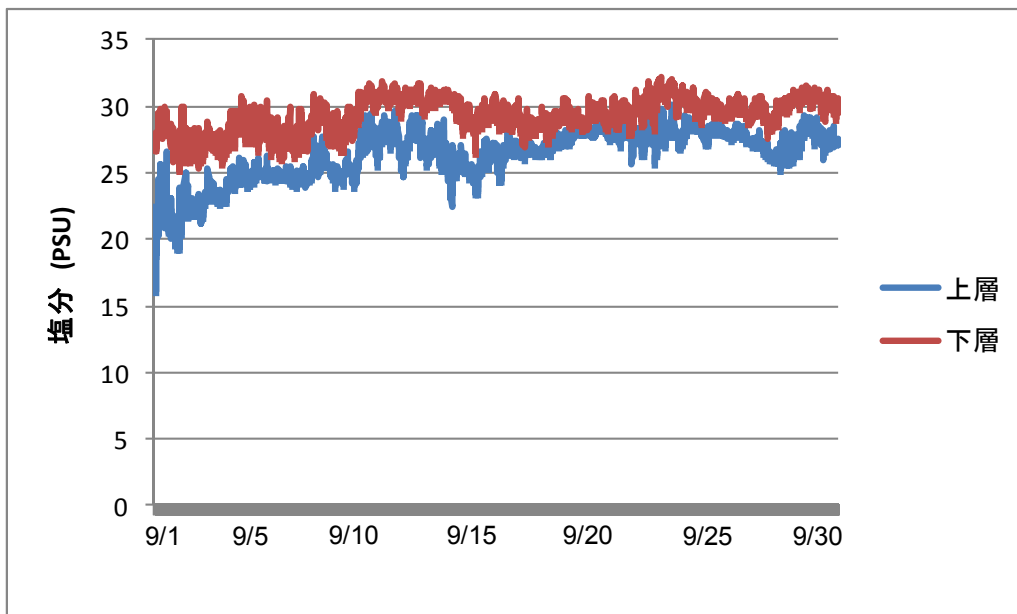


図 4-4 St.1 の塩分変動

St.1 において上層の塩分は 16.0–30.0(PSU)、下層の塩分は 25.1-32.2(PSU)で推移している。9 月の上旬において、上層と下層では塩分濃度に差があり、ある程度、成層化していることが分かる。お台場海浜公園は隅田川の河口であると同時に東京湾の入り口でもあるため、河川水と海水、両者の影響で上層と下層の塩分差が出ていると考えられる。その中で、塩分濃度を海水約 30psu、河川水 0psu と仮定すると本観測地点の水質は、海水の割合が大きいことが推察される。本研究では各 St とも表層で採水を行った。

4.3 晴天時の観測

2009年9月23日、24日、29日、10月27日に行った観測の概要と結果を以下に示す。

4.3.1 2009年9月23日の観測

この日の東京における潮位曲線は図4-5のようになっており、10時のrun1から20時までのrun6(表4-1)で採水を行った。

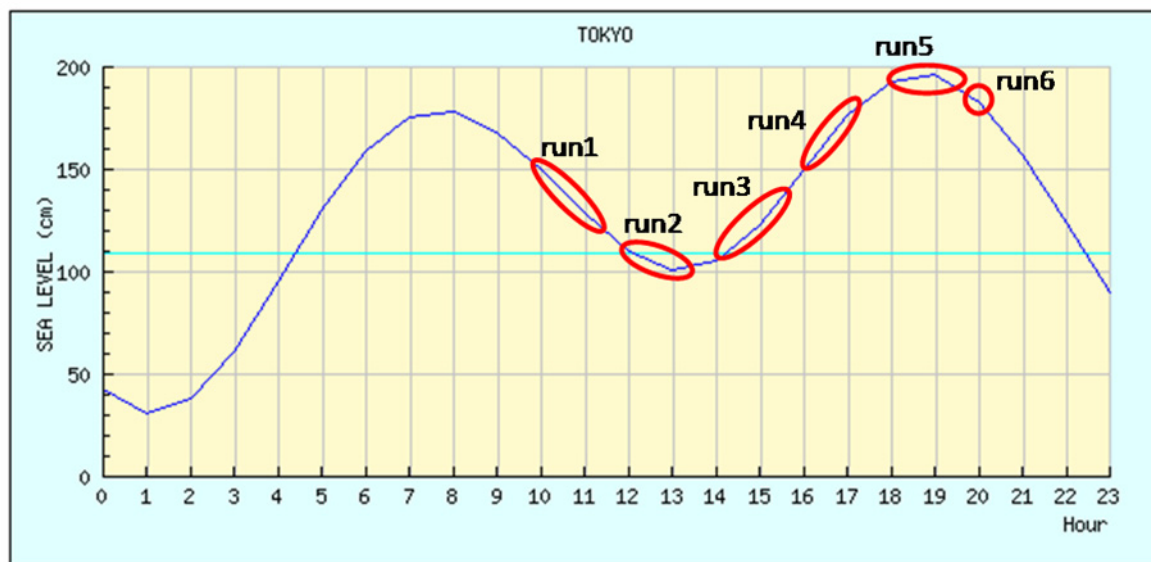
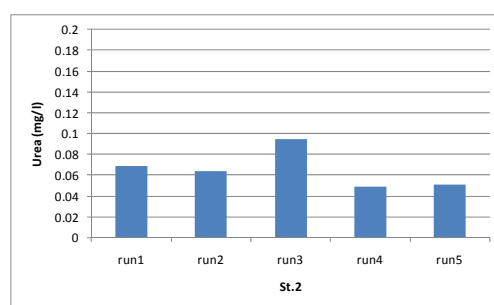
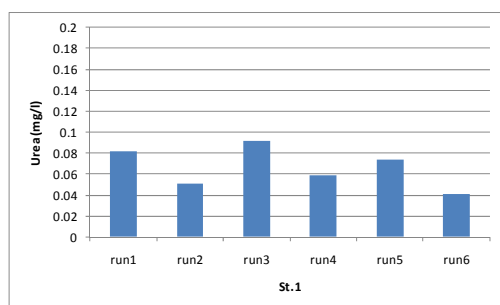


図4-5 2009年9月23日 潮位グラフ(東京)

表4-1 採水時間

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
run1	10:00	10:30	11:00	10:00	10:30	11:00	11:30
run2	12:00	12:30	13:00	12:00	12:30	13:00	13:30
run3	14:00	14:30	15:00	14:00	14:30	15:00	15:30
run4	16:00	16:30	17:00	16:00	16:30	17:00	17:30
run5	18:00	18:30	19:00	18:00	18:30	19:00	19:30
run6	20:00			20:00			

run1 から run6 までの各 St の Urea 濃度を図4-6に示す。



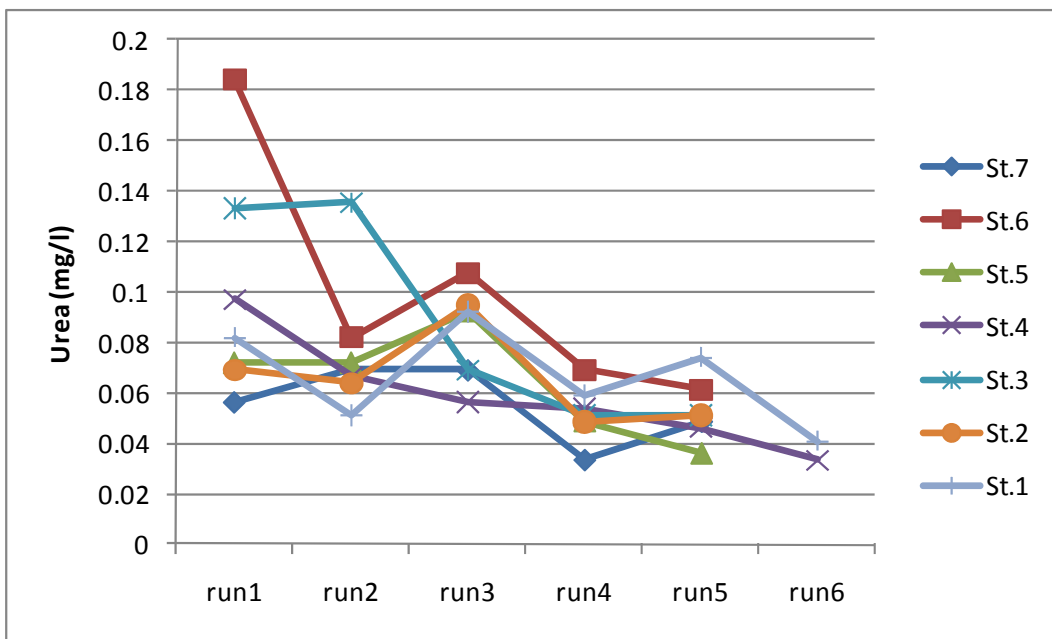
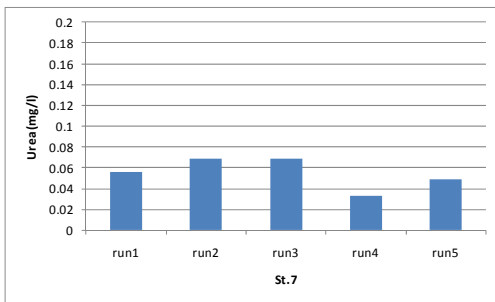
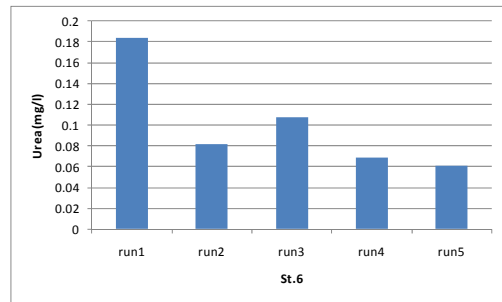
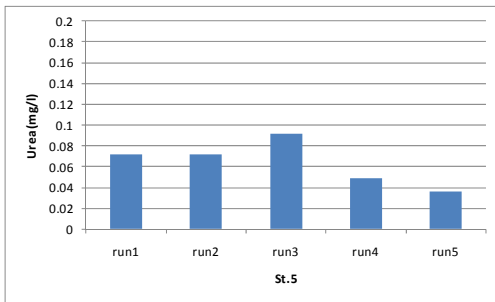
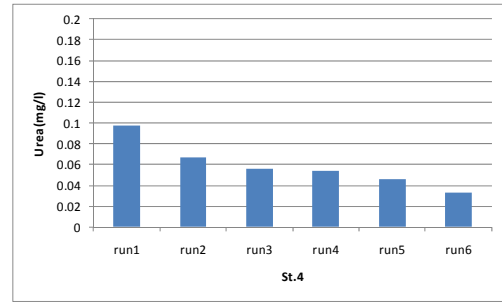
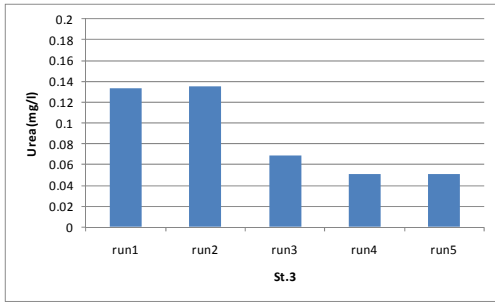


図 4-6 Urea の各 St ごとの濃度変化

9/23 の Urea は 0.033~0.184(mg/l)の濃度で推移した。Urea の濃度増加、減少の割合には St 間で差異が見られ、St.3,St.4 では、run1,run2 で高濃度となっていてそれから徐々に減少する過程が見られた。これは、23 日の深夜の干潮時に河川水が湾内に流入し、おおよそ朝八時に満潮を迎えた際にピークの濃度を取っていた Urea が run1,run2 の段階で残っていたため観測され、その後潮位差がなくなり、徐々に海水が流入してきて Urea の濃度が減少したと推察される。また St.6 の run1 で Urea の濃度が高くなった。St.6 は河川の河口に近いので高濃度となった可能性があるが、数百mほどしか離れていない同じく河口付近の St.7 では高濃度となっていないため、その可能性は示しがたい。

次に Urea の濃度と各栄養塩(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N,PO₄-P)との相関関係を図 4-7 に示す。

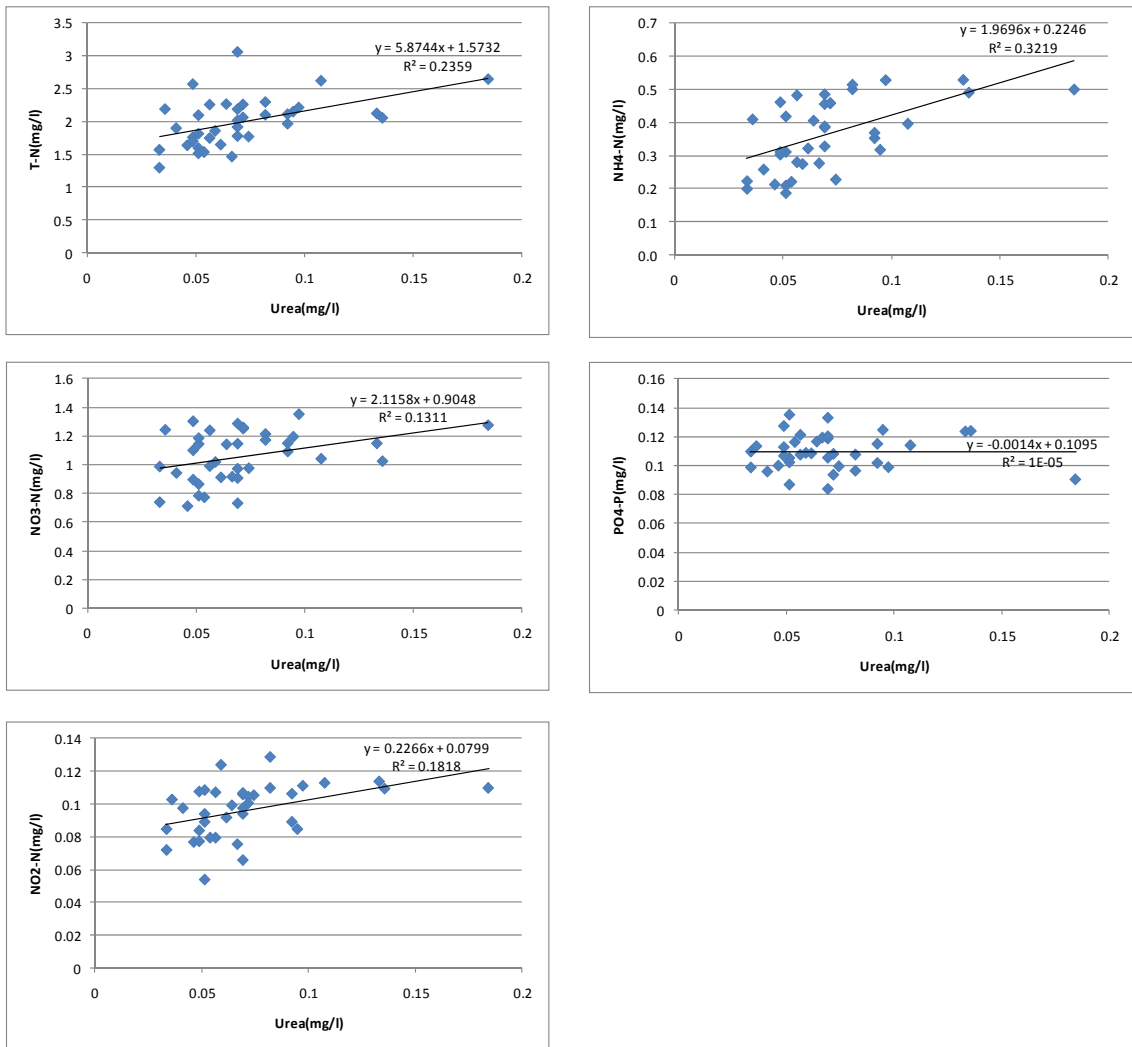


図 4-7 Urea と栄養塩の相関

Urea とアンモニア態窒素の間には弱い相関が見られた。また、溶存無機態リンとは相関が見られなかった。

run1 から run6 までの各栄養塩(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N,PO₄-P) の濃度変化を St ごとに図 4-8 から図 4-12 に示す。

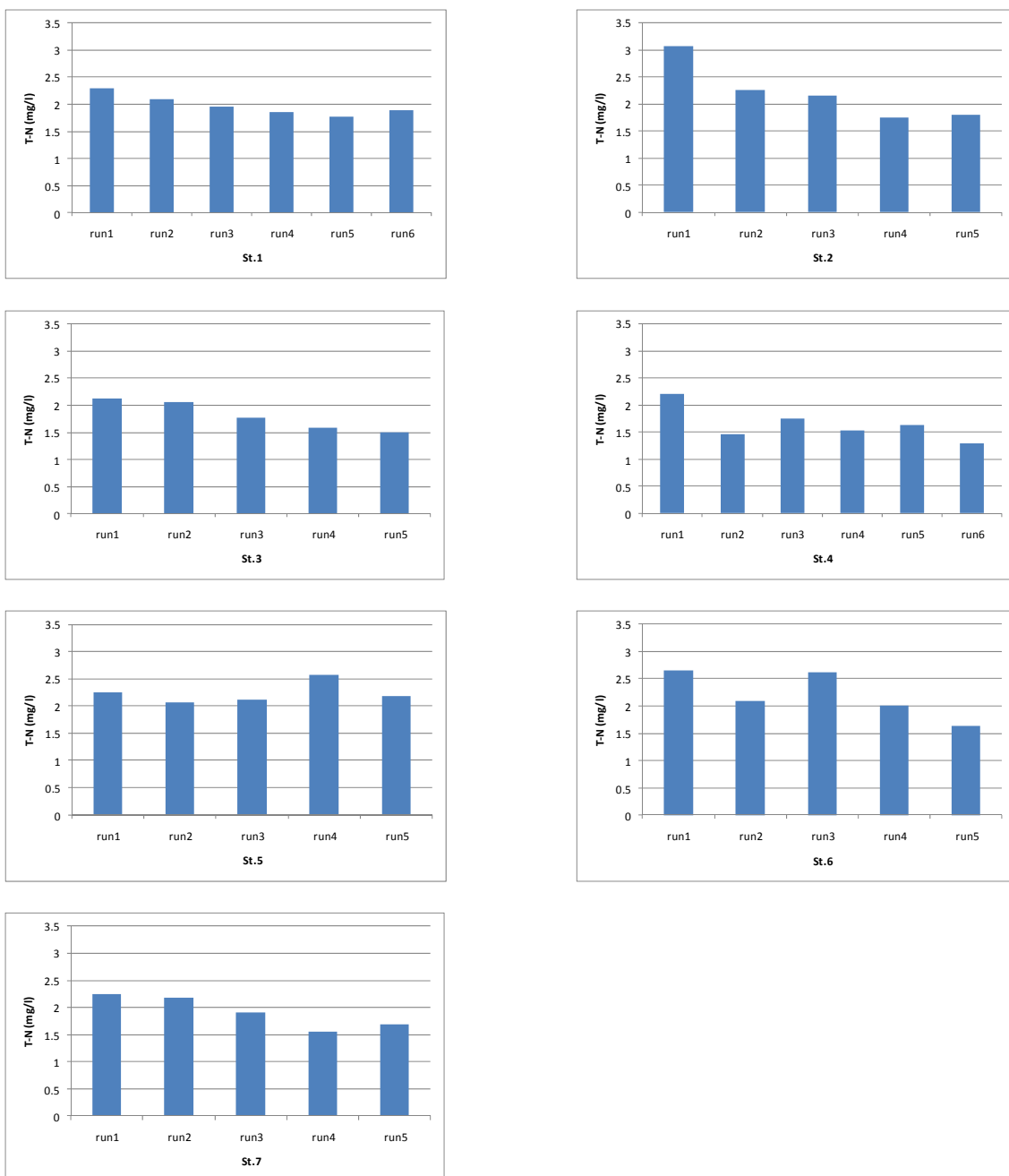


図 4-8 T-N の各 St ごとの濃度変化

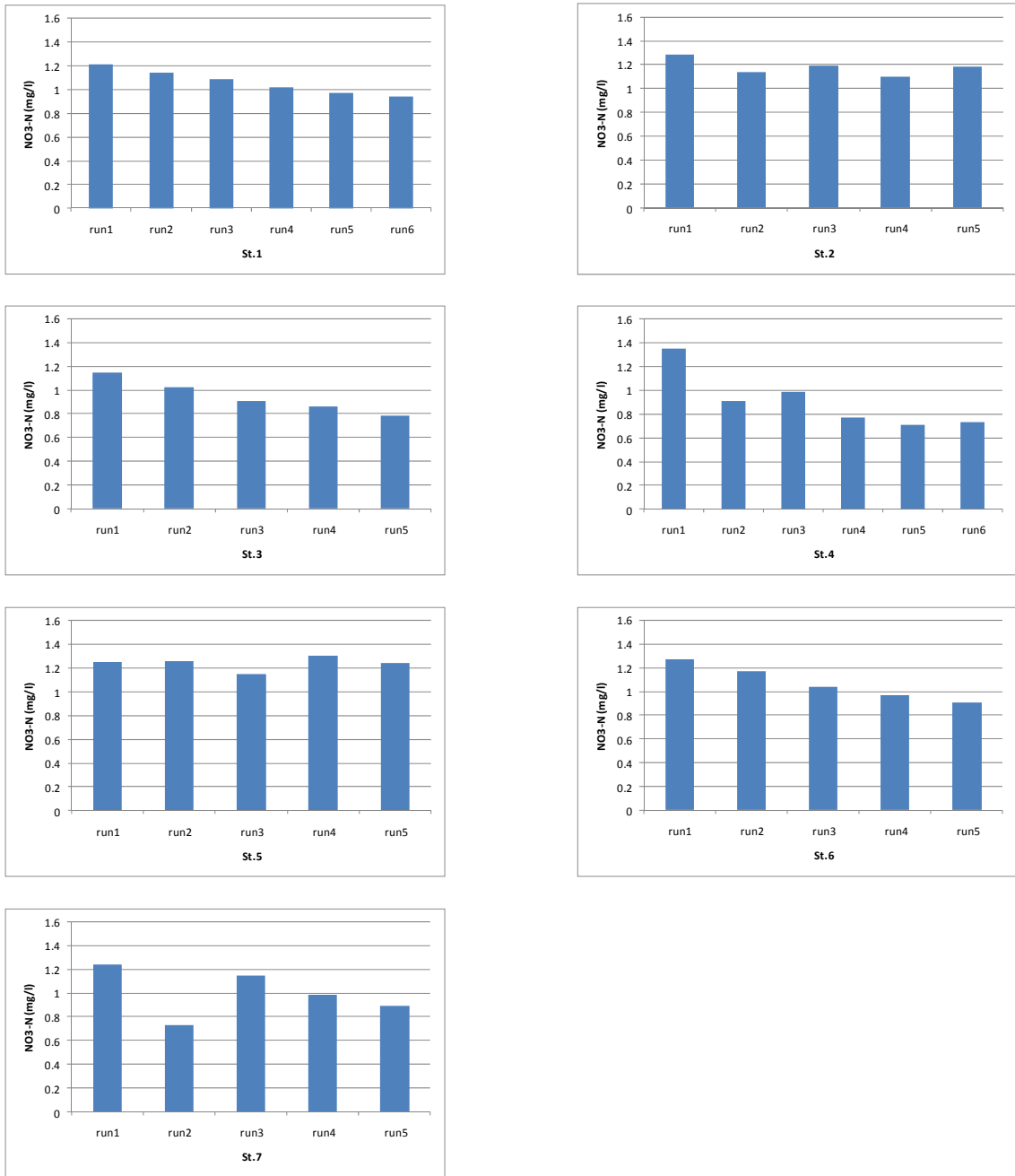


図 4-9 NO₃-N の各 St ごとの濃度変化

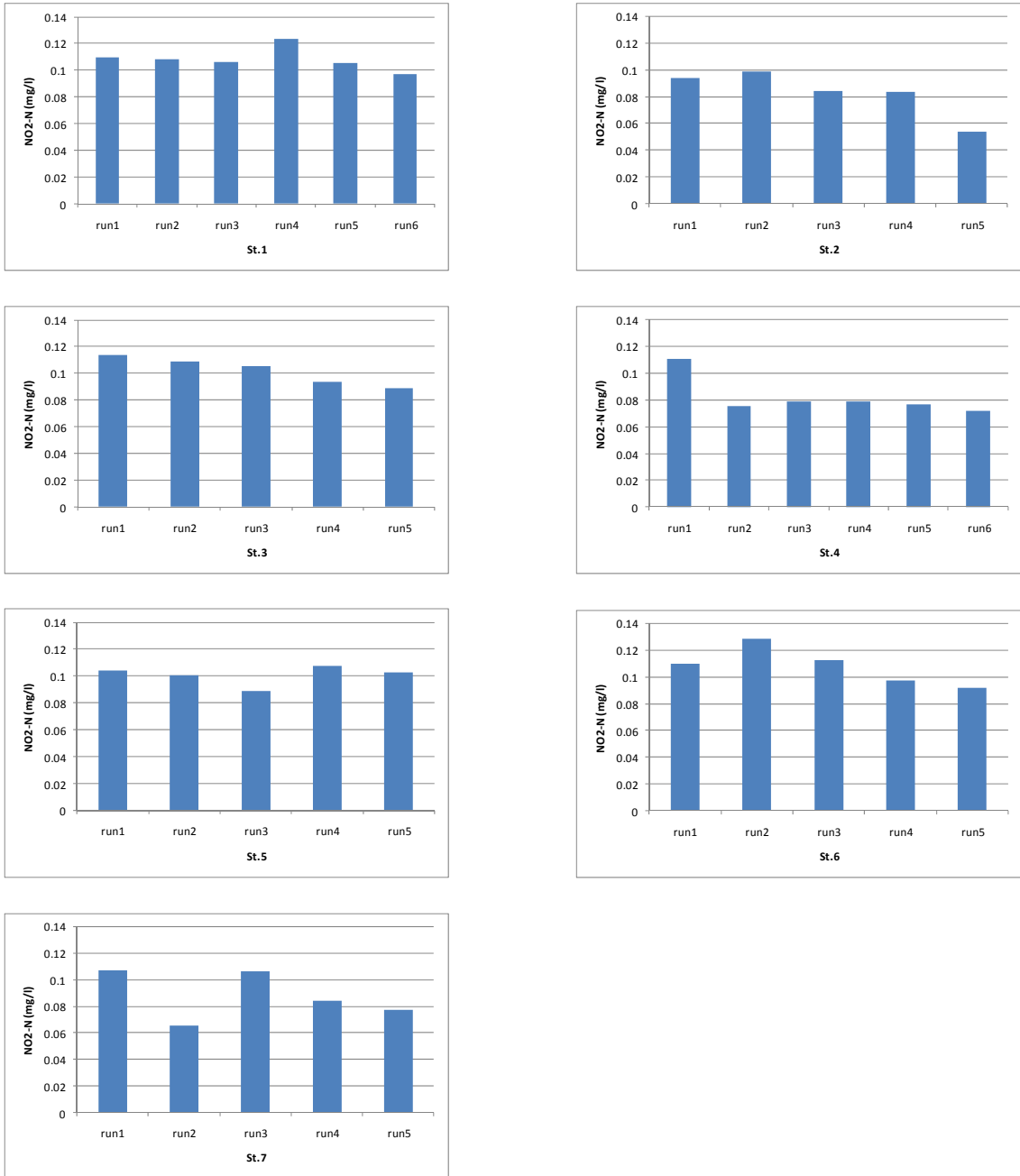


図 4-10 NO₂-N の各 St ごとの濃度変化

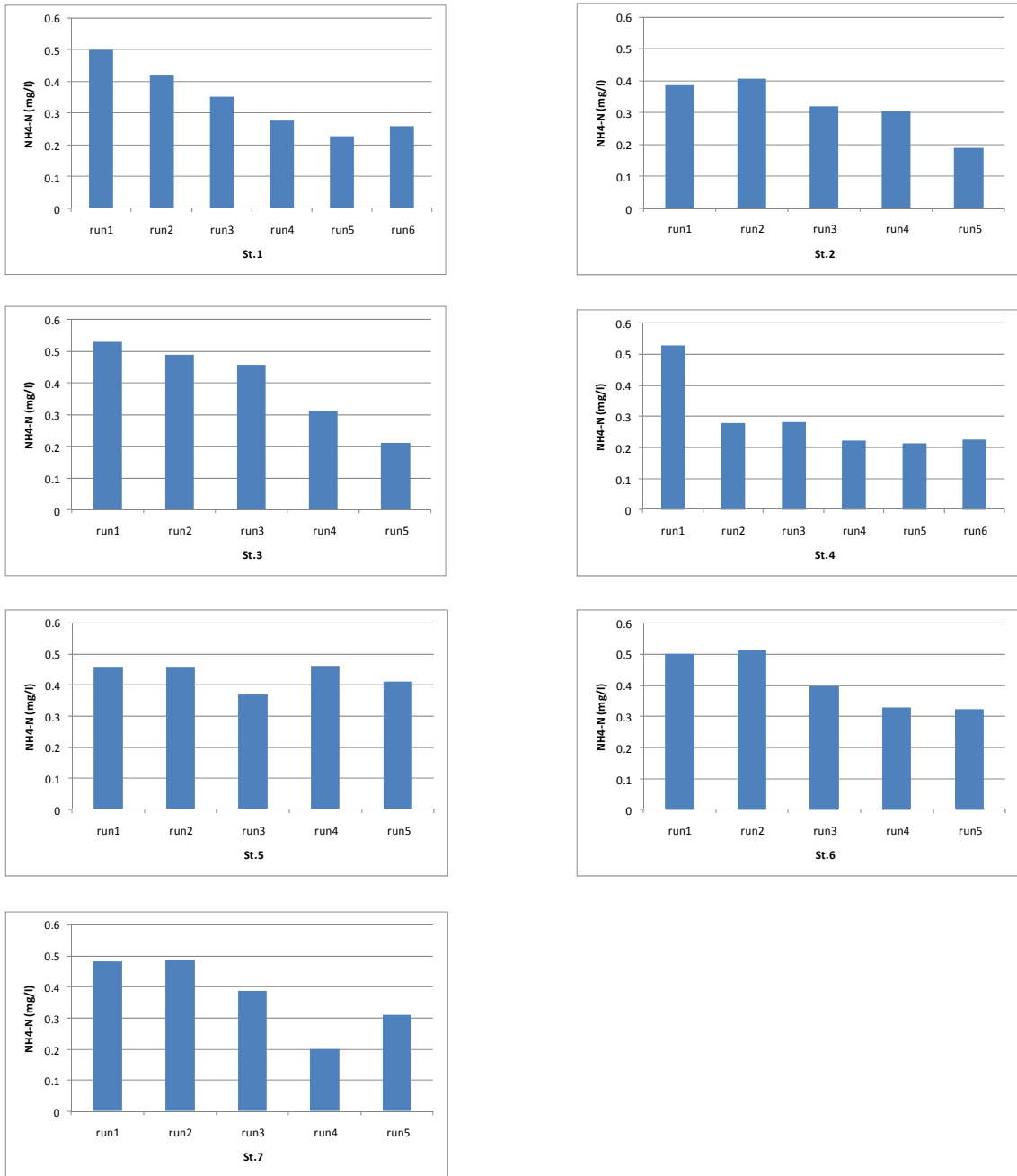


図 4-11 $\text{NH}_4\text{-N}$ の各 St ごとの濃度変化

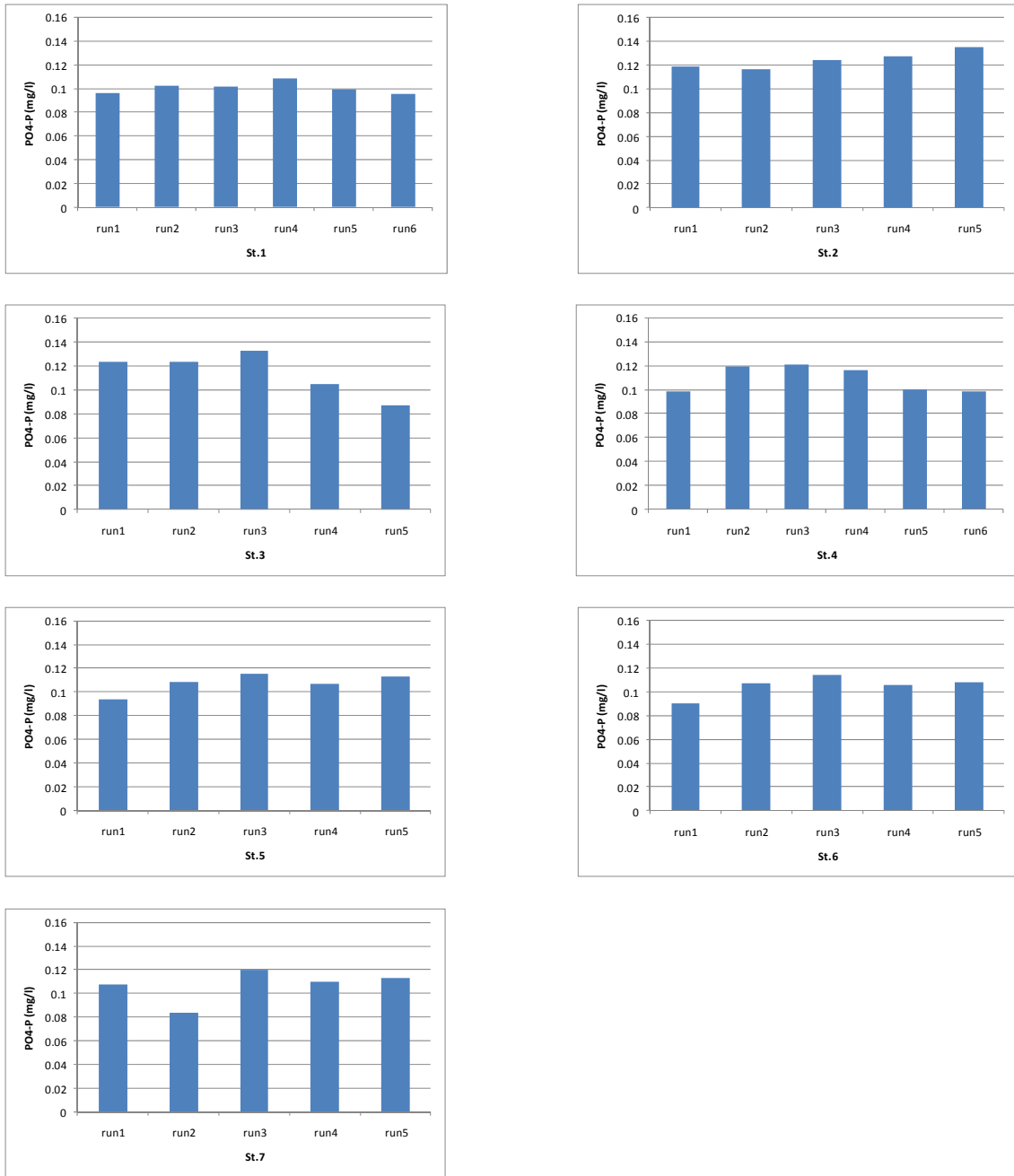


図 4-12 $\text{PO}_4\text{-P}$ の各 St ごとの濃度変化

T-N, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ に関しては時間経過と共に濃度が減少していく St が多かった。run1～run3 は干潮時付近で、当海域において、河川水の影響の割合が強く、その後満潮時に近づくにつれて海水の影響が強くなっていくと推察される。このことから、窒素系の栄養塩は、潮汐の影響による海水と河川水の割合の違いで濃度が変動していることが示唆される。 $\text{PO}_4\text{-P}$ に関しては、潮汐による濃度変化の規則性が見られなかった。

4.3.2 2009年9月24日の観測

この日の東京における潮位曲線は図 4-13 のようになっており、8 時の run1 から 20 時までの run7(表 4-2)で採水を行った。

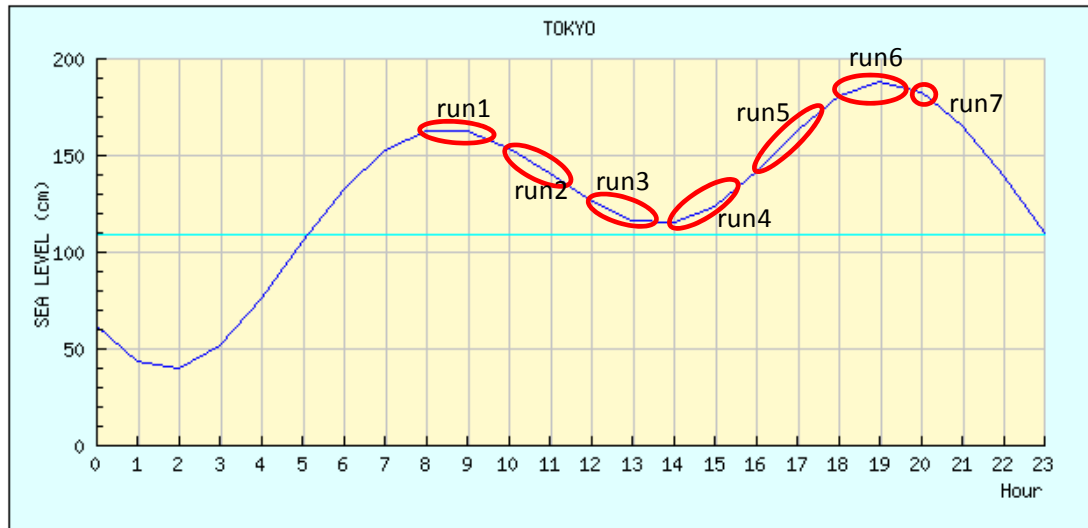
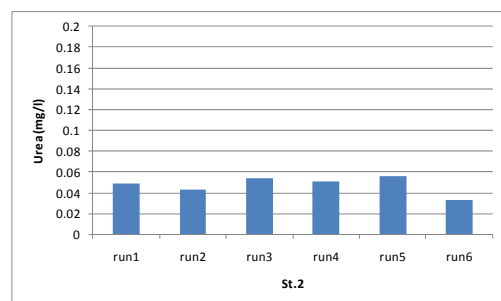
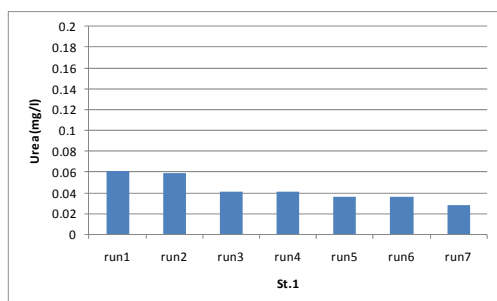


図 4-13 2009年9月24日 潮位グラフ(東京)

表 4-2 採水時間

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
run1	8:00	8:30	9:00				
run2	10:00	10:30	11:00	10:00	10:30	11:00	11:30
run3	12:00	12:30	13:00	12:00	12:30	13:00	13:30
run4	14:00	14:30	15:00	14:00	14:30	15:00	15:30
run5	16:00	16:30	17:00	16:00	16:30	17:00	17:30
run6	18:00	18:30	19:00	18:00	18:30	19:00	19:30
run7	20:00			20:00			

run1 から run7 までの各 St の Urea 濃度を図 4-14 に示す。



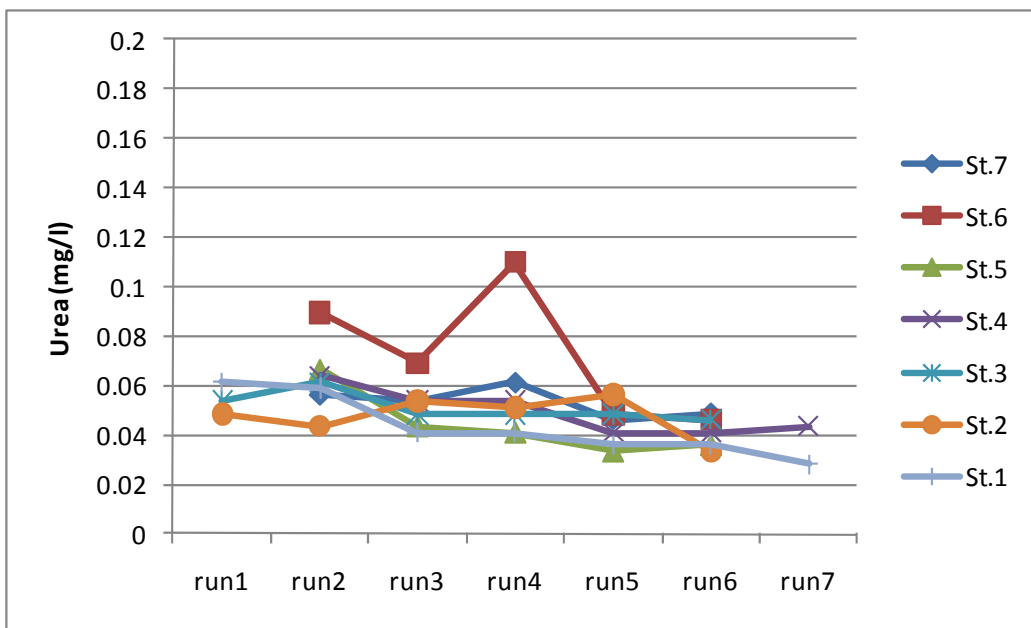
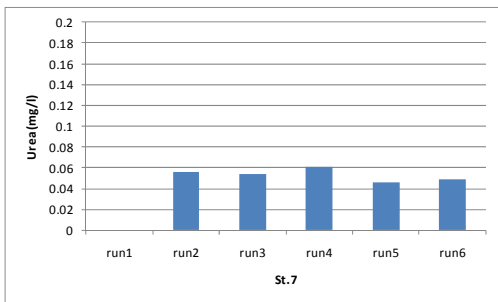
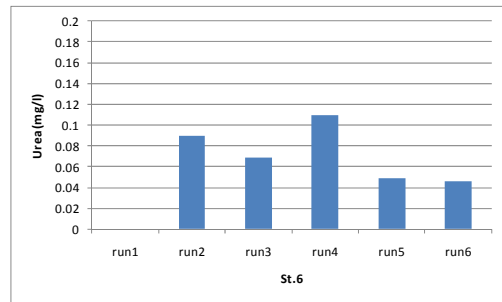
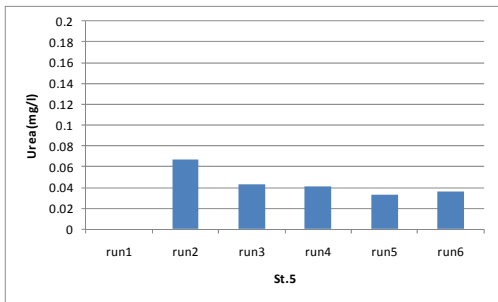
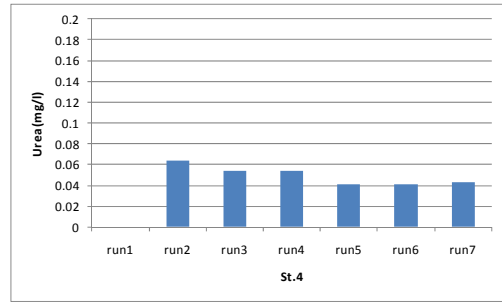
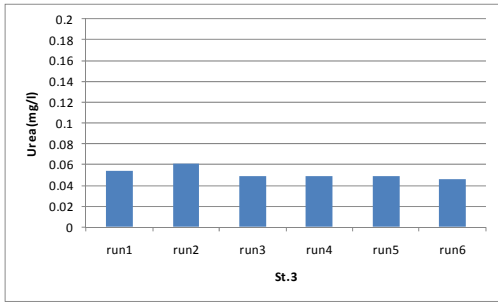


図 4-14 Urea の各 St ごとの濃度変化

9/24 の Urea は 0.028~0.110(mg/l)の濃度で推移した。前日の9月23日の半日連続観測と比較して、Urea の時空間分布は小さくなった。これは23日に比べて潮位差が小さく、お台場海浜公園内の河川水や海水の流出入の割合が小さかったことに起因している可能性が考えられる。

次に Urea の濃度と各栄養塩(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N,PO₄-P)との相関関係を図 4-15 に示す。

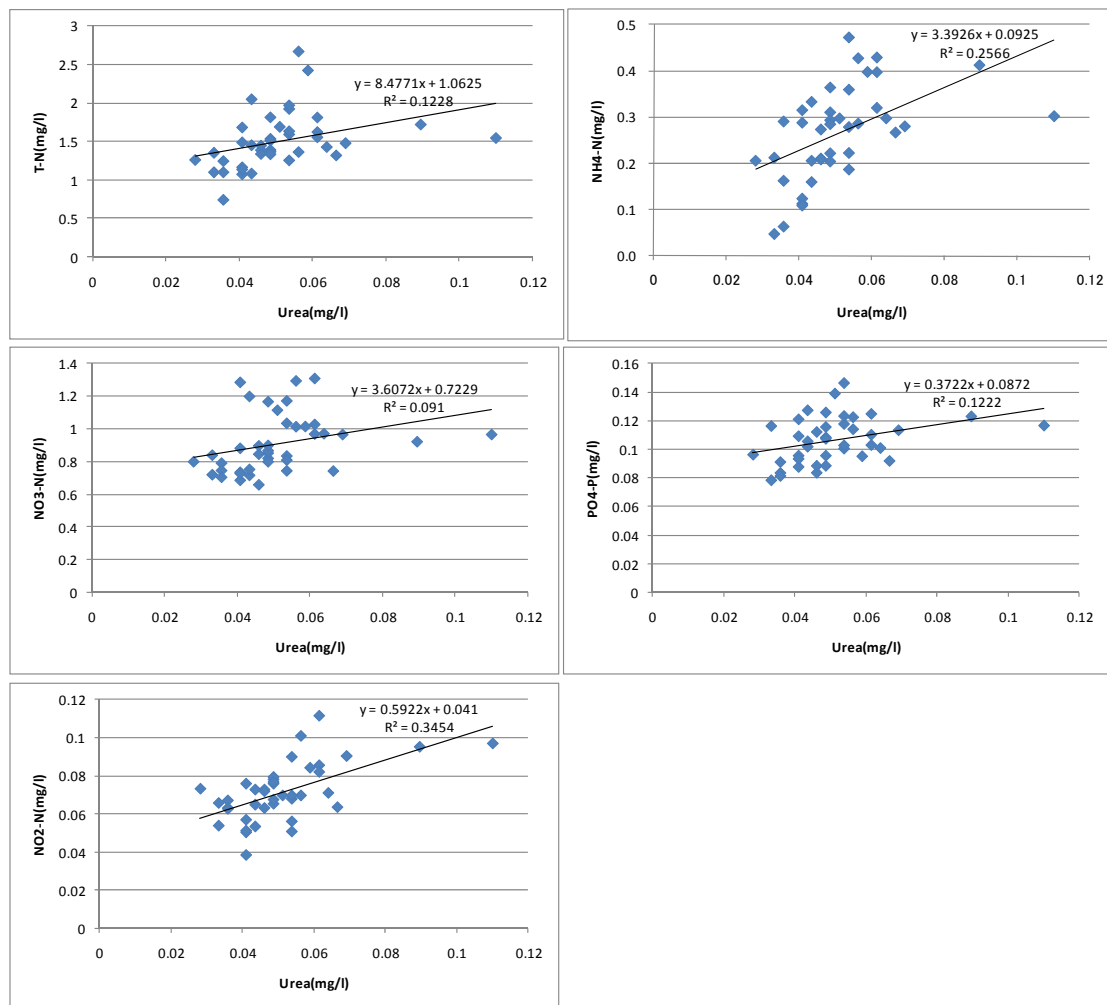


図 4-15 Urea と栄養塩の相関

run1 から run7 までの各栄養塩(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N,PO₄-P) の濃度変化を St ごとに図 4-16 から図 4-20 に示す。

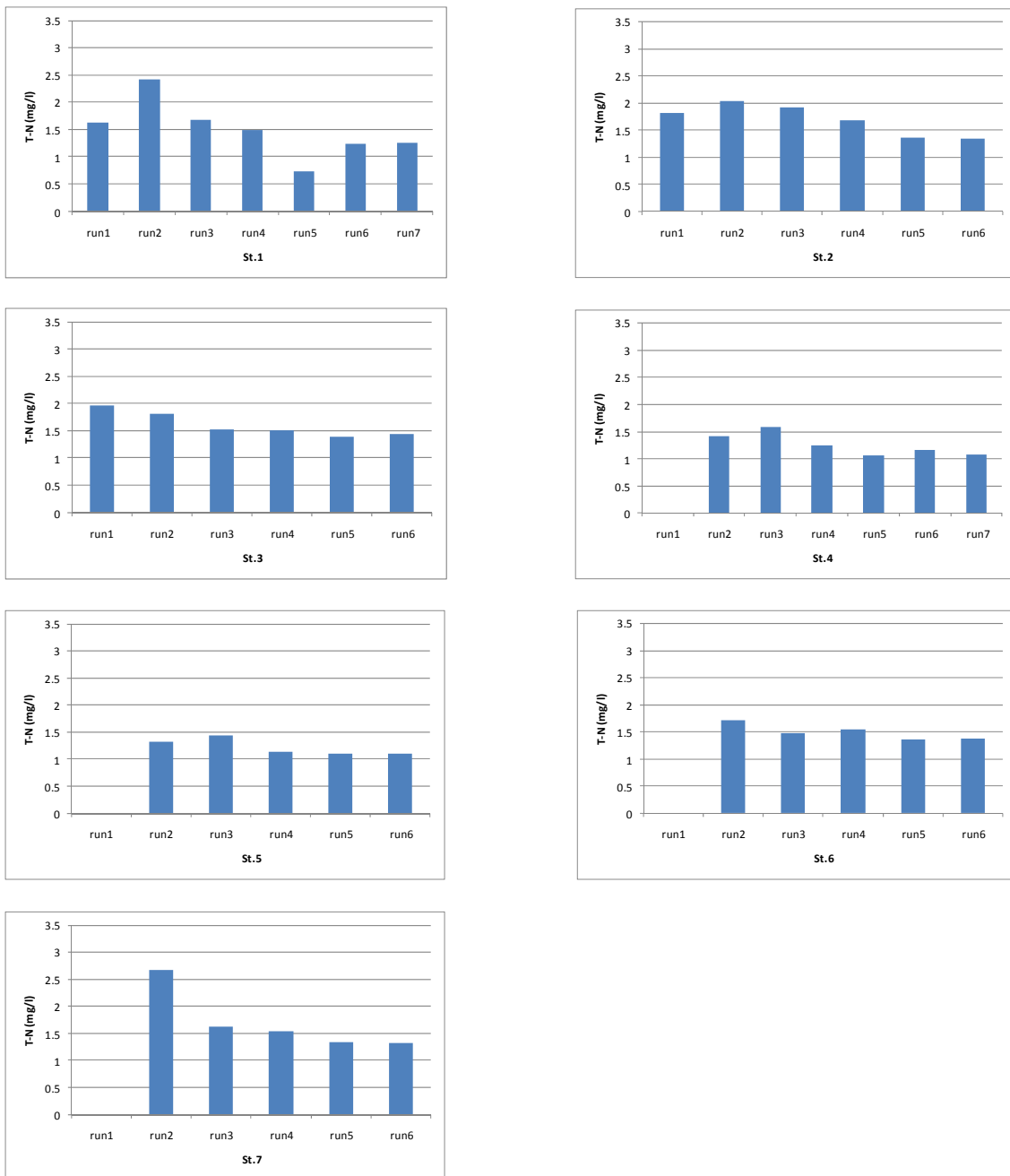


図 4-16 T-N の各 St ごとの濃度変化

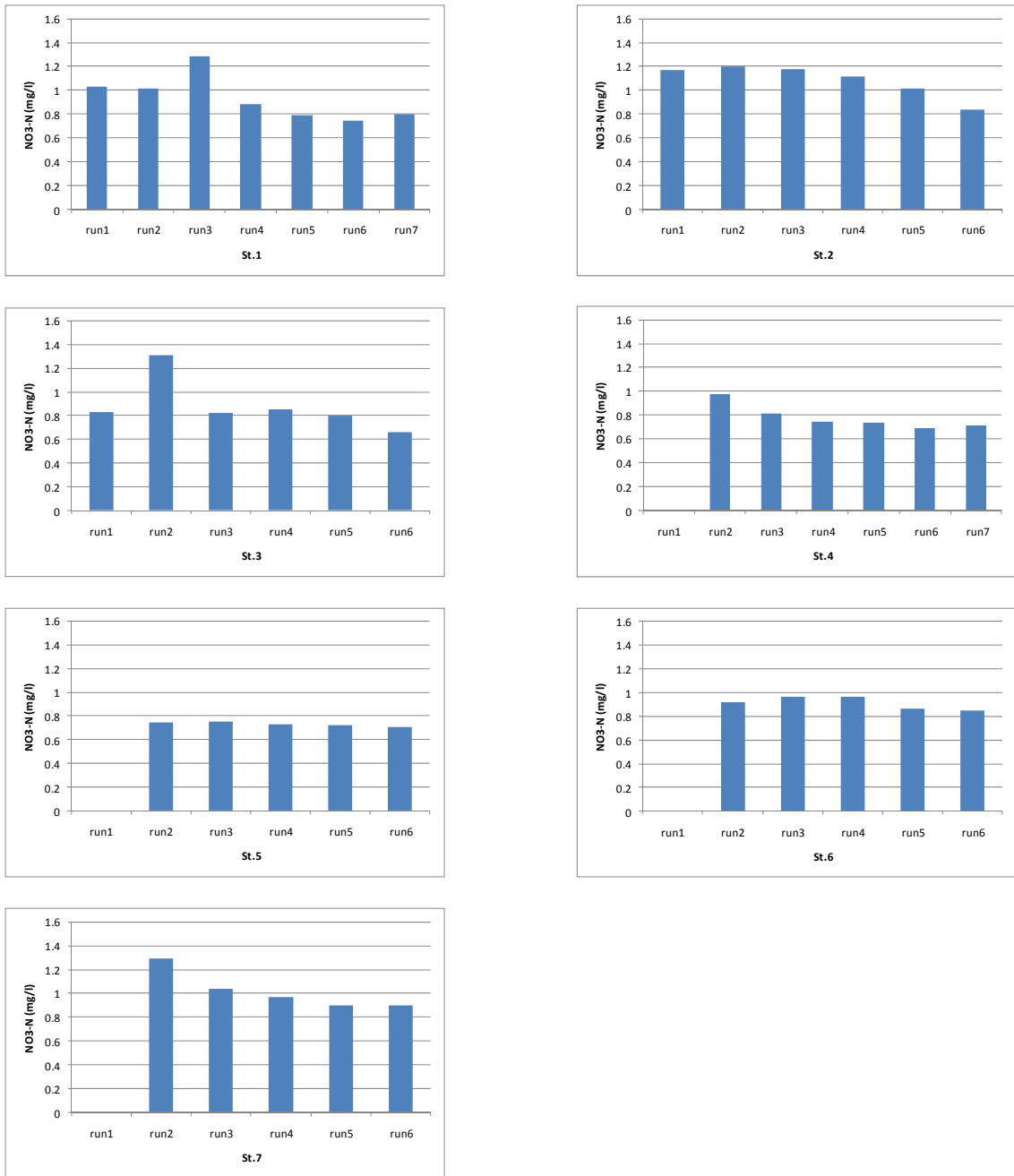


図 4-17 NO₃-N の各 St ごとの濃度変化

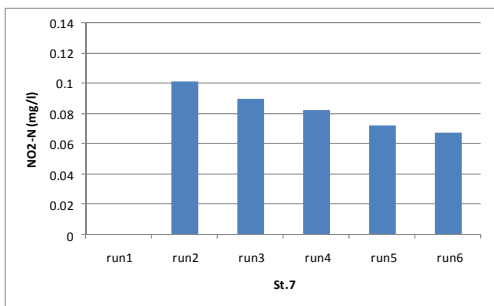
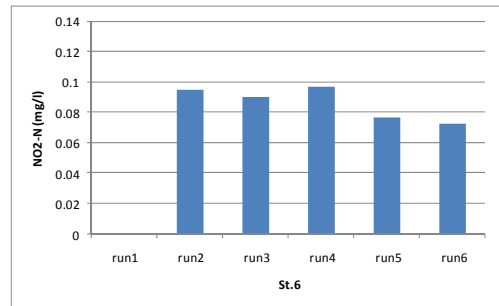
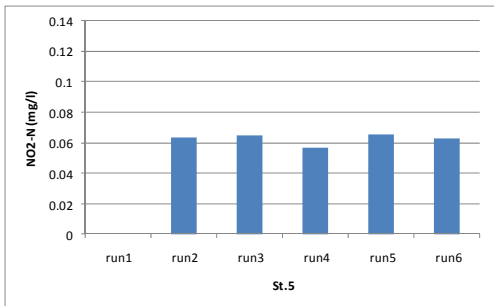
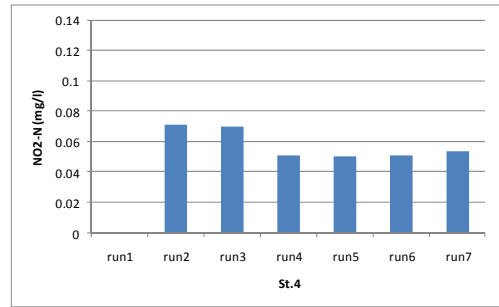
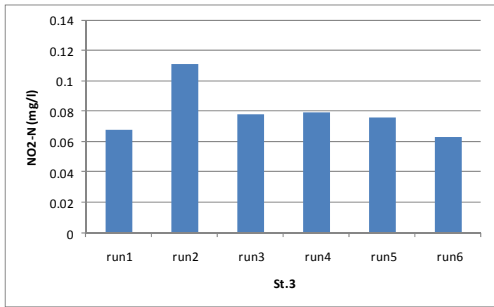
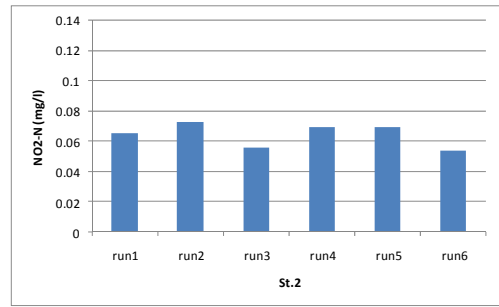
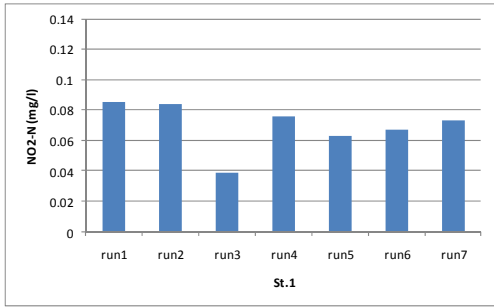


図 4-18 NO₂-N の各 St ごとの濃度変化

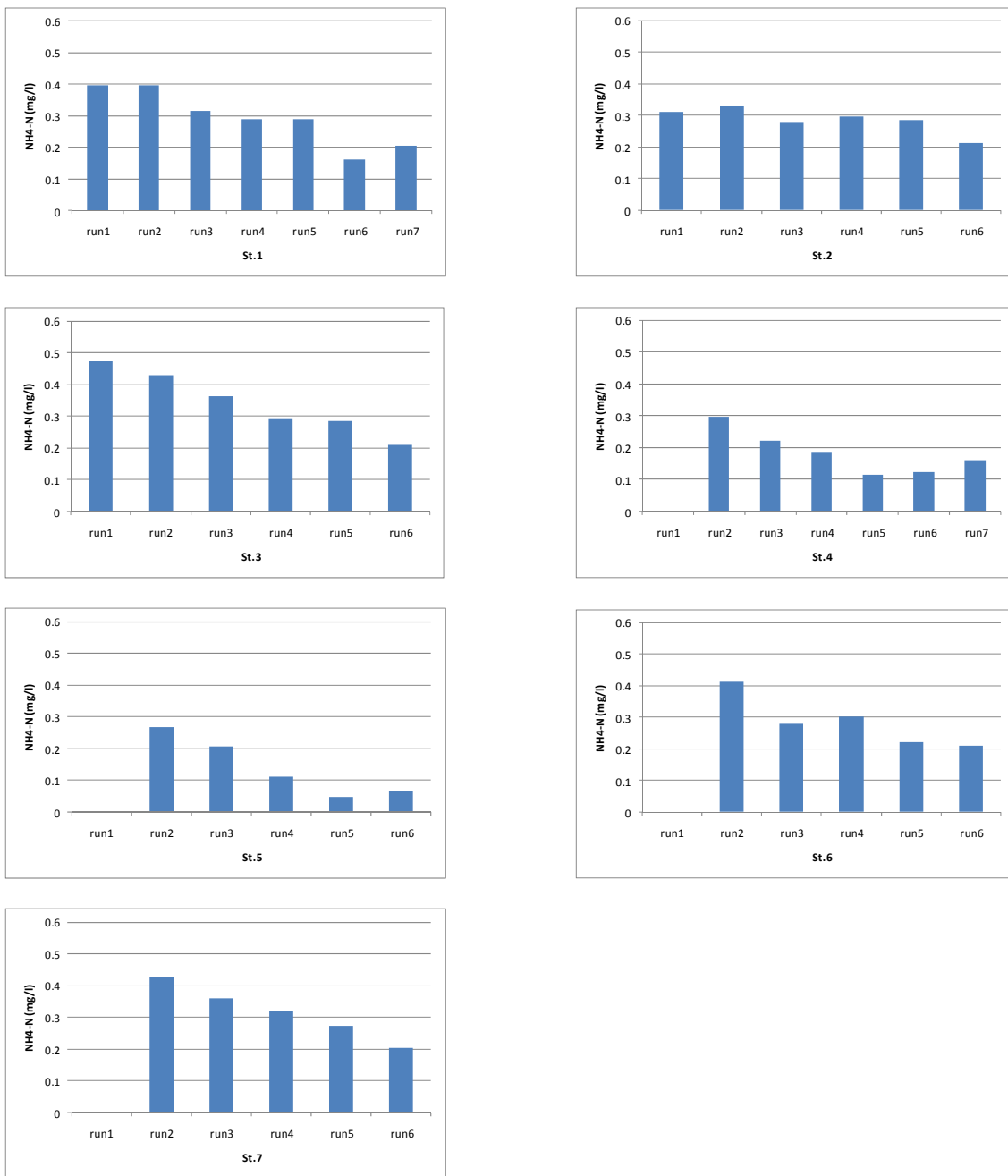


図 4-19 $\text{NH}_4\text{-N}$ の各 St ごとの濃度変化

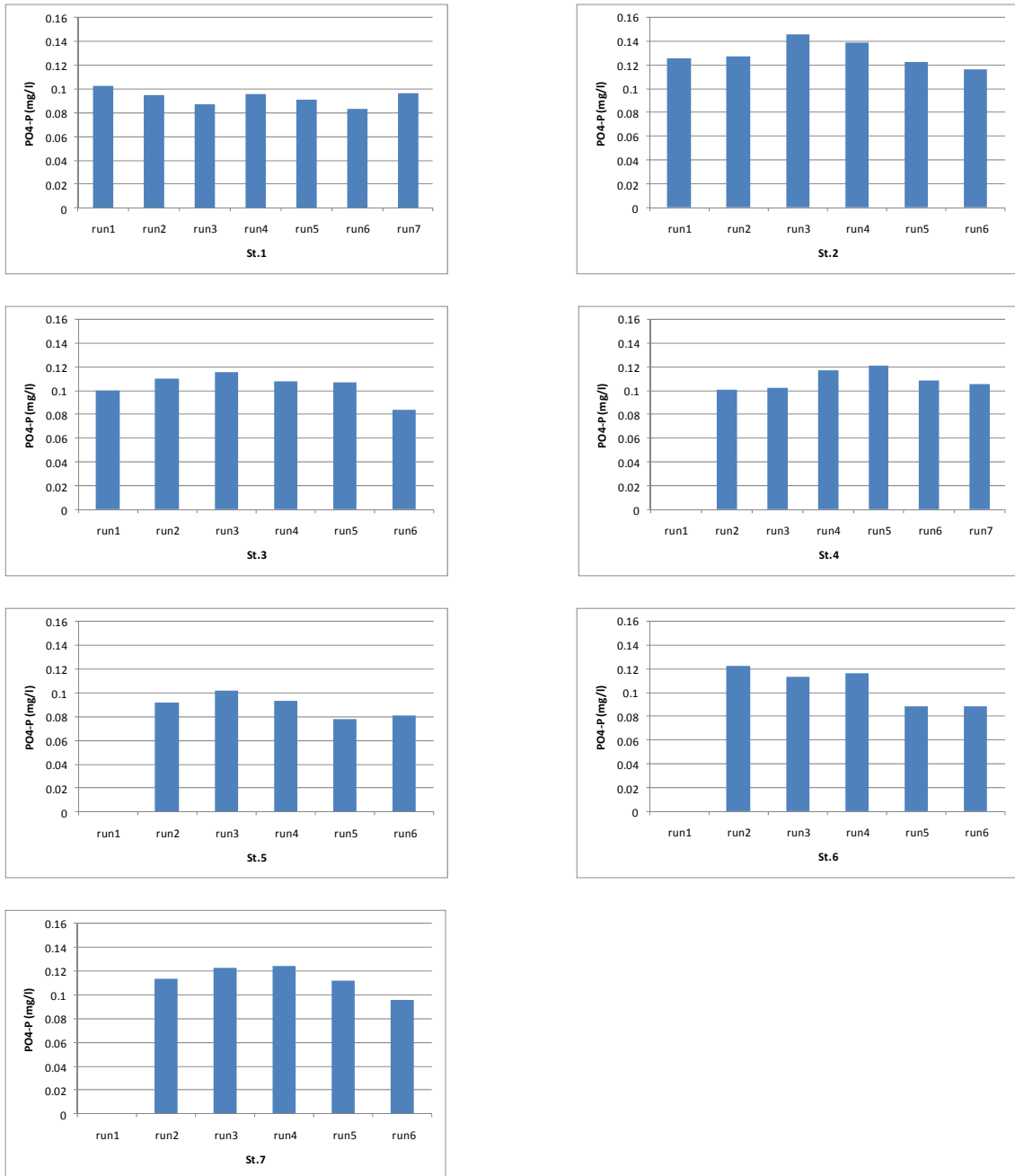


図 4-20 PO₄-P の各 St ごとの濃度変化

NH₄-N に関しては時間経過と共に濃度が減少していく St が多かった。しかし、他の栄養塩は濃度変動に明確な規則性を見いだせなかった。潮位グラフより 9/23 に比べて 9/24 の方が潮汐差が小さく、観測当日に潮汐の影響があまり見られなかった可能性や、晴天時には当海域の栄養塩変動に明確な規則性がない可能性が示唆される。

4.3.3 2009年9月29日の観測

この日の東京における潮位曲線は図 4-21 のようになっており、満潮時の run1 と干潮時の run2 で採水を行った。

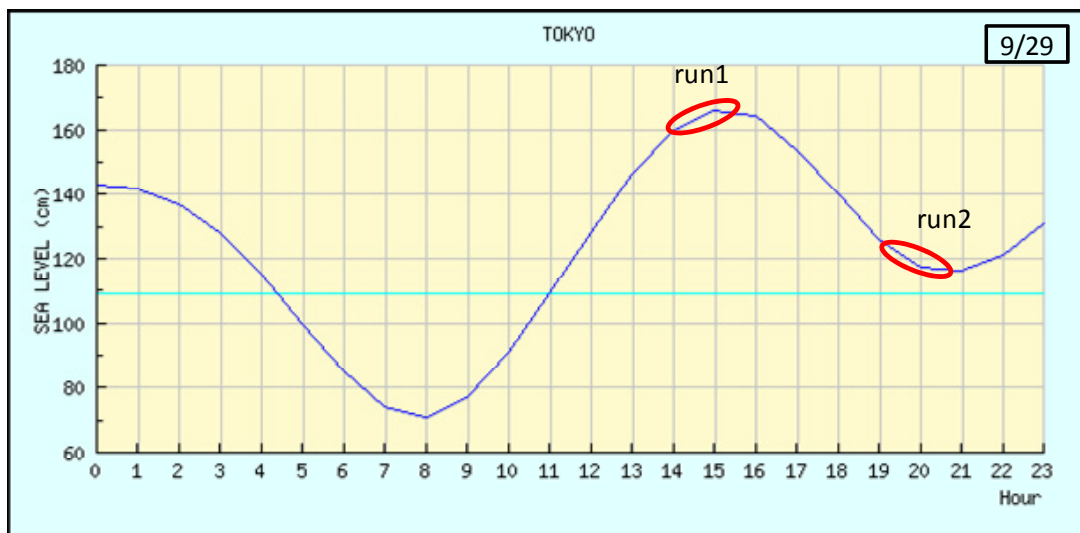


図 4-21 2009年9月29日 潮位グラフ(東京)

図 4-22 に run1 の各 St ごとの Urea の濃度、図 4-23 に run2 の各 St ごとの Urea の濃度を示す。

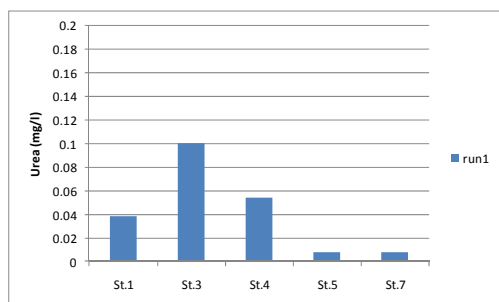


図 4-22 run1 の各 St ごとの Urea 濃度

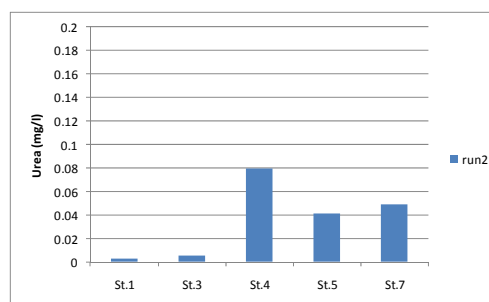


図 4-23 run2 の各 St ごとの Urea 濃度

満潮時には Urea の濃度が高い水塊が St.1~St.4 にかけて存在し、干潮時には St.4~St.7 に Urea の濃度が高い水塊が存在していたことが分かる。

次に Urea の濃度と各栄養塩(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N,PO₄-P)との相関関係を図 4-24 に示す。

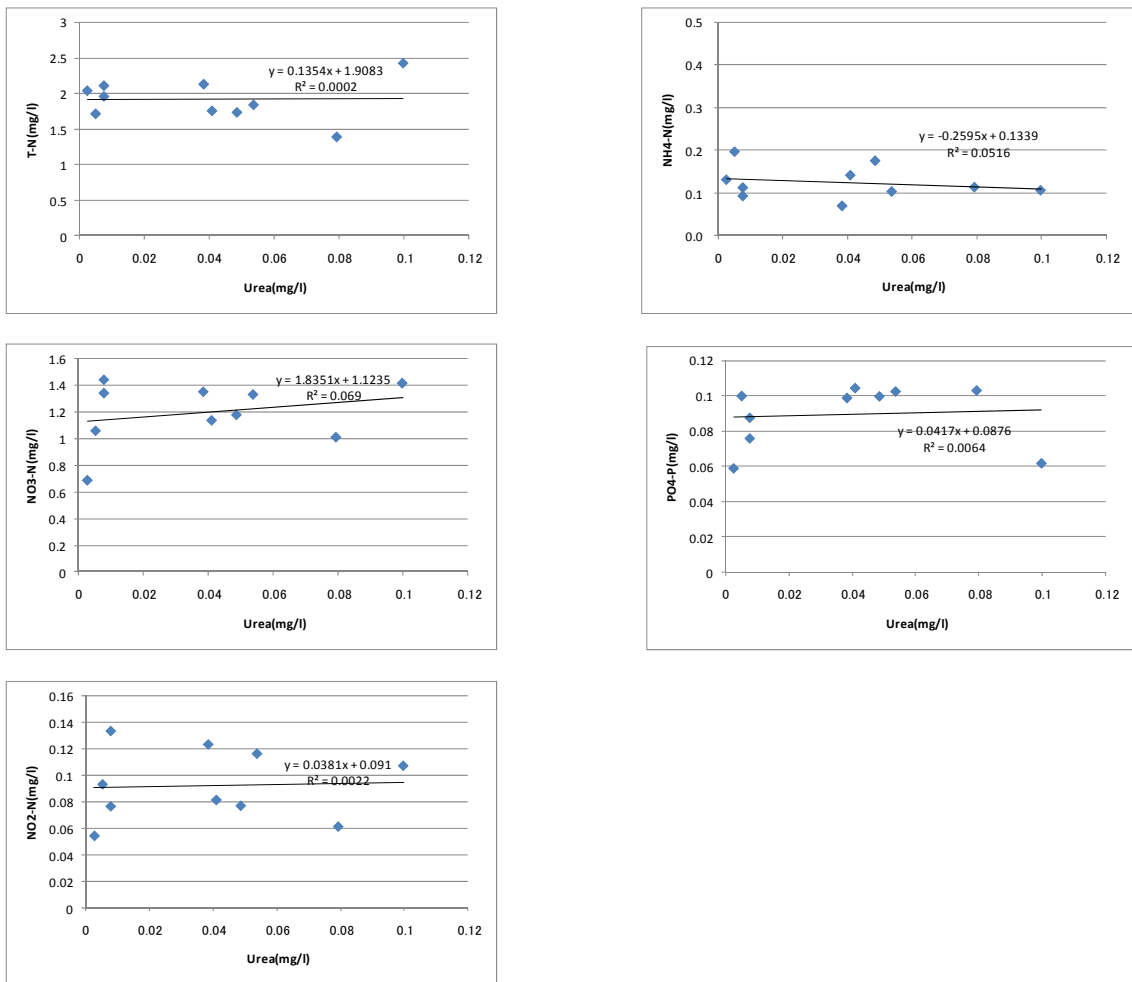


図 4-24 Urea と栄養塩の相関

9月29日の観測の観測においてはUreaと各栄養塩との間には明確な相関は見られなかった。

4.3.4 2009年10月27日の観測

この日の東京における潮位曲線は図 4-25 のようになっており、満潮時に一度、各 St にて採水を行った。

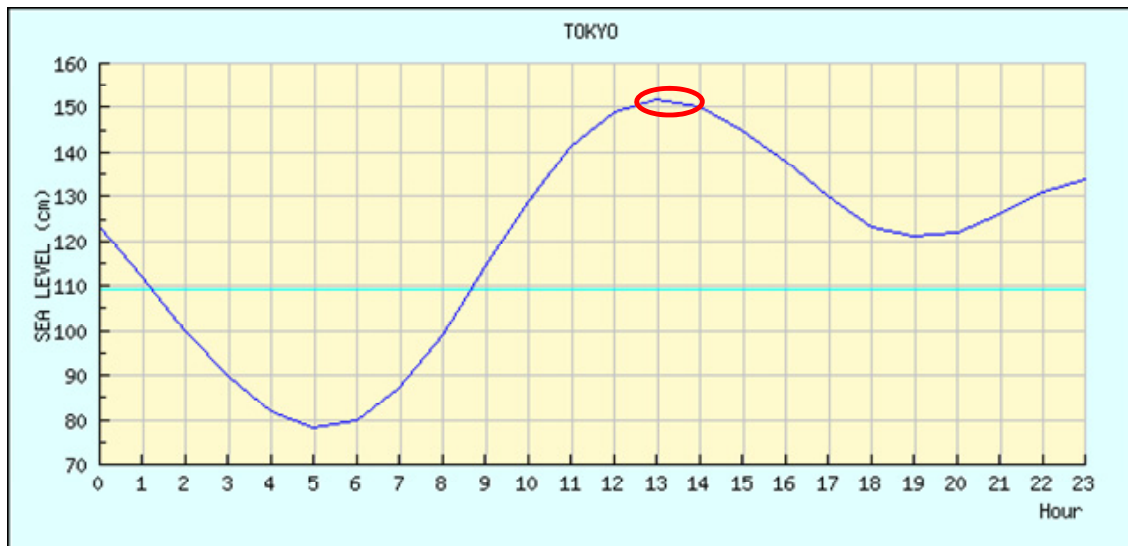


図 4-25 2009年10月27日 潮位グラフ(東京)

図 4-26 にこれまでに示した 9/23,24,29,10/27 の Urea の濃度を示す。(赤枠内で左から 10/27 の St.1,3,4,5,7 の Urea 濃度) 図から 10月27日は他のサンプルと比較して Urea の濃度が高かったことが分かる。これは、前日に台風 20 号の影響で 59(mm/day)の雨量が観測された。降雨による CSO の影響で Urea の濃度が増加したと推察される。

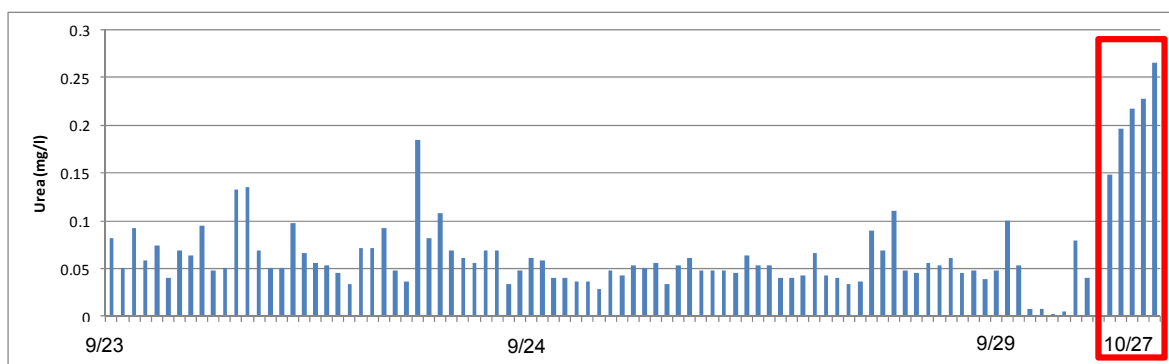


図 4-26 9/23,24,29,10/27 の Urea の濃度

次に Urea の濃度と $\text{NH}_4\text{-N}$ との相関関係を図 4-27 に示す。他の栄養塩は人為的ミスのため実験、計測できなかった。

Urea の濃度とアンモニア態窒素との相関が非常に高い。

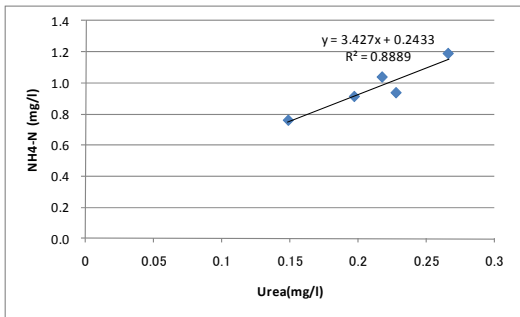


図 4-27 Urea の濃度と NH₄-N の相関

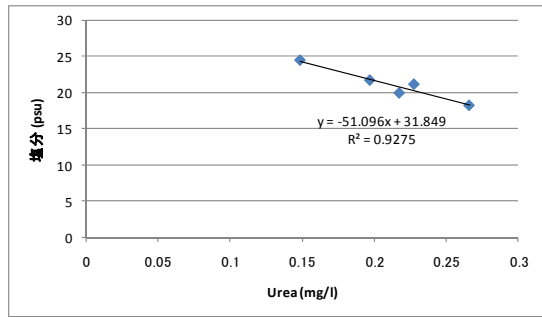


図 4-28 Urea と塩分の相関

図 4-28 に Urea と塩分の相関を示す。河川水の塩分は 0(psu)で海水の塩分は約 30(psu)である。Urea と塩分には負の相関が見られることから、河川水由来で Urea が供給されていると考察できる。

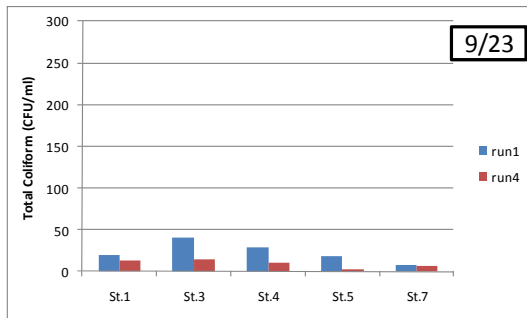


図 4-29 晴天時の Total Coliform の濃度

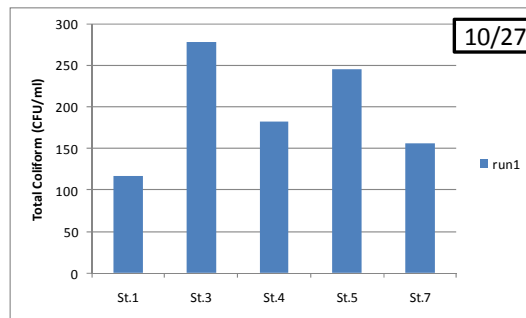


図 4-30 降雨後の Total Coliform の濃度

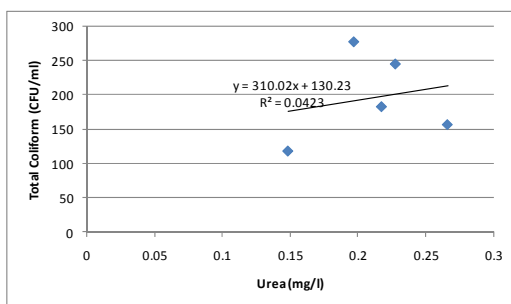


図 4-31 Urea の濃度と Total Coliform の相関

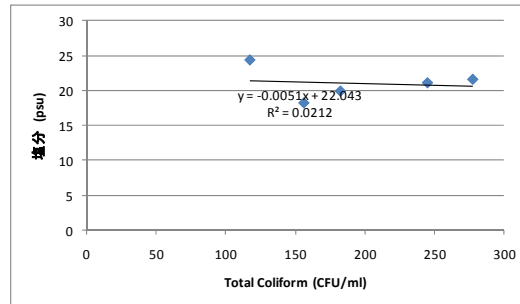


図 4-32 Total Coliform と塩分の相関

図 4-29 に晴天時の Total Coliform の濃度、図 4-30 に降雨後の Total Coliform の濃度について示す。降雨の影響がなかった 9/23 より 10/27 の観測では全 St において、Total Coliform の濃度に急激な増加が見られた。CSO の影響を受けて濃度が増加したと考えられる。図の 4-31 に Urea の濃度と Total Coliform の相関、図 4-32 に Total Coliform と塩分の相関を示す。既往の研究では CSO の影響で Total Coliform が河川より供給されると報告されているが、塩分との相関は低かった。

4.3.5 晴天時の観測のまとめ

- ・ Urea の明確な時間変動はない
 - ・ 各栄養塩の明確な時間変動はない
 - ・ アンモニア態窒素との相関が比較的高い
 - ・ 河口に近い St.6 の Urea の濃度が高い時があったことから、晴天時においても河川から Urea の供給がある可能性が示唆される
 - ・ 近い St 間でも Urea の濃度には差異が見られ、海水中の Urea の分布が不均一である
 - ・ 二時間の間、または半日の間で濃度変化が見られ、海水中の Urea の不均一さや河川水の流入割合の違いによる変化が考えられる
 - ・ 前日に降雨があった観測日は、CSO の影響でお台場海浜公園の Urea の濃度が高くなる
 - ・ Urea と塩分には高い相関があり、降雨後は河川水由来で Urea の濃度が高くなる
 - ・ 降雨後の観測では Total Coliform の濃度に急激な増加が見られた
- といったことが把握された。

4.4 雨天時の観測

4.4.1 2009年11月11日-14日の観測

以下に、11月11日から14日の連続観測について示す。四日間とも満潮時付近で St.1,3,4,5,7 において採水を行い、サンプルを保冷し実験室において分析を行った。

図4-33に観測地点と図4-34に11月10日から14日にかけての降水量(mm/h)と観測時間(赤矢印)、図4-35にこの期間の潮位曲線を示す。

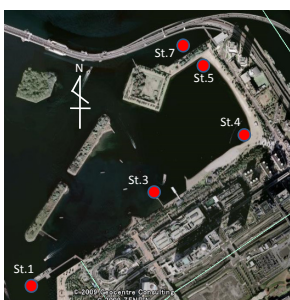


図 4-33 観測地点

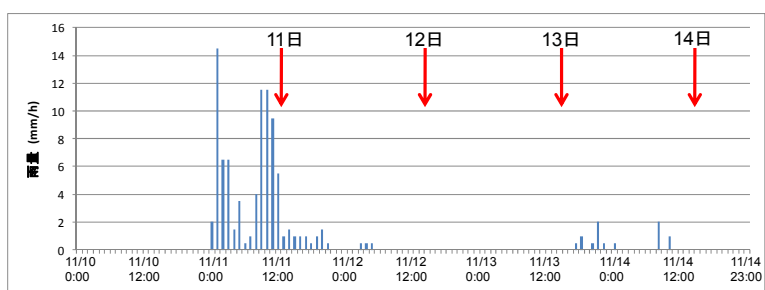


図 4-34 降水量と観測時間

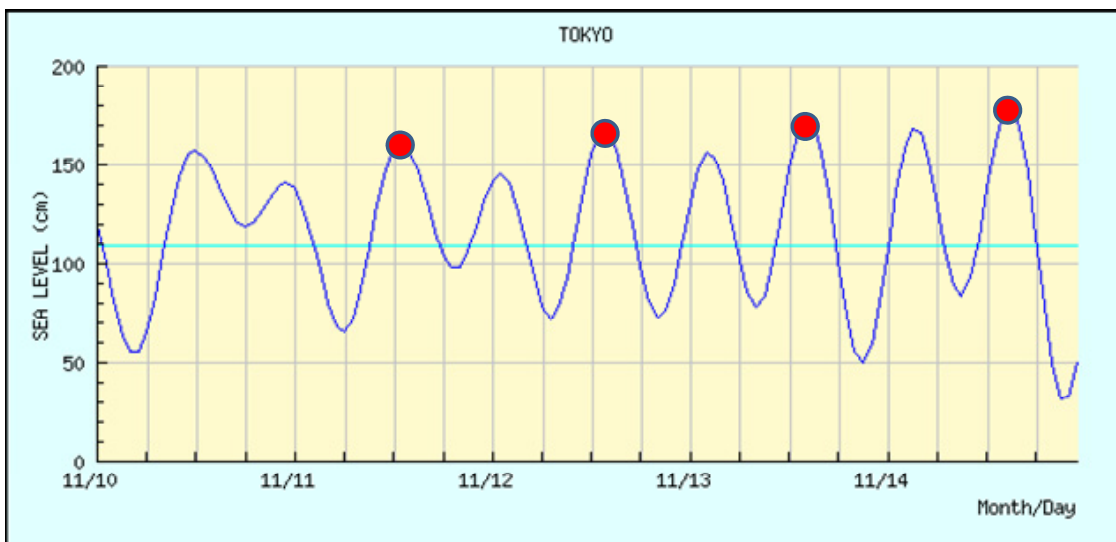


図 4-35 11月11日-14日の潮位グラフ

図 4-36 に各 St ごとの Urea 濃度の変動、図 4-37 に Total Coliform の変動を示す。

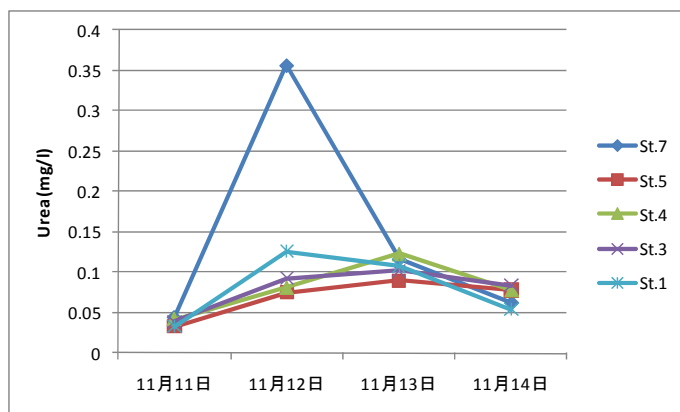


図 4-36 Urea の濃度変化

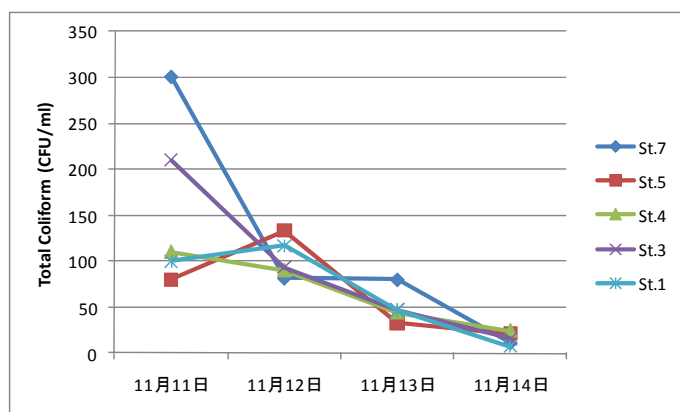


図 4-37 Total Coliform の変化

Urea の濃度については、降雨のあった 11 日では空間分布が小さく、翌日の 12 日の St.7 で急激な増加が見られた。St.7 は隅田川河口域に最も近い位置にあり、河川からの CSO 由来の Urea による可能性と異常値である(後述)可能性が示唆される。その後の 13 日にはまた濃度の空間分布が小さくなり、また 14 日にかけて濃度の減衰が見られた。

Total Coliform については降雨のあった 11 日に St.7 と St.3 で高い値を取り、日を追うごとに減衰していることが分かる。

また、Total Coliform と Urea の増加にはタイムラグが見られた。このことから、11 日の Total Coliform の増加は排水管の管内に溜まっていたモノがファーストフラッシュのような現象で観測された可能性がある。

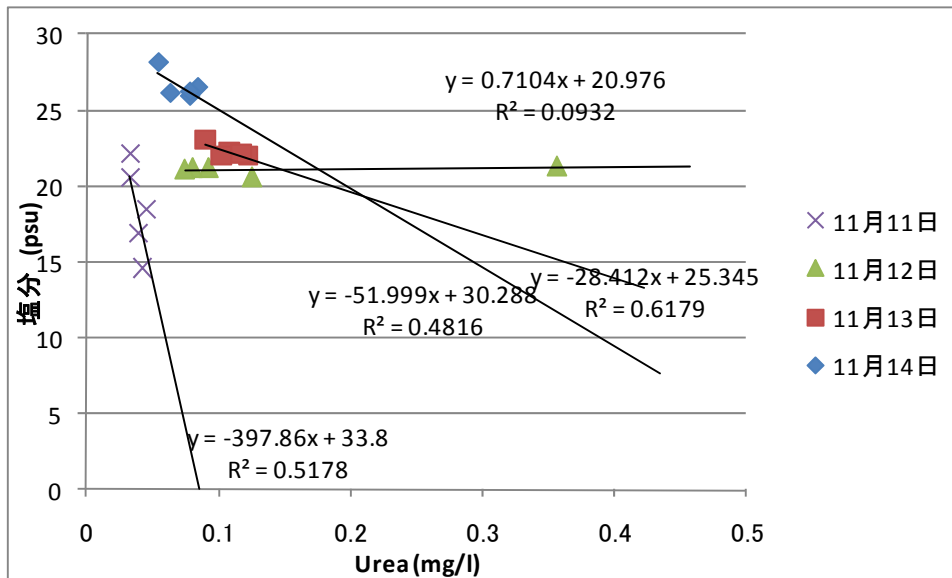
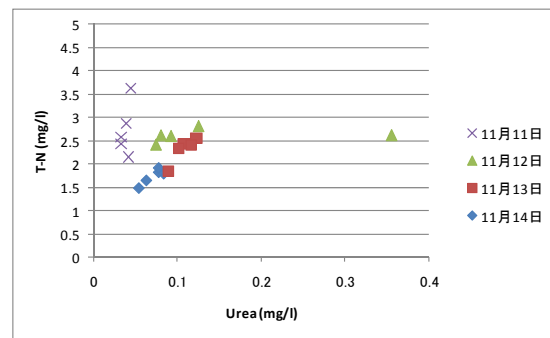
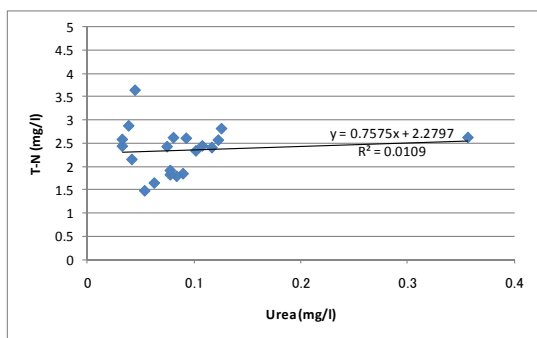


図 4-38 Urea と塩分の相関

次に図 4-38 に Urea と塩分の相関を示す。近似曲線の傾きの大きさが、12 日 > 13 日 > 14 日 > 11 日となっている。河川水の塩分濃度は 0(psu)なので、河川水に含まれる Urea の濃度が 12 日 > 13 日 > 14 日 > 11 日であったことが推察され、降雨による Urea の増加は 12 日の観測で見られたと考えられる。

しかし、同日の他の地点の塩分濃度と同程度の値を取っているにも関わらず、12 日の Urea の濃度が(0.36mg/l)と一地点だけ高くなったサンプルがあった。その地点に CSO 由来による Urea が高濃度海水の塊が存在していた可能性と、コンタミして濃度が異常値を取ってしまった可能性がある。既往の研究において、広島湾の Urea を見ると(0.3566mg/l)の観測値が報告されている(山本ら(1994))ので、今回計測された 0.36(mg/l)がお台場海浜公園において取りえない Urea の濃度ではないと言える。

図 4-39 の左列に Urea と各栄養塩の相関、右列に Urea と各栄養塩の相関を日にち別に示す。



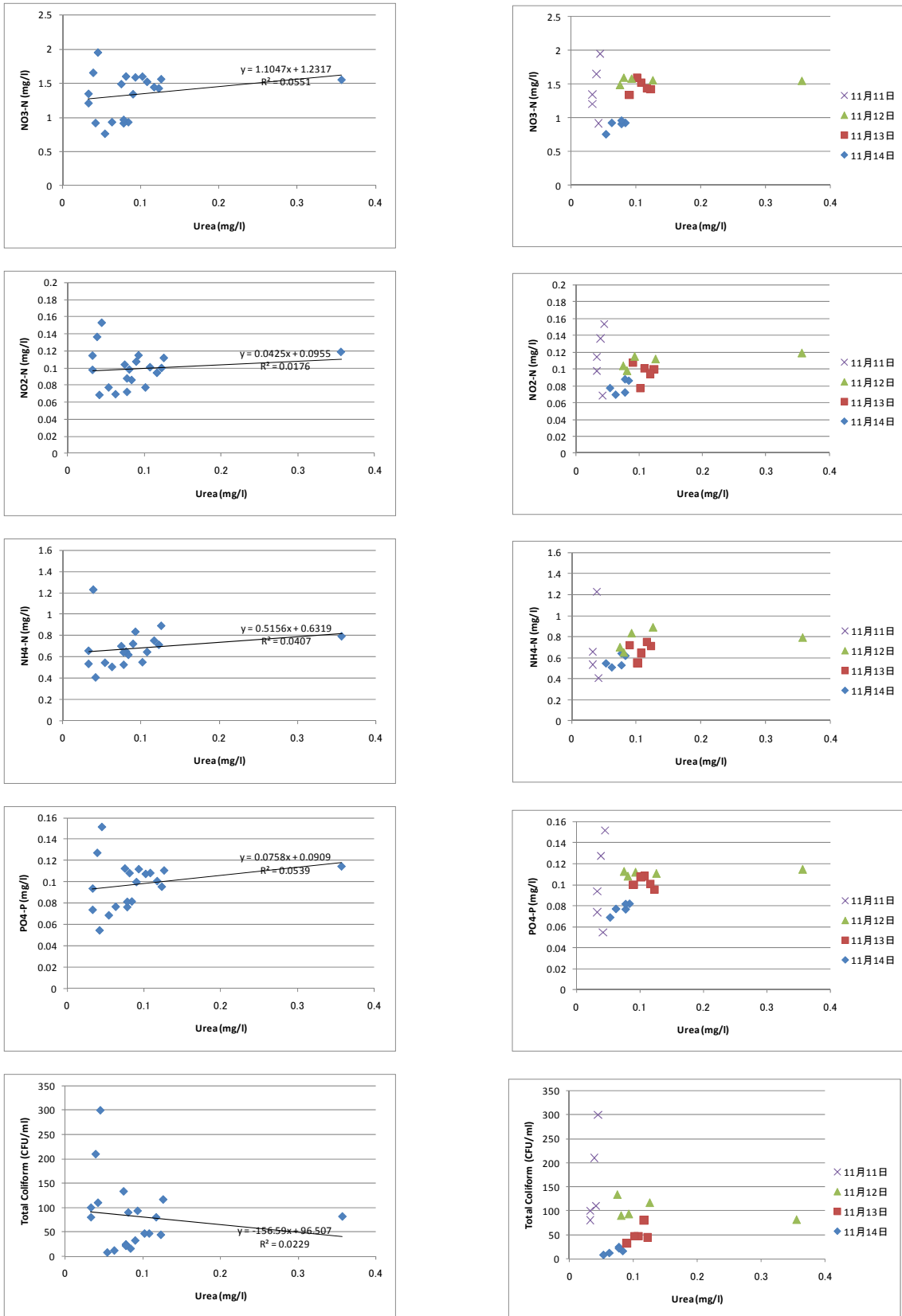


図 4-39 Urea と各栄養塩、Total Coliform との相関

四日間を通じた Urea と各栄養塩、Total Coliform の相関は見られなかった。しかし、日にち別に見てみると 11 月 11 日の相関と 12~14 日の相関には差が見られ、異なった近似曲線がフィットしている。このことから 11 日は他の三日と比べて海水における Urea が異なっていたこと、また 12 日の St.7 の水質(サンプル)は他のサンプルとことな水質であったと言える。

図 4-40 に Total Coliform と各栄養塩、塩分の相関を示す。

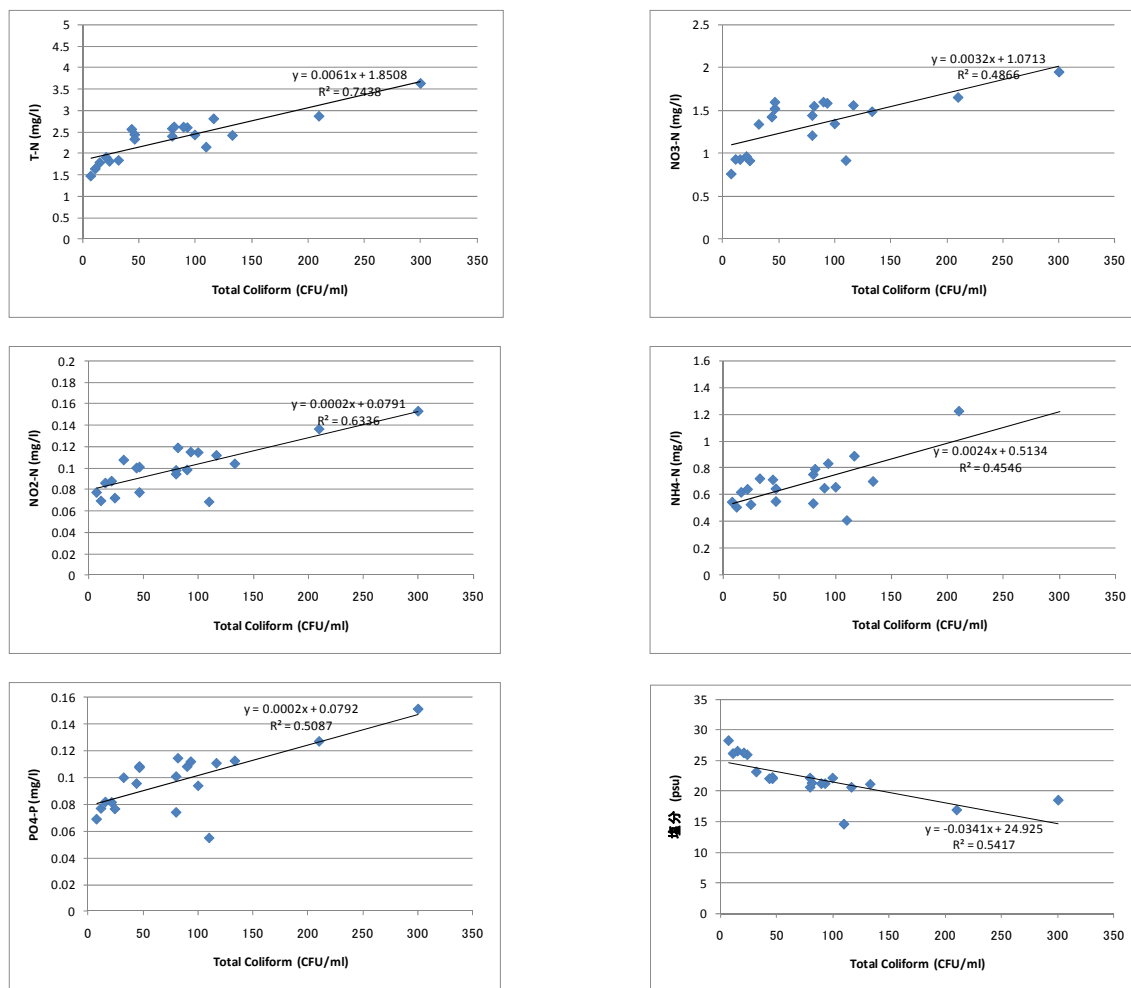


図 4-40 Total Coliform と各栄養塩、塩分との相関

Total Coliform と各栄養塩の相関は高くなっている。

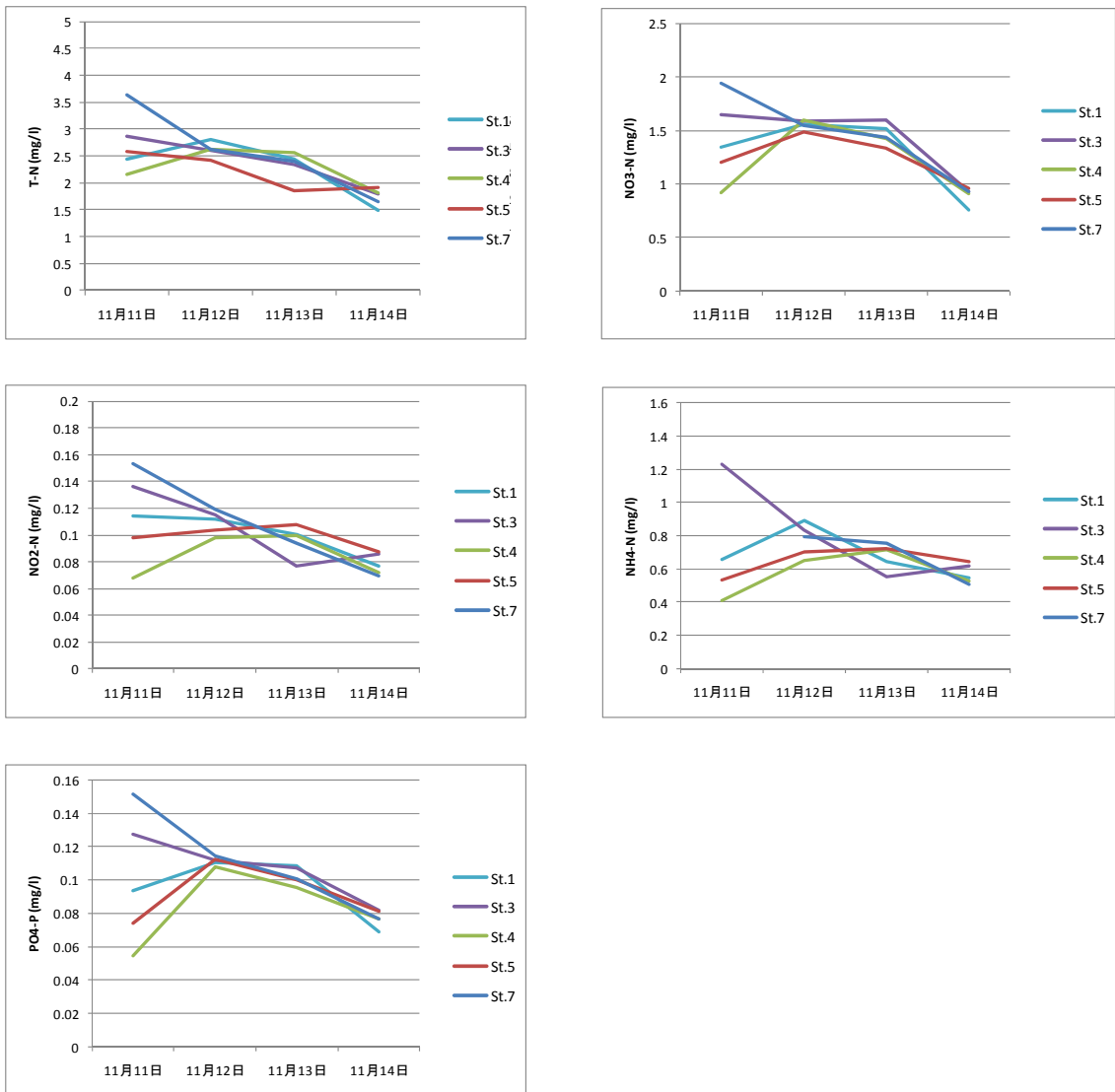


図 4-41 各栄養塩濃度の日変動

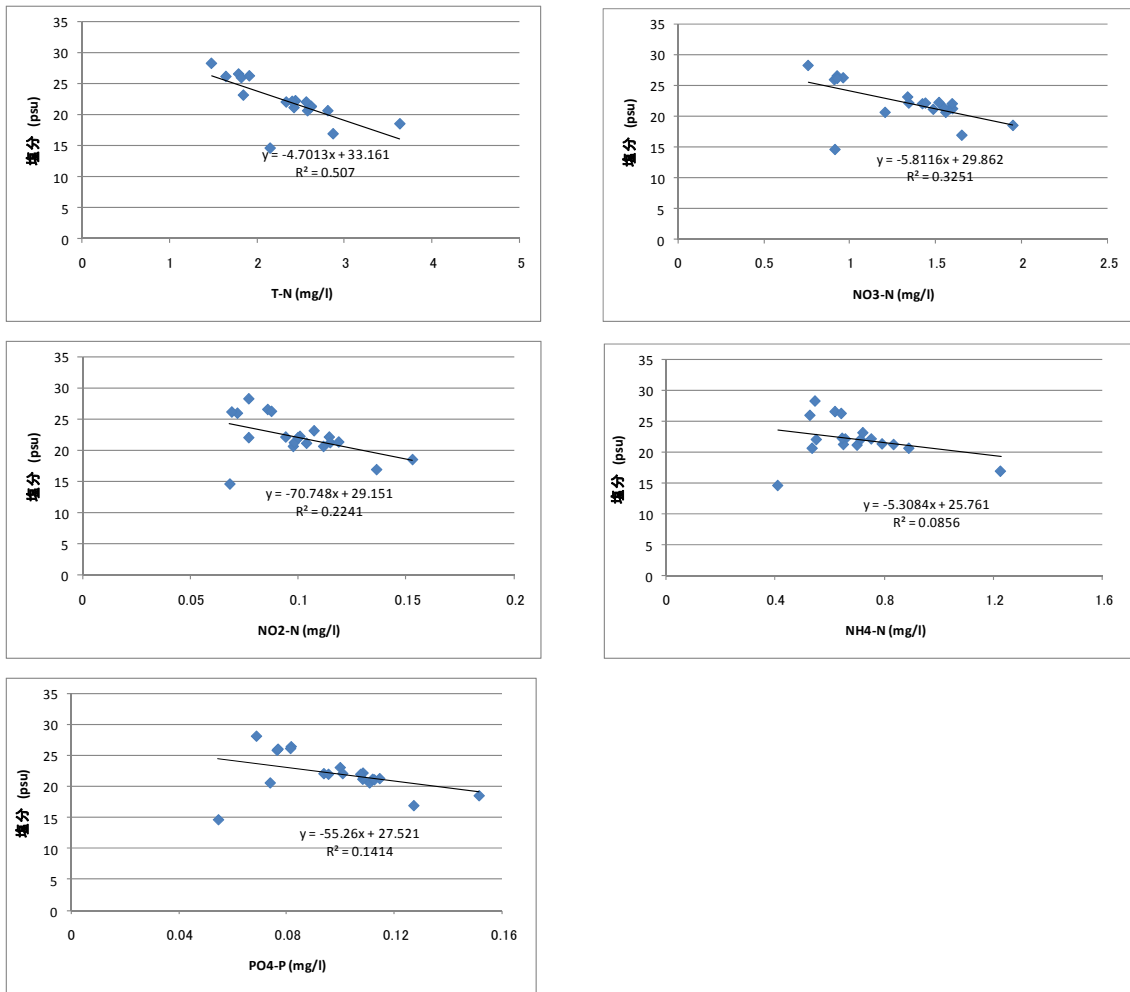


図 4-42 各栄養塩と塩分の相関

図 4-41 に各栄養塩濃度の日変動、図 4-42 に各栄養塩と塩分の相関を示す。各栄養塩と塩分値には高い相関があり、河川由来で栄養塩が供給されていると言える。また、海水の方が河水に比べて、栄養塩濃度が低いと言える。図 4-41 で見られた St 間の濃度の差違や日変動は、海域における海水と河水の割合の差による影響が大きいと考えられる。つまり、11月11日の St 間の栄養塩濃度のばらつきは、当日のお台場海域の水質が、海水と河水の割合が不均一な海水が広がっていたことが推察される。また四日間のデータであるので、河川よりコンスタントに栄養塩が供給されていることが示唆される。

4.4.2 2009年12月4日-7日の観測

以下に、12月4日から7日の連続観測について示す。四日間とも St.1,3,4,5,7 において採水を行い、サンプルを保冷し実験室において分析を行った。

図4-43に観測地点と図4-44に12月4日から7日にかけての降水量(mm/h)と観測時間(赤矢印)、図4-45にこの期間の潮位曲線を示す。



図 4-43 観測地点

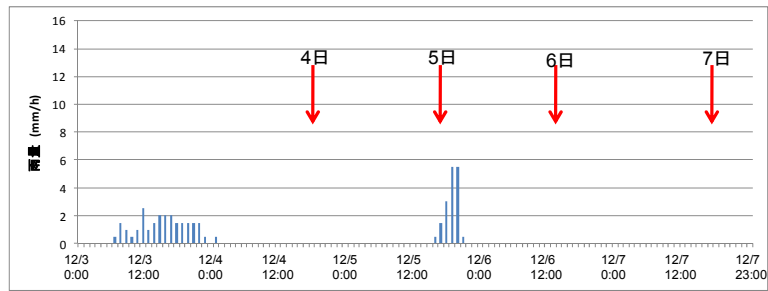


図 4-44 降水量と観測期間

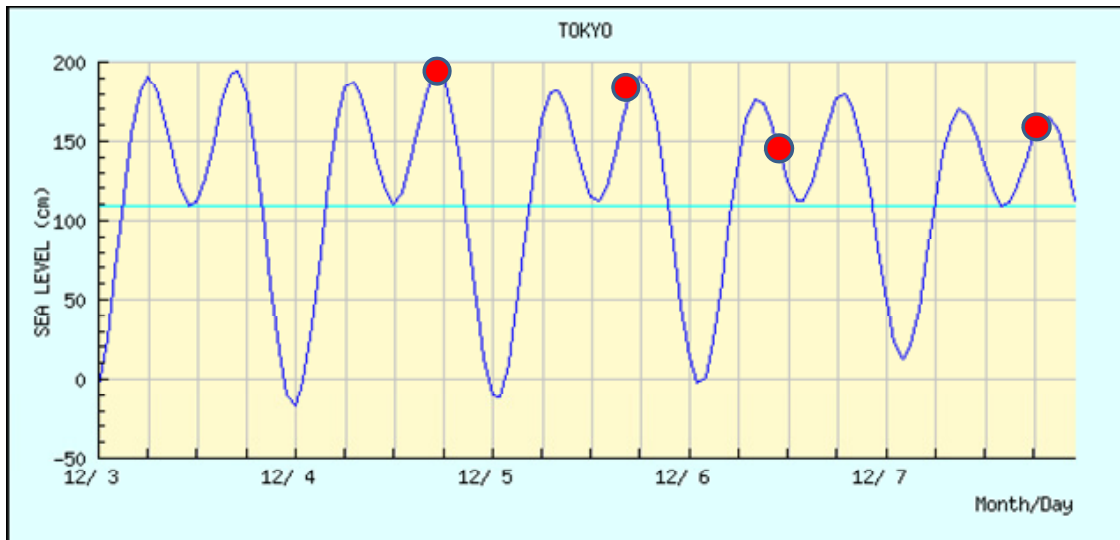


図 4-45 12月4日-7日の潮位グラフ

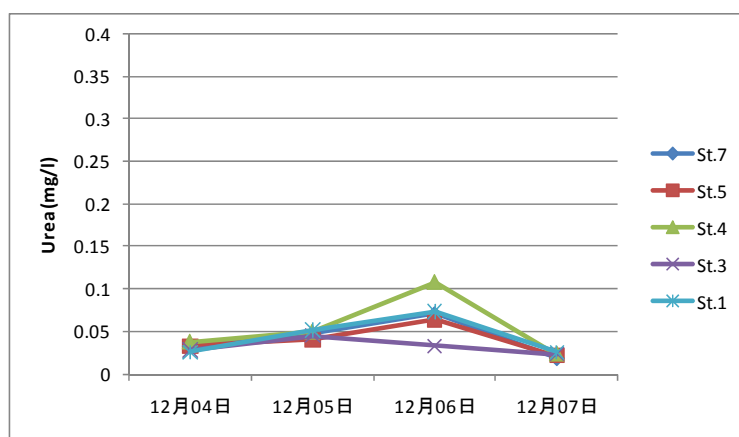


図 4-46 Urea の濃度変化

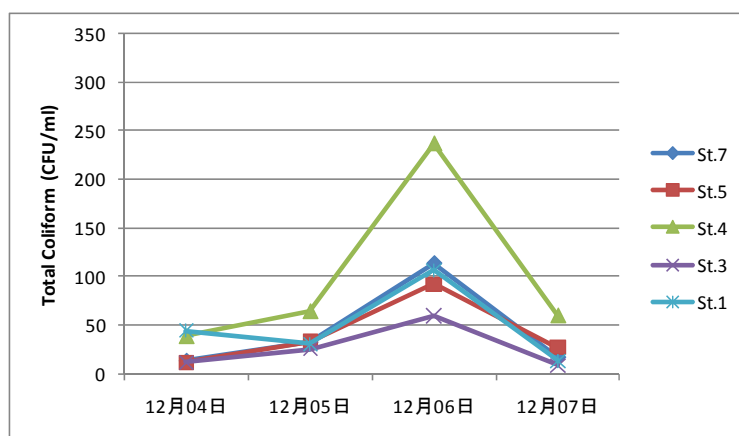
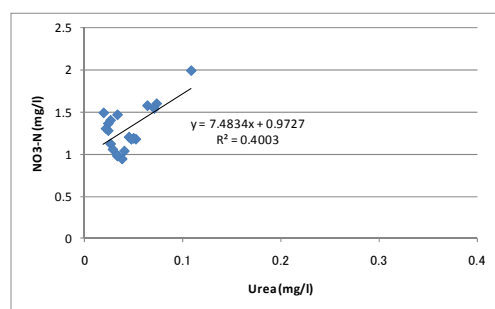
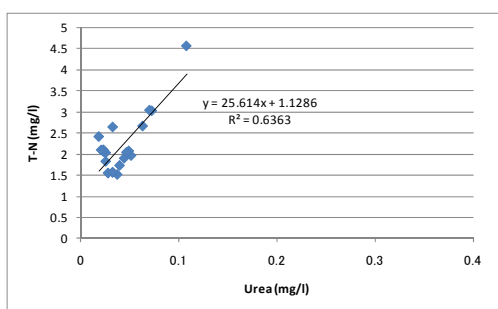


図 4-47 Total Coliform の変化

図 4-46 に各 St ごとの Urea 濃度の変動と図 4-47 に Total Coliform の変動を示す。12月5日の雨による影響で、12月6日に Urea と Total Coliform が増加したと考えられる。12月3日の雨の影響で Urea の濃度が上昇した可能性があるが、翌日の4日の観測ではその上昇を捉えることができなかった。

図 4-48 に Urea の濃度と各栄養塩、Total Coliform、塩分との相関、図 4-49 に Total Coliform と各栄養塩、塩分の相関を示す。



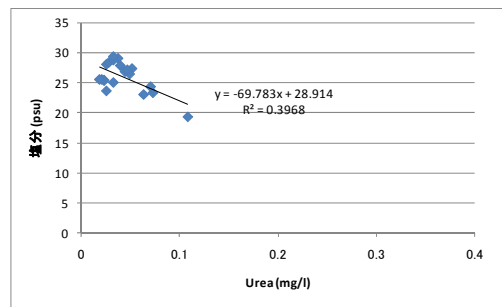
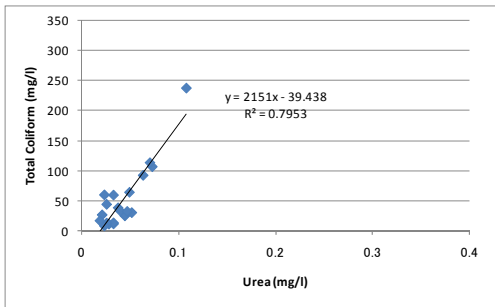
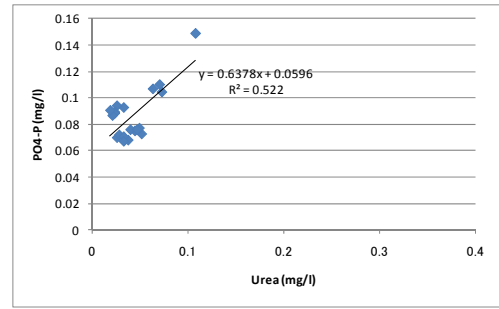
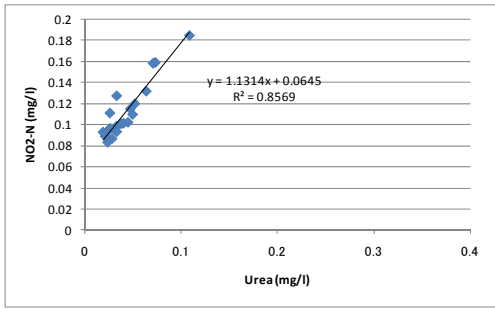


図 4-48 Urea の濃度と各栄養塩、Total Coliform、塩分との相関

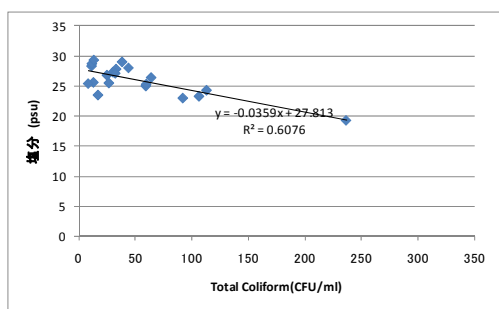
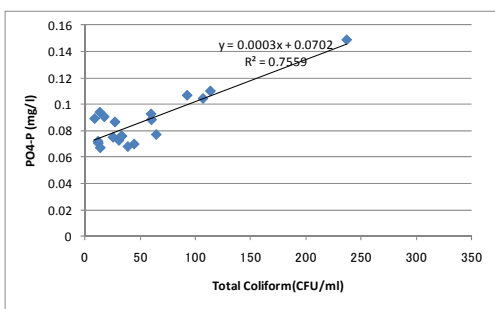
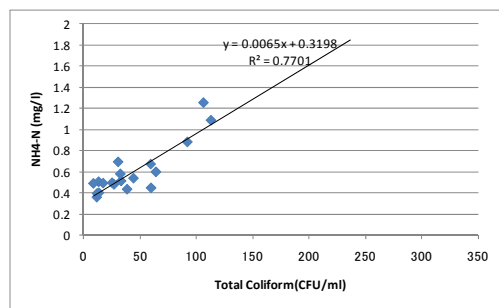
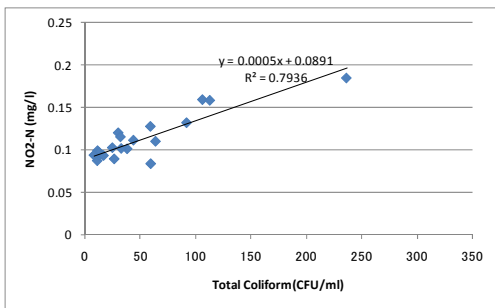
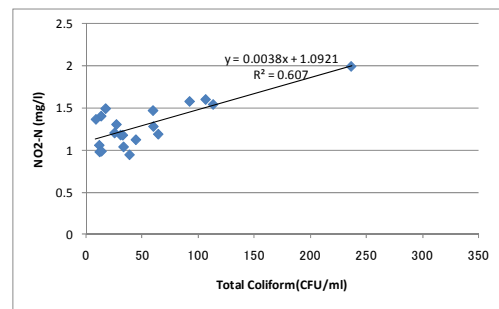
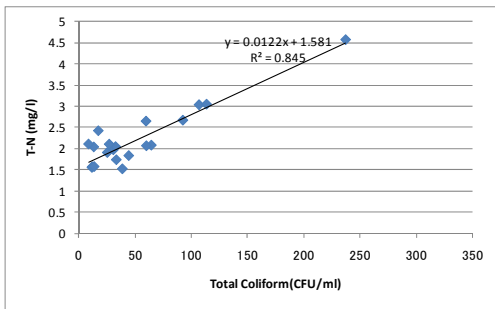


図 4-49 Total Coliform と各栄養塩、塩分の相関

Urea と各栄養塩には非常に高い相関があり、Total Coliform とも高い相関があった。また Total Coliform と各栄養塩の相関も高くなっている。そのため、雨天時には河川より CSO と同時に他の栄養塩類も供給されている可能性が示唆される。

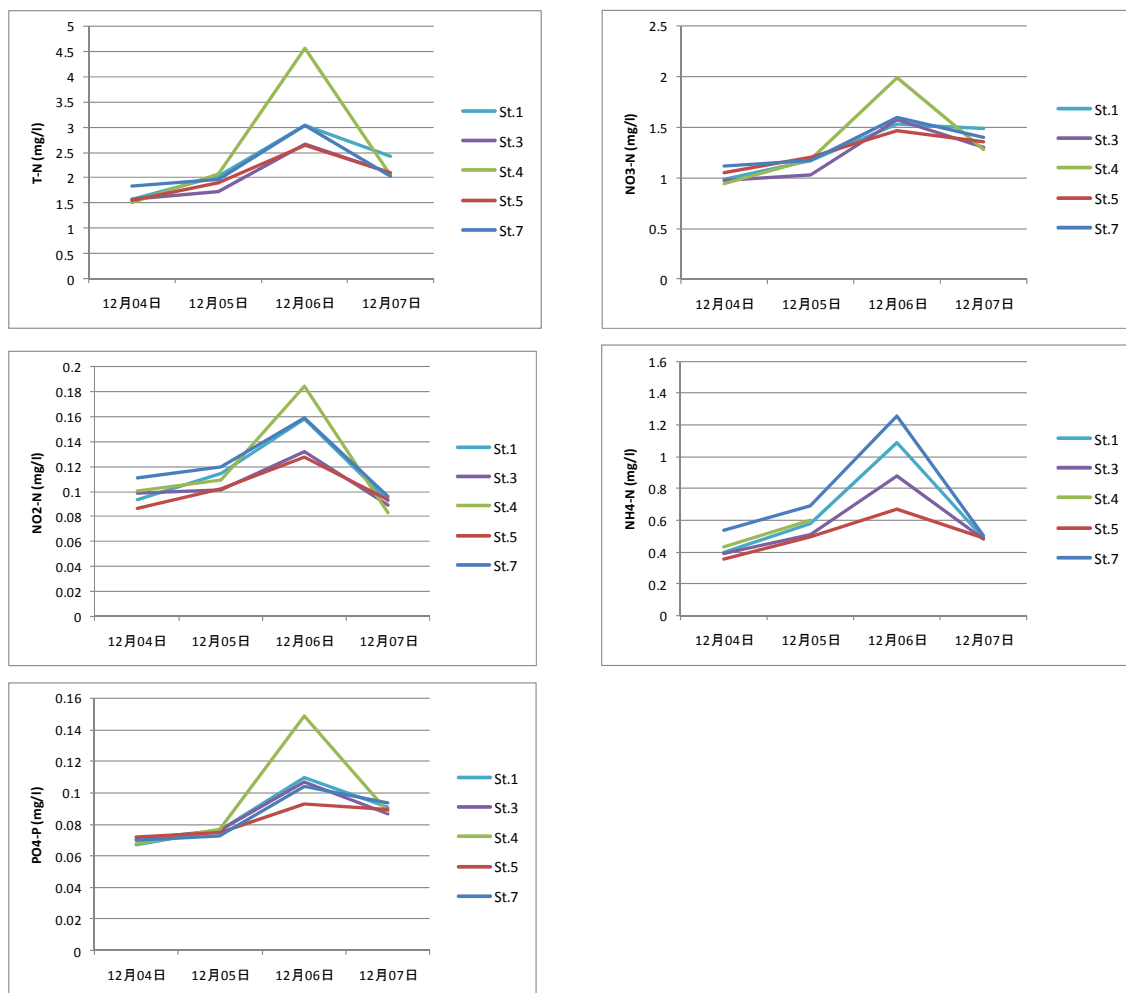


図 4-50 各栄養塩濃度の日変動

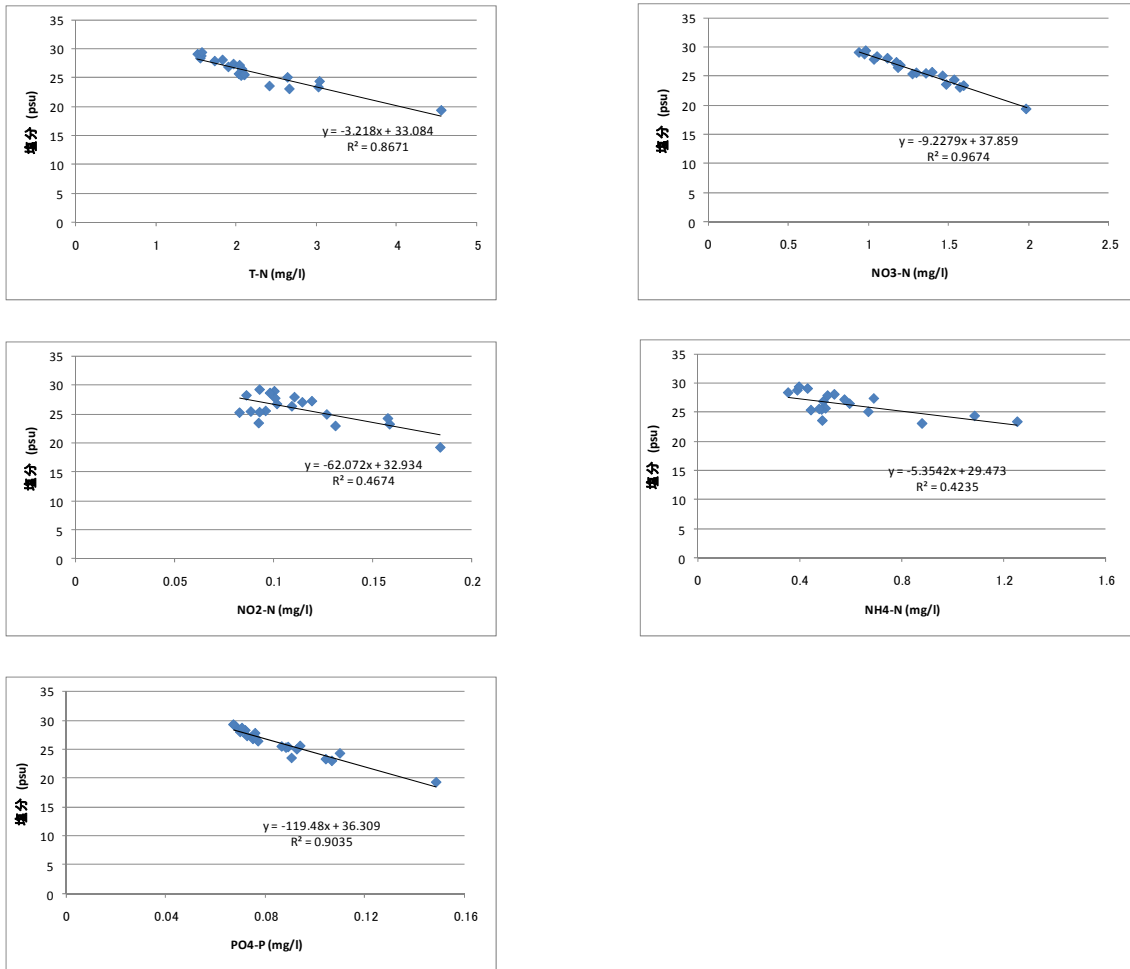


図 4-51 各栄養塩と塩分の相関

図 4-50 に各栄養塩濃度の日変動、図 4-51 に各栄養塩と塩分の相関を示す。11 月 11 日～14 日の観測と同様に、各栄養塩と塩分値には高い相関があり、河川由来で栄養塩が供給されていると言える。また、海水の方が河川水に比べて、栄養塩濃度が低いと言える。また四日間のデータであるので、河川よりコンスタントに栄養塩が供給されていることが示唆される。

4.4.3 2009年12月11日-13日の観測

以下に、12月11日から13日の連続観測について示す。四日間とも満潮時付近で St.1,3,4,5,7 において採水を行い、サンプルを保冷し実験室において分析を行った。

図4-52に観測地点と図4-53に12月11日から13日にかけての降水量(mm/h)と観測時間(赤矢印)、図4-54にこの期間の潮位曲線を示す。

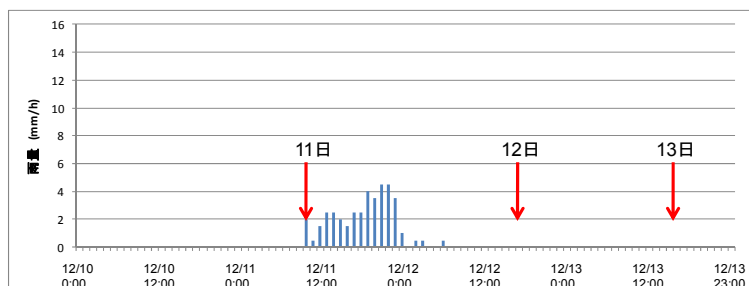
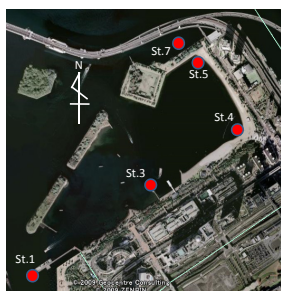


図 4-52 観測地点

図 4-53 降水量と観測期間

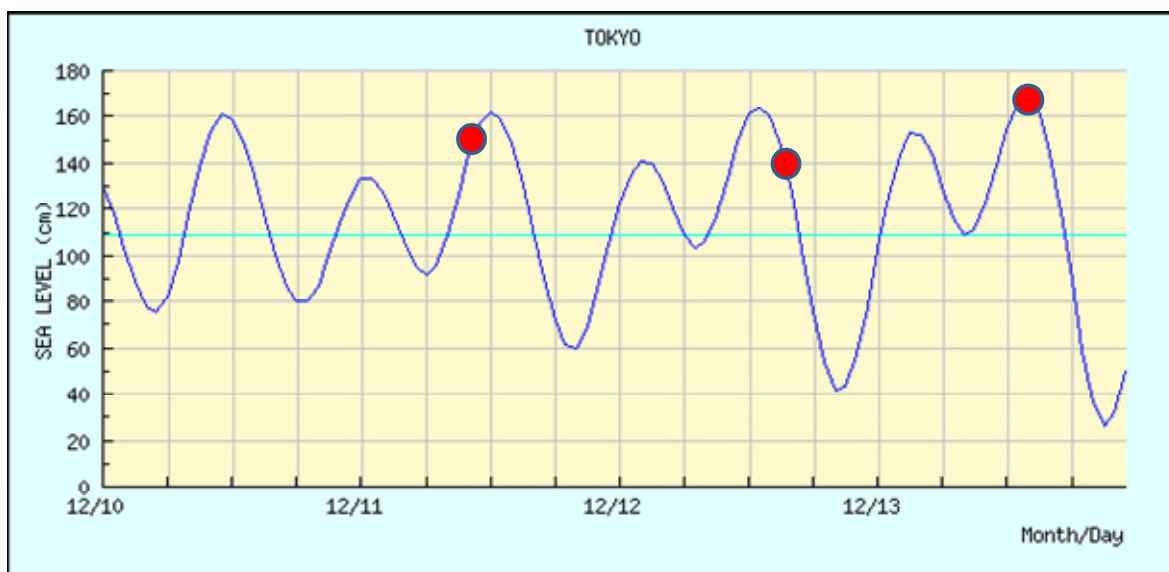


図 4-54 12月11日-13日の潮位グラフ

図 4-55 に各 St ごとの Urea 濃度の変動、図 4-56 に Total Coliform の変動を示す。

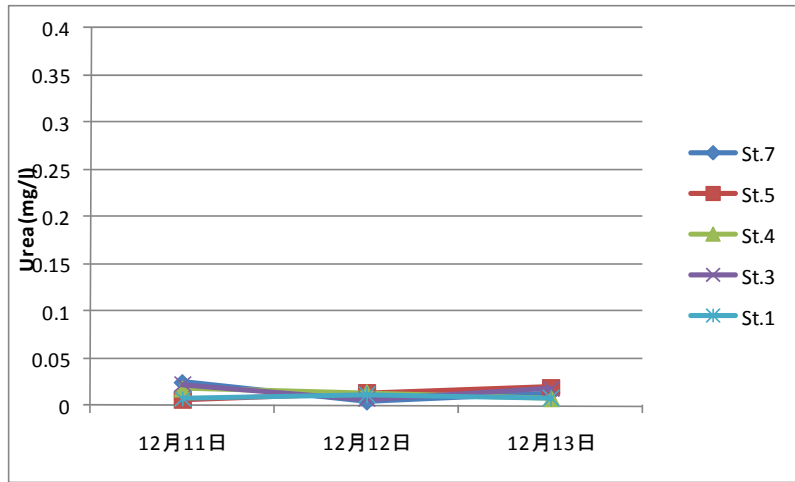


図 4-55 Urea の濃度変化

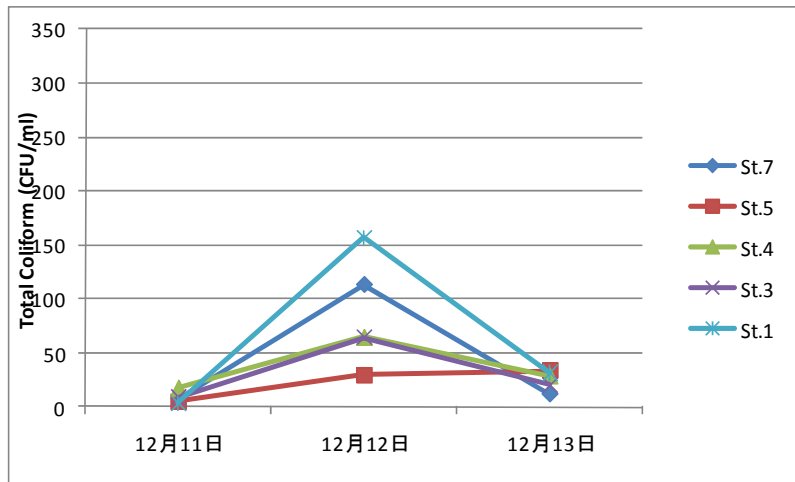
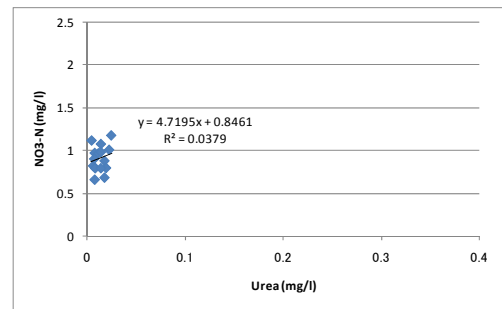
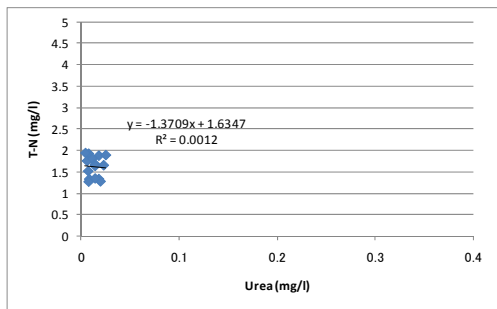


図 4-56 Total Coliform の変動

降雨による Urea の濃度上昇は見られなかった。Total Coliform は降雨の翌日増加した。
 図 4-57 に Urea の濃度と各栄養塩、Total Coliform、塩分との相関、図 4-58 に Total Coliform と各栄養塩、塩分の相関を示す。



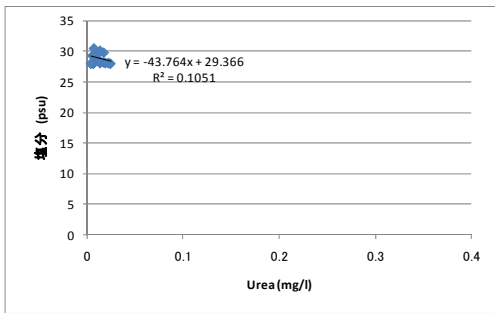
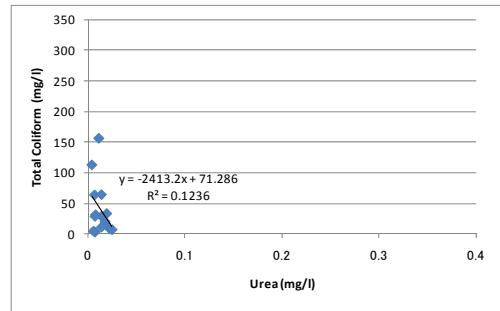
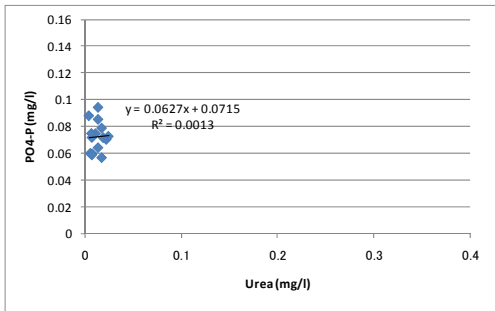
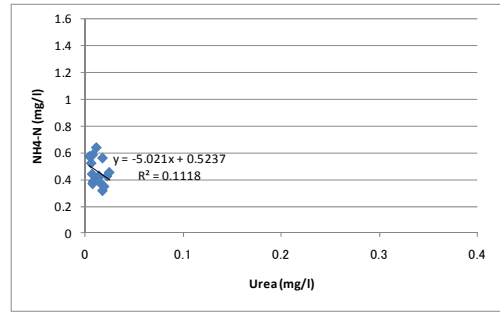
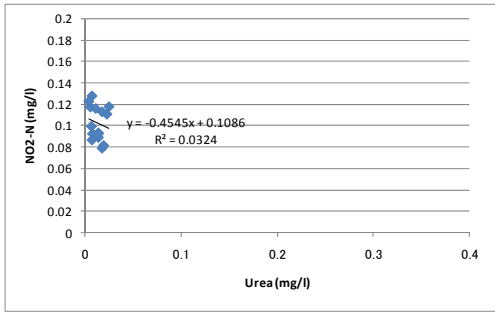
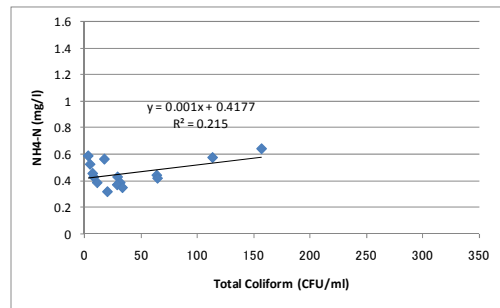
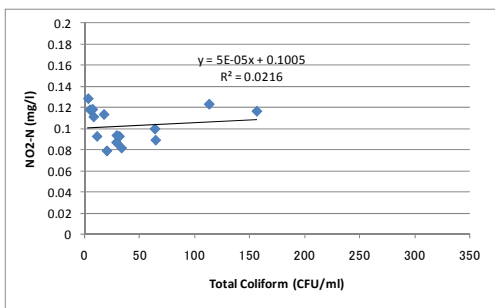
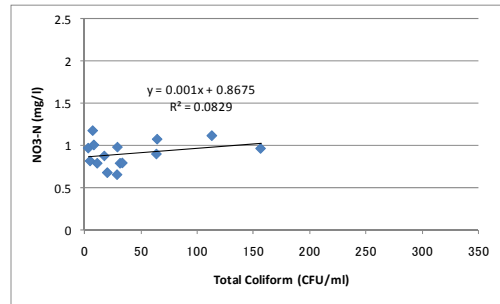
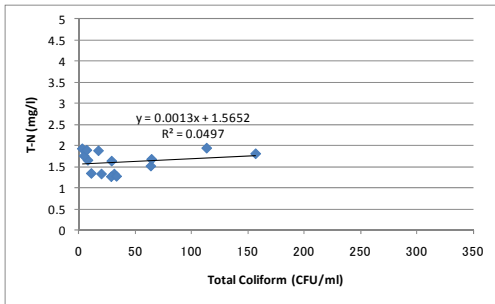


図 4-57 Urea の濃度と各栄養塩、Total Coliform、塩分との相関



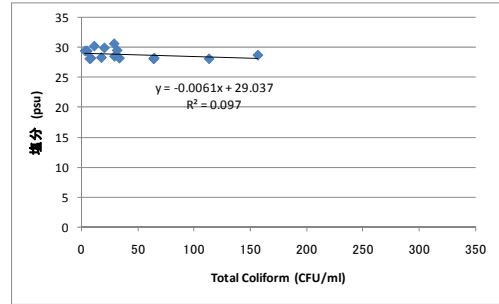
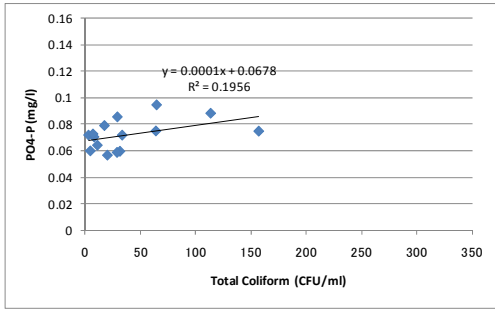


図 4-58 Total Coliform と各栄養塩、塩分の相関

前二回の雨天時の連続観測で見られた Urea の濃度上昇、Total Coliform と栄養塩の相関は本観測では見られなかった。

原因は推測の域を出ないが、Urea-塩分の相関図より 3 日間の観測とも、塩分濃度があまり変わらなかったことが分かる。つまり、観測を行った時間帯、ちょうどお台場海浜公園には海水の割合が高く、海水では Urea や Total Coliform と各栄養塩の間に相関が低く、また Urea は溶存態なので海水によって既に希釈されており、濃度が上昇しなかった可能性が考えられる。

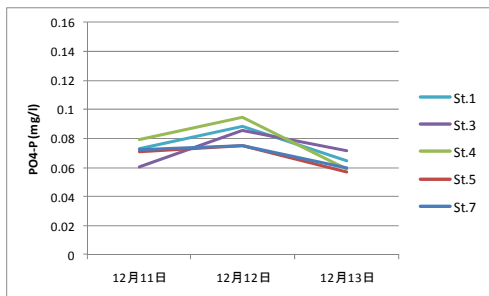
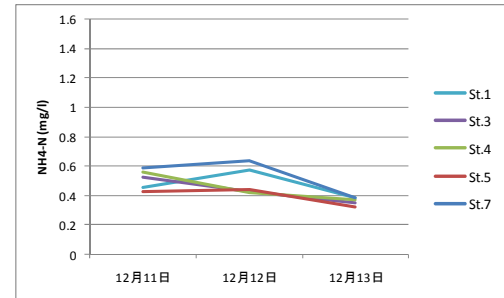
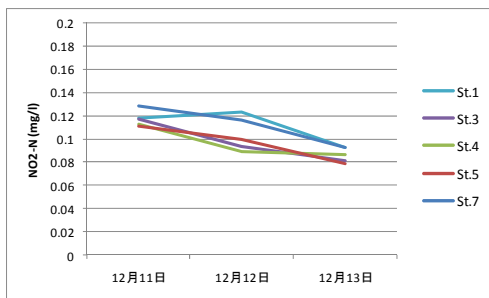
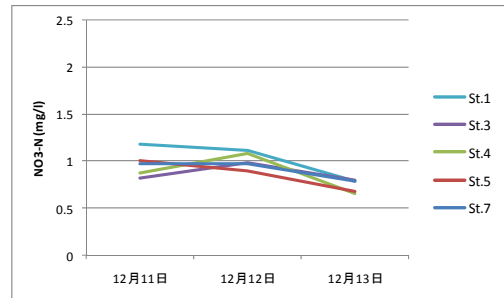
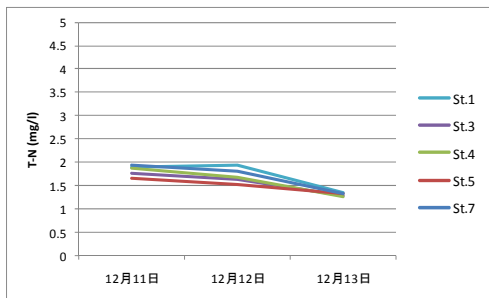


図 4-59 各栄養塩濃度の日変動

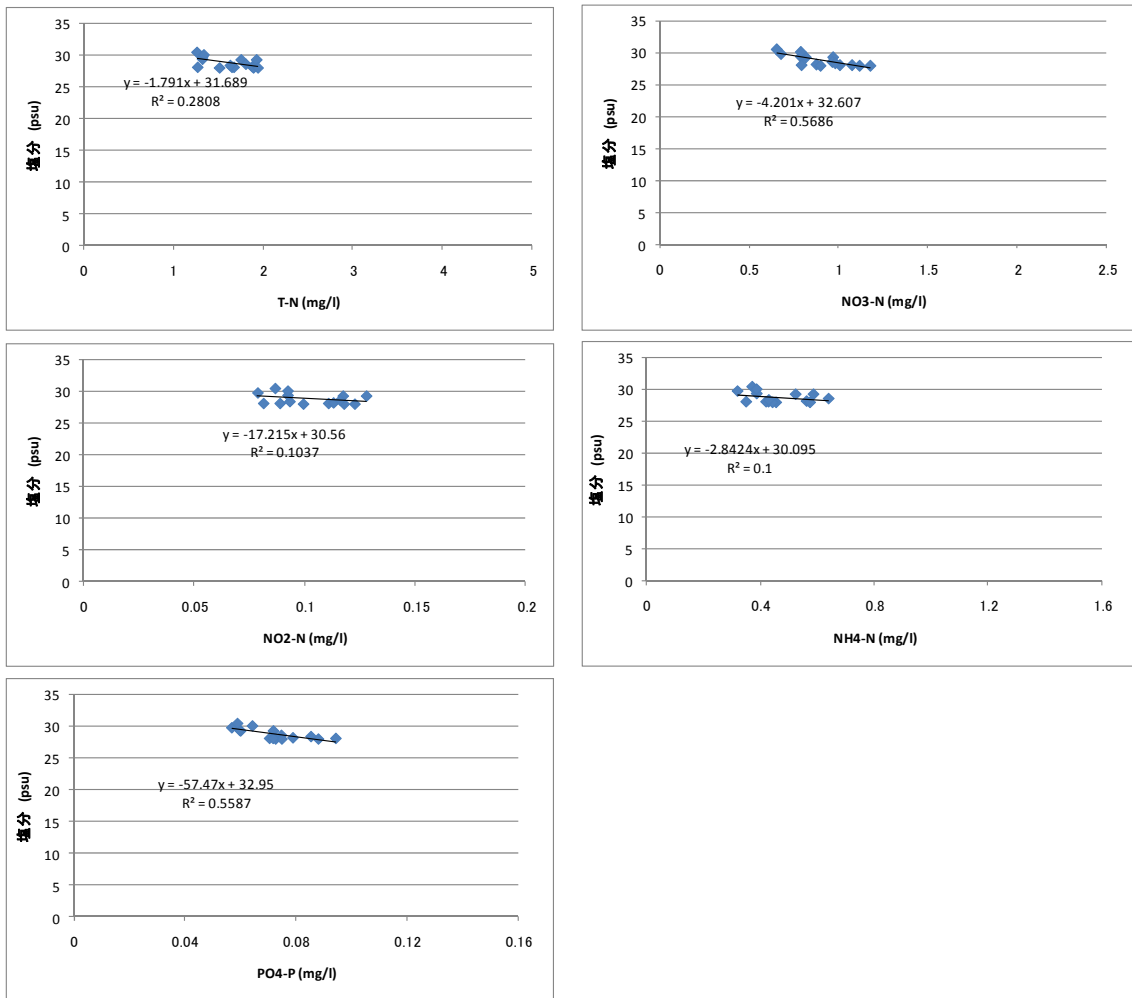


図 4-60 各栄養塩と塩分の相関

図 4-59 に各栄養塩濃度の日変動、図 4-60 に各栄養塩と塩分の相関を示す。前二回の連続観測と比較して、各栄養塩の濃度にあまり変動が見られなかった。この原因として、図 4-60 のように観測期間を通して、塩分値が 28-30.5(psu)と高かったことが挙げられる。三日間とも海水の影響が強く、河川水由来で供給される栄養塩が栄養塩濃度の低い海水によって希釈されていたと推察される。

4.4.4 雨天時の観測のまとめ

三度行った降雨後の連続観測で得られた結果を以下にまとめると

- ・一度 Urea の濃度が上昇しても約 24 時間(二潮汐)以内で濃度は減衰している
- ・降雨後 Urea 濃度の増加が観測された期間と増加が観測されない期間があった

この理由として、本観測は一日一回の観測であり、降雨による Urea のピークを捉えていない可能性があることが考えられる。今後の展望として、降雨後の一潮汐における連続観測や自動栄養塩分析機を用いて観測することによって、降雨による Urea の挙動が把握できると思われる。

- ・濃度の上昇が見られなくても河川流量が増えるので、Total のフラックスで言うと Urea が供給されているとも言える
- ・各栄養塩は塩分値と相関が高く、河川よりコンスタントに供給されている
- ・栄養塩類は降雨によって明確な濃度変動を示さない
- ・河川水の方が海水より Urea や栄養塩の濃度が高い

第5章 観測のまとめの考察

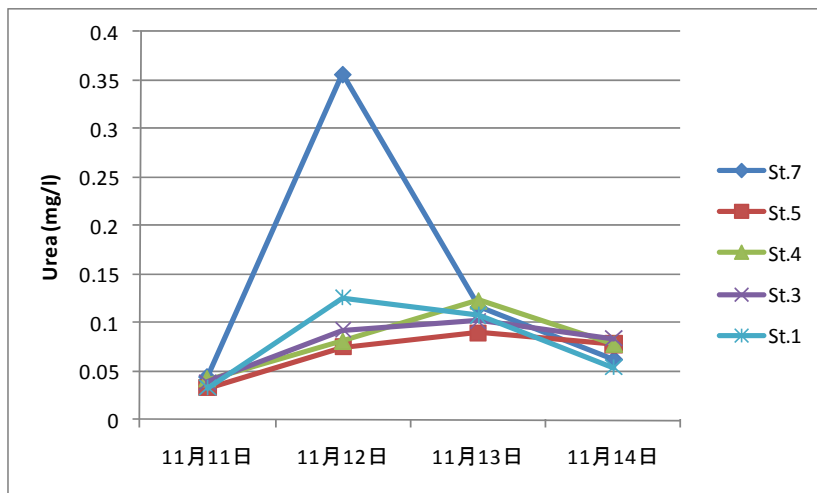


図 5-1 Urea の濃度変化①

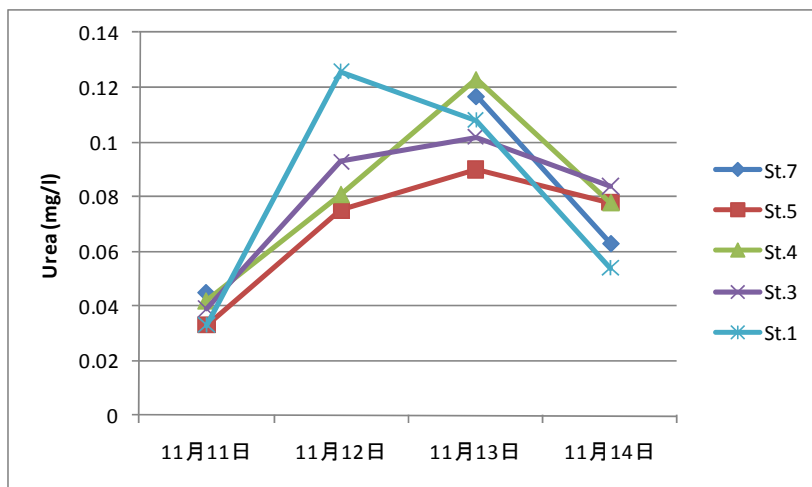


図 5-2 Urea の濃度変化②

図 5-1 に示す、12 日の St.7 の値 0.36(mg/l)が、①正確にサンプルの Urea の濃度を捉えていた場合と②コンタミ値や異常値である場合とが考えられる。まず、①の場合、考えられる可能性としては、非高い濃度を取った地点 St.7 が隅田川の河口に一番近く、他の St とは明らかに異なる、Urea の濃度が高い河川水が海水と混ざった水質であり、正確に濃度を捉えていた場合である。この St.7 の塩分値が他の St の塩分値と比較して低くない点 (表 5-1) からも別の水質であったと考えることができる。次に②の場合、St.7 だけ特別な水質が広がっていたという確証がなく、塩分値や栄養塩との相関から極端に一点だけずれてい

ることから考えられる。いずれにせよ、①か②の判断は推測の域を出ないため、この一地点が正確な値であった場合とそうではなかった場合の両方で考察することにする。

①の場合(図 5-1)の 11 月 11 日の降雨 85(mm/day)による Urea の濃度の増加と考えられる。塩分値は 21.3(psu)なので、仮に海水の塩分を 30(psu)とし、Urea の濃度が河川水供給によるものだけとすると、河川水 0(psu)における Urea の濃度は約 1.2(mg/l)となる。しかし実際には海水にも Urea は含まれており、1.2(mg/l)より少し低い値になると推測される。

②の場合 12 日の St.7 のデータを取り除いてみると(図 5-2)、12 日と 13 日にかけて濃度が上がり、14 日には減衰している。上記と同様の仮定で河川水 0(psu)における Urea の濃度を推定してみると、12 日は約 0.25-0.4(mg/l)という値を取り、一点のデータで大きく予測値が異なる。

表 5-1 11 月 12 日の観測値

	Urea(mg/l)	塩分(psu)	0(psu)における Ureaの推察値
St.1	0.126	20.6	0.40
St.3	0.093	21.2	0.32
St.4	0.081	21.2	0.28
St.5	0.075	21.1	0.25
St.7	0.357	21.3	1.23

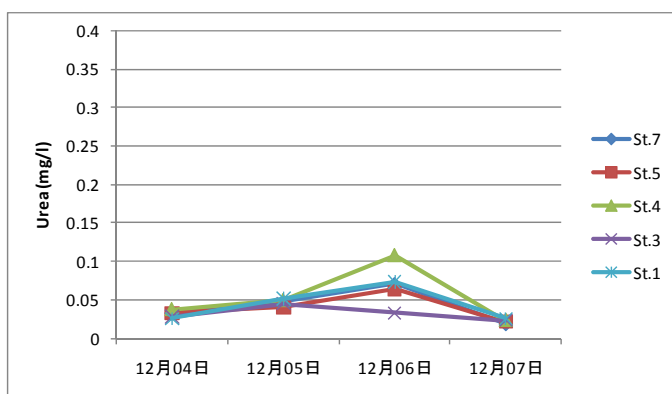


図 5-3 Urea の濃度変化

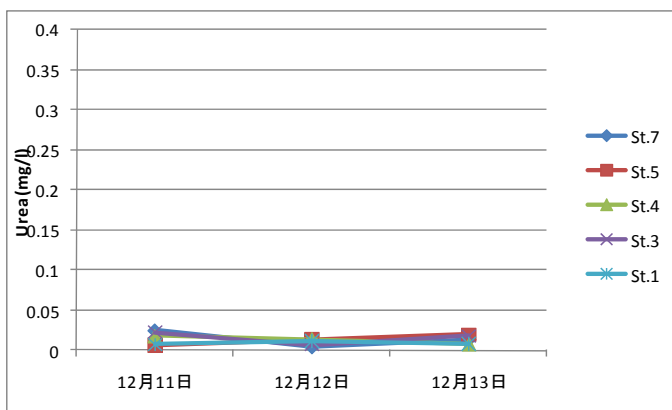


図 5-4 Urea の濃度変化

図 5-3 と図 5-4 に残り二回の連続観測の Urea の濃度変化について示す。12 月 3 日に(24mm/day)12 月 5 日に(16.5mm/day)12 月 11 日に(38.5mm/day)の降雨が観測された。

12 月 6 日に僅かな濃度上昇が見られる。12 月 11 日～13 日の連続観測では優位な変動は見られなかった。なぜ濃度上昇に違いがあるのか仮説として、

- ・ Urea の濃度は増加しているが、採水した時間には濃度のピークを抑えられていない(潮汐によってお台場海浜公園から流出していた、海水によって Urea はすでに希釈されていた)

- ・ 降雨量だけでは測れない河川に流入してくる水量の違い(雨の降った領域の差など)や日単位の降雨量ではなく時間単位の降雨量の大小によるなど

の原因が考えられる。

11 月 12 日に CSO の影響で Urea の濃度が上昇したとすると、12 月 6 日の上昇も含め、両日とも翌日には濃度が通常レベルまで低下している。お台場海浜公園における Urea の濃度の減衰速度は 24 時間(二潮汐)以内である。つまり、お台場海浜公園に流入してくる Urea は一日以内で東京湾へ流出して行くと言える。

このことから今後の観測としては雨が降り始めた時間から 24 時間連続で採水することで詳細な挙動が把握できると思われる。本研究ではお台場海浜公園の 5 地点ないしは 7 地点で観測を行った。しかし、24 時間連続観測を行うことはかなりの体力を要することとなり、さらに単独で全地点を回りながら採水し続けることは不可能だと思われる。そこで、

- ・ 12 時間の連続観測で人数をかけて各 St に張り付いて一時間おきに採水をする。
- ・ St を一つに絞って、移動する必要性をなくす
- ・ 本研究室が保有する自動栄養塩観測機 EcoLab を用いて、自動的に Urea の濃度を計測する

とよいと考える。ただし、その際どこの St に絞るかの議論は難しい。本研究においては時間変動に加えて空間変動に重きを置いたため複数地点の採水を行った。9/23,24 日の半日(一潮汐)観測において、同じ採水時間帯(同 run)において St 間の Urea の濃度には差異が見られた。このため、St を一か所に絞ることはお台場海浜公園全体の Urea の濃度を反映し難い結果となりえる。お台場海浜公園という限られた海域ではあるが河川水と海水が複雑に交じり合い、広がっている水質は不均一であると本研究者は感じたからである。

狭い塩分のレンジで近似曲線を引き、相関を取ることによって河川水の Urea の濃度を推測することは 0(psu)の時点で大きな誤差が出ている。基本的に満潮時に採水を行ったため、本観測のデータでは塩分値のレンジが狭くなるが多かった。

次に、本観測データの中でも塩分値にばらつきがあった 10 月 27 日、11 月 11 日、12 月 6 日、(12 月 7 日)の Urea と塩分値の相関図を図 5-5 に示す。

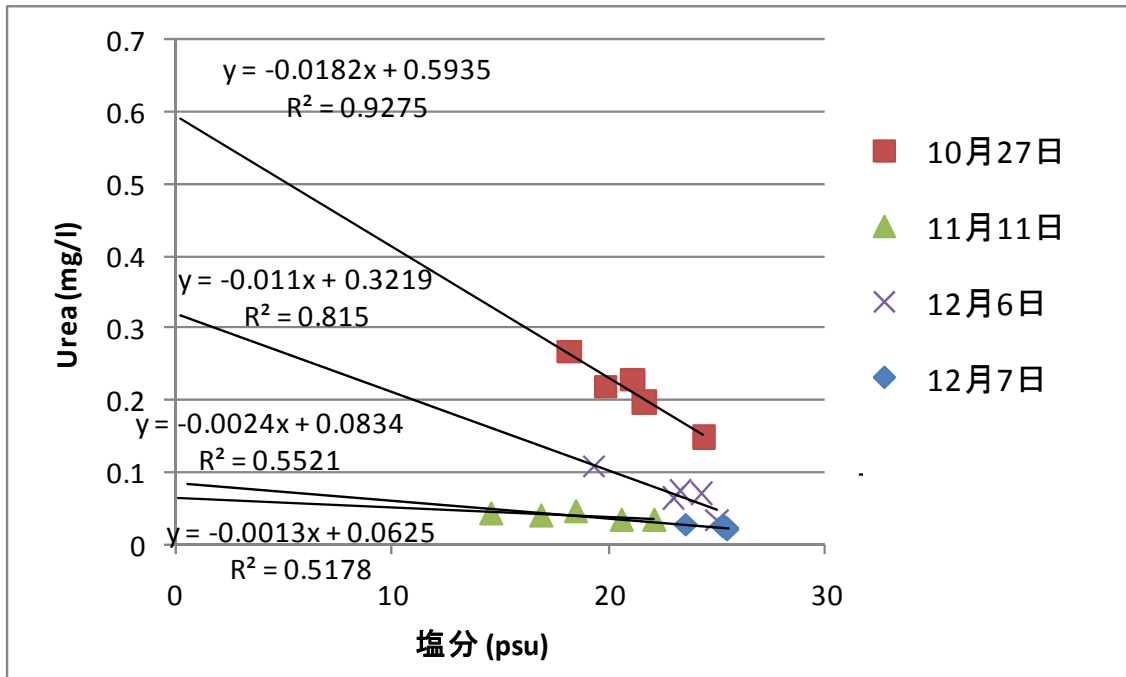


図 5-5 日別塩分と Urea の相関

- ①10月27日は前日に59(mm/day)の降雨の影響で、河川水に含まれる Urea の濃度が高くなったと考えられる。
- ②11月11日は当日に85(mm/day)の降雨があったが、採水を行った時間帯では Urea の濃度が低かったと推測される。
- ③12月6日は前日に16.5(mm/day)の降雨があった
- ④12月7日は塩分値のレンジが狭いが平常時の河川水中の Urea の濃度を示すために掲載した

この結果より、降雨の影響で平常時より降雨後の方が CSO の影響で河川水中の Urea の濃度が高いことが言える。また塩分値と Urea には高い相関があり、降雨後には河川水由来でお台場海浜公園に Urea が供給されていることが分かる。

天然水中の Urea の分布およびその生態学的役割については佐藤(1977)が言及し、海域や湖沼の植物プランクトンにとって Urea は重要な窒素源であることは(McCarthy,1972;三田村ら 1980)が報告している。また、本考察の Urea が河川水由来で供給されているという結果は、滝本ら(1983)が海域や湖沼への Urea の供給源に河川を挙げていることと一致する。

今後、流入してくる詳細な Urea の濃度を計測するためには、
 ・本研究では主に満潮時の採水であったため海水の割合が高く、塩分値に開きが少ないことが多かったので、干潮時に観測を行うことや、直接河川水の濃度を計測するとよいと言える。

次に上記の塩分と Urea の相関図から推察された河川水中(0psu)の Urea の濃度と降雨量の関係を図 5-6 に示す。データ数が少ないことや、直接河川水の Urea を測っていない点、降雨による Urea の濃度のピークを抑えているとは限らない点、気象庁の観測地点の降雨量が必ずしも河川に流入する負荷量と一致するとは限らない点がある中での考察である。

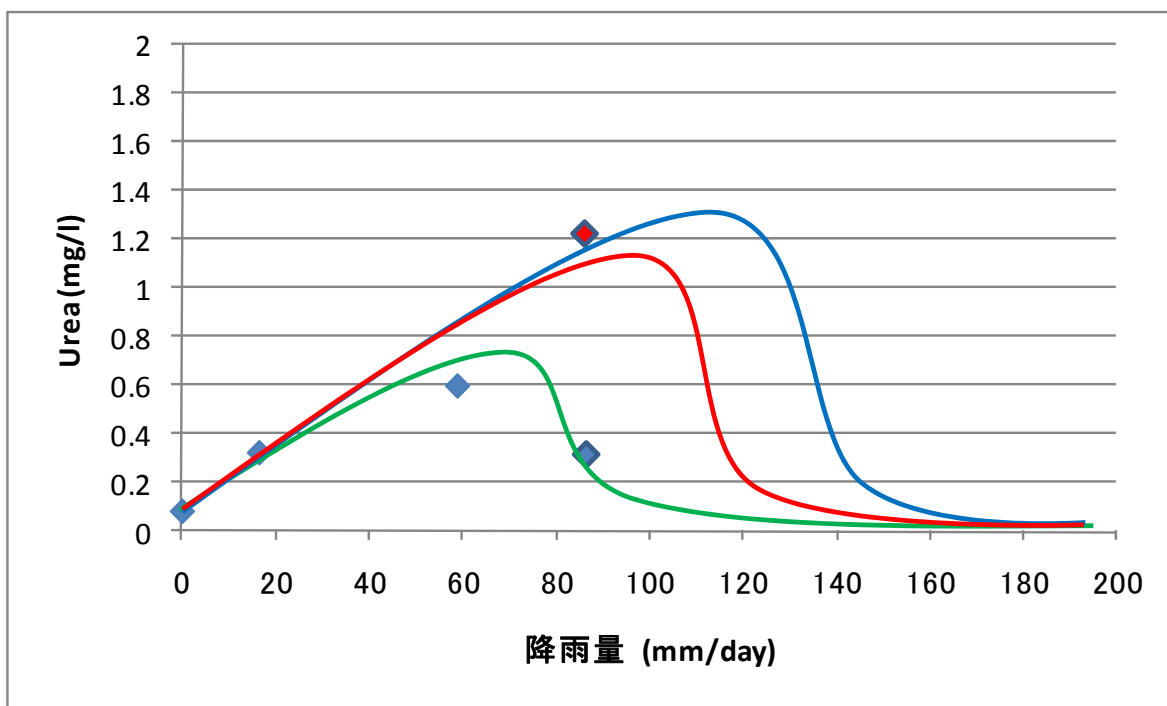


図 5-6 降雨量と河川水の Urea の相関予測

左点から 12 月 7 日、12 月 6 日(5 日の降雨(16.5mm/day))、10 月 27 日(26 日の降雨(59mm/day))、11 月 12 日(11 日の降雨(85mm/day))、上の赤点は St.7 の Urea の濃度から推察した値、下の青点は St.7 以外の四地点から推察された値である。

①11 日の降雨 85(mm/day)で St.7 が異常値であった場合 Urea の降雨量に対するピーク濃度は緑線のような濃度推移となる。

②11 日の降雨 85(mm/day)の St.7 の濃度が正確であった場合、Urea の濃度がいつ希釈されるかは本研究では把握できず、赤や青線のような推移となることが予想される。

この結果や、また満潮時では塩分値に開きが少ないことが多かったことから、

- ・ 降雨後の干潮時で観測を行う
- ・ 降雨後に、河川水の影響が明確なもう少し川の上流部や雨水の放流口付近で採水し実験する

ことで Urea と降雨量の関係が明確になると推察される。

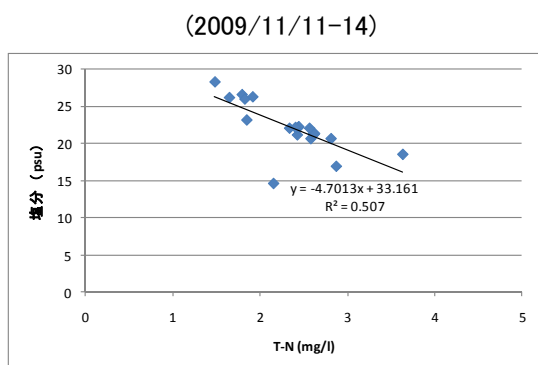


図 5-7 T-N と塩分の相関

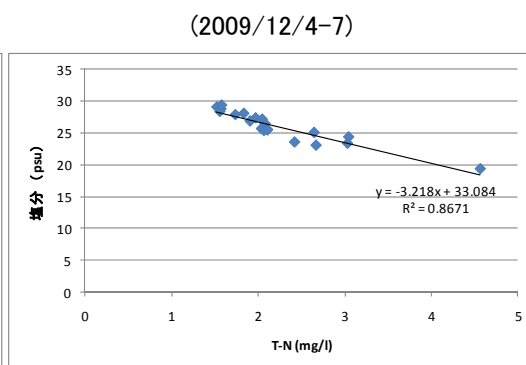


図 5-8 T-N と塩分の相関

図 5-7 と図 5-8 に期間別に T-N と塩分の相関を示す。両者には高い相関があり、河川より栄養塩が供給され、河川はトータルの負荷量からも栄養塩の供給源であることが分かる。

図 5-9 に 10 月 27 日、11 月 11 日、12 月 6 日、(12 月 7 日)の Urea と塩分値の相関図、
 図 5-10 にアンモニア態窒素と塩分値の相関図を示す。

- ①10 月 27 日は前日に 59(mm/day)の降雨
- ②11 月 11 日は当日に 85(mm/day)の降雨があったが、採水を行った時間帯では河川水 Urea の濃度が低かったと推測される。
- ③12 月 6 日は前日に 16.5(mm/day)の降雨があった
- ④12 月 7 日は塩分値のレンジが狭いが平常時の河川水中の Urea の濃度を示すために掲載した

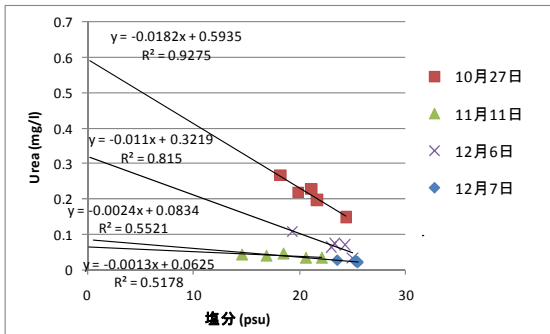


図 5-9 Urea と塩分の相関

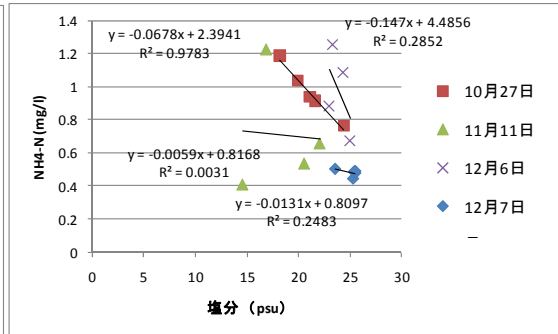


図 5-10 アンモニア態窒素と塩分の相関

Urea は降雨の増加に伴う近似曲線の傾きの増加が見られたが、アンモニア態窒素は、降雨の増加に伴う近似曲線の傾きの増加が見られなかった。植物プランクトンは、アンモニア≧Urea の順番で、窒素を使用すると報告されているので、CSO が起こっても、海域のアンモニア態窒素が増加せず、Urea が増加した場合、Urea が植物プランクトンの栄養源の割合として多くなることが推察される。

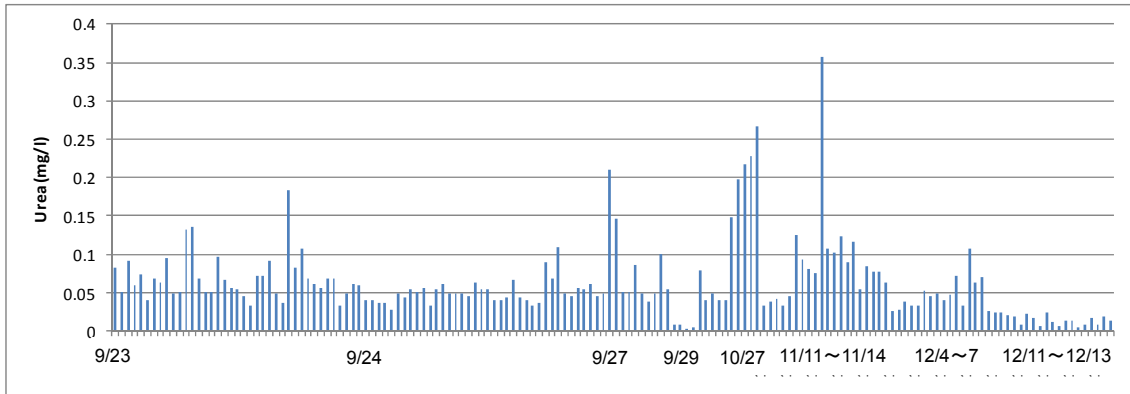


図 5-11 全サンプルの Urea の濃度

図 5-11 に観測で採水をし、分析を行った全サンプルの Urea の濃度を示す。期間中のお台場海浜公園の Urea の濃度は 0.0026~0.3566(mg/l)の値を取った。海水中の Urea の濃度分布は非常に不均一であることは NEWELL(1967)BERMAN(1974)などの多くの研究者が指摘している。確かに 9/23 の連続観測では、晴天時で CSO による Urea の流入は考えられないが、図 5-11 のように濃度が変動していることから分かる。Urea 濃度の時空間変動の複雑さは、お台場海浜公園の地形の影響や潮汐の影響など様々な要素が複合された結果もあると考えられる。10/27 の Urea の濃度が 0.148~0.266(mg/l)と全サンプルの中でも高い濃度をとった。これは前日台風 20 号の影響で 59(mm/day)の降雨による CSO の影響が見られたと推察される。平常時の Urea の濃度は秋季の方が高く見えるが、秋季でも 9/29 で(0.0026mg/l)と最低値をとっており、明確な季節変動はなく日によって異なることが分かる。

お台場海浜公園における Urea/DIN は 0.24-14.52%であり、植物プランクトンがその成長に Urea を 28%利用すると仮定すると、当該海域においては一次生産に利用される窒素 (Urea+DIN) のうち 0.07-4.1%と推察される。

図 5-12 から図 5-16 に全サンプルの各栄養塩(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N,PO₄-P)の濃度を示す。

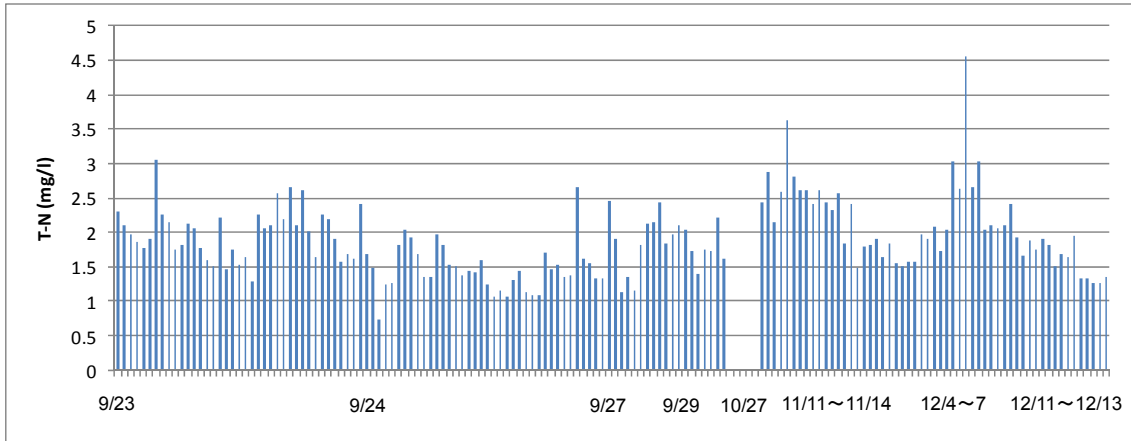


図 5-12 全サンプルの T-N の濃度

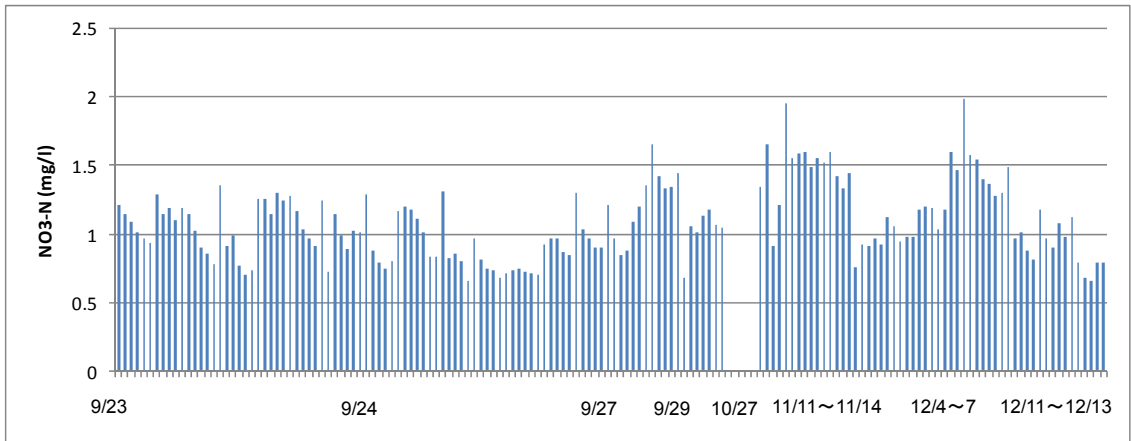


図 5-13 全サンプルの NO₃-N の濃度

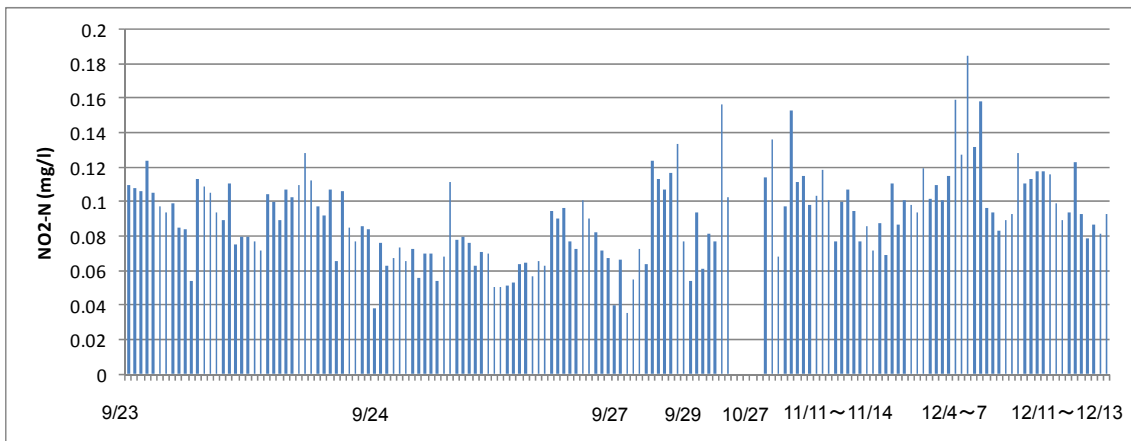


図 5-14 全サンプルの NO₂-N の濃度

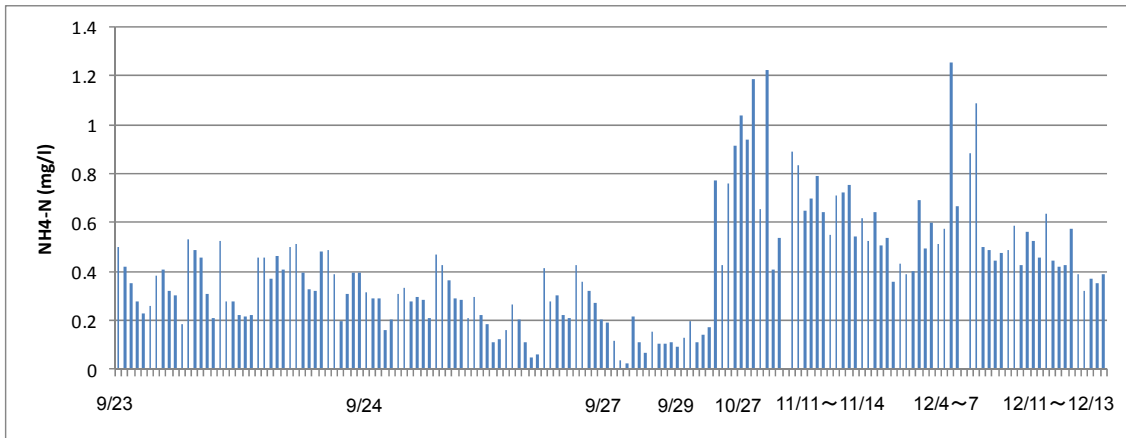


図 5-15 全サンプルの NH₄-N の濃度

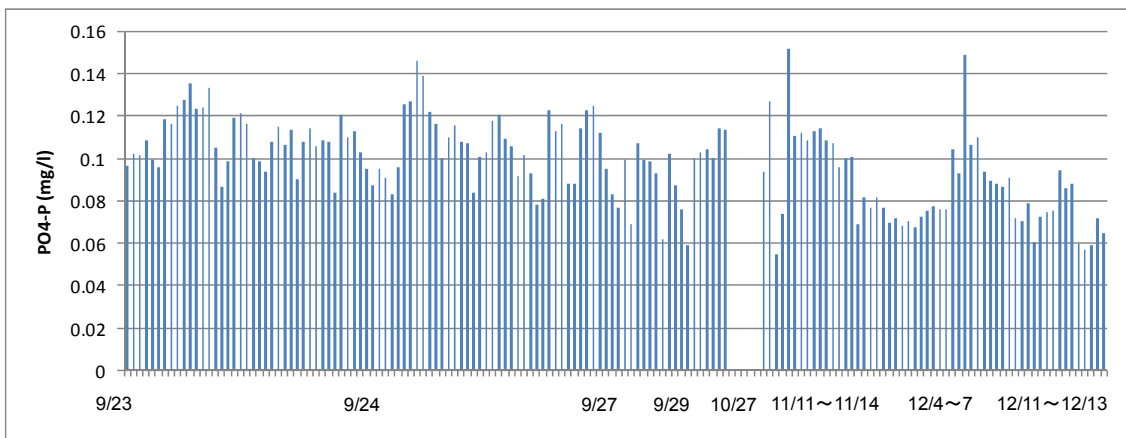


図 5-15 全サンプルの PO₄-P の濃度

リン酸は栄養塩元素 (N, P, Si, C) の一つであるが、他の栄養塩元素に比べて天然水における存在量が低いため、生物活動そのものを制限する要因となっていることが多いと言われている。このため人為起源のリン酸塩の多量の流入が湖や海でプランクトンを大增殖させ、赤潮やアオコと呼ばれる現象を引き起こす原因になっている。観測で得られた全サンプルの PO₄-P の濃度は、過栄養と位置付けられる PO₄-P ≥ 0.1(mg/l)に近い濃度で推移している。

前サンプルの DIN は 0.0593~0.215mM、DIP は 0.00176~0.00489mM で推移した。海洋中の植物プランクトンは太陽光を受け二酸化炭素と栄養塩を使って光合成をする。このときに植物プランクトンが取り込む窒素とリンの比率は一定で 16 : 1 になるというのがレッドフィールド比で、本観測において DIN/DIP は 16.5~63.9 の値を取った。このことから海洋中に比べてお台場の海水は、溶存態窒素の濃度が非常に高いと言え、PO₄-P が過栄養に近いことを加味すると、お台場海域からの窒素負荷が、東京湾に対して大きな影響を与えていると言える。

第6章 Total Coliform の考察

現状では、糞便汚染指標に選定されている糞便性大腸菌群数(Total Coliform)や大腸菌数の計測結果から病原性微生物の有無を推定する方法が広く認知され、長年用いられてきている。しかし、大腸菌数と病原性微生物との上限値には一定の相関は見られるものの両者の相関は低く、理由は未解明である(図6-1)。また、Total Coliform、大腸菌数、病原性微生物の分析には、数日を要するため、その日における海域の利用危険度は分からない。

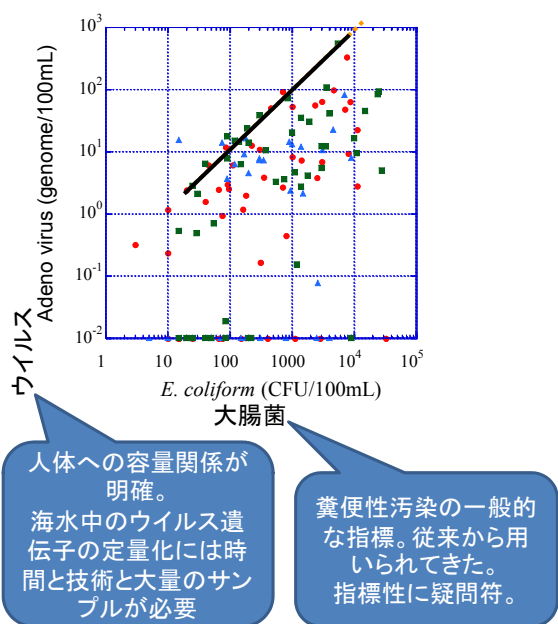


図6-1 大腸菌とウイルスの相関

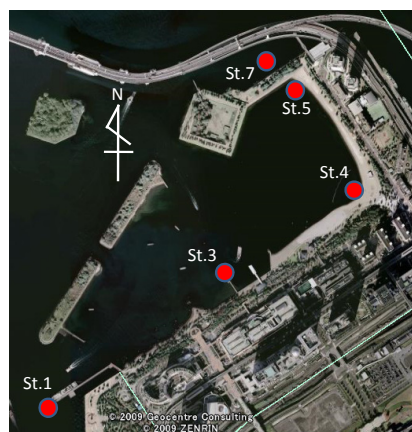


図6-2 観測地点

また、Total Coliform は従来より CSO のトレーサーとして用いられているが、その指標性には疑問が持たれている。図6-3と図6-4にUreaとTotal Coliformの相関図を示す。相関が見られた連続観測と相関が見られなかった連続観測があった。

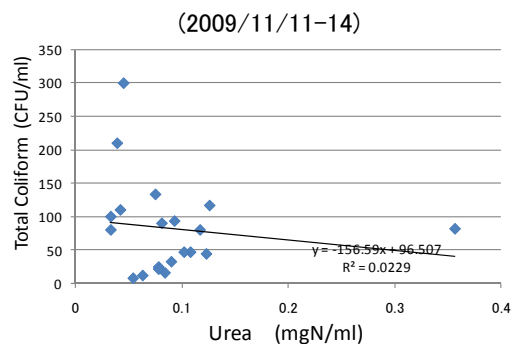


図6-3 UreaとTotal Coliformの相関

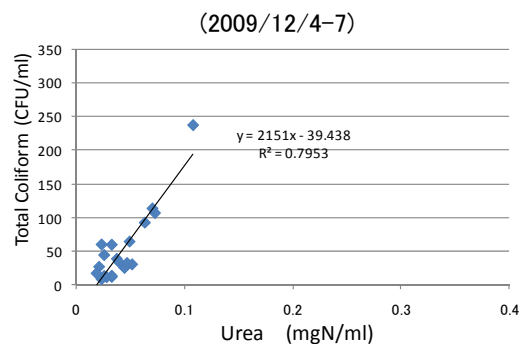


図6-4 UreaとTotal Coliformの相関

その原因として考察した結果を示す。

CSOの影響がないと考えられる9月23日(降雨量,前日:0mm/day、当日:0mm/day)と9月29日(降雨量,前日:0mm/day、当日:4mm/day)の、Total Coliformの分析について以下に示す。

9月23日の東京における潮位曲線は図6-5のようになっており、下げ潮時のrun1と上げ潮時のrun4、9月29日の潮位曲線は図6-6のようになっており、満潮時のrun1と干潮時のrun2で採水したサンプルのTotal Coliformの分析を行った。

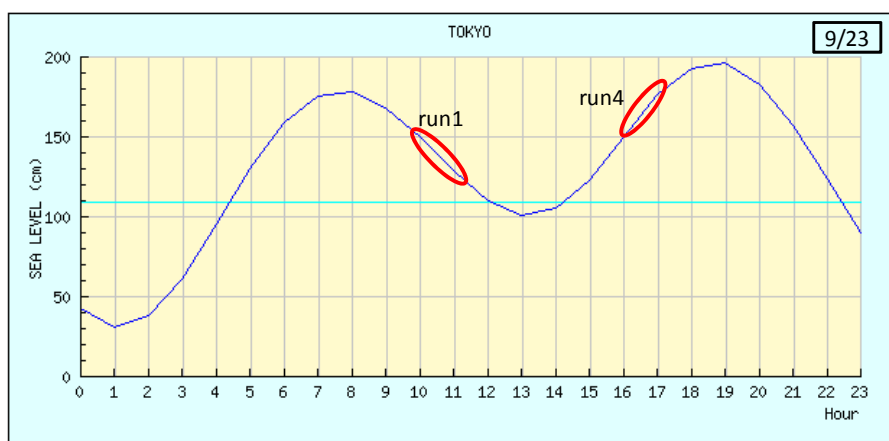


図 6-5 9月23日の潮位グラフ

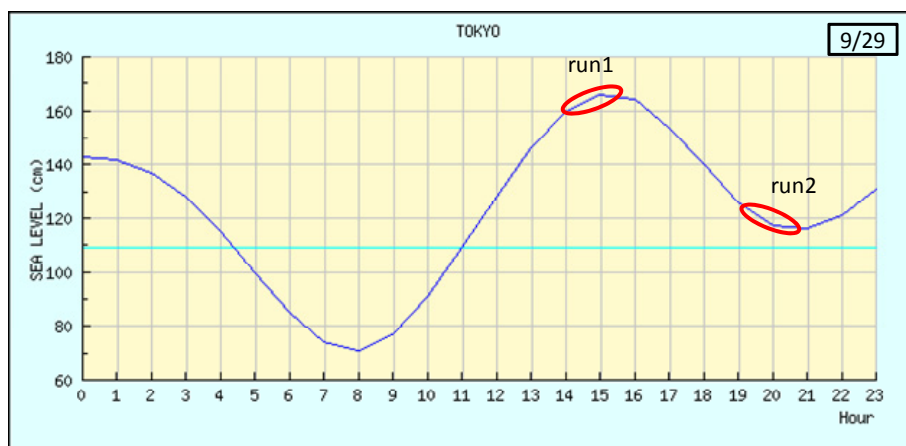


図 6-6 9月29日の潮位グラフ

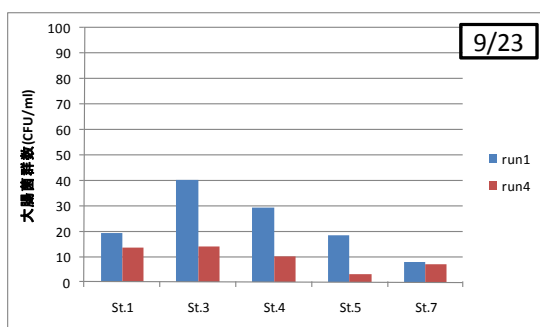


図 6-7 9/23のTotal Coliformの濃度

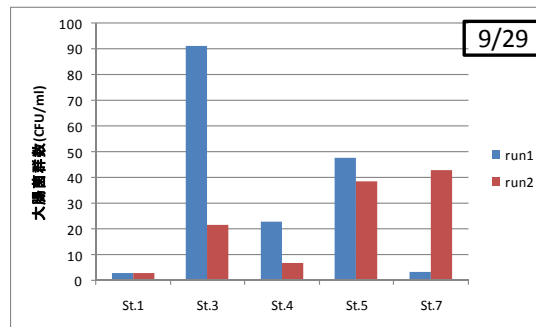


図 6-8 9/29のTotal Coliformの濃度

図 6-7 と図 6-8 に Total Coliform の濃度変化について示す。Total Coliform は両日とも、観光船乗り場のある St.3 で最も高濃度となった。他の地点でも、流入源から遠い St.4 や St.5 で高濃度となる傾向が見られ、また時間変動も観測された。これは、海底に残存していた大腸菌が波や船舶等で再懸濁し、供給されている可能性が大きいと考えられ、Urea との相関の有無や 病原微生物と Total Coliform や大腸菌数との挙動が一致しない原因と思われる。

Total Coliform とは違い、Urea は溶存態なので、今後、病原性微生物の関係性を見ることで CSO による影響やお台場の遊泳リスクが解明される可能性がある。

第7章 Urea の分解速度実験

7.1 概要

海水中の Urea は 植物プランクトンによる取り込み、あるいはアンモニア態窒素への分解によって減少する。本研究においてお台場海浜公園の Urea の挙動を解明することを目的としているが、それにあたって、Urea の分解速度を検証する必要がある。

7.2 分解速度実験

本実験は 12 月 1 日(晴天時)にお台場海浜公園へ行き、St.1(図 7-1)において現地の海水を採取し、実験室に持ち帰って実験を開始した。

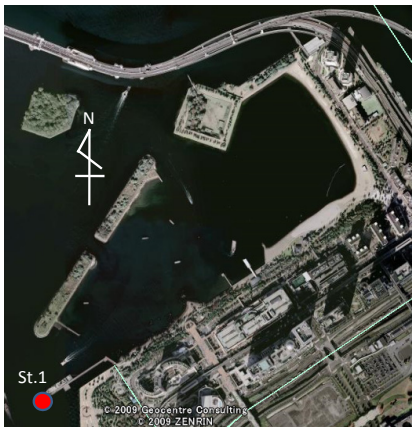


図 7-1 観測地点(St.1)



図 7-2 St.1 の栈橋

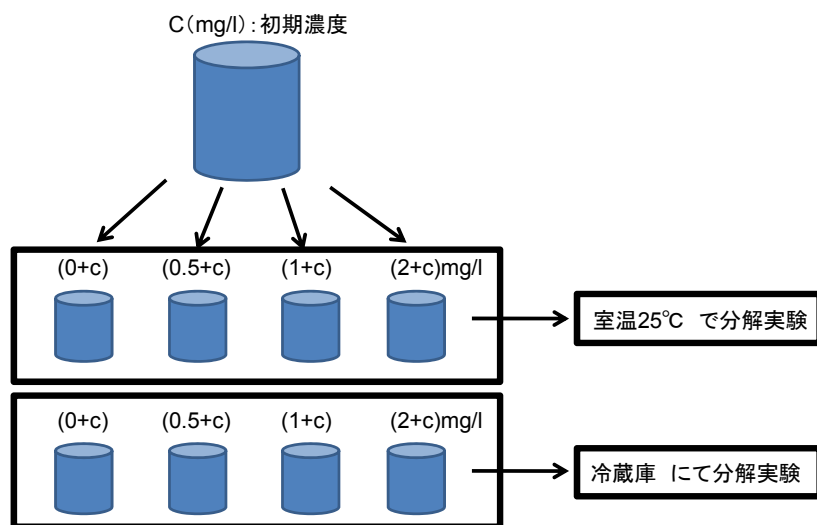


図 7-3 分解速度実験

まず、St.1において採取した海水を八本の容器(250ml)に分け、標準液を加え図 7-3 の濃度になるようにする。

次に、そのうちの四本にアルミホイルを被せた暗条件の下、室温を 25°Cに保ち、残りの四本を冷蔵庫に入れて分解実験を行った。

以下図 7-4. 7-5 に実験結果を示す。

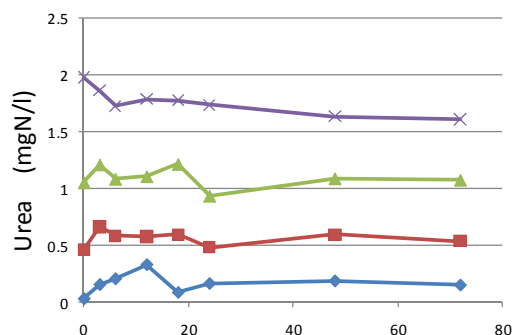


図 7-4 Urea の分解速度(室温 25°C)

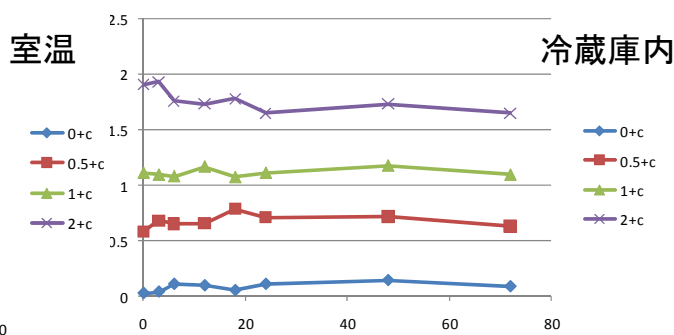


図 7-5 Urea の分解速度(冷蔵庫内)

実験を始めてから 0h,3h,6h,12h,18h,24h,48h,72h と三日間の Urea の濃度変化の様子を計測した。

その結果、(2+c)(mg/l)に調整した試料では濃度が次第の減少が見られたが、全体的に見て短時間で濃度が指数関数的に減少するといった傾向はなく、温度に関係なく分解スピードは遅いことが分かった。

このことより、(冬季では) 温度に依存せず、アンモニア態窒素への分解による Urea の濃度減少は少ない可能性が言え、河川から流入してきた Urea は分解せずにお台場、さらには東京湾へ流出して行くと考えられる。

またお台場の Urea の濃度の増減は、流入流出、雨による希釈で議論をすることが可能であることが示唆された。

第 8 章 研究成果と今後の課題

本研究は、お台場海浜公園海域において、従来観測されたことのない Urea（尿素態窒素）と、指標性に疑問符はあるものの、従来から CSO（雨天時合流式水道越流水）のトレーサーとなっている Total Coliform（糞便性大腸菌群数）や栄養塩類、塩分を現地観測、実験によって計測し、Urea の挙動を把握することを目的とした。

研究成果として

- ・ Urea の濃度とアンモニア態窒素の濃度との相関が比較的高いことが多かったが、相関が見られないこともあったので、Urea の濃度を計測するには塩分値を考慮しながら、直接計測することが求められる
- ・ 河口に近い St.6 の Urea の濃度が高い時があったことから、晴天時においても河川から Urea が供給されている可能性がある
- ・ 近い St 間でも Urea の濃度には差異が見られ、海水中の Urea の分布が不均一である
- ・ 降雨の翌日、河川水における Urea の濃度が上昇する
- ・ 各栄養塩は塩分値と相関が高く、河川よりコンスタントに供給されている
- ・ 一度海域の Urea の濃度が上昇しても、約 24 時間(二潮汐)以内で濃度が減衰している
- ・ 降雨後 Urea 濃度の増加が観測された期間と増加が観測されなかった期間があるが、フラックスとしては多くなっている
- ・ Urea の濃度と塩分値には相関があり Urea の増加は河川水由来である
- ・ 降雨量から Urea の挙動を予測できる可能性がある
- ・ Urea の濃度と Total Coliform の濃度に相関が見られた観測と相関が見られなかった観測がある
- ・ CSO の影響がないときでも Total Coliform の濃度が増加することがあり、これは海底に残存していた大腸菌が波や船舶等で再懸濁し、供給されている可能性が大きく、Urea との相関の有無や、病原微生物と Total Coliform との挙動が一致しない原因と考えることができる
- ・ Urea のアンモニア態への分解速度は温度に関わらず、遅く、河川由来の Urea は分解せずにお台場、お台場から東京湾へ流出していく
- ・ お台場の Urea の濃度の増減は、流入流出、雨による希釈で議論をすることが可能であるとといったことを明らかにした。

以上をまとめると、本研究で構築した、CSO 由来でお台場海浜公園における Urea の濃度が高くなるという仮説は、平常時と降雨後の河川水中 (0psu) での Urea 濃度の推察、降雨によってお台場海浜公園の Urea の濃度に増加傾向が見られたことからある程度証明されたと考える。また、Urea の濃度と塩分に相関関係があったことから、Urea の流入は河

川水由来であると言える。しかし、降雨により Urea の濃度に増加が見られなかったこともあった。その原因として、観測地点の塩分濃度の分布が狭い時（広がる水質に対して海水の影響が強く、希釈された可能性がある時）や、降雨にも、弱く長時間降る雨や、短時間に強く降る雨などがあり、一日の総雨量だけでは測りがたいこと、お台場海浜公園における Urea の流出入は速く、減衰速度は約 24 時間(二潮汐)以内で、一日一回の観測ではピークを捉えることが難しかったというような原因が考えられる。しかし、平常時と降雨後の Urea の濃度が同じでも、雨水により河川流量も増えるので、Total のフラックスとしては増加していると言える。

また、Urea と Total Coliform との間には相関がある日とない日があった。Total Coliform は海底に残存し、波や船舶等の影響で再懸濁して、供給されている可能性が大きいことを示したので、CSO の指標として Total Coliform を用いることに対して疑問が持たれている要因の一つを示せたと言える。

実験結果から Urea のアンモニア態窒素への分解速度は遅いので、CSO の影響により、高濃度の Urea を含んだ河川水が分解されずに栄養塩負荷としてお台場海浜公園、さらには東京湾へ流入して行くと考えられる。特に夏場には、CSO によって Urea が増加した河川水が成層化した東京湾へ流れ込んでいくため、その結果、植物プランクトンの増殖による赤潮の発生、ひいては青潮の発生といった問題に寄与している可能性が示唆される。

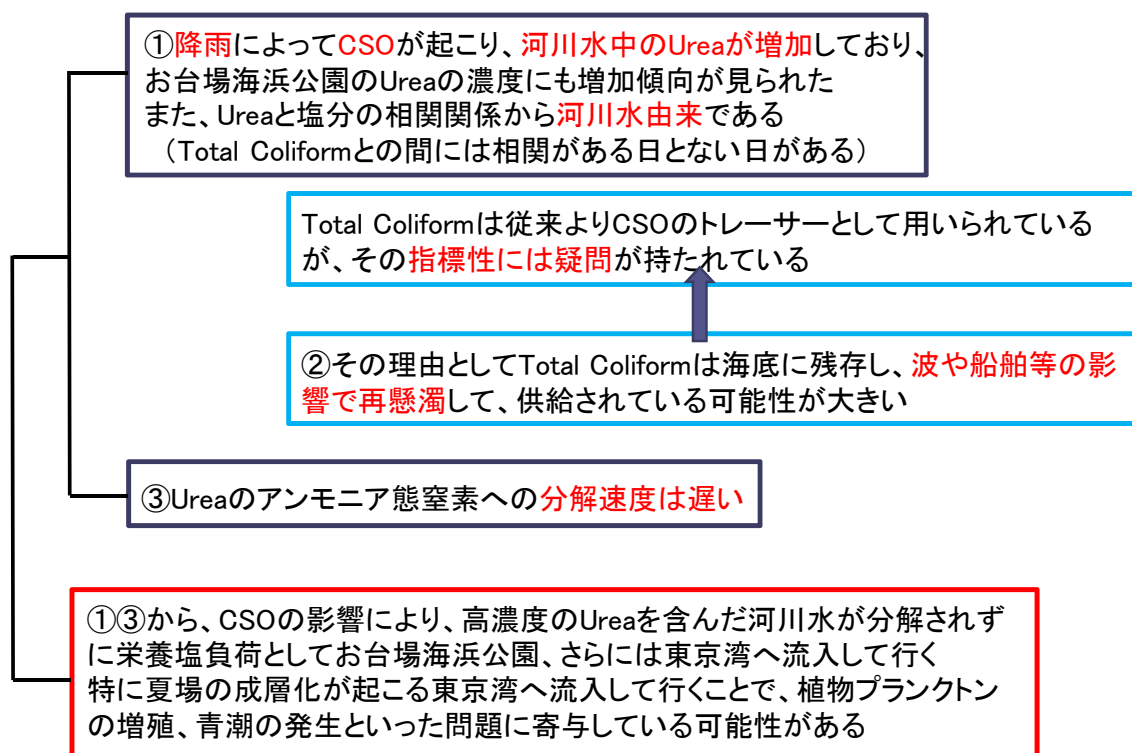


図 8-1 研究成果の概要

今後の課題

本研究では秋季、冬季に観測を行い、Urea の濃度を示した。そこで、

- ① 春・夏季の平常時や雨天時の Urea の濃度を明らかにする
- ② 観測回数を増やして降雨量と Urea の濃度をシステムチックに予測できるようにする
晴天時の半日（一潮汐）連続観測は行ったが、

- ③ 雨天時の一潮汐連続観測を行い Urea の上昇、減衰の過程を把握する

その際、本研究のように人海戦術もあるが、研究室で保有する自動栄養塩観測機 EcoLab を使用すると、より連続的に Urea の挙動が監視できる

- ④ CSO の本来の問題である病原性ウイルスと Urea の関係性を見る
といったことが今後望まれる。

第9章 EcoLAB(自動栄養塩連続測定機)

この章では今後の課題として提示した Urea の自動連続観測を可能にする EcoLAB の概要と実際のコマンドを述べる。

・目的 栄養塩測定は時間もコストもかかる。またどんなに高精度に分析しても、サンプルの劣化が問題となる。そこで、現地における栄養塩の常時監視を可能にすることが EcoLAB の使用目的である。

・仕組み シリンジに、薬品とサンプルを流し込み、これを分光光度計で測定する。サンプルとスタンダードを交互に測定して、ベースラインを監視することで精度を確保している。機器の生物による劣化を防ぐために、ポンプで水をくみ上げるようにして、これを分光光度計と連携させる。測定器はインターネットで監視し、操作できるようにする。サンプルとスタンダードを交互に測定するので、試薬の劣化等の影響は小さく、測定精度が高くなる。

Benefits

- Simultaneous multi-nutrient analysis
- Enables study of episodic events and complex signals
- Precise nutrient data at an appropriate frequency
- Cost-effective enhancement to monitoring programs
- System host capability for complete monitoring package

Applications Phytoplankton blooms

- Eutrophication
- TMDL assessment
- Monitoring outfalls and run-off
- Environmental change research
- Fish kill diagnostics

Features

- Sensitive wet-chemistry analysis
- Precision comparable to a lab analyzer
- Nitrate, phosphate, ammonia & silicate
- Fully programmable chemistry
- Self-recording and real-time data

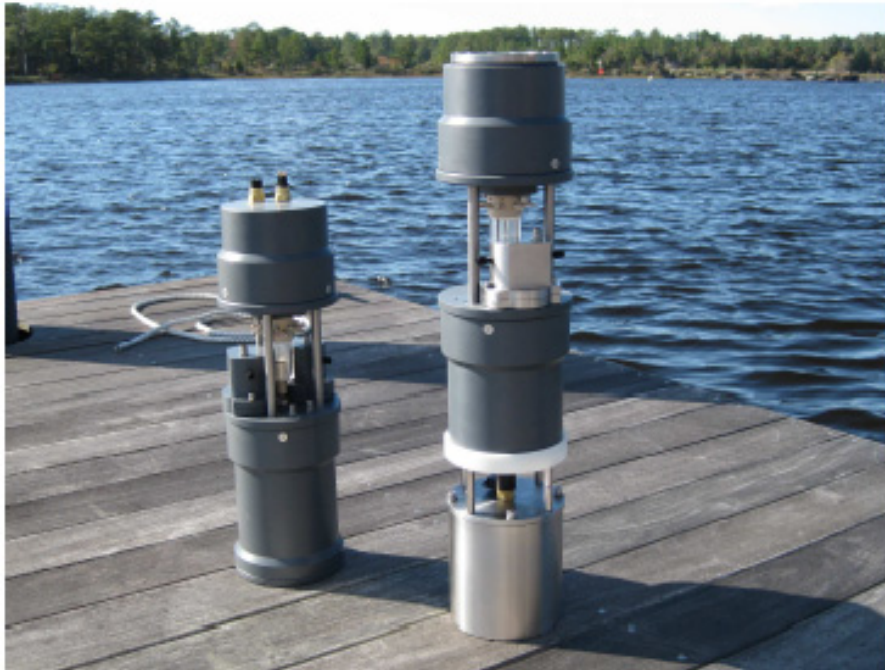


図 9-1 EcoLAB の外観

当研究室で保有する EcoLAB を用いた Urea のコマンドを以下に掲載する。これによって Urea の連続観測が可能となる。

```
# urea OBS script
#-----

#-----Valve table -----
#-----color-----number-----allocation-----
#   purple           1         inlet
#   blue             2         colorimeter
#   green            3         heater
#   yellow           4         wash-DIW
#   orange           5         air
#   Red              6         OBS
#   Brown            7         rngt B - Ferric Chloride
#   Gray             8         rngt A - Diacetyl Monoxime
#-----

keepon
```

```
execute "/store/eep/align"
```

```
# set power for valve and syring motors
```

```
dio 10, set
```

```
wait 500
```

```
dio 12, set
```

```
wait 500
```

```
# flush heater
```

```
execute "/store/eep/purple"
```

```
execute "/store/eep/r1000"
```

```
execute "/store/eep/green"
```

```
execute "/store/eep/i1000"
```

```
execute "/store/eep/red"
```

```
sps"0E", "LM R 900"
```

```
execute "/store/eep/orange"
```

```
execute "/store/eep/r100"
```

```
execute "/store/eep/green"
```

```
execute "/store/eep/i1000"
```

```
#flush colorimeter
```

```
execute "/store/eep/red"
```

```
sps"0E", "LM R 1000"
```

```
execute "/store/eep/blue"
```

```
execute "/store/eep/i1000"
```

```
# collect blank
```

```
checkpoint 0
```

```
execute "/store/eep/red"
```

```
sps"0E", "LM R 800"
```

```
execute "/store/eep/brown"
```

```
sps"0E", "LM R 200"
```

```
execute "/store/eep/green"
```

```
repeat 8
```

```
    execute "/store/eep/i200"
```



```

    execute "/store/eep/r200"
    wait 4000
end
execute "/store/eep/i1000"
checkpoint 600 # heat blank
sps"0E", "LM R 900"
checkpoint 300
repeat 4
    execute "/store/eep/i200"
    execute "/store/eep/r200"
    wait 4000
end
execute "/store/eep/blue"
sps"0E", "LM I 925"

# read blank
dio 11, set
wait 500
execute "/store/eep/set-i"

device clear
deviceport 1F, sps
device add, "source c0"
device add, "colour c0"
burst 1000, 5, " 1 urea-T blank ", "/store/flash/urea", display
device clear

dio 11, clear

# sample
execute "/store/eep/red"
transmit 0, "Collect 600 steps of OBS¥r¥n"
sps"0E", "LM R 600"
execute "/store/eep/gray"
transmit 0, "Collect 100 steps of diacetyl monoxime¥r¥n"
sps"0E", "LM R 100"

```

```

# mix at heater
execute "/store/eep/green"
transmit 0,"Mix OBS and color reagent(DAM) in heater¥r¥n"
repeat 4
  execute "/store/eep/i200"
  execute "/store/eep/r200"
  wait 2000
end

# ferric chloride
execute "/store/eep/brown"
transmit 0,"Collect 300 steps of ferric chloride¥r¥n"
sps"0E","LM R 300"

# mix at heater
execute "/store/eep/green"
transmit 0,"Mix OBS and both reagents at heater¥r¥n"
repeat 8
  execute "/store/eep/i200"
  execute "/store/eep/r200"
  wait 4000
end

transmit 0,"insert OBS and reagents into heater¥r¥n"
checkpoint 0
sps"0E","LM I 1010"
checkpoint 900 #heating delay
sps"0E","LM R 900"

checkpoint 300 #allow soln to cool
repeat 4 # final mix
  execute "/store/eep/i200"
  execute "/store/eep/r200"
  wait 2000
end

```

```
#execute "/store/eep/orange"
```

```
#sps"0E", "LM R 100"
```

```
execute "/store/eep/blue"
```

```
sps"0E", "LM I 900"
```

```
dio 11, set
```

```
wait 500
```

```
execute "/store/eep/set-i"
```

```
wait 2000
```

```
device clear
```

```
deviceport 1F, sps
```

```
device add, "source c0"
```

```
device add, "colour c0"
```

```
burst 1000, 5, " 2 urea-T reaction ", "/store/flash/urea", display
```

```
device clear
```

```
dio 11, clear
```

```
#flush colorimeter
```

```
transmit 0, "Flush colorimeter with DIW¥r¥n"
```

```
execute "/store/eep/yellow"
```

```
execute "/store/eep/r1000"
```

```
execute "/store/eep/blue"
```

```
execute "/store/eep/i1000"
```

```
#flush heater
```

```
transmit 0, "Flush heater with ambient water¥r¥n"
```

```
execute "/store/eep/purple"
```

```
execute "/store/eep/r1000"
```

```
execute "/store/eep/green"
```

```
execute "/store/eep/i1000"
```

```
transmit 0,"Flush heater with 25% isopropyl¥r¥n"  
execute "/store/eep/yellow"  
execute "/store/eep/r1000"  
execute "/store/eep/green"  
execute "/store/eep/i1000"
```

```
execute "/store/eep/purple"  
transmit 0,"Analysis complete"
```

```
keepon cancel  
dio 0000
```

```
#EOF
```

上記のようにコマンドを

- ①ターミナルソフトである **Tera Term** と **EcoLAB** を接続し書き込む。
- ②各ポートに対応した必要な試薬を準備する。
- ③実験室レベルで計測できるか確認する。
- ④現地で設置する。

本研究の第3章で示した **Urea** の手分析を機械で自動的に行う方法である。まずはマニュアルを読み、実際に手分析を行ってから **EcoLAB** を使用すると理解が早くなると考えられる。

青年と海

本セクションでは本研究者(以下青年)とお台場海浜公園での観測を文学的に熱く語る。アーネスト・ヘミングウェイの晩年の小説で、世界的なベストセラーとなった「老人と海」を踏まえることとする。ヘミングウェイの文学でよく言われることに「獲得と喪失」というのがある。物語の主人公は、カジキと闘う孤独な老漁師サンチャゴ。戦いの末捕まえたカジキは、船に引き上げる事が出来ず、曳航して港に戻るまでにサメに食われて、獲物は失われてしまった。青年と海では、孤独と戦ったと言えるか？言える。雨の中、荷物を持っているため傘も差せずに一人とぼとぼ歩いた、採水を行った。雨風にさらされ濡れたまま、うつむき加減で歩く青年の背負うものは光っていただろうか。終盤の観測では最低三日連続で通った。晴れた日にはカップルばかりである。とぼとぼ歩かないようにした。ただ一人、お台場で異質な存在であるという孤独が他人を通じてより自分に襲いかかるからだ。老人は漁師としての名声をすでに失っているところから話は始まる。老人を慕う少年もその両親から他の船に乗るように言われる。老人は漁よって得られる成功報酬等を多大には求めてはいないはずだ。漁師であること、ただその醍醐味を求めていたのではないだろうか？単純な言い方では誇りを求めていたのではないだろうか、もちろん周囲からの賞賛を求めていたのではない。お台場の青年も、そのつらさの中にあつた時はただ誇りで自分を突き動かした。それは、自分から最高学府の大学院に進学し、そこに受け入れられたことに対する礼儀であつた。老人の巨大な魚と格闘する姿は、まさに男の生き様である。生きる実感、戦うという誇り。誰に認められなくとも良い、他人の理解などいらない。そして魚と自分だけで美しい夜空をみあげ、海上をただ孤独にただよう姿。老人が得たものはこの夜空であつたと思う。青年も一通り観測地点を回り終えると夜空を見上げた。青年の見上げた夜空はカップルたちが囁きながら見上げた夜空と同じだったのであろうか。



図 9-2 夕刻のお台場

第10章 付録 全観測の実験結果

9月23日		Urea(mg/l)	T-N(mg/l)	NO3-N(mg/l)	NO2-N(mg/l)	NH4-N(mg/l)	PO4-P(mg/l)
St.1	run1	0.081878	2.294	1.213	0.110	0.501	0.096
	run2	0.051174	2.092	1.143	0.108	0.419	0.102
	run3	0.092113	1.962	1.090	0.106	0.353	0.102
	run4	0.05885	1.852	1.017	0.124	0.275	0.109
	run5	0.074202	1.766	0.974	0.105	0.228	0.099
St.2	run6	0.040939	1.894	0.940	0.097	0.259	0.096
	run1	0.069085	3.063	1.286	0.094	0.386	0.119
	run2	0.063968	2.263	1.141	0.099	0.406	0.117
	run3	0.094672	2.147	1.194	0.084	0.318	0.125
	run4	0.048615	1.755	1.099	0.084	0.304	0.127
St.3	run5	0.051174	1.808	1.184	0.054	0.188	0.135
	run1	0.133052	2.120	1.147	0.114	0.529	0.124
	run2	0.135611	2.051	1.022	0.109	0.491	0.124
	run3	0.069085	1.773	0.904	0.106	0.456	0.133
	run4	0.051174	1.588	0.861	0.094	0.312	0.105
St.4	run5	0.051174	1.508	0.781	0.089	0.210	0.087
	run1	0.097231	2.212	1.352	0.111	0.528	0.099
	run2	0.066526	1.458	0.914	0.075	0.278	0.119
	run3	0.056291	1.742	0.988	0.079	0.281	0.121
	run4	0.053733	1.528	0.770	0.079	0.222	0.116
	run5	0.046057	1.631	0.708	0.077	0.214	0.100
St.5	run6	0.033263	1.289	0.736	0.072	0.224	0.099
	run1	0.071644	2.258	1.250	0.104	0.458	0.094
	run2	0.071644	2.060	1.259	0.100	0.459	0.108
	run3	0.092113	2.108	1.149	0.089	0.370	0.115
	run4	0.048615	2.569	1.303	0.107	0.462	0.107
St.6	run5	0.035822	2.186	1.243	0.103	0.410	0.113
	run1	0.184226	2.646	1.275	0.110	0.500	0.090
	run2	0.081878	2.098	1.171	0.128	0.515	0.108
	run3	0.107465	2.620	1.040	0.113	0.397	0.114
	run4	0.069085	2.012	0.970	0.097	0.329	0.105
St.7	run5	0.061409	1.642	0.909	0.092	0.322	0.108
	run1	0.056291	2.254	1.239	0.107	0.483	0.107
	run2	0.069085	2.185	0.728	0.066	0.485	0.084
	run3	0.069085	1.913	1.145	0.106	0.389	0.120
	run4	0.033263	1.562	0.985	0.084	0.201	0.110
run5	0.048615	1.693	0.894	0.077	0.312	0.113	

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
run1	10:00	10:30	11:00	10:00	10:30	11:00	11:30
run2	12:00	12:30	13:00	12:00	12:30	13:00	13:30
run3	14:00	14:30	15:00	14:00	14:30	15:00	15:30
run4	16:00	16:30	17:00	16:00	16:30	17:00	17:30
run5	18:00	18:30	19:00	18:00	18:30	19:00	19:30
run6	20:00			20:00			

9月24日		Urea(mg/l)	T-N(mg/l)	NO3-N(mg/l)	NO2-N(mg/l)	NH4-N(mg/l)	PO4-P(mg/l)
St.1	run1	0.061409	1.617	1.028	0.085	0.397	0.103
	run2	0.05885	2.419	1.015	0.084	0.397	0.095
	run3	0.040939	1.677	1.287	0.038	0.315	0.088
	run4	0.040939	1.483	0.881	0.076	0.288	0.095
	run5	0.035822	0.735	0.790	0.063	0.291	0.091
	run6	0.035822	1.239	0.745	0.067	0.163	0.083
	run7	0.028146	1.254	0.799	0.073	0.206	0.096
St.2	run1	0.048615	1.809	1.168	0.065	0.310	0.125
	run2	0.043498	2.044	1.199	0.073	0.333	0.127
	run3	0.053733	1.918	1.172	0.056	0.279	0.146
	run4	0.051174	1.684	1.115	0.070	0.297	0.139
	run5	0.056291	1.357	1.014	0.070	0.286	0.122
	run6	0.033263	1.347	0.839	0.054	0.212	0.116
St.3	run1	0.053733	1.964	0.834	0.068	0.472	0.100
	run2	0.061409	1.806	1.310	0.111	0.429	0.110
	run3	0.048615	1.528	0.819	0.078	0.364	0.115
	run4	0.048615	1.505	0.852	0.079	0.293	0.108
	run5	0.048615	1.383	0.798	0.076	0.285	0.107
	run6	0.046057	1.440	0.657	0.063	0.210	0.083
St.4	run1	0.063968	1.422	0.971	0.071	0.297	0.101
	run2	0.053733	1.586	0.809	0.070	0.223	0.103
	run3	0.053733	1.248	0.743	0.051	0.187	0.117
	run4	0.040939	1.068	0.734	0.050	0.113	0.121
	run5	0.040939	1.158	0.685	0.051	0.124	0.109
	run6	0.043498	1.077	0.715	0.053	0.160	0.105
St.5	run1	0.066526	1.313	0.742	0.063	0.267	0.092
	run2	0.043498	1.446	0.752	0.065	0.206	0.102
	run3	0.040939	1.130	0.728	0.057	0.109	0.093
	run4	0.033263	1.093	0.719	0.066	0.048	0.078
	run5	0.035822	1.093	0.703	0.062	0.064	0.081
St.6	run1	0.089555	1.715	0.922	0.095	0.412	0.123
	run2	0.069085	1.472	0.966	0.090	0.280	0.113
	run3	0.110024	1.539	0.966	0.097	0.302	0.116
	run4	0.048615	1.360	0.866	0.077	0.222	0.088
	run5	0.046057	1.381	0.845	0.073	0.209	0.088
St.7	run1	0.056291	2.666	1.295	0.101	0.427	0.114
	run2	0.053733	1.627	1.035	0.090	0.359	0.123
	run3	0.061409	1.549	0.969	0.082	0.320	0.124
	run4	0.046057	1.331	0.897	0.072	0.273	0.112
	run5	0.048615	1.328	0.899	0.067	0.204	0.095

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
run1	8:00	8:30	9:00				
run2	10:00	10:30	11:00	10:00	10:30	11:00	11:30
run3	12:00	12:30	13:00	12:00	12:30	13:00	13:30
run4	14:00	14:30	15:00	14:00	14:30	15:00	15:30
run5	16:00	16:30	17:00	16:00	16:30	17:00	17:30
run6	18:00	18:30	19:00	18:00	18:30	19:00	19:30
run7	20:00			20:00			

9月27日		Urea(mg/l)	T-N	NO3-N	NO2-N	NH4-N	PO4-P	Total-Coli.(CFU/ml)	Salinity(psu)
St.1	run1	0.209813	2.464	1.211	0.040	0.193	0.083	-	-
St.3	run1	0.145846	1.902	0.971	0.066	0.118	0.077	-	-
St.4	run1	0.051174	1.122	0.843	0.035	0.037	0.099	-	-
St.5	run1	0.051174	1.363	0.884	0.055	0.023	0.069	-	-
St.6	run1	0.086996	1.155	1.085	0.072	0.216	0.107	-	-
St.7	run1	0.048615	1.814	1.202	0.063	0.110	0.099	-	-
9月29日									
St.1	run1	0.038381	2.134	1.351	0.124	0.070	0.099	2.75	-
St.2	run1	0.048615	2.147	1.653	0.114	0.157	0.093	-	-
St.3	run1	0.099789	2.429	1.415	0.107	0.106	0.062	91	-
St.4	run1	0.053733	1.843	1.330	0.117	0.103	0.102	22.75	-
St.5	run1	0.007676	1.962	1.341	0.134	0.112	0.088	47.75	-
St.7	run1	0.007676	2.113	1.441	0.077	0.093	0.076	3.5	-
St.1	run2	0.002559	2.043	0.684	0.054	0.131	0.059	2.75	-
St.3	run2	0.005117	1.718	1.057	0.093	0.196	0.100	21.75	-
St.4	run2	0.07932	1.394	1.008	0.061	0.113	0.103	6.75	-
St.5	run2	0.040939	1.760	1.135	0.081	0.141	0.104	38.5	-
St.7	run2	0.048615	1.738	1.177	0.077	0.175	0.100	43	-
10月2日									
St.1	run1	0.040939	2.217	1.065	0.157	0.773	0.114	5.75	-
St.3	run1	0.040939	1.620	1.042	0.103	0.428	0.114	6.75	-
10月27日									
St.1	run1	0.148405	-	-	-	0.763	-	117.5	24.4
St.3	run1	0.19702	-	-	-	0.914	-	277.5	21.6
St.4	run1	0.21749	-	-	-	1.037	-	182.5	19.9
St.5	run1	0.227724	-	-	-	0.937	-	245	21.1
St.7	run1	0.266105	-	-	-	1.187	-	156.25	18.2

			Urea(mg/l)	T-N	NO3-N	NO2-N	NH4-N	PO4-P	Total-Coli.(CFU/ml)	Salinity(psu)
11月11日	St.1	run1	0.032962	2.435	1.344	0.1144	0.6572	0.0938	100	22.1
	St.3	run1	0.038955	2.87	1.651	0.1364	1.2268	0.1272	210	16.9
	St.4	run1	0.041951	2.15	0.916	0.0682	0.4087	0.0546	110	14.6
	St.5	run1	0.032962	2.578	1.206	0.0977	0.5354	0.0738	80	20.6
	St.7	run1	0.044948	3.632	1.947	0.1531	-	0.1514	300	18.5
11月12日	St.1	run1	0.125853	2.81	1.558	0.1118	0.8903	0.1107	116.6666667	20.6
	St.3	run1	0.092892	2.604	1.583	0.1148	0.8345	0.1119	93.33333333	21.2
	St.4	run1	0.080906	2.617	1.597	0.0981	0.6502	0.1082	90	21.2
	St.5	run1	0.074913	2.423	1.485	0.1038	0.7004	0.1125	133.3333333	21.1
	St.7	run1	0.356584	2.62	1.549	0.1188	0.7923	0.1145	81.66666667	21.3
11月13日	St.1	run1	0.107874	2.44	1.518	0.1008	0.6456	0.1083	46.66666667	22.2
	St.3	run1	0.101881	2.334	1.595	0.077	0.5507	0.1074	46.66666667	22
	St.4	run1	0.122857	2.564	1.423	0.0999	0.7132	0.0954	44	22
	St.5	run1	0.089895	1.844	1.337	0.1074	0.7214	0.0998	32.33333333	23.1
	St.7	run1	0.116864	2.403	1.44	0.0942	0.7525	0.1007	80	22.1
11月14日	St.1	run1	0.053937	1.479	0.76	0.077	0.5458	0.0687	7.666666667	28.2
	St.3	run1	0.083902	1.79	0.929	0.0858	0.6195	0.0816	15.66666667	26.5
	St.4	run1	0.077909	1.822	0.913	0.0717	0.5272	0.0764	24.33333333	25.9
	St.5	run1	0.077909	1.913	0.964	0.0876	0.6422	0.0814	21.33333333	26.2
	St.7	run1	0.062927	1.645	0.929	0.0691	0.5071	0.0767	11.66666667	26.1

			Urea(mg/l)	T-N	NO3-N	NO2-N	NH4-N	PO4-P	Total-Coli.(CFU/ml)	Salinity(psu)
12月4日	St.1	run1	0.025858	1.827	1.12	0.1109	0.5367	0.0699	44.33333333	28
	St.3	run1	0.028208	1.551	1.054	0.0867	0.3557	0.072	11.66666667	28.3
	St.4	run1	0.037611	1.516	0.941	0.1008	0.432	0.068	38.66666667	29
	St.5	run1	0.03291	1.563	0.976	0.0986	0.3918	0.0706	12	28.7
	St.7	run1	0.03291	1.57	0.983	0.0933	0.3986	0.0672	13.66666667	29.3
12月5日	St.1	run1	0.051715	1.965	1.175	0.1197	0.6917	0.0727	30.66666667	27.3
	St.3	run1	0.044663	1.9	1.2	0.1021	0.494	0.075	25.33333333	26.8
	St.4	run1	0.049365	2.073	1.185	0.1096	0.5967	0.0771	64.33333333	26.4
	St.5	run1	0.039962	1.73	1.035	0.1012	0.5105	0.0759	33.33333333	27.8
	St.7	run1	0.047014	2.04	1.173	0.1148	0.5767	0.0759	32.66666667	27.1
12月6日	St.1	run1	0.072872	3.026	1.596	0.1588	1.2545	0.1043	106.6666667	23.3
	St.3	run1	0.03291	2.64	1.464	0.1272	0.6703	0.0926	59.66666667	25
	St.4	run1	0.108132	4.56	1.987	0.1844	-	0.1486	236.6666667	19.3
	St.5	run1	0.063469	2.663	1.573	0.1316	0.8808	0.1067	92.33333333	23
	St.7	run1	0.070521	3.04	1.537	0.158	1.087	0.1099	113.3333333	24.3
12月7日	St.1	run1	0.025858	2.032	1.399	0.0964	0.5024	0.094	13.33333333	23.6
	St.3	run1	0.023507	2.101	1.36	0.0933	0.4872	0.0891	8.666666667	25.4
	St.4	run1	0.023507	2.06	1.276	0.0832	0.4451	0.0883	60	25.3
	St.5	run1	0.021156	2.097	1.3	0.0889	0.4776	0.0866	27	25.5
	St.7	run1	0.018806	2.414	1.487	0.0928	0.4898	0.0905	17.33333333	25.5
			Urea(mg/l)	T-N	NO3-N	NO2-N	NH4-N	PO4-P	Total-Coli.(CFU/ml)	Salinity(psu)
12月11日	St.1	run1	0.007549	1.93	0.971	0.128	0.5853	0.072	3.333333333	29.3
	St.3	run1	0.022646	1.656	1.009	0.1109	0.4282	0.0706	8.333333333	28.1
	St.4	run1	0.017794	1.882	0.878	0.1131	0.5613	0.079	17.66666667	28.2
	St.5	run1	0.005931	1.758	0.819	0.1175	0.5229	0.0602	5	29.3
	St.7	run1	0.024803	1.896	1.179	0.1179	0.4548	0.0728	7.333333333	28
12月12日	St.1	run1	0.011323	1.811	0.967	0.1162	0.6382	0.0749	156.6666667	28.6
	St.3	run1	0.00701	1.517	0.901	0.0994	0.4423	0.075	64	28
	St.4	run1	0.014019	1.678	1.077	0.0889	0.4198	0.0945	64.66666667	28.1
	St.5	run1	0.014019	1.637	0.983	0.0933	0.4292	0.0855	29.33333333	28.4
	St.7	run1	0.004314	1.945	1.119	0.1228	0.5731	0.0882	113.3333333	28
12月13日	St.1	run1	0.008088	1.328	0.791	0.0924	0.387	0.0598	31.66666667	29.4
	St.3	run1	0.017794	1.33	0.68	0.0788	0.32	0.057	20.33333333	29.8
	St.4	run1	0.007549	1.266	0.656	0.0867	0.3713	0.059	29	30.5
	St.5	run1	0.019411	1.274	0.795	0.0814	0.3503	0.0719	33.66666667	28.1
	St.7	run1	0.014019	1.343	0.791	0.0924	0.3864	0.0644	11.33333333	30.1

参考文献

第1章

Carpenter, E.J., Remen, C.C. and Watoson, S.W., (1972): Utilization of urea by some marine phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 17: 265-269

McCarthy, J.J. and Kamykowski, D., (1972): Urea and other nitrogenous nutrients in La Jolla Bay during February, March, and April 1970. *Fish. Bull.*, 70: 1261-1274

Eppley, R.W., Renger, E.H., Venrick, E.L. and Mullin, M.M., (1973): A study of plankton dynamics and nutrient cycling in the central gyre of the north Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 18: 534-551

Taga, N., (1972): Occurrence of Urea-decomposing bacteria in the neritic and oceanic waters of the northwest Pacific Ocean. *Proc. 2nd CSK Symposium*, pp. 341-351, Saikon Publishing, Tokuo.

Newell, B.S., Morgan, B. and Cundy, J., (1967): The determination of urea in seawater. *J. Mar. Res.*, 25: 201-202

Berman, T., (1974): Urea in the water of Lake Kinneret (Sea of Galilee). *Limnol. Oceanogr.*, 19: 977-980

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター：植物プランクトンの窒素栄養塩の利用について

小野澤恵一(2005)：お台場における雨天時越流水の数値解析

東京湾岸自治体環境保全会議(2002)：平成13年度東京湾水質調査報告書

安藤晴夫：東京湾の水質汚濁-雨天時負荷が水質へ及ぼす影響-

山本民次、山崎徹、藤森聡、松田治(1994)：広島湾、江田内湾、周防灘北東部海域および太田川における尿素の濃度について *J. Fac. Appl. Biol. Sci.*

徳永隆司、馬場義輝、高田智(1994)：河川水中の尿素の分解に関する微生物学的検討 *水環境学会誌* 第17巻 第10号 687-693

鯉渕幸生 (2005) : 東京湾お台場海浜公園における雨天時合流式下水越流水の影響調査 海岸工学論文集 第 52 卷 pp.886-890

第 3 章

西条八束、三田村緒佐武 : 湖沼調査法

山田わか、齋藤紀行、渡邊節ら(2005) : 敬鳴瀬川水系における一般細菌数および大腸菌群数の通年変動

永翁一代、森川和子(1996):都市用水の流下に伴う細菌群集の変化 陸水学雑誌 Vol.57 , No.4,pp.327-332

岩崎誠二、地主昭博、松井孝悦、佐伯栄男(2000): 大腸菌群数の定量方法の検討

第 5 章

McCarthy,J.J. and Eppley,R.W.(1972):A comparison of chemical, isotopic, and enzymatic methods for measuring nitrogen assimilation of marine phytoplankton, *Limnology and Oceanography*, 17, 371-382

Mitamura, O, and Saijo, Y. (1980): In situ measurement of the urea decomposition rate and its turnover rate in the Pacific Ocean, *Marine Biology*, 58, 147-152

滝本和人、向井徹雄、松本邦介(1983) : 微量有機汚濁物質の沿岸生態系に及ぼす影響—II 尿素の海域分布と藻類増殖に及ぼす影響、水質汚濁研究、6、105-111

謝辞

1、先生方、秘書の方へ

本研究を行うにあたって、指導教員である鯉淵幸生先生には大変お世話になりました。建築という畑違いの分野から水環境の本研究室に移動してきた私がこうして論文をまとめることが出来たことは、時には優しく時には厳しいご指導で方向性を導いて下さったからです。先生の言葉には力強さがあり、人の心に真っすぐ入ってくる印象でした。先生のお持ちになっている価値観からは学ぶことが多く、お陰様で自分の長所、改善した方が良い欠点が見えました。先生に御馳走して頂いた韓国料理は、二年間の楽しかった思い出と、もう二度と経験したくないような苦しかった思い出と共に、一生忘れ難い味として思い出されます。有難うございました。副指導教員である佐藤弘泰先生にもお世話になりました。佐藤先生の穏やかな人柄や優しいお言葉によく救われました。WESTech 研究室を運営されている磯部雅彦先生、黄光偉先生にもお礼を申し上げます。ゼミや観測、また日々の廊下ですれ違う際にかけて下さる言葉にまで機知やユーモアに富み、優れた知性とは何かを体感することができました。本研究室の秘書である室園英子さんには、事務手続きなどで色々お世話になりました。差し入れで持ってきてくださる手作りの料理によって「ほっぺたが落ちる」という慣用語の使い方を知りました。

2、千葉県庁の方へ

千葉県庁の方々にはインターンシップや、東京湾の観測船に乗せて頂き、お世話になりました。有難うございました。特に小倉久子先生には共著として論文を投稿させて頂いたり、三番瀬で開催されるイベントや三番瀬に関する意見交換場所に連れて頂きました。お陰様で現場に行くことが楽しくなりましたし、干潟は自分自身の中の自然美としてあり続けていることを感じる事が出来ました。

3、WESTech のメンバーへ

WESTech のメンバーにも、一人一人書ききれない大きな感謝の気持ちで一杯です。社会人メンバーである、伊津野さん、鈴木さん、平塚さん、森田さん、石橋さんには飲み会の席などでよく社会人像を語って下さり、今後一社会人として道を歩んで行く私にとって含蓄のあるお話ばかりでした。寺田さん、木村さん、俵山さん、三浦さん、笠松さん、牟田原さん、藤井さん、大久保さん、近藤さん、大城さんには、修士一年時に大変お世話になりました。先輩方と大時化の東京湾で一斉調査を行った時は、リバーシしながらも観測を全うさせようとされる姿には感動しました。あの波の中、平然としておられた磯部先生の強靭さにも驚嘆でした。谷津干潟と一緒に観測に行った斎藤君には AACS の使い方を教えて貰いました。お陰様で、カタカタと AACS の動く音が夢に出てくるくらい、あのカタカタという音を聞き続け、分析をやりきることが出来ました。博士課程の篠原さんは、研究

に対する熱い姿勢が印象深いです。WESTech に入学する前の学校見学に訪れた際、初めてお会いした在校生が篠原さんであり、入学後、他愛のない話をしている時によく、何か深い縁みたいなモノを感じました。神野さんには研究面や学生生活に対する相談にいつも真剣に応えて貰い、一歩先を見据えたアドバイスをかけて下さるので、非常に聡明な方だなと感じていましたし、会話をすることに楽しみを見出すことが出来ました。佐藤さんが掛けて下さる、大丈夫だよという言葉からよく安心感を頂きました。また飲み会の席で、アルコールの入った佐藤さんの在り方が素敵でした。後輩の岡本君、遠藤君、上代君、熊井君、Zhu さんとは一年間でしたが、お台場観測をサポートして貰ったり、研究室で楽しいお話が出来ました。お世話になりました。有難うございました。垣内さんとは二年間一緒に研究することになりましたが、昨年は一緒に良く三番瀬に行きましたね。貝を一杯拾ったことが思い出です。また、垣内さんが専門とされている Deep なアニメの世界の一端を垣間見ることが出来たことは、新領域の掲げる学融合の観点からすると、私に幅広い価値観をもたらせた可能性も示唆されます。同期として入学した砂原さん、多田さん、寺門さんとの二年間には、一言で表せないほどのたくさんの思い出があります。合宿に行ったこと、お酒を飲みまくった日々、お互いの誕生日会を催していたこと、新領域のテニス大会で準優勝したこと、と思い出が修士の学生にあらぬ方向に偏ったかもしれません。しかし、お互いの研究についてアドバイスが出来るレベルに達していませんでしたが、こういう考え方もできるのじゃないのかといったアドバイスはお互いの間にありました。最後の追い込みにおいて精神的に平衡を保てたことは、同期の皆の頑張っている姿に支えられたおかげです。研究面やプライベート面、二年間、紆余曲折がありました。成長したと言えるのは同期の仲間の力が大きかったです。これからは、日々の帰り道に少し話すことさえも出来なくなると考えると寂寞の思いで一杯です。お互いの人生を歩んでいく中で、今後も大切な親友として在りたいと願っています。

謝辞を書いたことで多くの人に支えられ、ご指導やご協力を頂きながら学生生活を送っていたことに気づくことが出来ました。WESTech に在籍した二年間で得た経験と考えたこと、かけて頂いた言葉を胸に抱きながら、今後の人生において、周りの人を支え、信頼される、人のために行動できる人になって行きます。皆様本当に有難うございました。