

### 3. 懸濁物質の沈降特性

渡良瀬貯水池においては、前章で見た通り貯水池水質と底泥が密接に関連している。これは①懸濁物の沈降による栄養塩濃度、クロロフィル-a濃度の低下と、②底泥からの栄養塩回帰による栄養塩濃度、クロロフィル-a濃度の上昇という水質変化の方向として逆向きの2つの過程による影響が相殺された結果として、貯水池水質が変化しているため、環境変化に応じて、いずれかの量が大きくなることでこのような変化特性を示すと考えられる。

貯水池水質と底泥との相互作用について知るには上記の2方向の過程について把握する必要があるが、ここではまず、貯水池水から底泥への物質移動量を把握するため、セディメントトラップを設置して、懸濁物の沈降量の計測を行い、沈降物の組成および量的な特性変化と気象、水文、貯水池水質特性との関係について調査した。捕集された沈降物は、成分組成について解析を行うことで新規に生成された懸濁物と底泥から巻き上がった懸濁物とに分類することを試み、巻き上がり分を差し引いた正味の沈降量の評価を行った。

#### 3. 1 調査概要

現地での沈降物調査は、平成11年9月8日から11月18日まで行った。調査項目は、以下の通りである。

##### ① トラップによる沈降物調査及び分析

セディメントトラップを設置し、捕集された沈降物について、量及び組成分析を行った。

##### ② 浮泥の採取分析

セディメントトラップによる沈降物の捕集の際、同時に底泥表層に存在する流動性の高い部分（以下、浮泥）について、ポンプを用いて吸入採取し、組成分析を行った。

##### ③ 水質分析

上記調査時に貯水池水質について調査し、主に懸濁物の濃度及び組成を分析した。

#### 【調査位置】

調査地点は図3-1-1に示した調査地点において、図3-1-2に示すようなセディメントトラップを設置した。トラップの設置位置は、表層（水面-0.5m）、底層（底面+0.5m）の2層とした。

#### 【調査時期及び頻度】

表層（水面-0.5m）、底層（底面+0.5m）に設置するトラップ調査は、調査期間中に表3-1-1に示す日程で6回行った。トラップ設置時間は24時間としたが、第6回目の調査では、強風のため回収日が一日ずれたため、48時間設置となっている。

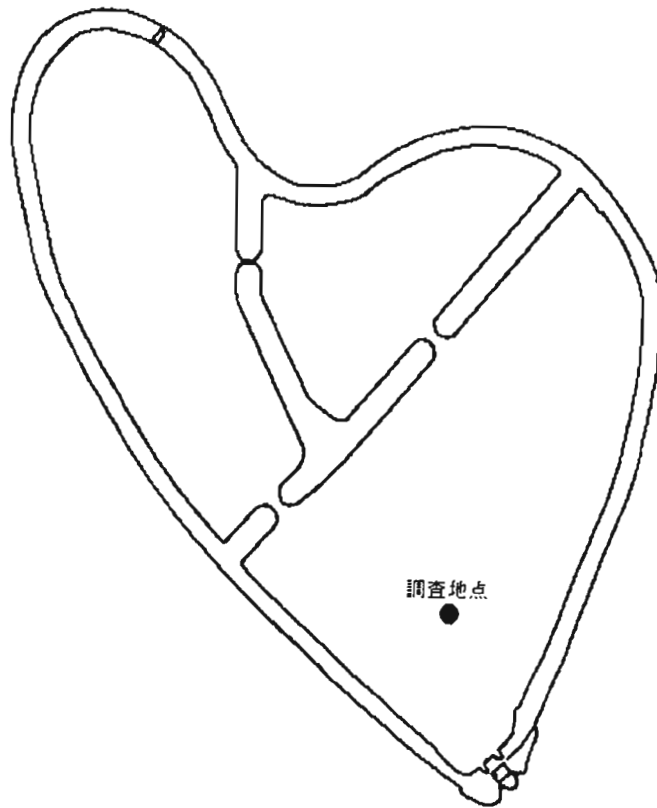


図3-1-1 調査地点図

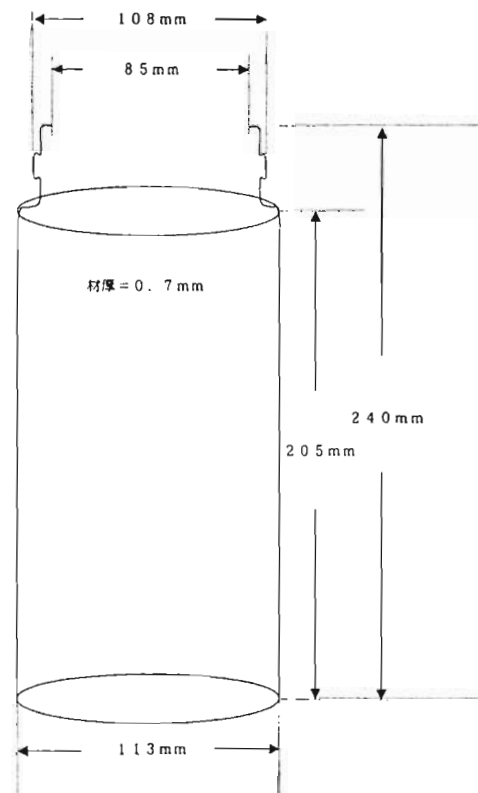
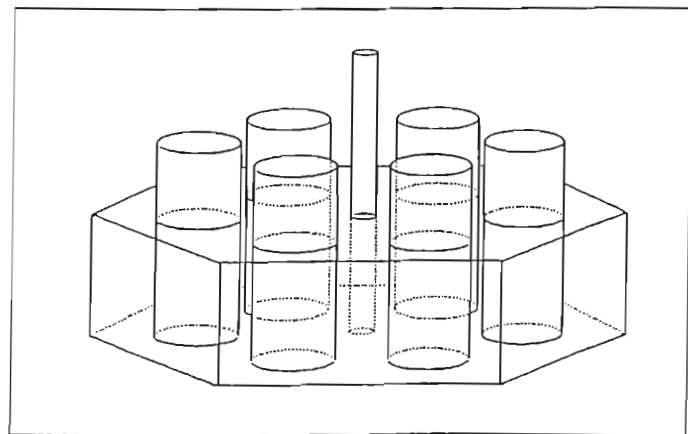


図3-1-2 セディメントトラップ（6連）の概略図及びトラップ形状

表 3 - 1 - 1 沈降物調査日程

回数	設置日	回収日
第1回	1999年9月8日	1999年9月9日
第2回	1999年9月20日	1999年9月21日
第3回	1999年10月4日	1999年10月5日
第4回	1999年10月18日	1999年10月19日
第5回	1999年11月1日	1999年11月2日
第6回	1999年11月15日	1999年11月17日

なお、水質調査はトラップ設置前に、浮泥採取はトラップ回収後に実施した。

【調査方法】

① トラップによる沈降物調査及び分析

トラップによる沈降物調査は、次に示す手順によって従って実施した。

i)セディメントトラップの設置層水深における貯水池水を採水し、現地にて 1 $\mu$ mのガラスフィルターにてろ過操作を行い、懸濁態成分を除去する(トラップ中の懸濁成分の初期値はゼロとみなす)。

ii)ろ過水をトラップ容器に充鎮し、蓋を閉じて、潜水土によりトラップ設置場所に速やかに設置する。その後、蓋を取り調査開始する。

iii)1昼夜(24時間)経過後、潜水土により蓋を閉じ、トラップを回収する。

iv)回収した試料は、低温に保ちながら速やかに実験室に持ち帰り、分析を行う。

v)実験室では、上澄み水を除去し、残りを 1 $\mu$ mガラスフィルターでろ過し、懸濁物について下記の分析を行った。

SS, VSS, TOC, T-N, T-P, T-Fe, クロロフィル-a

② 浮泥の採取分析

トラップ回収後に、ポンプによる吸引で貯水池底から浮泥を採取し、①の v)同様のろ過操作を行った後、下記項目の分析を行った。

SS, VSS, TOC, T-N, T-P, T-Fe, クロロフィル-a

③ 水質調査

沈降物調査に際しては、同時に透明度を計測すると共に、計器観測により、水面下 0.5m 間隔で下記項目を計測した。

水温, DO, 濁度

同時に表層(水面-0.5m)、底層(底面+0.5m)の2水深について採水し、下記項目の分析を行った。試水はトラップ設置層と同じ層から採水したものである。

濁度, pH, DO, SS, VSS, TOC, DOC, T-N,  
T-P, D-T-P, PO<sub>4</sub>-P, クロロフィル-a, T-Fe

### 【分析方法】

上記の水質分析については、表3-1-2に示す方法で行った。

表3-1-2 分析方法

分析項目	分析方法	備考
①及び② (底質分析)		
SS	JIS K0102 14.1	GFC法 (ガラスフィルター法)
VSS	JIS K0102 14.5	600°C強熱法
TOC	土壌標準分析・測定法 15A	CHNコーダー法
T-N	土壌標準分析・測定法 15A	CHNコーダー法
T-P	底質調査法II.19	硝酸・過塩素酸分解法
T-Fe	底質調査法II.10	原子吸光法
クロロフィル-a	海洋観測指針 6.3.2(1999年)	アセトン抽出-吸光光度法
③水質分析		
PH	JIS K0102 12.1	ガラス電極法
DO	JIS K0102 32.1	ウインクラー-アジ化ナトリウム変法
SS	JIS K0102 14.1	GFC法 (ガラスフィルター法)
VSS	JIS K0102 14.5	600°C強熱法
TOC	JIS K0102 22.1	赤外線式 TOC 法
T-N	JIS K0102 45.4	Cu-Cd カラム還元法
T-P	JIS K0102 46.3	ペルオキシ二硫酸カリウム分解法
PO <sub>4</sub> -P	JIS K0102 46.1	アスコルビン酸還元モリブデン青吸光光度法
クロロフィル-a	海洋観測指針 6.3.2(1999年)	アセトン抽出-吸光光度法

## 3. 2 調査結果

### 3. 2. 1 水質分析結果

水質分析結果を表3-2-1と図3-2-1に示す。調査期間中、表面水温は28°Cから15°Cに低下している。表層と底層との水温差は最大2°C程度であった。9月～10月初旬までは、表層と底層で上記のような水温差が見られたが、10月中旬以降は上層と底層が完全に混合状態となり、水温差はほとんど見られなくなった (図3-2-1(1))。pHについては、水温差があった9月～10月初旬までは、表層での光合成が盛んな分表層でのpHが高い値を示していた (図3-2-1(1))。DOも水温分布に呼応しており、9月～10月初旬までは、表層部は10mg/L程度でほぼ飽和濃度に達していたのに対し、底層部は最低6mg/L程度であった。一方、水温の鉛直分布に差が見られなくなった10月中旬以降は、DOについても表層と底層での差が見られなくなっている (図3-2-1(1))。濁度は、水深の浅い9月時点では40度と比較的高い値を示しているが、制限水位が解除される10月からの水位上昇に伴い、20度程度まで低減した (図3-2-1(1))。SSは表層で8～14mg/L、底層で11～18mg/Lであり、底層で

若干高い傾向があった(図 3-2-1(1))。VSS は表層で 3~8mg/L、底層で 3~6mg/L であり、表層で高い傾向が見られ、有機物を多く含む懸濁物の割合が高いことが示唆されている(図 3-2-1(1))。

T-N は表層で 0.95~1.33mg/L、底層で 0.92~1.62mg/L であり、表層、底層で顕著な差は見られなかったが、10月1日から始まった取水(河川からの流入)により窒素濃度の高い河川水が底層に流入したと見られ、底層で高濃度を示した(図 3-2-1(2))。T-P の範囲は 0.052~0.109mg/L の範囲であり、表層と底層の差はほとんど見られないが、調査期間を通じて減少傾向にあった(図 3-2-1(2))。D-T-P は 0.012~0.037mg/L の範囲であり、第 1 回目(9/8)の調査を除けば、表層と底層にほとんど差は見られなかった(図 3-2-1(2))。PO<sub>4</sub>-P は第 1 回(9/8)、第 4 回(10/18)の調査では表層と底層とでほとんど差が見られないが、第 2 回(9/20)、第 3 回(10/4)の調査では下層部で高い値を示していた(図 3-2-1(2))。

TOC、DOC については、同様な挙動を示しており、第 3 回(10/4)の調査以外は表層、底層でほぼ同程度の値を示していた(図 3-2-1(3))。クロロフィル-a は第 1 回~第 3 回(9/8~10/4)にかけては表層部で 60μg/L 程度の値を示していたが、第 4 回(10/18)には 45μg/L まで低下した。また、10/4 は表層と底層で差が見られるものの、他の調査日は表層と底層で差が見られないのは、TOC の挙動と同じであった(図 3-2-1(3))。全鉄は表層が 0.1mg/L 以下、底層が 0.1~0.2mg/L 程度であり、底層部が高くなっていた(図 3-2-1(3))。

図 3-2-2 に利根川上流工事事務所による定期水質調査結果と、今回の調査における水質調査結果の比較を示す。両者の間には特に大きな差異は認められず、水質調査について妥当な結果であったことを示す結果となった。

### 3. 2. 2 沈降物及び浮泥分析結果

沈降物及び浮泥分析結果を表 3-2-2 に、表層部、底層部に設置したセディメントトラップに捕集された沈降物の単位時間当たり、単位面積当たりの量について図 3-2-3 にそれぞれ示す。

概して表層部よりも底層部に設置したトラップの方が沈降物が多い傾向が見られる。また、第 6 回目の調査においては、回収日が強風のため設置から 2 日後の回収となったものである。結果を見ると、単位時間当たりの沈降物量の値は第 1 回目とほぼ同じかそれ以上となっている。この時期は水深が深くなっている時期ではあるが、強風により底泥が巻き上がったことが伺える結果となっている。

水質分析のために採水したサンプルの懸濁物、セディメントトラップに捕集された沈降物、及び底泥表層の組成(含量)の測定結果一覧を表 3-2-3 に示す。水質分析サンプルの懸濁物の組成算定は、窒素、リン、炭素については、粒子態濃度を SS 濃度で除することにより懸濁物中の含量として求めた。ただし窒素については、本調査において T-N しか分析しなかったことから、図 3-2-3(2) に示した定期調査の結果を用いて粒子態濃度を推定した。すなわち、9 月には無機態窒素(硝酸、亜硝酸、アンモニア態窒素の合計で表される)がほとんど検出されていないことから、窒素の全てが粒子態とし、10 月以



表3-2-1(1) 水質調査結果

9月8日 採水

分析項目	表層	底層
pH	9.2	8.8
DO (mg/L)	10.4	8.0
濁度 (度)	39	36
SS (mg/L)	14	14
VSS (mg/L)	8	6
T-N (mg/L)	1.00	0.93
T-P (mg/L)	0.109	0.104
D-T-P (mg/L)	0.037	0.025
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	0.006	0.006
TOC (mg/L)	6.7	6.4
DOC (mg/L)	3.4	3.5
クロロフィル (μg/L)	58.7	61.4
全鉄 (mg/L)	<0.1 (0.09)	0.1

参考値

沈降物等T-Nのケルダール法による値

	沈降物		浮泥
	表層	底層	
T-N (mg/g)	0.29	2.67	0.01

表3-2-2(1) 沈降物・浮泥調査結果

9月8日 設置 9月9日 回収

分析項目	沈降物		浮泥
	表層	底層	
垂下時間(hr)	24	24	—
トラップ内の総水量(L)	13.9	14.0	—
トラップ開口部の総面積(cm <sup>2</sup> )	326	329	—
SS	濃度 (mg/L)	76.0	223
	総量 (g)	1.06	3.11
	単位面積当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> )	32	95
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	32.43	94.59
VSS	濃度 (mg/L)	18.1	29.1
	含有量 (mg/g)	9.36	5.80
	堆積量 (mg)	9.89	18.1
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	304	549
T-N	単位面積・時間当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> /d)	303.58	548.64
	含有量 (mg/g)	1.92	1.33
	堆積量 (mg)	2.03	4.14
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	62.3	126
T-P	単位面積・時間当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> /d)	62.27	125.81
	含有量 (mg/g)	65.1	40.4
	堆積量 (mg)	68.8	126
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	2111	3822
TOC	単位面積・時間当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> /d)	2111.41	3821.56
	含有量 (mg/g)	1.01	0.301
	堆積量 (mg)	1.07	0.937
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	32.8	28.5
クロロフィル	単位面積・時間当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> /d)	32.76	28.47
	含有量 (mg/g)	14.1	55.0
	堆積量 (mg)	14.9	171
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	457	5203
全鉄	単位面積・時間当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> /d)	457.31	5202.61

含有量は乾泥当りの値 T-NはCHNコーダーによる値

表3-2-1(2) 水質調査結果

9月20日 採水

分析項目	表層	底層
pH	8.9	8.0
DO (mg/L)	9.5	6.6
濁度 (度)	43	41
SS (mg/L)	14	18
VSS (mg/L)	6	6
T-N (mg/L)	0.95	0.92
T-P (mg/L)	0.094	0.101
D-T-P (mg/L)	0.019	0.020
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	0.006	0.012
TOC (mg/L)	6.4	5.9
DOC (mg/L)	3.5	3.4
クロロフィル (μg/L)	66.7	64.0
全鉄 (mg/L)	0.1	0.2

参考値

沈降物等T-Nのケルダール法による値

	沈降物		浮泥
	表層	底層	
T-N (mg/g)	12.3	7.57	3.78

表3-2-2(2) 沈降物・浮泥調査結果

9月20日 設置 9月21日 回収

分析項目	沈降物		浮泥	
	表層	底層		
垂下時間(hr)	24	24	—	
トラップ内の総水量(L)	13.9	13.9	—	
トラップ開口部の総面積(cm <sup>2</sup> )	326	329	—	
SS	上澄み液濃度 (mg/L)	11.0	13.0	980
	沈殿液濃度 (mg/L)	5400	21000	—
	総量 (g)	1.26	2.28	—
	単位面積当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> )	39	69	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	38.76	69.29	—
VSS	沈殿液濃度 (mg/L)	1000	3000	97
T-N	含有量 (mg/g)	8.01	5.51	3.71
	堆積量 (mg)	10.1	12.6	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	310	382	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	310.4	381.8	—
T-P	含有量 (mg/g)	4.00	1.60	1.11
	堆積量 (mg)	5.05	3.65	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	155	111	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	155.03	110.87	—
TOC	含有量 (mg/g)	53.3	39.4	27.6
	堆積量 (mg)	67.3	89.8	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	2066	2730	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	2065.7	2730	—
クロロフィル	含有量 (mg/g)	0.735	0.360	0.067
	堆積量 (mg)	0.929	0.821	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	28.5	24.9	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	28.49	24.95	—
全鉄	含有量 (mg/g)	34.2	39.1	37.2
	堆積量 (mg)	43.2	89.1	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	1325	2709	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	1325.5	2709	—

含有量は乾泥当りの値 T-NはCHNコーダーによる値

表3-2-1(3) 水質調査結果

10月4日 採水

分析項目	表層	底層
pH	8.8	7.8
DO (mg/L)	10.0	7.7
濁度 (度)	37	23
SS (mg/L)	14	11
VSS (mg/L)	6	3
T-N (mg/L)	1.21	1.62
T-P (mg/L)	0.080	0.080
D-T-P (mg/L)	0.016	0.016
PO4-P (mg/L)	0.005	0.012
TOC (mg/L)	6.1	3.4
DOC (mg/L)	3.0	2.1
クロロフィル ( $\mu\text{g/L}$ )	64.9	29.3
全鉄 (mg/L)	0.1	0.2

表3-2-2(3) 沈降物・浮泥調査結果

10月4日 設置 10月5日 回収

分析項目	沈降物		浮泥	
	表層	底層		
垂下時間(hr)	24	24	—	
トラップ内の総水量(L)	13.9	13.9	—	
トラップ開口部の総面積( $\text{cm}^2$ )	326	329	—	
SS	上澄み液濃度 (mg/L)	11	8	3400
	沈殿液濃度 (mg/L)	4500	8700	
	総量 (g)	0.73	1.69	—
	単位面積当り堆積量 ( $\text{g/m}^2$ )	22	51	—
	単位面積・時間当り堆積量 ( $\text{g/m}^2/\text{d}$ )	22.32	51.47	—
VSS	沈殿液濃度 (mg/L)	1000	1300	310
T-N	含有量 (mg/g)	11.0	6.25	2.63
	堆積量 (mg)	8.0	10.6	—
	単位面積当り堆積量 ( $\text{mg/m}^2$ )	246	322	—
	単位面積・時間当り堆積量 ( $\text{g/m}^2/\text{d}$ )	245.5	321.7	—
T-P	含有量 (mg/g)	2.42	2.14	1.00
	堆積量 (mg)	1.76	3.62	—
	単位面積当り堆積量 ( $\text{mg/m}^2$ )	54	110	—
	単位面積・時間当り堆積量 ( $\text{g/m}^2/\text{d}$ )	54.02	110.14	—
TOC	含有量 (mg/g)	69.9	47.1	21.8
	堆積量 (mg)	50.9	79.8	—
	単位面積当り堆積量 ( $\text{mg/m}^2$ )	1560	2424	—
	単位面積・時間当り堆積量 ( $\text{g/m}^2/\text{d}$ )	1560.2	2424	—
クロロフィル	含有量 (mg/g)	2.11	0.776	0.247
	堆積量 (mg)	1.53	1.31	—
	単位面積当り堆積量 ( $\text{mg/m}^2$ )	46.9	39.8	—
	単位面積・時間当り堆積量 ( $\text{g/m}^2/\text{d}$ )	46.93	39.82	—
全鉄	含有量 (mg/g)	64.0	51.7	36.3
	堆積量 (mg)	46.6	87.5	—
	単位面積当り堆積量 ( $\text{mg/m}^2$ )	1429	2661	—
	単位面積・時間当り堆積量 ( $\text{g/m}^2/\text{d}$ )	1428.5	2661	—

含有量は乾泥当りの値 T-NはCHNコーダーによる値



表3-2-1(4) 水質調査結果

10月18日 採水

分析項目	表層	底層
pH	8.8	8.4
DO (mg/L)	9.6	8.1
濁度 (度)	23	24
SS (mg/L)	8	11
VSS (mg/L)	3	3
T-N (mg/L)	1.33	1.26
T-P (mg/L)	0.056	0.052
D-T-P (mg/L)	0.013	0.012
PO4-P (mg/L)	<0.005 (0.001)	<0.005 (0.001)
TOC (mg/L)	4.3	3.7
DOC (mg/L)	2.3	2.2
クロロフィル ( $\mu$ g/L)	45.8	36.0
全鉄 (mg/L)	<0.1 (0.08)	0.1

表3-2-2(4) 沈降物・浮泥調査結果

10月18日 設置 10月19日 回収

分析項目	沈降物		浮泥	
	表層	底層		
垂下時間(hr)	24	24	—	
トラップ内の総水量(L)	13.9	13.9	—	
トラップ開口部の総面積(cm <sup>2</sup> )	326	329	—	
SS	上澄み液濃度 (mg/L)	9	8	6400
	沈殿液濃度 (mg/L)	12000	23000	
	総量 (g)	1.94	2.96	—
	単位面積当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> )	59	90	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	59.38	90.04	—
VSS	沈殿液濃度 (mg/L)	1700	2700	580
T-N	含有量 (mg/g)	5.70	4.47	2.44
	堆積量 (mg)	11.0	13.2	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	338	402	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	338.5	402.5	—
T-P	含有量 (mg/g)	1.15	1.07	1.16
	堆積量 (mg)	2.23	3.17	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	68	96	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	68.29	96.34	—
TOC	含有量 (mg/g)	39.7	32.8	19.6
	堆積量 (mg)	76.9	97.2	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	2357	2953	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	2357.4	2953	—
クロロフィル	含有量 (mg/g)	1.15	0.914	0.219
	堆積量 (mg)	2.22	2.70	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	68.1	82.1	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	68.10	82.07	—
全鉄	含有量 (mg/g)	38.4	33.8	38.7
	堆積量 (mg)	74.3	100.1	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	2280	3043	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	2280.2	3043	—

含有量は乾泥当りの値 T-NはCHNコーダーによる値

表3-2-1(5) 水質調査結果

11月1日 採水

分析項目	表層	底層
pH	8.6	8.6
DO (mg/L)	9.6	9.6
濁度 (度)	21	21
SS (mg/L)	9	8
VSS (mg/L)	3	3
T-N (mg/L)	1.28	1.27
T-P (mg/L)	0.046	0.047
D-T-P (mg/L)	0.011	0.009
PO4-P (mg/L)	<0.005 (0.001)	<0.005 (0.001)
TOC (mg/L)	4.0	3.7
DOC (mg/L)	2.1	2.1
クロロフィル ( $\mu$ g/L)	37.3	36.0
全鉄 (mg/L)	0.1	0.1

表3-2-2(5) 沈降物・浮泥調査結果

11月1日 設置 11月2日 回収

分析項目	沈降物		浮泥
	表層	底層	
垂下時間(hr)	24	24	—
トラップ内の総水量(L)	14.0	14.0	—
トラップ開口部の総面積(cm <sup>2</sup> )	326	329	—
SS 上澄み液濃度 (mg/L)	4	3	2300
沈殿液濃度 (mg/L)	5500	16000	
総量 (g)	1.18	2.12	—
単位面積当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> )	36	64	—
単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	36.27	64.48	—
VSS 沈殿液濃度 (mg/L)	800	2100	210
T-N 含有量 (mg/g)	6.11	5.20	2.25
堆積量 (mg)	7.2	11.0	—
単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	222	335	—
単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	221.5	333.6	—
T-P 含有量 (mg/g)	1.81	1.26	0.46
堆積量 (mg)	2.14	2.67	—
単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	66	81	—
単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	65.52	81.12	—
TOC 含有量 (mg/g)	43.6	40	20.0
堆積量 (mg)	51.6	84.9	—
単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	1581	2579	—
単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	1579.2	2568	—
クロロフィル 含有量 (mg/g)	0.76	0.403	0.044
堆積量 (mg)	0.89	0.85	—
単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	27.3	25.8	—
単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	27.12	25.68	—
全鉄 含有量 (mg/g)	33.1	33.7	27.3
堆積量 (mg)	39.1	71.5	—
単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	1201	2173	—
単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	1200.0	2172	—

含有量は乾泥当りの値 T-NはCHNコーダーによる値

表3-2-1(6) 水質調査結果

11月15日 採水

分析項目	表層	中層	底層
	0.5m	1/2水深	B+0.5m
pH	8.5	8.5	8.4
DO (mg/L)	10.1	9.9	10.0
濁度 (度)	22	18	23
SS (mg/L)	7	6	8
VSS (mg/L)	3	2	2
T-N (mg/L)	1.20	1.18	1.17
T-P (mg/L)	0.045	0.044	0.045
D-T-P (mg/L)	0.011	0.012	0.011
PO4-P (mg/L)	<0.005 (0.002)	<0.005 (0.001)	<0.005 (0.001)
TOC (mg/L)	4.1	3.9	4.1
DOC (mg/L)	2.5	2.4	2.3
クロロフィル ( $\mu$ g/L)	32.0	28.9	24.0
全鉄 (mg/L)	0.1	0.1	0.1

表3-2-2(6) 沈降物・浮泥調査結果

11月15日 設置      11月17日 回収

分析項目	沈降物		浮泥	
	表層	底層		
垂下時間(hr)	48	48	—	
トラップ内の総水量(L)	13.1	13.9	—	
トラップ開口部の総面積(cm <sup>2</sup> )	326	329	—	
SS	上澄み液濃度 (mg/L)	6	5	7100
	沈殿液濃度 (mg/L)	33000	55000	
	総量 (g)	3.91	8.70	—
	単位面積当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> )	120	265	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	59.91	132.28	—
VSS	沈殿液濃度 (mg/L)	3700	6100	650
T-N	含有量 (mg/g)	3.45	3.91	2.17
	堆積量 (mg)	13.5	34.0	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	413	1034	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	206.6	516.0	—
T-P	含有量 (mg/g)	1.04	1.09	0.99
	堆積量 (mg)	4.06	9.49	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	125	288	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	62.16	144.00	—
TOC	含有量 (mg/g)	30.9	32	18.6
	堆積量 (mg)	120.7	278.5	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	3702	8466	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	1850.4	4224	—
クロロフィル	含有量 (mg/g)	0.111	0.090	0.012
	堆積量 (mg)	0.43	0.78	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	13.2	23.7	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	6.58	11.83	—
全鉄	含有量 (mg/g)	34.0	40.2	35.5
	堆積量 (mg)	132.8	349.9	—
	単位面積当り堆積量 (mg/m <sup>2</sup> )	4074	10635	—
	単位面積・時間当り堆積量 (g/m <sup>2</sup> /d)	2035.2	5304	—

含有量は乾泥当りの値

T-NはCHNコーダーによる値

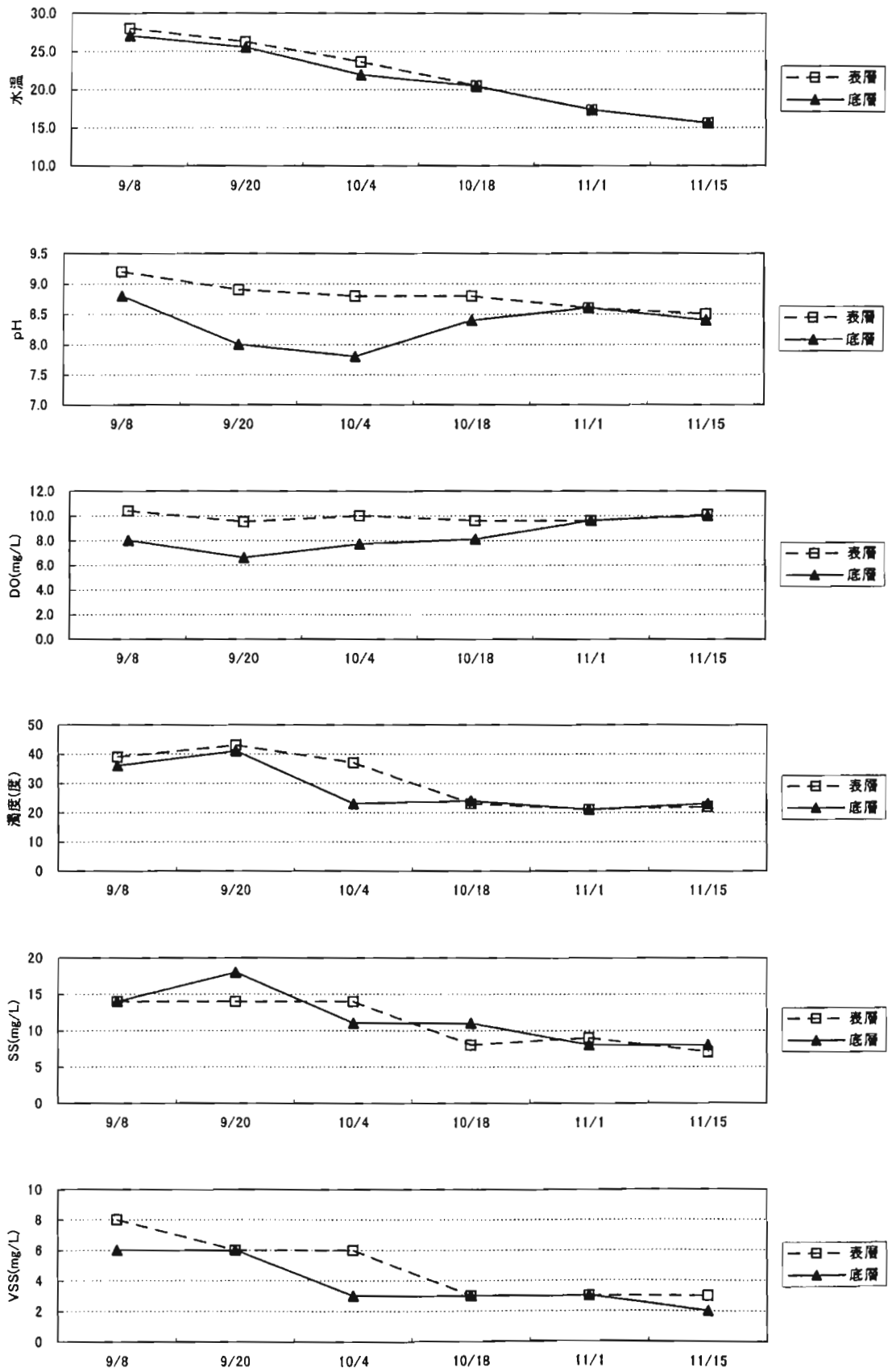


図3-2-1(1) 水質変化図

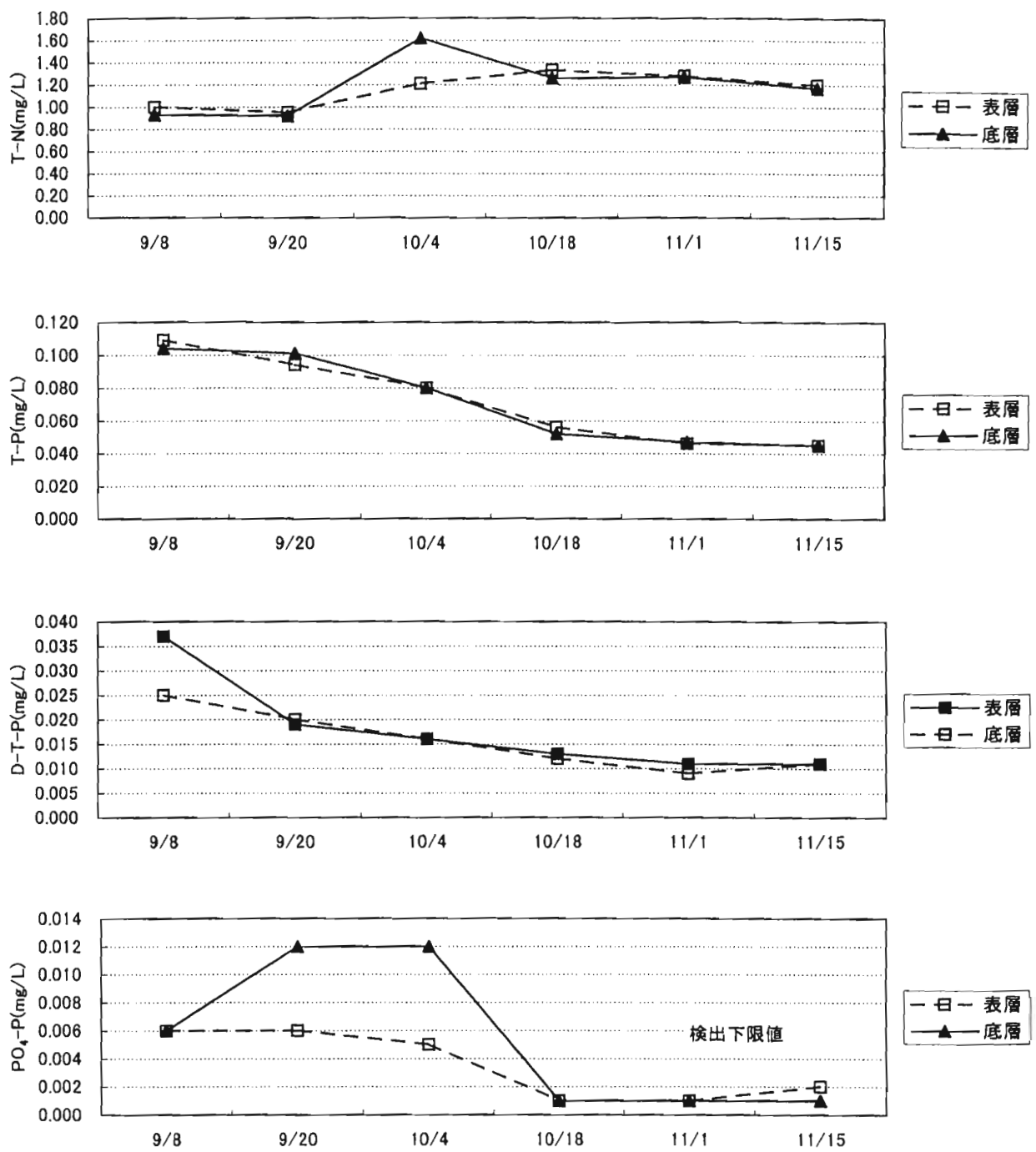


図3-2-1(2) 水質変化図



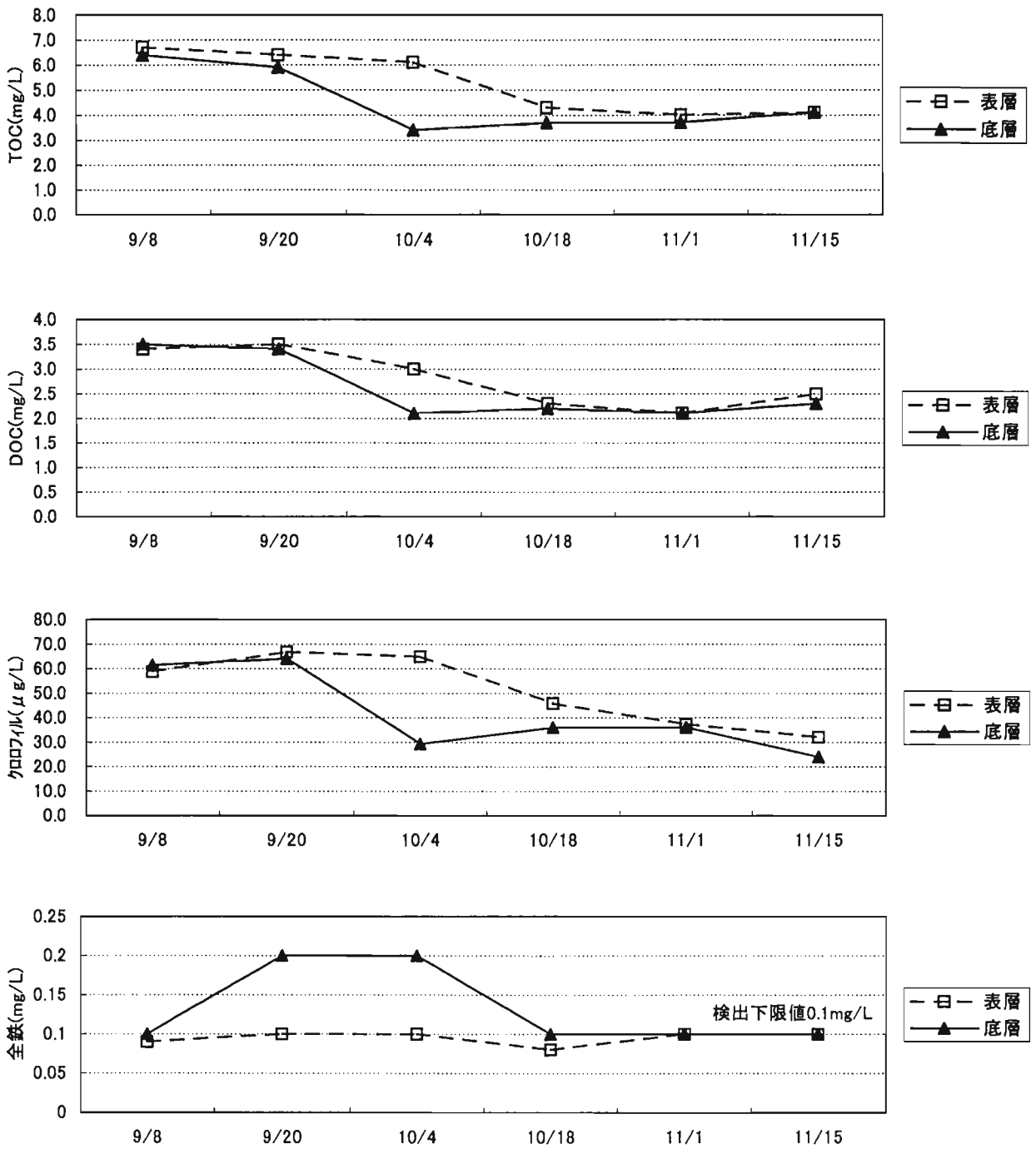


図3-2-1(3) 水質変化図

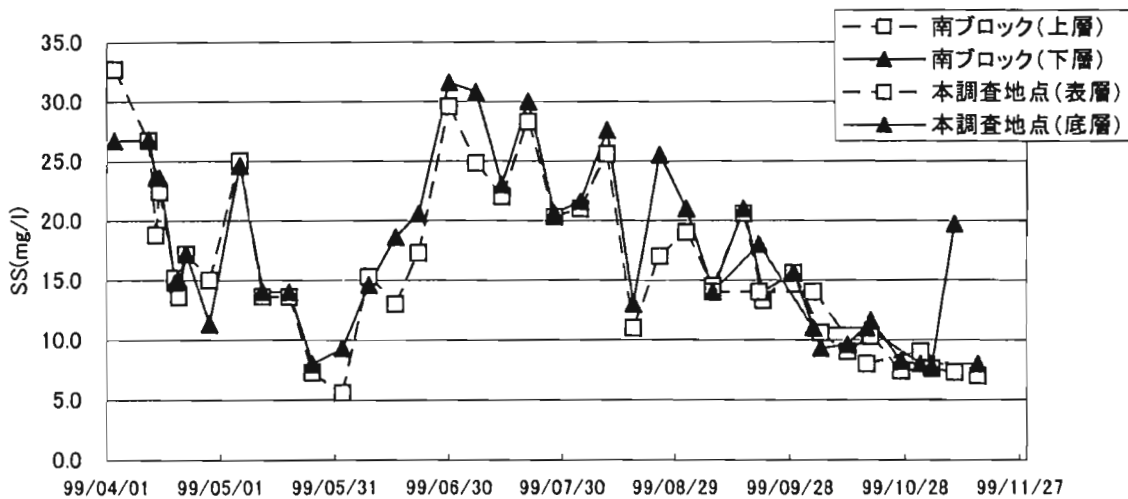
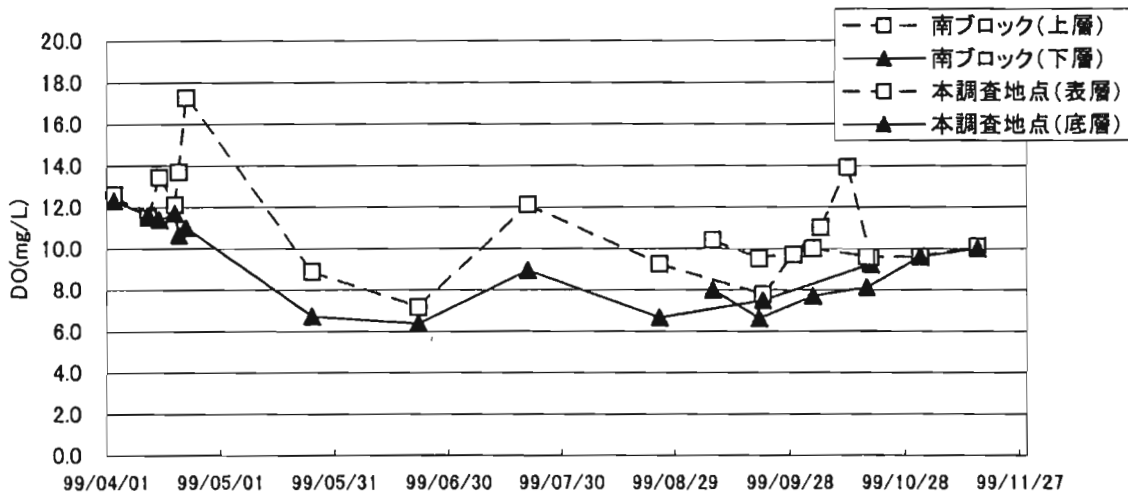
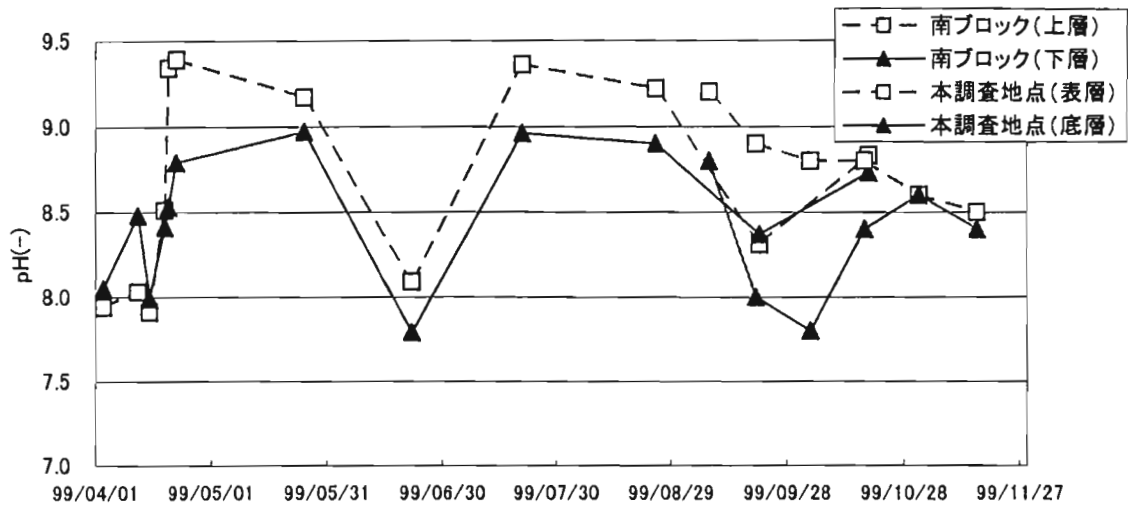


図3-2-2(1) 定期調査(南ブロック)と本調査地点との比較

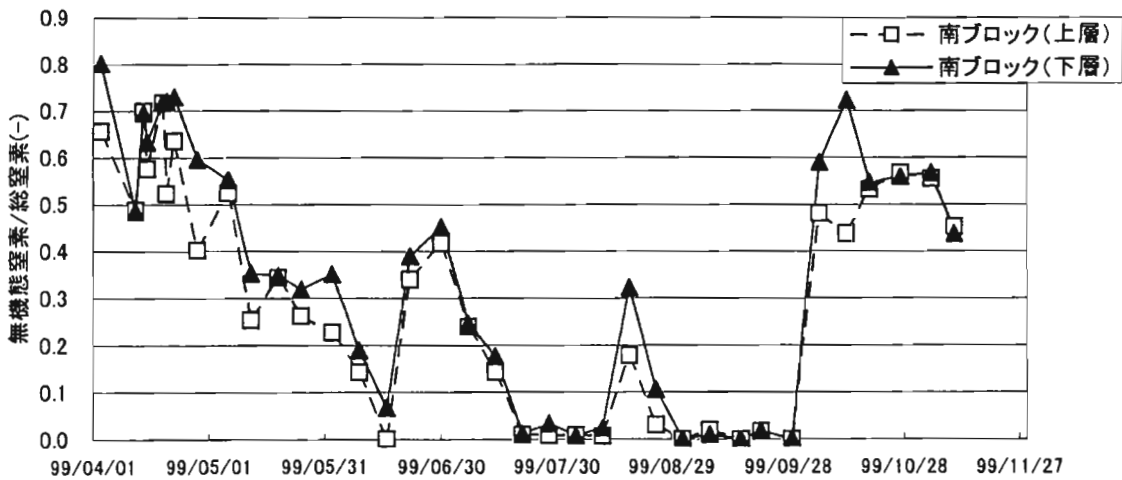
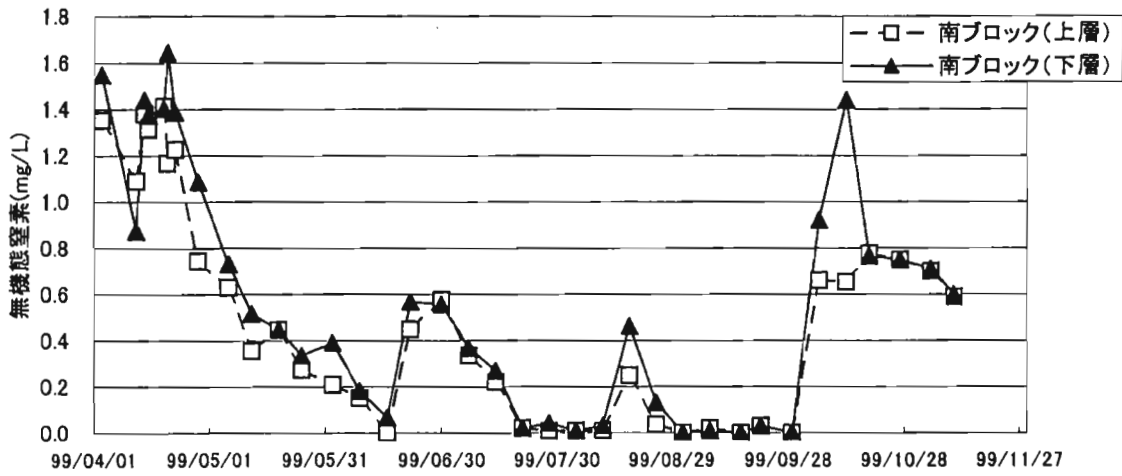
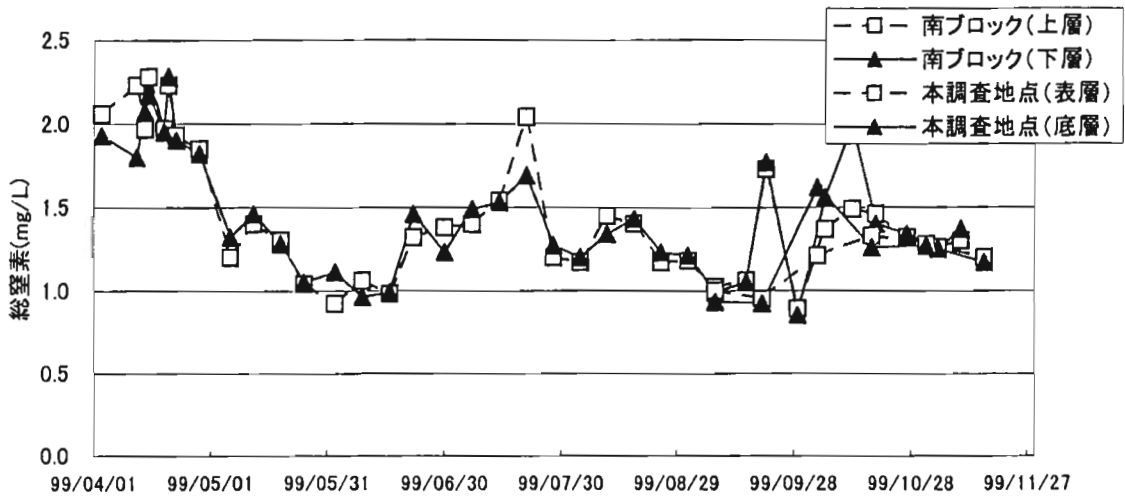


図3-2-2(2) 定期調査(南ブロック)と本調査地点との比較

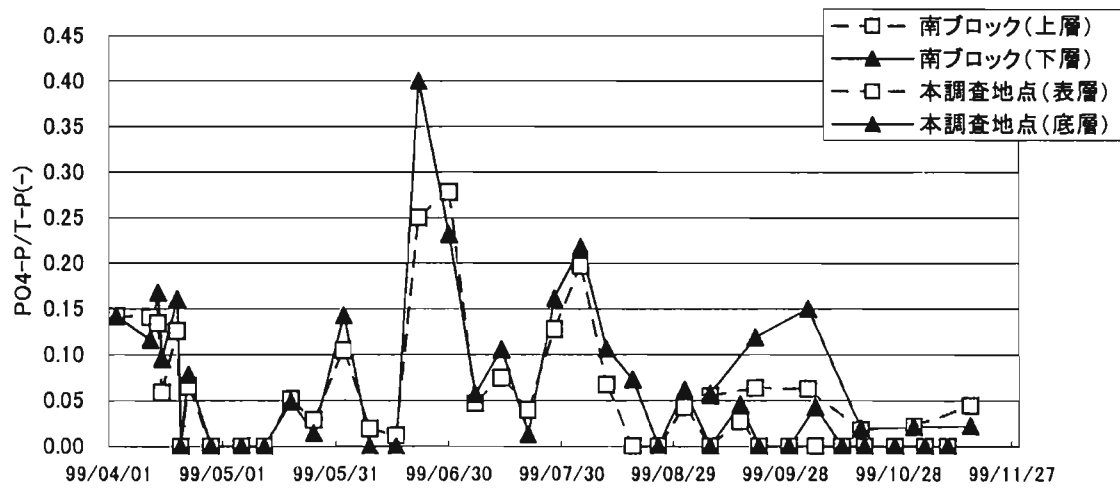
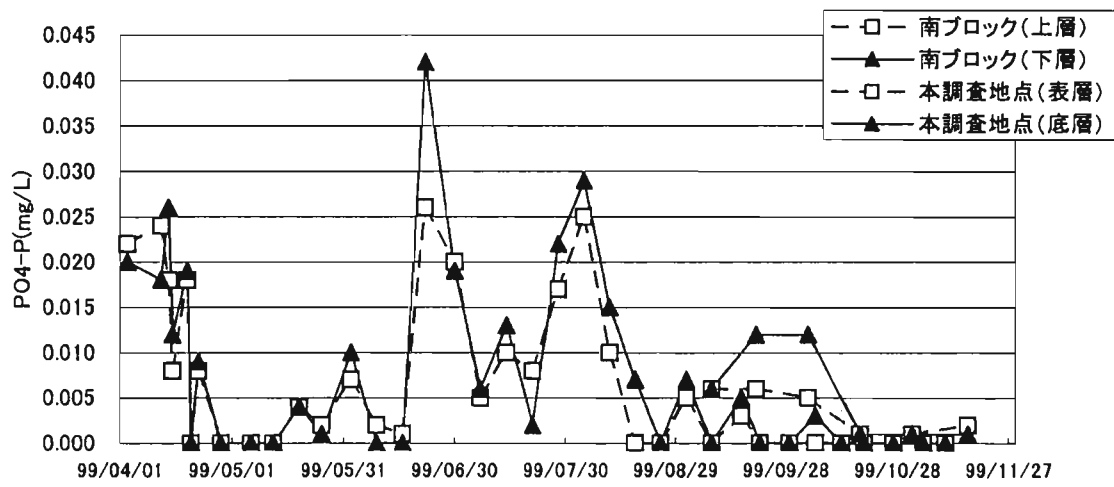
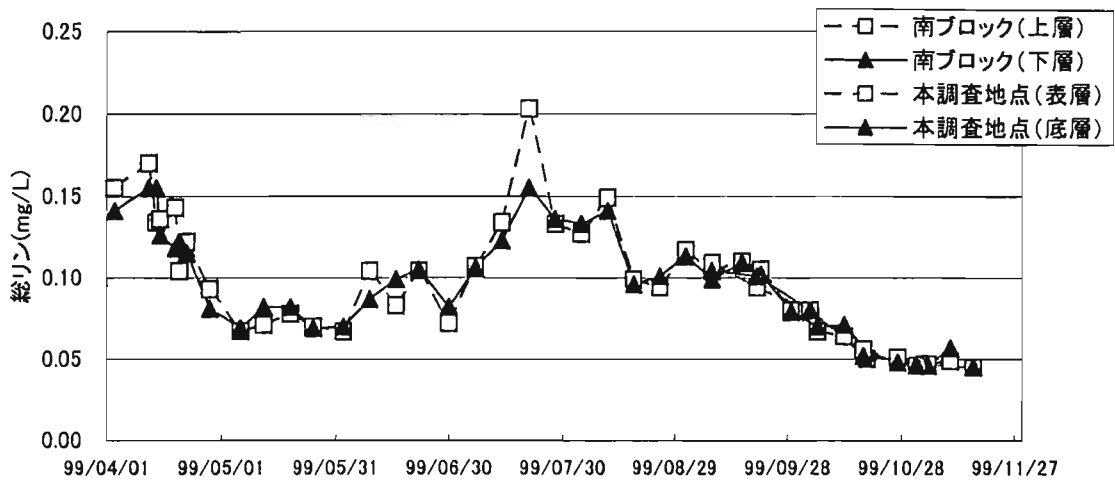


図3-2-2(3) 定期調査(南ブロック)と本調査地点との比較

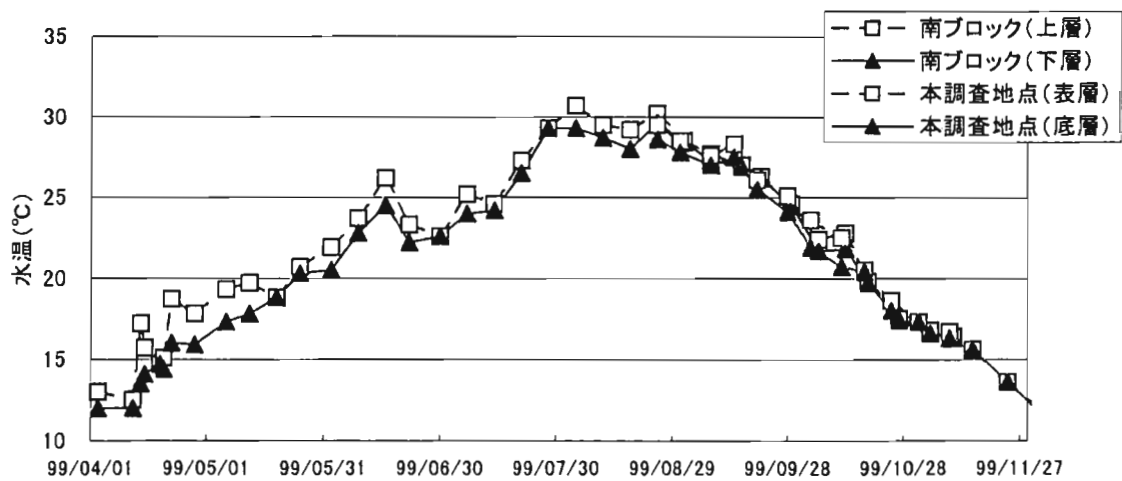
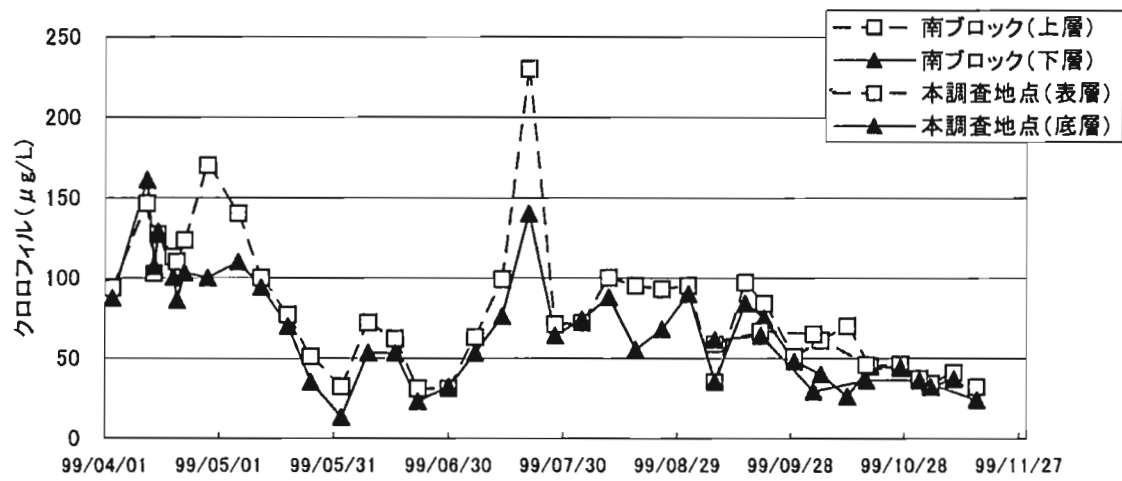
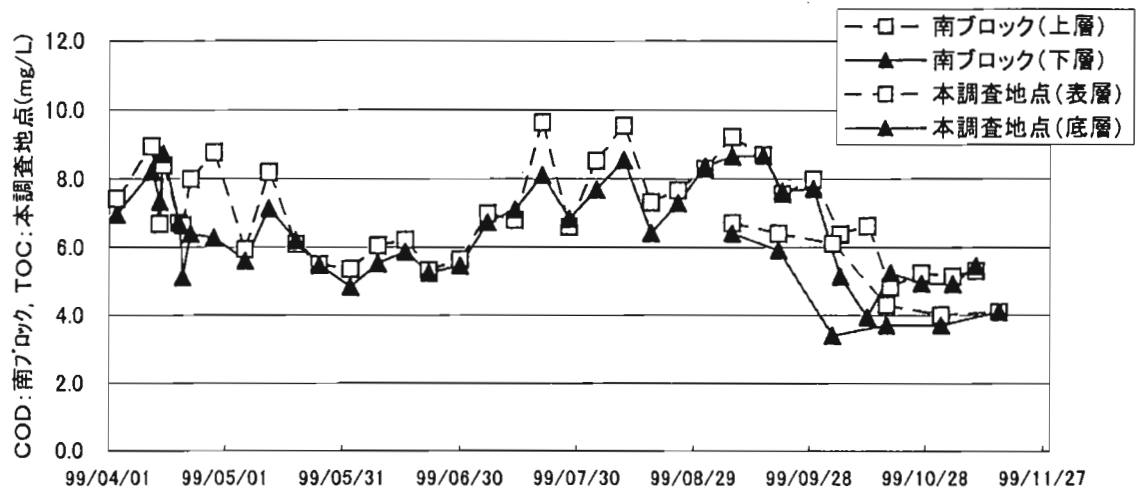


図3-2-2(4) 定期調査(南ブロック)と本調査地点との比較



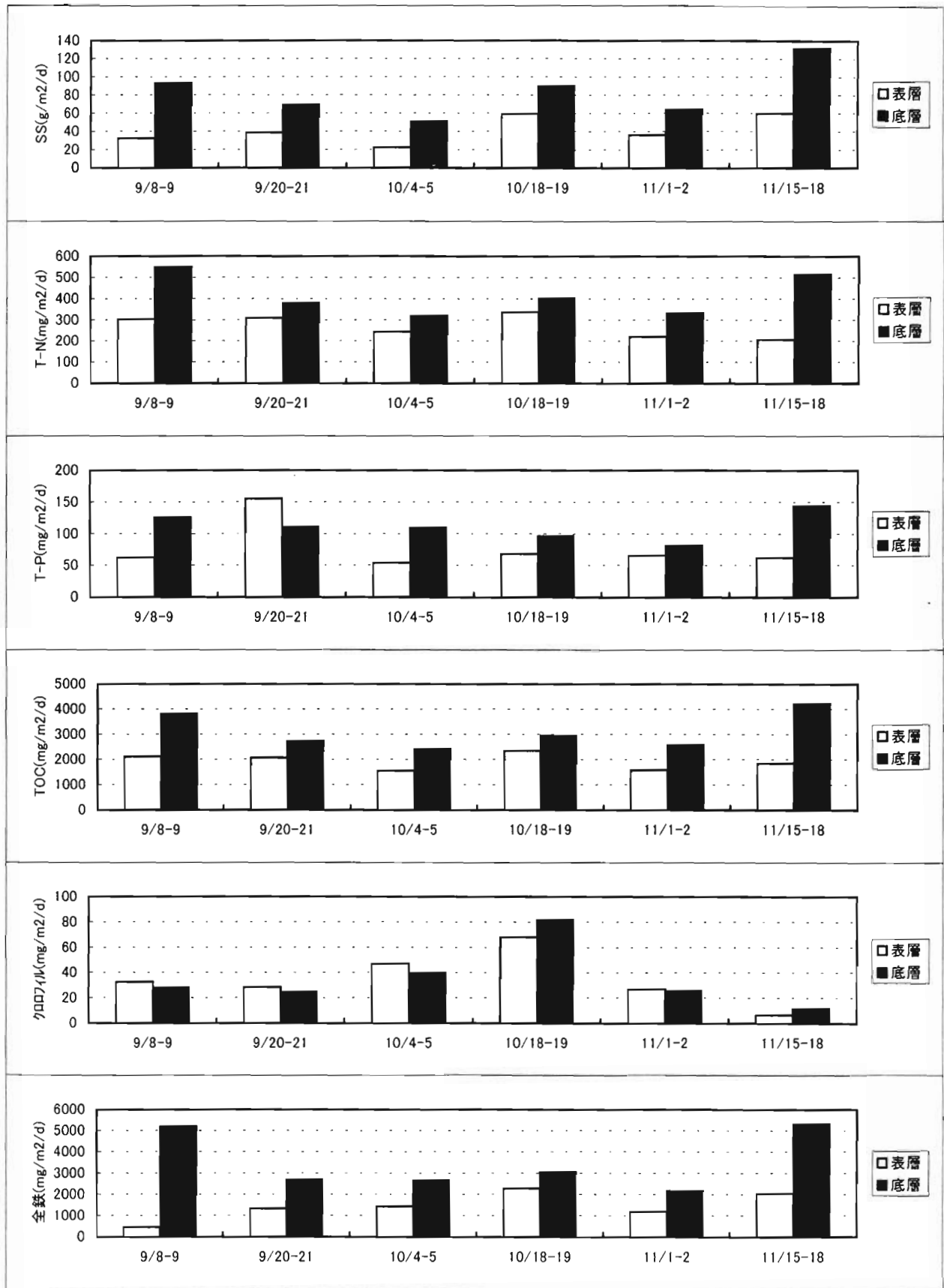


図3-2-3 単位時間・単位面積当たりの沈降水量

降については、表層でほぼ 50%、底層で 55%が無機態窒素であったと考えられるため、表層で 50%、底層で 45%が粒子態窒素の割合とし、この割合を T-N に乗することで粒子態窒素濃度とした。表 3-2-3 には生物生産に関連が強く重要な項目である窒素 (N)、リン (P)、炭素 (C)、クロロフィル-a (Chl-a) についての計測結果を示しているが、すべての項目で含有量が多い順に水中懸濁物、捕集沈降物、底泥表層となっている。また、表層での値が底層でのものより高くなっている。表層懸濁物は、底層懸濁物に比べて底泥の巻き上げの影響が少ないため、植物性プランクトンにより生産された新生懸濁物の組成に最も近いものと考えられ、このため、N, P, C, Chl-a すべての項目で最も高い値を示す結果となったと考えられる。

また、例えば窒素(N)について見ると水中懸濁物では表層において平均値が 70.4(mg/g)であるのに対し、捕集沈降物では表層のトラップに捕集されたものでも 7.27(mg/g)とおおよそ 1/10 になっている。この値は、むしろ底泥表層での含量の平均値 2.73(mg/g)に近いものとなっていた。水中懸濁物の含量と底泥表層での含量の比について見ると、概ね N では 1/25、P では 1/5、C では 1/10、クロロフィル-a では 1/25 となっている。水中懸濁物と表層底泥では組成の量のみならず組成比についても異なっていることが示された。

クロロフィル-a の含量は、水中懸濁物と底泥表層で約 25 倍の差があり、式(3.2.1)により捕集沈降物中の新生沈降物比を求めるための分離指標として適当であると言える。

表 3-2-3 懸濁物、捕集沈降物、底泥の組成 (含量) 一覧

			9月9日	9月21日	10月5日	10月19日	11月2日	11月17日	平均	標準偏差
N (mg/g)	水中懸濁物	表層	71.4	67.9	43.2	83.1	71.1	85.7	70.4	15.1
		底層	66.4	51.1	66.3	51.5	71.4	65.8	62.1	8.6
	捕集沈降物	表層	9.36	8.01	11.00	5.70	6.11	3.45	7.27	2.73
		底層	5.80	5.51	6.25	4.47	5.20	3.91	5.19	0.87
	底泥表層	浮泥	3.20	3.71	2.63	2.44	2.25	2.17	2.73	0.60
P (mg/g)	水中懸濁物	表層	5.14	5.36	4.57	5.38	3.89	4.86	4.87	0.57
		底層	5.64	4.50	5.82	3.64	4.75	4.25	4.77	0.84
	捕集沈降物	表層	1.92	4.00	2.42	1.15	1.81	1.04	2.06	1.08
		底層	1.33	1.60	2.14	1.07	1.26	1.09	1.42	0.40
	底泥表層	浮泥	0.95	1.11	1.00	1.16	0.46	0.99	0.94	0.25
C (mg/g)	水中懸濁物	表層	236	207	221	250	211	229	226	16.0
		底層	207	139	118	136	200	225	171	44.9
	捕集沈降物	表層	65.1	53.3	69.9	39.7	43.6	30.9	50.4	15.1
		底層	40.4	39.4	47.1	32.8	40.0	32.0	38.6	5.57
	底泥表層	浮泥	24.4	27.6	21.8	19.6	20.0	18.6	22.0	3.42
Chl-a (mg/g)	水中懸濁物	表層	4.19	4.76	4.64	5.73	4.14	4.57	4.67	0.57
		底層	4.39	3.56	2.66	3.27	4.50	3.00	3.56	0.74
	捕集沈降物	表層	1.01	0.74	2.11	1.15	0.76	0.11	0.98	0.66
		底層	0.30	0.36	0.78	0.91	0.40	0.09	0.47	0.31
	底泥表層	浮泥	0.51	0.07	0.25	0.22	0.04	0.01	0.18	0.18

### 3. 2. 3 捕集沈降物中の新生沈降物比

セディメントトラップに捕集された沈降物については、貯水池が浅いこともあり、一旦沈降した後、風等によって底泥から巻き上がったものと新規生産物とが同時に捕集されて

いる。このため、捕集された沈降物のうち巻き上がって再び沈降した成分を差し引かなければ正味の沈降量は把握できない。水柱から底泥への物質移動量（沈降量）を測定するためには、セディメントトラップに捕集された沈降物中の新生沈降物比を求める必要がある。沈降物中の新生沈降物の比（ $\gamma$ ）を求める方法として、式（3.2.1）に示すように捕集沈降物の乾燥重量の収支と分離指標物質の収支式から求める方法がある(Gasith, 1975)。本貯水池においては、頻繁に河川水との交換が行われないため、福島ら(1984)と同様に分離指標物質にクロロフィル-aを採用し、新生沈降物比を求めた。

$$\gamma = (C_d - C_m) / (C_s - C_m) \quad (3.2.1)$$

ここで、 $C_d$ は捕集沈降物、 $C_s$ は植物プランクトン、 $C_m$ は底泥のクロロフィル-a含量（単位：mg/g）である。

ここで、 $C_d$ 及び $C_m$ は計測値として求めることができるが、 $C_s$ については、直接測定していないため、推測する必要がある。福島ら(1984)は植物プランクトン中のチタン含量が底泥のそれに比べて数オーダー低いことと、クロロフィル-a含量は逆に底泥において植物プランクトンに比べて数オーダー低いことから、懸濁物及び底泥サンプルについてクロロフィル-a含量とチタン含量の関係をプロットしてチタン含量がゼロとなる切片でのクロロフィル-a含量を植物プランクトンの組成として求めている。この値は、優占種の違いによっても異なるため、場所及び季節によって若干の違いがある。

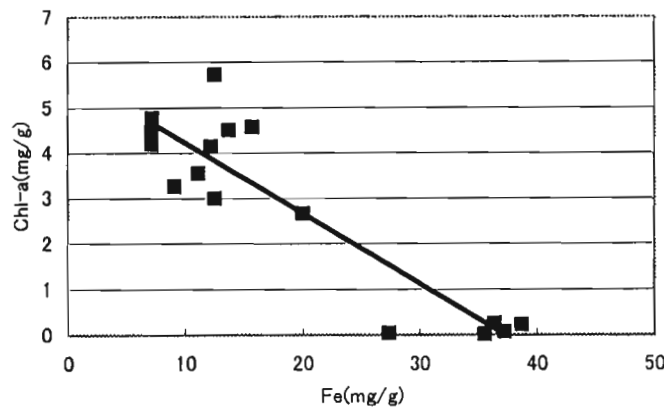


図 3-2-4 懸濁物と底泥表層での Fe 含量と Chl-a 含量の関係

今回の測定においては、チタンの測定は行わなかったため、浮泥での含量が高く、クロロフィル-aとチタンとの関係に似ると考えられる鉄を用いて、クロロフィル-aと全鉄との相関図（図3-2-4）を作成して、現地での植物プランクトンのクロロフィル-a含量を求めた。図中の回帰直線を外挿して求まるy切片は、5.77(mg/g)となり、この値を現地での植物プランクトンのクロロフィル-a含量の推測値とした。この値は、福島ら(1984)が求めた値（季節毎に 5.5~9.2(mg/g)）や高村ら(1981)により求められたアオコの組成（5.6mg/g）と比べても類似の値となっており、妥当な推測値と考えられる。 $C_m$ には期間中

に計測された底泥表層の平均値 0.18(mg/g)を用いることで、懸濁物中やセディメントトラップに捕集された沈降物中の新生沈降物の比をそれぞれ求めることが可能となる。

表 3-2-4 懸濁物及び捕集沈降物に占める新生懸濁物の比 ( $\gamma$ ) の変化

		9月9日	9月21日	10月5日	10月19日	11月2日	11月18日	平均
懸濁物	表層	0.70	0.82	0.79	0.99	0.72	0.79	0.80
	底層	0.74	0.61	0.44	0.55	0.78	0.52	0.61
捕集沈降物	表層	0.10	0.12	0.34	0.17	0.13	0.02	0.14
	底層	-0.04	0.05	0.10	0.13	0.06	0.01	0.05

表 3-2-4 に新生懸濁物の比  $\gamma$  値の変化を示す。懸濁物（湖水中）で表層平均が約 80%、底層平均が 60% となっており、底層で巻き上げの影響が大きいいため、 $\gamma$  の値が小さくなっている。セディメントトラップに捕集された沈降物について見ると、表層平均で 14%、底層平均では 5% となっている。湖水中の懸濁物に比べて捕集沈降物で  $\gamma$  が大幅に小さな数字となっているのは新生懸濁物の方が巻き上げられた底泥に比べて沈降速度が小さいため捕集される量が少ないためであると考えられる。9月9日の底層での捕集沈降物のクロロフィル-a 含量(0.30mg/g)が底泥表層での値(0.51mg/g)より小さく測定されたため、 $\gamma$  の値が負の値をとるといった矛盾が生じているが、このほかの値については、期間中大きな変動は見られなかった。

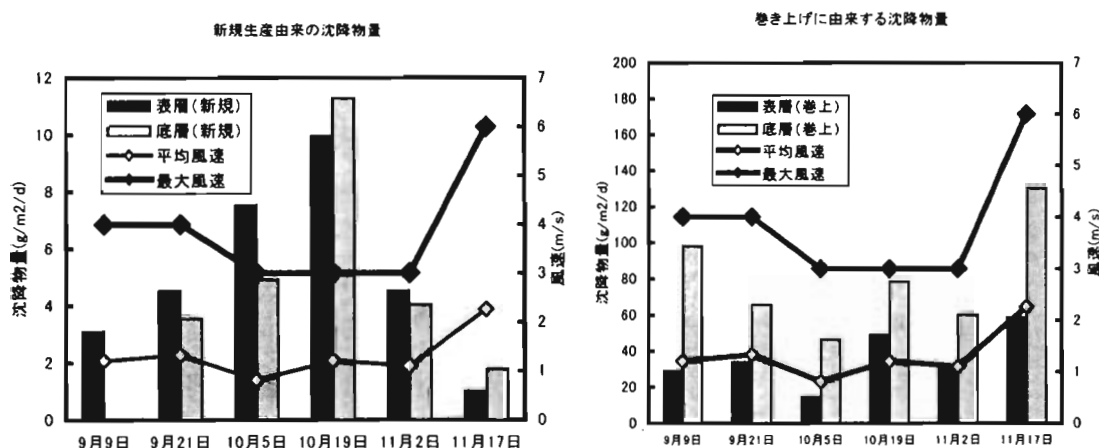


図 3-2-5 セディメントトラップに捕集された新生沈降物と巻き上げ由来の沈降物の単位時間・単位面積当たりの沈降量変化

以上求めた  $\gamma$  の値を用いて、セディメントトラップに捕集された沈降物量のうち、新生沈降物と巻き上げに起因する沈降物に分類して変化を調べた結果を図 3-2-5 に示す。図中には、沈降物測定中に、貯水池からの距離が約 7 km の近傍気象台（古河）において観測された平均風速と最大風速を同時に示している。巻き上げ由来の沈降物量は底層に設置したトラップで表層より多く捕集されており、巻き上げられた表層底泥の影響は底層



ほど大きかった。逆に新生沈降物量については表層での捕集量が大きい傾向が見られた。また、巻き上げ由来の沈降物量は風の強さと正の相関があることが確認できるのに対して新生沈降物の量には風との相関はむしろ負の傾向が見られた。

これは、風が強い日には巻き上げ量が増加するために、巻き上げ由来の捕集沈降物量が増加するとともに、新生懸濁物は水中の乱流強度が増すことで沈降しにくくなり、新生沈降物量は減少することによると考えられる。

### 3. 2. 4 懸濁物の沈降速度

懸濁物と捕集沈降物について $\gamma$ が求まり(表3-2-4)、懸濁物と捕集沈降物それぞれに占める新規生産物の量が算出できるので、新規生産物と巻き上げについてそれぞれ捕集沈降物量を懸濁物濃度で除することで見かけの沈降速度を推定することが可能になる。この見かけの沈降速度は現地の環境下で求められたもので、静水中で測定されたものではないため、風による影響等を受けて日々変動している。表3-2-5に新規生産物と巻き上げられた底泥の沈降速度の計算結果を示す。

表 3-2-5 沈降速度計算一覧

		9月9日	9月21日	10月5日	10月19日	11月2日	11月18日	平均
捕集沈殿物 (g/m <sup>2</sup> /d)	表層(新規)	3.11	4.54	7.53	9.96	4.54	1.03	5.12
	表層(巻上)	29.3	34.2	14.8	49.4	31.7	58.9	36.4
	底層(新規)	-3.67	3.56	4.93	11.3	4.04	1.79	3.66
	底層(巻上)	98.3	65.7	46.5	78.8	60.4	130	80.0
水中懸濁物 (mg/l)	表層(新規)	9.81	11.5	11.1	7.94	6.44	5.54	8.73
	表層(巻上)	4.19	2.47	2.88	0.06	2.56	1.46	2.27
	底層(新規)	10.3	11.0	4.81	6.05	6.23	4.15	7.10
	底層(巻上)	3.68	6.99	6.19	4.95	1.77	3.85	4.57
沈降速度 (m/d)	表層(新規)	0.32	0.39	0.68	1.26	0.70	0.19	0.59
	表層(巻上)	6.99	13.9	5.14	762	12.4	40.4	15.8
	底層(新規)	-0.36	0.32	1.02	1.86	0.65	0.43	0.66
	底層(巻上)	26.7	9.40	7.52	15.9	34.1	33.9	21.3

ここで、測定を行った6回の平均値を求めて、平均的な現地での見かけの沈降速度を求めたが、10月19日の表層の巻き上げ由来懸濁物の沈降速度については、表層の水中懸濁物中のクロロフィル-a濃度が非常に高かったため、巻き上げ由来として算定されるクロロフィル-a濃度が極めて低く見積もられた結果、沈降速度が不自然に高い値と算定されてしまうため、 $\gamma$ が負になった9月9日の底層での値と共にそれぞれの項目において平均値の計算対象とはしなかった。

貯水池において新規に生産された有機物由来の水中懸濁物の沈降速度は平均で0.63(m/d)、また一旦沈降した後巻き上げられた底泥の平均沈降速度は、19(m/d)と推定された。

今回の検討では、懸濁物を新規生産物と巻き上げ由来の2種類に分離した結果、それぞれの組成及び沈降速度に大きな差があることが示された。橘ら(1996)は新規生産物及び巻き



上げ懸濁物の沈降速度をそれぞれ 0.91, 22(m/d)と推定している。今回の検討では新規生産物の沈降速度がやや低めの 0.63(m/d), 巻き上げ底泥はほぼ同じ 19(m/d)と推定された。湖沼の特徴や発生する植物プランクトン組成によりこれらの値は異なることが予想されるが、オーダーとしてはほぼ同様の結果となっている。

### 3. 2. 5 考察

表 3-2-3 に示された結果を見ると、前にも述べたとおり、生物生産に関連が高い N, P, C, Chl-a の全項目とも、含有量が多い順に懸濁物、捕集沈降物、底泥表層となっている。この結果は、生物生産の盛んな貯水池表層で懸濁物中の生物由来の物質が多いことを反映していると考えられる。また、懸濁物、捕集沈降物両者とも表層での値が底層でのものより高くなっているのは、底層の方が巻き上がった底泥の影響を大きく受けているためと考えられる。

貯水池において藻類の増殖を規定する栄養塩と考えられる N, P の質量比について見ると、懸濁物で約 14、捕集沈降物で約 3.8、底泥表層で約 3 となっており、懸濁物と捕集沈降物及び底泥表層との間には大きな差が存在する (図 3-2-6)。植物性プランクトンの組成としてよく用いられる Redfield 比で N/P の質量比は約 7.2、高村ら(1981)による浮上したアオコの組成では 13.5 といった値が報告されており、懸濁物の N/P 比は、植物性プランクトンの組成に近く、N/P 比という観点からも新規生産由来の影響が大きいことが分かる。

これに対して、底泥では N/P 比が大幅に小さくなっていることから、新規生産による懸濁物は沈降し底泥上に堆積した後、底泥中での懸濁態 P と懸濁態 N の分解、回帰の過程に違いがあるため、組成が大きく変わっていると考えられる。特に N は脱窒により底泥から失われる(Horne, 1994)ことが知られており、底泥表層の N/P 比が低い理由と考えられる。

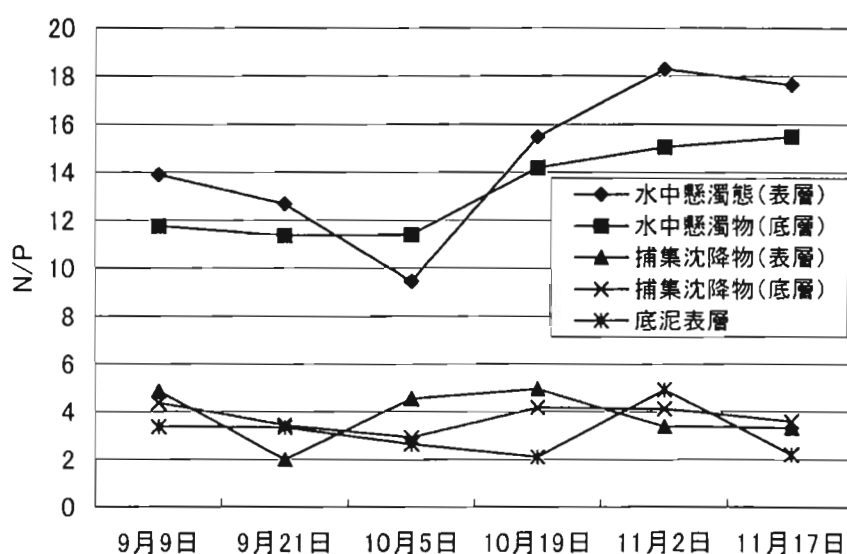


図 3-2-6 水中懸濁物、捕集沈降物、底泥表層での N/P 比の変化

捕集沈降物の N/P 比は底泥の値に近かったが、これは巻き上げられた底泥の方が新規生産由来の懸濁物に比べて沈降速度が大きい（表 3-2-5）、割合としては多く捕集されるため N/P 比が底泥のものに近くなったと説明できる。また、水中懸濁物の N/P 比が 10 月以降上昇しているのは、窒素濃度の高い河川水が流入し、植物性プランクトンがこれを摂取して懸濁態の N 濃度が高くなったためであると考えられる。

Richards et al. (1965) の算定による植物性プランクトン中の N 及び P の含量(N=63mg/g, P=8.7mg/g)を新規生産懸濁態の N, P 含量とし、また、底泥表層での N, P 含量の平均値(N=2.73mg/g, P=0.94mg/g)を巻き上げ由来懸濁物の N, P 含量として、捕集沈降物中の新規、巻き上げ由来それぞれの SS 量を表 3-2-4 の結果から算定することで計算上の N/P 比を求めることができる。この結果を捕集沈降物の N/P 比の実測値と比較したのが図 3-2-7 である。計算結果が実測値より若干大きくなっているが、変化傾向はよく再現している。表 3-2-4 の結果から捕集沈降物中の巻き上げ由来の割合が高いことが示されたが、N/P 比から見ても捕集沈降物への底泥の影響が強く反映されており、この結果が妥当であったことが示された。

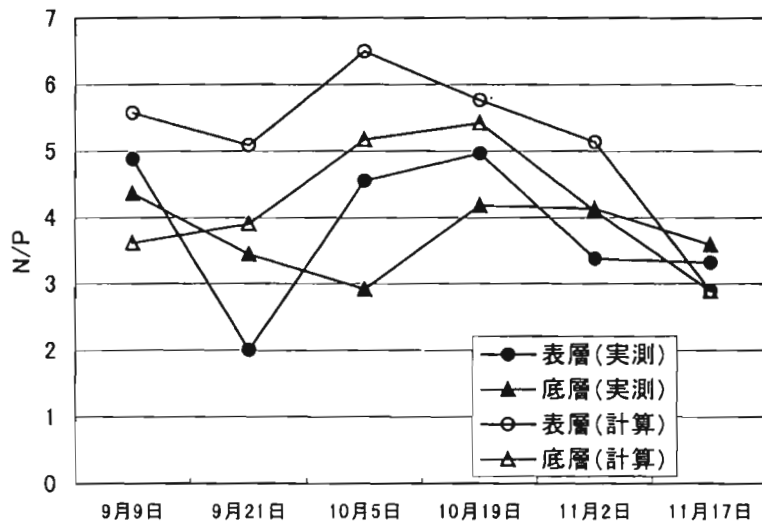


図 3-2-7 捕集沈降物の N/P 比 (実測値と計算値の比較)

渡良瀬貯水池における水中懸濁物については、表層で 20%、底層で 40%程度が一旦沈降した底泥が巻き上げられたもので占められていること、また、巻き上がった懸濁物は新規生産物に比べて沈降速度が速いことから、セディメントトラップに捕集される沈降量フラックスのうち表層で 86%、底層で 95%が巻き上がり由来のものと算定された。

また、懸濁物濃度と捕集量の関係から、平均的沈降速度として、新規生産物で 0.63(m/d)、巻き上げ由来の懸濁物で 19(m/d)と算出された。ただし、今回の観測結果から導かれたこれらの数字は、観測が秋期に集中していることから、今後年間を通しての観測を行い、年間変動についても把握する必要がある。