

# 霞ヶ浦砂浜の浸透水及び湖岸水の水質

外岡 健夫 ・ 浜田 篤信

波浪によって砂浜に打ち上げられた湖水は砂層を湖水面まで流下し、気圏及び地圏を経て再び水圏へ戻る。砂層を流下し水圏に戻った湖水は、波浪による湖水の打ち上げが続く間は、汀線方向へ流れ湖へ戻る。風によってひき起こされる湖水の水圏から気圏、更に地圏を経て水圏への移動の過程で、湖水は、当然のことながら変化を受ける。本報は、以上のような観点から、砂浜へ打ち上げられる直前の湖水と砂層を通過し湖へ戻る過程にある浸透水の水質を検討し砂浜における浄化の機能と機構について考察を加えた。

## 1. 調査の方法

### (1) 採水深度の検討

浸透水を採取する際に砂層のどの深さを対象とすればよいか問題となる。そこで浸透水の深度別流量を測定した。測定の方法は、相対する両側面に直径18mmの40メッシュステンレス製金網付孔口を持ったポリエチレン製2ℓ褐色ビンを、孔口の位置が湖水面水準から4、8、12、16及び20cmに位置するように埋設し、容器内にあらかじめ溶解させておいた指標物質（フルオレッセン・ナトリウム）の濃度変化から算出した。結果は図1のとうりである。水準面から4cm下方では100ml/hrの流量があるのに対し8及び12cm水深では、流量は、それぞれ40ml及び10mlに減少し、水深が大きくなるにしたがって流量は急激に減少し、水深20cmの箇所では、わずかに2mlであった。浸透水量のうち10cm以浅の砂層を通過する水量は水浸透水量の77%に相当するので、前述の2ℓポリエチレン褐色ビンの両側面を横2cm縦10cmにくり抜き、ステンレス金網でおおい採水用容器とした。採水用容器は、汀線から一定間隔に、容器の流入出口の上端が湖水面水準に一致するように埋設した。容器には浸透水量測定に用いた容器と同じようにガラス管を取り付け、注射器を用いて採水した。

### (2) 水質分析の方法等

採水用容器は、汀線から20cmの箇所に埋設し、この地点から30cm毎に更に3箇所を埋設した。採水は9:00時に行った。湖岸水として汀線から50cm沖側の地点の湖水を採水した。

窒素及びリンの分析には、テクニコン社自動分析計を使用した。

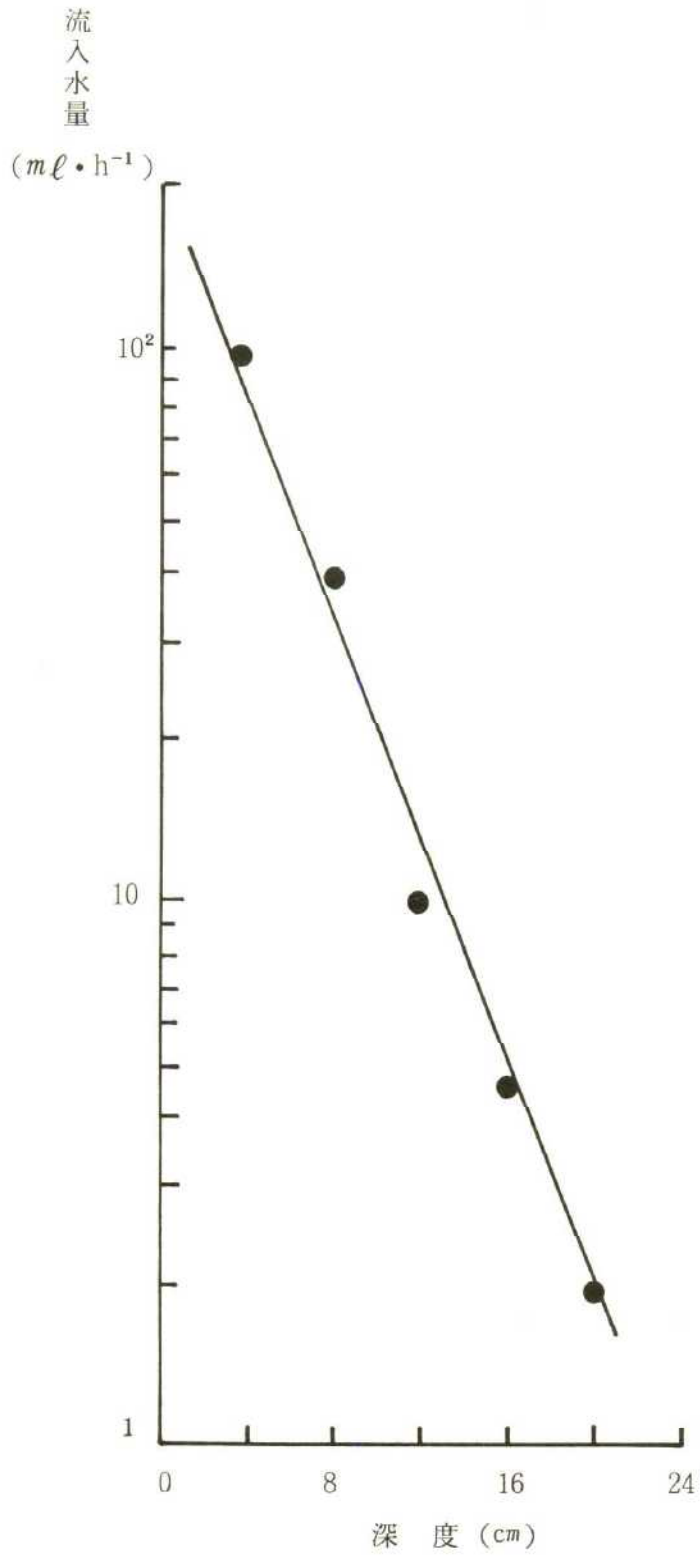


图1 深度别浸透水量

## 2. 調査結果

### (1) 採水位置と水質

採水位置毎の窒素（N）及びリン（P）濃度を図2に示した。Nについて見ると、湖岸水で最も高く、汀線から陸域側に離れる程、低くなる傾向が認められるようである。その典型的な例が、8月13日及び11月15日の測定結果である。しかし、常に、そうした傾向が成り立つわけではなく7月16日の例のように汀線から最も遠い110cmの地点で湖岸水同程度の高値が認められる例もある。波浪流量は、定常的ではなく時々刻々に変化するものであるから、地点の違いによって、このような変動が生ずるのはむしろ当然といえよう。

これに対し、Pについては、Nのような明瞭な傾向は認められない。このように、Nについてみると、殆ど常に汀線直上の地点の浸透水の濃度が湖岸水のそれよりも低い値を示していたのに対して、Pの場合には、5例中2例で浸透水が高濃度を示したに過ぎない。

以上のように浸透水の水質は地点や問題とする物質によっても差が認められるようである。何れにせよ、湖岸帯水域から陸域側へ移動した湖水は、汀線を通して再び湖へ戻るものであるから汀線に最も近い20cmの地点の水質を取り上げればよいものと考えられる。

### (2) 浸透水の季節変化

図3に浸透水の水質を湖岸水の水質と対比させて図示した。湖岸水のN濃度は6月には1.7-2 PPMと極めて高い値を示していたが、以後、小刻みな変動を繰り返しながら減衰し、9月中旬頃に最低値0.6 PPMを示したあと上昇に向かった。これに対し浸透水の水質は、6月から8月下旬までの間はおおよそ0.7 PPM付近を変動し、低位に安定した値を示した。図3から明らかなようにこの間、常に浸透水が湖岸水よりも低い値を示した。その後は、9月上旬に一度だけ浸透水が湖岸水を若干上回ったが、10月中旬までは20-30%浸透水が低い値を示した。

Pについては、小刻みな変動は見られるものの、Nのように浸透水が常に低値を示すという様な特定の傾向は認められなかった。むしろ湖岸水のピークに若干の遅れをもって浸透水のピークが出現するようであった。即ち、Pは砂層で濾過、分解等の変化を受け、時間的なずれは生じるものの砂浜で浄化されることなく湖へ還元されるものと見ることができそうである。以上のようなN、Pの変動の差からN/P比は両者の変動とは違った変動傾向を示した。すなわち、湖水のN/P比は8月、9月中旬の2回を除き10以上を保っているのに対し浸透水のそれは10月下旬までの間は殆ど常に10以下で湖岸水の値を大きく下回っていた。このことと前述のPの変動とを勘案すると、Nは6月から10月の間に砂浜において、除去されるものとみられる。この点を定量的に検討するために、図3から求積によって月別のN、Pの平均値を求めたものが図4である。Nについてみると、砂浜において浄化が機能していると思われる9

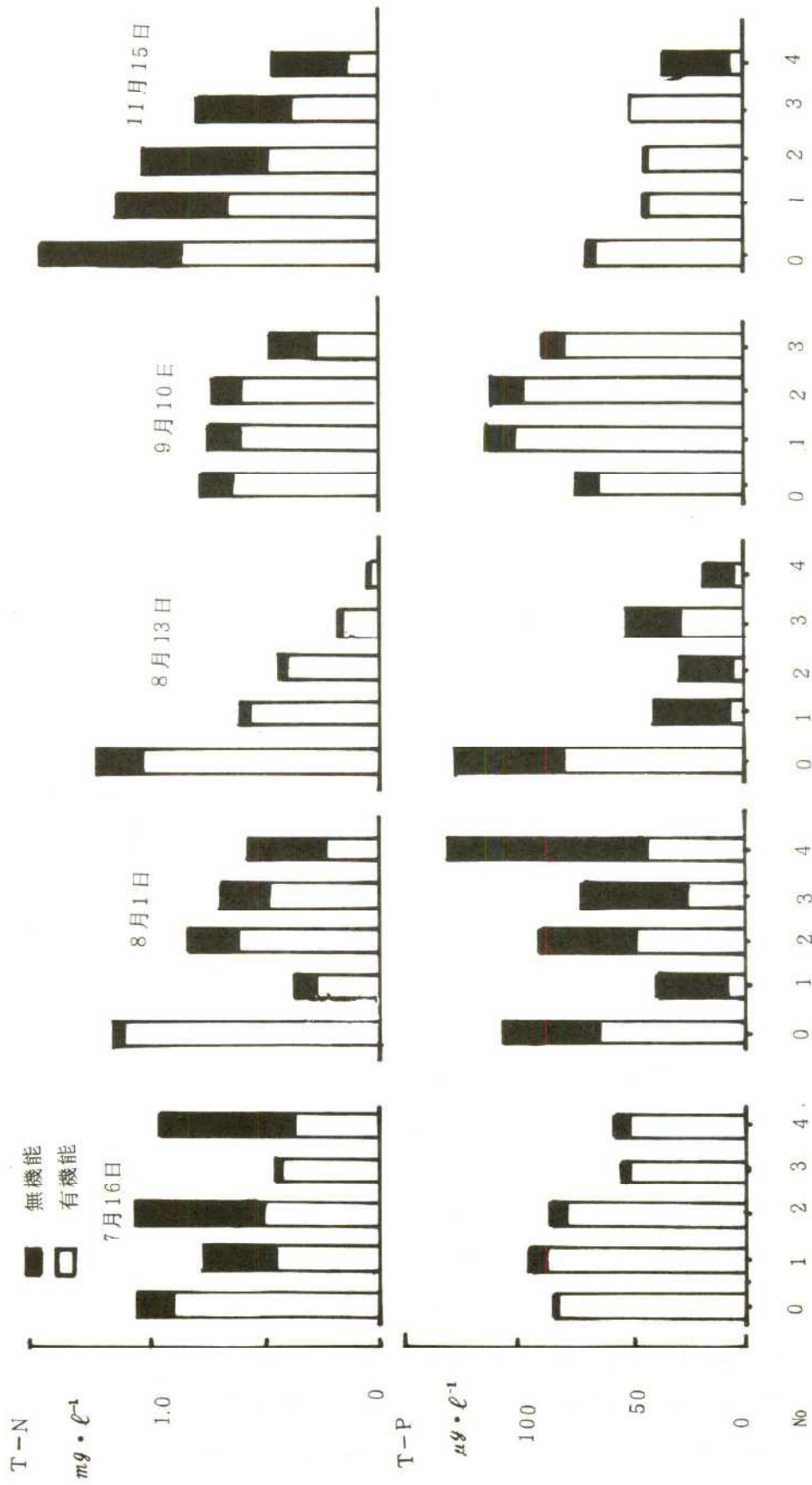


図2 湖岸水及び浸透水の水質 No 0: 湖岸水, 1: 20cm, 2: 50cm, 3: 80cm, 4: 110cm



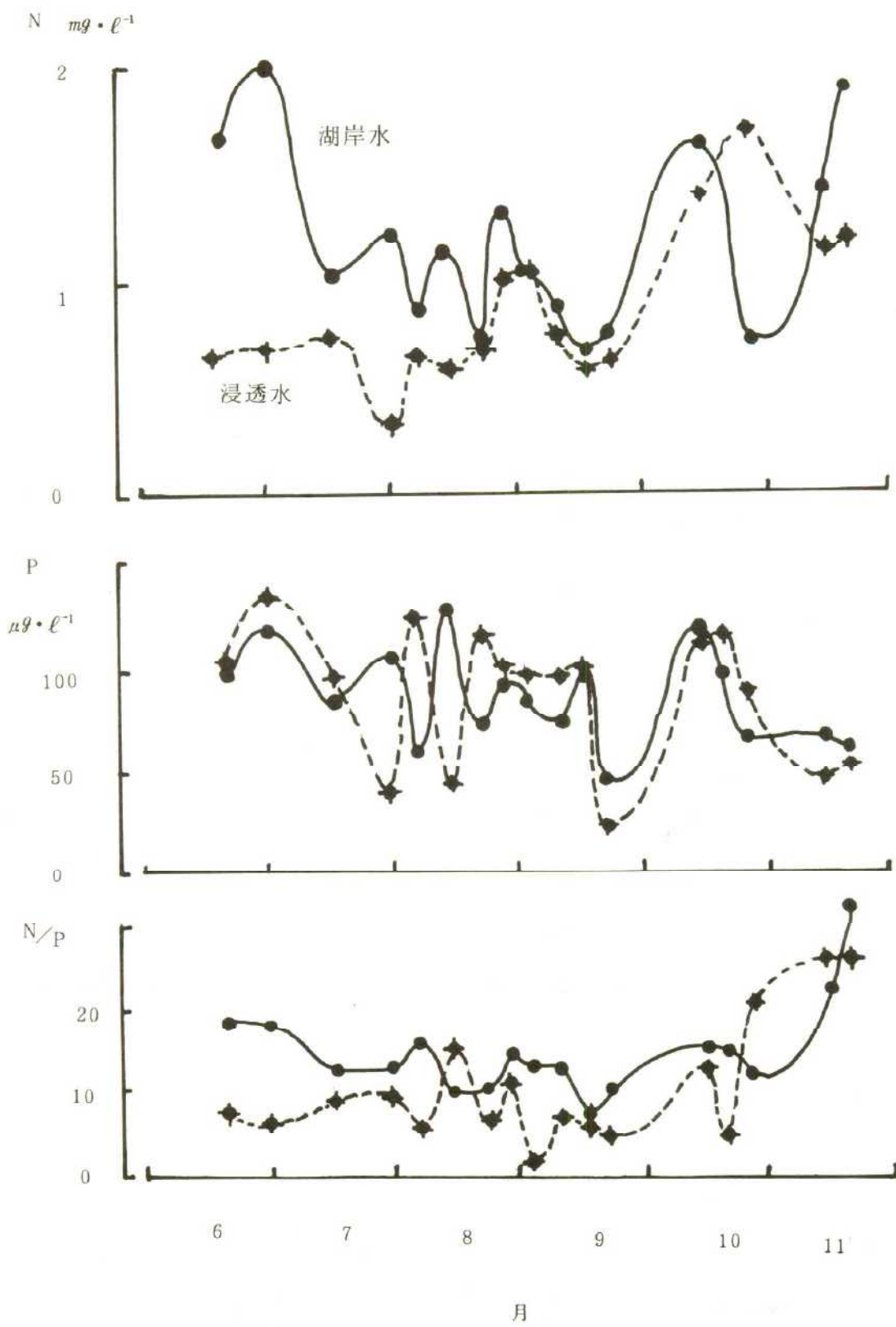


図3 湖岸水及び浸透水の水質

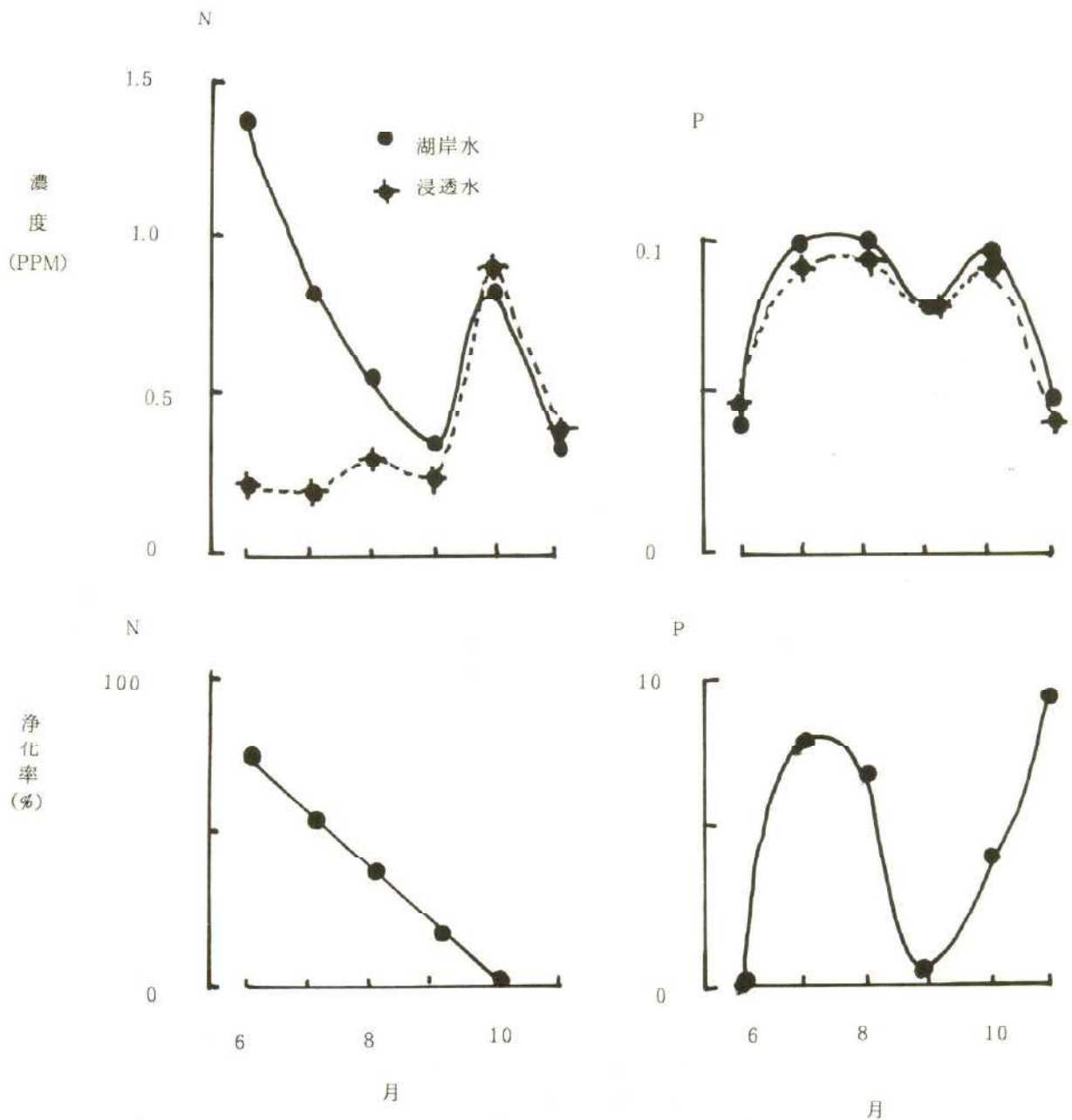


図4 浸透による浄化率

月までの間には、浸透水の濃度は、湖岸水の濃度の如何にかかわらず 0.2 - 0.3 PPM 範囲にある。湖岸水の N 濃度は、常に、この値を上回っているから、その差が浄化量に相当することになる。この値は 6 月に最も高く 1.2 にも達している。その後、湖岸水の N 濃度の減少にともない減少はするものの、0.1 - 0.6 PPM と比較的高い値を示している。湖岸水の濃度に対す

る浄化量の比率を見ると6, 7, 8, 9月にそれぞれ, 70, 50, 33, 15% と最も少ない場合にも15%と砂浜におけるNの浄化の大きさを伺い知ることが出来る。これに対し, Pについてみると湖岸水と浸透水との間に明確な差は認められず, 砂浜におけるPの浄化については否定的な結果となっている。

### (3) 湖岸と沖合いの水質の差

湖岸の水質については前述したが, その特徴の一つとして硝酸態窒素が比較的多いことがあげられる。湖の沖合いの水質については, 一般的にいて夏季に無機態窒素は一次生産によって消費されていて低レベルの状態にある。ところが湖岸水には9月17日に検出されなかった以外は常に検出されている。このことは湖岸帯の水質と沖合いの水質には差があり, このことが砂浜や水生植物帯における浄化と関係しているのではないかと考えられる。以上のような観点から, ここでは湖心と玉造町荒宿地先の湖岸, 高浜入り中心部(出島村小津舟溜と玉造町羽生舟溜を結んだ線の中央)と玉造町桃浦地先の湖岸の水質を対比させて検討した。結果は表1の通りである。まず, 湖心部についてみると, 沖合いでは1月から4月までの間には0.3-0.6の硝酸態窒素が存在するが, 以後10月までの間は殆ど検出されなくなっている。これに対し湖岸では数10 ug だけ高目の濃度を示している。また, 1-4月の間についても湖岸水で高値が認められる。

T-Pについて見ると, 湖岸水あるいは沖合い水のいずれかで高値を示すという特定の関係は認められない。しかし, リン酸についてみると沖合い水では10 ug 以下と常に低値であるのに対して, 湖岸水では5月と12月を除いて湖岸水の方が高い値を示しており特徴的である。

高浜入りでは流入河川の影響があって, 中央部でも硝酸態窒素が高濃度であるが湖岸帯では更にその値を上回ることが多い。T-P, リン酸についても湖心部ほどではないが, 同様の傾向がみられるようである。

## 3. 考 察

砂浜に打ち上げられた湖水の一部は砂層に浸透し湖へ戻るが, この過程で質・量両面において変化を受ける。湖岸帯や沿岸帯の砂浜の中には各種のバクテリアが比較的大量に分布していることが報告されている。沖合い水に比較して湖岸水の硝酸態窒素及びリン酸の濃度が高い値を示しているのは, 砂浜において濾過された有機物が砂表面及び間隙水中のバクテリアによって分解されていることを示している。この後の過程では, リン酸については変化は認められないが, 窒素については濃度が低下している。その原因については, 明らかではないが, 窒素だけについて濃度が減少していることから, 脱窒が関係しているのではないかと考えられる。この可能性を検討する目的で砂層に埋設した採水用容器の中の溶存酸素量を測定したところ, 2-3 PPM という

表1 湖岸水と沖合水の水質

月	湖 心 奥						高 浜 入													
	沖 合 水			湖 岸 水			沖 合 水			湖 岸 水										
	T-N	NO <sub>2</sub> -N NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	T-N	NO <sub>2</sub> -N NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	T-N	NO <sub>2</sub> -N NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P					
1990-1	1.43	0.63	0.27	0.047	0.007	1.52	0.67	0.20	0.030	0.011	1.99	1.22	0.18	0.041	0.009	2.29	1.61	0.24	0.027	0.012
2	0.97	0.57	0.06	0.036	0.002	1.57	0.69	0.08	0.046	0.006	1.61	1.19	0.06	0.057	0.003	1.96	0.87	0.09	0.051	0.007
3	1.15	0.48	0.01	0.037	0.002	1.06	0.70	0.08	0.015	0.010	1.53	0.73	0.24	0.047	0.002	1.56	1.17	0.07	0.017	0.006
4	1.33	0.33	0.03	0.059	0.002	1.02	0.33	0.09	0.065	0.008	1.73	0.56	0.01	0.125	0.005	2.29	0.69	0.14	0.072	0.010
5	1.46	0.00	0.01	0.079	0.002	-	0.01	0.02	0.008	0.001	1.62	0.05	0.01	0.102	0.003	1.05	0.54	0.39	0.045	0.001
6	0.51	0.00	0.01	0.054	0.003	1.68	0.04	0.05	0.100	0.016	1.16	0.03	0.02	0.093	0.003	1.12	0.00	0.01	0.146	0.026
7	1.03	0.00	0.01	0.070	0.001	2.38	0.01	0.10	0.112	0.018	1.45	0.02	0.02	0.154	0.002	2.83	0.04	-	0.170	0.056
8	0.89	0.00	0.01	0.063	0.002	1.20	0.08	0.11	0.028	0.013	1.18	0.00	0.125	0.125	0.014	1.62	0.13	0.02	0.049	0.013
9	1.06	0.00	0.00	0.083	0.001	0.76	0.02	0.01	0.033	0.001	0.79	0.00	0.01	0.114	0.037	0.58	0.01	0.01	0.029	0.005
10	1.15	0.01	0.00	0.101	0.001	0.90	0.02	0.01	0.74	0.006	1.83	0.10	0.08	0.093	0.004	1.08	0.10	0.02	0.82	0.009
11	0.85	0.02	0.05	0.094	0.001	1.27	0.01	0.04	0.070	0.002	1.22	0.12	0.02	0.119	0.004	1.37	0.08	0.05	0.031	0.006
12	0.96	0.17	0.05	0.073	0.018	1.94	1.43	0.04	0.070	0.002	2.28	1.27	0.03	0.105	0.013	0.69	0.35	0.11	0.009	0.009



値が得られた。容器中の溶存酸素量は、砂層のそれとは異なり、空気中からの酸素の溶入があり、実際の値よりも高めに維持されているものと考えられる。従って、砂層の溶存酸素量は、上記の値よりも低く脱窒の条件は整っているものと見ることが出来る。更に、硝酸態窒素は湖岸水中に殆ど常に検出されており、砂浜におけるN除去の機構として脱窒の可能性が大きいものと考えられる。

湖岸水中には殆ど常に硝酸態窒素が存在し、脱窒による浄化の重要な条件となっているようである。この硝酸態窒素の供給機構については、以下のような仮説が考えられる。波浪によって砂浜に打ち上げられた湖水中の有機物は砂層によって濾過された後、砂粒子表面上及び間隙水中のバクテリアによって分解されアンモニアとなるが、砂層を流下する過程で酸化されて硝酸態窒素となる。浸透水は、この空気を含む砂層から水を含有する砂層に移動するが、ここは嫌氣的条件下にあって上層から流下してきた浸透水中の硝酸の一部は脱窒によって気圏へと放散される。他は、再び湖岸帯水域へと還流し、再び波浪によって砂浜へフィード・バックされ、砂浜において効率的に脱窒が行われているのではないかと推察される。

以上、湖岸帯砂浜の浸透水の水質を観測した結果に基づき、砂浜の浄化機構について検討を加え、浄化の機構について仮説を得た。しかし、1年間の調査であり、今後、前述の仮説を検証するための調査を続ける必要がある。

#### 4. 要 約

- 1) 浸透水中の窒素濃度は湖岸水中のそれに比較して低めであった。
- 2) 浸透水中及び湖岸水中の全リンの濃度の間には、長期的に見ると差は認められなかった。
- 3) 沖合水と湖岸水との間には、Nについて差が認められ、湖岸で高い値を示す場合が多かった。
- 4) 湖岸水中の無機態窒素、リン酸は沖合水のそれを殆ど周年にわたって上回った。
- 5) 砂浜における浄化機構として脱窒の可能性が示唆された。

#### 引 用 文 献

- 1) 浜田篤信（1991）：波浪によって砂浜域に打ち上げられた湖水の浸透水量の測定法，本誌27。
- 2) 林孝市郎（1979）：砂浜による浄化，日本水産学会編「水域の自浄作用」から引用。

付 表

		湖 岸 水						st.1					
月 日	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	月 日	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	T-P	PO <sub>4</sub> -P		
6.20	0.010	1.010	1.680	0.096	0.073	6.20	0.250	0.120	0.660	0.097	0.001		
7.01	0.010	1.020	2.100	0.118	0.073	7.01	0.250	0.120	0.690	0.133	0.001		
7.08			0.000			7.08	0.010	0.840	1.530	0.103	0.057		
7.16	0.020	0.090	1.020	0.084	0.001	7.16	0.260	0.010	0.740	0.094	0.007		
7.17	0.140	0.340	1.140	0.083	0.025	7.17	0.320	0.020	0.660	0.087	0.001		
8.01	0.010	0.030	1.250	0.105	0.039	8.01	0.040	0.090	0.350	0.039	0.090		
8.06	0.010	0.230	0.850	0.057	0.046	8.06	0.140	0.060	0.630	0.123	0.063		
8.13	0.050	0.120	1.180	0.126	0.040	8.13	0.050	0.110	0.580	0.039	0.033		
8.22	0.020	0.010	0.710	0.075	0.035	8.22	0.070	0.020	0.670	0.115	0.011		
8.27	0.020	0.043	0.963	0.098	0.013	8.27	0.110	0.010	1.040	0.099	0.019		
9.03	0.070	0.020	1.020	0.084	0.011	9.03	0.140	0.020	1.090	0.087	0.013		
9.10	0.110	0.010	0.890	0.072	0.009	9.10	0.020	0.090	0.740	0.112	0.010		
9.17	0.010	0.000	0.630	0.096	0.003	9.17	0.130	0.000	0.570	0.098	0.061		
9.27	0.010	0.010	0.740	0.098	0.004	9.27	0.010	0.000	0.590	0.133	0.011		
10.15	0.010	0.030	1.660	0.118	0.001	10.15	0.010	0.210	1.400	0.110	0.000		
10.20	0.030	0.220	1.310	0.111	0.009	10.20	0.010	0.350	0.382	0.111	0.009		
10.26	0.010	0.150	0.720	0.066	0.047	10.26	0.010	1.270	1.710	0.087	0.016		
11.15	0.020	0.560	1.430	0.066	0.002	11.15	0.020	0.440	1.110	0.044	0.003		
11.20	0.140	1.000	1.910	0.061	0.003	11.20	0.040	0.470	1.200	0.047	0.029		

st 2						st 3					
月 日	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N NO <sub>3</sub> -N	T-N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	月 日	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N NO <sub>3</sub> -N	T-N	T-P	PO <sub>4</sub> -P
6.20	0.010	1.500	1.980	0.126	0.096	6.20	0.020	1.120	1.510	0.103	0.090
7.01	0.010	1.500	2.180	0.129	0.114	7.01	0.020	1.120	1.650	0.130	0.090
7.08	0.020	0.030	0.850	0.121	0.030	7.08	0.020	0.070	0.900	0.091	0.015
7.16	0.150	0.390	1.090	0.086	0.006	7.16	0.010	0.020	0.460	0.052	0.002
7.17	0.170	0.290	0.950	0.090	0.003	7.17	0.130	0.330	1.100	0.088	0.005
8.01	0.020	0.180	0.820	0.090	0.044	8.01	0.100	0.070	0.670	0.070	0.045
8.06	0.100	0.150	0.780	0.155	0.051	8.06	0.120	0.030	0.690	0.052	0.081
8.13	0.010	0.000	0.390	0.027	0.023	8.13	0.020	0.010	0.150	0.055	0.022
8.22	0.140	0.070	0.630	0.073	0.013	8.22	0.080	0.060	0.470	0.042	0.012
8.27	0.140	0.010	1.290	0.164	0.014	8.27	0.100	0.040	0.920	0.131	0.030
9.03	0.080	0.070	1.390	0.133	0.012	9.03	0.020	0.060	0.740	0.130	0.035
9.10	0.020	0.110	0.730	0.111	0.013	9.10	0.030	0.090	0.690	0.087	0.010
9.17	0.110	0.010	0.520	0.104	0.051	9.17	0.130	0.050	0.520	0.116	0.037
9.27	0.010	0.010	0.450	0.110	0.008	9.27	0.010	0.050	0.061	0.097	0.011
10.15	0.000	0.230	1.270	0.084	0.000	10.15	0.000	0.190	0.950	0.091	0.030
10.20			0.000			10.20			0.000		
10.26	0.080	1.410	1.890	0.093	0.021	10.26	0.070	1.640	2.160	0.062	0.029
11.15	0.020	0.470	0.990	0.042	0.003	11.15	0.020	0.380	0.750	0.050	0.003
11.20	0.030	0.500	0.910	0.050	0.024	11.20	0.040	0.360	0.530	0.032	0.031



他

月 日	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N NO <sub>3</sub> -N	T-N	T-P	PO <sub>4</sub> -P
6.20	0.010	0.860	1.230	0.098	0.078
7.01	0.010	0.860	1.260	0.088	0.780
7.08	0.030	0.040	0.750	0.102	0.013
7.16	0.110	0.470	0.990	0.057	0.008
7.17	0.140	0.370	0.870	0.073	0.013
8.01	0.340	0.010	0.570	0.148	0.071
8.06	0.100	0.050	0.490	0.082	0.043
8.13	0.040	0.020	0.070	0.019	0.016
8.22			0.000		
8.27	0.080	0.030	2.240	0.205	0.008
9.03			0.000		
9.10	0.050	0.100	0.430	0.042	0.025
9.17			0.000		
9.27	0.010	0.090	0.290	0.114	0.015
10.15	0.010	0.130	0.650	0.065	0.037
10.20			0.000		
10.26	0.140	1.840	2.240	0.050	0.037
11.15	0.020	0.320	0.460	0.036	0.002
11.20	0.020	0.220	0.310	0.030	0.030

st 1 : 20cm

2 : 50cm

3 : 80cm

4 : 110cm