

厚岸湖の栄養塩循環に果たすアマモの役割の 数値モデルによる研究 - 秋の観測についての報告 -

東京大学海洋研究所資源環境部門 大島 ゆう子

[目的]

沿岸海域では、海藻や海草が大きな生産力を持ち、生長と枯死の繰り返しにより、海水中の溶存・懸濁有機物の収支に重要な役割を果たしている。また、沿岸部に生息する多くの生物の餌として利用されるだけでなく、生物群集の生息基盤として大きな役割を果たしている。しかし、近年、日本沿岸では急激な開発によりアマモ場が激減しており、その保全・修復のためには、藻場の複雑なプロセスと役割を総合的に明らかにすることが重要となっている。

Oshima(submitted) では、日本でも数少ない広大なアマモ場を有する北海道太平洋岸の厚岸湾・湖を対象にして、三次元物理 - 生物結合モデルをつくり、この生態系における4月の窒素・リンのフラックス、湖での収支を計算し、栄養塩循環におけるアマモ場の重要性を定量的に検討した。本研究では、Oshima(submitted) と同じ観測点で9月に観測を行い、春期と秋期の比較を行うことを目的とする。

[観測]

観測は、1997年9月17日から26日まで、図1に示す3測点で一日一回行った。主に観測できた日は、17, 18, 22, 24, 25, 26日、観測項目は水温・塩分・硝酸塩・リン酸塩・クロロフィルaである。各測点で表面(0m)、1m、Station 3ではそれに加えて3m、5m、7.5mの各層で水温と塩分をT-Sメーター(Model 33 S-C-T meter, YSI)で測り、採水器(バンドーン型採水器, 3リットル)で採水した。クロロフィルaは、研究室に戻ってからWhatman GF/Fフィルターで試水をろ過してN, N-ジメチルホルムアミドで固定、蛍光光度計(Turner Designs 10R)で測定した。栄養塩はその場でDISMIC-25(孔径0.45 μm)でろ過してその日のうちに凍結し、後日Technicon Auto Analyse で測定した。

このほかに、別寒辺牛川の大別橋のそばの厚岸水鳥観察館のカヌー乗降場において、河川水の水温・硝酸塩・リン酸塩の観測を、上記の観測期間中に7回行った。水温については水銀温度計を用いて採水したその場で測り、栄養塩については厚岸湖での処理と同様に分析を行った。

これらの観測結果を表1~5に示す。St. 1~St. 3の観測は午前9時前後、別寒辺牛川の観測は午後1時前後に行った。

表2の塩分を見ると、河口域であるSt. 1は当然のことながら濃度はかなり低い、

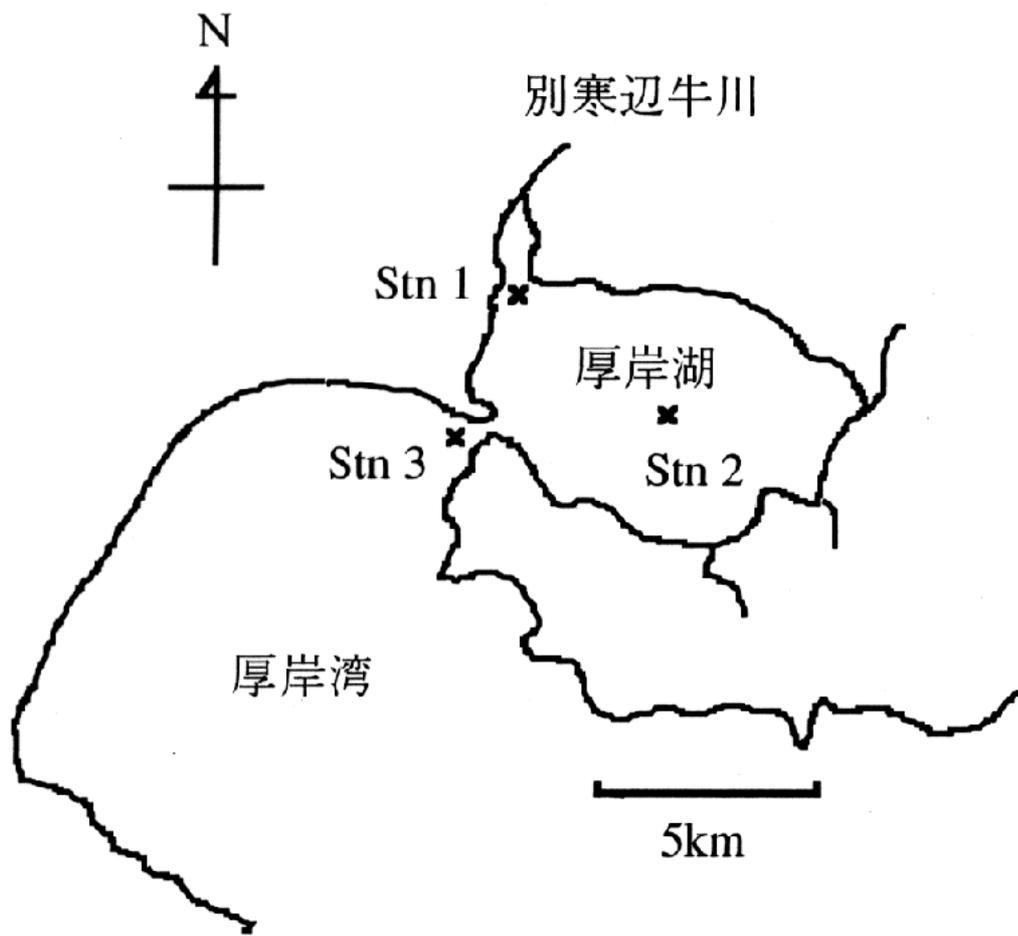


图 1 : 観測地点

表 1: 温度 (°C)

観測点	9/17	18	20	21	22	23	24	25	26
St.1 0m	14.56	14.01	-	-	14.52	-	13.33	13.01	12.24
St.1 1m	14.56	14.01	-	-	14.52	-	13.09	12.81	12.25
St.2 0m	15.72	16.10	-	-	15.56	-	15.24	15.41	15.02
St.2 1m	15.69	16.07	-	-	15.34	-	15.24	15.25	15.09
St.3 0m	15.18	15.61	-	-	15.22	-	15.00	15.21	14.89
St.3 1m	15.24	15.56	-	-	15.22	-	14.98	15.09	15.19
St.3 3m	15.31	15.60	-	-	15.21	-	15.01	15.22	15.31
St.3 5m	15.24	15.57	-	-	15.17	-	14.99	15.18	15.23
St.3 7.5m	15.06	15.56	-	-	15.14	-	14.98	15.12	15.22
別寒辺牛川：外気温	-	27.0	20.5	17.5	17.0	18.5	17.8	19.5	-
別寒辺牛川：表面水温	-	15.6	14.6	13.6	14.1	13.2	12.5	14.2	-

表 2: 塩分 (psu)

観測点	9/17	18	22	24	25	26
St.1 0m	7.92	0.20	0.03	0.38	1.22	0.75
St.1 1m	7.87	0.20	0.04	6.72	8.14	0.79
St.2 0m	28.33	26.20	23.68	28.21	26.49	23.60
St.2 1m	28.44	26.22	25.40	29.58	27.86	24.02
St.3 0m	28.74	21.20	24.68	27.30	23.59	22.47
St.3 1m	29.15	24.15	25.30	27.70	26.40	25.79
St.3 3m	29.59	25.80	26.12	31.82	30.36	28.21
St.3 5m	29.71	28.08	28.15	32.48	31.85	29.52
St.3 7.5m	30.35	28.10	28.91	32.42	32.35	29.55

表 3: クロロフィル濃度 ($\mu\text{g/l}$) : (有効数字 3 桁)

観測点	9/17	18	22	24	25	26
St.1 0m	10.05	3.54	0.12	0.24	0.34	2.82
St.1 1m	12.74	3.12	0.30	1.11	1.85	4.80
St.2 0m	2.27	3.68	0.50	0.72	0.82	0.58
St.2 1m	2.12	3.68	0.98	0.80	0.90	0.82
St.3 0m	1.13	1.42	0.94	0.68	0.26	1.45
St.3 1m	4.25	2.55	0.96	2.25	1.85	1.37
St.3 3m	2.83	3.40	0.68	1.43	2.25	3.00
St.3 5m	3.26	2.55	0.82	1.11	1.21	1.71
St.3 7.5m	2.83	-	1.03	1.25	1.15	1.51

表 4: 硝酸塩+亜硝酸塩 ($\mu\text{mol/l}$) : (有効数字 2 桁)

観測点	9/17	18	20	21	22	23	24	25	26
St.1 0m	3.1	11	-	-	1.1	-	2.1	8.4	4.7
St.1 1m	2.5	12	-	-	1.0	-	9.5	5.3	8.8
St.2 0m	-	5.4	-	-	1.2	-	-	1.7	1.3
St.2 1m	-	-	-	-	-	-	4.7	0.3	1.2
St.3 0m	-	13	-	-	1.4	-	1.3	1.8	3.4
St.3 1m	-	4.9	-	-	6.8	-	2.0	1.9	3.2
St.3 3m	-	2.2	-	-	1.3	-	1.0	1.3	2.0
St.3 5m	-	2.0	-	-	0.5	-	1.3	0.7	1.8
St.3 7.5m	8.8	-	-	-	1.0	-	1.3	0.1	1.3
別寒辺牛川	-	-	30	35	(42)	-	(52)	(53)	-

注：括弧付きの数値は、測定範囲を大幅に超過したために、推定値である。

表 5: リン酸塩 ($\mu\text{mol/l}$): (有効数字 2 桁)

観測点	9/17	18	20	21	22	23	24	25	26
St.1 0m	0.3	0.7	-	-	0.3	-	0.2	0.4	0.2
St.1 1m	0.3	0.9	-	-	0.3	-	0.6	0.4	0.4
St.2 0m	1.5	1.6	-	-	1.1	-	0.6	1.6	1.3
St.2 1m	1.5	1.7	-	-	0.6	-	0.7	1.1	1.2
St.3 0m	0.7	1.7	-	-	1.0	-	1.5	1.4	1.3
St.3 1m	1.3	1.6	-	-	1.2	-	1.3	1.2	1.4
St.3 3m	1.3	1.4	-	-	0.9	-	1.0	1.1	1.3
St.3 5m	0.8	1.5	-	-	0.8	-	1.2	1.0	1.0
St.3 7.5m	0.9	-	-	-	0.8	-	1.4	0.7	0.9
別寒辺牛川	-	-	1.3	1.3	1.9	-	1.5	1.3	-

湖中央部であるSt. 2は湾の水が入り込み、よく混合している。湖から湾へつながるSt.3の上層には、湖から流出した塩分の低い水がみられる。濃度的には4月の観測値とほぼ変わらない。表3にみられるクロロフィルaの値は、17、18日に全体的に高いが、これは測定機器のキャリブレーションにやや問題があったためと思われる。したがって、観測点間の相対的な関係を見るには十分であるが、絶対値としてはやや不確実であるかもしれない。22日から26日の値は沿岸域としては低くおさえられている。これは、後にも述べるが、光照度の影響であると考えられる。河川水の硝酸塩（亜硝酸塩を含む）濃度がかかなり高いが（表4）、河川水中の硝酸塩濃度が今回よりもずっと低かった春（ $9.1 \sim 13 \mu\text{mol/l}$ ）と比較し、河口域であるSt.1の濃度には、同じくらいかもしくはやや少ないくらいの影響しか及ぼしていない。これは、春にくらべて河川流量が少ないためと考えられる。18日にSt.1で硝酸塩濃度が高いのは、17日にまとまった降雨があったためであろう。これに比べ、河川水中のリン酸塩濃度は湖・湾内部とほぼ変わらない（表5）。春の観測値（ $1.5 \sim 3.7 \mu\text{mol/l}$ ）と比べ、少なめではあるが、さほどの相違はない。湖内部のSt.2および、湖水の流出のみられるSt.3の上層部でリン酸塩濃度が比較的高い。

[数値モデル]

厚岸湖内部での栄養塩収支をみるために、三次元物理・生物結合モデルをこの観測期間に適用した。モデルは4月の厚岸湖で以前に適用したものをを用い、風・降水量はアメダスの観測値（観測所名：知方学）、光照度は光センサー（LI-1000 データロ

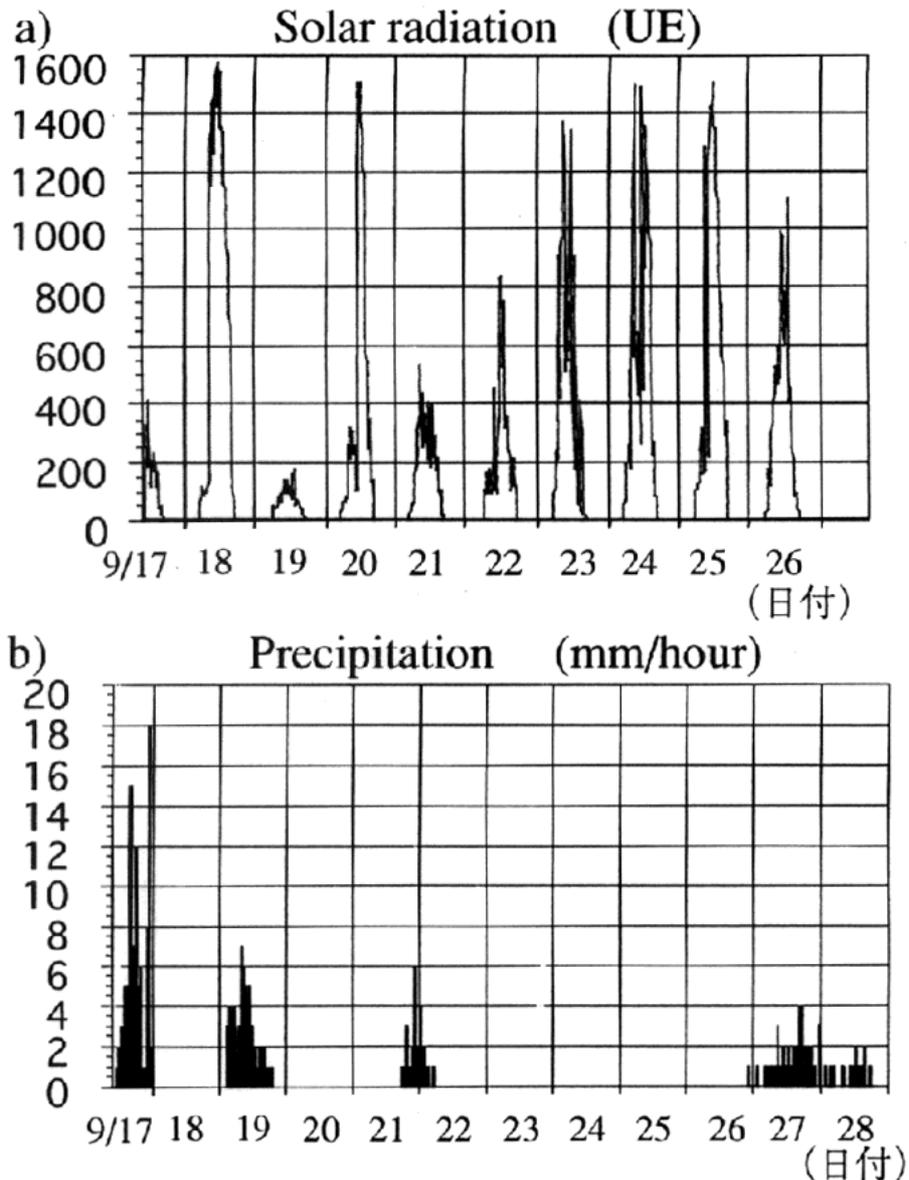
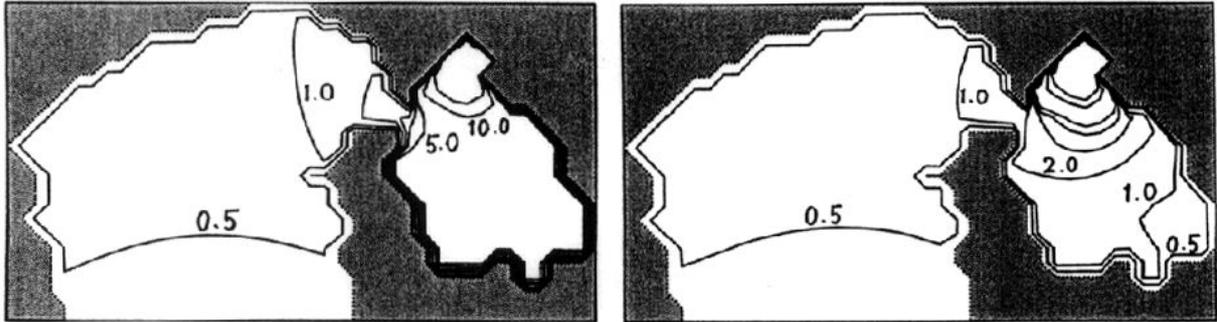


図2：外力：a) 日照度，b) 降水量

ガー，Li-COR，inc.）を用いて測定した。河川流量は5 t/sとし（沿海調査開発株式会社，1991）、それに降水量から計算した河川流出量を加算した。図2 a)に日照度、図2 b)に降水量を示す。アマモの生物量は初期値は0.4kg/m² (dry weight)とし、1カ月で2割減少するものと仮定した（Aioi，1981）。

図3はシミュレーションによる硝酸塩(a)とリン酸塩(b)の水平分布である。それぞれ、左側がアマモなしの場合、右側がアマモありの場合である。硝酸塩の濃度分布（図3 a)）を見ると、河川が主な供給源になっており、春期よりも河川水中の硝酸塩濃度が高いために、アマモの有無が厚岸湖内の硝酸塩濃度に春期よりもさらに大きな相違をもたらしている。それとは逆に、リン酸塩の場合（図3 b)）は河川からの栄養塩負荷は小さく、アマモがある場合はアマモの枯死により再生産される栄養塩が重要となっていることがわかる。

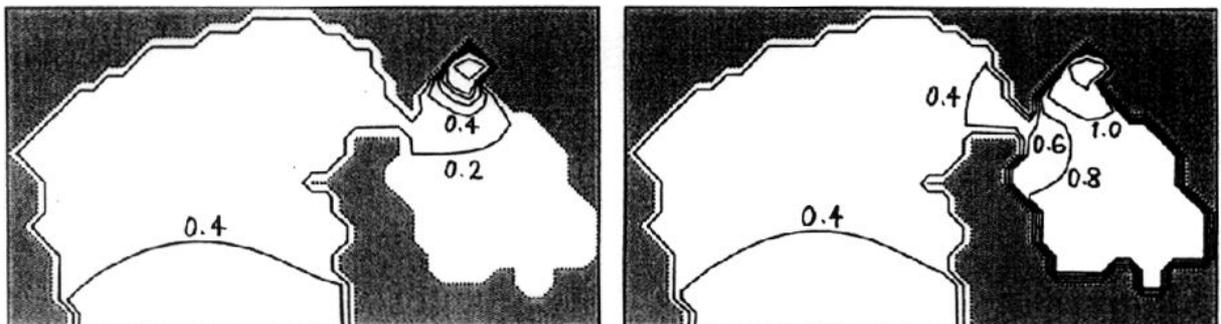
a) Nitrate ($\mu\text{mol/l}$)



アマモなし

アマモあり

b) Phosphate ($\mu\text{mol/l}$)



アマモなし

アマモあり

図3 : シミュレーションによる水平濃度分布 : a) 硝酸塩, b) リン酸塩

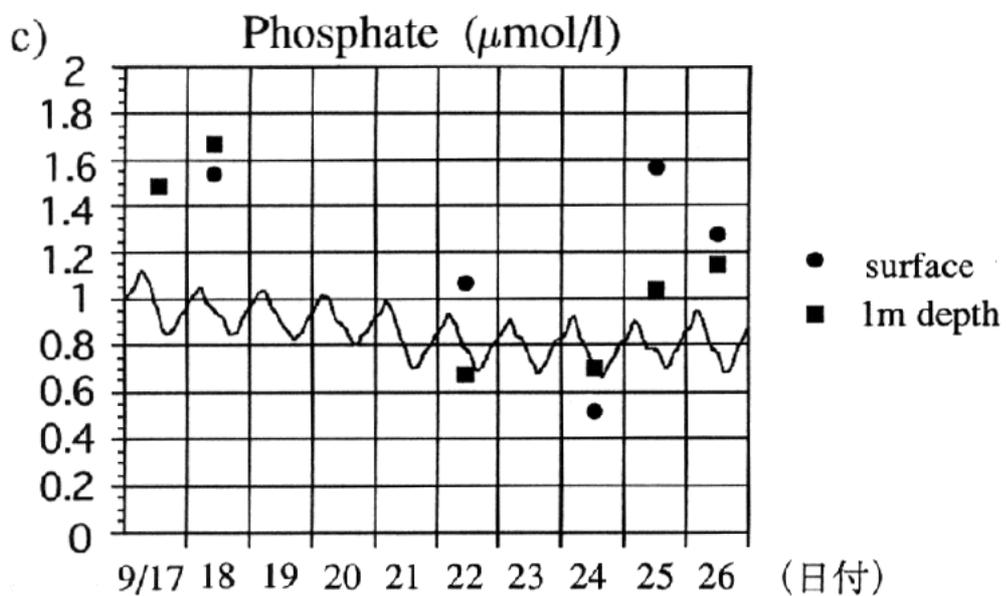
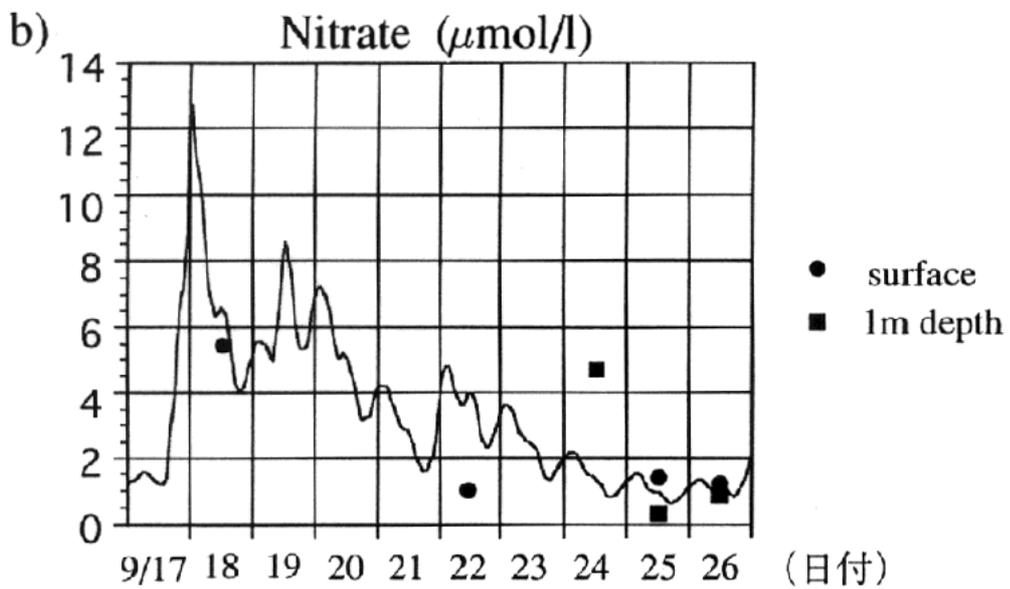
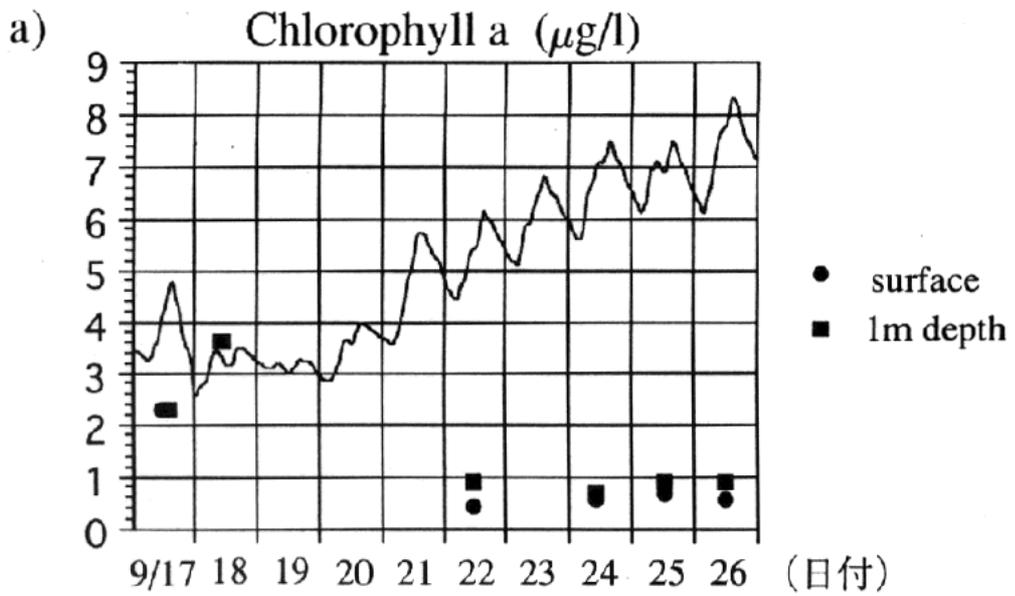


図4 : St.2 におけるアマモを含んだシミュレーションの時系列と観測値 : a) クロロフィル a , b) 硝酸塩, c) リン酸塩

厚岸湖中央部の観測点であるSt. 2における時系列を図4に示す。a) がクロロフィル a、b) が硝酸塩、c) がリン酸塩で、それぞれ実線がアマモを含んだシミュレーションによる計算値、黒丸が表層水における観測値、黒四角が水深1mにおける観測値である。クロロフィル a のシミュレーションによる値(図4a)は、9月20日以降は観測値よりもだいぶ高くなっている。この相違は、植物プランクトンの種類の変遷などによる光適応能力の違いによるものではないかと考えられる。硝酸塩(図4b)は観測データがやや少ないものの、計算値と観測値はほぼ一致している。図2bの降水量と図4bの硝酸塩濃度の比較を行うことにより、図3aでも見られたのと同様な河川水による硝酸塩増化がわかる。リン酸塩(図4c)の場合は、計算値には日周変化以外には大きな変動はみられないが、観測値はいくつかの日変動を示している。

表6にアマモをいれなかった場合、表7にアマモをいれた場合の厚岸湖内部での栄養塩の収支(5日間の平均値)を示す。図3, 4で示した栄養塩濃度は春期とさほど大きな相違はなかったが、アマモを含んだ栄養塩収支をみると、春期よりもおよそ一桁大きな値を示している。

表6：アマモなしの場合の厚岸湖内部での栄養塩収支(有効数字2桁)

	NO_3	NH_4	PO_4
移流・拡散	-450	1500	670
植物Pの光合成	-82000	-55000	-14000
植物Pの呼吸	8900	7300	1600
硝化	2300	-2300	-
溶出	-	22000	2200
DOMの分解	-	12000	1200
POMの分解	-	15000	1500
動物Pの排泄	-	2600	260
生物化学過程の合計	-71000	1200	-6900

(mol/day)

最後に、9月21日のアマモを含んだ生態系モデルによる厚岸湖内の物質循環の流れを図5に示す。

表7：アマモありの場合の厚岸湖内部での栄養塩収支（有効数字2桁）

	NO_3	NH_4	PO_4
移流・拡散	1700	670	570
植物Pの光合成	-4200	-140000	-15000
植物Pの呼吸	440	17000	1700
硝化	13000	-13000	-
溶出	-	180000	11000
DOMの分解	-	49000	3300
POMの分解	-	110000	6900
動物Pの排泄	-	2800	280
アマモの光合成	-110000	-220000	-13000
アマモの呼吸	49000	49000	5500
生物化学過程の合計	-54000	26000	1200

(mol/day)

[謝辞]

北大理学部附属厚岸臨海実験所所長の向井宏教授および実験所職員の方々にはや観測を行うにあたり多大な御助力をいただいた。また、北海道区水産研究所海洋環境部斎藤宏明博士、河野時広博士には、御好意で光センサーを貸与していただき、その設置と運用に際して御助言いただいた。厚岸水鳥観察館の職員の方々には本助成金の手続きや河川水観測に際し、お世話になった。上記の方々に心から謝意を表す。

[参考文献]

Aioi, K. (1981): Production of Eelgrass, *Zostera marina* L., and Its Growth Types in Subtidal Environments in Odawa Bay, Central Japan. A Dissertation, Presented to the Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University for the Degree of Doctor of Philosophy

沿海調査開発株式会社 (1991) : 厚岸町管内漁場環境の現状.

気象庁 (1997) : 地上気象観測日表.

Oshima, Y., M. J. Kishi and T. Sugimoto: Evaluation of the nutrient budget in a seagrass bed. *Ecological Modelling*, (submitted)