

霞ヶ浦抽水植物帯における脱窒について

浜田 篤信・河崎 正・外岡 健夫・喜多 明

霞ヶ浦湖岸の抽水植物帯の水質特性として低酸素及び高水準の硝酸態窒素の存在をあげることが出来る。又、抽水植物帯では汀線に近づくに従ってN/P比が小さくなる現象が認められている。これらのことは活発な脱窒を示唆するものである。従って、本報では、脱窒の定量的検討を取り上げた。

1. 調査の方法

(1) アセチレン阻害法による脱窒速度の測定

抽水植物帯内の湖底泥と湖水を直径95 mm、長さ300 mmのスチロール管を用いて湖底泥を泥深10 cm、湖水20 cmになるようにコア状に採集し、実験室に持ち帰り、30℃の恒温槽へ12時間放置した後、水層の上層5 cmをヘリウムガスで置換する(図1)。コア側面に取り付けたゴム栓からアセチレン飽和水をマイクロシリンジを用いて1 ml づつ泥層及び水層に注入し、 N_2O-N の反応を阻害した。又、100 ppm の硝酸ナトリウム水溶液20 ml を同様に注入した。このコアを36℃のインキュベーターに4時間放置した後、スチロール管内の気層をガス分析し N_2O を定量した。ガス分析はポラパックQを充填とし、3 m ガラスカラム及びTCDを用いたガスクロマトグラフによった。

(2) 現場における脱窒量の測定

従来の脱窒速度の測定は、窒素収支法、アセチレン阻害法、 N^{15} 法があるが、いずれも試料を実験室へ持ち込み、補助的な操作を加え現場での脱窒速度を推定しようとするものであり、現場において実測した値ではない。そこで、現場での脱窒速度を測定するために、抽水植物帯内の水中水面下20 cmの水深に直径20 cmのガラスロート(足の部分を切ってガスが洩らないように加工したもの)を逆さまに垂下して発生するガスを捕集した。ガスの採集時間は、通常は大気からのコンタミネーションを抑えるために24時間以内とした。又、大気からのコンタミネーションを除去するために対照として、1. 水生植物が存在しない湖岸帯に同様にロートを垂下、2. 抽水植物帯内では湖底面を50×50 cmの塩化ビニール板で被った条件下でのガラスロートによる捕集を行った。捕集したガスはガスクロマト用バイアルビンに湖水中で湖水とガスを置換して移したあと水層中に瓶の口を逆さまにして実験室に持ち帰りモレキュラー・シーブA5を充填剤とした3 m ガラスカラムを使用してガスクロマトグラフで分別定量を行った。

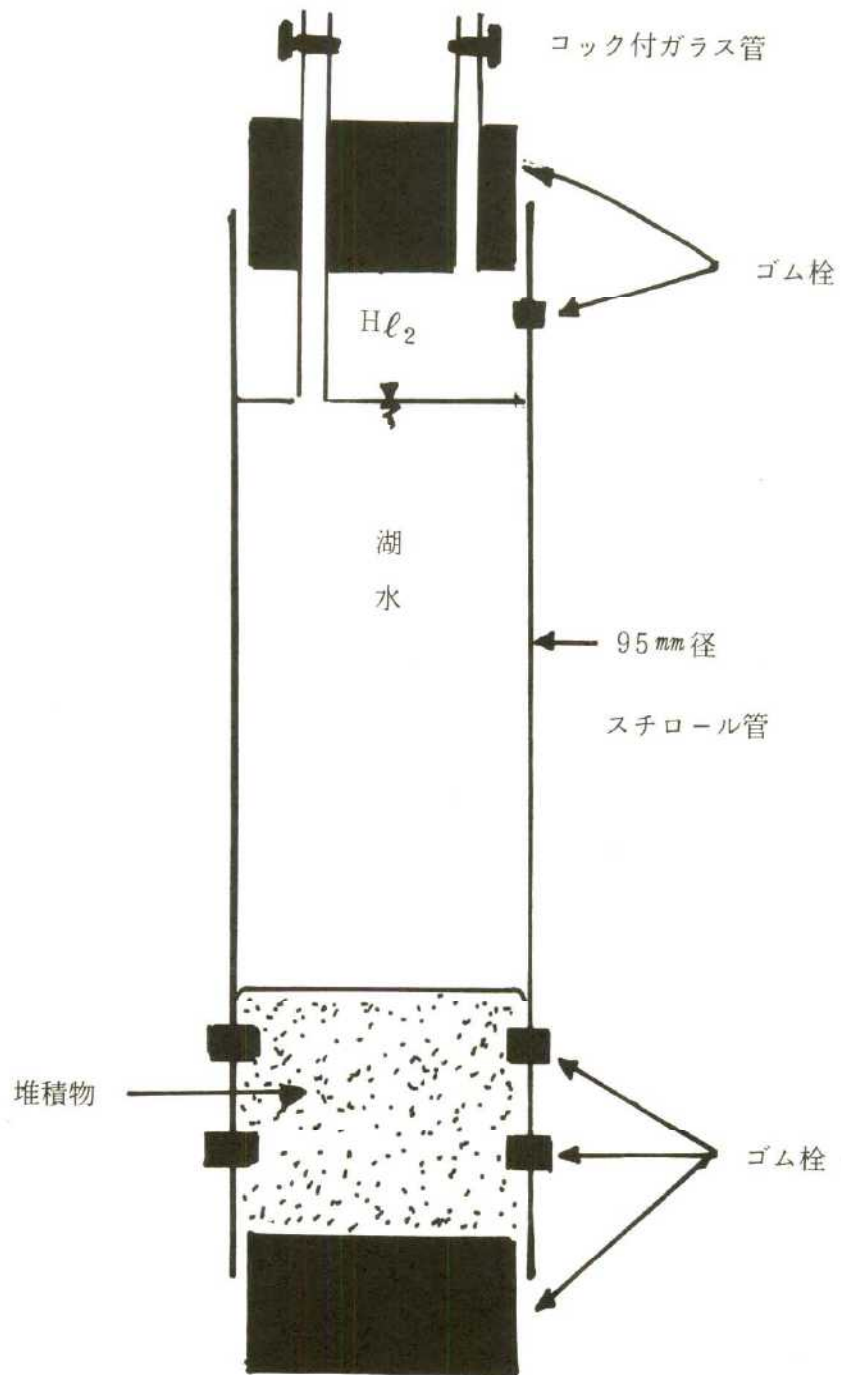


図1 アセチレン阻害法による脱窒測定用コア（直径95 mm）

対照のルートでガスが捕集されることは殆んど無かったが、波浪が大きい条件下では対照のルート中にもガス捕集されることがあった。この場合には、コンタミネーションがおこったものと見なし無効とした。又、ガス分析において酸素が検出された場合にも、大気中からのコンタミネーションの可能性があると考え実験を無効とした。このように大気からのコンタミネーションを除外する目的で三重のチェックを行った。

(3) 調査地点

調査を行った地点は玉造町浜地先の霞ヶ浦湖岸の抽水植物帯で前報1)のS T. 2である。

2. 調査の結果

(1) アセチレン阻害法による脱窒の確認

距岸0.5, 2.5, 5.0及び7.5 m地点において、1990年8月10日に脱窒速度を測定し、表1, 図2の結果を得た。脱窒速度は地点によって異なり距岸2.5 mの地点で最も高く90 m mol, m⁻²・day⁻¹であった。これより沖よりでは減少し5.0 m地点では50, 7.5 m地点では10 m mol, m²・day⁻¹であった。又、実験中に消費された硝酸帯窒素は汀線に近い程大きく75 mmol, m⁻²・day⁻¹で5 m地点では51 mmol, m⁻²・day⁻¹で概ね脱窒速度に相当していた。

表1 抽水植物帯における脱窒速度及びNO₃-N消費量

距 岸 (m)	脱 窒 速 度 (m mol, m ⁻² ・day ⁻¹)	硝 酸 帯 窒 素 消 費 (m mol, m ⁻² ・day ⁻¹)
0.5	56.78	74.93
2.5	89.70	71.91
5.0	59.83	51.36
7.5	12.20	—

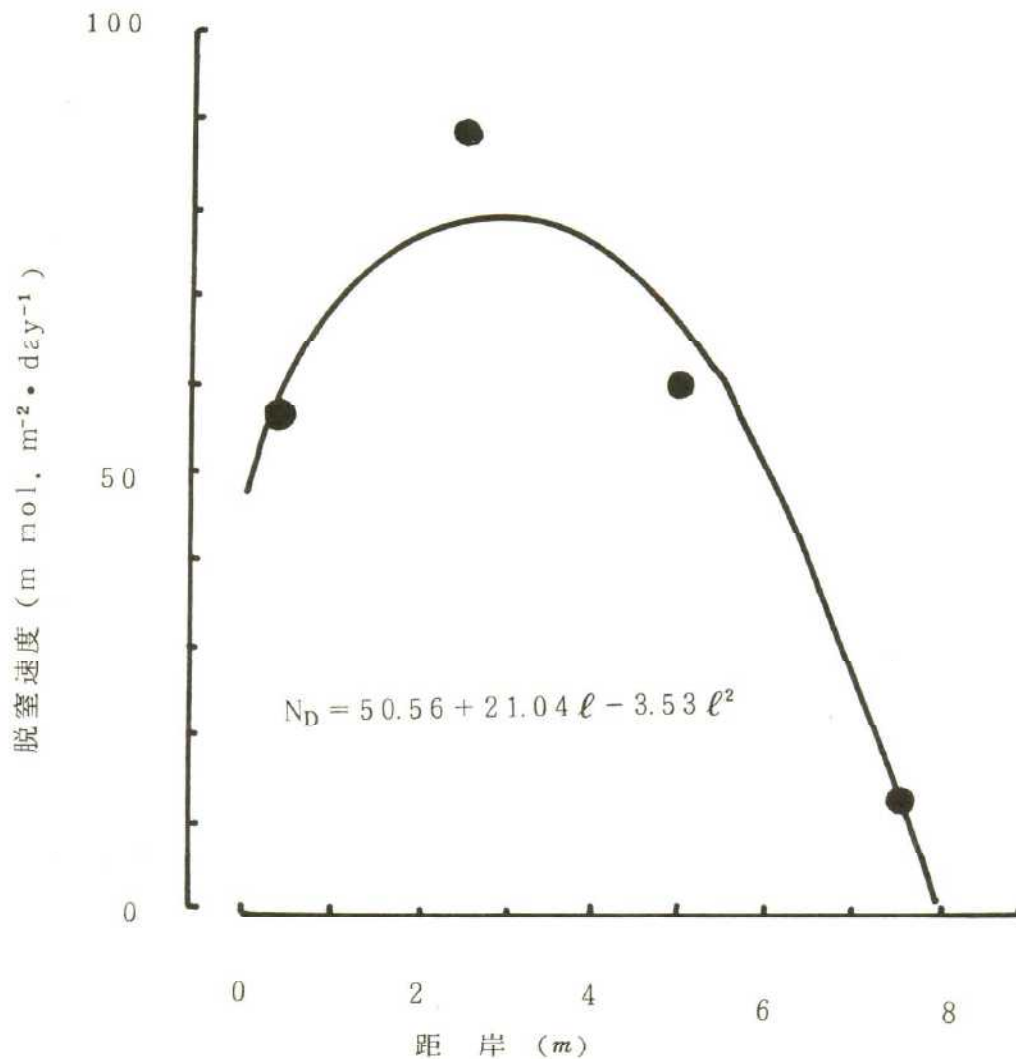


図2 アセチレン阻害法で求めた抽水植物帯の脱窒速度

(2) 現場法による脱窒速度の測定

抽水植物帯で発生するガスを直接集め、ガス分析によって求めた脱窒速度は表2、図3の通りである。抽水植物帯で発生するガスはメタンと窒素でありその比率は窒素が多く50-80%で、沖側で窒素の占める比率が高かった。(表3)。脱窒速度は距岸0.5 mの地点で最も高く30-60、2.5 m地点では10-30、5 m地点では4-20、7.5 m地点では1-15 mmol · m² · day⁻¹でアセチレン阻害法から求めたものよりやや低めであった。又、距岸に対する脱窒速度の変動傾向もアセチレン阻害法で求めた値と異なり指数曲線に従って沖合いに向かって減少し10 mより沖合いの地点ではガス採集が困難であった。アセチレン阻害法と現場法を比較するとアセチレン阻害法で得た値が上位に位置し、測定の条件から勘案して脱窒速度の上限を示しているものと考えられた。特に、抽水植物帯の中央部で現場法で得られた値が低めであるのは、別報で述べたように抽水植物が湖水の流動を阻害し沖合いからの基質の供給が阻害されることによるものではないかと考えられた。

表2 現場法によるN₂発生量, 及び湖岸線単位延長当り脱窒速度

月日	水温	N ₂ , m mol, m ⁻² ・day ⁻¹				a*	b*	ΣN _D (脱窒速度)* m mol, m ⁻¹ ・day ⁻¹
		0.5 m	2.5 m	5.0 m	7.5 m			
7.6		50.8						
7.16		50.4						
7.20		72.6	50.9					
7.23	25.2	34.8	11.3	4.0	0.9	44.35	0.511	86.7
7.25		63.5	12.1					
7.27		45.4	7.6					
7.28		36.3	6.1					
7.31	28.8	40.3	20.7	17.6	6.0	45.38	0.250	181.5
8.2	28.8	42.4	27.2	14.6	9.0	47.04	0.224	210.0
8.14	26.5	54.4	27.2	12.1	3.6	70.06	0.382	184.0
8.18	30.8	52.9	27.0	16.6	15.6	48.32	0.174	277.0
8.22	30.2	52.9	31.5	13.6	16.3	50.21	0.184	274.3
8.30	28.2	51.4	21.1	6.1	10.8	42.51	0.247	172.1
9.2	25.0	31.8	19.6	4.5	1.8	44.85	0.431	104.1

$$* \Sigma N_D = \int_0^{\infty} a \cdot \exp. (-bl) dl \text{ から計算}$$

表3 捕集ガス全体に占めるN₂の割合(%)

月日 \ 距岸(m)	0.5	2.5	5.0	7.5
8/2	80.9	68.6	76.5	81.1
8/22	45.7	50.2	67.7	70.7
8/27	51.9	48.2	63.8	81.0
9/12	64.2	46.4	51.2	56.9

N_2 (m mol, $m^{-2} \cdot day^{-1}$)

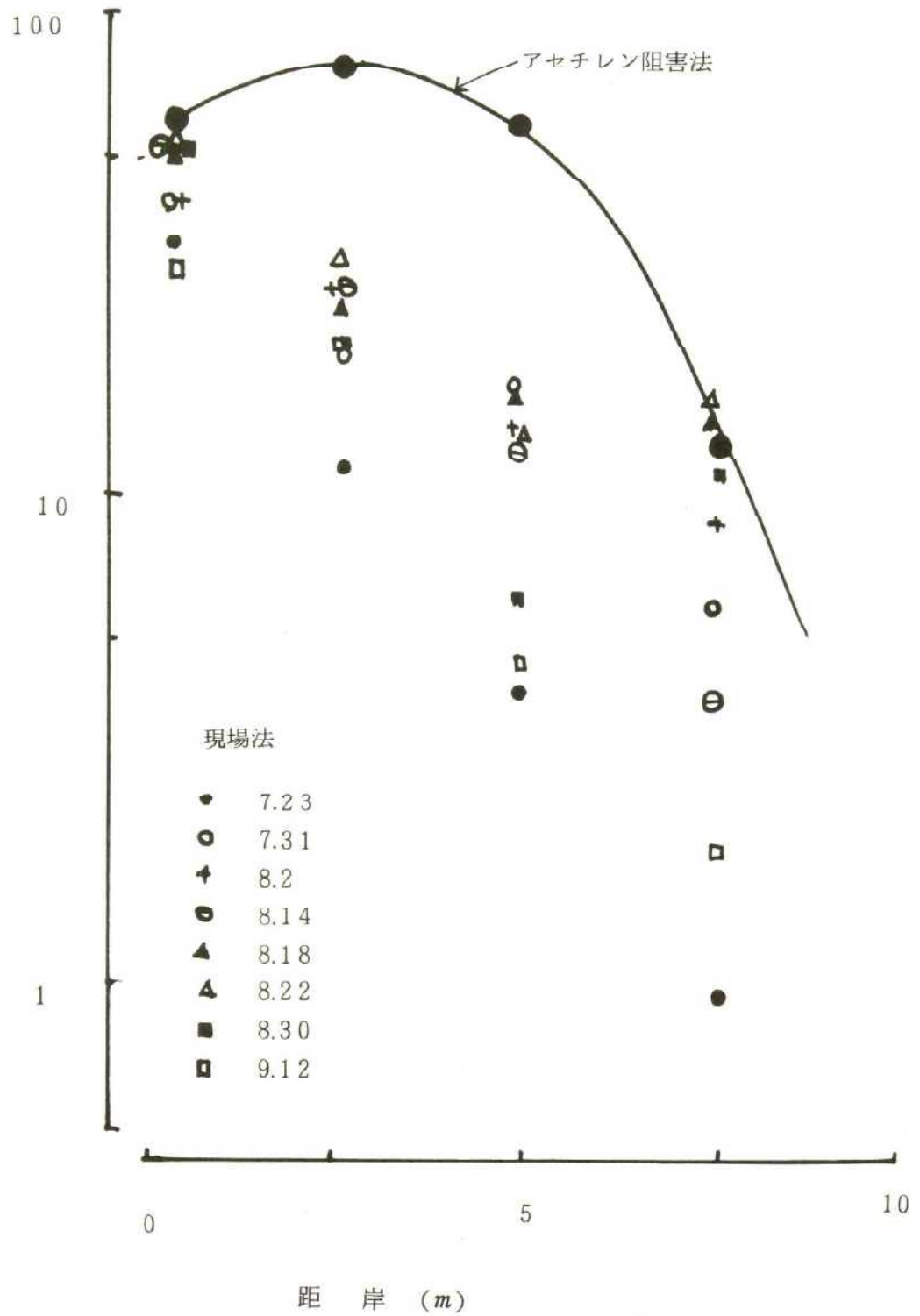


図3 現場法による脱窒速度

3. 考 察

霞ヶ浦湖岸帯の抽水植物帯における脱窒速度は、抽水植物帯の沖側では小さく、湖岸よりの10 m以内で顕著である。アセチレン阻害法では、最も岸よりの常に低酸素条件下にある0.5 m地点で $1.25 - 3 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ という高値が得られている。この値はこれまでに得られたどの値よりも大きく最大値では、それらの2倍程度となっていて、抽水植物帯の脱窒速度の大きさと重要性を示している。前報で、抽水植物帯における硝酸態窒素やN/P比の分布から脱窒が示唆されていたが、本調査により実証された。

次に抽水植物帯の脱窒の湖の浄化効果の定量的検討が問題となる。湖岸線単位延長当りの脱窒の潜在能力はアセチレン阻害法で求めた距岸(1)と脱窒速度の関係を示す次式を1について積分することによって求めることが出来る。

$$N_D (\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}) = 50.56 + 21.041 - 3.531^2 \quad (1)$$

$$N_D (\text{m} \cdot \text{mol} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}) = \int_0^{l_0} (50.56 - 10.521^2 - 17.1^3) dl \quad (2)$$

ここで、 N 、 N 及び l_0 は、それぞれ単位面積当り脱窒量、湖岸線単位延長当り脱窒量及び脱窒の有効範囲であり、 l_0 はここでは7.98である。こうして求めた値は、 475.77 mol 、 $8070.7 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ である。もし、湖岸帯全域が抽水植物帯であると仮定すると、この値に霞ヶ浦の湖岸線総延長247 Kmを乗じた 1.99 ton/day が抽水植物帯に於ける脱窒による浄化量に相当する。これは霞ヶ浦への流入負荷量(約10 ton)の19.9%に相当する。この値は現存する抽水植物帯に於ける脱窒最大値と考えてよいだろう。しかし、現場法の測定結果が示しているように実際には上記の値よりもやや低めの値を示すことが多い。脱窒量と距岸の関係は片対数紙で直線となることが多いから、

$$N_D = a \cdot \exp. (-b \cdot l)$$

に従うものとして表3の測定結果を整理し、これを積分して単位湖岸線当りの脱窒量を求めてみることにする。脱窒量と距岸の間には、比較的高い相関関係が認められ、水温の上昇に伴い a 及び b 共に大きな値を取るようになる。 a 及び b 値と水温との間にも比較的高い相関関係が認められる。これらの値を(4)式に代入し積分すると湖岸線単位延長当りの脱窒量を求めることが出来る。これらの値を表3に示したが、8月には $172 - 277 \text{ m} \cdot \text{mol} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ 、7月及び9月には、これよりもやや低めの値を示している。これを先のアセチレン阻害法で求めた値と比較するとおおよそその60%に相当する。アセチレン阻害法によって得られた値を使用した場合には、流入負荷量の約20%が脱窒によって除去されると推定されたが、実際には、これよ

りやや低く高水温期の7月下旬から9月上旬には6-10%程度と考えられる。

脱窒速度は水温、溶存酸素量と硝酸態窒素や溶存有機物の供給速度によって影響を受けて変化をするものと考えられるが、それらの情報を得ることが困難であるので、単純に水温との関係から季節変化を推定してみる。

表3の観測結果から得られたb値について、水温との関係を図示したものが図4である。b値は水温の上昇とともに小さくなる。即ち、汀線から遠ざかっても脱窒速度の低下は小さく脱窒の活発な範囲が広いことを示している。一方、a値は若干ではあるが水温の上昇とともに増大しているようであるが、25-31℃の範囲では一定と見なしても差し支えないであろう。従って、水温(T)と脱窒量(ΣN_D)との関係は

$$\Sigma N_D = 49.1 \int_0^{\infty} \exp. [47.76 \exp. (-0.182 T) l] dl$$

によって求めることが出来る。これによれば、30、25、20、15℃で、それぞれ241.8、97.0、39.28、15.78及び6.35 $m \text{ mol} \cdot m^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ となり、20℃以上では流入負荷量の4%-24%ときわめて大きな効果があるが、それ以下では2%以下となり、脱窒による浄化効果は期待できないことになる。

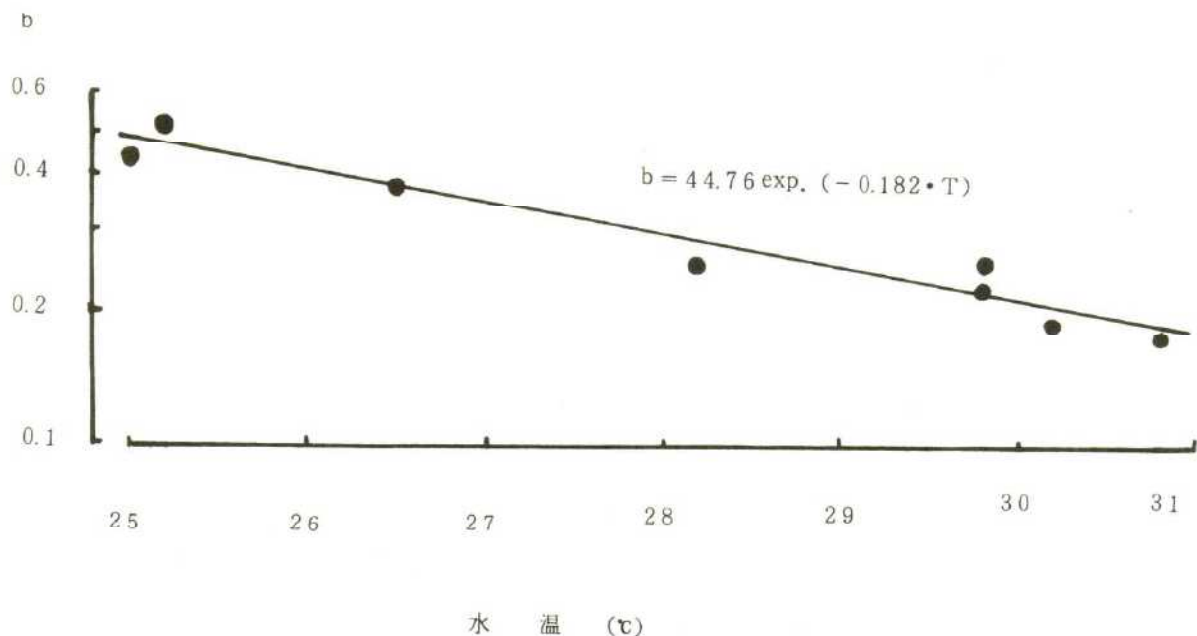


図4 水温とb値との関係

以上霞ヶ浦に現存する抽水植物帯について脱窒の確認と定量的検討を試みた。定量的検討については10-6月の間の検討が必要であるが6-9月の高水温期については6-10%程度と推定された。しかし、現存する抽水植物帯は背後地がコンクリート護岸であったり、植生が不完全であり、また抽水植物帯の幅もかつてのそれに比較すると狭い。又、抽水植物帯の沖合いには沈水植物帯の分布も見られない。このようにかつての条件と現状とを比較すると以上のような大きな違いが認められ、水生植物帯の減衰の影響評価や水生植物帯を復元した場合の水質予測等を行う場合には、こうした点も勘案しなければならない。今後の課題である。

謝 辞

本調査を行うに当り国立環境研究所相崎守弘博士、工業技術院公害資源研究所佐山幹雄博士、茨城大学農学部高村義親博士にご指導を賜った。ここに深謝致します。

引用文献

- 1) 浜田篤信他(1991): 霞ヶ浦における水生植物帯の生態学検討, 本誌27。
- 2) S. P. SEITZINGER (1988): *Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: ecological and geochemical*
- 3) 吉田富男他(1979): 霞ヶ浦における生物的窒素固定と脱窒, 陸水学雑誌40(1)。