

CODの増加が霞ヶ浦、北浦の漁獲量に及ぼす影響

野内 孝則・外岡 健夫

1. はじめに

化学的酸素要求量 (COD) は、水中に含まれる有機物質を表しており有機的な汚染指標となっている。湖沼に窒素やリンが流入すると、基礎生産が増大し、漁獲量が増加することは一般に知られている。岩崎 (1994) は、霞ヶ浦を含む全国10湖沼について1978~1988年の11年間の平均値から、単位容積当たりのCOD負荷量が増加すると漁獲量が多くなることを示した。今回、1966年から霞ヶ浦と北浦のCODと漁獲量の関係を経年で検討するとともに、プランクトン組成、クロロフィル a、溶存態COD (D-COD) との関係について考察した。

2. 方法

既存の資料を使用した。

COD: 1966~1971までは、霞ヶ浦北浦湖沼観測報告、1972~2001年までは、茨城県内水面水産試験場調査研究報告を用いた。これらの報告でCODは、1980年まではアルカリ酸化法により測定し、1981年からは過マンガン酸カリ酸性酸化法により測定している。アルカリ酸化法によるCOD値は、過マンガン酸カリ酸性酸化法よりも若干低い値を示すため、変換係数1.5 (EX都市研究所: 1979) により補正を加えた。観測データは、霞ヶ浦では、沖宿、木原、湖心、大井戸、高崎、麻生の6地点、北浦では、外浪逆浦、水原、白浜、馬渡、安塚の5地点の年平均値を用いた。なお、各地点毎の月変動の解析では、変換係数の補正を加えることなく用い、変動をマクロに検討した。さらに、1991年から溶存態COD (D-COD) の測定値を加え検討した。

また、1957~1960年については、CODの観測データがないので、霞ヶ浦総合利水調査報告書第1集 (1962) に報告された過マンガン酸カリ消費量から酸素消費量

(COD) に換算して用いた。

クロロフィル a は、CODと同様茨城県内水面水産試験場調査研究報告を使用した。

漁獲量は、茨城県農林水産統計年報を使用した。

3. 結果

(1) 水質

① CODの年変動

図1に霞ヶ浦及び北浦におけるCODの年平均値および総漁獲量の推移を示した。

霞ヶ浦ではCODは1966~1970年までの間は、4~6 mg/l の値をやや上昇傾向で推移した後、1971~1975年まで上昇し約9 mg/l になった。その後、

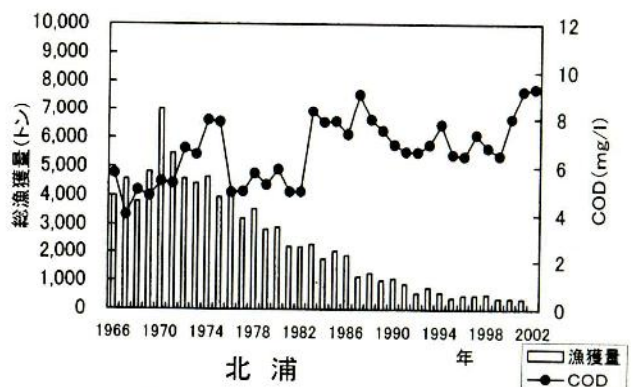
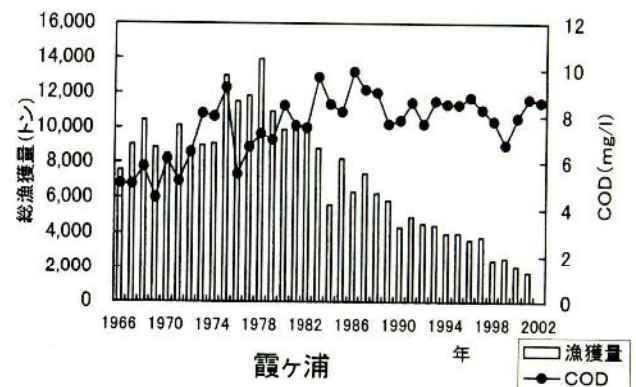


図1 総漁獲量とCODの推移

1976年に5 mg/l に減少した後、1983年にかけて上昇し、約10mg/l になった。1989年以降は、ほぼ8 mg/l 前後で推移している。

北浦では、CODは1966年に5.7mg/l であったがその後上昇し1974年に約8 mg/l となった。霞ヶ浦と同様に1976年に約5 mg/l に減少した後、1982年までは5～6 mg/l の間を推移していた。1983年に8 mg/l となった後、1987年約9 mg/l になった。1988～1999年には6～8 mg/l の間で推移してきたが、2000年から上昇傾向が認められる。

② CODの月変動

図2、3に霞ヶ浦（湖心）、北浦（白浜）におけるCODの推移を示した。

1966～1970年にかけては、値の変化は小さかったが、1970～1990年にかけて、大きな変化を示した。しかし、1995年以降は変化は小さくなった。

③ クロロフィル a の月変動

図4に霞ヶ浦の湖心におけるクロロフィル a の推移を示した。

1972～1985年にかけて、変化が大きかったが、1995年からは変化が小さくなった。これは、CODの推移とほぼ一致していた。

(2) 漁獲量

① 霞ヶ浦

総漁獲量は、1966年に7,543トンで、以後、漸増し1978年には13,944トンとなった。その後直線的に減少し、2001年は1,699トンとなった。最高漁獲時の1978年の漁獲量に比べると2001年の総漁獲量は12%であった（図1）。

漁業は経済行為であり、経済的な影響を受けるため、必ずしも魚介類の総生産を代表しない。そこで、総生産の指標値として漁獲したものを全て水揚げすると考えられる主要4種、ワカサギ、シラウオ、テナガエビ、ハゼ類の漁獲量とCODの推移を図5に示した。4種の漁獲量も1966年の3,471トン以後上昇し、1978年に8,753トンの最大値と

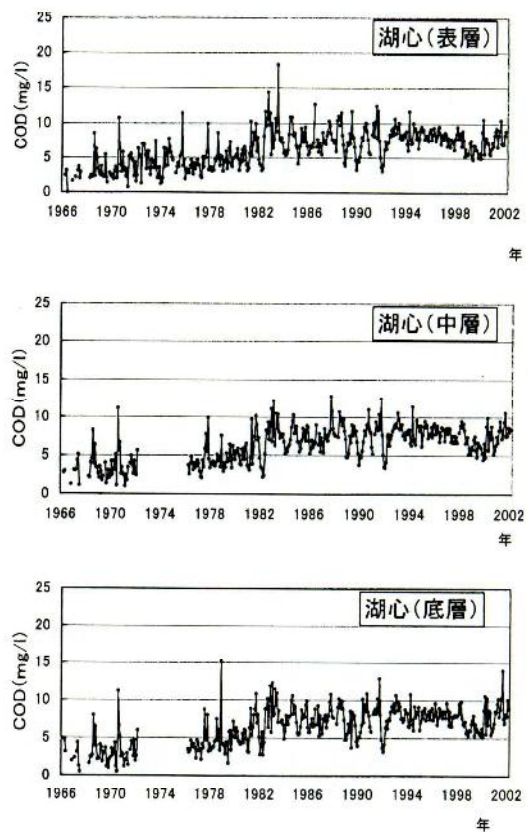


図2 霞ヶ浦（湖心）におけるCODの推移

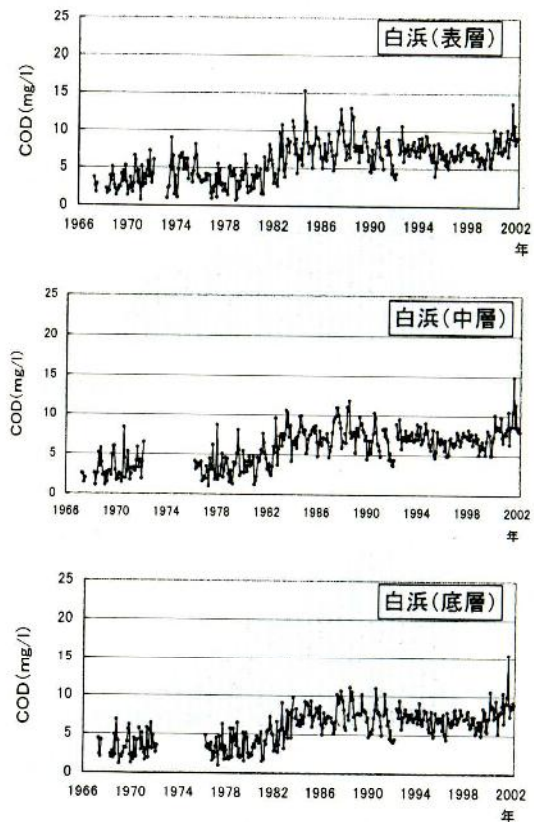


図3 北浦（白浜）におけるCODの推移

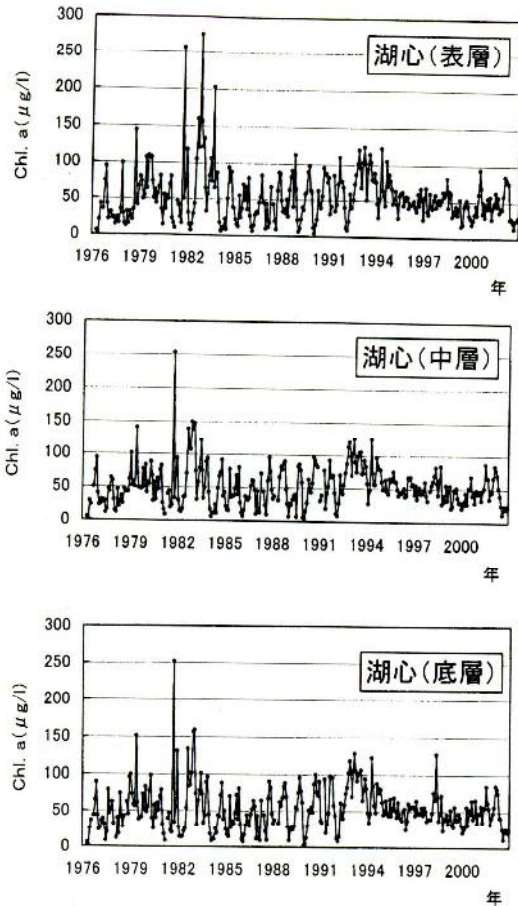


図4 霞ヶ浦（湖心）におけるChl.aの推移

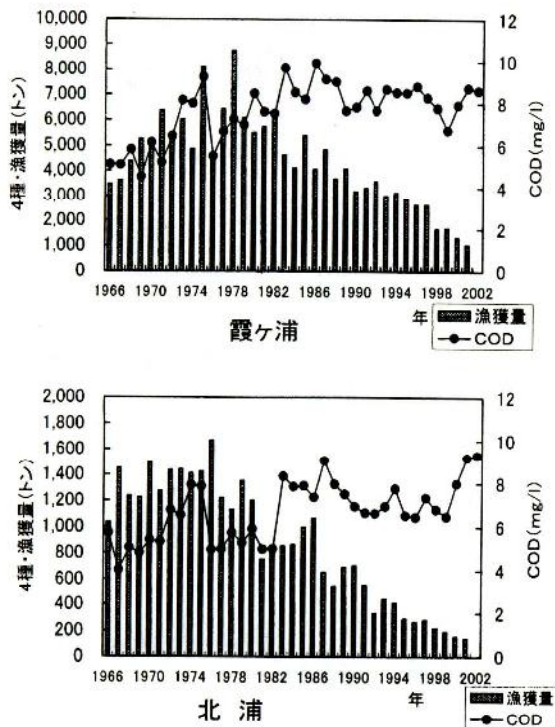


図5 主要4種漁獲量とCODの推移

なった。その後1979年から減少傾向に転じ、2001年は1,057トンとなった。この主要4種の漁獲量の推移も、総漁獲量に近い推移を示していた。

② 北 浦

総漁獲量は、1966年に4,001トンであったが、以後増加し、1970年には、7,023トンとなった。その後、1995年まで直線的に減少し407トンになった。それ以降は、2001年まではほぼ横這いとなった（図1）。霞ヶ浦と同様に主要4種の漁獲量とCODの推移を示した（図5）。4種の漁獲量は、1966年は1,035トンであったものが、以後増加し、1967年から1980年までは1,200～1,500トンで横這いであった。その後、1981～1986年は、800～1,000トンの間で推移していたが、1987～1991年にかけて500～700トンの間を推移した後、1993年以降直線的に減少し、2001年には140トンとなった。

(3) CODと漁獲量の関係

CODと総漁獲量の関係を図6に、CODと主要4種漁獲量の関係を図7に示した。

年代については、糸状藻類の発生が確認された1982年、糸状藻類への遷移が起こった1989年（内水試：1990）に区分した。

① 霞ヶ浦

1957～1988年の間では、COD 2 mg/l から 7 mg/l に増加すると漁獲量も増加しているが、COD 7 mg/l を超えると漁獲量が減少しており、COD 7 mg/l 付近に漁獲量のピークがみられる。1957～1981年間のCODと漁獲量の回帰直線を求めてみると(1)のとおりに $r = 0.771$ の正の相関関係が認められる。同様に各年代毎に回帰直線と相関係数を求めてみると、1982年から1988年までは $r = 0.452$ (2)、1989～2001年は $r = 0.077$ (2)であった。

1957～1960及び1966～1981年

$$y = 1015x + 3157 \dots\dots\dots(1)$$

$$(r^2 = 0.5952 \quad r = 0.771)$$

1982～1988年

$$y = -851.3x + 15056 \dots\dots\dots(2)$$

$$(r^2 = 0.2047 \quad r = 0.452)$$

1989～2001年

$$y = 157.65x + 2433.9 \dots\dots\dots(3)$$

$$(r^2 = 0.006 \quad r = 0.077)$$

CODと主要4種漁獲量については、全体的には総漁獲量と同様の推移を示している(図7)。回帰直線は、1957～1981年までは(4)のとおりCODの上昇と漁獲量の増加には相関係数 $r = 0.820$ が認められる。1982～1988年は、 $r = 0.714$ (5)であるが、1989～2001年には、 $r = 0.067$ (6)である。

1957～1960及び1966～1981年

$$y = 811.26x + 102.47 \dots\dots\dots(4)$$

$$(r^2 = 0.6725 \quad r = 0.820)$$

1982～1988年

$$y = -746x + 11322 \dots\dots\dots(5)$$

$$(r^2 = 0.5091 \quad r = 0.714)$$

1989～2001年

$$y = 104.37x + 1794.2 \dots\dots\dots(6)$$

$$(r^2 = 0.0045 \quad r = 0.067)$$

② 北 浦

霞ヶ浦同様回帰直線と相関係数を求めた。1957～1981年までは、COD上昇と総漁獲量には(7)のとおり $r = 0.126$ である。また、1982～1988年については、 $r = 0.526$ (8)で、1989～2001年はCODが上昇しても漁獲量は横並びとなり $r = 0.196$ (9)であった。

1957～1960及び1966～1981年

$$y = 118.25x + 3316 \dots\dots\dots(7)$$

$$(r^2 = 0.0159 \quad r = 0.126)$$

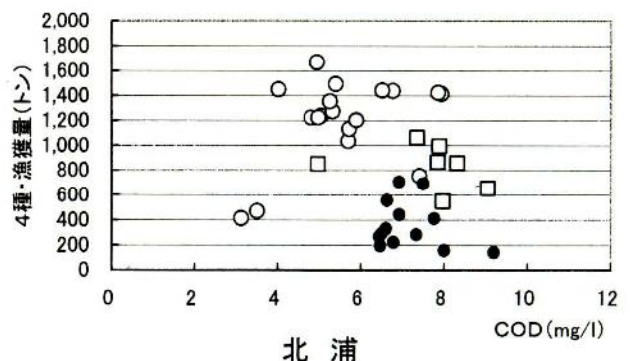
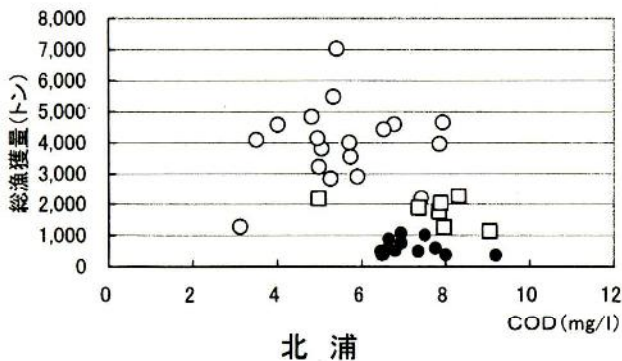
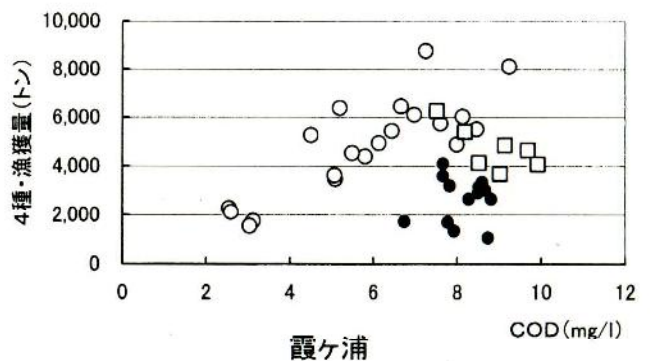
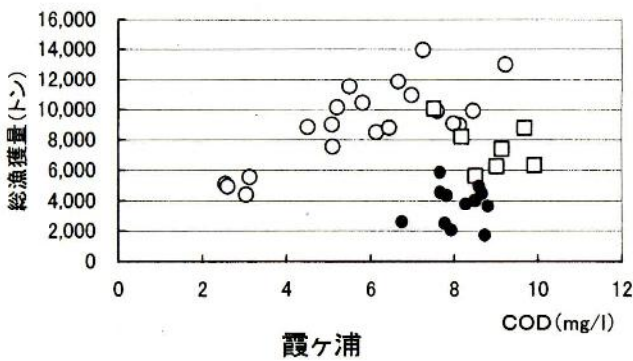


図6 CODと総漁獲量の関係

- : 1957～'60, '66～'81年
- : 1982～1988年
- : 1989～2001年

図7 CODと主要4種漁獲量の関係

- : 1957～'60, '66～'81年
- : 1982～1988年
- : 1989～2001年

1982～1988年

$$y = -180.4x + 3166.2 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$(r^2 = 0.2772 \quad r = 0.526)$$

1989～2001年

$$y = -60.146x + 1040.8 \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$(r^2 = 0.0385 \quad r = 0.196)$$

主要4種については、1981年までは、CODが上昇すると漁獲量は増加する傾向を示している(図7)。しかし、回帰直線では、1957～1981年までは $r = 0.413$ (10)、1982～1988年は $r = 0.289$ (11)、1989～2001年は、 $r = 0.220$ (12)であった。

1957～1960及び1966～1981年

$$y = 104.46x + 620.03 \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$(r^2 = 0.1705 \quad r = 0.413)$$

1982～1988年

$$y = -40.666x + 1142.6 \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$(r^2 = 0.0835 \quad r = 0.289)$$

1989～2001年

$$y = -52.546x + 736.79 \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$(r^2 = 0.0486 \quad r = 0.220)$$

北浦については、COD上昇と漁獲量の関係は特に認められなかった。

4. 考 察

(1) CODと漁獲量の相互関係

霞ヶ浦については、1957～1988年まではCODの増加に伴い漁獲量も増加したが、COD 7 mg/l 付近に漁獲量のクリティカルポイントが存在し、これを越えると漁獲量は減少に転じた(図6, 7)。

CODが上昇すると漁獲量が増加するのは、栄養塩類の流入が増大し植物プランクトンによる生産が活発となり、さらに高次生産にも影響が及ぶためであり、CODがある限界を超えると漁獲量は低下に向かう。その理由の一つとして、COD増大が高次生産に

結びつかないのではないかと考えられる。そこでCOD上昇にともなう基礎生産の質の変化が問題となる。CODの月毎の推移では、1990年以前には変化が大きかったが、1990年頃から変化が小さくなり、さらに1995年以降には、ほぼ一定となっている(図2, 3)こうした傾向は、クロロフィルaの推移においても顕著に認められる(図4)。その原因は、植物プランクトンの遷移に係るものと考えられる。糸状藍藻類(*Oscillatoria*, *Phormidium*)が優占種として定着するのは1989年頃からである。この遷移の時期とCODの変動が小さくなった時期はほぼ一致している。

次に問題となるのはCODの内容である。最近、COD中の溶存態COD(D-COD)の比率は40～60%であり(公害技術センター:1999)、時には80%にも達している(図8, 9)。D-CODは、有機物分解過程の中間代謝産物である有機酸等であると考えられている。浜田(2001)は、1977年に比べて1988年は、酢酸の濃度が数10倍にも及ぶ高濃度で検出され、酪酸や乳酸も検出されている(表1)。従来、有機物は比較的速やかにアンモニア態窒素やリン酸態リンの無機物に還元されていた。しかし、分解者であるバクテリア等の減少(熊丸1999)によって、有機物の分解が停滞し、その結果、中間代謝産物である有機酸等が湖水中に蓄積され(浜田1996)、D-CODの占める比率が高まったことが一つの原因と考えられる。このことによって湖内の基礎生産は、主に河川から流入してくる栄養塩類に依存するようになってきている。1991年の観測結果では、河川の影響を大きく受ける高浜入では、*Microcystis*の発生が認められたが、河川の影響の比較的小さい湖心では、*Oscillatoria*の発生が多くなっている(内水試:1992)。1990年以降は、CODは8 mg/l前後の安定した推移を示しているが、D-CODの比率は、高崎沖の上層及び下層で最小値、湖心上層で最大値を示し、D-CODの分解試験では、河川等の影響が大きい土浦沖や高崎沖のD-CODは分解されやすく、河川の影響が小さい

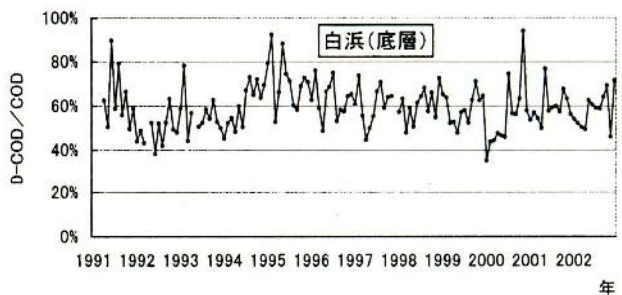
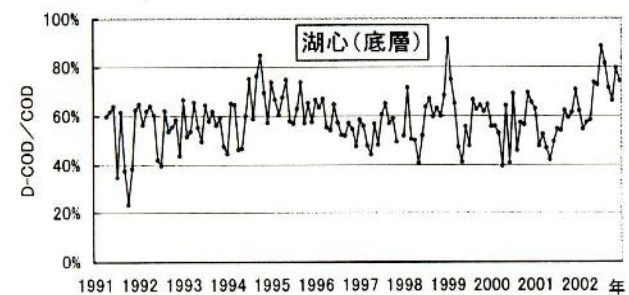
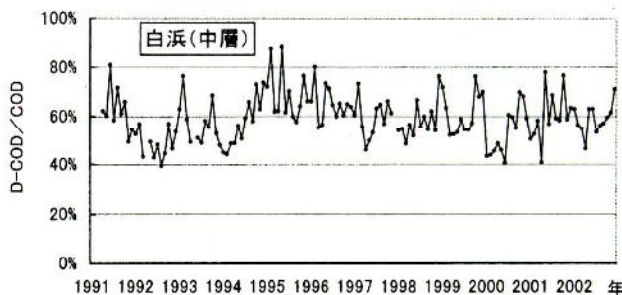
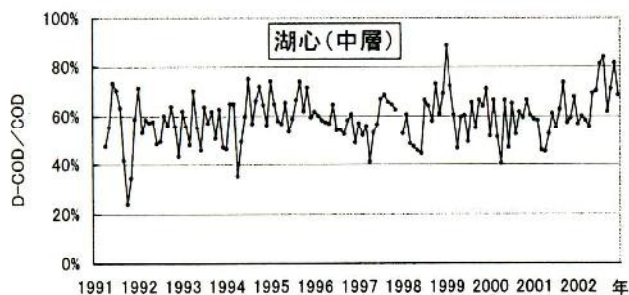
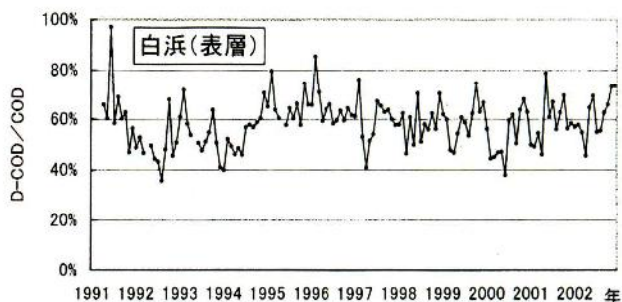
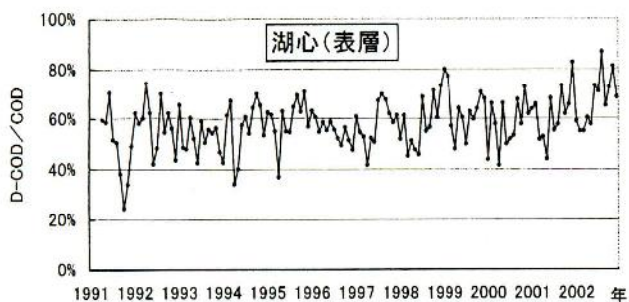


図8 霞ヶ浦（湖心）におけるT-COD中のD-CODの割合

図9 北浦（白浜）におけるT-COD中のD-CODの割合

表1 霞ヶ浦（湖心）湖水中の有機酸濃度（ $\mu\text{mol/l}$ ）

	1977年				1988年			
	酢酸	プロピオン酸	酪酸	乳酸	酢酸	プロピオン酸	酪酸	乳酸
1月	0.72	N.D.	N.D.	N.D.				
2月	0.52	N.D.	N.D.	N.D.				
3月	0.27	N.D.	N.D.	0.06	N.D.	15.5	46.0	N.D.
4月	0.19	N.D.	N.D.	N.D.	44.1	N.D.	N.D.	28.9
5月	0.26	N.D.	N.D.	N.D.	43.1	N.D.	N.D.	45.2
6月	0.12	N.D.	N.D.	N.D.				
7月	1.20	N.D.	N.D.	N.D.				
8月	0.97	N.D.	N.D.	0.01				
9月					71.4	N.D.	N.D.	8.3
10月	0.41	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.5
11月	0.13	N.D.	N.D.	N.D.	6.0	N.D.	N.D.	8.0
12月					N.D.	N.D.	25.6	5.5

N.D. : 検出限界以下

(浜田 2001) より引用

湖心、釜谷沖ではD-CODは分解されにくい傾向（公害技術センター：1999）が認められている。このことは、CODを分解するバクテリアの減少によって湖内の物質循環が停滞した。その結果D-CODの比率が高まり、回帰による栄養塩類の供給が滞り、基礎生産力が低下し漁獲量の減少につながったと考えられる。

(2) 富栄養化の進行と漁業生産

霞ヶ浦では、流域からの生活排水、周辺田園・山林地帯からの農業畜産排水、工場・事業所からの排水、湖内での養殖魚の排泄物等、有機・無機の多量の栄養塩が湖内への流入している。自栄養方式の藻類にとっては、無機態の栄養塩は直接利用できるものの、有機体の栄養物質利用は劣っている（高橋1978）。

霞ヶ浦北浦では、酸素欠乏が1970年頃から始まり、1980年頃に定着したと考えられ（浜田 2001）、湖底の分解が嫌氣的となり、回帰する栄養物質が質的に変化し有機物質の存在量が高まり、D-CODの増大に結びついたものと考えられる。自栄養方式の藻類である*Microcystis spp.* は、有機的栄養によって増殖が抑制されることは知られている（洪川1981）。同時に、*Oscillatoria*が有機的栄養を利用できる（高村2003）ことは知られており、霞ヶ浦で*Microcystis*から*Oscillatoria*、*Phormidium*への変遷が起こったのは1982年頃からであり（外岡1990）、漁獲量の減少が起こった時期と一致している。このことについては、Arnold（1971）や野口ら（2002）によって糸状藍藻類が魚に利用されにくいとの報告がある。

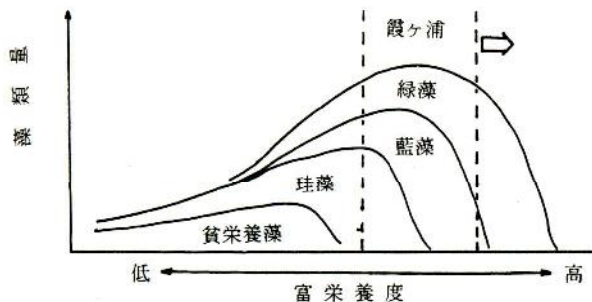


図10 富栄養化と優占藻類の遷移、緑藻は各種鞭毛藻類を含む 高橋（1978）より

2000年には、植物プランクトン組成で珪藻類が優占することが多く、特に冬季にはクロロフィル a 値も高まっている（内水試 2002）。これまで、回帰する栄養は主に藍藻類によって利用されていたのに、湖内の物質循環が停滞し回帰による栄養補給が滞ったことから、河川流入による栄養補給が優ようになった結果、珪藻類が優占するようになったのではないかと考えられる。

高橋（1978）は、富栄養化の進行と藻類の生産との関係について図10を提唱した。すなわち富栄養化の初期には、珪藻類や藍藻類が増加し、さらに富栄養化が進行すると緑藻類が加わる。そして緑藻類が主体となって生産のピークに達した後、藻類の生産は低下に向かい藻類の存在は不可能となるとした。緑藻類が優占種となるとした点については、必ずしも霞ヶ浦の現状と一致していないが、富栄養化の進行とともに藻類生産が減少に向かうとした点については、高橋（1978）の予測どおりとも考えられる。藻類の生産が減少する原因については、藻類の利用できない溶存態有機物の増加や嫌氣的状態が卓越することによるバクテリアの有機物分解能の減少（熊丸：1999）等が上げられる。

以上1982年頃から始まった漁獲量の減少について、水質特にCODとの関係を検討してきたが、霞ヶ浦では、富栄養化がある限度を超えると漁獲量が減少することが明らかとなった。その限界点は、COD 7 mg/l であり、それを超えると漁獲量は減少するととらえることができる。霞ヶ浦北浦の漁獲量が2001年には、約2,000トンにまで落ち込んでいるが、その原因の一つは、ここで見てきたように基礎生産（植物プランクトン）の質及びCODの質の変化である。

5. 要 約

霞ヶ浦北浦における漁獲量減少の原因解明の一環としてCODと漁獲量の間を関係を検討した。その結果、次のことが明らかとなった。

- 1 霞ヶ浦では、1988年まではCODが増加すると漁獲

量も増加すると考えられてきたが、CODが約7 mg/lを超えると霞ヶ浦の漁獲量は減少し、COD 7 mg/l前後にクリティカルポイントがあるものと考えられた。

- 2 藻類の遷移の時期 (*Microcystis*から糸状藍藻類)と漁獲量の減少は一致し、両者の間に因果関係があることが解った。
- 3 溶存態CODの割合が高くなっていることは、湖内における物質循環の停滞によるもので、このことによって基礎生産力が低下している。
- 4 基礎生産力の低下と質的变化も漁獲量減少の主要な要因である。

参考文献

- 岩崎順 (1994) : 水産湖沼学 (Fisheries limnology) の試み - 汚濁負荷量と漁獲量の関係について - 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 30, 119-126.
- 茨城県内水面水産試験場 (1973) : 霞ヶ浦北浦湖沼観測報告 (昭和38~46年).
- 外岡健夫他 (1966~2002) : 霞ヶ浦北浦環境調査結果, 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 12~37号.
- 関東甲信静越地方総合開発審議会 霞ヶ浦調査小委員会 (1962) : 霞ヶ浦総合利水調査報告書第1集.
- 関東農政局茨城統計情報事務所 (1957, 1958, 1959, 1960, 1966~2001) : 茨城県農林水産統計年報.
- EX都市研究所 (1979) : 霞ヶ浦水質総合対策解析調査報告書, 株式会社EX都市研究所.
- 浜田篤信, 外岡健夫, 岩崎順, 熊丸敦郎, 佐々木克典 (1979) : 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 16, 1-43.
- 茨城県内水面水産試験場 (1990) : *Oscillatoria*及び*Phormidium*を中心とする藻類の季節遷移について, 平成元年度赤潮調査報告書.
- ARNOLD, D. E., 1971 : Ingestion, assimilation, survival, and reproduction by *Daphnia pulex* fed seven species of blue-green algae. *Limnol. Oceanogr.* 16 : 906-920.
- 野口淳夫, 浜田篤信, 鈴木健二 (2000-2001) : 霞ヶ浦水資源開発事業の影響評価に関する研究 1 - 生態系への影響評価, 霞ヶ浦研究12, 57-91.
- 茨城県公害技術センター (1999) : 茨城県公害技術センター年報, 第32号.
- 熊丸敦郎 (1999) : 霞ヶ浦北浦における過去20年間の水産有用資源減少要因に関する考察, 茨城県内水面水産試験場, 35, 25-41.
- 浜田篤信 (1996) : 世界湖沼会議資料.
- 浜田篤信, 津田勉 (1976) : 霞ヶ浦の富栄養化に関する研究Ⅲ 窒素収支について, 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, No.13.
- 浜田篤信 (2001) : 霞ヶ浦の湖岸修復と生態系復元, 水環境学会, Vol.24, No.10, 645-651.
- 洪川慶一他 (1981) : *Microcystis aeruginosa*無菌クローン株の増殖に対する栄養要因の検討.
- 茨城県内水面水産試験場 (1992) : 近年の霞ヶ浦における植物プランクトンの発生特性について, 平成3年度赤潮調査報告書.
- 高村義親 (2003) : 霞ヶ浦 (北浦) の自然環境再生に関する講演会資料.
- 高橋正征 (1978) : 霞ヶ浦のプランクトン性藻類の動態, 霞ヶ浦とその周辺の自然と人間活動, 「環境科学」研究報告集, 93-115.