

## 霞ヶ浦漁業における物質循環機能の経済評価

二平 章

### Economic Value of Nutrient Cycle Functions of Fisheries in Lake Kasumigaura

Akira Nihira

#### Abstract

After the 1960's, three large-scale engineering works, building an embankment around the lake, a river-mouth barrage construction on the Hitachi River connecting the lake with the sea, and a large-scale bottom sediment dredge were executed in Lake Kasumigaura. The replacement of salt water by fresh water in the lake due to the construction of the barrage brought positive results in respect to farming, flood control, and water availability. On the other hand, this construction led to a decrease in water quality, a weakening of the natural purification function of the lake, and the destruction of the fish's ecosystem. It is necessary to restore the natural purification function to improve the water quality of the lake. Discontinuing dredging, the restoration of marshes and sandy shores, and the use of sewage water for agriculture will have the effect of purifying the lake water. Restoring the ecology of the lake will lead to an increased catch and contribute to lower nitrogen and phosphorus levels in the lake.

Key words : Lake Kasumigaura, Nutrient Cycle, Natural purification function, Phosphorus

#### はじめに

常陸川逆水門建設による霞ヶ浦の淡水化は農業生産・治水・利水面では大きな成果を治めたが、反面、水質汚濁の負的財産を残した。1970年代以降、霞ヶ浦流域の開発にともなう生活系、工場・事業場系、畜産、農地、市街地等から流出される窒素・リンは逆水門で閉鎖された霞ヶ浦に流入し続け、陸域から霞ヶ浦への負荷を増大させた。一方、唯一湖から陸への逆方向の物質循環系であった霞ヶ浦漁業は、富栄養湖から過剰栄養湖への水域環境変化にともなう有用魚類の減少にともない、漁獲量を減少させ栄養塩の回収機能を縮小させていったと言っている。

霞ヶ浦の生物種のうちには、ヤマトシジミのように生物自身が水質浄化機能を有する生物や、ウナギやスズキのように霞ヶ浦水系を索餌水域として利用するために海から遡上し、霞ヶ浦水系で成長して窒素・リンを海域へ運搬移出する役割の生物もあった。逆水門建設で今では、これらの栄養塩回収機能の役割を演じる生物もほとんどいない。

霞ヶ浦の水は工業・農業用水ばかりでなく上水道としても広く流域市町村で利用されていることから、霞ヶ浦の水質浄化は今、茨城県の重要な政策課題の一つとなっている。しかしながら、水質浄化に果たす漁業や水産生物の重要性に対する認識は必ずしも高いとはいえない。

霞ヶ浦の流域下水道処理施設などにおける物理的浄化が極めて高いコストを伴うことを考えると、魚類生態系を少しでも1980年代以前に戻して漁業従事者を維持し、漁業生産量を増加させ、湖内から陸域への逆方向の物質循環系を再生して一定量の窒素・リンの回収を図ることは政策上重要な課題の一つでもあると考える。そこで、ここでは霞ヶ浦漁業の漁獲による窒素・リンの回収量の経年変化とその経済学的な価値評価を試みた。

#### 方 法

魚体における窒素・リンの含有率は熊丸(1998)を、コイを養殖生産した時の窒素・リンの水中溶出負荷量については熊丸・外岡(1995)を参考にした。また、霞ヶ浦漁業の漁獲行為における窒素・リン回収の経済的価値を算出するために、霞ヶ浦湖北流域下水道施設における窒素・リンの回収経費を算出した。そのために、下水道施設における流入および排出濃度と水量から窒素・リンの回収量を計算し、さらに、各年度版下水道統計(日本下水道協会,1989-2003)を用いて15年間の流域下水道建設費および下水道管理費からリン1トンあたりの平均回収経費を算出した。算出には市町村公共下水道建設費用は含めないで行った。

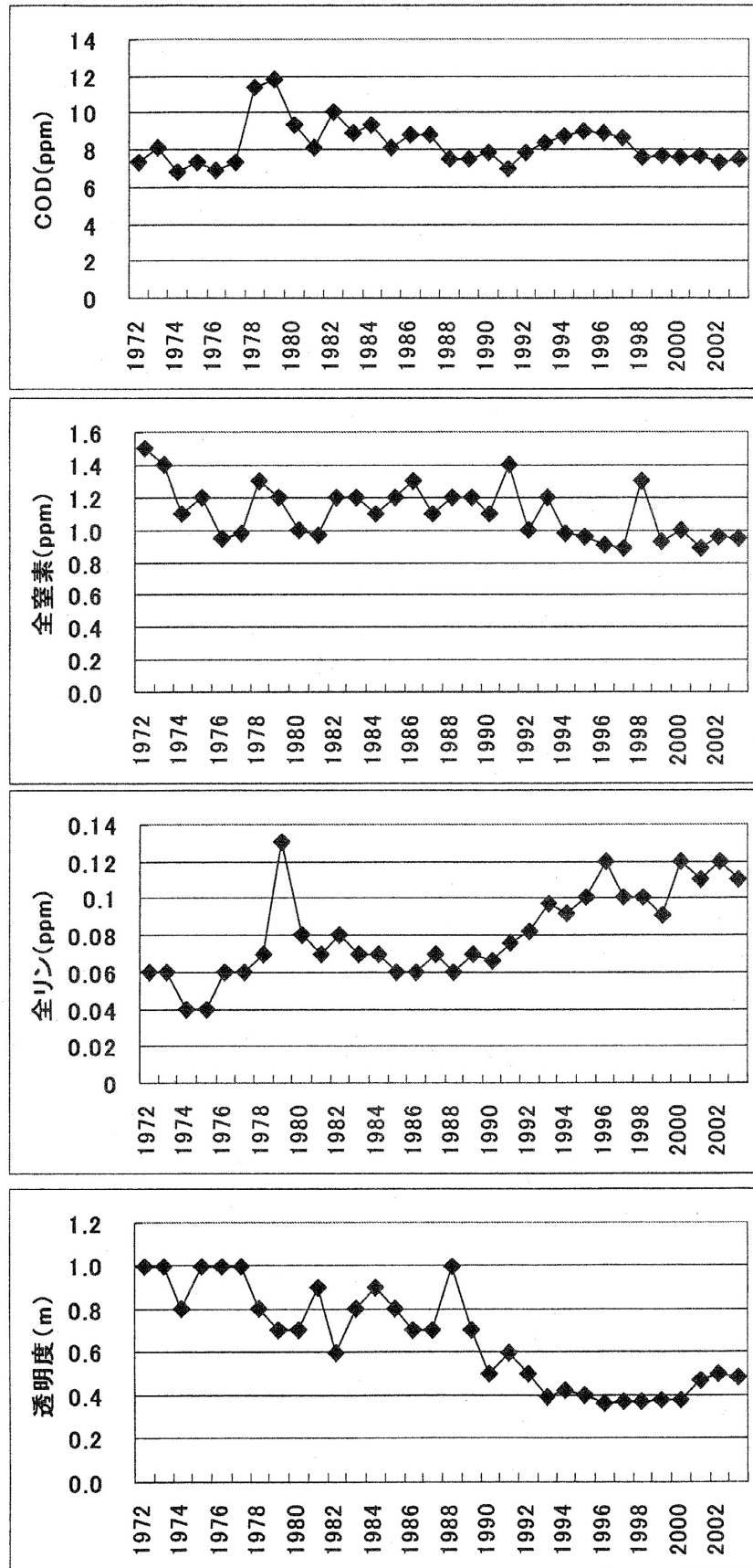


図1 霞ヶ浦におけるCOD, 全窒素, 全リン, 透明度の経年変化 (西浦全調査点平均)

## 結 果

## 1. 霞ヶ浦の水質汚濁

霞ヶ浦のCOD・全窒素・全リンの水質汚濁指標値はいずれも1970年代に上昇し、現在では環境指標の2から

4倍の値にまで達しているが、横ばいまたは上昇傾向のまま減少の気配は見えていない。とくに、1990年代に入ってから全リン濃度の上昇と透明度の減少は顕著である(図1)。茨城県が5ヵ年ごとに作成してきた霞ヶ浦に

表1 霞ヶ浦の水質浄化茨城県計画目標と実績

	目標年	COD		全窒素		全リン	
		目標	実績	目標	実績	目標	実績
環境基準			3.0		0.40		0.030
	1975		7.3		1.08		0.040
	1985		8.2		1.10		0.050
第1期	1990	6.8	7.6		0.96		0.060
第2期	1995	6.1	8.4	0.80	0.87	0.051	0.093
第3期	2000	7.4	8.1	0.83	0.99	0.085	0.110
第4期	2005	7.4	7.5	0.87	0.91	0.092	0.100

(単位:mg/L)

(注:第4期実績値は2003年値)

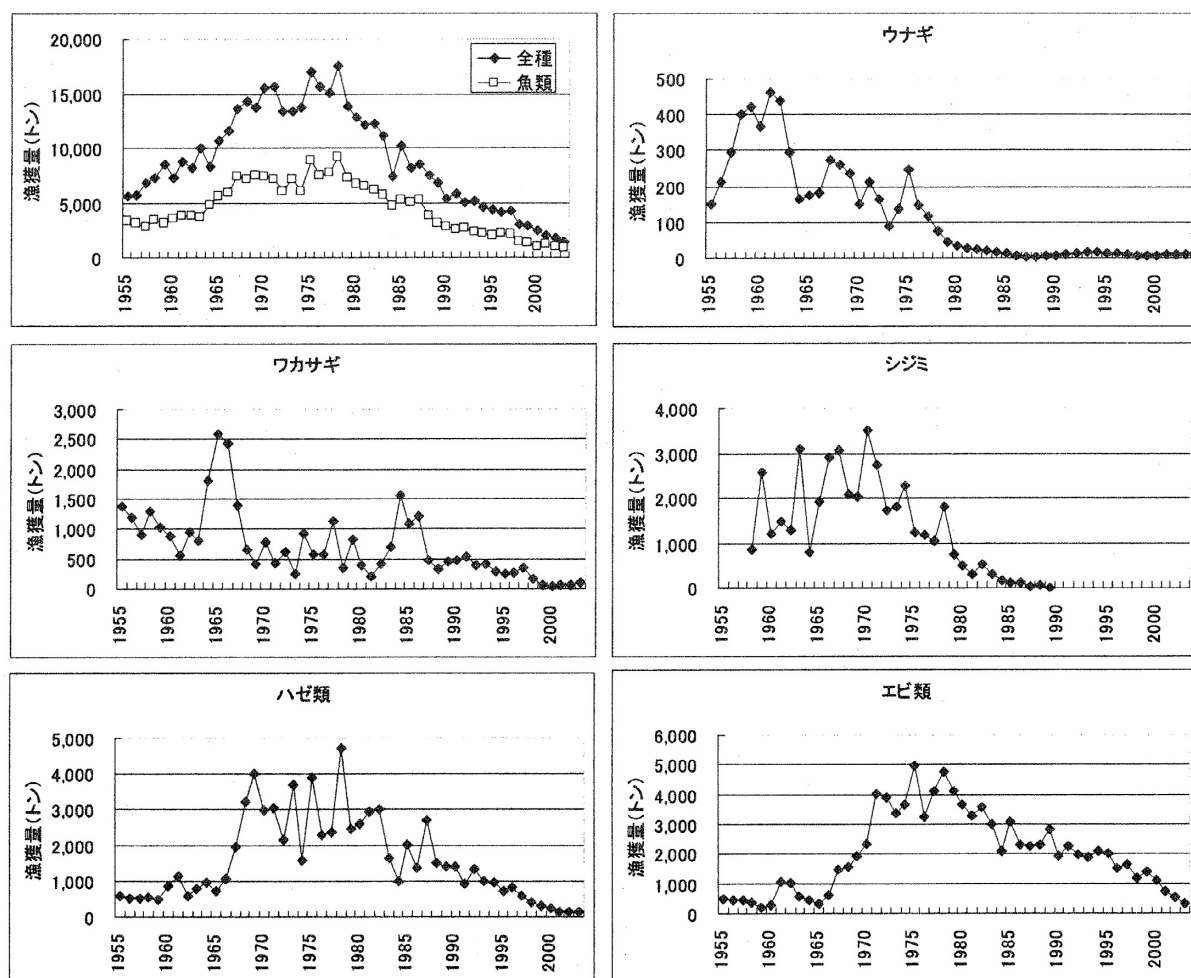


図2 霞ヶ浦・北浦における主要魚種漁獲量の経年変化

係わる湖沼水質保全計画(茨城県霞ヶ浦対策課, 1999;2004)にもとづく水質改善目標値と実績値および環境基準値を整理し表1に示した。表には1975年と第1期計画立案の年である1985年, および第1期目標から第4期目標年までの目標値と実績値を記載した。第4期の実績値は2003年値を記載した。5年ごとに作成された計画はCOD, 全窒素, 全リンとも結果的に4期とも目標値を達成することはできず, 逆に目標値が5年ごとに緩和する方向にシフトしていることがわかる。

## 2. 漁業生産

霞ヶ浦は常陸川水門が完成する1963年までは汽水湖の性格を持っており, それまではワカサギ・シラウオ・ウナギ・シジミなどが漁獲の中心を占めていた。その後, 水門閉鎖により湖内での淡水化・富栄養化にともなって漁獲対象はハゼ類・エビ類・コイ・フナ中心になり漁獲量は1978年には最高の17,487トンにまで達する。しかし, 1980年代に入るとシラウオをのぞくほとんどの魚種の一時的な漁獲量減少がはじまり, 1990年代にはその傾向は一層顕著となり全漁獲量は2003年にはわずか1,422トンにまで落ち込んでいる(図2)。

淡水化と堤防建設による湖岸水域環境の変化にともなって, 1990年代には外来魚をはじめとする非商品魚の増加が顕著になっている。中でも, ブルーギル, ペヘ

レイ, チャネルキャットフィッシュ, ハス, アユ, ニゴイ, オイカワ, ウグイ, ワタカなどが1992年から1996年の間に急激な増加を示している(浜田, 2000)。

## 3. 霞ヶ浦漁業による窒素・リンの回収量

湖内漁業による魚の漁獲は霞ヶ浦流域から湖に流入負荷された窒素・リンの回収であり, 湖内から陸域への逆方向の物質循環系である。そこで1950年以降における霞ヶ浦漁業の漁獲による窒素・リンの回収量を計算した。ここで, 魚体における窒素・リンの含有率を熊丸(1998)に従って, 魚類は窒素が2.54%, リンが0.45%, エビ類は窒素が2.58%, リンが0.33%とし, 1950年以降の霞ヶ浦の魚類漁獲量と水産動物漁獲量から窒素・リンの回収量を計算した。回収量は1975年が最高でそれぞれ窒素が401トン, リンが63トンで, その後, 漁獲量とともに減少して2003年には回収量は窒素が36トン, リンが6トンになっている(表2)。

## 4. 網いけす養殖による窒素・リンの水中溶出負荷量

一方, 湖内漁業である網いけす養殖は給餌養殖であることから, 湖の窒素・リンの物質循環からすると負荷を与えていることになる。熊丸・外岡(1995)によれば, 養殖飼料に含まれるリンにはコイが利用できる有効リンと飼料原料の魚粉中に含まれる骨組織由来の分解吸収さ

表2 霞ヶ浦漁業による窒素・リン回収量の経年変化

(単位:トン)								
年	N	P	年	N	P	年	N	P
1950	151	24	1970	298	48	1990	138	21
1951	103	16	1971	308	48	1991	149	22
1952	132	21	1972	292	45	1992	131	20
1953	85	15	1973	292	46	1993	134	20
1954	140	23	1974	293	45	1994	117	18
1955	138	22	1975	401	63	1995	113	17
1956	144	22	1976	369	57	1996	105	16
1957	168	25	1977	350	55	1997	109	17
1958	157	24	1978	400	63	1998	77	12
1959	147	23	1979	333	52	1999	76	11
1960	150	24	1980	315	49	2000	62	9
1961	180	28	1981	301	47	2001	53	8
1962	164	26	1982	298	46	2002	45	7
1963	128	21	1983	275	42	2003	36	6
1964	181	29	1984	183	29			
1965	178	30	1985	259	40			
1966	210	34	1986	207	33			
1967	252	42	1987	217	34			
1968	300	48	1988	191	29			
1969	284	46	1989	176	27			



表3 コイの網いけす養殖による霞ヶ浦に対する窒素・リンの負荷量

年	水中溶出負荷量		総負荷量		漁獲回収と養殖負荷の差	
	N	P	N	P	$\Delta N$	$\Delta P$
	(単位:トン)					
1967	25	3	27	6	227	39
1968	38	4	41	9	262	43
1969	30	3	33	8	254	43
1970	56	6	60	14	242	41
1971	80	9	87	20	228	40
1972	183	20	198	46	108	25
1973	149	16	161	37	143	30
1974	206	22	223	52	87	23
1975	267	29	289	67	134	34
1976	284	31	307	71	85	26
1977	377	41	408	95	-27	14
1978	358	39	388	90	41	24
1979	306	33	332	77	27	19
1980	355	39	384	89	-40	10
1981	382	42	414	96	-81	5
1982	423	46	458	106	-124	0
1983	322	35	349	81	-48	7
1984	320	35	347	80	-137	-5
1985	281	31	304	71	-21	9
1986	251	27	272	63	-45	5
1987	285	31	309	72	-68	3
1988	293	32	317	74	-102	-3
1989	287	31	311	72	-112	-5
1990	288	31	312	73	-150	-10
1991	287	31	311	72	-138	-9
1992	286	31	310	72	-156	-11
1993	268	29	290	67	-134	-9
1994	271	30	293	68	-154	-12
1995	266	29	288	67	-153	-12
1996	253	28	274	64	-148	-11
1997	256	28	277	64	-147	-11
1998	255	28	276	64	-178	-16
1999	249	27	270	63	-173	-16
2000	245	27	265	62	-183	-17
2001	251	27	272	63	-198	-19
2002	219	24	237	55	-175	-17
2003	177	19	191	44	-140	-13

れにくいリンが存在し、前者は効率よく吸収されて体成分として合成された後に成長増重分として取り上げられるものと尿になるもの、後者ではほとんど糞として体外に排泄される。したがって、養殖によるリンの負荷総量は尿および糞に含まれるリンの和となる。このうち、尿中のリンは湖水中に回帰するが、糞中のリンはコイが分解吸収できなかったものであるから、その全量が湖水中に溶出回帰するとは考えられないとし、室内実験からコ

イ1トンを養殖生産した時の窒素、リンの水中溶出負荷量を窒素が48.93kg、リンが5.33kgとした。

ここでは、この溶出負荷量を用いてコイ網いけす養殖による窒素・リンの年別水中溶出負荷量を計算した(表3)。水中溶出負荷量は1970年代に急増した養殖量にともない1982年が最高で窒素が423トン、リンが46トンで、その後、やや減少して1990年代は窒素が249トンから288トン、リンが27トンから31トンを示した後、

2003年には窒素が177トン、リンが19トンと見積もられた。水中溶出負荷量は総負荷量の窒素で92%リンで43%となった。

### 5. 漁獲とコイ養殖による負荷量の差分

漁獲による窒素・リンの回収量とコイ養殖による湖への水中溶出負荷量の差分(ΔN, ΔP)を算出した。窒素では1980年からリンでは1988年から連続的に水中溶出負荷量が漁獲による回収量を上回りΔN, ΔPはマイナスを示し、1990年代以降でリンでは9トンから19トンの負荷量オーバーとなっている(表3)。近年の差分負荷量の増大はコイヘルペスの発生以前には養殖生産量は横ばいであったことから漁獲量の減少にその要因がある。

### 6. 霞ヶ浦におけるリン回収経費の算出

霞ヶ浦の漁業における窒素・リン回収の経済的価値を算出するために、霞ヶ浦湖北流域下水道施設におけるリン回収の経費算出を行った。各年度版下水道統計(日本下水道協会,1989-2003)、および霞ヶ浦浄化センター資料を用い、流域下水道建設費と下水道管理費、年間リン除去量から、リン1トンあたりの平均回収経費を算出した。算出には市町村公共下水道建設費用は含まないで行った。15年間の平均でリン1トンあたりの平均回収費用は5,094万円となった(表4)。この費用で単純に年間

の漁業によるリン回収費用を計算すると、もっとも漁獲量が高かった1975年で32.1億円、もっとも漁獲量が低かった2003年では3.1億円と算出された。

また、近年、茨城県では外来魚駆除を目的に補助制度により、ブルーギル・アメリカナマズ・ニゴイ・ボラ・ハス・ハクレンなど非商品魚の各種回収事業を行っている。魚回収量は1995年の100トンから2004年では573トンに達している。回収事業における2004年におけるリンの回収量は2.6トン、下水道処理経費換算で1.3億円と見積もられた(表5)。回収事業は下水道処理経費の21.8%の経費で同様なリン回収効果をもたらしている。

### 考 察

#### 1. 網いけす養殖からの環境負荷問題

コイの網いけす養殖からのリンの負荷量が霞ヶ浦全体の汚濁負荷の19%以上を占めるとする茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課(2001)の計算には、総負荷量が用いられている。2000年の網いけす養殖によるリンの総負荷量は62トン、総流入負荷は314トン/年とされているから負荷割合は19.7%となる。つぎに、今回計算した水中溶出負荷量27トンを用いると、全リンの水中総流入負荷は279トン/年とされているので、網いけす養殖からのリンの負荷割合は9.7%となる。

大嶋(2004)は茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課(2001)

表4 霞ヶ浦湖北流域下水道におけるリン回収経費の算出

年度	建設費 (百万円) A	下水道管理費			合計(D) (百万円) A+B+C	全リン	
		維持管理費 B	起債元利償還費 C	小計 (百万円) B+C		除去量 (トン/年) E	P回収経費 (万円/トン) D/E
1989	1,196	536	449	985	2,181	33	6,684
1990	1,506	654	437	1,091	2,597	43	6,044
1991	1,443	714	417	1,131	2,574	47	5,451
1992	2,046	808	430	1,239	3,285	49	6,664
1993	3,157	924	440	1,364	4,521	65	6,984
1994	3,624	1,066	39	1,105	4,729	72	6,563
1995	1,715	1,202	441	1,644	3,359	83	4,040
1996	1,512	1,196	460	1,656	3,168	115	2,763
1997	2,441	1,292	473	1,765	4,206	94	4,482
1998	3,007	1,293	486	1,779	4,786	94	5,083
1999	4,875	1,288	512	1,799	6,674	96	6,931
2000	3,414	1,284	547	1,831	5,245	97	5,421
2001	3,475	1,380	583	1,963	5,438	105	5,170
2002	2,254	1,463	628	2,091	4,345	101	4,309
2003	1,731	1,515	656	2,171	3,902	104	3,756
15年間平均					61,009 F	1,198 G	5,094 F/G

注:市町村公共下水道建設費は含まない

各年度版下水道統計年報および霞ヶ浦浄化センター資料より算出

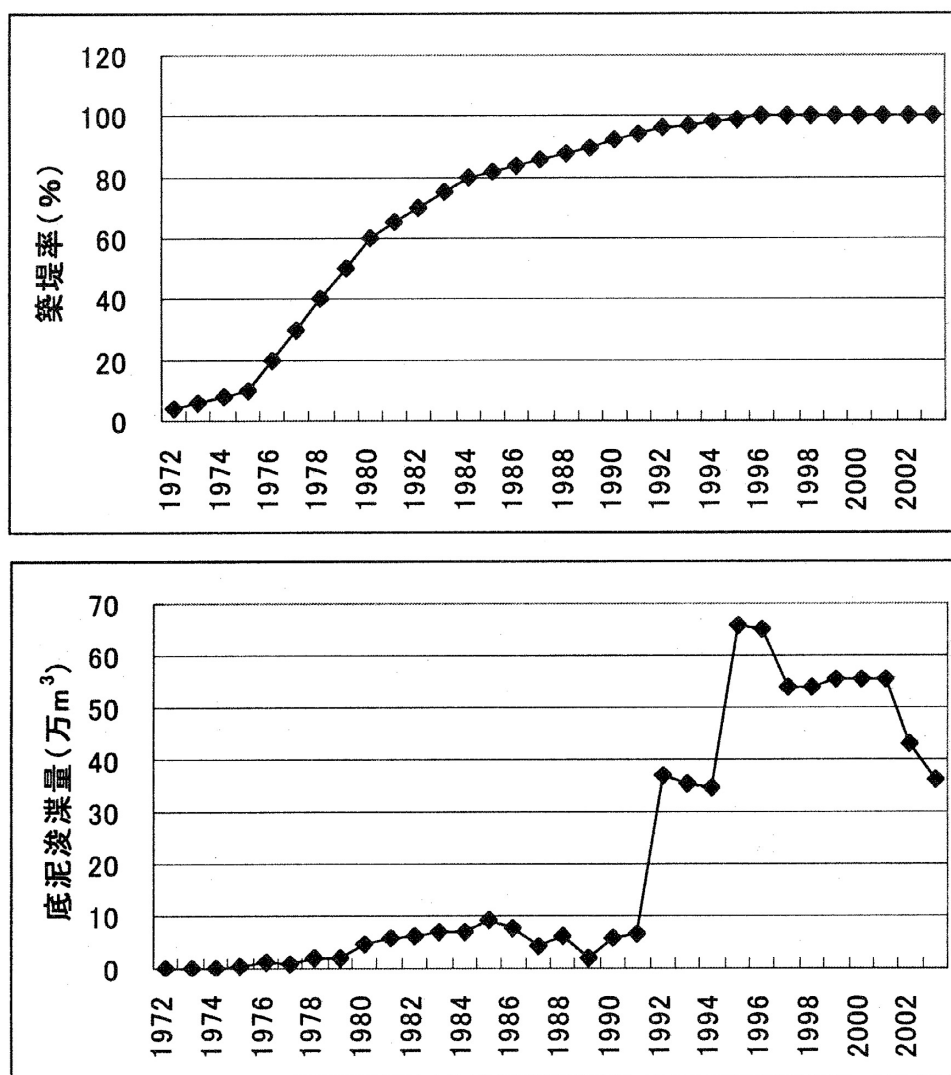


図3 霞ヶ浦における湖岸堤防の築堤率と底泥浚渫量の経年推移

のコイの網いけす養殖から湖水への全リン負荷割合に対し疑問を呈し、霞ヶ浦湖内の年間生物生産量は、炭素換算で30万トン以上（乾燥重量）あるため、養殖コイの生産6000トン（乾燥炭素換算で500トン以下）程度の有機物収支は、湖内のCOD収支の0.2%以下で問題にならない。コイ養殖によって排出される全リン量が、湖水の全リン負荷の19%以上も占めるとの評価には堆積学的に疑問が残るとしている。いずれにしても網いけす養殖は漁業内部における窒素・リンの環境負荷問題であることには変わりがない。環境再生を漁業再生の重要な柱と位置づけるならば、漁業政策としても明確な見解が求められる。コイヘルペスの発生により網いけす養殖の再開については、現在不透明な状況下にあるが、少なくとも過剰栄養湖における網いけす養殖の適正規模問題については、環境論の視点からも十分な検討が必要である。

## 2. 漁業再生とリン回収機能

霞ヶ浦の水質環境改善のためには、開発工事の影響によって失われた霞ヶ浦の自然浄化機能を回復させるような環境修復方策をほどこす必要がある。図3には湖岸堤防の築堤率と底泥浚渫量の経年変化、図4には底泥浚渫量と全リン濃度および透明度との関係を示した。大嶋(2004)も指摘するように、底泥浚渫量と全リン濃度との関係では1979年を除き浚渫量の増大と全リン濃度の増加は高い関係にある。とくに1992年に30万 $\text{m}^3$ を越える浚渫量になると全リン濃度は0.08 $\text{mg/L}$ 以上に上昇している。これについては、浚渫に伴い底泥からの溶出が増加したのか、湖底への全リン沈積が阻害されるのかは定かではないが、少なくとも底泥浚渫は全リン濃度削減対策として効果を発揮したとはいえ、むしろ逆効果の可能性が高い。底泥浚渫量と透明度との関係については、浚渫量は1992年から大規模化しているがそれと同時に、

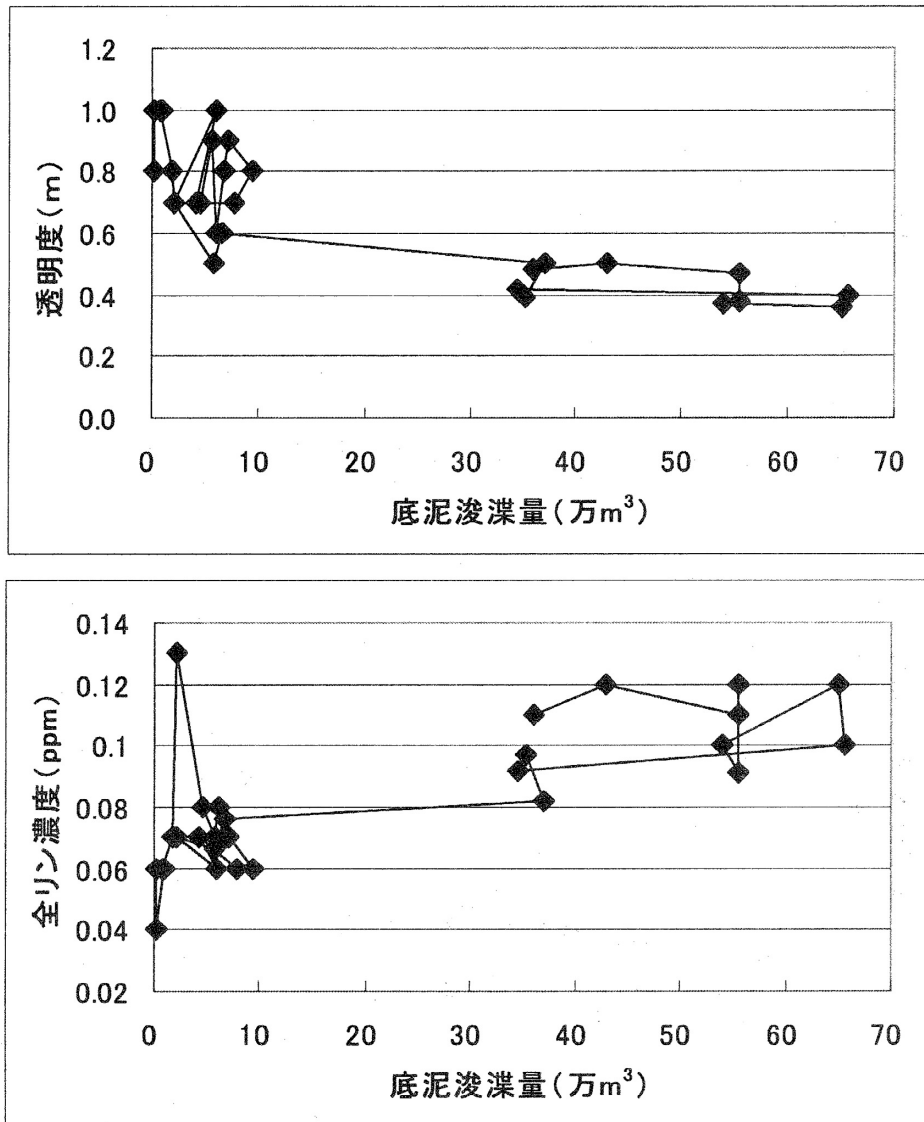


図4 霞ヶ浦における底泥浚渫量と全リン濃度および透明度との関係

表5 非商業魚漁獲による窒素・リン回収事業実績

(単位:トン)

年	魚回収量 合計	回収量 N	P	事業費 (万円)	下水道費用 換算(万円)
1995	100	3	0.5	500	2,292
1996	238	6	1.1	1,188	5,447
1997	352	9	1.6	1,762	8,079
1998	364	9	1.6	1,819	8,337
1999	267	7	1.2	1,334	6,117
2000	169	4	0.8	846	3,876
2001	209	5	0.9	1,043	4,779
2002	287	7	1.3	1,433	6,567
2003	379	10	1.7	1,893	8,678
2004	573	15	2.6	2,862	13,123

回収魚種:ブルーギル・アメリカナマス・ニゴイ・ボラ・ハス・はくれん



年平均透明度は50cm以下に低下している。内水試データでは透明度は1992年以前には季節的に高い値が確認されているが、1992年以降は年間を通して低下したままである(野内ら,2004)。

1990年代以降の透明度の減少は、湖内における光合成作用を低下させ、植物プランクトン生産を抑制し、植物プランクトンによる窒素・リンの消費やプランクトン食魚類の生物生産を抑制したものと考えられる。したがって、当面の環境修復方策としては、第1には大規模底泥浚渫事業を一旦停止することによって透明度の回復がなされるかどうかを見極める必要がある。これには新たな予算を必要としないことから、事業の必要性についての十分な議論を踏まえさえすれば実現は最も容易であろう。第2には湖岸堤や流入河岸堤を可能な部分からセットバックあるいは連結水路をつくり、堤外に残る湿地・水田などを取り込んだ湿地生態系・水生植物帯や砂浜環境の復元を図って水辺生態系の持つ水質浄化機能や魚類の産卵や生育の場をできるだけ再生していくことである。第3には下水道処理水の農業利用などによる霞ヶ浦系外への排出化をすすめること、第4には常陸川水門の運用改善や魚道の設置、横利根川など利根川と霞ヶ浦を結ぶ複数の水路を利用してウナギやスズキをはじめとする遡河魚を遡上させ、霞ヶ浦の魚類生態系を少しでも1990年代以前に戻す具体的な検討をすすめることである。

仮にこのような環境修復プロセスの進行により漁獲量レベルが現在の2,000トン以下のレベルから5,000から10,000トンの間のレベルに回復することができるとすると湖内からのリン回収量は20から40トンが見積もれる。さらに、外来魚の各種回収事業での魚回収量を環境・水産の両面からの政策に位置づけ仮に2003年の約4倍程度の2,200トンレベル以上にすることができれば、リン回収量をさらに10トン程度上乗せすることになり、漁業生産と回収事業での合計リン回収量は30から50トンが見込まれる。このような漁業による湖から陸域への逆方向の物質循環系の再生によるリンの回収は下水道処理費用換算で15億円から25億円の価値に相当する。これは現在年間40億円から60億円の経費を支出している霞ヶ浦湖北流域下水道処理施設の2分の1から3分の1の機能に相当する。

### 3. おわりに

霞ヶ浦干拓・常陸川水門・湖岸築堤事業は農業生産・治水・利水面では大きな成果を治めたが、反面、霞ヶ浦の水質汚濁という負的財産を残したと言える。霞ヶ浦の水質浄化をめざした環境修復・環境再生が現在重要な課題とされているが、環境再生には、人間の営みも考慮した自然の浄化機能をできるだけ利用したシステムをつくりあげる課題が問われている。つくば市で第6回世界湖沼会議が開催されてすでに10年が経過したが、霞ヶ浦の水質環境は依然改善の兆しを見せていない。霞ヶ浦の環境再生のためには、霞ヶ浦の自然浄化機能を消失させた開発工事の影響を緩和させるような環境修復方策を取るとともに、唯一、湖から陸域への逆方向の物質循環系である霞ヶ浦の漁業再生をはかることも、その経済的価値からみて重要な政策課題とされるべきであろう。そして、自然生態系に依拠する霞ヶ浦漁業の再生は環境再生なくしては実現できないこともまた自ずから明らかである。

### 謝 辞

流域下水道関係統計資料の使用に関しては、霞ヶ浦流域下水道事務所、茨城県下水道課には便宜をお計らいいただきとともに種々ご教示いただいた。記して感謝申し上げます。

### 文 献

- 浜田篤信(2000)外来魚類による生態影響,霞ヶ浦はなぜ外来魚に占拠されたか.生物科学,(52)1,7-16.
- 茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課(2001)霞ヶ浦学入門 .pp268.
- 茨城県霞ヶ浦対策課(1999,2004)霞ヶ浦に係わる湖沼水質保全計画策定資料集(第3期,第4期).
- 熊丸敦郎(1998)霞ヶ浦主要生物についての成分分析結果.茨城内水試研報,34,91-94.
- 熊丸敦郎・外岡健夫(1995)コイ養殖に伴う水中溶出P負荷量について.茨城内水試研報,31,30-35.
- 日本下水道協会(1989-2003)各年度版下水道統計.
- 大嶋和雄(2004)霞ヶ浦の環境再生.茨城大学最終講義資料,pp39.
- 野内孝則・外岡健夫(2004)透明度から見た霞ヶ浦北浦の環境変動.茨城内水試研報,39,24-41.