

## 第13章 汚れてきた印旛沼、水の汚れの表し方

印旛沼の水を利用する時代になり、水質汚濁という新たな課題を抱えるようになります。水質問題を考えるにあたって、印旛沼の水はいつ頃から汚ってきたのか、現在の状態はどうか、水の「きれい・きたない」とはどんなことか、その表し方、等々について知つておく必要があります。

本章では印旛沼の水質に関するこれらの事柄について述べ、次章から印旛沼の水の汚れる原因などについて述べることにしましょう。

### 1 水の汚れてきた様子

昭和初期の印旛沼は、魚の姿を見て漁をする程水は澄んでいて、そのまま飲めるほど([余話5])でした。昭和30年代中頃まで、子供たちは沼で遊泳して楽しんでいました。また、昭和40年頃に印旛沼開発事業の一環として干拓予定地の沼底土調査をしたときは、昼休みに、沼の水を汲んで湯に沸かして飲んでいました。しかし昭和50年代になると、印旛沼の水はアオコなどで濁りはじめ、泳いだり飲んだりする状態ではなくなりました。印旛沼の水は、その頃から確かに汚れてきています。

印旛沼は風光明媚なところです。最近の印旛沼の岸辺は、いつも掃除されて「きれい」です。ボランティア活動などによって定期的にゴミ拾いが行われ、釣り師のマナーも一時よりずっとよくなっています。きれいな水辺を散策して楽しむ人も増えています。現在の印旛沼の水は、漁業や遠くから見た景観として「きれい」であっても、濁っていて飲み水としては「きれい」ではありません。

### 2 水の汚れとは その表し方

#### (1) 水の使い方と水質

水の「きれい・きたない」は、その水の使い方に適しているかどうかによって決まります。例えば、田圃の小川の水は、見た目にはきれいで稻作に適した水であっても飲む水としては「きれい」とは限りません。コーヒーを飲むとき、黒い色を「汚れ」とは言いませんが、洗濯の水を使うときは「汚れ」とみます。

水の使い方についてみると、まず生活用水は、風呂、炊事、洗濯、トイレ等々に使っています。これらをみると、殆どの水は「洗う」ために使い、炊事の水には飲む水が含まれ、トイレはし尿を流すことに使っています。

飲む水は、人に害や不快感を与えない水質が求められます。洗う水は、きれいに洗い終わった食器や衣類などよりも、さらにきれいな水質、「汚れ物質の少ない水質」であることが求められます。「汚れ物質」は、必ず濃い方から薄い方へ移り、その逆の動きは決してないからです。

なお、衣類や食器に付着した「汚れ物質」は、通常、炭水化物、脂肪、蛋白質など一般的の有機物や、泥のような水に漂っている物質(浮遊物質)、それに塩分のような水に溶ける無機物などです。

工業用水の使い方は、冷却水、洗浄水、原料としての水など様々であり、そのうち、冷却水として最も多く使われています。使用する水の中には、イオン交換樹脂を通した純水

を使うこともあります、用途に適した水質 水温になるように水を加工して使っています。農業や漁業に使う水は、それぞれの作物や魚の成育生息に悪影響のないような水質が求められています。

私たちの周辺にある水は、安全であること、具体的には有害なものを含まないことが求められます。有害物質に関しては、法律で水質汚濁に係る環境基準（[参考 8]）の中に「人の健康の保護に関する環境基準」として 27 項目の物質が定められており、ここでは別扱いとします。

## （2）汚れ程度の物差し

水がどの程度汚れているかを判断するときに、水に含まれる「汚れ物質の濃度」で示すことが客観的で有力な方法です。汚れ物質のうち、浮遊物質（SS）は水をろ過して集めてその重量を計りますが、有機物の種類は、十数万もあるので、その一つ一つの濃度を測定することは事実上困難です。そのときの便法として、有機物の濃度を一括して表す方法が考えられています。

すべての有機物は酸素で分解すると水・炭酸ガス・その他ができます。そこで、個々の有機物の濃度を測定する代わりに、有機物を分解するときに使われる酸素の量によって、有機物量を表すことにします。COD（化学的酸素要求量）は、化学薬品を使って有機物を酸化分解するときに必要な酸素量、BOD（生物化学的酸素要求量）は、微生物によって生物的に酸化分解するときに必要な酸素量のことです。その他に、有機物が分解してできた炭酸ガスの量を測定する方法（TOC）などがあります。詳しくは [参考 7] をご覧ください。

COD、BOD などは、世界中のどこの水でも同一の基準で測定できるので、他の湖沼などの水質と比較したり、水利用や水質汚濁の改善方法などを客観的に議論するときに便利です。

また、水生生物の中には、きれいな水を好む種類と若干汚れた水を好む種類があるので、その水域に棲む生物の種類によって、環境中における水の汚れの程度を、およそ判定することができます。環境省は、「指標生物」として表 13-1（[参考 7] 参照）を示しています。

### [参考 7] 水質の表示方法

#### [化学物質等を指標にした表示方法]

有機物の全量は、酸化分解するときに使われる酸素の量で示したり、生成した炭酸ガスの量で示すことにしています。

BOD（生物化学的酸素要求量）：水中の微生物が呼吸によって有機物を酸化分解するときに使った酸素の量のことです。微生物は、すべての有機物を分解することはできないので、厳密にいえば「微生物によって分解される有機物」の総量を示しています。また、水産業にあっては魚の生息に対して「水が酸素不足になり易さ」を示すと考えてよいでしょう。

COD（化学的酸素要求量）：化学薬品を使って有機物を化学的に酸化分解するときに使った酸素の量のことです。化学薬品は、日本では過マンガン酸カリ（ $KMnO_4$ ）を使っていますが、アメリカでは重クロム酸カリ（ $K_2Cr_2O_7$ ）を使うことが多いようです。後者の方が、若干高い値になるのが普通です。これを区別するために、前者を COD<sub>Mn</sub>、後者を COD<sub>Cr</sub> と書くことがあります。

**TOC (全有機炭素) :** 有機物を完全に燃焼酸化させて、有機物が構成する炭素を炭酸ガスにして測定するものです。機器による自動測定が可能です。TOC は COD<sub>Cr</sub> に近い値を示すといわれています。

このように、一般有機物の量を示す方法はいろいろありますが、その場に応じて使い分けています。また、一般的な有機物は、人に直接害を与えるものではありませんが、水の汚れと言えば COD、BOD、と言われるほど、水の汚れの代表として使われています。

**DO (溶存酸素) :** 水に溶けている酸素ガス (O<sub>2</sub>) のことで、大気と接触して平衡状態にある水は、常温常圧で 7mg/L となり、水温が上がると小さくなります。また、DO は、水が汚れると微生物の働きによって有機物の分解するときに消費されて低くなり、DO の低下は魚の呼吸に直接影響を与えることがあります。また、アオコが発生すると、植物プランクトンの光合成によって酸素を発生させるので、DO は 7mg/L 以上になることがあります。

**EC (電気伝導度) :** 電気の流れ易さ (電気抵抗の逆数) のことで、溶存イオン濃度の高い程高い値を示します。塩類濃度や硝酸汚染の目安として、よく使われます。

**pH (水素イオン濃度指数) :** 酸性、アルカリ性の強さを示すもので、pH7 が中性、これより小さくなるほど酸性が強く、大きくなる程アルカリ性が強いことを示しています。不純物を全く含まない純水の水素イオン濃度は、10<sup>-7</sup>mol/L であり、pH とは、水素イオン濃度の対数の逆数 (純水では 7) のことです。

**大腸菌群数 :** 大腸菌の仲間 (大腸菌群) の菌数のことです。大腸菌群の有無は、人畜のし尿による汚染に強く影響されることから、およその非衛生的水環境の指標として用いられます。

#### [生物指標による表示方法]

本当にきれいな水は DO が高く、生き物は呼吸をしやすいけれども生き物の食べ物となる有機物が少なくて、棲みにくくなります。少し汚れてくると DO はすこし低くなるけれども食べ物となる有機物が増えて生き物は棲みやすくなります。さらに有機物が増えると、食べ物は増えるけれども細菌などがそれを分解して DO を消耗し、生き物は呼吸困難になり易くなります。極端に有機物が増えると、特殊な生物を除いていわゆる生き物は棲めなくなります。生き物の種類によって、食べ物が少なくとも DO の高くきれいな水を好む種類と、逆に DO が若干低くても食べ物の多い水を好む生き物がいます。魚の仲間では、ヤマメ、イワナ、ヒメマスなどはきれいな DO の高い水を好み、サケ、アユなどはこれに次ぎ、コイ、フナなどは少し汚れた水を好みます。

水生生物のうち、水の汚れの度合いに敏感な生物を選んで、それを指標にしておよその水質を判断することができます。環境省では、水の汚れに敏感な生物の中から、目で見ることができるべき大きさで、日本全国に広く分布している生物を指標生物として選んでいます。表 13-1は、きれいな水 (水質階級 I )、少し汚い水 (水質階級 II )、汚い水 (水質階級 III )、大変汚い水 (水質階級 IV ) の四段階に分けて、それぞれの水質階級に棲んでいる指標生物の種類を示したものです。

表 13-1 水質階級と指標生物の関係

きれいな水（I）の指標生物	少しきたない水（II）の指標生物
カワゲラ	ヘビトンボ
ヒラタカゲロウ	ブユ
ナガレトビケラ	アミカ
ヤマトビケラ	サワガニ ウズムシ
きたない水（III）の指標生物	
ミズカマキリ	○ニホンドロソコエビ
タイコウチ	タニシ
ミズムシ	ヒル
○イソコツブムシ	
大変きたない水（IV）の指標生物	
セスジユリカ	サカマキガイ
チョウバエ	エラミミズ
アメリカザリガニ	

注) ○は海水の少し混ざっている汽水域の生物

出典) 環境省水質環境部・国土交通省河川局編 (2001.4)

生物指標による水質の判定は、汚れ物質濃度の数値による表し方とは違って、はっきりと水の清濁を判定することはできませんが、生き物の側に立った汚れの見方として注目されています。

### (3) 水質の基準

河川・湖沼・海域など公共用水域には、いろいろの水質の水があります。これらの水の利用に際して、どの程度の水質が望ましいか、その目安となる値を COD のような客観的な数値を使って表して欲しいところです。最も広く用いられている水質の基準は、河川、湖沼、海域の水質について、水域の利用目的に応じて水域ごとに法律で環境基準（表 13-2、[[参考 8]]）が定められています。なお、有機物汚濁の環境基準は、河川では BOD を、湖沼・海域では COD を用いています。

また、農業用水（表 13-3）や水道水などには、それぞれの使用目的に応じた水質の基準があります。

#### 〔参考 8〕水質の環境基準

水質汚濁に係わる環境基準とは、公共用水域の水質について、人の健康を保護し生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準として、国が決めた値です。行政は、この基準値を目標にして、いろいろの水質改善対策を行っています。

その一つは、「人の健康の保護に関する環境基準」として、カドミウム・シアン・水銀・トリクロロエチレンなど 27 項目の人に有害な物質を定め、「それぞれの基準値以下」と定めています。この基準は、すべての水域に適応されます。

次に、「生活環境の保全に関する環境基準」として、水域を利用目的別に類型区分して、それぞれに pH、BOD（または COD）、SS（浮遊物質）、DO（溶存酸素）、大腸菌群数について、また湖沼にあっては全窒素、全リンを追加して環境基準を設けています。また、人口集中の著しく進行している地域で、水質改善が難しいところでは、環境基準より緩やかな「暫定的な改善目標値」を定めています。

印旛沼の水は、水道水に利用されているので、表 13-2 のように、pH、COD、SS、DO は A 類型として、全窒素、全リンは III 類型と指定されています。なお、A 類型は、水浴を利用目的とする湖沼にも当てはめています。

表 13-2 印旛沼および流入河川の水域類型と環境基準

水 域	水質測定点	類型指定	環境基準 (mg/l)	達成期間	暫定目標	指定年月日
印旛沼	上水道取水口下	湖沼 A	COD : 3mg/l	—	—	S 45・9・1
	同上	湖沼 III	全窒素 : 0.4mg/l	ハ	2.2mg/l	S 54・3・27
	同上	湖沼 III	全りん : 0.03mg/l	ハ	0.11mg/l	
鹿島川	鹿島橋	河川 A	BOD : 2mg/l	ハ	河川 B	S 60・3・29
高崎川	竜灯橋	〃 C	BOD : 5mg/l	ハ	5.6mg/l	S 50・1・21
手練川	無名橋	〃 C	BOD : 5mg/l	ハ	河川 D	同上
師戸川	師戸橋	〃 B	BOD : 3mg/l	イ	—	S 60・3・29
神崎川	神崎橋	〃 A	BOD : 2mg/l	ハ	河川 B	S 50・1・21
桑納川	桑納橋	〃 D	BOD : 8mg/l	ハ	河川 E	同上
印旛放水路 (新川)	八千代橋	〃 C	BOD : 5mg/l	ハ	河川 D	同上

【備考】(1) 達成期間について、(イ) は直ちに達成、(ロ) は 5 年以内で可及的速やかに達成、(ハ) は 5 年を超える期間で可及的速やかに達成

(2) 河川における環境基準はすべて BOD

(3) 高崎川の水質測定点は平成20年度から寺崎橋から竜灯橋に変更

(4) 手練川の水質測定点は平成18年度から手練橋から無名橋に変更

表 13-3 農業（水稻）用水水質基準

項 目		農業(水稻)用水基準 (農林省公害研究会・昭和 45 年 5 月)
pH(水素イオン濃度)		6.0 ~ 7.5
COD(化学的酸素要求量)		6mg/L 以下
SS(浮遊物質量)		100mg/L 以下
DO(溶存酸素)		5mg/L 以上
T-N(全窒素)		1mg/L 以下
EC(電気伝導度)		0.3mS/cm
重金属	As(ヒ素)	0.05mg/L 以下
	Zn(亜鉛)	0.5mg/L 以下
	Cu(銅)	0.02mg/L 以下

また、印旛沼流域の河川は、表 13-2 のように、鹿島川、神崎川は A 類型 BOD2mg/L 以下（ヤマメが棲めて水浴の出来る程度）に、師戸川は B 類型 BOD3mg/L 以下（サケ・アユの棲める程度）に、高崎川、手練川、新川は C 類型 BOD5mg/L 以下（コイ・フナの棲める程度）に、桑納川は D 類型 BOD8mg/L 以下（農業用水等の利用程度）として、それぞれ指定されています。

### 3 印旛沼の水質の移り変わり

COD という水質の表し方によって印旛沼の水質の移り変わりを示すと、図 13-1 の通り<sup>1)</sup>です。このように印旛沼の水質は、昭和 45 (1970) 年頃までは COD5~6mg/L 程度でしたが、その後汚れてきて、昭和 59 (1984) 年には COD13mg/L まで悪化し、それからきれいになったり汚れたりを繰り返しながら、現在に至っています。印旛沼の水質は、水道水源として定められた環境基準 COD3mg/L と比べて大変汚れた状態です。

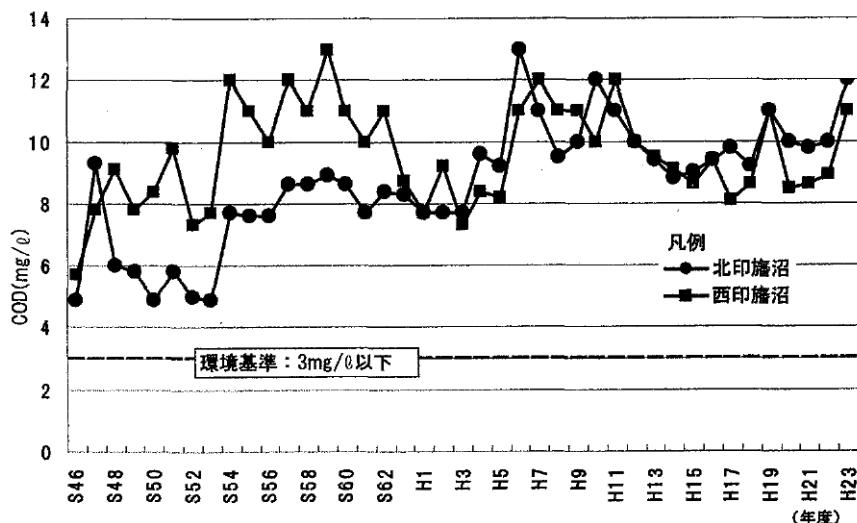


図 13-1 印旛沼における COD 経年変化

(出典：印旛沼白書平成 23・24 年度)

また、北印旛沼は、西印旛沼に比べてきれいでしたが、平成 5 (1993) 年頃から両沼の水質は同程度になっています。

印旛沼の COD 測定は、昭和 43 年から行われている（千葉県環境白書昭和 59 年版）ので、それ以前の水質について COD 値を使って印旛沼の水質の推移をみることはできません。そこで、古者の話や文献などから過去の水質について推定してみましょう。

前に述べた通り、存命の漁師古者の話では、印旛沼の水は澄んでいて水底が見えた、水底には水草がたくさん生えていた、コイ、フナ、ウナギがよく獲れた、などと言っているので、大正時代頃は、アオコの発生はほとんどなく、水質は現在よりきれいで、コイ、フナの好んで棲む程度の水質であったようです。また江戸時代末期に書かれた利根川図志<sup>2)</sup>によると、当時よく獲れた魚は、コイ、フナ、ウナギなどとあり、魚の種類は大正時代と殆ど変わっていません。これらの魚は、田圃の水溜り程度の水質を好む魚であり、アユ、イワナ、ヤマメのような清流を好む魚は見当たりません。コイ、フナが好んで棲む水田程度の水質とは、およその推定値として COD4~5mg/L 程度ではないでしょうか。昭和 40 年代初期の水質は、COD5~6mg/L 程度ですから、これとほぼ似た値かそれより若干きれいな程度であったと思われます。この程度の水質は、富栄養化した老年期の湖沼で一般的にみられます。

こうしてみると、印旛沼の水質は、江戸時代まで遡っても山間部の湖沼のようなきれいな状態ではなく、富栄養化した「沼」程度であり、現在のような著しく汚濁された状態は、

昭和 45~50 年頃、今から 30~40 年前頃に始まったものと考えられます。水質汚濁の急激に進んだ時期は、丁度、印旛沼開発事業の完成した時期であり、印旛沼流域の人口増加、都市化の始まった時期とも重なっています。皮肉にも、その時期は、水道水、農工業用水として沼の水を使い始めた時期とも一致しています。

#### 4 全国湖沼の水質と比べる

##### (1) 湖沼水質の全国順位

環境省は、毎年、全国の湖沼水質を集計して、悪い方から 5 位までの湖沼の COD を発表しています。表 13-4 のように、印旛沼はその常連湖沼の一つであり、日本でも水質の汚れた湖沼の一つです。特に水道水源の湖沼としては、連續してワースト 1~2 位を続けています。

表 13-4 全国湖沼水質 (COD) ワースト 5 の推移

(単位 : mg/L)

ワースト 年度	1 位	2 位	3 位	4 位	5 位
1999 (11)	手賀沼 (18)	印旛沼 (12)	牛久沼 (11)	佐鳴湖 (11)	油ヶ淵 (9.5)
2000 (12)	手賀沼 (14)	佐鳴湖 (12)	印旛沼 (10)	長沼 (9.6)	涸沼 (9.5)
2001 (13)	佐鳴湖 (12)	手賀沼 (11)	印旛沼 (9.5)	春採湖 (9.2)	伊豆沼 (8.8) 八郎湖 (8.8) 油ヶ淵 (8.8)
2002 (14)	佐鳴湖 (11)	印旛沼 (9.1)	長沼 (9.0)	児島湖 (8.9)	春採湖 (8.7)
2003 (15)	佐鳴湖 (12)	伊豆沼 (10)	油ヶ淵 (9.1)	長沼 (9.0)	印旛沼 (8.6)
2004 (16)	佐鳴湖 (11)	伊豆沼 (9.6)	印旛沼 (9.4)	手賀沼 (8.9)	長沼 (8.5)
2005 (17)	佐鳴湖 (11)	伊豆沼 (10)	長沼 (9.0)	油ヶ淵 (8.6)	春採湖 (8.4)
2006 (18)	佐鳴湖 (11)	伊豆沼 (9.0)	八郎湖 (8.8)	印旛沼 (8.6)	北浦 (8.4)
2007 (19)	印旛沼 (11)	北浦 (9.5)	佐鳴湖 (9.3)	常陸利根川 (8.8)	春採湖 (8.7)
2008 (20)	伊豆沼 (9.5)	北浦 (9.3)	春採湖 (9.2)	佐鳴湖 (9.0)	常陸利根川 (8.7)
2009 (21)	伊豆沼 (10) 北浦 (10)		霞ヶ浦 (9.3) 常陸利根川 (9.3)		印旛沼 (8.6) 手賀沼 (8.6)
2010 (22)	長沼 (11)	漆沢ダム (9.3)	常陸利根川 (9.2)	北浦 (9.1)	印旛沼 (8.9) 手賀沼 (8.9)

【備考】①春採（北海道）、伊豆沼（宮城県）、霞ヶ浦（茨城県）、鳥屋野潟（新潟県）、涸沼（茨城県）、長沼（宮城県）、木場潟（石川県）、佐鳴湖（静岡県）、油ヶ淵（愛知県）、児島湖（岡山県）、八郎湖（秋田県）、北浦（茨城県）、常陸利根川（茨城県）、漆沢ダム（宮城県）

②2005 年度（平成 17 年度）の印旛沼の COD : 8.1mg/L（全国湖沼水質ワースト 8）

③2008 年度（平成 20 年度）の印旛沼の COD : 8.5mg/L（全国湖沼水質ワースト 6）

出典：印旛沼白書 平成 23・24 年度版

##### (2) 集水域の特徴と湖沼の水質

集水域の都市化は、湖沼の水質を悪化させる要因となります。実際に、全国の水面積 1km<sup>2</sup> 以上の天然湖沼についてみると、図 13-2 のように<sup>3)</sup>、集水域の人口密度が高くなるにつれて湖沼水質 (COD) は悪化しています。なお手賀沼、鳥屋野潟は、浄化用水の導入事業を行って人為的に浄化しています。また、同図で人口密度の高い湖沼は、殆ど水深 5m 以下の浅い湖沼であることも注目されます。

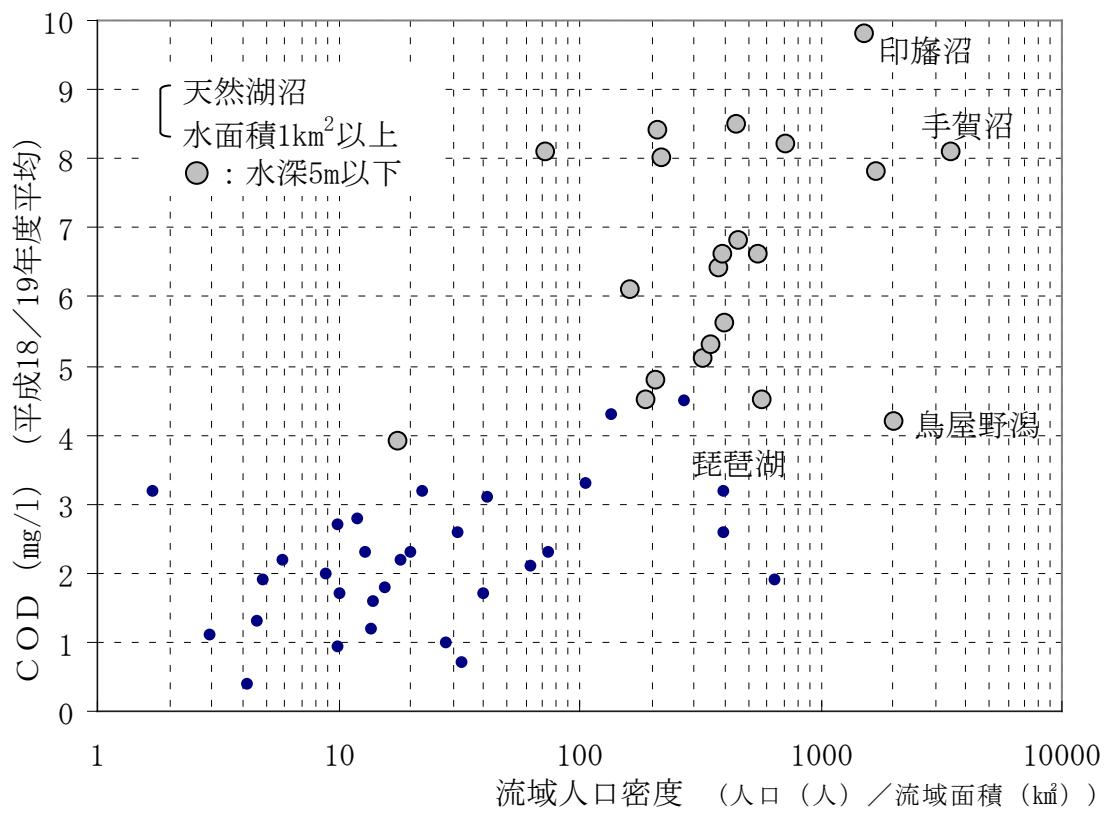


図 13-2 全国天然湖沼の流域人口密度と COD との関係<sup>3)</sup> (平成 18~19 年度平均)  
注) 琵琶湖 : 南湖北湖ともに全流域人口密度を適用

文献

<sup>1)</sup> 千葉県水質保全課資料

<sup>2)</sup> 赤松宗旦 (1938) : 利根川図志、岩波文庫

<sup>3)</sup> 全国湖沼環境保全推進協議会 (2009) : 全国湖沼資料集 第21集