

(38) 水源貯水池の鉄濃度とその特性に関する研究

Studies on the concentration of iron and its characteristics in reservoirs

—柳淳一*・千葉信男*・後藤光亀*・須藤隆一*

Jun-ichi ICHIYANAGI*, Nobuo CHIBA*, Kohki GOTO*, Ryuichi SUDO*

ABSTRACT; The iron concentration and its size fraction were investigated in 15 reservoirs which trophic levels varied from oligotrophic types to eutrophic ones. The T-Fe concentration ranged from 0.021 to 2.349 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, and the average value of the concentration from the all samples ($n=123$) was 0.200 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$. The D-Fe ($<0.45 \mu\text{m}$ size) concentration was about 20% of T-Fe, but sometimes appeared to be above 50% when the T-Fe concentration was relatively low. The relationship between T-Fe and Chlorophyll-a was not clear enough to obtain a specific correlation as compared with that of T-P or T-N and Chlorophyll-a. One significant factor of this scatter was the difference of the iron contents between algal cell particle (0.24%) and non-algal cell particle (3.9%).

The D-Fe ($<0.45 \mu\text{m}$ size) concentration showed poor relationship with DOC which was quantitative index of desolved organic matters. On the other hand, better relationship was showed with E260 or DOC/E260 value which were qualitative index of desolved organic matters.

The examination of the three fraction of iron under the size of $1.0 \mu\text{m}$ size showed that about 20% of the iron was the size of both $1.0-0.45 \mu\text{m}$ and $0.45-0.10 \mu\text{m}$, and also 60% was size of less than $0.10 \mu\text{m}$. It suggested the concentration of D-Fe must be carefully defined by the physical sieving size for the consideration of algal availability of iron.

KEYWORDS; Reservoir, Iron, Phytoplankton, DOC, E260

1. はじめに

水源貯水池の富栄養化とそれに伴う藻類（植物プランクトン）現存量の増加は様々な利水障害の原因となっている。貯水池の藻類増殖に最も大きな影響を与えている要因は流入河川によってもたらされる栄養塩等の負荷状況であり、流入栄養塩濃度、貯水池栄養塩濃度の増大は、たとえばクロロフィル a 量であらわされるような藻類バイオマスの増加につながる。これは藻類群集の量的変動であるが、一方で、栄養塩濃度の上昇は出現する藻類群集の組成にも影響する（質的変動）。

異臭味（カビ臭）やアオコ発生など、深刻な水質障害の原因となることが多い藍藻プランクトンは、一般にはリン、窒素濃度の高い富栄養水域において優占する傾向が認められている¹⁾。そのような水域では、高い栄養塩濃度が藻類の量的変動の重要因子となっているものの、出現種の構成にはリン、窒素以外の水質要因が影響している可能性も考えられる。

矢木らは、霞ヶ浦の湖水を用いた AGP 試験（増殖制限要因推定試験）を実施し、ろ過湖水の増殖制限物質としてアオコ原因藍藻の *Microcystis* では鉄およびキレート物質（試験では EDTA を添加）が重要であることを報告している²⁾。また、同一湖水について緑藻の *Selenastrum* と比較しており、両種で増殖制限物質に違いがあるという結果も得ている。その後、藍藻 4 種を用いて霞ヶ浦の同一湖水を用いた AGP 試験

* 東北大学工学部土木工学科 Dep. of Civil Eng., Faculty of Eng., TOHOKU Univ.

を行い、同じ藍藻プランクトンでも増殖制限物質に若干の差異を示すことを確認している³⁾。また、この試験でも多くの試料で鉄およびキレート物質（EDTA）が増殖制限物質となっている。さらに、牛久沼のろ過湖水でも *Microcystis* と *Selenastrum* に対する増殖制限栄養塩を調べており、*Selenastrum* ではリンが重要であったのに対して、*Microcystis* ではリンとともにキレート物質（EDTA）も重要であることを報告している⁴⁾。一方、中島らはカビ臭原因藍藻類の鉄利用特性に関する研究において、各種形態の鉄を添加した培養試験を行い、藻類種によって利用できる鉄の形態に差異があることを報告している⁵⁾。これらの研究結果は、鉄およびその利用特性に影響していると予想されるキレート有機物が藍藻類の増殖に深く関与していることを示唆するものである。

一般には3価の状態で存在している鉄は、自然水中において非晶質－結晶質、3価－2価というように状態が変化している。藻類の利用特性と深く関与していると考えられる変化は2価鉄への還元であり、多くの研究者によって光照射による鉄の還元反応が確認されている⁶⁾。また、ある種の有機物が存在していると鉄の光還元が促進されることも確かめられており、有機物の種類による作用の差も判明してきている⁷⁾。したがって、先の中島の研究と考え合わせると、このような反応による鉄の存在形態の変化は、藻類の利用特性に少なからず影響していることが想定される。

藻類種による鉄利用特性の差異が判明すれば、鉄の変化に関与する要因が光（還元）や溶存酸素（酸化）などであるため、たとえば湖水循環などの物理的環境改変による出現種制御への応用が期待される。本論文では、淡水中における鉄の挙動、藍藻類の鉄利用特性とその応用による藍藻類制御に関する研究の一環として、水源貯水池における鉄の存在状況、存在形態について考察した。

2. 調査方法

鉄の濃度範囲、存在形態等に注目した水質調査を水源貯水池において実施した。調査対象貯水池は宮城県内の5ダム貯水池、群馬県内の5ダム貯水池、関西地方の5ダム貯水池の計15貯水池であり、水質的には貧栄養から富栄養までの栄養段階を網羅していた（Table 1）。各貯水池の調査は1995年7月～11月にかけて、月1回～2回の頻度で計7～10回実施した。調査地点はダムサイト付近の定点とし、表層水を採水器等（非鉄製）を用いて採取した。なお、採水試料総数は123検体であった。

水質分析項目はT-Fe（総鉄）、D-Fe（溶解性鉄）、T-P（総リン）、D-TP（溶解性総リン）、T-N（総窒素）、D-TN（溶解性総窒素）、Chl. a（クロロフィルa）、SS（懸濁物質）、DOC（溶解性有機炭素）、E260（波長260nmにおける吸光度、セル長1cm）とした。なお、通常は溶解性試料の作成に孔径0.45μmのメンブランフィルター（東洋濾紙製）を用いた。また、11月には鉄の微細粒子成分の存在を確認するため、1.0μm、0.45μm、0.1μmの3区分に分画した。さらに、鉄、リン、窒素については無処理試料とろ過処理試料（0.45μm）の差を粒子成分濃度とした（例えば、P-Fe = T-Fe - D-Fe）。

T-Fe、D-Feは硝酸分解－原子吸光光度法、T-P、D-TPはオートクレーブ分解－吸光光度法、T-N、D-TNはオートクレーブ分解－UV法、Chl. aはHPLC法、SSはガラス繊維ろ紙ろ過法、DOCは燃焼酸化（乾式分解）－赤外吸収法、E260は吸光光度法で分析した。

Table 1 Characteristics of investigated reservoirs

Number of Reservoirs	15
Catchment area (km ²)	20.0 - 615.0 *
Reservoir surface area (km ²)	0.83 - 5.67
Total volume (×10 ⁶ m ³)	10.0 - 204.3
Volume/Area (m)	11.1 - 45.0
Surface water level (EL. m)	97.6 - 888.0
T-P concentration (mg・l ⁻¹)**	0.008 - 0.410
T-N concentration (mg・l ⁻¹)**	0.282 - 6.956

* : Minimum - Maximum

** : From this study

3. 結果と考察

3. 1 鉄濃度の範囲

調査結果の概要をTable 2 に示す。全試料（123検体）の鉄濃度平均値はT-Fe 0.200 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、D-Fe 0.032 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。これは、日本の河川の鉄濃度報告例（T-Feで0.11～0.36 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度）とほぼ同様な値であった⁸⁾。また、各貯水池の平均値はT-Feが 0.055～0.417 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、D-Fe 0.005～0.107 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であり、貯水池間の差はT-Fe（約4倍）に比べてD-Fe（約20倍）の方が大きかった。

調査全試料のT-FeとD-Feの関係をFig. 1 に示す。濃度はT-Fe 0.021～2.349 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、D-Fe 0.001～0.232 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ の範囲にあり、バラツキがやや大きいもののT-Feの増加に伴ってD-Feも増加する傾向が認められた。D-Feの割合（D-Fe/T-Fe）をみると、T-Feが低濃度の場合に大きな値を示す場合もあったが、多くの試料では概ね20%以下と少なく、T-Fe濃度が増加するにつれてより減少する傾向がみられた。

P, N, Chl. a, SSは最大値が極めて大きく、その影響で平均値も高くなっているが、これは夏季にふたつの貯水池で著しいアオコ（*Microcystis* 優占）が発生しており、調査定点がその分布・集積域に入っていたためである。

Table 2 Summary of water quality in investigated reservoirs

Item	All samples (n=123)			Average of each reservoir	
	Average	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
T-Fe ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	0.200	0.021	2.349	0.055	0.417
D-Fe ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	0.032	0.001	0.232	0.005	0.107
T-P ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	0.059	0.003	2.878	0.008	0.410
D-TP ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	0.006	0.001	0.064	0.002	0.015
T-N ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	1.221	0.197	42.234	0.282	6.956
D-TN ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	0.547	0.014	1.830	0.132	1.170
Chl. a ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	60.0	0.4	4380	2.2	602
SS ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	9.2	0.0	467	0.7	65.5
DOC ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	1.7	0.6	6.9	0.8	3.3
E260	0.036	0.008	0.108	0.015	0.060

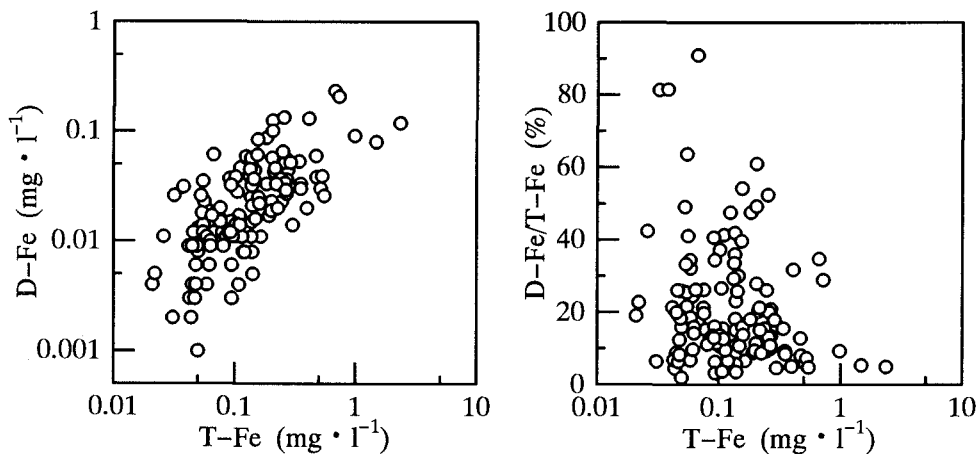


Fig. 1 Relationship between T-Fe and D-Fe concentration in reservoirs (n=123)

また、調査対象貯水池の中にはこの時期に下層が嫌気化し、底泥からリンや鉄が溶出していると考えられるものも含まれていたが、貯水池はいずれも成層期から循環初期の状態にあたり、採取したダムサイト付近の表層水は溶存酸素が十分に存在する好気状態であった。また、pHも7.5~9.0程度の弱アルカリ性からアルカリ性を示しており、底泥溶出の直接的影響は小さいものと考えられた。

3.2 クロロフィルaとの関係

T-FeとChl. aの関係を、T-P、T-NとあわせてFig. 2に示す。図から明らかなように、T-P、T-Nではその濃度増加に伴ってChl. aも増加する傾向が認められたが、T-Feではその傾向は不明瞭であり、これらの結果からは表面上は鉄がリンや窒素ほど藻類増殖に影響していないように読みとれた。

ここで、貯水池水中の懸濁粒子を藻類細胞粒子とそれ以外（無機鉱物粒子や藻類以外の有機物質粒子）に区分して考えてみる。Fig. 3はSSのChl. a含有率がChl. a濃度によってどのように変化しているかを示したものである。貯水池水では、Chl. a濃度が低い、すなわち藻類現存量が少ない場合のChl. a/SSは極めて小さく、Chl. a増加とともにChl. a/SSも増加傾向を示していることがわかる。そしてChl. aが $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ を越える3試料ではChl. a/SSは概ね1%程度で安定していた。この値は藻類のChl. a含有率に関する既往の報告例（0.53~0.99%）に近いものであり⁹⁾、この3試料をSSが藻類細胞粒子によって占められているものとみなした（試料A）。ここで、Chl. aが

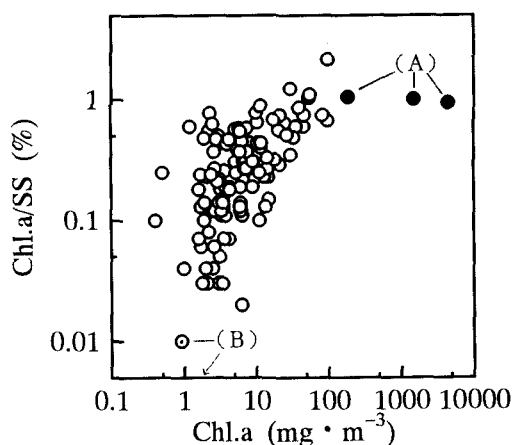


Fig. 3 Changes of Chl. a/SS in relation to Chl. a concentration

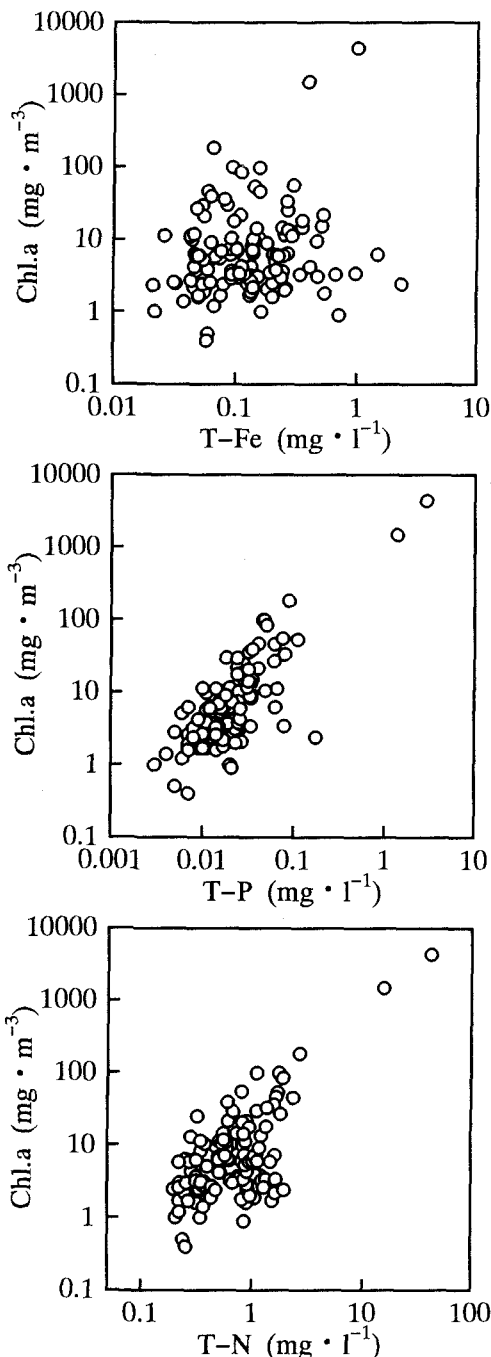


Fig. 2 Relationship between T-Fe, T-P, T-N and Chl. a concentration in reservoirs (n=123)

1000 mg・m⁻³ 以上の値を示した試料は *Microcystis* によるアオコが発生していた貯水池水である。

一方、Chl. a濃度が低い貯水池水ではChl. a/SSも極めて小さい値を示した。そこで、Chl. a/SSが 0.03%以下と低く、しかもSS濃度が 30 mg・l⁻¹ 以上と高い2試料を非藻類細胞によってSSが構成されているものとみなした（試料B）。

(A)、(B) 試料の分析結果平均値から、粒子成分のChl. a、鉄、リン、窒素含有率を求めTable 3に示す。藻類細胞粒子のリン、窒素含有率は既往の研究報告例（各々0.39～0.70%、5.16～9.42%）と同様であった⁹⁾。また、鉄についても藻体収率から逆算される含有率（0.20～0.26%）に近いものであり¹⁰⁾、それらは藻類の値とみなして差し支えないものと考えられた。

ここで、簡単のために非藻類細胞粒子のChl. a/SS (%) を0とすると、SSに占める藻類細胞の割合（ALG, %）を次式で求めることができる。

$$ALG (\%) = \frac{(Chl. a/SS) \times 100}{0.99}, \quad 0 \leq (Chl. a/SS) \leq 0.99 \quad (1)$$

また、SS中の鉄、リン、窒素含有率はTable 3で示した藻類細胞および非藻類細胞の含有率とSSに占める藻類細胞の割合を用いると以下の式で計算できる。

$$P-Fe/SS (\%) = \frac{ALG \times 0.24 + (100 - ALG) \times 3.9}{100} \quad (2)$$

$$P-TP/SS (\%) = \frac{ALG \times 0.66 + (100 - ALG) \times 0.18}{100} \quad (3)$$

$$P-TN/SS (\%) = \frac{ALG \times 9.4 + (100 - ALG) \times 1.3}{100} \quad (4)$$

Table 3 Parameter values of algal cell and not algal cell particle

Parameter	(A)		(B)		(A)
	Algal cell	average (range)	Non-algal cell	average (range)	(B)
Chl. a/SS (%)	0.99	(0.94-1.04)	0.01	(0.00-0.02)	99
P-Fe/SS (%)	0.24	(0.21-0.27)	3.9	(3.9-3.9)	0.06
P-TP/SS (%)	0.66	(0.46-0.90)	0.18	(0.16-0.19)	3.7
P-TN/SS (%)	9.4	(8.9-9.9)	1.3	(1.1-1.5)	7.2
P-TN/P-TP (mg・mg ⁻¹)	15.3	(11.0-20.5)	7.5	(5.6-9.3)	2.0
Chl. a/P-Fe (mg・mg ⁻¹)	4.09	(3.82-4.49)	-	-	-
Chl. a/P-TP (mg・mg ⁻¹)	1.63	(1.11-2.26)	-	-	-
Chl. a/P-TN (mg・mg ⁻¹)	0.11	(0.10-0.11)	-	-	-

横軸をSSのChl. a含有率、縦軸を鉄、リン、窒素含有率としたときの関係を、上式（1）～（4）による計算値とともにFig. 4に示す。鉄については若干バラツキが大きいものの、いずれの水質項目についてみても、計算式による曲線はChl. a含有率の増加に伴う実測値の変化傾向と比較的良く対応している。また、大部分の実測値が計算式よりも上方に分布しており、曲線は概ね分布の下端に相当している。藻類細胞粒子の含有率はChl. aの極めて高い試料（藍藻優占）から求めており、藻類は限られた栄養塩等を最大限に利用している状況にあったと考えられ、細胞内濃度としては最小値に近い値に相当していたと思われる。したがって、曲線

は藻類細胞が生存していくための最低含有率を表現しているといえることができる。曲線から上方へのバラツキの原因には藻類種や非藻類細胞粒子組成の違いによる含有率の差もあるが、藻類細胞による栄養塩等の蓄積状況も表現されているものと推察される。

Table 3 をみると、藻類細胞粒子と非藻類細胞粒子の違いは鉄とリン、窒素で異なっており、リン、窒素では非藻類細胞粒子に比べて藻類細胞粒子の含有率の方が大きいに対して、鉄は逆に非藻類細胞粒子の含有率の方が大きいことがわかる。このため、Fig. 4 ではリン、窒素の含有率がChl. a/SSの増加に伴って増加するのに対して鉄では逆の傾向を示している。このことは、非藻類細胞粒子の存在状況がリン、窒素に比べて鉄の値に大きく影響することをあらわしている。Fig. 2 においてT-N、T-Pに比べてT-FeとChl. aの関係が不明瞭であった大きな原因はこの含有率の違いであり、鉄と藻類増殖の関係を考察する際には藻類細胞粒子の方が含有率が大きいリン、窒素と同様に扱うことには限界があることを示唆しており、注意を要するところである。

3.3 D-Fe と有機物

本調査のD-Fe ($0.45 \mu\text{m}$ メンブランフィルター通過試料水の鉄)は $0.001 \sim 0.232 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ の範囲にあり、全平均値は $0.032 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。水中のD-Feの存在には共存有機物の影響が大きいことが知られている¹¹⁾。そこで、D-Feと有機物との関係に関する基礎情報を得るため、本研究では溶解性有機物の総量としてDOCを測定し、その分子構造に不飽和結合をもつ有機物(フミン質などが考えられる)の指標¹²⁾としてE260を測定した。また、DOC/E260はその有機物の性質をあらわすひとつの指標になると考えられており、一般には生物分解を受けやすい有機物では値が大きく、生物分解を受けにくい有機物では値が小さくなると考えられている¹³⁾。そこで、これら水質項目とD-FeおよびD-Fe/DOCとの関係を求めFig. 5 に示した。

DOCとD-Feの関係をみると両者は大きくばらついており一定の傾向は見出しがなかったが、DOCとD-Fe/DOCとの間にはばらつきながらも右下がりの傾向が認められた。E260とD-Feの図には僅かに右上がりの傾向、すなわちE260の増加に伴うD-Feの増加傾向が認められた。最も明瞭な傾向が認められたのは、溶解性有機物の性質を反映していると考えられるDOC/E260との関係であり、DOC/E260の増加に伴ってD-Fe、D-Fe/DOCは減少した。

DOCとE260の関係をFig. 6 に示す。当然のことながら

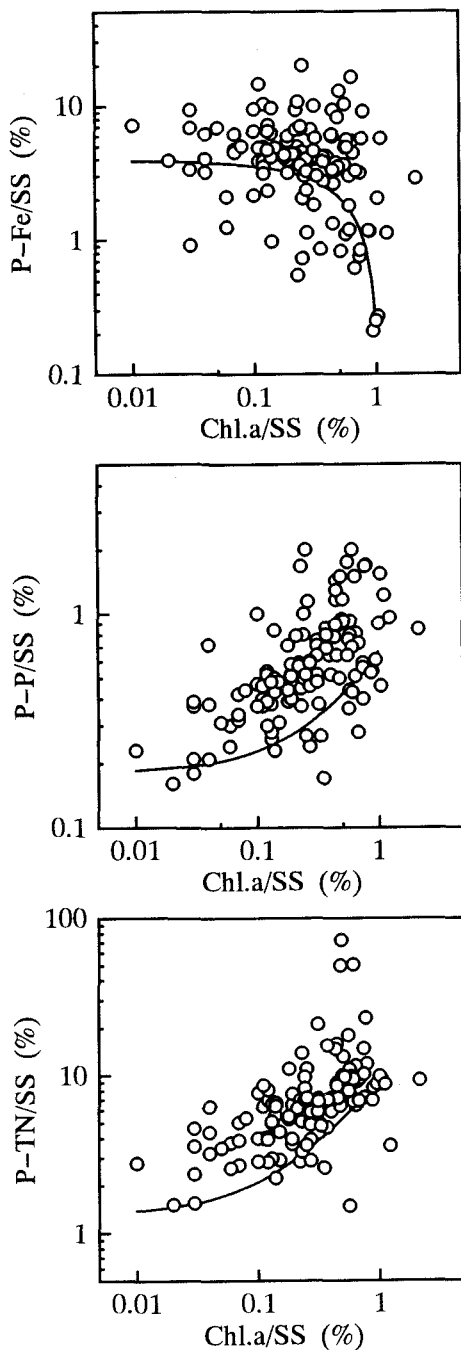


Fig. 4 Relationship between Chl.a/SS and Contents of Fe, P, N in suspended solids of reservoirs
○ : measured, — : calculated

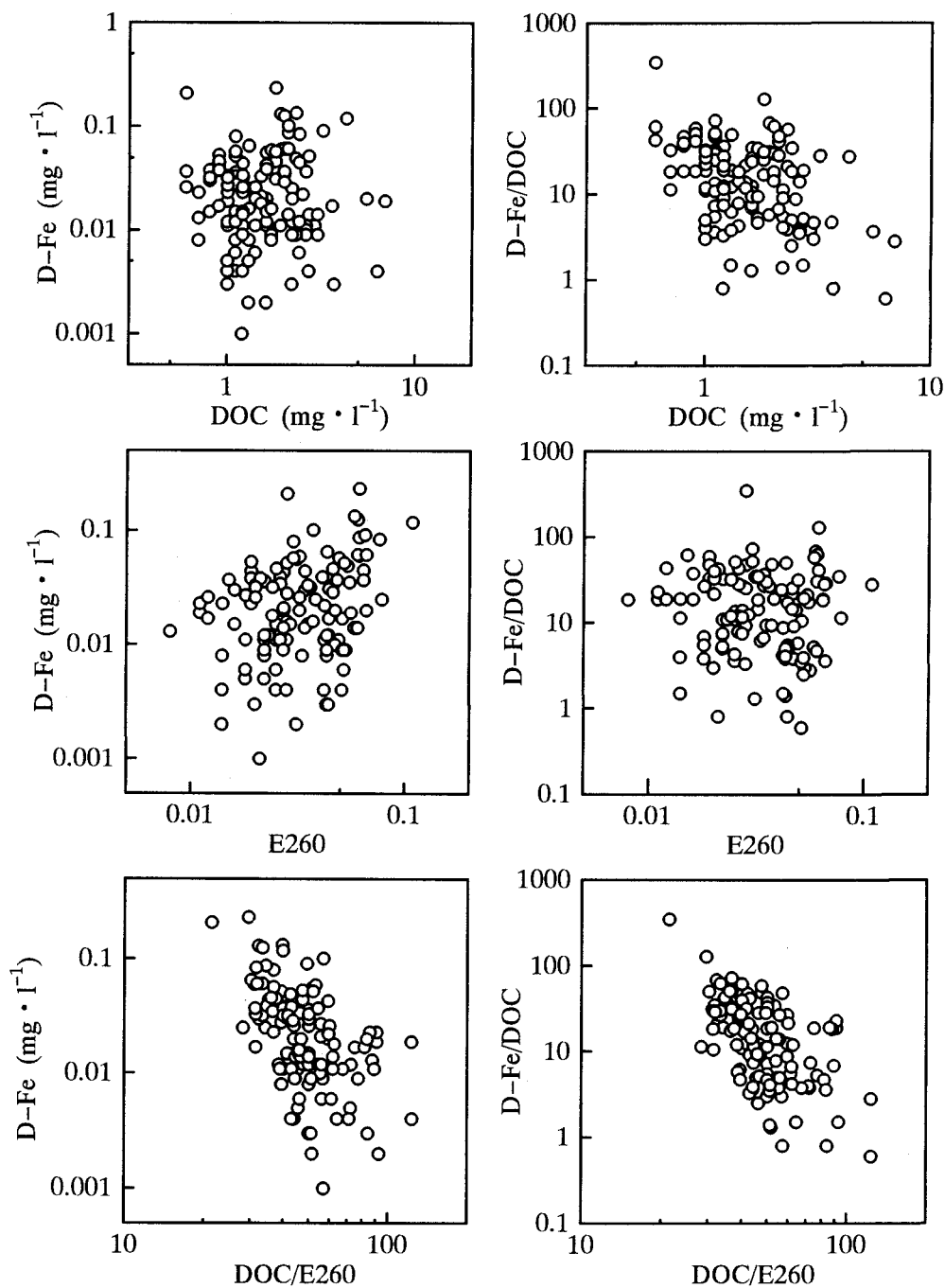


Fig. 5 Relationship between DOC, E260, DOC/E260 and D-Fe concentration, D-Fe/DOC ratio

全体としてはDOCの増加に伴ってE260も増加しているが、その分布域からかなり離れている試料水もある。また、DOC/E260の値をみると、DOCが概ね $3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下では試料によるDOC/E260値の差が大きく、またDOCが高い試料ではDOC/E260の値が大きかった。後者はアオコが発生していた貯水池水であり、有機物として藻類の代謝産物の存在が考えられる（これらでは藻類摂取によるD-Fe濃度の著しい減少も要因となっていると考えられるが、全体的な傾向はそれらの試料を除いても大きくは変わらない）。

これらの結果は、D-Feと溶存有機物との関係をみると、有機物濃度（すなわち量）よりもその組成（すなわち質）の方が重要であることを示唆している。今後さらに追跡調査、確認試験を要するが、藻類代謝有機物（富栄養水域での濃度増加が予想される）のようにDOC/E260値が大きい有機物はD-Feの存在に寄与しにくく、フミン質に代表されるDOC/E260値の低い有機物とD-Feとの複合体（有機鉄）の存在に注目する必要があることが推察される¹⁴⁾。

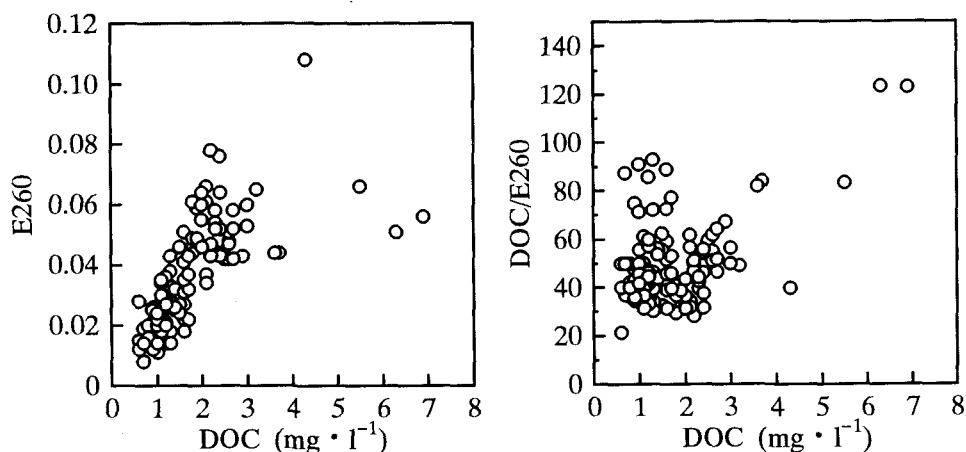


Fig. 6 Relationship between DOC concentration and E260 in reservoirs

3. 4 鉄のサイズフラクション

ところで、これまでの考察ではD-Feを $0.45 \mu\text{m}$ メンブレンフィルター通過試料水の鉄と定義してきたが、それは研究者、論文によってまちまちである。結局、実験・分析に用いるフィルターの種類（孔径）によってD-Feは定義される場合が多いのであるが、現在用いられている主なフィルターの公称孔径は、 $1.2 \mu\text{m}$ (GF/C)、 $1.0 \mu\text{m}$ (GF/B)、 $0.7 \mu\text{m}$ (GF/F)、 $0.45 \mu\text{m}$ (メンブレンフィルター)、 $0.2 \mu\text{m}$ (ヌクレオポアフィルター) など様々である。自然水中に存在する鉄コロイドは最大 $1 \mu\text{m}$ 程度までの大きさになることが知られている¹⁵⁾。また、森林域からの降雨時流出水中に $0.1 \sim 0.45 \mu\text{m}$ の大きさの鉄がかなり含まれているという調査報告例もある¹⁶⁾。そこで、1995年11月調査時の採水試料について、 $0.45 \mu\text{m}$ に加えて $1.0 \mu\text{m}$ および $0.1 \mu\text{m}$ の3種類のフィルターを用い、鉄の微細粒子成分を分画した。

$1.0 \mu\text{m}$ 以下の鉄の分析結果をFig. 7に示す。今回の試料では、平均して約20%が $1.0 \sim 0.45 \mu\text{m}$ 、同じく約20%が $0.45 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 、約60%が $0.1 \mu\text{m}$ 以下の大きさの鉄であり、用いるフィルターによりD-Feとして定義されるであろう鉄濃度には大きな差異を生じる可能性が示唆された。中島はカビ臭原因藍藻類のコロイド鉄利用特性が種によって異なることを報告している⁵⁾。今回の $0.1 \sim 1.0 \mu\text{m}$ フラクション（ $1.0 \mu\text{m}$ 以下の約40%）の鉄にもコロイド粒子鉄が含まれていると推察され、これを含めてD-Fe、すなわち藻類が容易に利用できる鉄であると考えるのは問題である。今回は $0.1 \mu\text{m}$ 以下のさらに微細な部分については不明であるが、この部分にも有機キレート鉄のような狭義の溶解性鉄以外の微細コロイド鉄や有機コロイド鉄も存在しているものと推察される。したがって藻類の鉄利用特性を議論する場合、ろ紙による単純物理分画による溶解性の定義

で利用可能性を評価することには限界があり、イオン交換樹脂の利用など粒子の化学的側面に注目した検討が不可欠であると考えられる。

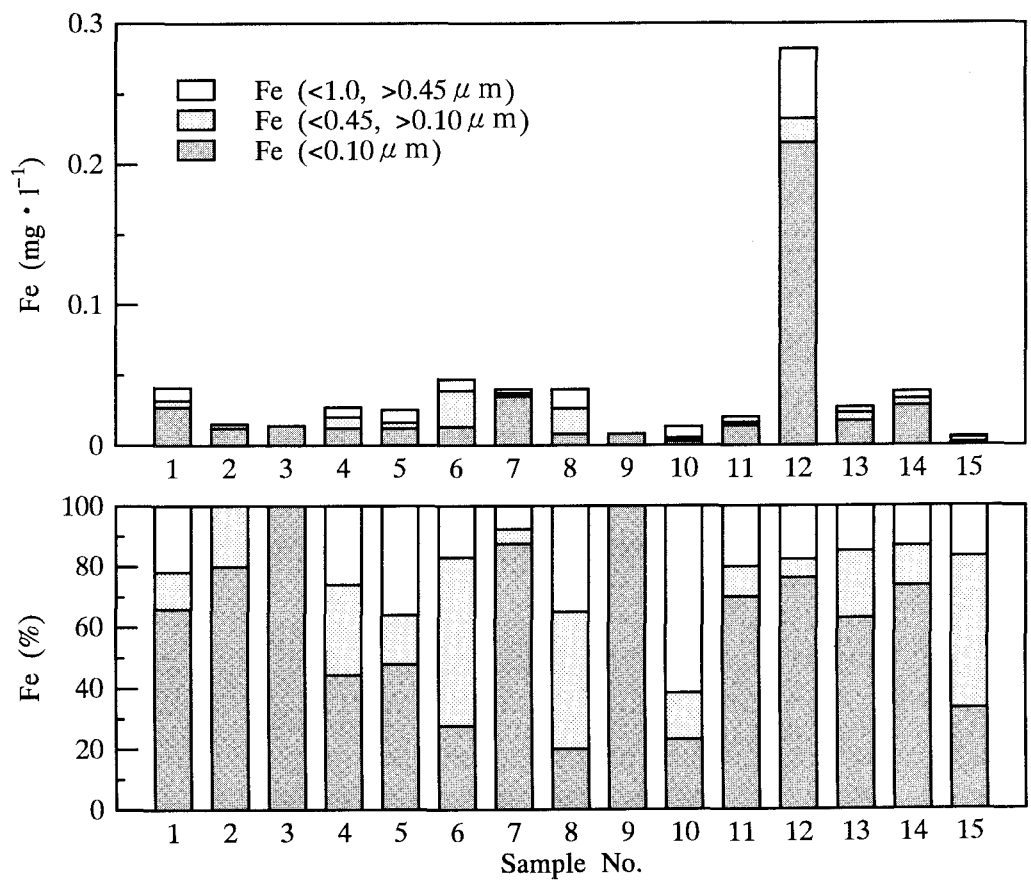


Fig. 7 Concentration and proportion of each fraction of iron under the size of 1.0 μm

4. まとめ

富栄養水域における藍藻類の増殖に対して、従来のリン、窒素よりもむしろ鉄やキレート有機物の影響の方が大きいことを示唆する既往の報告例を受け、種間競争という質的側面に対する鉄、キレート有機物の影響とその応用による藍藻類制御に関する研究を開始し、その第一歩として水源貯水池の鉄濃度と存在形態に関する現地調査を実施し、以下の知見を得た。

- 1) 貯水池水中の鉄濃度平均値はT-Fe 0.200 mg・l⁻¹、D-Fe 0.032 mg・l⁻¹であり、平均して約80%が粒子性（0.45 μm以上）であった。藻類現存量の指標となるクロロフィルaとの相関性はリン、窒素に比べて悪かったが、その大きな要因として、リンや窒素の含有率は藻類細胞粒子の方が非藻類細胞粒子よりも4～7倍程度多いのに対して、鉄は逆に非藻類細胞粒子の方が16倍も多いために流入河川由来の濁質粒子（粘土鉱物）等の影響を大きく受けることが考えられた。
- 2) 従来より、水中の鉄の存在状態に共存有機物が影響することは知られているが、今回の調査におけるD-

Fe (0.45 μm メンブランフィルター通過試料水の鉄) は、溶存有機物総量としてのDOC濃度との相関性は乏しかった。これに対して、有機物の質的状態の指標のひとつとなるDOC/E260の値とD-Feとの間には負の相関性が認められており、DOC成分がフミン質に代表される低DOC/E260値を示す試料ではD-Fe濃度が高かった。

3) 通常、D-Feの区分は調査研究に用いるろ過フィルターの孔径で定義される場合が多いが、鉄粒子は微細なものから1.0 μm 程度の大きさまであり、今回の調査では1.0 μm 以下のサイズの鉄に対して、1.0~0.45 μm のフラクションに20%、0.45~0.1 μm のフラクションに20%、0.1 μm 以下のフラクションに60%の鉄が存在していた。コロイド鉄の利用性が藍藻類の種によって異なるという報告があることから考えても、その利用特性を議論する場合には現状のろ紙による単純物理分画に関する取り扱いには十分注意する必要があると考えられた。

今回の調査結果は環境水中における鉄の『静的特性』の一端であるが、鉄は光エネルギーや共存有機物の作用で還元(溶存化)され、また溶存酸素により酸化(粒子化)されていることから、そのような『動的特性』に関する検討も必要である。また、フルボ酸に代表される溶存有機物の状態(組成)が鉄の存在状態に少なからず影響し、この有機物-鉄複合体が藻類による鉄利用特性の理解において重要になると考えられることから、それらの事項の検討を今後の課題としたい。

なお、本研究を進めるにあたっては建設省、宮城県、仙台市の関係諸機関および株式会社環境科学コーポレーションの山裾善之氏、上田映子さんに協力していただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤本尚志, 福島武彦, 稲森悠平, 須藤隆一: 全国湖沼データの解析による藍藻類の優占化と環境因子との関係, 水環境学会誌, Vol. 18, No. 11, pp. 901-908, 1995.
- 2) 矢木修身, 萩原富司, 高村義親, 須藤隆一: 霞ヶ浦における藻類増殖の制限物質, 水質汚濁研究, Vol. 10, No. 2, pp. 115-122, 1987.
- 3) 矢木修身, 内山裕夫, 富岡典子, 桜井昌文, 高村義親: 霞ヶ浦における各種ラン藻類の増殖制限物質, 霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会講演報告集-9-, pp. 52-55, 1995.
- 4) 矢木修身, 大久保紀雄, 富岡典子, 岡田光正: 牛久沼における藻類増殖の制限物質, 陸水学雑誌, Vol. 50, No. 2, pp. 139-148, 1989.
- 5) 中島進, 青山勲, 八木正一: かび臭物質産生ラン藻類 *Anabaena macrospora*, *Phormidium tenue*, *Oscillatoria tenuis* 及び *Oscillatoria brevis* の鉄吸収, 岡山大学資源生物研究所報告, 1, pp. 35-50, 1992.
- 6) たとえば, Miller, W. L., King, D. W., Lin, J., Kester, D. R.: Photochemical redox cycling of iron in coastal seawater, Marine Chemistry, No. 50, pp. 63-77, 1995.
- 7) Kuma, K., Nakabayashi, S., Suzuki, Y., Kudo, I., Mastunaga, K.: Photo-reduction of Fe(III) by dissolved organic substances and existence of Fe(II) in seawater during spring blooms, Marine Chemistry, No. 37, pp. 15-27, 1992.
- 8) 半谷高久: 水質調査法, 丸善, 1979.
- 9) 福島武彦, 相崎守弘, 村岡浩爾: 浅い湖における沈殿量の測定方法とその起源, 国立公害研究所研究報告, No. 51, pp. 73-87, 1984.
- 10) 矢木修身, 萩原富司, 高村義親, 須藤隆一: 霞ヶ浦から分離した *Microcystis* の無菌株と単藻株の増殖特性, 水質汚濁研究, Vol. 7, No. 8, pp. 496-503, 1984.
- 11) たとえば, Matsunaga, K., Igarashi, K., Fukase, S.: Behavior of organically-bound iron in Lake Oh-

numa, Jap. J. Limnol., Vol. 43, No. 3, pp. 182-188, 1982.

- 12) 丹保憲仁, 亀井翼, 高橋政宏: 好気性生物化学プロセスからの代謝産物の挙動と性質 (I), 下水道協会誌, Vol. 18, No. 210, pp. 48-57, 1981.
- 13) 丹保憲仁, 亀井翼: マトリックスによる都市水代謝の水質評価, 水道協会雑誌, No. 502, pp. 2-24, 1976.
- 14) 富田重行: フミン物質と植物プランクトンの増殖 (I) 瀬田川および琵琶湖南湖水中のフミン物質濃度の動態, 陸水学雑誌, Vol. 54, No. 2, pp. 97-108, 1993.
- 15) Liang, L., McCarthy, J. F., Jolley, L. W., McNabb, J. A., Mehlhorn, T. L. : Iron dynamics: Transformation of Fe(II)/Fe(III) during injection of natural organic matter in a sandy aquifer, *Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol. 57, pp. 1987-1999, 1993.
- 16) 林誠二, 後藤光亀, 須藤隆一: 森林域由来の溶存態有機物が溪流水質に及ぼす影響に関する研究, 水工学論文集, No. 39, pp. 223-228, 1995.