

知多半島におけるため池水質の化学特性

丹羽智子^{1)†}・吉田恭司^{2)††}

Water chemistry of irrigation ponds at Chita Peninsula in Aichi Prefecture

Tomoko NIWA^{1)†} and Kyoji YOSHIDA^{2)††}

摘 要

愛知県知多半島に位置する 1342 ヶ所のため池から 58 ヶ所を選定し、水質を調査した。ため池の TN/TP 比は、全体の 72% が 10 以上を示し、リン制限的な水域が多いことがわかった。TN はほとんどのため池で有機態が卓越していたが、NO₃-N が TN の 8 割を占めるため池も 2 ヶ所見られた。ヘキサダイアグラムの形状は知多半島北部から中部にかけての地域と南部の地域で差異が認められることから、この 2 つの地域のため池は水質を形成する要因が異なる可能性が示唆された。各ため池で優占する植物プランクトンと TN/TP 比を検討してみると、藍藻が優占するため池では TN/TP 比が平均で 11、珪藻では 25、緑藻では 23、鞭毛藻では 34 となった。

キーワード：知多半島、水質、ため池

(2008 年 9 月 19 日受付；2009 年 1 月 20 日受理)

はじめに

知多半島は大きな河川を有していないため、かつてはため池によって農業用水を確保してきた。ため池は 1961 年の愛知用水の完成や農業の衰退により年々減少しているが、現在でも 1342 ヶ所が存在し、その数は愛知県のため池の約 44% を占めている (愛知県農林水産部, 2007)。知多半島のため池の 873 ヶ所は受益面積が 1ha 未満であるが、総貯水量は 15971.5 千 m³ と日本有数のため池である犬山市入鹿池の貯水量に匹敵している。

愛知県では、これまでに名古屋市、犬山市、尾張東部地域のため池の水質が報告されている (土山, 1995; 大沼, 2003; 糟谷ら, 1989)。しかし、知多半島のため池では植生や水生生物の調査に比べ (浜島, 2006)、系統的な水質調査は行われていない。そこで、知多半島におけるため池の水質の現状を把握することを目的として本調査を実施した。

方 法

調査地

知多半島は中央部になだらかな丘陵地帯を持ち、南北に細長い形状をした面積 390 km² の半島である (愛知県地域振興部土地水資源課, 2007)。森林植生は主にスギ・ヒノキ人工林である。今回の調査では、伊勢湾、三河湾および衣浦湾に流入する河川に直接接続しているため池 (およそ 180 ヶ所) から 58 地点を選定した (図 1)。これらのため池の周辺環境は、農地 (38 ヶ所)、森林 (15 ヶ所)、宅地 (5 ヶ所) であった。貯水量は、3 ~ 5000 千 m³ の範囲であった。

調査項目と分析方法

調査は 2007 年 8 月に行い、できる限りため池の取水口に近い場所で表層水を採水し、現場で水温、pH (DKK 製 HPH-110)、電気伝導率 (オルガノ製 AB-7) を測定して実験室へ試料を持ち帰った。

化学的酸素要求量 (COD) は酸性過マンガン酸カリウム

¹⁾ 愛知県尾張県民事務所知多県民センター 〒478-0001 愛知県知多市八幡字荒古後 88-2 Chita Citizens Affairs Office, Chita, Aichi 478-0001, Japan

[†] 現所属：愛知県環境調査センター 〒462-0032 愛知県名古屋市中区辻町字流 7-6 Aichi Environmental Research Center, Kita-ku, Nagoya, Aichi 462-0032, Japan

²⁾ 愛知県環境調査センター 〒462-0032 愛知県名古屋市中区辻町字流 7-6 Aichi Environmental Research Center, Kita-ku, Nagoya, Aichi 462-0032, Japan

^{††} 現所属：愛知県西三河県民事務所 〒444-8551 愛知県岡崎市明大寺本町 1-4 Nishi-Mikawa Citizens Affairs Office, Okazaki, Aichi 444-8551, Japan

(連絡著者 丹羽智子 E-mail: tomoko_niwa@pref.aichi.lg.jp)

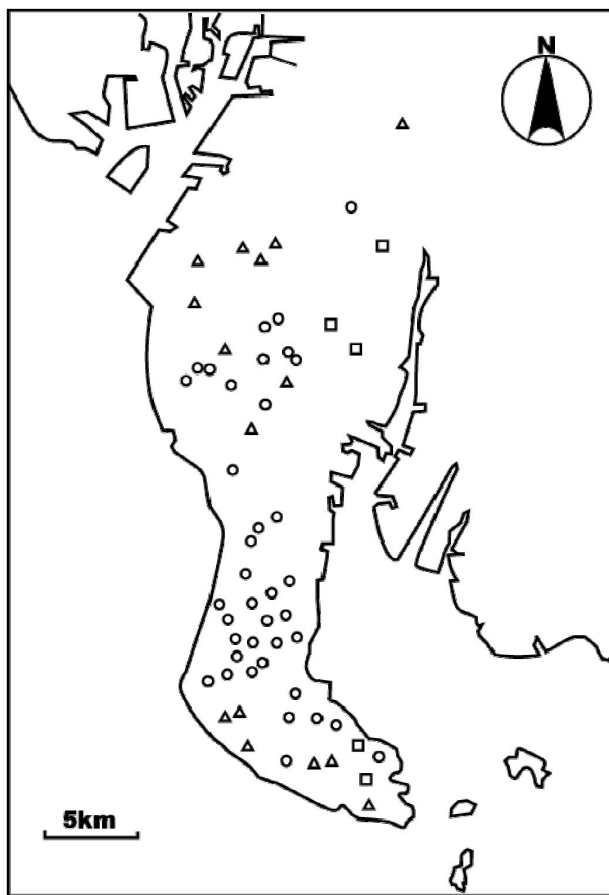


図1. 調査地点。
(記号は周辺環境を示す。○：農地 △：森林 □：宅地)

法, 全窒素 (TN) はアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解-紫外線吸収吸光度法, 全リン (TP) はペルオキシ二硫酸カリウム分解-モリデンブルー法で分析した (日本規格協会, 1998)。メンブランフィルター (Millipore 製 HA 孔径 0.45 μm) でろ過した試料を用いて, 溶存態有機炭素 (DOC) は全有機炭素計 (島津製作所製 TOC-V) で, F, Cl, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} はイオンクロマトグラフ (DIONEX 製 DX-320), 溶存態の Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Si, Zn は試料 50 ml に硝酸を 1 ml 添加して加熱濃縮後に全容を 25 ml とした溶液を ICP 発光分光分析装置 (セイコーインスツルメンツ製 Vista-MPX) でそれぞれ測定した。クロロフィル *a* 量 (Chl-*a*) は SCOR/UNESCO 法 (SCOR/UNESCO, 1966), フェオ色素は Lorenzen 法 (Lorenzen, 1967) で測定した。植物プランクトンの優占種は 39ヶ所のため池でグルタルアルデヒドを用いてプランクトンを固定した試料 1L を約 50 倍濃縮し, 100 ~ 600 倍の倍率で顕微鏡観察した。

表1. 調査したため池の水質の概要 (n=58).

	最大値	最小値	平均値	中央値
pH	10.4	6.4	8.4	8.4
EC (mS m ⁻¹)	48	4.7	15	13
COD (mg L ⁻¹)	96	3.6	13	9.2
TN (mg L ⁻¹)	14	0.2	1.8	0.83
TP (mg L ⁻¹)	1.5	0.008	0.17	0.066
Chl- <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1300	2.3	76	22
フェオ色素 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	52	<2.0	6.8	4.2
DOC (mg L ⁻¹)	12	1.0	4.3	3.5

結果および考察

水質の概要は表1にまとめた。本報告では, 各ため池の富栄養化の現状と水質形成の要因を考察する。

富栄養化の現状

図2に COD, Chl-*a*, TN および TP のヒストグラムを示す。COD は 5 mg L⁻¹ 以上 10 mg L⁻¹ 未満, Chl-*a* は 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ 未満, TN は 0.5 mg L⁻¹ 以上 1 mg L⁻¹ 未満, TP は 0.05 mg L⁻¹ 未満のため池が最も多かったが, 特異的に高濃度を示すため池も見られた。

COD は有機汚濁量の指標であり, 5ヶ所のため池で COD が 30 mg L⁻¹ を超えていた。ため池や湖沼の有機物の多くは富栄養化により増殖した植物プランクトンであると言われており, COD と Chl-*a* は密接な関係がある (図3)。Chl-*a* が 30 $\mu\text{g L}^{-1}$ を超えると外観的にも着色が認められ, 植物プランクトンの異常増殖が起こっていると考えられており, それらのため池は 23ヶ所, およそ4割を占めた。特に COD が 30 mg L⁻¹ を超えたため池はいずれも Chl-*a* が 300 $\mu\text{g L}^{-1}$ 以上の高濃度で検出され, アオコが異常増殖していたことから, 内部生産により COD が押し上げられていると考えられる。

植物プランクトンの異常増殖はため池の富栄養化により発生し, 一般にその増殖量は窒素とリン濃度で制限される。ため池では特にリン濃度と密接な関係があり, 夏季, 池水中のリン濃度が 0.1 mg L⁻¹ を越えると「水の華」の発生する池が増加する (土山, 2001)。今回の調査結果では, TN または TP 濃度が高いほど Chl-*a* 濃度が増加する傾向を示した (図3b, c) が, TN と TP のどちらが Chl-*a* を制限しているかは明確ではない。

TN/TP 比が 10 を超える湖沼は一般に窒素過多の状態になっていると言われている (日本水質汚濁研究会, 1982)。調査したため池全体の 72% は TN/TP 比が 10 以上であり, リン制限的なため池が多いことを示唆している (図3d)。ため池の富栄養度としての確かな分類は報告されていないが, 仮に COD で 5 mg L⁻¹, TN で 0.5 mg L⁻¹, TP で 0.05 mg L⁻¹, Chl-*a* で 30 $\mu\text{g L}^{-1}$ を富栄養度の境界とすると, 9割のため池

知多半島におけるため池水質の化学特性

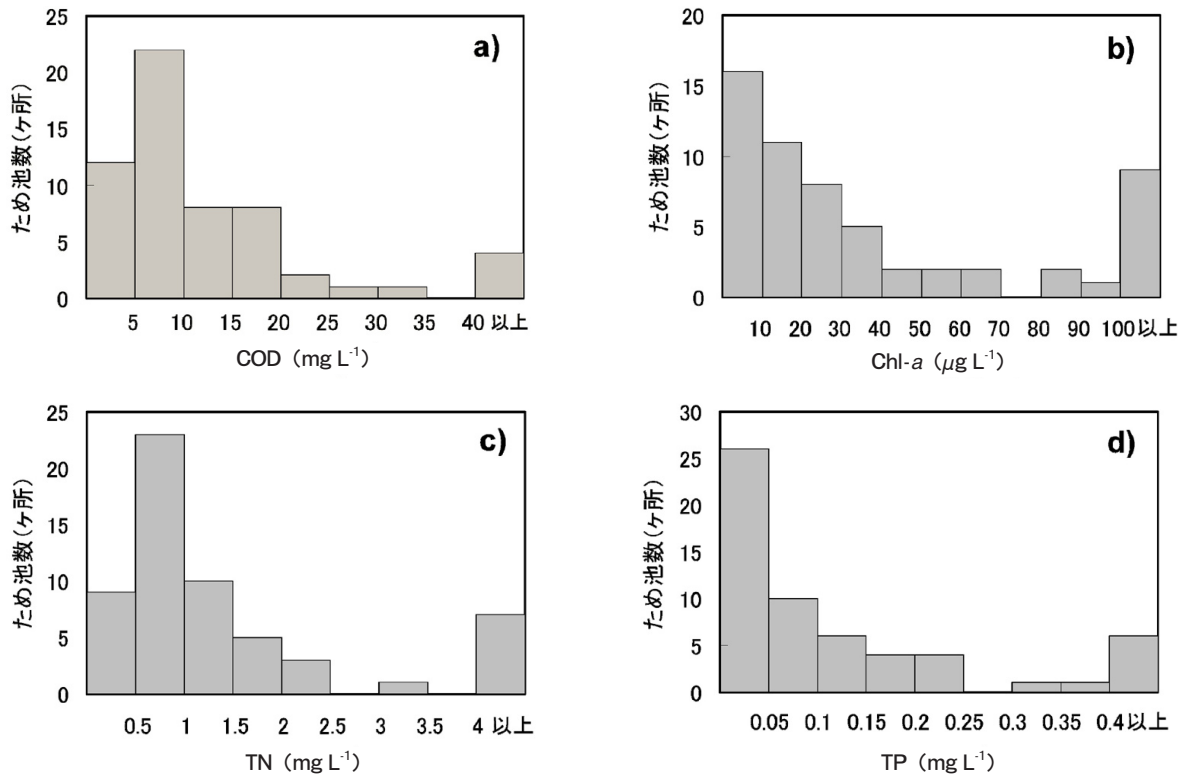


図2. 各ため池で測定されたCOD(a)、Chl-a(b)、TN(c)およびTP(d)のヒストグラム.

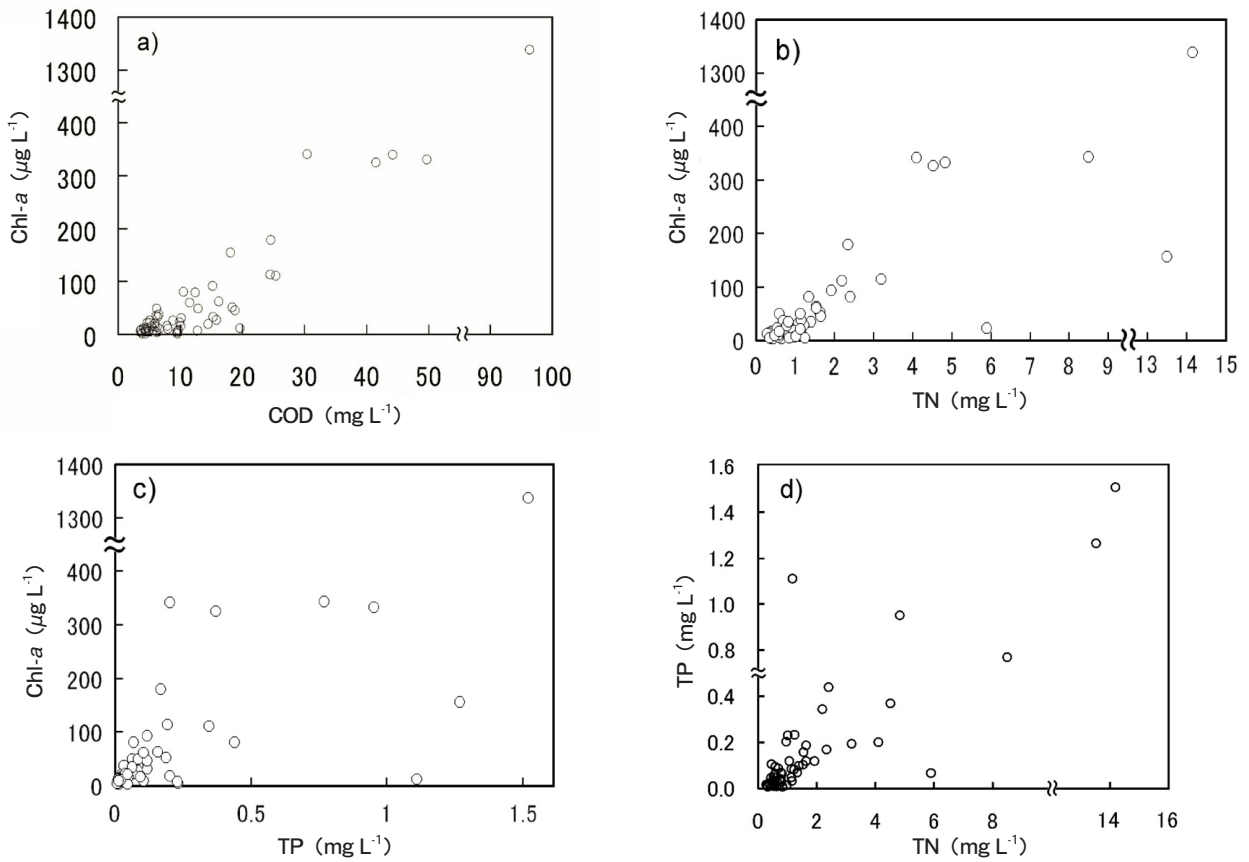


図3. 各ため池で測定されたCODとChl-a(a)、TNとChl-a(b)、TPとChl-a(c)およびTNとTP(d)の関係.

がそのいずれかに該当し、富栄養化が進んでいることを示した。

調査したため池のうち39ヶ所について植物プランクトンの優占種を調査した。珪藻が優占しているため池では、*Aulacoseira* sp. や *Synedra* spp. が多く、同様に藍藻では *Microcystis aeruginosa*、鞭毛藻では *Peridinium* sp. で占められているため池が多かったが、緑藻が優占しているため池では特定の植物プランクトンに集中する傾向は見られなかった(表2)。*Microcystis aeruginosa* が優占した7ヶ所のうち3ヶ所はChl-aが100 μg L⁻¹を超え、いわゆるアオコが発生している状態であった。*Microcystis aeruginosa* は毒性のあるmicrocystinを形成するため各地の湖沼で問題となっているプランクトンである。また、3ヶ所のため池で優占種となっていた *Anabaena* sp. もカビ臭を発生することが問題となっている。知多半島のため池はTN・TPの濃度からみて多くが富栄養状態にあり、現在アオコが発生していないため池でも天候や取水状況等によってはアオコが発生する条件を備えていると考えられる。

優占種別に水質のTN/TP比の平均値をみると、藍藻が優先しているため池では11、珪藻では25、緑藻では23、鞭毛藻では34となり、藍藻が優先しているため池のTN/TP比は他の藻類が優先しているため池に比べ低い値となった(図4)。TN/TP比は植物プランクトンの増殖および優占種を決定する重要な要因の1つとして考えられており、例えば、*Microcystis* spp. の最適N:P比は4.1(Rhee, 1980)、*Oscillatoria agardhii* では12.0(Zevenboom, 1980)との報告がある。藍藻が優占したため池のTN/TP比は5.5~19.4の範囲に分布し、他の藻類に比べ狭い分布範囲を示した。これ

表2. 植物プランクトンの出現状況 (n=39).

	第一種占種	ため池数 (ヶ所)
珪藻	<i>Aulacoseira</i> sp.	4
	<i>Cyclotella</i> spp.	1
	<i>Melosira varians</i>	1
	<i>Synedra</i> spp.	4
	<i>Tabellaria</i> sp.	1
藍藻	<i>Anabaena</i> sp.	3
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	7
	<i>Oscillatoria tenuis</i>	1
緑藻	<i>Closterium aciculare</i>	1
	<i>Coelastrum</i> sp.	1
	<i>Eudorina</i> sp.	1
	<i>Mougeotia</i> sp.	1
	<i>Pandrina morum</i>	1
	<i>Scenedesmus</i> sp.	1
	<i>Staurastrum</i> sp.	1
	<i>Volvox</i> sp.	1
	鞭毛藻	<i>Peridinium</i> sp.
<i>Trachelomonas</i> sp.		1
<i>Euglena proxima</i>		1
<i>Ceratium</i> sp.		1

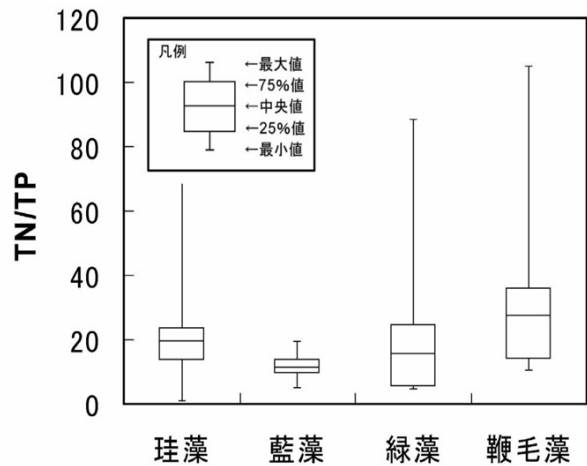


図4. 優占する藻類別にみた水質のTN/TP比.

らのため池の半数以上は *Microcystis aeruginosa* が優占しており、そのためにTN/TP比のばらつきが少なかったのではないかと考えられる。

主要な溶存無機態イオンの特性

今回調査したため池について、TNの形態別濃度比率をみると、40ヶ所のため池はNO₂⁻-N、NO₃⁻-N、NH₄⁺-Nのいずれもが定量下限値未満(0.05 mg L⁻¹)でありTNのほとんどは有機態窒素の形態であった(図5)。NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、NH₄⁺-Nのいずれかが検出されたため池18ヶ所のうち、4ヶ所のため池は主にNO₃⁻-Nで占められ、そのうちの2ヶ所はTNの8割以上がNO₃⁻-Nであり、TNの濃度も突出していた。糟谷らは、尾張東部地域のため池においては、窒素の大部分が藻類に取り込まれ有機懸濁態窒素として存在することを推察している(糟谷ら, 1989)。中曽根らは、茨城県のため池において水質調査を実施したところ、有機態窒素が主であるため池が多いなかで、TNの80%がNO₃⁻-Nで占められているため池が見られ、それらのため池は畑地・宅地・採石場を合わせた面積が集水域の90%を占めるため池であったことから、集水域の土地利用がため池の水質に大きな影響を及ぼしているのではないかと述べている(中曽根ら, 1998)。今回の調査でNO₃⁻-Nが80%を超えたため池は、ため池台帳により森林に囲まれた立地環境に分類されているが、現況の集水域の土地利用形態は不明である。

各ため池で測定された主要な溶存無機態イオン濃度からヘキサダイアグラムを作成し、図6にまとめた。知多半島北部から中部にかけて位置するため池ではCa濃度が相対的に高い形状のヘキサダイアグラムを示すが、南部ではCa濃度比べ(Na+K)濃度が相対的に高く、ヘキサダイアグラムの形状が異なっていた。したがって、北部から中部にかけて位置するため池と南部のため池では水質を形成する要因が異なることを示唆している。

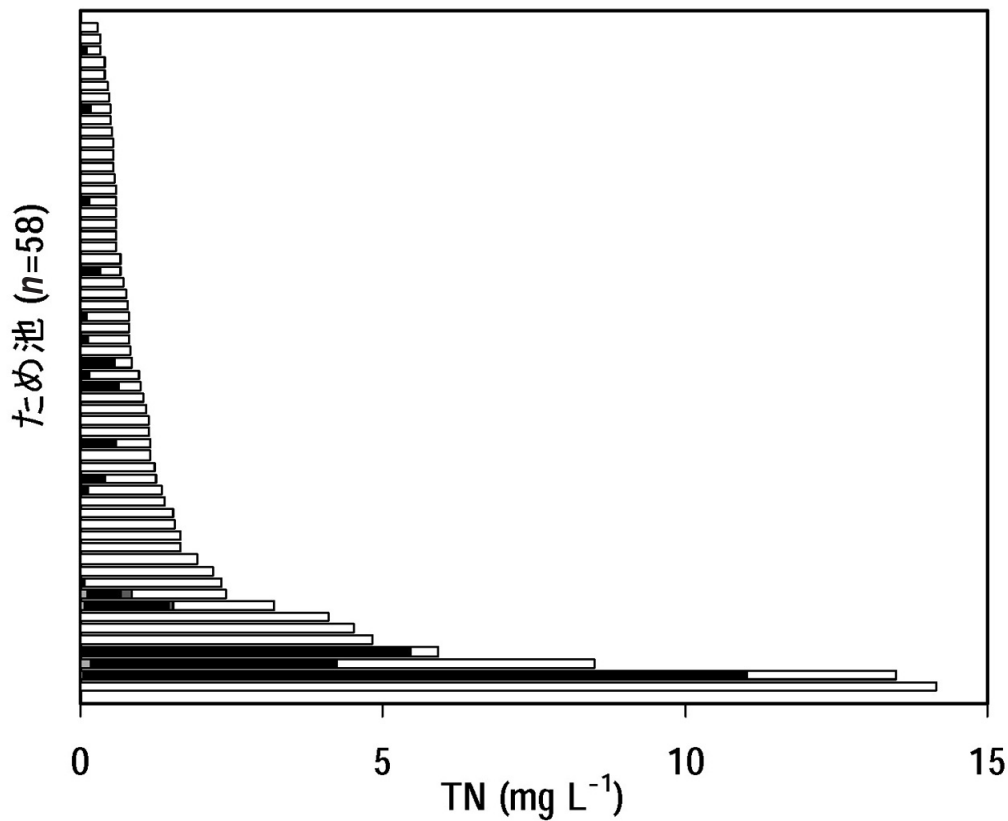


図5. ため池の形態別窒素濃度.

□ NO₂⁻-N ■ NO₃⁻-N ■ NH₄⁺-N □ Org-N

知多半島の地質は、平野部は沖積層であるが、中央を貫く丘陵地帯のほとんどは新第三世紀の常滑層群を主体としており、そこに師崎層群、武豊層や新田層などが入り組んだ地質構造をしている。河川水質と周囲の地質環境の関連については、人間活動の影響が少ないと考えられる地点は無機主要成分が地質環境に依存していると報告されている（森井ら、1993；木下ら、2001）。今後、各ため池について集水域の土地利用形態や人為的汚染の程度を詳細に把握して議論する必要があるが、溶存態 Al, Si, Fe は知多半島南部に位置する師崎層群で形成された山地において、Mg²⁺ は知多半島中部に位置する野間層で形成された段丘地帯において特に濃度が高い傾向を示しており、地質の状態がこれらの溶存物質に影響を与えている可能性もある。なお、溶存態 Cd, Cr, Cu, Pb はほとんど検出されなかった。溶存態 Zn は 11ヶ所、溶存態 Mn は 24ヶ所で検出されたが、地域的な特性は見られなかった。

謝 辞

本調査を実施するにあたり、知多半島内のため池の諸元の提供や関係市町との調整については愛知県農林水産部および愛知県知多農林水産事務所に協力をいただきました。現地調

査には愛知県知多事務所（現：愛知県尾張県民事務所知多県民センター）の方々のご協力を得ました。また、関係市町の担当部局の皆様にはため池所有者との連絡調整をしていただきました。記して各位に感謝申し上げます。

文 献

愛知県地域振興部土地水資源課（2007）：土地に関する統計年報（平成 18 年度版），愛知県。
 愛知県農林水産部（2007）：愛知県ため池保全構想，愛知県。
 浜島繁隆（2006）：知多半島の植物誌．トンボ出版，大阪。
 糟谷真宏・加藤保・濱田玲子・永田敬子・木野勝敏・豊田一郎（1989）：多変量解析法を用いた尾張東部地域のため池の水質解析．愛知県農業総合試験場研究報告，21：123-130。
 木下卓也・松田敏彦（2001）：岡山県の主要 3 河川の水質と地質の関係．岡山大学地球科学研究報告，8：29-38。
 Lorenzen, C. J. (1967)：Determination of chlorophyll and pheopigments：spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12：343-346。
 森井ふじ・松村竹子・田中好（1993）：琵琶湖流入河川の水質と水源地地質との関連．*陸水学雑誌*，54：3-10。
 中曾根英雄・黒田久雄・渡辺政子・田淵俊雄（1998）：ため

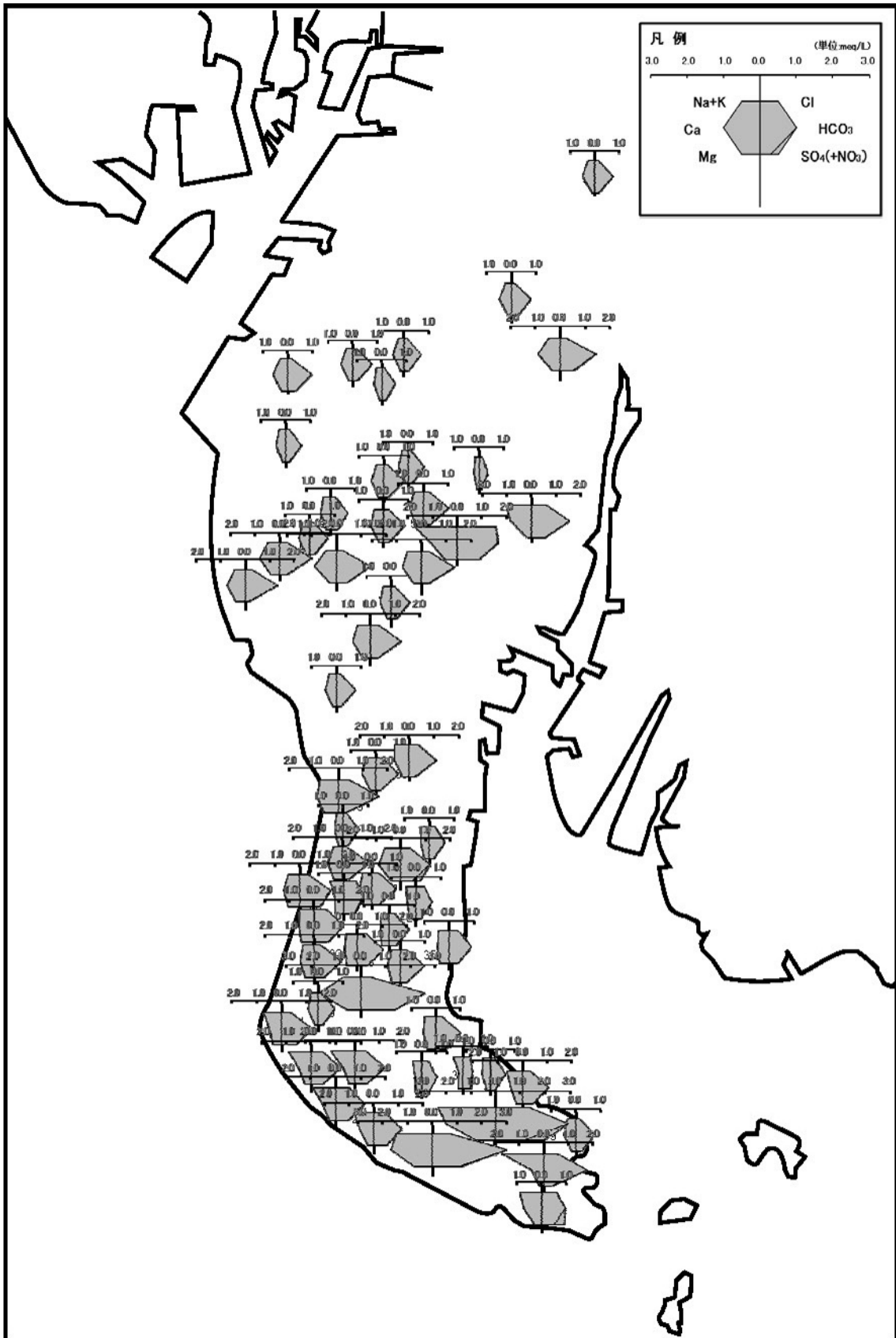


図6. たため池水質のヘキサダイアグラム。
(HCO₃ は未測定のためイオンバランスから濃度を計算した。)

- 池の窒素・リン濃度と集水域の土地利用. 水環境学会誌, 21: 83-87.
- 日本規格協会 (1998): JIS K0102 工場排水試験法.
- 日本水質汚濁研究会 (1982): 湖沼環境調査指針. 公害対策同友会, 東京.
- 大沼淳一 (2003): 犬山ため池群の集水域環境と水質特性. ため池の自然 37: 1-4.
- Rhee, G. Y. and I. J. Gotham (1980): Optimum N:P ratios and coexistence of planktonic algae. *Journal of Phycology*, 16: 486-489.
- The SCOR/UNESCO Working Group on Photosynthetic Pigments (1966): *Monographs on Oceanographic Methodology*, No.1, 69, UNESCO.
- 土山ふみ (1995): 「ため池」水質の簡易な予測モデル. 水環境学会誌, 18: 808-813.
- 土山ふみ (2001): ため池の自然. 2章-3. ため池の水質, 浜島繁隆ほか編: 37-48. 信山社サイテック, 東京.
- Zevenboom, W., K. N. Knip and L. R. Mur (1980): Influence of the nature of the growth-limitation on some physiological properties of *Oscillatoria agardhiigriwn* in continuous culture, in, "Growth and nutrient uptake kinetics of *Oscillatoria agardhii*. PhD. thesis", (ed. by W. Zevenboom) University of Amsterdam, 109-127.
- (担当編集委員: 野崎健太郎, 椋山女学園大学教育学部)

