

2005 年度の琵琶湖水質について -透明度やCOD等の主な項目の調査結果から-

岡本高弘・津田泰三・奥田一臣・中村忠貴・一瀬諭・古田世子

吉田美紀・青木茂・原良平・中村豊久¹⁾・安藤茂伸²⁾

要 約

国土交通省と水資源機構および滋賀県が共同で実施している琵琶湖水質調査については、調査・分析・データの解析を当センターと国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所が協力・分担して行い、各年度の結果を滋賀県環境審議会に報告するとともに、データは国や県、当センターのホームページ等から取得できる状況になっている。これらの調査結果やその評価に基づき、昨年度に引き続き、今回、2005 年度の琵琶湖水質の特徴について報告する。

近年、上昇傾向にある透明度は、特に北湖において透明度の上昇が見られたが、その要因として、近年夏季の植物プランクトンの減少に伴う透明度の上昇の影響と秋季の濁水が考えられた。栄養塩類の全窒素（T-N）や全りん（T-P）はほぼ過年度（1995~2004 年度）および 2004 年度並みに推移した。CODとクロロフィル a は少し高い値となったが、その要因としては、5 月のウログレナの増殖が影響しているものと考えられた。北湖深層部今津沖中央（今津一長浜沖中央）の溶存酸素濃度の状況は、8 月から 9 月にかけての減少速度が過年度より速かったが、その後減少が見られず 12 月 7 日に年度最低値の 2.4mg/l を示した後、過年度より速く上昇し、約 1 ヶ月早く表層と同じ濃度に回復した。回復が早かった要因としては、12 月の低温と寒波の襲来が影響したものと考えられた。また、2004 年度に引き続き、深層部において溶存酸素飽和度が 50%を割り込まない夏季に溶存態マンガンの上昇とメタロゲニウムの発生が確認された。

1. はじめに

琵琶湖の水質調査は、琵琶湖の水質変動の把握と環境基準監視のため、水質汚濁防止法等に基づき、滋賀県環境審議会の審議と国との協議を経て知事が策定する滋賀県公共用水域・地下水水質測定計画（以下、「測定計画」という。）により、国土交通省近畿地方整備局と水資源機構および滋賀県が共同で実施している。調査地点は、図 1 に示すとおりであり、このうち国土交通省が 37 地点、滋賀県が環境基準点の 12 地点において、それぞれ毎月 1 回表層水について、調査・分析を分担して実施している。このほか、水深別の水質調査や連

続測定についてもそれぞれの機関で実施している。

これらの調査結果については、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所および滋賀県琵琶湖環境部環境管理課と当センターにおいて集計、解析、評価を行い、滋賀県環境審議会に報告している。また、個々のデータについても、環境白書等やホームページを通じて公表している。

そこで、2005 年度の琵琶湖水質調査結果の評価と特徴的な事象について、県環境審議会に報告、説明した内容と委員からいただいた意見により、若干の考察を行ったので、報告する。

1) 滋賀県琵琶湖環境部環境管理課 2) 国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所

2. 調査方法

2.1 琵琶湖における水質モニタリングの概要

琵琶湖等49地点および水深別調査地点を図1に示す。透明度、pH、浮遊物質(SS)、化学的酸素要求量(COD)等一般項目や全窒素(T-N)、全りん(T-P)等の生活環境項目については、毎月月上旬に、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所と当センターで協力、分担して、北湖28地点、南湖19地点、瀬田川2地点の計49地点において、透明度や水温等を現場測定するとともに表層0.5mで採水を行い、それぞれの機関で分析を行っている。カドミウム、全シアン等の健康項目、ニッケルやホルムアルデヒド等の要監視項目、クロロフィルa等のその他の項目について測定計画に基づく頻度で分析を実施している。また、北湖90m深層部における水深別調査については、当センターでは水深約90mの今津港と長浜港を結ぶ線上のほぼ中央地点st.1(通称「今津沖中央」)において、0.5m、5m、10m、15m、20m、30m、40m、60m、80m、湖底から1mの10層で月2回実施している。

各項目の分析は、測定計画に基づき行っている。

2.2 プランクトン調査

湖心部におけるプランクトンの変遷をモニタリングするため、今津沖中央および唐崎沖中央において、毎月2回、プランクトン種を同定し、その細胞数を計数している。

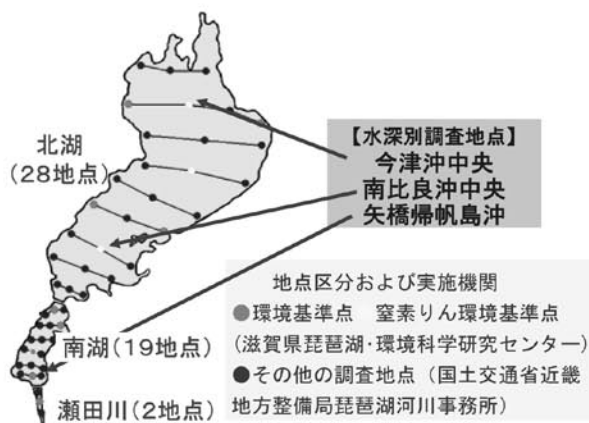


図1 琵琶湖・瀬田川水質調査地点

3. 調査結果

3.1 2005年度の琵琶湖水質の概要

2005年度における琵琶湖表層における主要水質項目の調査結果の平均値とその評価を表1に示した。以下、説明のある場合を除き、北湖については28地点、南湖については19地点の平均値を、瀬田川については1地点の値を示す。評価については、2005年度のデータに対して過去10年間(1995~2004年度)を過年度とし、その平均値と比較し、当該年度の値との差Dと過年度の標準偏差σとの関係から、以下のとおり行っている。

- $0 \leq |D| \leq \sigma$ 過年度並み(無印)
- $\sigma < |D| \leq 2\sigma$ 少し高い(△)・少し低い(▼)
- $2\sigma < |D| \leq 3\sigma$ 高い(△△)・低い(▼▼)
- $3\sigma < |D|$ かなり高い(△△△)・かなり低い(▼▼▼)

2005年度の水質変動の特徴としては、透明度が北湖、南湖とも高い値で推移し、北湖においては過年度最高値となり、現在の方法で調査を始めた1979年度以降でも1984年度および1994年度の6.0mに次ぐ高い値となった。SSと全りんは横ばい、クロロフィルaは上昇した。

近年、横ばい傾向にある全窒素は、南湖で2004年度に引き続きわずかな減少が見られた。

表1 2005年度琵琶湖主要水質項目の年平均値と評価

項目	区分	北湖		南湖		瀬田川	
		平均値	対前年度・過年度評価	平均値	対前年度・過年度評価	平均値	対前年度・過年度評価
透明度	2005年度	5.9		2.4		2.5	
	2004年度	5.4	△	2.5		3.0	▼
	過年度	5.4	△	2.0	△	2.4	
COD	2005年度	2.7		3.2		3.4	
	2004年度	2.6	△	3.1		3.0	△△△
	過年度	2.6	△	3.1		3.1	△△
全窒素	2005年度	0.29		0.32		0.55	
	2004年度	0.29		0.33		0.55	
	過年度	0.31		0.38	▼	0.56	
全りん	2005年度	0.008		0.017		0.019	
	2004年度	0.008		0.016		0.018	
	過年度	0.008		0.018		0.020	
BOD	2005年度	0.6		0.9		1.0	
	2004年度	0.5		0.9		1.0	
	過年度	0.6		1.0	▼	1.1	
SS	2005年度	1.1		3.4		3.5	
	2004年度	1.1		3.4		3.0	
	過年度	1.2		5.3	▼	4.0	
大腸菌群数(対数)	2005年度	3.1		3.3		3.1	
	2004年度	3.1		3.2		3.7	▼▼
	過年度	2.8		3.2		3.3	
pH	2005年度	8.1		8.2		7.9	
	2004年度	7.9	△△	8.0	△△△	8.0	
	過年度	8.0	△	8.0	△△△	7.9	
クロロフィルa	2005年度	4.5		5.8		6.0	
	2004年度	3.3	△△	5.0		3.8	△
	過年度	3.7	△	6.9		6.4	

有機物指標については、北湖では、COD、BODとも2005年度平均値が2004年度から0.1mg/l上昇したが、経年変動の傾向を見ると、1998年度以降、CODは2.6~2.7mg/lの高い値で、BODは0.5~0.6mg/lの低い値で、それぞれ横ばい傾向にある。

3.2 気象の特徴

2005年度の気温の状況について、彦根地方気象台における月間平均気温の推移と経年比較を図2に示す。彦根地方気象台が発表した「滋賀県の気象」2005年1月~12月および2006年1~3月の月報によると、3月~5月は移動性高気圧に覆われ晴れた日が多く、そのため少雨・多照となり、彦根の平均気温も平年より高かった。その後、6月11日頃に近畿地方は梅雨入りしたが、梅雨入り後は梅雨前線の活動が弱かったため、曇りや晴れた日が多く、降水量は平年に比べてかなり少なかった。彦根の平均気温は平年より高く、降水量は平年並、日照時間は平年より少なかった。9月~11月にかけては、太平洋高気圧の日本付近への張り出しが強く、晴れて平年より気温の高い日が多く、降水量は平年より少なく、日照時間は平年より多かった。12月から1月上旬にかけて強い冬型の気圧配置の日が多く、滋賀県では12月としては記録的な大雪となり、低温の日が続いた。その後、2月にかけては、気温、降水量ともほぼ平年並であったが、3月は気温が低く降水量が多い月となった。

琵琶湖水位、流量および流域降水量の変動を図3に示すが、特に秋季に降水量が少なかったことから10月以降水位低下が顕著になった。12月に

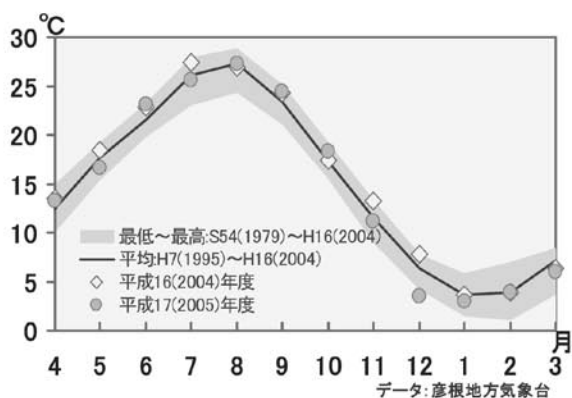


図2 彦根気象台における月間平均気温の推移

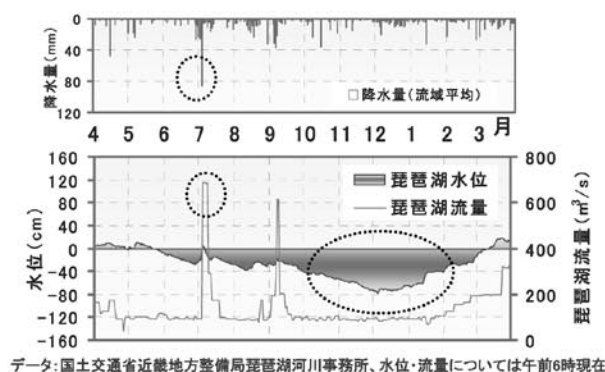
入って降水量が増加したが積雪となり、水位の回復は緩やかであった。また、7月と9月のそれぞれ初旬に大雨があり、放流量が一時的に増加した。

3.3 表層水質変動の特徴

3.3.1 北湖における透明度の上昇

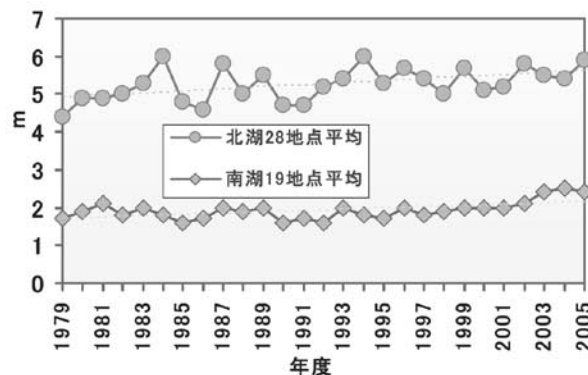
琵琶湖の透明度は昨年度報告したように近年上昇傾向にあるが、北湖および南湖の透明度の年平均値の経年変動は図4に示したとおり、2005年度も高い傾向が続いていたことがわかる。

特に、北湖の年平均値は5.9mと1984、94年度の6.0mに次ぐ高い値となった。年間流域降水量の変動を図5に示したが1984、94年度と同様、降水量が少なかった。これまでも北湖においては、渇水傾向にある年は透明度が高いことが示されており、2005年度の透明度の上昇も少雨の影響を受けたことがうかがわれる。



データ：国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所、水位・流量については午前6時現在

図3 琵琶湖の水位、流量および流域降水量の変動(平成17(2005)年度)
(グラビア11頁参照)



データ：国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所、滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター

図4 透明度の経年変動

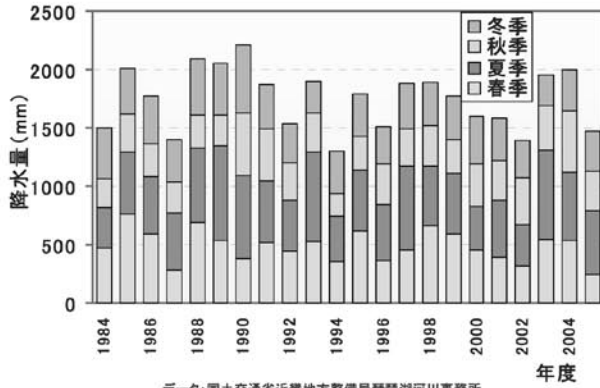


図5 年間流域平均降水量の変動

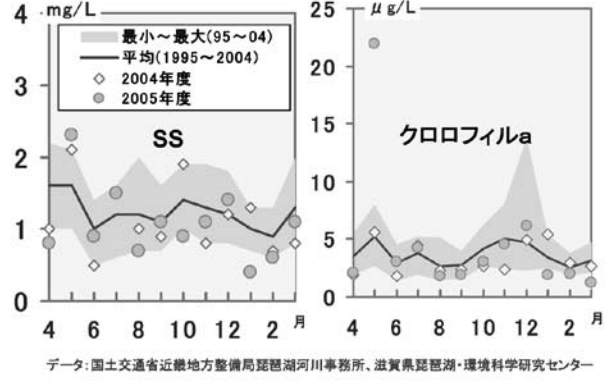


図8 北湖 SS・クロロフィル a の季節変動

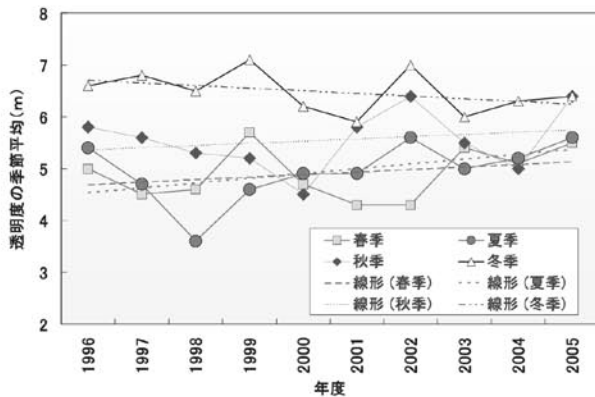


図6 北湖透明度の経年変動(季節別)

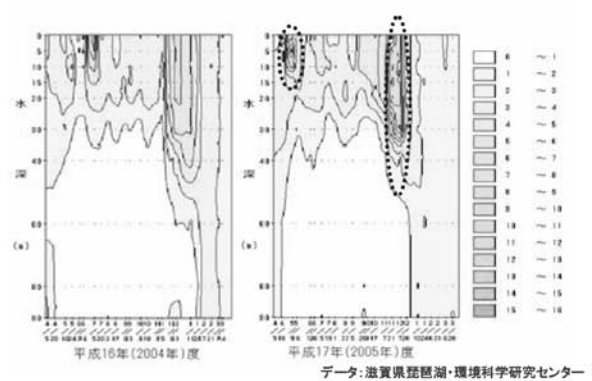


図9 今津沖中央における鉛直方向のクロロフィル a の変動

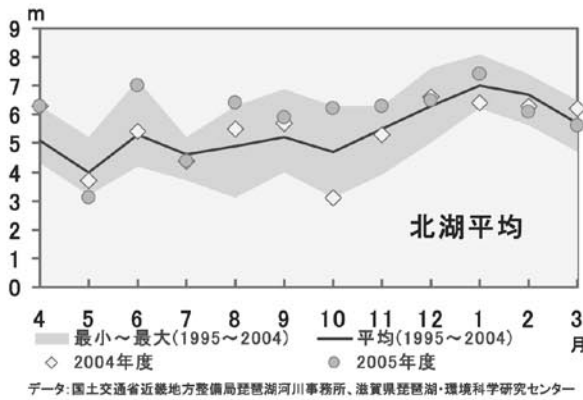


図7 北湖透明度平均値の経月変動

過去 10 年の北湖における透明度の経年変動を季節別に示したのが図 6 であり、特に 1998 年度以降の夏季の上昇傾向が大きいことがわかる。

2005 年度の透明度の変遷の特徴を見るために、その経月変動を図 7 に示す。5 月と 7 月に透明度の低下が見られたが、他の月は透明度が過年度平均値から過年度最高値の間で推移した。

透明度に影響する SS およびクロロフィル a について北湖における経月変動を図 8 に示したが、年間を通じてほとんどの期間で過年度最低値ないしは、それを下回るレベルで推移した。透明度が低下した 5 月には SS 濃度とクロロフィル a 濃度の上昇が見られたが、その要因としては、ウログレナの増殖が大きかったことが考えられた。また、7 月初旬に SS 濃度の上昇が見られたが、これについては、調査日以前に降水量が多かったことが影響しているものと考えられた。

近年、北湖における植物プランクトンによる生産の低下が指摘されている。そこで、鉛直方向のクロロフィル a の変動をコンター図で図 9 に示したが、2005 年度も強光阻害を受けるとされる夏季においても、鉛直方向のクロロフィル a の増加はあまり見られていない。

以上より、2005 年度の北湖の透明度の上昇につ

いては、5月のウログレナの増殖と7月の降雨による一時的な低下はみられたものの、近年の夏季の透明度の上昇と秋季の濁水がその要因の一つであるものと考えられた。

3.3.2 有機物指標の変動

琵琶湖における有機汚濁の指標としては、CODが環境基準として定められているが、CODの北湖の年平均値は1985年度以降増加傾向で、近年は1998年度から2005年度まで2.6~2.7mg/lと横ばいで推移している。一方、BODは減少傾向を示しており、CODとBODの乖離現象(宗宮, 2000; 福島ら, 1997)が琵琶湖における有機汚濁の状況を把握する上で大きな課題となっている

(図10)。環境基準として採用されているCODの分析法では有機物を過マンガン酸カリウムで分解したときの酸素消費量を測定しているが、この方法では有機物の種類によって分解率に差がある(早川, 2005)。また、北湖におけるBOD値は定量下限値(0.5mg/l)を下回ることが多く、経年変動を評価できない状況になってきている。一方、湖水中の有機物に含まれる炭素濃度を測定するTOCについて、1997年度からCOD、BODと同じ地点で月1回モニタリングしているが、北湖におけるTOCの年平均値の変化は図10に示したとおり、2000年度まで上昇しその後減少する傾向が見られており、COD、BODとも異なったトレンドを示していることがわかる。

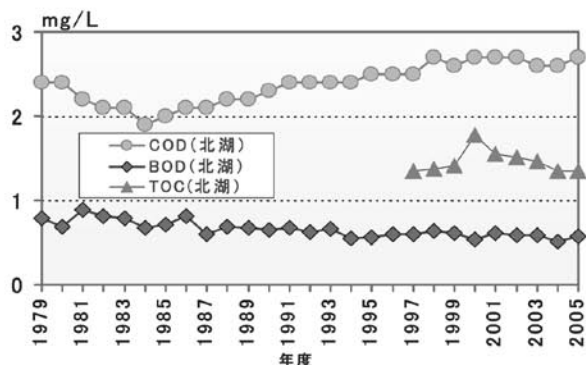


図10 北湖における有機物指標(CODおよびBOD、TOC)の経年変動の比較

そこで、今回はCODについて、その年平均値の平面分布と形態別の推移について検討した。まず、CODの各地点における年平均値からスプライン補完して作成した平面分布を(図11)に示す。北湖では年平均値はどちらの年度も2.7mg/lであったが、湖岸部で上昇し、湖心部で低下している状況が見られる。

一方、透明度の平面分布の変遷を2000年度と2005年度を比較すると(図12)、ほぼ全地点で透明度の上昇が見られることから、粒子状成分が減少したのと考えられる。

そこで、CODの年平均値がほぼ横ばいとなった1997年度以降の形態別CODの変動について図13に示したが、北湖、南湖とも溶存態のCODが上昇し、粒子状のCODが減少する傾向が経年的に見られている。

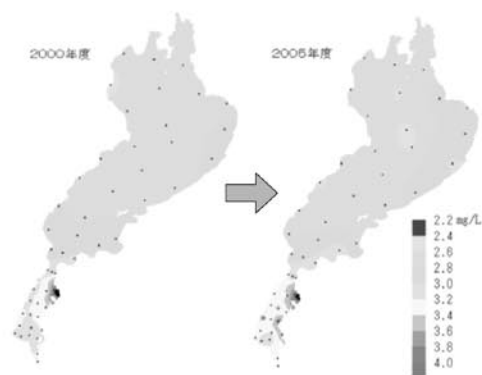


図11 COD平面分布の変遷(2000年度と2005年度の比較)(グラビア11頁参照)



図12 透明度平面分布の変遷(2000年度と2005年度の比較)(グラビア11頁参照)

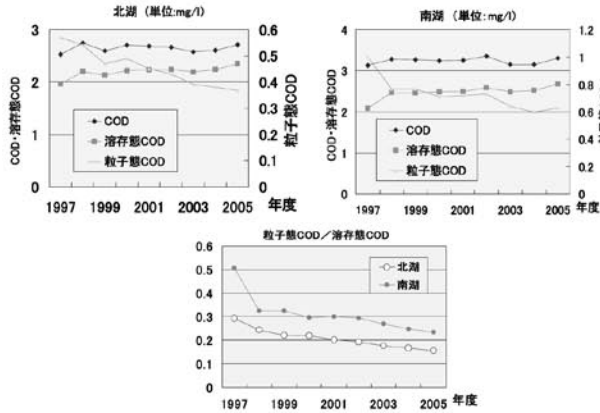


図 13 形態別 COD の近年の変動
(グラビア 11 頁参照)

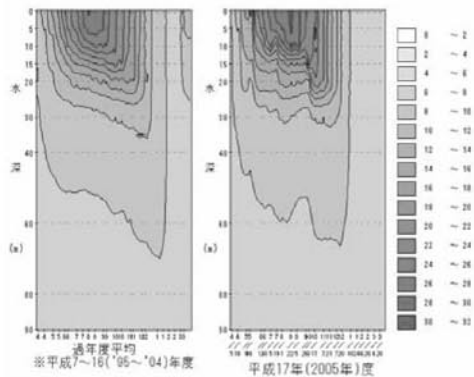


図 15 今津沖中央鉛直方向水温の経月変動

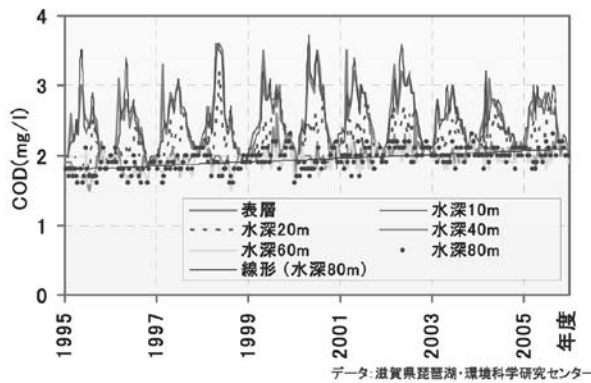


図 14 北湖今津沖中央における水深別 COD の経時変動(月2回の測定値)
(グラビア 11 頁参照)

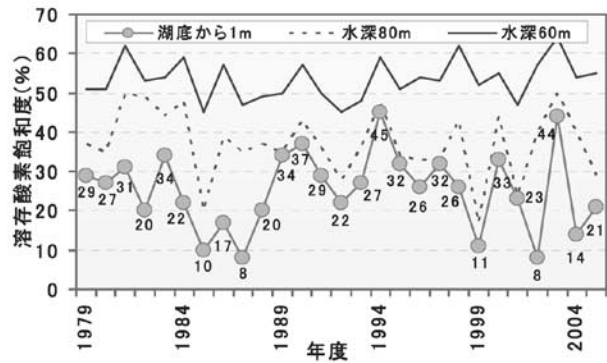


図 16 北湖今津沖中央(湖底から1m)における溶存酸素飽和度年度最低値の変動

図14に北湖今津沖中央における水深別CODの経時変動を示す。夏季は、表層付近では植物プランクトンによる生産により上昇し、深層部は微生物による分解で下降する。冬季は、湖水の上下混合により表層では減少し、深層部では上昇するという季節変動が見られるが、近年は、その振幅が小さくなる傾向が見られる。さらに、深層部のCODは、平成13年(2001年)頃まで上昇傾向にあり、その後は横ばい傾向にあることが見受けられる。

3.3 北湖の水深別調査の結果について (深層部における溶存酸素濃度等の変動)

2005年度の今津沖中央における鉛直方向の水温の経月変動を過年度平均とともに図15に示す。10月初旬に水温躍層が水深方向に崩壊が進む状況が見られるが、その前後は躍層が比較的安定していた。12月20日には躍層の崩壊が

大きく進んでいる状況が見られ、1月10日には水温差がほとんど無くなり、例年より1ヶ月程度早く全循環したものと見られる。

近年、減少が懸念されている北湖深層部における溶存酸素濃度は、北湖今津沖中央(st.1)の深層部における溶存酸素飽和度(以下、DOと略す。)の年度最低値の経年変化を図16に示す。

湖底から1mの溶存酸素濃度(DO)の年度最低値は、2004年度には12月6日に1.6mg/l

(14%)までの低下が見られたが、2005年度の最低値は12月7日の2.4mg/l(21%)であった。DOの2005年度の経月変動は図17に示すとおり、8月から9月にかけての減少速度が過年度より速かったが、10、11月は減少が見られず、12月に入って年度最低値を示した後、大きく上昇し、過年度より約1ヶ月早く回復した。一方、水深80mにおいては29%までの低下が見られた。

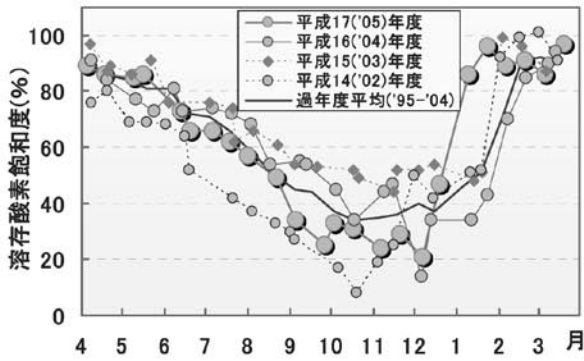


図 17 北湖今津沖中央湖底から 1m における溶存酸素飽和度の季節変動の比較 (グラビア 11 頁参照)

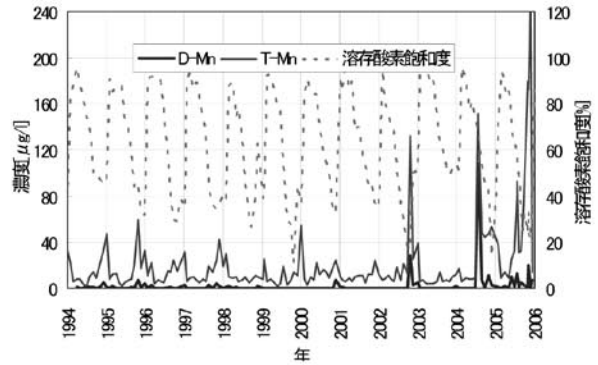


図 19 今津沖中央湖底から 1m における全マンガン、溶存態マンガンおよび溶存酸素飽和度の推移

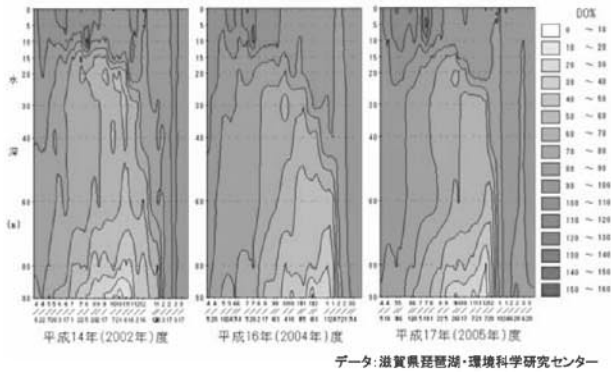


図 18 今津沖中央鉛直方向の溶存酸素飽和度の経月変動(平成 14,16 年度との比較)

鉛直方向の溶存酸素飽和度の分布について、スプライン補完したコンター図を示す(図 18)。2005 年度は、11 月の水温成層の崩壊に伴う水深方向への溶存酸素の拡散が例年より少なく、その後 12 月下旬に急激に混合が進んでいる状況が見られる。

これらについて、気象の状況からは、夏季から秋季にかけて気象が安定していたこと、10 月初旬のまとまった降雨による躍層の水深方向への移動が見られたこと、12 月に寒波が来襲し急激に水温が低下したことが影響しているものと考えられる。

また、図 19 に今津沖中央湖底から 1m における全マンガン、溶存態マンガンおよび溶存酸素飽和度の推移を示したが、2004 年度に引き続き、深層部において DO が 50% を割り込まない夏季に溶存態マンガンの上昇とメタロゲニウムの発生が確認された。

なお、1979 年度以降の北湖における水深別調査の水温、COD、全窒素、全りんの結果については津田ら(2006)が報告を行った。

4. まとめ

2005 年度における水質調査結果において見られた主な特徴は以下のとおりである。

(1) 北湖および南湖とも透明度が高い状況が継続し、特に北湖の透明度上昇が認められた。この要因として、近年の夏季の透明度の上昇や秋季の少雨が考えられた。

(2) 北湖の有機物指標については、COD は少し高い値となったが、その要因としては 5 月にウログレナの増殖による影響が考えられた。年平均値の変動については、COD は上昇から横ばい傾向に、BOD は減少から横ばい傾向にあり、乖離した状態が継続しているが、1997 年度からモニタリングしている TOC は 2000 年度まで増加した後、減少する傾向が見られるなど、各指標が別々のトレンドを示していることがわかってきた。こうしたことから、各指標についてさらに検討すべく、まず、形態別に COD の年平均値の推移を見たところ、粒子態が減少し溶存態が増加している傾向がみられることがわかった。

(3) 水深別調査の結果から、北湖深層部の溶存酸素飽和度の変動については、8 月から 9 月にかけての減少速度が過年度より速かったが、10、11 月は減少が見られず、12 月 7 日に 21% の年度最低値を示した後、大きく上昇し、過年度より約 1 ヶ月早く回復した。この要因として、気象の状

況からは、夏季から秋季にかけて気象が比較的安定していたこと、10月初旬のまとまった降雨による躍層の水深方向への移動が見られたこと、12月に寒波が来襲し急激に水温が低下したことが影響しているものと考えられる。

また、2004年度に引き続き、北湖深層部において夏季からマンガン濃度の増加を確認した。

謝 辞

京都大学津野洋教授、滋賀大学川嶋宗継教授には調査結果を解析するにあたって、ご指導、ご助言をいただきました。水質データの他、琵琶湖水位や放流量等の水文データ等調査結果の取りまとめにあたって、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所からデータの提供を受けるとともに、解析作業を共同で行いました。解析結果については、滋賀県琵琶湖環境部環境管理課、水政課の担当者からご意見をいただきました。お世話になった皆様に深謝いたします。

備 考

なお、本調査研究は、2005年および2006年の滋賀県環境審議会水環境部会において説明した内容と各委員からいただいたご意見をもとに一部加筆修正したものである。

引用文献

- 滋賀県、国土交通省近畿地方整備局(2005)：滋賀県地下水・公共用水域水質測定計画。
- 滋賀県(2005)：平成17年版滋賀県環境白書資料編。
- 近畿地方整備局琵琶湖河川事務所、滋賀県琵琶湖環境部、滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター(2005)：平成17年度琵琶湖水質調査報告書。
- 彦根地方気象台(2005, 2006)：滋賀県気象月報, 4~3。
- 藤原直樹、津田泰三、一瀬諭、林徹哉、原良平、岡本高弘、水嶋清嗣(2004)：2003-2004年度における琵琶湖水質調査の結果から一南湖の透明度上昇および北湖深層部溶存酸素等の状況について。滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター試験研究報告, 1, 67-72。
- 滋賀県立衛生環境センター(1996)：平成6年度湖水時琵琶湖水質詳細調査-調査報告書一, 19-38。

一瀬諭、若林徹哉、岡本高弘、原良平、青木茂(2005)：琵琶湖北湖における植物プランクトン総細胞容積量の長期変遷と近年の特徴について-2001年度から2005年度を中心に。滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター試験研究報告, 2, 97-108。

宗宮功編著(2000)：琵琶湖、その環境と水質形成。

福島武彦、相崎守彦、松重一夫、今井章雄(1997)：湖沼の有機物指標。水環境学会誌, 20, 238-245。

早川和秀(2005)：琵琶湖の有機物動態。滋賀県琵琶湖研究所報, 22, 161-170。

岡本高弘、藤原直樹、一瀬諭、井上健、内藤幹滋、青木佳代、加賀爪敏明、辻元宏、宮島利宏(2003)：琵琶湖北湖深層水中における鉄・マンガンの挙動について—*Metallogenium* sp.との関連—。滋賀県環境セソ報, 38, 95-99。

土肥誠、岡本高弘、古田世子、一瀬諭、吉田美紀、青木茂、原良平、宮島利宏(2006)：琵琶湖底層におけるマンガン濃度の上昇とメタロゲニウム(*Metallogenium*)の出現状況について。日本陸水学会第71回大会要旨集, 88。

津田泰三、岡本高弘、藤原直樹、中村忠貴、矢田稔、佐貫典子、土肥誠、面田美紀、一瀬諭、若林徹哉、青木茂、原良平(2006)：琵琶湖北湖における鉛直方向の長期水質モニタリング。水環境学会誌, 29, 565-568。