

1. 政策課題研究 3

水質汚濁メカニズムの解明に関する政策課題研究（平成 19～22 年度（2007～2010 年度））：中間報告

難分解性有機物を含めた有機物による 琵琶湖の水質汚濁メカニズムについて

執筆担当者：岡本高弘・佐藤祐一・早川和秀・古角恵美

研究構成員：中村敏博・原良平¹⁾・小松直樹²⁾・北川典孝・一瀬諭・奥村陽子・坪田てるみ・古田世子・南真紀・大野達雄・青木真一・藤原直樹・安藤大輔⁴⁾・小林博美³⁾・吉田美紀⁴⁾・山本春樹⁵⁾

要約

琵琶湖における有機物の環境基準である COD（過マンガン酸カリウムで酸化）は、流域の負荷削減対策によりその負荷量は着実に減少しているが、モニタリング結果からは湖水の COD 値が減少しないという課題を抱えている。一方、BOD やクロロフィル a は減少傾向にあることから難分解性有機物の増加が疑われており、これを含む有機物動態の解明を進めることが重要となっている。そこで、2007 年度から国等と連携して、湖水や流入河川水、発生源の COD と TOC およびその難分解性を調査し、モデル解析も活用して、この課題に対する調査を進めている。2008 年度までに、琵琶湖北湖の TOC のうち難分解性画分は、6～7 割でそのうち 9 割が溶存態であり面的分布や季節変動は小さかったこと、点源および平常時の面源排水の調査結果から、有機物の難分解率は発生源の種類によって顕著に異なりこれまでの COD による陸域の発生源負荷の算定方法では有機物負荷が十分把握できていないことがわかった。陸域からの難分解性有機物の 2005 年度の負荷量を 1985 年度の試算値と比較すると、あまり減少していない可能性があることが示唆された。

1. はじめに

琵琶湖における有機物の環境基準である COD（過マンガン酸カリウムで酸化）は、流域の負荷削減対策によりその負荷推定量は着実に減少しているが、モニタリング結果からは湖水の COD 値が減少しないという課題を抱えている。一方、湖内の有機物生産量は、クロロフィル a で示される植物プランクトンの現存量が減少していることから、COD 増加の要因を内部生産量の増加に求めることは難しい。さらに、有機物指標の一つである BOD が減少傾向にあることから、微生物では分解されにくい難分解性有機物の増加が疑われている。

これらの要因を解明するため、1990 年代に入り、複数の機関、研究者によって調査研究が実施されてきた。COD と BOD の乖離現象は水質保全において行政施策の策定や評価が困難になるため、COD 値の改善に向けた検討課題として、滋賀県および当センターで「琵琶湖水および有機汚濁発生源排水等の分解実験」、「湖水の光照射・暗分解実験」、「標準有機物の生物分解生成物実験」などの各種調査により基礎データを収集してきた。また、滋賀県との連携で研究機関や大学において、難分解性等有機物の特性に着目した調査研究が本格的に始まっている。その結果、今井ら（1999）の研究で、北湖の有機物には溶存態有機物（DOC）

で 1.2mg/l のフミン等の疎水性酸と親水性酸を主体とする難分解性有機物が存在していることが示された。米林ら（2004）は北湖水中の難分解性有機物の分子構造解析から、分子量が数千程度のフミン様物質を検出した。天野ら（2004）は、今井らの調査研究結果と土地利用や点源の発生源情報に統計解析手法を適用し、北湖の難分解性有機物の主要発生源を森林と合併浄化槽であることを推定した。井手ら（2004）は北湖の COD と溶存態難分解性有機物量の増加に着目して外部由来の発生源の割合の推定を試みている。

こうした調査研究をさらに進め、環境基準の COD が改善しないことから湖沼水質保全計画等、行政施策の策定や評価が困難になっている状況に対応するため、第 5 期琵琶湖に係る湖沼水質保全計画において、「琵琶湖における難分解性有機物の発生源および対策のための調査・検討を行う」ことが明記された。

また、COD が改善しないことや BOD との乖離現象については、十和田湖や霞ヶ浦等、全国の湖沼においても共通した課題となっている。

1) 滋賀県湖東環境・総合事務所、2) 滋賀県湖南環境・総合事務所、3) 滋賀県衛生科学センター、4) 滋賀県琵琶湖環境部琵琶湖再生課、5) 滋賀県湖北環境・総合事務所

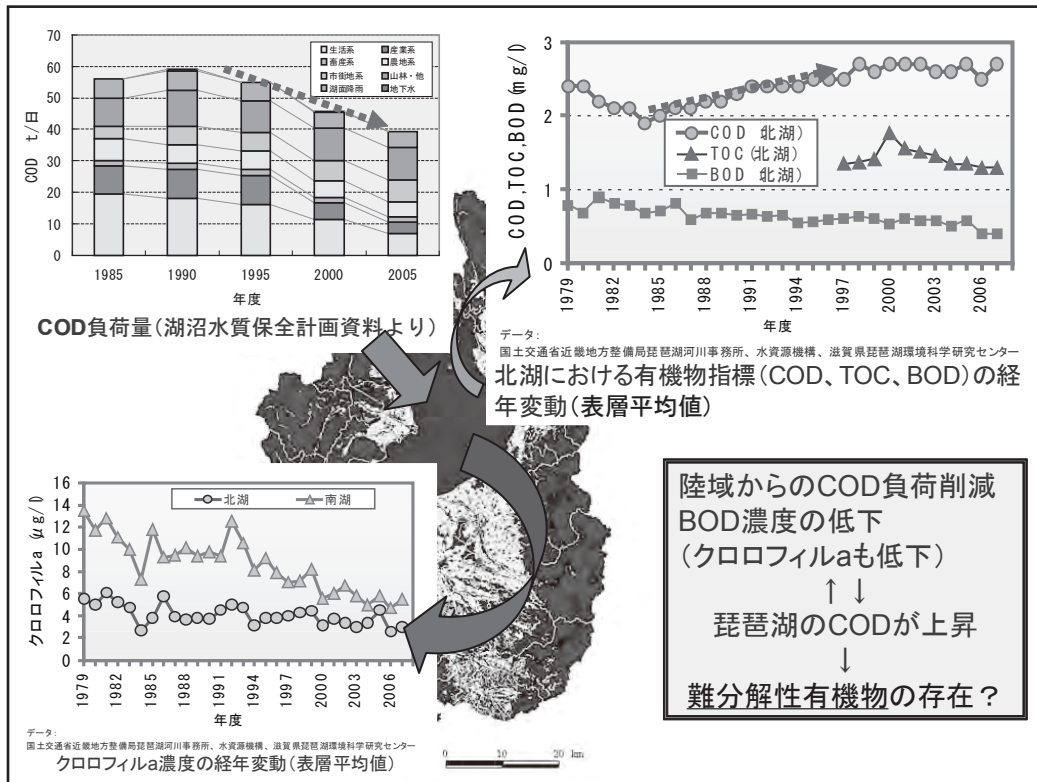


図1 調査研究の背景

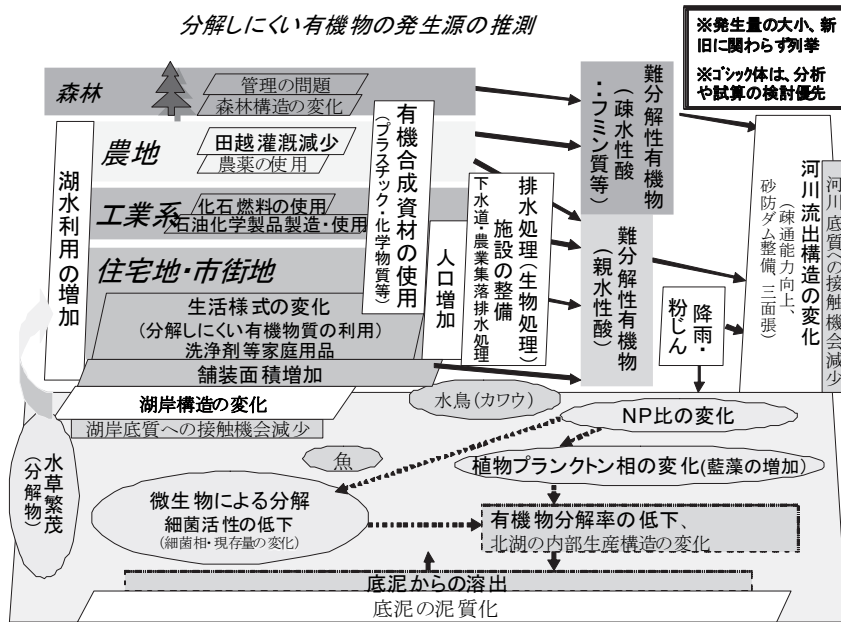


図2 難分解性有機物の発生源およびその要因

国においては、平成17年1月の中央環境審議会答申「湖沼環境保全制度の在り方について」(以下、「中環審答申」という。)を踏まえ、平成17年6月に湖沼水質保全特別措置法(以下、「湖沼法」という。)が改正され、平成18年4月から施行されている。この湖沼法改正では、湖沼水質保全の推進のため、非特定汚染源対策や植生の水質浄化機能の積極的活用等の施策の充実が図られているが、総務省の政策評価及び中環審答申等において、「水質汚濁メカニ

ズムの解明及び各種汚染源からの汚濁負荷の的確な把握の推進」等を図る必要があると指摘されている。

そこで、2007年度からこれらの行政課題に対応するため、有機物に関する水質汚濁メカニズム解明に向けた調査を実施することとした。推測される難分解性有機物の発生源とその要因は、点源・面源、湖内等多岐にわたる(図2)が、湖内の難分解性有機物増加の原因として、大きく以下の3つの仮説が考えられる。

- 【仮説 1】 陸域からの難分解性有機物の発生量増加
 - 点源由来・・・生物処理施設の増加
 - 面源由来・・・市街地の増加（生活様式の変化）
- 【仮説 2】 内部生産の構造の変化
 - 植物プランクトン等の種の変化
 - 微生物等による分解の機構・能力の変化
- 【仮説 3】 水循環の仕組み・量の変化
 - 湖水の利用方法の変化・量の増加
 - 水の利用量の増加（家庭、農業）
 - 河川・市街地等、流下機構の変化

しかし、いずれの仮説においても各種発生源別の有機物量とその難分解性を把握することが第一であり、さらに流域全体におけるそれらの収支の概要を提示することが必須である。そこで本研究では、有機物の難分解性について各種発生源の状況を把握し、陸域および湖内の有機物収支の概要を示すことを目的とした。本調査では、琵琶湖における難分解性有機物の分析方法の検討、難分解性有機物の湖内分布、季節変動性モニタリング、陸域の各種発生源における発生量等を調査している。

さらに、本調査については、全国的に共通する課題も含まれることから、国等とも連携して、湖水や流入河川水、発生源の COD と TOC およびその難分解性について調査し、モデル解析を活用し、この課題に係るメカニズムの解明を進めている。とくに、環境省においては、降雨時の面源や河川の負荷量調査の把握、内部生産量の面的分布や季節的変動の把握が実施され、その調査結果をモデルの精度向上の改良等、有機物収支の概要の検討に活用することとしている。さらに、環境省からの委託調査として実施されている「湖内生産の変化が及ぼす難分解性有機物を考慮した有機汚濁メカニズムの解明」の調査研究の成果も反映させることとしている。これらについて、図 3 に、調査全体のフローを示す。

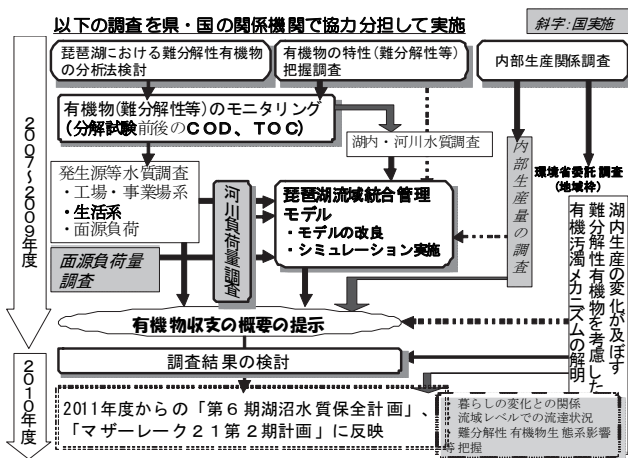


図 3 水質汚濁メカニズム調査全体フロー

2. 方法

2.1 難分解性有機物のモニタリング調査

①試料採取

1) 湖水、河川水

採取は金属製容器を使用し、サンプル保存容器は、ポリ容器か、ポリカーボネート製 NALGEN 容器を用いた。容器の有機物による汚染を極力低減するため、ポリ容器の場合は、事前に超純水を満たし、TOC ブランク値が 0.02mg/l 未満になるまで洗浄して使用した。ポリカーボネート製 NALGEN 容器の場合は、ペルオキシ二硫酸カリウム水溶液を満たして 120℃で 30 分間オートクレーブをかけた後に超純水で洗浄して使用した。

水質調査地点は、環境基準点の中から設定し、琵琶湖北湖では今津沖、長浜沖、北小松沖、愛知川沖の湖岸から 500m 地点および今津沖中央（今津港-長浜港中間点）とした。琵琶湖北湖流入河川については、負荷量が多く流域特性が異なると考えられる 4 河川の環境基準点で採取した。採取地点を図 4 に示す。



図 4 試料採取地点 (●の地点)

表1 難分解性有機物モニタリング調査一覧

	サンプル数	時期等	調査回数	備考
北湖	5	四季等	5	調査時期は2007年9月～2008年12月、ただし、今津沖中央は2007年12月～2009年2月
河川	4	四季	4	
点源	67		1	
面源	4※		1	水田：長浜市永久寺町、市街地：草津市野村（2ヶ所）、森林：野洲市大篠原

※水田は非灌漑期に採水

2) 点源・面源排水

採取には金属性容器を使用し、サンプル保存容器は、上記1)の洗浄を行ったポリカーボネート製NALGEN容器か、450℃で4時間強熱したガラス容器を使用した。

サンプリングは次のように行った。工場・事業場は第5期湖沼水質保全計画策定時にCOD負荷量が多いと推計された事業場を選定した。選定に際しては、業種による負荷量の多少を考慮し、産業分類の中分類別に1～6事業場、計49事業場から2007年12月～2008年1月に採取した。生活系処理施設の処理水については、2007～2008年度に流域下水道、農業集落排水処理施設、合併・単独浄化槽、し尿処理施設より計18ヶ所採取した。採取は、選定した事業場に協力を依頼し、滋賀県各地域振興局（県事務所）環境課、琵琶湖再生課とともに行った。面源については2007年12月～2008年1月に県下4ヶ所より採取した。

②分析方法

試料水の有機物指標の分析法を表2に示す。TOC測定は、WhatmanGF/Bろ紙でろ過後、ろ液をTOC計（SHIMADZU TOC-5000A）で測定した結果をDOC値、ろ紙上の粒子態をNCアナライザー（SUMIGRAPH NC-22F）で分析した結果をPOC値、DOC値とPOC値の和をTOC値とした。COD測定は、ろ過前の試料水のCOD分析値をCOD値、WhatmanGF/Bろ紙でろ過後のろ液のCOD分析値をD-COD値とした。

点源・面源排水は、植種および栄養塩添加後に、表2の項目について分析した。琵琶湖水および河川水については、採取して実験室に持ち帰ってすぐろ過し、冷蔵保存（4℃）後に分析した。

表2 有機物指標の分析法

分析項目	分析方法
COD _{Mn}	JIS K0102 17(100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量)
D-COD _{Mn}	ろ過後、JIS K0102 17
P-COD _{Mn}	「COD _{Mn} - D-COD _{Mn} 」で算出
TOC	「DOC + POC」で算出
DOC	ろ過後、JIS K0102 22.1(燃焼酸化-赤外線式TOC分析法)
POC	ろ過後、残さをCHNコーダで測定
BOD	JIS K0102 21

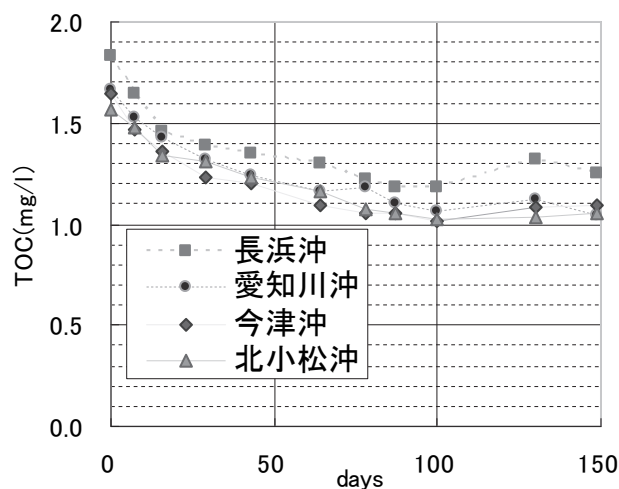


図5 北湖水の生分解試験

③生分解試験

生分解試験は450℃、4時間強熱した10Lのガラス容器に8Lの試水を入れ、20℃、暗条件で、水平振とうを60回/分で行った。経時変化を調べるために7、16、29、43、64、78、87、100、134、150日目にサンプリングし、DOC、POCを分析した。なお、試水とあわせて純水についても生分解試験と同じ方法で分析したが、100日目のDOCが0.11mg/l、POCが0.02mg/lであり、100日目のTOCで各試水の1割程度と少なかったことから、本調査ではこの値を生分解試験のブランクとして差し引かないものとした。

次に、生分解に必要な日数を検討するため、北湖環境基準点の湖水について150日間の生分解実験を行った。その結果、図5に示すとおり100日以降、TOCの減少が見られなかったことから、琵琶湖における難分解性有機物は、100日生分解後に残存する有機物とした。

1) 琵琶湖水、河川水の生分解試験

上記①1)の洗浄を行ったポリカーボネート製NALGEN容器に2Lの試水を入れ、20℃、暗条件で、100日間、水平振とうを60回/分で行った。振とう培養の状況を図6に示す。なお、各地点条件における生分解性を調べるために、植種や栄養塩類の添加は行わなかった。

2) 点源・面源排水の生分解試験

点源、面源排水の生分解試験については、発生源からの排水が河川から琵琶湖まで種々の過程を経て琵琶湖に流入するため、ここでは生分解のポテンシャルを把握することを目的として高い分解率が得られる条件を次のように設定した。450℃、4時間強熱した5または10Lのガラス容器に4または8Lの試水を入れ、20℃、暗条件で、散気管によるばっ気(給気速度0.01~0.02L/sec)を行った。市販のバイオシード(市販品:BOD-CHEM)を用い 10^4 個/mlとなるように添加して植種し、栄養塩類や緩衝液をBOD公定法(JIS K0102 21)に基づき添加した。点源、面源排水の生分解試験のフローを図7に示す。



図6 湖水および河川水の生分解試験の状況
(グラビア1頁参照)

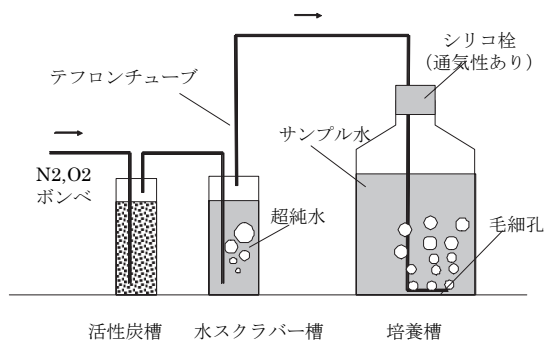


図7 点源、面源排水の生分解試験のフロー

④特性調査

代表的なサンプルについて、その生分解前後の特性を把握するために、WhatmanGF/Fろ紙でろ過後、ろ液を三次元蛍光スペクトルおよびGPC-TC、GPC-UVの分析を行っている。

3. 調査結果

3.1 北湖・河川水質調査結果

北湖今津沖中央におけるDOCとPOCは、図8に示すとおり毎年、冬季に減少し、夏季に増加する。植物プランクトンの細胞容積を図9に示すが、これを図8の変動と比較すると特にPOCはその時々植物プランクトンの発生状況に起因するピークが見られた。

このうち、2008年度の今津沖中央における6、9、12、2月に採水して行った生分解試験の結果から算出したDOCとPOCの易分解性と難分解性画分の濃度と、採水時に計数した植物プランクトンの種組成から算出した総細胞容積を並べたグラフを図10に示す。同地点の年4回の生分解試験の結果から、生分解後に残存した難分解性TOCの平均値は、1.05mg/l(標準偏差0.07)、難分解率76%、難分解性DOCの平均濃度は0.95mg/l(標準偏差0.06)であり、難分解性DOCの年間変動はほとんどなかった。DOCおよびPOCの季節変動に寄与する部分は主に易分解性の画分であり、植物プランクトンの総細胞容積の増減と関連していることが示唆されたが、今後、植物プランクトンの総細胞容積を有機物量に換算して比較するなど、既存のデータを活用して解析を行うことが必要である。

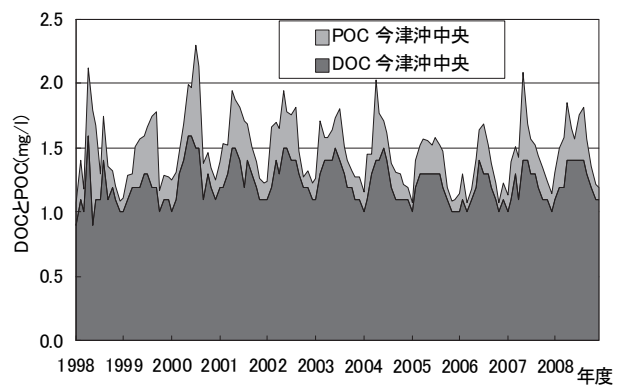


図8 北湖今津沖中央のDOCとPOCの経時変動

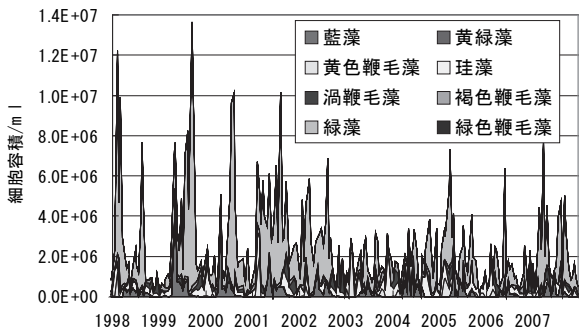


図9 北湖今津沖中央における植物プランクトンの網別細胞容積の経時変動

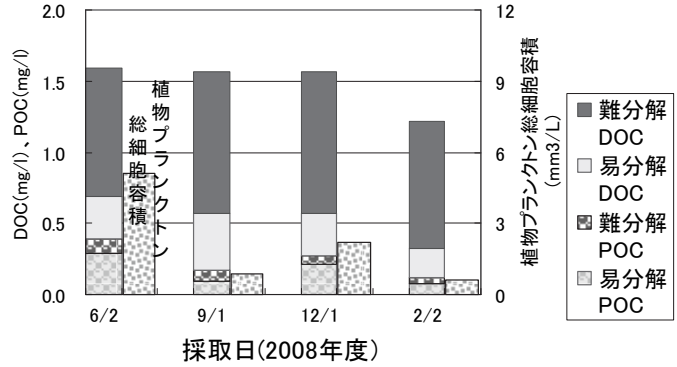


図10 2008年度の北湖今津沖中央におけるDOC・POCの易分解性・難分解性の各画分と植物プランクトンの総細胞容積の季節変動（グラビア1頁参照）

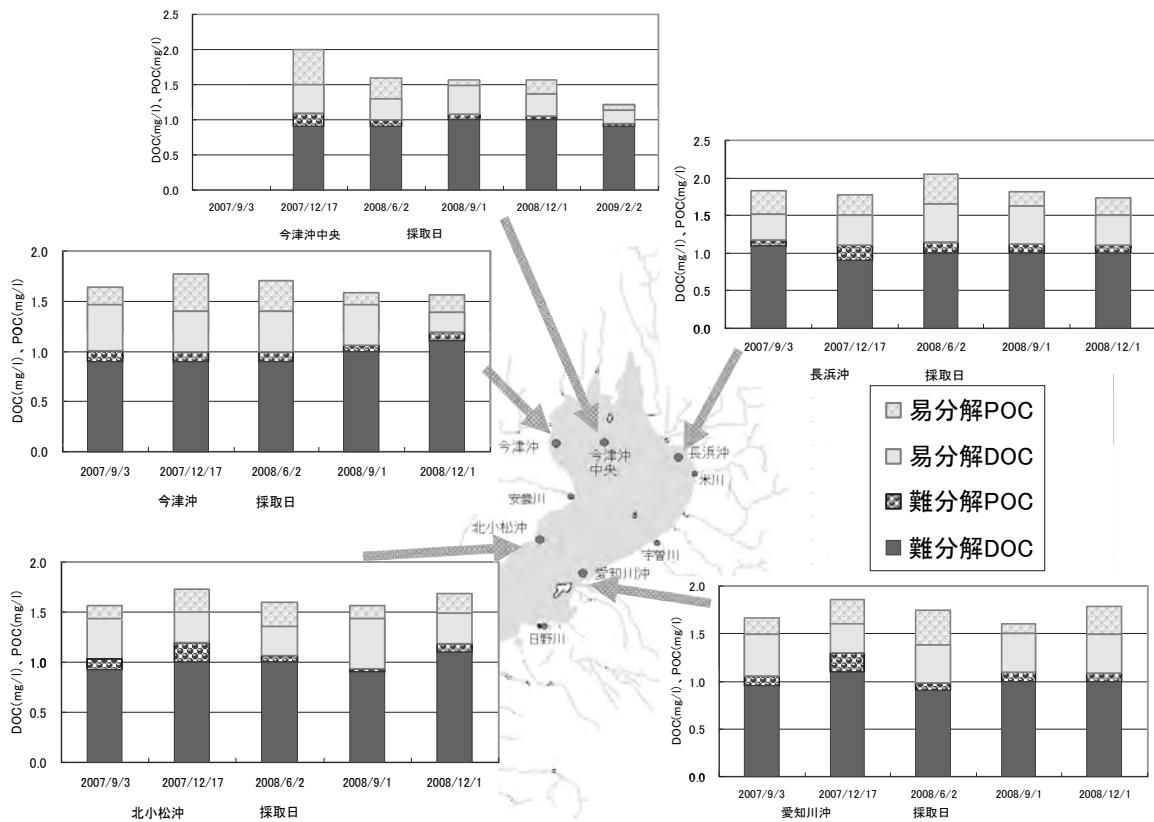


図11 2008年度の北湖今津沖中央におけるDOC・POCとその易分解性・難分解性の各画分の経月変動（グラビア1頁参照）

次に北湖5地点において、2007年9月から2009年2月の間に各5回採取した湖水について、生分解試験を行った結果を図11に示す。地点によって調査時期に一部偏りがあるが、生分解後に残存した難分解性DOCの濃度は各採取日、各地点とも0.9~1.1mg/lと変動は小さく、全DOCに占める難分解率も70~75%とほぼ一定であった。一方、POCについては、DOCとPOCの難分解率の比が1.4~3.9

であり、POCの方がDOCより易分解性のものが多いことがわかった。

次に流入河川水の生分解試験の結果を図12に示す。各河川平均の難分解性DOCの濃度は0.31mg/l~1.76mg/l、難分解率は60~80%であり、季節や河川による変動が湖水と比べて大きい。

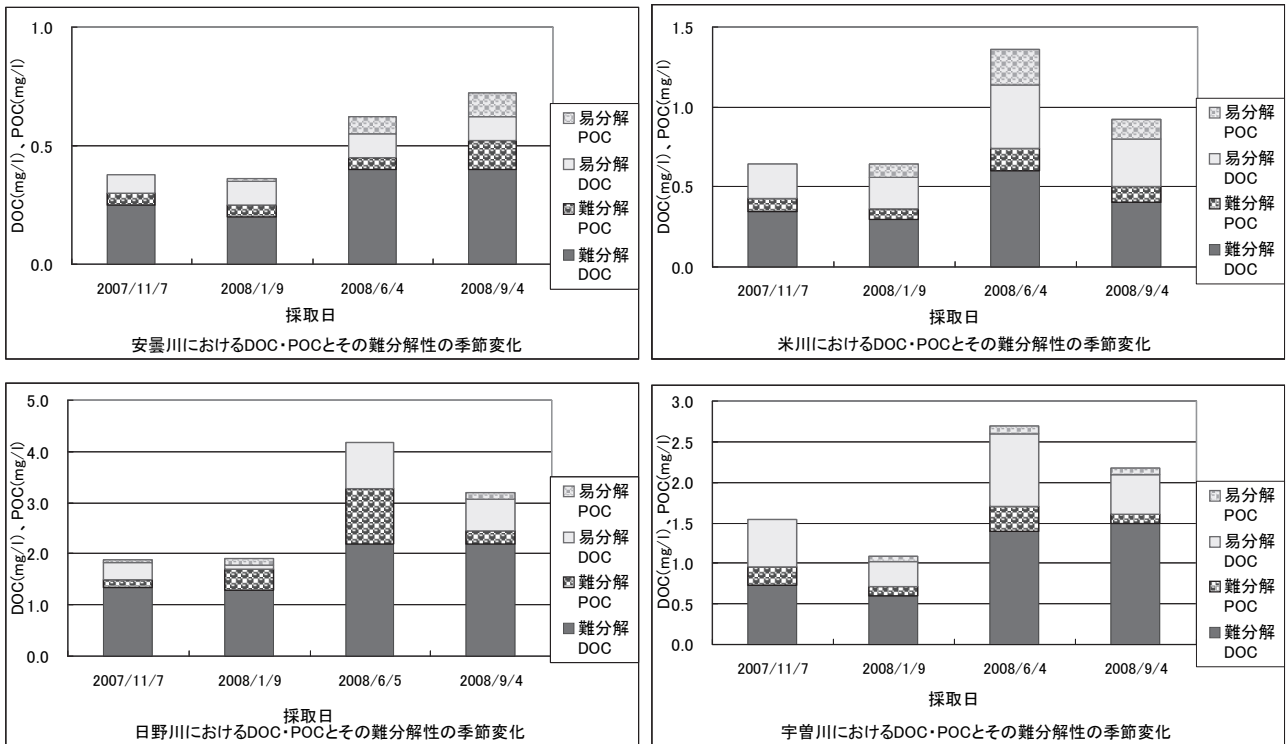


図 12 北湖流入河川における DOC・POC の難分解性・易分解性の各画分の季節変化（平常時）

3.2 面源・点源水質調査結果

① 生分解による有機物量の変化

生分解試験前後 COD と TOC の分析値から発生源の種類毎の TOC と COD の残存率(難分解率)を次のとおり算出した。

TOC 負荷量を R_{toc} とすると、第 5 期湖沼水質保全計画で算定されている各発生源ごとの COD 負荷量 (R_{cod}) と今回の調査結果で得られた各発生源の COD 濃度 (C_{cod}) と TOC 濃度 (C_{toc}) から算出した。

$$R_{toc} = R_{cod} / C_{cod} \times C_{toc}$$

また、製造業やサービス業のように排水量が得られている発生源については、湖沼水質保全計画で算定されている中分類ごとの COD 負荷量 (mR_{cod}) をもとに、各事業場排水の最終放流水の C_{cod} と C_{toc} 、排水量 (V) から各事業場の TOC 負荷量 ($r-toc$) と COD 負荷量 ($r-cod$) を算出し、これらの値を用いて、各中分類の TOC 負荷量 (mR_{toc}) を算出した。

$$mR_{toc} = mR_{cod} / \sum (V_n \times C_{cod}) \times \sum (V_n \times C_{toc})$$

これより製造業およびサービス業の負荷量(R_{toc})を算出した。

$$R_{toc} = \sum mR_{toc}$$

難分解性 TOC 負荷量(R_{rtoc})、難分解性 COD 負荷量(R_{rcod})

は次のとおり算出した。

$$R_{rtoc} = R_{cod} / C_{cod} \times C_{rtoc}$$

$$R_{rcod} = R_{cod} / C_{cod} \times C_{rcod}$$

これらに基づき算出した主要な発生源の種類別の TOC と COD の難分解率を図 13 に示す。発生源の種類については、陸域発生源由来の有機物の性状を把握するため、産業系では業種、生活系では処理方式、面源ではその土地利用区分で調査結果を集計した。

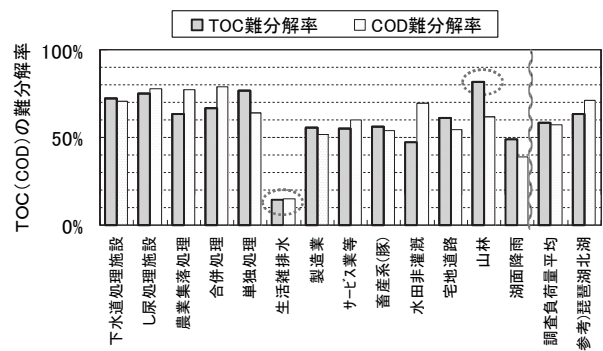


図 13 主要な発生源の種類別の生分解試験前後における TOC と COD の難分解率

その結果、TOC の難分解率は 18%–82% の値を示し、発生源の種類によって顕著に異なることがわかった。COD の難分解率も発生源によって異なったが、TOC の難分解率と比較して 20% 以上の差異がある発生源も見られた。

②発生源の COD と TOC の比較

そこで、発生源の種類を同様に分類して、生分解前後の COD/TOC 比を比較した (図 14)。その結果、発生源の種類によって、COD/TOC 比は 1.0~2.4 と大きく変動した。また、生分解前後の COD/TOC 比の変化については、明白な傾向は認められなかった。

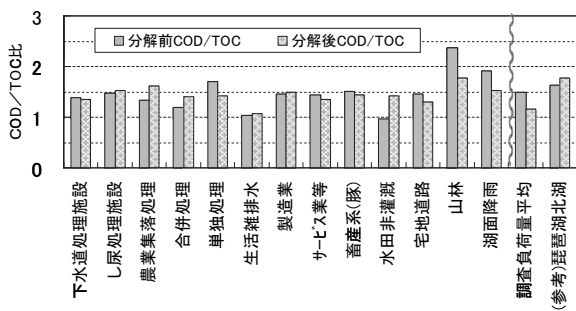


図 14 主要な発生源の種類別の生分解試験前後における COD/TOC の比較

③COD 負荷量をもとにした難分解性有機物の変化の試算

1985 年度と 2005 年度の湖沼水質保全計画策定時に算定された COD 負荷量に基づき、難分解性と易分解性の画分の負荷量を試算した。試算にあたっては、現在調査中の灌漑期の水田負荷量等が含まれておらず、過去の難分解率や TOC はデータがないことから 1985 年度と 2005 年度の各発生源の難分解率や COD/TOC を一定としている。その試算結果を図 15 に示すが、TOC、COD ともこの 20 年間で、易分解性画分は 5 割程度削減されたが、難分解性画分はあまり減少していない可能性がある。

次に、このうち TOC 負荷量の内訳を図 16 に示す。1985 年度と 2005 年度を比較すると、生活雑排水と製造業で負荷量が大きく削減されており、その難分解性画分についても減少している。また、単独浄化槽ではその難分解性画分の減少が大きい。増加しているものとしては、宅地・道路が大きい可能性がある。次いで下水道処理施設や合併浄化槽からの負荷量の増加が見られるが、この部分の試算については、単独浄化槽や生活雑排水、製造業からの排水が切り替えられたものが多く、さらにこの 20 年間の人口増を考えると、かなりの有機物の負荷が下水道処理施設や合併浄化槽で削減されていることに留意しなければならない。

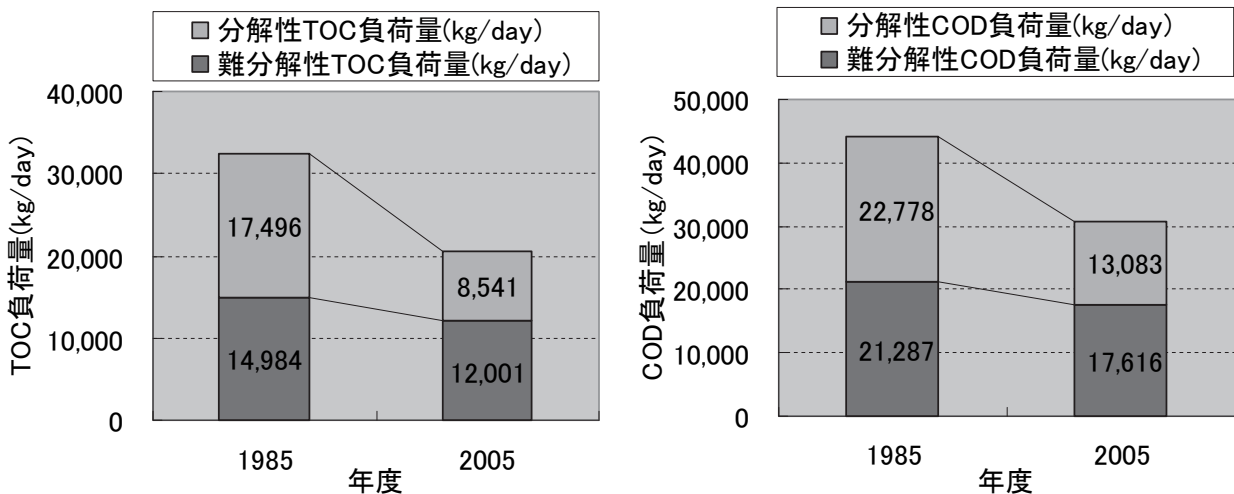


図 15 1985 年度と 2005 年度の TOC 負荷量 (左) と COD 負荷量 (右) の難分解性と易分解性の画分別の試算

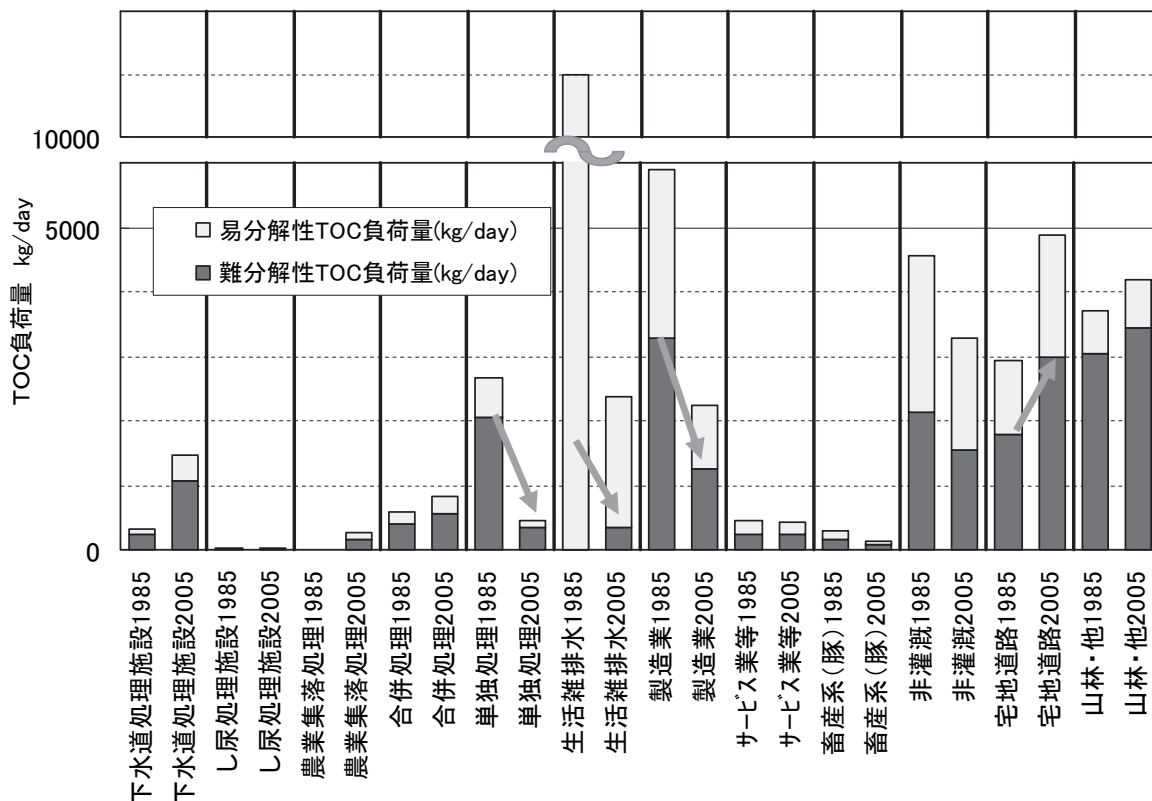


図 16 1985 年度と 2005 年度の各発生源別 TOC 負荷量の難分解性と易分解性の画分別の試算 (グラビア 1 頁参照)

4. 考察

4.1 北湖・河川における難分解性画分について

北湖 5 地点の調査結果から、難分解性の画分については、DOC が 90% と多く、季節変動や地点間の変動は少なかった。POC については、DOC の難分解率は POC の 1.4~3.9 倍で、調査結果を平均すると POC の方が DOC よりも 2 倍以上分解性が高かった。今回の結果を、今井ら(1999)が 1995~96 年に実施した琵琶湖水および流入河川水の生分解試験前後の DOC 組成の研究結果と比較した。サンプルのろ過の有無について違いはあるが、今津沖中央表層において採取した年 4 回の試料の DOC の生分解試験の結果によれば、難分解性 DOC の平均濃度は 1.21 mg/l (標準偏差 0.22) であったが、本調査では、同地点の年 4 回の結果から難分解性 DOC の平均濃度は 0.95mg/l (標準偏差 0.06) とやや少なかった。

次に、流入河川の調査結果を、1995 年度に実施された今井らの結果とあわせて、河川ごとの平均値として表 3 に示す。流域に森林が多い安曇川については、1995 年度と今回の結果とでは難分解率、濃度ともほとんど変化が見られなかった。他の 3 河川では難分解率は増加し、難分解性 DOC 濃度は、市街地面積の比率が高い米川では約 5 割減少しているが、産業系負荷の比率が高い日野川や水田面積の

比率が高い宇曾川では濃度の増加がうかがえる。しかし、琵琶湖への有機物の流入量を精度よく評価するためには、今後、降雨時を含めた負荷量を把握していくことが必要であると考えられる。

4.2 面源・点源における難分解性有機物の発生状況

各種面源・点源排水の生分解試験の結果から、TOC の難分解率は、発生源の種類によって顕著に異なることがわかった。また、生分解前後の COD/TOC 比の変化に明白な傾向は認められないこと、COD/TOC 比が発生源の種類によって、1.0~2.4 と大きく変動したこと、COD/TOC の理論値 (約 2.7) よりもかなり小さいものが多く、COD では有機物の多くの部分が捉えられていないことがわかった。これらのことは、これまでの陸域の発生源負荷の算定方法では有機物負荷が十分把握できていないことを示しているものと考えられた。

次に、1985 年度と 2005 年度に算定された COD 負荷量に基づき、難分解性と易分解性の画分の負荷量を試算した結果、この 20 年間で陸域からの有機物で削減されたのは主に易分解性の部分であり、難分解性画分はあまり減少していない可能性があることが示唆された。このことは、COD、

表3 琵琶湖流入河川におけるDOCの難分解性濃度(mg/l)と難分解率(%)

難分解性DOC	日野川	宇曾川	米川	安曇川
2007～2008年濃度	1.76 (0.51)	1.06 (0.46)	0.41 (0.13)	0.31 (0.10)
2008年率	80.5 (9.1)	64.6 (8.3)	59.9 (2.2)	75.6 (6.0)
1995～1996年度濃度	1.33 (0.26)	0.83 (0.24)	0.83 (0.10)	0.30 (0.06)
1995～1996年度率	74.3 (16.6)	53.3 (6.4)	55.3 (20.5)	75.6 (7.9)

※2007～2008年：2007年11月、2008年1月、6月、9月に調査。括弧内：標準偏差

TOCのいずれにおいても同様の傾向が見られた。

今後、陸域由来の有機物負荷が琵琶湖に与える影響を把握するためには、有機物量およびその生分解性を適切に評価する手法を構築していくことが重要であるものと考えられた。

5. まとめ

(1) 琵琶湖北湖のTOCのうち、季節変動に寄与するのは主に易分解性の画分で、中でも植物プランクトン由来のPOC画分が主体であった。難分解性画分はTOCの6～7割を占め、そのうち9割が溶存態であり、難分解性画分の面的分布や季節変動は小さかった。さらに、POCはDOCより2倍以上分解性が高かった。

(2) 流入河川の難分解性DOCを12年前と比較すると、森林系流域ではほとんど変化がみられなかったが、他の流域特性を持つ河川では難分解率の増加が見られた。今後、降雨時を含めた負荷量を把握していくことが必要であると考えられた。

(3) 点源および平常時の面源排水の調査結果から、有機物の難分解率は発生源の種類によって顕著に異なった。さらに、これまでのCODによる陸域の発生源負荷の算定方法では、有機物負荷が十分把握できていないことがわかった。

(4) 陸域からの難分解性有機物の2005年度の負荷量を1985年度の試算値と比較すると、あまり減少していない可能性があることが示唆された。

上記のほか、これらの調査結果を考慮して、難分解性有機物の挙動を再現するとともに、TOCによって有機物収支の概要を把握できるよう琵琶湖流域統合管理モデルの改良を行っている。今後は、モデルを活用した有機物収支の概要の提示と、TOCおよびその生分解性に基づき負荷量を評価するための検討を進めていく予定である。

6. 謝辞・引用文献

6.1 引用文献

天野耕二・松本邦治・今井章雄・松重一夫(2004)：河川水中の溶存有機物分画データと流域特性の関係。水環境学会誌, 27: 659-664.

K. Hayakawa (2004) : Seasonal variations and dynamics of dissolved carbohydrates in Lake Biwa. *Organic Geochemistry*, 35: 169-179.

早川和秀・山路修久・高田秀重・山元博貴・藤原学(2004)：生活排水から琵琶湖へ流れ込む微量化学物質—蛍光増白剤の研究報告—。琵琶湖研究所所報, 21: 64-69.

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

井手慎司・李理史(2004)：琵琶湖北湖における難分解性溶存有機物の発生源の推定に関する研究。第32回環境システム研究論文発表会講演集, 377-382.

今井章雄・福島武彦・松重一夫・金庸桓(1999)：琵琶湖湖水および流入河川水中の難分解性有機物の分画。第33回水環境学会年会要旨集, 205.

今井章雄・福島武彦・松重一夫ら(2001)：湖沼において増大する難分解性有機物の発生原因と影響評価に関する研究—特別研究—平成9年度-平成11年度。国立環境研究所特別研究報告, 36.

今井章雄・福島武彦・松重一夫ら(2007)：有機物リンケージに基づいた湖沼環境の評価および改善シナリオ作成に関する研究(特別研究)。国立環境研究所特別研究報告, 76.

環境省(2006)：平成18年度 難分解性有機物実態調査報告書。

環境省(2009)：平成20年度 琵琶湖等湖沼水質保全対策高度化推進調査報告書。

岡本高弘・小林博美・佐藤祐一・青木眞一・原良平・矢田稔・一瀬諭・坪田てるみ・古田世子・大野達雄・山本春樹・早川和秀・小松直樹・吉田美紀・今井章雄(2009)：有機物による琵琶湖の水質汚濁メカニズム調査について。第43回水環境学会年会要旨集, 516.

岡本高弘・早川和秀・今井章雄・佐藤祐一・中村敏博・北川典孝・一瀬諭・奥村陽子・大野達雄・古田世子・青木眞一・藤原直樹・原良平・小松直樹・小林博美・安藤大輔・吉田美紀(2009)：琵琶湖における難分解性有機物を含む有機汚濁のメカニズム調査について。日本陸水学会第74回大分大会要旨集, 96.

佐藤祐一・金再奎・高田俊秀・永禮英明・小松英司・上原

浩・西野麻知子・大久保卓也・岩川貴志・内藤正明
(2009) : 琵琶湖の流域管理のための分析システムの構築に関する調査研究. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 試験研究報告書, 4: 34-49.

滋賀県 (2001) : 難分解性有機物浄化対策調査. 平成 12 年度環境省委託業務報告書.

滋賀県・京都府 (1985) : 第 1 期琵琶湖に係る湖沼水質保全計画.

滋賀県・京都府 (2005) : 第 5 期琵琶湖に係る湖沼水質保全計画.

米林甲陽 (2004) : 土・水圏のフミン物質. 水環境学会誌, 27: 75.

6.2 謝辞

本研究の遂行にあたり、ご指導いただきました琵琶湖総合保全学術委員会メカニズム検討部会委員の皆様、調査研究の共同実施等、連携していただきました環境省の皆様、はじめ関係者の方々に深く感謝します。

また、上記委員会メカニズム検討部会副部会長の独立行政法人国立環境研究所湖沼環境保全室今井章雄室長には、本報告の出典の多くについて共同研究者としてもご指導いただきました。

重ねて深く感謝いたします。