

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月15日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21241008

研究課題名（和文） 湖沼において漸増する難分解性溶存有機物の特性・起源と物質収支

研究課題名（英文） Origin, characteristics and mass balance of recalcitrant dissolved organic matter in lake environments

研究代表者

今井 章雄（IMAI AKIO）

独立行政法人国立環境研究所・地域環境研究センター・室長

研究者番号：40203286

研究成果の概要（和文）：

霞ヶ浦における難分解性の溶存している有機物（難分解性溶存有機物）について、2001～2007年において、主要発生源（河川水、底泥溶出、下水処理水、降雨、内部生産）の寄与が定量的に算定された。河川水由来は平均68%、底泥溶出は12%、下水処理水は2.9%、降雨0.7%、内部の生物生産は18%であった。アオコが発生した2007年に、底泥溶出と内部生産の寄与が急上昇した。

研究成果の概要（英文）：

Dynamics of recalcitrant dissolved organic matter in Lake Kasumigaura was quantitatively evaluated from 2001 to 2007 through model calculation. River inflow, sediment release, sewage treatment plant effluent, direct rainfall, internal production in water column accounted for 68%, 12%, 2.9%, 0.7% and 18%, respectively. The contribution of sediment release and internal production was substantially increased in 2007 when algal bloom occurred.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 9,600,000 | 2,880,000 | 12,480,000 |
| 2010年度 | 8,600,000 | 2,580,000 | 11,180,000 |
| 2011年度 | 7,700,000 | 2,310,000 | 10,010,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 25,900,000 | 7,770,000 | 33,670,000 |

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：溶存有機物、難分解性溶存有機物、湖沼、間隙水、分子サイズ、化学組成、同位体比、流動モデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、多くの湖沼において難分解性と考えられる溶存有機物 (dissolved organic matter, DOM) が徐々に増え続けている。1990年代前半に琵琶湖北湖（中栄養湖）で注目された難分解性 DOM の漸増現象は、その後、貧栄養湖の十和田湖、野尻湖、富栄養湖の霞ヶ

浦、印旛沼と、湖の栄養状態に関係なく偏在的な広がりを見せている。

(2) 湖沼での難分解性 DOM 濃度の上昇は、環境基準達成の困難化、湖沼生態系への影響、水道水源としての湖水の健康リスク（トリハロメタン等）上昇や異臭味、有害化学物質等

の可動化など、湖沼環境に甚大な影響を及ぼすと考えられる。

(3)湖沼環境保全上、湖水中でなぜ難分解性 DOM が漸増するのか、そのメカニズムを解析・把握して、湖における難分解性 DOM の物質収支を定量的に算定する必要がある。

2. 研究の目的

本研究の展望は、湖水溶存有機物 (DOM) や難分解性 DOM の特性や起源に関する知見を集積して、それを基に、湖沼での難分解性 DOM の物質収支算定から主要発生源の寄与を定量的に明らかにすることである。

具体的な目標は：

- (1)霞ヶ浦 5 地点、主要流入 4 河川で 2 年間毎月水試料を採取して、DOM や難分解性 DOM の起源・特性情報 (分解性、分子サイズ、糖類組成等) や地点・季節変化を明らかにする；
- (2)霞ヶ浦 3 地点で 2 年間毎月底泥コアサンプルを採取して、間隙水 DOM の特性を評価し、DOM の溶出フラックスを算定する；
- (3)霞ヶ浦で代表的な藻類を室内培養して、藻類由来 DOM や難分解性 DOM の特性等を把握する；
- (4)起源の明白なサンプル (下水処理水、雨水等) を採取して DOM や難分解性 DOM の特性を明らかにする；
- (5)霞ヶ浦に対して 3 次元流動モデルを構築して、実測データに基づいてモデルを検証し、さらに難分解性 DOM の物質収支に係るモデル計算を行い、主要発生源の寄与を定量的に評価する、ことである。

3. 研究の方法

本研究は、湖水の DOM や難分解性 DOM の特性・起源を評価するミクロ的 (知見探索的) 研究と有機炭素 TOC を有機物パラメータとして湖における難分解性 DOM の物質収支をとることを目的とするマクロ的 (フレーム構築的) 研究の二つに大別される。前者での新たな知見を得て、それを後者の枠組みに組み入れて難分解性 DOM の定量的物質収支を、湖の特定地点で、算定することを目指す。

(1)湖における難分解性 DOM の物質収支に関する研究

- ①湖水・河川水での DOM と難分解性 DOM の動態：霞ヶ浦、流入河川で水サンプルを採取して、DOM や難分解性 DOM の動態を明らかにする。さらに DOM と難分解性 DOM の分画分布 (フミン物質、疎水性中性物質、親水性酸、塩基物質、中性物質) 等を求める。
- ②湖内流動モデル構築と物質収支算定：霞ヶ浦湖内 3 次元流動モデル (100m×100m メッシュ、鉛直 5 層) を構築して、モデル計算により難分解性フミン物質や難分解性 DOM の主要

発生源の定量的寄与を算定する。

(2)DOM および難分解性 DOM の特性・起源に関する研究

- ①藻類由来 DOM の特性評価：霞ヶ浦で優占する藍藻類等を室内培養して、藻類由来 DOM の特性を評価する。
- ②河川降雨時における DOM の特性評価：霞ヶ浦に流入する主要河川において降雨時調査を行い、降雨時の河川 DOM の特性を評価する。
- ③底泥間隙水 DOM の特性評価と溶出量算定：霞ヶ浦で底泥コアサンプルを採取して、間隙水 DOM の特性を評価する。鉛直方向濃度プロフィールから溶出フラックスを求める。
- ④DOM の起源評価：分子サイズ、糖類・アミノ酸濃度や組成、炭素・窒素同位体解析および三次元励起蛍光マトリックス等の手法を用いて、湖水 DOM の起源を推定する。

4. 研究成果

(1)堆積過程における底泥有機物の $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ の変化

- ①霞ヶ浦底泥コアのうち表層 2cm の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、C/N 比は歴史的に大きく変化した。底泥表層における同位体比の変遷は湖水柱で生産された植物プランクトン起源の懸濁態有機物の歴史的変化を反映していると考えられた。
- ②堆積後の初期続成作用において、底泥有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ が変化するか否かという問いは古くからなされてきたが、霞ヶ浦のように 30 年間という長期に渡る時間変化で検証できた例はほとんどない。霞ヶ浦の底泥では、底泥有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は概ね保存されていたが、 $\delta^{15}\text{N}$ は深いところで低く変化しやすく、底泥コアの深層 $\delta^{15}\text{N}$ をつかって、過去の湖の環境を復元することは危険であることが確認された。
- ③湖の環境復元の手法としてしばしば用いられる炭素、窒素の安定同位体比の解析であるが、底泥内部の酸化還元環境は変化しやすく、それに伴う有機物の同位体比の変化も無視できないとが明らかとなった。

(2)湖水、河川水および底泥間隙水中の糖類濃度・組成の変化

- ①霞ヶ浦湖心における溶存糖類 (DCHO) 濃度は 1.8~4.6 μM の範囲で増減を繰り返す、DOM に対する DCHO の収率は 3.6~7.8% の範囲で分布していた。DCHO 濃度および収率は春先 3~5 月、夏季 7 月~9 月に高くなった。
- ②霞ヶ浦湖水の DCHO 組成はキシロースが年間を通じて卓越し、その増減はグルコースと逆の傾向を示すことがわかった。キシロースとグルコースのモル比 (G1c/Xy1) は明確な季節変動を示した。当該モル比は 8 月に最大となり夏季の DCHO の増加は主に藍藻類の増殖に由来すると考えられた。
- ③主要流入河川水の DCHO 濃度は 0.48~3.5 μM

で、4～6月以外は霞ヶ浦湖水よりも低かった。DCHOの収率も概ね湖水よりも低かった。河川水のDCHO組成は、キシロースが20%以下と湖水よりも低く、グルコースの構成割合は13～41%と時期によって大きく変化した。河川水のDCHO濃度および収率をともに湖水よりも低く、単糖組成も湖水と大きく異なっていたため、流入河川水が霞ヶ浦湖水のDCHO濃度に大きく影響していないと推察された。

④底泥間隙水中の溶存糖類(DCHO)の濃度・組成の深さ方向および季節変動を明らかにした。このような成果は報告例が皆無であり、極めて新規性が高い。間隙水中DCHO濃度は湖水の半分から2倍に相当する濃度(1.4～13 μM)まで非常に幅広く鉛直プロファイルが変化した。DCHO濃度は表層0～2cmと8cm以

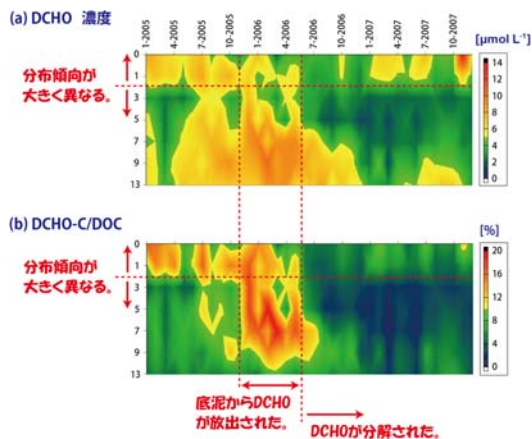


図1 霞ヶ浦湖心の底泥間隙水中の溶存糖類(DCHO)および溶存有機物に対する収率(DCHO-C/DOC)の変動(2005～2007年)。DCHO-C:溶存糖類中の有機炭素、DOC:溶存有機炭素。

深で特に高い傾向を示した。底泥表層のDCHO濃度の季節変化は湖水のそれと明らかに異なっていた。

⑤底泥DCHO濃度の深さ方向鉛直プロファイルで最も激しく濃度変化していたのは2～8cmの層で、2005年7月から2006年5月でDCHO濃度が急激に上昇しが、6月以降は急激に減少に転じた。DCHO組成の鉛直分布に着目すると、グルコースとキシロースの鉛直分布が特徴的であり、表層ではキシロースが、下層ではグルコースが卓越する傾向にあった。これらの結果は、湖水柱からの有機物供給が極めて少なくなった後でも、堆積した有機物の嫌気性分解によってグルコースを含む糖類が間隙水中に供給されることを示唆している。

(3) バクテリア由来DOMの算定

霞ヶ浦ろ過湖水を用いた培養実験を行い、バクテリアの増殖や分解過程において、DOMの濃度やアミノ酸濃度・組成の変化を追跡することで、バクテリア起源DOMの割合を算定した。

①バクテリアの2次生産速度(プロモデオキシウリジン法による)は20～35 $\mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ であり、海洋や沿岸域のデータと比較して非常に高いことがわかった。

②測定可能なアミノ酸(17種類)のうちアスパラギン酸、グルタミン酸、セリン、アラニンのD-体アミノ酸が検出された。D-アラニンのみがバクテリア増殖期に濃度上昇した。D-アラニンはバクテリアの細胞壁(ペプチドグリカン)に含まれていることから、バクテリアの増殖に伴いバクテリア由来の難分解性DOMが生産されると推察された。

③バクテリアのバイオマーカーであるD-体アミノ酸のDOMに占める割合を用いてバクテリア起源DOMの寄与算定を試みた。培養実験におけるD-アスパラギン酸、D-グルタミン酸、D-アラニンのDOM中の割合を使った。結果として、霞ヶ浦湖水DOMにおけるバクテリア起源の割合は35～55%と、海洋での割合(20～30%)よりも高い値が得られた。湖沼において、バクテリアがDOMの主起源であろうと示唆された。湖沼においてバクテリア起源DOMの寄与が定量算定されたのは初めてである。

(4) 霞ヶ浦湖水DOM等の分子サイズと特性

溶存有機物(DOM)の分子サイズを全有機炭素(TOC)として測定できるオリジナルのサイズ排除クロマトグラフィーシステムを開発した。当該システムを用いて様々な水サンプルの分子サイズを評価した。本研究で得られたデータや知見に相当する報告例は皆無であり、その新規性は極めて高い。

①霞ヶ浦湖水DOMの分子サイズは、15万～18万ダルトン(Da)、1500～3000Da付近に2ないし3つのピークを示した。これらのピークの分光的特性は大きく異なっており、特に15万～18万Daの画分は紫外線吸収(UV)や蛍光(FL)がほとんど持たない特徴があった。この画分はTOCとしてDOM濃度の5～21%存在した。当該高分子画分の存在割合を定量的に評価した報告は過去になく、大きな成果と言える。1500～3000Da付近の画分はベンゼン環の特性吸収波長である254nmでの吸光度が高くフミン物質に対応するとされる特有の蛍光(励起340nm、蛍光430nm)も発しているため、フルボ酸を主成分とする画分と考えられた。

②湖水 DOM の高分子画分 (1.5 万 Da 以上) の季節変化を調べたところ、3~5 月に特に増加する傾向が認められた。高分子画分の年変動パターンは溶存糖類 (DCHO) のそれと類似していた。そこで、DCHO の DOM 中の存在割合 (収率) と高分子画分の存在比の相関関係を調べ

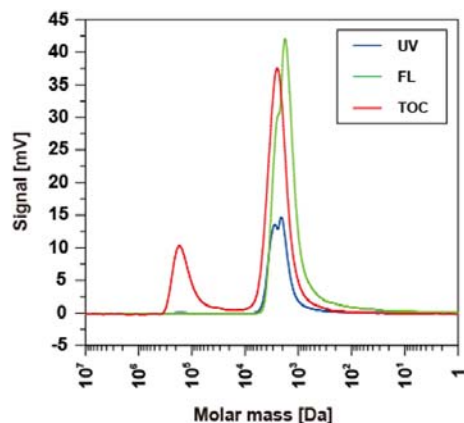


図2 霞ヶ浦湖水 DOM のサイズ排除クロマトグラムの一例。2007 年 4 月 (湖心)。UV: 紫外線吸収、FL: 蛍光強度、TOC: 全有機炭素。

たところ、正の相関 ($r=0.75$) が認められた。溶解有機物 (DOM) に係る主要発生源の寄与の定量的算定 (2001~2007 年)。Sakura R: 桜川、Koise R: 恋瀬川、Other R 高分子画分は主に植物プランクトンから細胞外に放出される多糖類が主成分であると示唆された。③間隙水 DOM では 15 万 Da 前後と 2000~3000Da の二つのピークが観察され、霞ヶ浦湖水のそれとほぼ一致しており、間隙水に特有なピークの存在は認められなかった。高分子画分の平均分子サイズは深さ方向に減少し、低分子画分は増大する傾向が観察された。④底泥間隙水 DOM の DOM 分画分布において、冬季には、深さ 10cm までフミン物質が、それ以深は親水性酸が卓越し、夏季には、表層でフミン物質、それ以深で親水酸が卓越していた。湖水、河川水および下水処理等の DOM 分画分布データとのクラスター解析から、間隙水 DOM は特徴的な分画分布を有し、湖水 DOM に対するエンドメンバー的な供給源であると示唆された。

(5) 霞ヶ浦における難分解性フミン物質および難分解性 DOM の物質収支

①霞ヶ浦 5 地点において、3 次元流動モデルを用いて、2001 年~2007 年において、湖水中の難分解性フミン物質 (AHS) 濃度の長期シミュレーションを実施した。結果として、実測値との相対誤差は 12.2% ($n=420$) とモデル計算値は実測値と良好に一致した。起源別にみると難分解性 AHS の 80% 以上は河川由来、下水処理水は 5% 以下、底泥溶出由来は 10%~

20% 程度であった。

②霞ヶ浦湖心における難分解性 DOM の物質収支を 2001~2007 年において、モデル計算による定量的に評価した。河川水由来は平均で 67.5% (50.1~85.7%)、下水処理水由来は 2.9% (2.0~3.9%)、降雨は 0.65%、溶出は 12.0% (6.9~20.7%)、内部生産は 17.6% (0~31.5%) であった。河川水は主要河川毎に、底泥溶出は 3 つの水界毎の寄与も算定された。湖沼の難分解性 DOM に関して、このような起源別収支算定が実施された報告はこれまでにない。世界初の成果と言える。

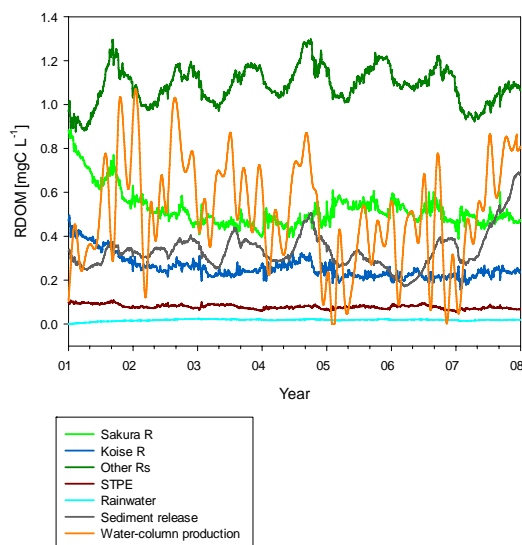


図3 霞ヶ浦湖心における難分解性溶解有機物 (DOM) に対する主要発生源の寄与の定量的算定。Sakura R: 桜川、Koise R: 恋瀬川、Other Rs: 他の河川、STPE: 下水処理場放流水、Rainwater: 直接降雨、Sediment release: 底泥溶出、Water column production: 湖水柱での生産。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

①高津文人、渡邊未来、林誠二、今井章雄、中島泰弘、尾坂兼一、三浦真吾、筑波山周辺の渓流水中の硝酸イオンの酸素・窒素安定同位体比による硝酸イオンの生成・混合・消費プロセスの解析、陸水学雑誌、査読有、Vol. 73, 1-6

②Kawasaki N., Matsushige K., Komatsu K., Kohzu A., Satou T., Nara F.W., Ogishi F., Yahata M., Mikami H., Goto T., Imai A., Fast and precise method for HPLC-size exclusion chromatography with UVA and

TOC(NDIR) detection: Importance of multiple detectors to evaluate the characteristics of dissolved organic matter in aquatic environments, *Water Research*, 査読有, 2011, Vol.42, 6240-6248

③ Kohzu A., Imai A., Ohkouchi N., Fukushima T., Kamiya K., Komatsu K., Tomioka N., Kawasaki N., Miura S., Satou T., Direct evidence for the alternation of 13C natural abundances during early diagenesis in Lake Kasumigaura, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 査読有, 2011, Vol. 12, doi: 10.1029/2011GC003532

④ 高津文人, 今井章雄, 中島泰弘, 小松一弘, 川崎伸之, 佐藤貴之, 硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体測定のための自作による安価な自動前処理ラインの開発, *Radioisotopes*, 査読有, 2011, Vol.60, 231-240

⑤ Tomioka N., Imai A., Komatsu K., Effect of light availability on *Microcystis aeruginosa*, *J. Plankton Research*, 査読有, Vol. 33, 2011, 1263-1273

⑥ Kohzu A., Imai A., Miyajima T., Fukushima T., Matsushige K., Komatsu K., Kawasaki N., Miura S., Direct evidence for nitrogen isotope discrimination during sedimentation and early diagenesis in Lake Kasumigaura, Japan, *Organic Geochemistry*, 査読有, Vol. 42, 2011, 173-183

⑦ Nara F.W., Imai A., Uchida M., Matsushige K., Komatsu K., Kawasaki N., Shibata Y., Radiocarbon measurements of dissolved organic carbon in sewage-treatment-plant effluent and domestic sewage, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 査読有, Vol.268, 2010, 1142-1145

⑧ Nara F.W., Imai A., Matsushige K., Komatsu K., Stable carbon isotopic characterization of DOC and its humic fraction, *Verh. Internat. Limnol.*, 査読有, Vol.30, 2009, 1307-1309

[学会発表] (計26件)

① 高津文人, 今井章雄, 小松一弘, 川崎伸之, 佐藤貴之, 三浦真吾, 中嶋泰弘, 尾坂兼一, 硝酸イオン・懸濁態有機物の同位体組成による2000~2005年における霞ヶ浦湖水柱での窒素循環の解析, 第46回日本水環境学会年会, 2012.3.15, 東京都, 東洋大学

② 小松一弘, 今井章雄, 富岡典子, 篠原隆一郎, 佐藤貴之, 高津文人, 三浦真吾, 三次元励起蛍光マトリックス (EEM) における「フミン様物質」が示すもの, 第46回日本水環

境学会年会, 2012.3.14, 東京都, 東洋大学

③ 今井章雄, 小松一弘, 川崎伸之, 佐藤貴之, 高津文人, 底泥間隙水中の溶存有機物の分画分布および分子サイズ, 第46回日本水環境学会年会, 2012.3.14, 東京都, 東洋大学

④ 今井章雄 [招待講演], 十和田湖における溶存有機物の特性・起源および動態—2004年、濃度上昇の原因とは—, 平成23年度十和田湖環境保全会議, 2011.12.26, 十和田市, 十和田富士屋グランドホテル

⑤ 佐藤貴之, 川崎伸之, 今井章雄, 小松一弘, 高津文人, 三浦真吾, 篠原隆一郎, 富岡典子, 霞ヶ浦底泥および底泥間隙水における炭水化物動態と栄養塩の濃度分布との関係, 日本陸水学会第76回大会, 2011.9.23, 松江市, 島根大学 (優秀ポスター賞受賞)

⑥ Kawasaki N., Imai A., Komatsu K., Kohzu A., Satou T., Miura S., Seasonal changes of dissolved organic matter properties in Lake Kasumigaura and its sediment pore water using size-exclusion chromatography with both UV and TOC detectors, The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition Toward Sustainable Water Supply and Recycling Systems, 2011.10.4, Tokyo, Tokyo International Forum

⑦ Satou T., Kawasaki N., Komatsu K., Imai A., Kohzu A., Miura S., Distribution patterns of dissolved carbohydrates in eutrophic Lake Kasumigaura, The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition Toward Sustainable Water Supply and Recycling Systems, 2011.10.5, Tokyo, Tokyo International Forum

⑧ Kohzu A., Imai A., Nakajima Y., Osaka K., Komatsu K., Kawasaki N., Miura S., Satou T., The introduction of the denitrifier method for the analysis of nitrate delta 15N and delta 18O and their variation in the surface water of Lake Kasumigaura from 2000 to 2005, The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition Toward Sustainable Water Supply and Recycling Systems, 2011.10.5, Tokyo, Tokyo International Forum

⑨ 今井章雄 [招待講演], 日本における有機物基準について, 日本陸水学会第76回大会公開シンポジウム I 「指定湖沼が直面する諸問題~湖はどうあるべきか~」, 2011.9.24, 松江市, 島根大学

⑩ 今井章雄 [招待講演], 浄水・排水処理プロセスにおける溶存有機物 (DOM) の特性評価—DOM の分画分布と分子サイズで見ると—, CREST 研究「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」招待講演, 2011.9.6, 京都市, 京都メルパルク

⑪ 今井章雄 [招待講演], 湖沼における DOM

およびフミン物質の起源、特性および動態、第 26 回日本腐植物学会、2010. 11. 29、つくば市、筑波大学

⑫今井章雄 [招待講演]、湖沼・河川における難分解性有機物の特性、第 14 回日本水環境学会ノンポイント汚染研究委員会「ワークショップ in 日立・霞ヶ浦」、2010. 9. 6、茨城県美浦村、(独) 国立環境研究所水環境保全再生ステーション

⑬佐藤貴之、川崎伸之、小松一弘、今井章雄、高津文人、三浦真吾、霞ヶ浦における溶存炭水化物の組成と季節変化～湖水、底泥間隙水および流入河川水の特徴～、日本陸水学会第 75 回大会、2010. 9. 20、弘前市、弘前大学

⑭小松一弘、今井章雄、高津文人、川崎伸之、佐藤貴之、三浦真吾、光分解実験から見えてきた DOM の立体構造に関する研究、日本陸水学会第 75 回大会、2010. 9. 18、弘前市、弘前大学

⑮川崎伸之、今井章雄、小松一弘、高津文人、佐藤貴之、三浦真吾、浜崎恒二、多田雄哉、霞ヶ浦における微生物ループの役割と有機物循環の解明、日本陸水学会第 75 回大会、2010. 9. 19、弘前市、弘前大学

⑯佐藤貴之、川崎伸之、小松一弘、今井章雄、高津文人、三浦真吾、富栄養霞ヶ浦における炭水化物の分布、第 44 回日本水環境学会年会、2010. 3. 16、福岡市、福岡大学

⑰高津文人、今井章雄、松重一夫、小松一弘、川崎伸之、三浦真吾、佐藤貴之、宮島利宏、福島武彦、霞ヶ浦底泥表層の窒素安定同位体比の支配要因—過去 28 年間の底泥試料から—、第 44 回日本水環境学会年会、2010. 3. 17、福岡市、福岡大学

⑱今井章雄 [招待講演]、有機物リンケージに基づいた湖沼環境の評価、第 12 回東京大学水制御研究センターシンポジウム、2010. 2. 23、東京都、東京大学

⑲今井章雄 [招待講演]、国立環境研究所における湖沼環境研究について、平成 21 年度環境技術推進費委託研究報告会、2010. 2. 2、大津市、滋賀県琵琶湖環境研究センター

⑳川崎伸之、今井章雄、小松一弘、高津文人、佐藤貴之、三浦真吾、霞ヶ浦湖水のアミノ酸濃度および鏡像異性体の季節変化、日本陸水学会第 74 回大会、2009. 9. 15、大分市、大分大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今井 章雄 (IMAI AKIO)

独立行政法人国立環境研究所・地域環境研究センター・室長

研究者番号：40203286

(2) 研究分担者

小松 一弘 (KOMATSU KAZUHIRO)

独立行政法人国立環境研究所・地域環境研究センター・主任研究員

研究者番号：20391104

高津 文人 (KOZU AYATO)

独立行政法人国立環境研究所・地域環境研究センター・主任研究員

研究者番号：30514327

川崎 伸之 (KAWASAKI NOBUYUKI)

独立行政法人国立環境研究所・地域環境研究センター・特別研究員

研究者番号：00446387

佐藤 貴之 (SATO TAKAYUKI)

独立行政法人国立環境研究所・地域環境研究センター・特別研究員

研究者番号：10552086

(3) 連携研究者

富岡 典子 (TOMIOKA NORIKO)

独立行政法人国立環境研究所・地域環境研究センター・主任研究員

研究者番号：40168399