

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08007

研究課題名(和文) デジタルカメラを使った水質評価法の実用化に関する研究

研究課題名(英文) Study on practical use of a water quality evaluation method using a digital camera

研究代表者

中桐 貴生 (Nakagiri, Takao)

大阪府立大学・生命環境科学研究科・准教授

研究者番号：80301430

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ため池水面のデジタルカメラ画像を用いた水質評価手法の実用化を目指すべく、「有機成分が水の光学特性に及ぼす影響のメカニズム」の科学的解明を主軸に検討を行った。写真画像では主となる光の反射だけでなく、吸光と蛍光も含めて池水の光学特性と有機汚濁レベルとの相関性を明らかにした。兵庫と堺市の池水の光学特性は異なり、画一的な有機汚濁推定式の適用は困難であり、何かの条件で分けて適用するのが現実的と思われた。溶存性のみを含む水の光学特性と懸濁性も含む水のそれを個別に取得すれば有機汚濁の定量推定が大幅に向上することが分かり、デジタルカメラ画像からいかに情報取得を行うかが今後の課題である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ため池は、生活環境圏内における身近な水辺空間としても認識されるようになり、農業用水としてだけでなく、環境用水としての質的保全も求められるようになってきた中で、質的管理はコストや手間の問題から十分なされていない。

多くの小規模水域の水管理者にとって、高精度の水質情報を少ない頻度で得るよりも、精度を多少犠牲にして経済的な方法で頻繁に得られる方が、水質変化をより迅速に把握できるなどのメリットがあり、デジタルカメラでため池の水面を撮影するだけで、ある程度の精度で水質評価が可能になることは、社会的価値は高いといえる。

研究成果の概要(英文)：Aiming at practical application of a method to estimate water quality of irrigation pond by analyzing a digital camera image of the water surface, some case studies were conducted mainly focusing on the scientific analysis of the mechanism of the effect of organic substances on optical specifications of water. The relationships between the optical specifications (reflectance, absorbance, and fluorescence) of water and the organic pollutant level were clarified. It was found that the uniform application of the estimation equation of organic pollution was difficult because of the difference of optical specification of pond waters from region to region. It seemed more actual to make some estimation equations by grouping pond with some conditions. It was also found that if we can use the both optical specifications for the raw water and for the one without suspended substances by filtering, the estimation accuracy of organic pollutant level can be quite improved.

研究分野：農業農村工学

キーワード：デジタルカメラ ため池 水質評価 光学特性 有機汚濁 COD TOC 実用化

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

湖沼やため池といった陸域における閉鎖性水域は、降雨の偏在性の問題点を緩和し得る安定的水源の1つであり、太古から重要な存在として人々に認識されてきた。しかし、近年、人間活動の結果として生じる雑排水の集水域内への流入増大や、水利用技術の発展に伴う集水域内での用水反復の高度化などにより、閉鎖性水域の質的悪化が深刻な問題となっている例も少なくない。また、都市化に伴い農地と宅地の混在化が進んだ地域では、本来干ばつ時の水補給だけが目的とされたため池が、生活環境圏内における身近な水辺空間としても認識されるようになり、農業用水としてだけでなく、環境用水としての質的保全も求められるようになってきた所も多く見受けられる。こうした中、閉鎖性水域の量的管理のみならず、質的管理が今後益々重要となってくると思われる。

しかし、特にため池等の小規模な水域の管理者が水質を評価したい場合、一般的には専門業者に計測を委託する必要があり、その費用負担は小さくなく、多頻度に計測を行うことは現実的ではない。また、多くの水管理者にとっては、高精度の水質情報を少ない頻度で得るよりも、精度は多少劣っていても経済的な方法でより多頻度で得られる方が、水質変化をより迅速に把握できるなどのメリットがあるという側面も考えられる。

こうした背景の下、当該研究者らは、市販のデジタルカメラで撮影した画像の解析に基づく水質評価手法の確立の可能性について検討を行うことにした。研究開始当時、水面の画像を利用した水質モニタリングに関する研究として、衛星画像を利用したもの(例えば、M. S. Wong et al., 2008)や、当該研究者らと同様にデジタルカメラを利用したもの(例えば、L. Goddijn-Murphy et al., 2009)が既にいくつか報告されていたものの、それらの多くでは、可視光波長域(RGB)のDN値(衛星データでは近赤外のDN値も)が用いられ、総じて、「クロロフィルaまたはSSとの間で高い相関が見られた」と述べられ、それ以外の水質指標については、RGBのDN値との相関は低いとされているのみであった。

こうした中、当該研究者らは、「天然水中の有機成分が紫外光の吸光特性を有する」という過去の研究報告(山本, 1999)や、一部の市販デジタルカメラに近紫外光に感度を有するものがあるというインターネット情報などからヒントを得て、試行的に検討を行って見たところ、デジタルカメラを使った近紫外光撮影によって、クロロフィルaやSS以外の水質項目についても評価が行える可能性が見出されたことから(林ら, 2012)、本格的な研究として着手し、その結果、「水源がほぼ同じため池の水について、COD濃度と分光光度計による吸光特性には明確な相関関係を有するとともに、日射条件がほぼ同じであれば近紫外撮影画像における $DN_{UV}$ 値とCOD濃度には高い相関を有し、両者の回帰式を用いて画像からCOD濃度を推定し得る」ということを明らかにした(林ら, 2012; 中桐ら, 2013)。

さらに、実際の現場で撮影された画像を処理する上で問題となる、時刻、季節、天候等の違いによって生じる日射条件の違いや水面の揺らぎによって生ずる「ちらつき」が撮影画像に及ぼす影響をいかに除去するかについて検討を行い、水質推定の安定化を図るとともに、デジタルカメラやPCに不慣れな人でも容易に操作できるPC用の画像解析プログラムおよびGUIの開発を行ってきた(中桐ら, 2016)。すなわち、当該水質評価手法の基本原則と、実用化に向けたツールのプロトタイプが構築された段階に到達したと当該研究者らは捉えた。

そこで、次の段階として、当該研究者らはこれまでの研究成果をさらに発展させ、実用性をより高めることに挑戦することにし、その課題として、当初、以下の1)~4)の4つを設定した。

- 1) 水質の推定精度の更なる向上。
- 2) これまでに検討を行ってきた水域における水質成分とは比較的大きく異なる水質を有する水域での本手法の有効性についての実証。
- 3) 水質評価に用いる画像を近紫外画像からノーマル画像(通常のデジカメで撮影した画像)に拡張。
- 4) 近年急速に普及しつつあるデジカメ機能付きスマートフォンやタブレット端末で操作可能なアプリ(GUI)の開発。

また、これらに加え、これまでの検討は、「ある水質成分(有機成分)とデジカメ画像の輝度値に相関がある」という単なる現象論に基づくアプローチがベースとなっており、その関係の物理的メカニズムとしては、従来の研究で報告されてきた有機成分における吸光特性ではなく、発光または反射特性によるものであることを当該研究者らによって明らかにされるにとどまっている。したがって、ここで改めて、

5) 有機成分を主として、水質成分が水の光学特性に及ぼす影響のメカニズムの解明について科学的見地からもう一步踏み込んで検討を行うこともやはり重要であり、広義にはこれも本手法の実用性に繋がると言えることから、ここでの課題に加えるべきであると考えた。

引用文献:

- M. S. Wong et al.: MODELING WATER QUALITY USING TERRA/MODIS 500M SATELLITE IMAGES, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8. Beijing 2008.
- L. Goddijn-Murphy et al.: Fundamentals of in Situ Digital Camera Methodology for Water Quality Monitoring of Coast and Ocean, Sensors 9, 5825-5843, 2009.
- 山本勝博: 紫外スペクトル法による天然水中の有機成分の調査の試み, 化学と教育 47(5), 338-341, 1999.

林ら： デジタルカメラ画像によるため池水質評価に関する可能性の検討，農業農村工学会京都支部第 69 回研究発表会講演要旨集 1-04，2012.

中桐ら： デジタルカメラによるため池の COD 計測の可能性，平成 25 年度農業農村工学会大会講演会，2013.

中桐ら： デジタルカメラによる近紫外画像を用いた水質評価手法の開発に関する研究，科研費 25660193 (挑戦的萌芽研究) 研究成果報告書，2016.

## 2. 研究の目的

当該研究を着手するにあたり，研究目的について共同研究者間で改めて協議を行った結果，1) で述べた課題 1), 2) に関して学術的見地からの研究成果を得るためには，やはり 5) の「メカニズムの解明」は避けることはできないという結論に至った。そこで，まずこの「有機成分を主として，水質成分が水の光学特性に及ぼす影響のメカニズムの解明」を最初の目的とし，その結果を踏まえ，課題 1), 2) を併せて，「光学的指標を用いた水質の推定精度向上および一般化」をその次の目的とすることにした。

なお，3) については，本稿ではここで結論だけを述べることになるが，当該研究においても，当該研究者らによる先行研究において得られていた結果と同様に，近紫外域だけでなく，RGB すべての光学波長帯において，相関係数の数的な差異はあるものの，有機汚濁成分との相関関係に一貫性が認められたことから，先行研究では近紫外撮影によって得られた画像において青色として格納されていた輝度値 ( $DN_b$  値) のみを用いていたものを，ノーマル撮影によって得られた画像の  $DN_b$  値を用いても本質的な差異は生じないと判断されたことから，水質評価ソフトのプログラムにおいてノーマル画像でも対応可能なようにプログラムを修正するととどめることとした。また，4) については，当該研究者の所属機関や学会関係者等のべ数十名に実際にソフトを使用してもらい感想を聞いたところ，概ね「ソフトの完成度が高く，操作性に何ら支障がない」という意見に集約され，ソフトの操作性については十分な実用性が得られていると判断し，GUI の改良については，微修正を行うにとどめた。こうして節約できた課題 3) および 4) に割り当てるべきエフォートを，当該研究において重要度がより高いという結論に至った上記の目的に当てることとした。

## 3. 研究の方法

当該研究では，上記の目的を踏まえながら，以下の 1) ~ 3) について，段階的に検討を進めた。

### 1) ため池水の光学特性と水質の関係性の検討

大阪府立大学中百舌鳥キャンパス (堺市) 周辺の 6 ヶ所のため池 (図 1) で 2017/8/16 ~ 12/7 の間に，約 1 ヶ月間隔で計 5 回採水し，得られた 30 サンプルの原水と濾過水 (原水を  $0.6\mu\text{m}$  のガラス繊維濾紙で濾過したもの) について，COD 及び TOC を分析するとともに，吸光度，反射光強度，蛍光度を測定し，各種有機物指標と光学特性の関係性を調べた。各光学指標の測定条件は表 1 に示す通りである。なお，反射光強度は，蒸留水に対する同波長での測定値で除した相対値とした。また蛍光度は，まず純水の測定値をブランクとして全ての測定値から差し引いた後， $50\mu\text{g/L}$  の硫酸キニーネ溶液 ( $0.1\text{NH}_2\text{SO}_4$  溶液) における励起波長  $350\text{nm}$ ，蛍光波長  $450\text{nm}$  での蛍光強度で基準化した。

### 2) 光学特性を用いた有機汚濁評価の汎用性の検討と推定精度の向上

1) で調査を行った図 1 に示す 6 箇所のため池において 2018 年 7/22 ~ 11/23 の間にも計 5 回調査を行い，さらに，有機汚濁評価の汎用性の検討を念頭に置き，水質成分がこれまで調査を行ってきたため池とは大きく異なることを期待して，2018 年 7/13，7/21，10/22 に神戸市ならびに淡路市のため池計 8 箇所で採水を行った。得られた原水サンプルの COD および TOC を分析するとともに，吸光度，反射光強度，蛍光度を測定し，両有機物指標と光学特性の関係性を調べた。解析には 2017 年に得られた大学周辺 6 ため池のデータも加えた。また，SS，無機イオン，TN，TP，pH，EC を測定し，これらの指標も加えて有機汚濁推定精度の向上について検討した。なお，各光学指標の測定条件は 1) と同様に表 1 に示す通りであり，反射光強度は蒸留水に対する同一波長での測定値で除した相対値とした。また，蛍光度はまず純水の測定値をブランクとして全ての測定値から差し引いた後， $50\mu\text{g/L}$  の硫酸キニーネ溶液 ( $0.1\text{NH}_2\text{SO}_4$  溶液) における励起波長  $350\text{nm}$ ，蛍光波長  $450\text{nm}$  での蛍光強度で基準化した。

### 3) 池水の光学特性と有機汚濁レベルの関係性に関する実証的検討

光学特性には，有機汚濁物質の粒子サイズが影響しうると考えた。そこで，粒子サイズが異なる 3 種の着色材として，水彩絵の具，アクリル絵の具，食紅 (いずれも赤色) を使い，それらの水溶液の光学指標 (吸光度と反射光強度) を比較した。さらに，その結果を踏まえ，大学周辺の 3 ため池 (採取日：2019/9/7，10/18，12/6) および兵庫県佐用町のため池 (同：2019/11/24) の水を試水として実験した。まず，池水を粒子保持能  $1.0, 0.8, 0.65, 0.45, 0.2\mu\text{m}$  のろ紙で順次ろ過し，ろ過ごとにろ液の光学指標を測定した。



図 1 採水地点

表 1 測定条件

吸光度	測定波長: 190 ~ 1100nm 波長間隔: 1nm
反射光強度	220 ~ 750nm(5nm間隔)の各照射波長 に対する同波長での受光強度
蛍光度	励起波長: 220 ~ 750nm 蛍光波長: 220 ~ 900nm 測定間隔: 励起, 蛍光とも 5nm

#### 4. 研究成果

##### 1) ため池水の光学特性と水質の関係性の検討

###### (1) 吸光度と水質の関係

各池水の吸光度には差がみられ、波長別吸光度と各水質項目との相関を調べると、TOC では240nm以上の吸光度（以下、A240～A1100と表記）で安定して高く、A310とA960の付近でやや下がった。また、CODはA260付近で最も相関が高く、相関係数が0.75以上であった。A960付近でやや相関が下がったものの、A240～A1100の広い範囲で、TOCほどではないものの、依然安定した高い相関がみられた。一方、濾過水では、TOC、CODともA260付近で相関係数が最大となり、波長が長くなるにつれて低減した。原水と濾過水におけるこれらの違いから、可視光以上の波長での吸光度は懸濁性有機物の影響が大きいと推察される。

###### (2) 反射光強度と水質の関係

各池水の反射光強度を波長別に整理すると、250～470nmの波長域で池ごとの反射光強度の差が顕著となり、吸光度と同様に、各水質項目別に相関を調べると、TOCは250～500nmの反射光強度（以下、R250～R500と表記）で、CODはR350～R470で高い相関がみられた。一方、およそ500nm以上の波長域では、吸光度と異なり相関は低く不安定となった。濾過水では、TOC、CODともにR260付近で水質との相関がやや高いものの、吸光度と同様に波長が長くなるにつれて低減する傾向がみられた。

###### (3) 蛍光度と水質の関係

各池水の蛍光度を波長別に測定し、それぞれTOCとの相関係数を調べると、励起波長290nm、蛍光波長340nm付近の領域で高くなる傾向がみられた。これは、CODについても同様であった。水質項目との相関が高かった波長域は、クロレラやユーグレナといった植物プランクトンが蛍光を発する波長域と一致しており、これらの影響を受けていると思われる。

###### (4) 定量評価の検討

TOC及びCODの各光学指標との単回帰式による推定精度について、池別及び全データで検討した。まず池別にみた場合、いずれの光学指標もTOCに比べ、CODとの相関が総じて高く、相関係数の値が0.9以上となる場合もみられた。光学指標間で比較すると、蛍光度はどの池とも相関が比較的高かった。なお、P2、P3及びP5でどの光学指標もCOD推定の標準誤差が1.0mg/L未満（蛍光度では0.4mg/L以下）と小さく、湖沼のCOD環境基準の類型化に資するおよその評価であれば推定回帰モデルは利用できる可能性がうかがわれた。

次に、全データを統合すると、池ごとに回帰式が比較的大きく異なったため、池別では総じて高い相関がみられた蛍光度でも、実測値と回帰式で求めた推定値が大きくずれるケースもみられた。なお、3つの光学指標を考慮した重回帰分析の検討も行ったが、光学指標間の相関が高く、多重共線性の問題が発生し、妥当な回帰式が得られなかった。

##### 2) 光学特性を用いた有機汚濁評価の汎用性の検討と推定精度の向上

###### (1) 光学指標のみでの推定精度

2016年度（従前）の検討で得られた光学指標によるCODおよびTOCの重回帰式（使用波長は吸光度  $x_1$ : 265nm, 反射光強度  $x_2$ : 355nm, 蛍光度  $x_3$ : 励起 290nm/ 蛍光 340nm）を適用したところ、RMSEは従前と比べCODで1.6mg/L, TOCで0.7mg/L増大した。これは、2018年度のデータも含めた場合、堺市と兵庫では吸光度と反射光強度における特性が大きく異なり、その結果、各光学指標において有機汚濁との相関が最も高い波長域が近紫外付近から緑～近赤外の領域へと変化したことによると推察された。そこで吸光度 942nm, 反射光強度 505nm, 励起 275nm/ 蛍光 310nmに変更し重回帰式を作成し直したところ式が得られ、両指標ともRMSEは小さくなり、とくにTOCについては従前と同じ値となった。なお、選択波長の変更によって式作成の際に生じた多重共線性の問題は解消された。

$$\left. \begin{array}{l} \text{従前: COD [mg/L]} = 18.02x_1 - 0.01x_2 + 0.23x_3 + 1.20 \quad (R^2=0.73) \\ (n=30) \quad \text{TOC [mg/L]} = 13.16x_1 + 0.30x_2 + 0.15x_3 + 0.64 \quad (R^2=0.78) \\ \text{修正後: COD [mg/L]} = 134.75x_1 + 5.75x_2 + 0.10x_3 - 1.46 \quad (R^2=0.69) \\ (n=68) \quad \text{TOC [mg/L]} = 49.74x_1 + 1.72x_2 + 0.07x_3 + 1.94 \quad (R^2=0.56) \end{array} \right\}$$

###### (2) 光学以外の指標も加えた推定精度

3光学指標のみを用いた重回帰式による推定値を実測値と比較すると、両者の乖離が比較的大きな部分も見られた。そこで、簡易性とは逆行するが、光学以外の指標測定値も得られた2018年度データを用いて説明変数を増補した重回帰分析を行い、推定精度の向上について検討した。決定係数への寄与度が高かった光学以外の項目は、CODについては、TN、Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>濃度、TOCについては、Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>濃度であった。これらを考慮することで、CODでは考慮しない場合に比べRMSEが1.4mg/L減少し実測値との乖離の縮小も認められた。一方TOCでは、これらを考慮しない場合に比べRMSEは減少したものの、その変化は0.3mg/Lにとどまり、CODに比べ推定精度に顕著な向上は見られなかった。

###### (3) 池水の光学特性と有機汚濁レベルの関係性に関する実証的検討

反射光強度の測定値が原則上限値を超えないように濃度調整した各着色材の溶液（原液）と、それぞれを2倍、3倍に希釈したものを表1の条件で測定した。なお、反射光強度は、各波長での測定値を蒸留水における同波長での測定値で除した相対値としている。測定結果におけるスペクトルを比較すると、ピークの波長の位置や、全体的な変動パターンなどで三者に明確な違いがみられた。また、濃度に対する応答をみると、およそ両光学指標ともどの波長でも比例関係

にあり、波長ごとの変化の傾向は同じであった。ただし、食紅の反射光強度のみは変化がなく、蒸留水の測定値と差は等価となった。

また、3種の原液を粒子保持能 1.0  $\mu\text{m}$ 、0.8  $\mu\text{m}$  のろ紙で順次ろ過して測定すると、測定値が異なったことから、スペクトルは、着色材の粒子サイズにも左右されることが確認された。なお、食紅はほぼ全ての粒子が 0.2  $\mu\text{m}$  のろ紙も通過した。

上記の検討を踏まえ、大学周辺の3ため池（採取日：2019/9/7、10/18、12/6）および兵庫県佐用町のため池（同：2019/11/24）の水を試水として実験した。まず、池水を粒子保持能 1.0、0.8、0.65、0.45、0.2  $\mu\text{m}$  のろ紙で順次ろ過し、ろ過ごとにろ液の光学指標を測定した。すると、吸光度の分布は 1.0  $\mu\text{m}$  ろ過前後で明確に異なり、1.0  $\mu\text{m}$  以下のろ過ではほとんど変化しないという特徴がみられた。反射光強度も同様であり、特に 1.0  $\mu\text{m}$  ろ過後の池水の反射光スペクトルは、蒸留水のみでのそれとほぼ一致し、着色水での結果のように、池水中の 1.0  $\mu\text{m}$  以下の溶解物質は反射光特性に影響しないという結果になった。

以上を踏まえ、従来検討された、原水の光学指標のみを説明変数として COD、TOC を推定する重回帰モデル（従来法）に、1.0  $\mu\text{m}$  ろ過水の吸光度を説明変数として加える方法（修正法）によって、推定精度の向上がみられるか検討した。すなわち、原水の吸光度、反射光強度および 1.0  $\mu\text{m}$  ろ過水の吸光度による重回帰モデルの作成を行った。なお、各光学指標は多重共線性を考慮したうえで、波長別の相関が最も高い波長のものを抽出した。両モデルによる推定値と実測値の関係を比較すると、COD、TOC とともに修正法での RMSE は従来法より小さくなり、絶対誤差の最大値も従来法では COD が 2.3 mg/L、TOC が 4.7 mg/L であったのに対し、修正法では COD が 1.9 mg/L、TOC は 3.8 mg/L と低減し、特に COD で良好な推定精度が得られた。しかし、2017～2018 年に取得された池水（本学周辺の 6 ため池と兵庫県の 8 ため池で採水）のデータに修正法の式を用いると、今回の結果と同程度の精度で推定できたものがある反面、かなり過大評価となったものも複数見られた。特定の池の水で誤差が大きくなる傾向が窺われたため、本モデルの汎用性にはまだ検討の余地がある。

#### 4) 総括

当該研究では、基本的にはため池における水面のデジタルカメラ画像を用いて水質評価を行う手法の実用化を目指すべく、これまでブラックボックスとして扱っていた、「有機成分を主とする、水質成分が水の光学特性に及ぼす影響のメカニズム」の科学的解明に主眼を置きながら、段階的に検討を行った。

これまでの全ての検討を通じて、有機成分を含む水において、光学特性と有機成分レベルには一貫した正の相関性が示され、この関係を上手く利用できれば光学指標によって有機汚濁レベルの定量評価ができる可能性を改めて示すことができたと考えている。

上記のメカニズムに関しては、科学的に明らかにできた事項がいくつかあり、今後、学術論文として発表していく予定である。また、画像データの処理技術やユーザーによる GUI の操作性については、利用者からの評価を通じて実用レベルにあると思われた。

一方で、今回の検討では、メカニズムの解明を主軸としたため、必然性は自覚しつつも、デジタルカメラではなく、分光吸光度計や分光蛍光光度計を用いて測定したデータを用いての解析がほとんどとなってしまった点は、当初の狙いからすると不十分な結果だったと言わざるを得ない。

今後の課題として、デジタルカメラ撮影によって、当該研究における検討で用いたような光学特性をどの程度取得し得るかについて検討を行うことが望まれる。また、水質成分が水の光学特性に及ぼす影響のメカニズムについて、ある程度明らかにできたことで、たとえば評価対象を限定すれば、光学特性や画像から水質を高精度に評価できる可能性が示され、新しい課題が見出されたことも当該研究の成果の1つとして捉えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中桐貴生, 北中玲加, 堀野治彦, 櫻井伸治, 遠藤良輔
2. 発表標題 水の光学特性によるため池の水質定量評価の可能性
3. 学会等名 H30年度農業農村工学会 大会講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	堀野 治彦  (Horino Haruhiko)  (30212202)	大阪府立大学・生命環境科学研究科・教授    (24403)	
研究分担者	遠藤 良輔  (Endo Ryosuke)  (10409146)	大阪府立大学・生命環境科学研究科・講師    (24403)	
研究分担者	櫻井 伸治  (Sakurai Shinji)  (30531032)	大阪府立大学・生命環境科学研究科・講師    (24403)	