

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：24403

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25660193

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Study on development of water quality evaluation method using near-ultraviolet photo image by 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(系)・准教授

研究者番号：80301430

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：市販のデジタルカメラのレンズに近紫外波長域(340-360nm付近)のみを通過させるフィルタを装着して撮影した、ため池等の閉鎖性水域における水面のデジタル画像(JPG形式の近紫外画像)から、その水域の水質評価、とくにCODの定量推定の可能性を明らかにし、推定精度向上の方法について検討した。また、デジタル機器やPCに不慣れな人でも簡単に画像の読み込みや対象区画の抽出でき、水質値や環境基準等の情報が分かりやすく表示されるアプリケーションソフトも開発した。

研究成果の概要(英文)：This study clarified the possibility of quantitative water quality evaluation, especially COD, using a near-ultraviolet digital photo image (JPG format) of the surface of closed water area such as a irrigation pond taken by a commercially available digital camera with a band pass lens filter which can pass the light in a specific wavelength range 340-360 nm. Furthermore, this study investigated improvement of the evaluation accuracy. In this study, an application software was also developed, which estimate the water quality from a near-ultraviolet photo image, display evaluation result, and is also very easy to operate even by inexperienced persons in digital equipment.

研究分野：水環境管理学

キーワード：デジタルカメラ 近紫外 デジタル画像 水質評価 COD ソフト開発

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、閉鎖性水域の量的のみならず、質的な管理も今後重要となってくると思われる。

閉鎖性水域における質的な管理を行っていくために、特にため池等の小規模な水域の管理者が水質データを得るには、一般的には専門業者に計測を委託する必要がある、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、高精度の水質データを少頻度に得るよりも、精度面では多少劣っていても経済的な方法で多頻度にデータが得られる方が、水質変化をより迅速に把握できるなど、より有益と思われる場合も多い。

しかし、計測精度が多少悪くとも、ため池等の水管理者（主として農業従事者）にとって経済的な負担が小さく、手軽に高頻度で水質評価ができるような実用的手法は確立されていないのが現状であった。

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よる水質評価手法の確立の可能性について着目し検討を行ってきた。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（たとえば、Wong et al., 2008）や、申請者らと同様にデジタルカメラを利用したもの（たとえば、Goddijn-Murphy et al., 2009）が既にいくつか報告されているものの、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ネット情報などからヒントを得て、試験的検討を行ったところ、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以外の水質評価を行える可能性を見出し（林ら，2012）、本

研究を開始するに至った。

2. 研究の目的

本研究では、当該研究者らによってそれまでに得られていた「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分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DNUV値とCOD濃度には高い相関を有する」という研究成果（林ら，2012）をさらに発展させること、具体的には、水中の有機成分と、水面からの紫外光反射特性との関係について明確にすること、デジタルカメラによる近紫外撮影画像とCOD濃度との関係について明確にすること、時刻、季節、天候等の日射条件の違いが撮影画像に及ぼす影響の除去方法について検討すること、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ような、よりユーザーフレンドリーな解析ソフトウェアの開発を行うこと、を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 解析データの取得

1) 水質

大阪府立大学中百舌鳥キャンパス（大阪府堺市）周辺に位置する6つのため池の水面付近から水を採取し、COD（またはTOC）、SS、TN、TP、各種陽陰イオン、クロロフィルaなどの分析を行った。様々な日射条件や水質条件について検討を行うために、毎月1回を基本に、晴天日の続く時期や、初夏～晩秋のように水質成分の構成が比較的大きく変わる時期には適宜回数を増やして調査を行った。

2) 水の吸光特性および蛍光特性

分光吸光光度計（島津製作所 UV-1800）および分光蛍光光度計（同 RF-5300PC）を用いて、サンプリングした水のスペクトル別（190～1100nm，1nmピッチ）吸光特性ならびに蛍光特性の測定を行った。

3) 水面の近紫外光反射特性

近紫外波長透過フィルタ（透過ピーク360nm）を装着したデジタルカメラ（Nikon D70）をため池の堤体上に三脚を使って水平に設置し、水面全体が映るように撮影を用いて水面の近紫外撮影を行い、得られたJPG画像において青色として認識されたデジタルナンバー値を近紫外光に対する反射輝度（=DNUV）として見なし、画像内の水面部分のみを対象に平均DNUV値を算出した。（=その池の代表DNUV値とする）また、画像に対する日射条件の影響について解析できるように、同じため池において同一日の異なった時刻での撮影や、数日以内での異なった天候時での撮影も行った。

4) 日射の分光特性

分光測定装置 (Ocean Optics HR4000) を用いて、撮影時における日射の分光特性を測定した。

(2) データの解析

得られたデータをもとに以下の解析を行った。

1) 各水質成分と分光光度計を用いた吸光特性および反射特性との相関性

これまでの研究成果 (林ら, 2012) から、COD、クロロフィル a、SS の 3 項目において各成分濃度と吸光特性の間には高い相関が見られることが明らかとなっているが、反射特性 (蛍光特性) との間にも同様の相関が見られるかどうか検討した。

2) デジタルカメラによる DN_{UV} 値と水質との相関性

これまで得られた DNUV 値と水質との相関関係と同程度の結果が得られるかどうか改めて確認を行った。

3) DNUV と各水質成分との相関関係における日射条件による影響

同一ため池における同一日内での DNUV 値の時間的変化や、異なる日における DNUV - 各水質成分間での相関関係と日射条件 (日射量、分光特性など) との相関性などを解析し、日射条件による影響の定量化について検討した。

4) 日射条件の違いによる水面からの近紫外光反射特性への影響の除去方法の検討

例えば、同一日内のような水質的にはほぼ一定と見なせる間でも異なる時刻で撮影を行うと DN_{UV} 値が変化したり、あるいは水質の異なる複数のため池において、同一日の比較的近い時刻に撮影を行って得られた DN_{UV} 値と水質の間には非常に高い相関が見られる一方で、日が異なると回帰直線の傾きが比較的大きく異なってしまったりするといった問題点がこれまでの調査 (林ら, 2012) を通じて明らかとなっている。その主要因としては、日時や天候によって水面に到達する近紫外光の強度や入射角度が異なることや、水面の近紫外光反射率が常に一定とは限らないことなどが考えられる。こうした要因について、一つ一つ探りながら、なるべく簡便に補正 (影響の除去) できる方法について検討を行っていく。

(3) よりユーザーフレンドリーなソフトウェアの開発

本研究で開発しようとしている水質推定手法の基本的な仕組みは、デジタルカメラを使って近紫外光撮影によって対象水域の画像 (JPG フォーマット) を取得し、PC ソフトウェアを使って画像から水面部分のみをトリミングして、トリミングされた領域内にある各ピクセルから DN_{UV} 値を抽出し平均値を求

め、これに関数を適用して所定の水質指標を定量化するというものである。画像のトリミングや切り取られた画像からの DNUV 値抽出のプロセスでは、汎用的な画像処理ソフトやエクセルベ - スの VBA マクロを用いて作業の効率化を図っているが、PC 操作に不慣れな人にとっては、なお敷居の高いものであると思われるため、VB 言語を用いてよりユーザーフレンドリーな GUI の開発を行った。

4. 研究成果

(1) デジタルカメラによる近紫外撮影画像と COD 濃度

図 1 は同日に撮影を行った 6 つのため池における水面付近にて採取した水の COD と撮影によって得られた Blue の DN_{UV} 値 (= DN_{UV} 値) との関係を例示したものである。カメラのシャッター速度によって傾きが異なるものの、いずれの決定係数も非常に高くなっており、以前に得られた「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する」という結果と同様の結果が得られ、再現性が確認されたものと見せせると判断した。

また、水中の COD 濃度が高いほど、近紫外波長域における吸光度が高くなることが確認されていたが、COD 濃度に応じて蛍光度も高く、励起波長と蛍光波長に大きな違いがないという傾向が新たに明らかとなった。

以上を踏まえ、水中の COD 濃度が高いほど、とくに近紫外波長域における日射反射が強く、このことによって、近紫外撮影では「COD 濃度が高いほど明るく写る」のではないかと考察した。

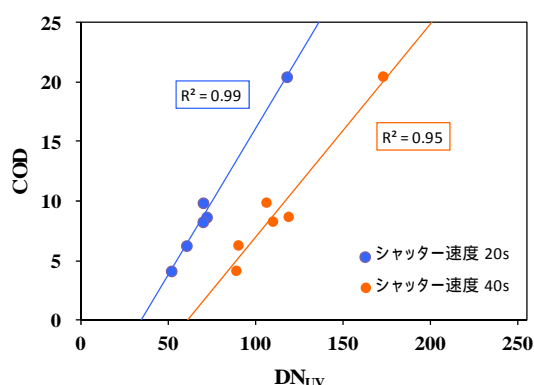


図 1 ため池の COD と DN_{UV} 値との関係

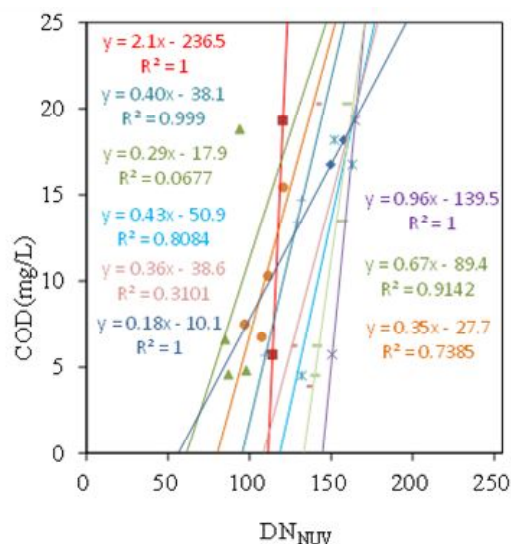
(2) 時刻、季節、天候等の日射条件の違いが撮影画像に及ぼす影響の除去方法

デジタルカメラによって得られた近紫外画像は、水面で反射した日光によるものである。したがって、時刻や季節、天候等が異なれば、日射量が異なるため、COD 濃度が同じであっても画像から得られる DN_{UV} 値は異なってしまう。本研究では、この問題を解決する方法としていくつかの検討を行った結果、撮影の際に青空部分 (太陽およびその周辺を避

け、なるべく雲が少ない部分)も同時に写るように撮影を行い、その画像から取得される DN_{UV} 値 (= DN_{sky}) を使って水面の DN_{UV} 値を基準化 (= DN_{NUV}) することによって、撮影日時ごとにばらつきが見られた COD と DN_{UV} 値との関係式が図2に示すように明らかに一致する方向に補正されることがわかった。

なお、他にも日射条件の違いによる撮影画像への影響をより強く除去できる方法もあったが、「簡便さ」を考慮すると上記の方法が最適であると判断した。

a)補正前



b)補正後

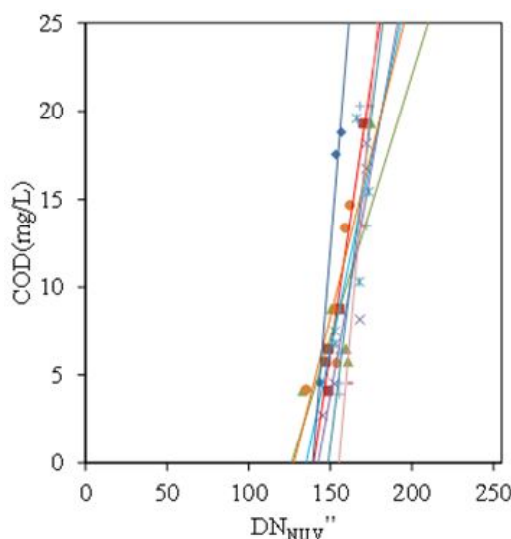


図2 日射条件の違いによる影響の除去効果

また、日射条件以外に、画像において、水面の乱れによって日光が乱発射して水面がキラキラ光る部分 (= ちらつき) が多い場合、水面の DN_{UV} 値が過大となり、また、 DN_{UV} の基準化に雲が多く写っている空の画像から取得した DN_{sky} を用いると精度が劣るといった問題点が見られたが、これらについては、近紫外画像における Green の DN 値 (= DN_G) が所定の値より大きくなるピクセルを除外して演算処理を行うことによって、その問題をあ

る程度除去できることが確認された。

(3)GUI の開発

VB 言語を用いて、PC 内に保存された画像を簡単な操作で読み込み、マウスをドラッグするだけで、空部分と水面部分を選択抽出でき、COD 濃度の推定とその結果に基づいて環境基準の類型表示もなされる GUI を開発した。図3はその実行画面を例示したものである。

なお、本研究を進める中で、近紫外画像ではなく、ノーマル画像でも水質評価を行える可能性が見出されたことから、GUI のプラットフォームは、ノーマル撮影と近紫外撮影の両方に対応できる仕様とした。



図3 水質評価プログラムの GUI 実行画面

< 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

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)

〔学会発表〕(計1件)

中桐貴生、大沢睦樹、堀野治彦、櫻井伸治、林友紀、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 年 9 月 5 日、東京農業大学(東京都世田谷区)

〔その他〕

水面のデジタルカメラ画像から水質を評価

できるアプリケーションソフトの開発

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

堀野 治彦 (HORINO, Haruhiko)
大阪府立大学・生命環境科学研究科・教授
研究者番号：30212202

櫻井 伸治 (SAKURAI, Shinji)
大阪府立大学・生命環境科学研究科・助教
研究者番号：30531032