

茨城県・茨城大学共同霞ヶ浦水循環・生態系解明プロジェクト

〔事業責任者〕

(自治体等側) 茨城県霞ヶ浦環境科学センター・センター長

福島 武彦

(大学側) 広域水圏環境科学教育研究センター・助教

増永 英治

連携先

茨城県霞ヶ浦環境科学センター

プロジェクト参加者

【茨城大学】

増永 英治 (茨城大学, 助教, 総括, 調査, 解析)

浅岡 大輝 (茨城大学, 理工学研究科 M1, 調査, 解析)

池田 雅 (茨城大学, 工学部 B4, 調査, 解析)

【茨城県】

福島 武彦 (霞ヶ浦環境科学センター, センター長, 総括)

湯澤 美由紀 (霞ヶ浦環境科学センター, 首席研究員兼湖沼環境研究室長, 総括)

北村 立実 (霞ヶ浦環境科学センター, 主任研究員, 調査, 水質分析, 解析)

小室 俊輔 (霞ヶ浦環境科学センター, 主任, 調査, 水質分析, 解析)

大内 孝雄 (霞ヶ浦環境科学センター, 主任, 調査, 水質分析, 解析)

【国土交通省】

番場 泰彰 (関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所, 環境調整係長, 調査)

【東京大学】

伊藤 幸彦 (東京大気海洋研究所, 准教授, 乱流調査)

堤 英輔 (東京大気海洋研究所, 特任助教, 乱流調査)

プロジェクトの実施概要

① プロジェクトの目的

霞ヶ浦は、琵琶湖に次ぐ国内第2位の湖面積を誇る湖として知られ、水資源として周辺の環境及び経済産業活動に大きな影響を与えている。しかしながら霞ヶ浦においては水環境問題が顕在化している。長年、湖内や流域で水質浄化対策を講じてきたにも関わらず、水質問題の抜本的な解決には至っていない。湖沼環境の悪化には、様々な要因が挙げられるが霞ヶ浦においては富栄養化に伴う諸問題が環境悪化の要因となっている。写真-1に示すような富栄養化によるアオコの大量発生による景観の阻害及び悪臭や、水質汚濁による生物への悪影響が顕在化している。



写真-1. (左) アオコ大量発生時の霞ヶ浦の漁港と (右) 夏季に頻繁に水面に見られる魚類の死骸 (撮影: 増永).

一般的な湖沼では窒素(以下 N)が生物(植物プランクトン)増殖に対する主要な制限要因であり、これまでに N の動態に関する研究は数多く行われてきた。湖沼への N の負荷は主に河川や土壌からの流入による。これに対して、りん(以下 P)は湖そのものが発生源となることがあり、特に貧酸素水塊(溶存酸素濃度 3mg/L 以下の

極めて酸素の低い水)と接触する湖底から溶出しやすい。富栄養化に伴う生物の大量増殖とそれに伴う酸素消費も重要な問題であるが、貧酸素状態による湖底からのPの溶出も水質改善をする上では考慮する必要がある。すなわち富栄養化が進行し底質にPが堆積する湖沼では、「藻類の増殖→沈降した藻類の呼吸・分解による酸素消費→貧酸素状態による底質からのPの溶出→Pの溶出による更なる富栄養化と生物増殖→…」といった負の連鎖フィードバックが発生していると考えられる。この連鎖が水質悪化の要因と考えられている湖沼が霞ヶ浦である。そのため貧酸素水塊が頻繁に発生する霞ヶ浦では、Nの負荷量に加えPの分布をモニタリングすることが生態系の把握や富栄養化の評価にとって重要である。

さらに湖水中における栄養塩や酸素の動態は化学・生物学的プロセスに加え、移流・拡散を伴う物理学的プロセスによってもコントロールされている。しかしながら湖沼における栄養塩の化学・生物プロセスは数km程度の大きなスケールで扱われており、小スケールで発生する物理プロセスによる影響が考慮されることはなかった。

霞ヶ浦は、主に3つの西浦、北浦、外浪逆浦から構成されており、本連携プロジェクトでは水質環境の改善が特に急務と言われる北浦を対象に水循環過程及び、湖沼内における水循環過程と循環に関わる栄養塩の動態について調査することを目的とした。

②連携の方法及び具体的な活動計画

湖沼や海洋における水循環や生態構造を解明するには、現地ですべて調査を行うことが必要不可欠である。また実地調査で得たデータを精密に解析・考察をすることが学術的及び社会還元的なアウトプットに必要である。さらに実地調査や地域への社会還元アウトプットには、調査地域を統括する自治体との連携が必要である。そこで本プロジェクトで

は、長年霞ヶ浦における水質調査の実績を持つ茨城県霞ヶ浦環境科学センターと流体现象の解析を専門に扱う茨城大学（増永研究室）が共同し、目的を達成するために連携する試みである。具体的には、茨城県が問題としている霞ヶ浦の富栄養化問題に対して、地球流体力学的な観点から大学側が調査手法の提案・指導を行い調査を進める。実地調査によって得られたデータについては、両機関の得意とする分野の解析を担当し、最終的に解析データを統合しアウトプットとする。例えば、化学分析に精通する茨城県は水質分析（NやP）を担当し、物理計測データ（水温や流速）は流体データ解析を得意とする大学研究室側で担当した。大学と県に加え、実地調査と助言を国土交通省、精密な乱流計測を東京大学の研究者に指導を頂いた。

③期待される成果

まず県と大学が共同調査を実施し、詳細な湖の物理構造を把握することで、これまで明らかとなっていなかった霞ヶ浦（北浦）における基礎的な水循環プロセスが把握できる。この水循環プロセスと化学的な反応を伴う富栄養化過程の関連性を調査し、物理学と化学を統合させた水・栄養塩循環構造が明らかとなる。

明らかとなった水循環過程に関わる富栄養化動態を、県や国に報告し、将来的な水環境対策への提案へ繋げる。例えば貧酸素発生のメカニズムを解明し、P溶出のタイミングが予測可能になればよりタイムリーな対策を講じることが可能である。また水や栄養塩循環の過程を漁業者と共有することで効率的な漁獲や養殖へ発展させられることが期待できる。昨今地球環境を取り巻く上で大きな問題となっている気候変動に伴う霞ヶ浦の環境の変化も、水循環や生態系構造が明らかとならなければ気候変動に伴う適応策にも生かすことが可能である。水循環過程解明に伴う環境対策提案が実現すれば、茨城県霞ヶ浦におけ

る富栄養化湖沼の対策を世界の同様な問題を抱える地域へ向けモデルケースとして発信することも可能である。

プロジェクトの実施成果

① 活動実績

本プロジェクトに関わる合同の調査・報告会等の実績を時系列順に下に列挙する。

4月12日：県・大学プロジェクト打ち合わせ（霞ヶ浦環境科学センター）

6月6～7日：夏季係留観測装置の設置，北浦内7箇所

6月12～14日：北浦集中実地調査

7月10～12日：北浦集中実地調査

7月18日：夏季係留観測装置の回収

8月7～9日：北浦集中実地調査

8月27日：茨城大学開講の公開臨湖実習5にて本プロジェクトによる連携調査を紹介

9月6日：調査報告会（茨城大学水戸キャンパス）

1月22～23日：冬季係留観測装置の設置

1月29～31日：北浦集中実地調査

3月7日：冬季係留観測装置の回収

上記以外の日程においても連携の上で県及び大学が個別に調査を実施している。

*以下は実施予定ではあったが，台風19号及び新型コロナウイルス感染防止の為に中止になった活動

10月18日：利根川周辺の水門調査

3月4～6日：北浦集中実地調査

3月13日：年度末成果報告会（霞ヶ浦環境科学センター）

本年度は連携初年度であるため，北浦における観測の基盤形成を第一に行った。まず県を中心に漁協と調整をはかり係留系設置の打診を行い，夏季と冬季に係留系を7点設置することに成功した。係留系は水温計及び流速計（ADCP）で構成され，水循環解明に必要な

不可欠な流況及び水温（密度）構造の計測を行った。7，8及び9月の集中観測では，最新型の曳航式観測装置 YODA Profiler を用いることで北浦全域詳細な物理・生物構造を把握することができた。また水の乱れの構造を調査する為に東京大学から伊藤幸彦准教授を講師として招き，乱流の計測法についてレクチャーをいただいた。集中調査では，茨城大学広域水圏環境科学教育研究センターの施設，調査船及び宿泊所を利用した。調査時の様子を写真-2,3に示す。また本年度の調査に加え過去に蓄積したデータについても連携して解析を行った。



写真-2. 乱流調査のレクチャーをする伊藤幸彦准教授（2019年6月7日）。



写真-3. 船舶調査の様子（2019年8月9日）。

本年度の連携調査及び解析により明らかとなった事項は以下の通りである。

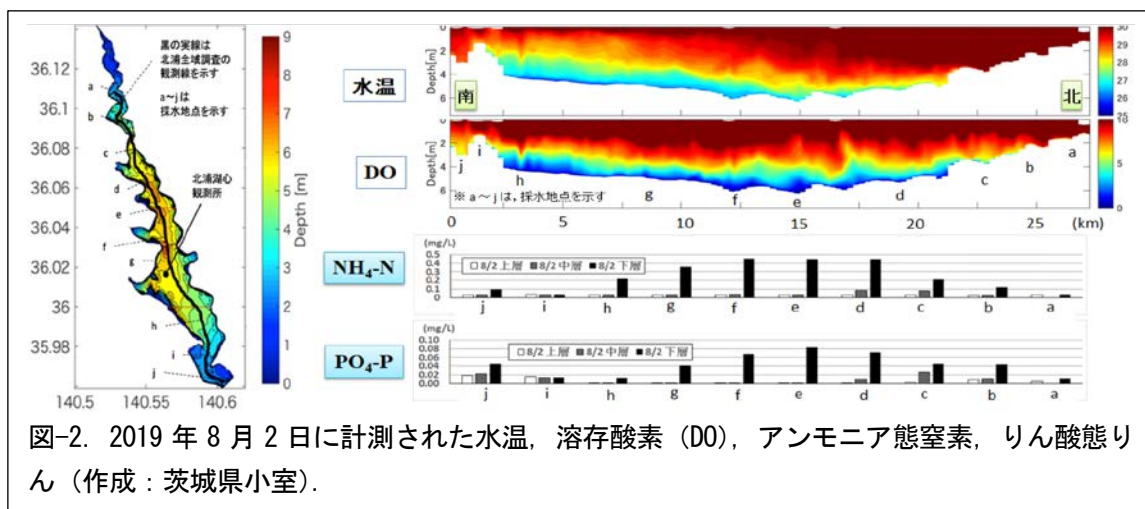
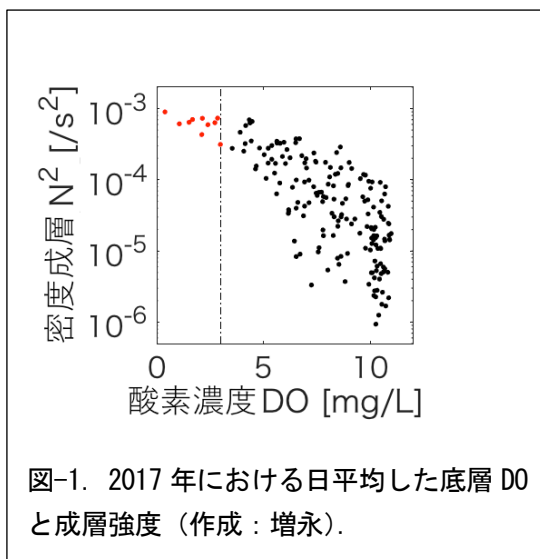
(1) 湖の混合状態が夏季の貧酸素水塊発生の要因となっていることが，過去数年のデータ解析の結果から明らかとなった。具体的に

は、上下層の水温成層（密度成層）が強くなると上層から下層への酸素供給が抑制され底層で貧酸素水塊発生の一因となることがわかった（図-1）。水温成層の強さは、湖面からの熱収支と風応力によって説明できることがわかった。これらの要因に加え夏季には湖底の底泥に熱が輸送され湖底付近の水温成層がより強くなることがわかった。

(2) 曳航式観測装置 YODA Profiler と水質分析を組み合わせることにより、詳細な物理構造に対応した栄養塩の分布が明らかとなった（図-2）。水温構造は、風や地形の効果によって湖内で均一に分布するのではなく空間・時間的に大きな変化を示していた。この物理（水温）構造に伴い、酸素分布も大きく変化しており、観測した物理構造が湖内の生態系に大きく影響を与えていると言える。物理構造の計測と並行して実施した採水と水質分析の結果からは、貧酸素水塊が確認された地点の湖底付近での栄養塩濃度（アンモニア態窒素及びりん酸態りん）が他の地点に比べ著しく高い値を示していることが明らかとなった。栄養塩が湖底付近で高濃度になった要因として、貧酸素水と湖底の接触に伴う栄養塩の溶出が要因であると考えられる。このことは、湖内で発生する物理的な水循環プロセスが栄養塩の動態に直接的に影響を与えてい

ることを示唆している。

(3) 湖内7箇所に設置した流速計による計測から、北浦の広範囲における流れの構造を把握することが可能になった。北浦では一部の水域を除き定常的な流れは非常に弱く、風による吹送流による流れが主な物質輸送の要因となっていた。一方、北浦下流部の神宮橋周辺では、常陸川水門の開閉の影響を強く受けていた。水門開口時には、神宮橋周辺で流速 0.2 m/s に達する強い流れを計測した。0.2 m/s 程度の流速は、底質の巻き上げを発生させる十分な流速であり北浦下流部の水質に強く関わりがあると考えられる。



これらの連携成果について議論する為に、年に2回程度(9月と年度末)の茨城県・大学合同での報告会を実施している。報告会には、県と大学のメンバーに加え国土交通省からの参加者からも意見を伺いプロジェクトを進めている。報告会の様子を写真-4に示す。2019年度末の報告会は新型コロナウイルス感染防止のために延期となったが、成果についてはEメールや電話を通じて共有・議論を行なっている。



写真-4. 報告会の様子(撮影:国土交通省)。

今年度の連携成果により発信した学術的アウトプットを下に記す。太字はプロジェクト参加者を示す。

・学術論文

Eiji Masunaga and, Shunsuke Komuro, Stratification and mixing processes associated with hypoxia in a shallow lake (Lake Kasumigaura, Japan), *Limnology*, (印刷中)。

増永 英治, 浅岡 大輝, 小室 俊輔, 松本 俊一, 小野 正人, 番場 泰彰, 沿岸地形と風応力が形成する複雑な密度構造と混合状態の高精度計測, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, 75/ 2, I_217-I_222 (2019年)。

・学会発表

Eiji Masunaga, Daiki Asaoka, Shunsuke Komuro, Shunichi Matsumoto, Masahiko Ono,

Hiroaki Banba, Mixing and baroclinic structure in a stratified shallow lake, Lake Kasumigaura, Japan, *JpGU Meeting 2019, May, 2019*。

Daiki Asaoka, Eiji Masunaga, Shunsuke Komuro, Shunichi Matsumoto, Masahiko Ono, **Hiroaki Banba**, Measurement of Physical structure in Kasumigaura using high resolution tow-yo instrument, *JpGU Meeting 2019, May, 2019*。

小室俊輔, 北村立実, 大内孝雄, 菊地哲郎, 湯澤美由紀, 福島武彦, 増永英治, 三野剛司, 番場泰彰, 北浦の貧酸素化及び栄養塩動態に関する研究①～広域高頻度観測による変動状況の把握～, 第54回日本水環境学会年会, 2020年3月。

② プロジェクトの達成状況

本年度は、プロジェクト初年度として茨城県と大学の連携体制を築き、北浦を水循環及び化学的な観点から網羅的に計測する観測手法の確立を行なった。その成果として、北浦全域にわたる水の混合状態及び栄養塩の分布を高解像で取得可能となった。連携した計測技術を築き、連携した解析手法を確立した上で学術的なアウトプットもあり、連携初年度としての目標は十分に達成されたとと言える。一方で、市民や漁業団体への成果の説明などが十分とは言えず、社会還元的な活用が課題として残った。

② 今後の計画と課題

来年度は、本年度築いた調査・解析体制を維持し同様な調査・解析を実施する。特に2019年度は冷夏・暖冬であったため典型的な湖の水循環・生態系構造を把握することは困難であった。複数年度にわたり調査を続けることで、気候変動的な要素も取り入れた解析を実施し、将来予測等の実用可能な解析データの蓄積を進める。また本年度は連携した

令和元年度戦略的地域連携プロジェクト報告書

解析が進んでいなかった冬季の調査データの解析も同時に進める。さらに不漁が続く北浦の詳細な状況については、茨城県水産試験場内水面支場らと連携のもと、漁協等の水産関係者へ解析データの説明を行い、科学的なデータと漁業の関係性についての考察を実施する。最終的には本課題の目標である水質改善への具体策の提言を行う。