



周辺水路から宮島沼への栄養塩流入 Nutrient inflow from creeks around the lake Miyajimanuma

古川 雄大¹・吉田 磨^{1,2,*}・中谷 暢丈^{1,2}
Yuta FURUKAWA, Osamu YOSHIDA, Nobutake NAKATANI

1 酪農学園大学大学院酪農学研究科

Graduate school of Dairy Science, Rakuno Gakuen University

2 酪農学園大学農食環境学群

College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University

* Corresponding author

Department of Environmental and Symbiotic Science, College of Agriculture, Food and Environment Science, Rakuno Gakuen University, Bunkyo-dai-Midorimachi 582, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan.

E-mail: yoshida@rakuno.ac.jp

Abstract

Lake Miyajimanuma is a wetland habitat located east of Bibai City and is a stopover site waterfowl therefore, this wetland is registered under the Ramsar Convention. Lake Miyajimanuma is surrounded by paddy rice fields and farmland. Due to nutrient loading from waterfowl and agricultural land, eutrophication is escalated at Lake Miyajimanuma. It has been previously suggested that the influence of agricultural land on the lake is stronger than that of waterfowl. To estimate nutrient loading from agricultural land, we evaluated the nutrient concentration and flow rates of four drainages from agricultural land and Ishikari River, which is a source of irrigation water. Based on these findings, we calculated TN and TP inflow. TN and TP inflow of one drainage with a small drainage area occupied by paddy rice fields were 16.4 T-N kg ha⁻¹ 0.24 T-P kg ha⁻¹. In another drainage with a large drainage area, TN and TP inflow were 2.83 T-N kg ha⁻¹ 0.04 T-P kg ha⁻¹.

1. はじめに

1.1 ラムサール条約登録湿地

近年、地球環境の保全に関する様々な国際会議において、生物多様性保全を重要視する動きが多い。1975年には、特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約（ラムサール条約）が、また、1995年には生物多様性に関する条約が発効された。その中でもラムサール条約は、渡り鳥にとって重要な湿地における保全を目的としている。生息域の損失やその他の脅威から、渡り鳥が地球規模で絶滅を危惧されている [呉地, 2007]。多くの渡り鳥の種は、繁殖、渡り、越冬において特定の地域の森林や湿地等が集まる傾向がある。しかし、特に高密度に水鳥が生息する湖沼および湿地では、水鳥由来の富栄養化が懸念されており [e.g., 中村ら, 2010]、湖沼の

富栄養は透明度の低下や底質への有機物堆積を通して水生植物の個体群衰退や絶滅の原因になる。すなわち湖沼の自然資源としての役割が失われる恐れがあるため、渡り鳥のみに着目するのではなく、湖沼および湿地保全の在り方を総合的に検討する必要がある。そのため元々は渡り鳥にとって重要な湿地における保全を目的としていたが、近年はラムサール条約が湿地条約と呼ばれるように、渡り鳥に限らず湿地から得られる恵みを保全するための条約となってきた。

1.2. 宮島沼

宮島沼は北海道美瑛市西端に位置するラムサール条約登録湿地であり、水面積は約 30 ha、平均水深 1.7 m と浅い湖沼である。マガンの中継地として国内最大であり、毎年 4 月下旬から 5 月上旬、9 月中旬から 10 月下

旬に飛来し、飛来数は7万羽を超え、年々増加する傾向がある [宮島沼の会, 2013]。マガンは宮島沼周辺農地で田んぼの落ち穂を食料としているが、穂が出る前の小麦を食べてしまうことから周辺農家からは嫌厭されることがあった [宮内, 2009]。その対策としてマガンの食料となる落ち穂をあらかじめ準備し、マガンによる食害をできるだけ軽減するよう努めている。

一方で、渡り鳥の糞尿や周辺農地の農業排水により、宮島沼は富栄養化が深刻化している事が報告されている [中谷ら, 2014]。宮島沼周辺は、農地で用いられる用水を流す用水路と、農地から出される排水を流す排水路を完全に分離する用排分離方式を含めた圃場整備が行われ、当初は水田として開発されたが、1970年以降は

汎用化政策により畑地への変換が進んでいる。水田ではうるち米が栽培され、畑地では小麦や大麦が栽培されている。Fig. 1に示すように、宮島沼から北に約3 kmほど離れた距離に石狩川があり、そこに設置された大富揚水機場にて石狩川から水を引き込み (IS01)、IS02-04の各用水路を経て周辺の畑地や水田に灌漑している。宮島沼への流入は4箇所あり (IN01-04)、それぞれが周辺農地の排水路に繋がっている。それぞれの排水路は決められた集水域からのみ排水し、その面積は452,441 m²に及ぶ。水田や畑地の農業排水は、夏季において沼の水を涵養している [山梨・矢沢, 2003; 山梨・高橋, 2008]。

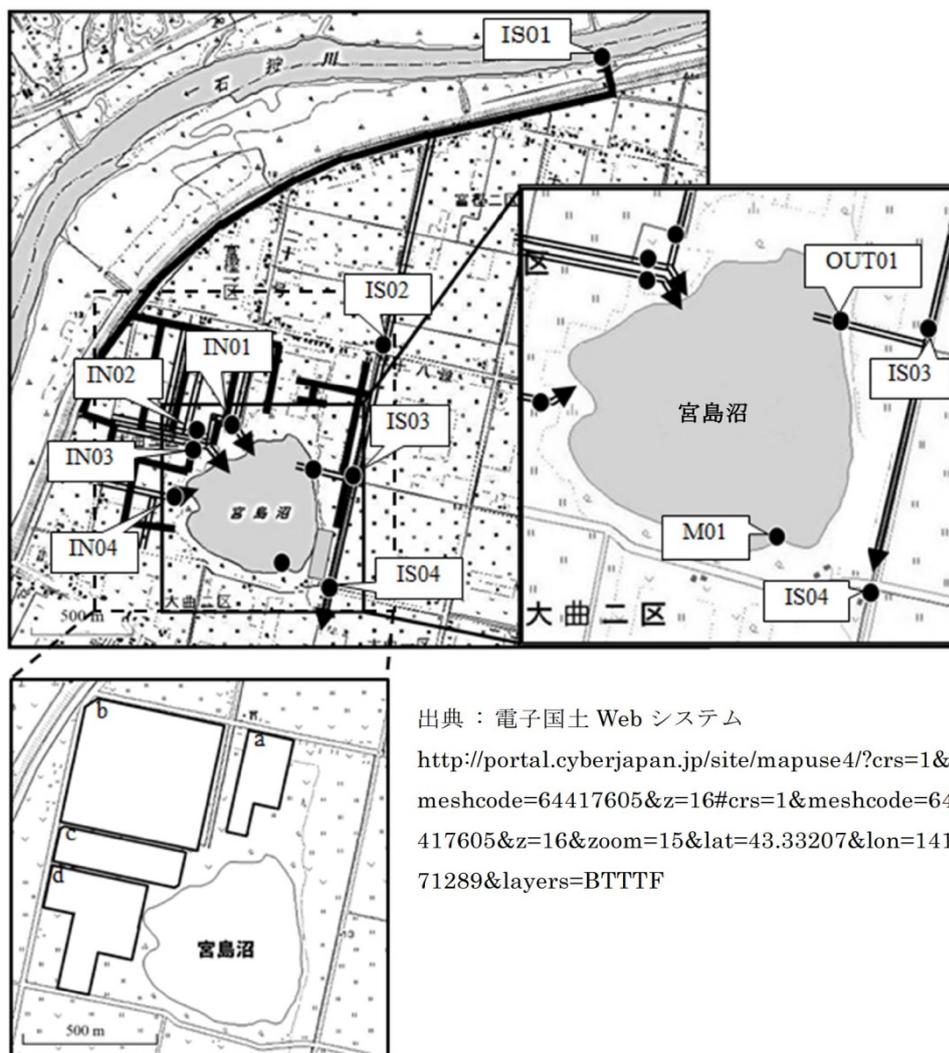


Fig. 1 Observation points, agricultural irrigation creeks, and water catchment areas around the Lake Miyajimanuma. The bold line shows Ishikari river water, and the doublet shows agricultural drainage water.

1.3. 宮島沼における過去の研究成果と本研究の目的

2010年の5月と10月の渡り鳥の飛来期に流入水路においては全窒素 (TN)、全リン (TP) 濃度は共に上昇傾向にあったが、湖心においては渡り鳥の飛来期ではない8

月にTN濃度が高くなっていることから、周辺農地からの栄養塩の流入が考えられている [吉田, 未発表データ]。中谷ら [2014] は、2011年及び2012年における観測結果から渡り鳥による湖沼単位面積当たりのリン負荷

量をそれぞれ5.04および4.40 g T-P m⁻² y⁻¹ と見積もり、これらの値は、農業用水に由来するリンの負荷量 1.20 および1.67 g T-P m⁻² y⁻¹ に比べ大きいことが示された。Vollenweider Input – Output model [Vollenweider, 1975] によると、湖沼単位面積当たりのリン負荷量が0.3 g T-P m⁻² y⁻¹以上である場合においては富栄養化を引き起こし得るといわれており、渡り鳥の影響よりは小さいが、農業用水からの負荷だけでも十分富栄養化させている可能性がある。

過去の研究において渡り鳥以外での宮島沼に流入する栄養塩の定量化は、あくまで宮島沼とその周辺を議論した宮島沼水収支全体のみで行われており [e.g., 木塚ら, 2012]、周辺農地の状況や農地に引き込まれる河川水中の栄養塩濃度は考慮されていなかった。そこで本研究では、石狩川から取水し農地への用水として用いられる大富揚水機場及びその河川水を用いた各用水路での観測より、農地からの栄養塩の流出量及び富栄養化への寄与を明確にすることを目的とした。これにより周辺農地における施肥量調整が可能となれば、宮島沼の富栄養化を減少させられる可能性がある。

2. 方法

2.1. 調査地および観測方法

2013年6月9日、6月25日、7月14日、9月1日、10月6日、10月27日に、Fig.1の測点において観測を行った。流入水路 (IN01-04)、突堤 (M01)、流出水路 (OUT01)、石狩川大富揚水機場とその幹線水路 (IS01-04)

においては表面採水用バケツを用いて採水を行った。なお、前述のように流入水路は全て農業排水路と繋がっている。

2.2. 観測項目

TN 濃度、TP 濃度、水路流量を測定した。水路流量は現場で河川用電磁流速計 (JFE アドバンテック, AEM1-D) を用いて水路における流速を測定し、水路断面積をかけることによって算出した。採取・分析は 50 mL ポリプロピレン製ボトルを用いて、吉田ら [2011] に基づき、TN 濃度はスルファニルアミド・ナフチルジアミン発色法、TP 濃度はモリブデン・ブルー法を用いて栄養塩濃度を測定した。なお天候等による現地での都合のため、全ての観測日で全ての観測項目が実施できない場合もあった。

3. 結果

3.1. TN 濃度

石狩川及び幹線水路における TN 濃度を Fig. 2 (a) に示す。幹線水路での IS02 および IS04 において、9月上旬での濃度が高くなる傾向がみられた。

流入水路における TN 濃度を Fig. 2 (b) に示す。9-10月に IN02 および IN04 において他観測日と比べ高濃度であった。

湖内及び流出水路における TN 濃度を Fig. 2 (c) に示す。9月、10月における M01 は OUT01 よりも低かった。

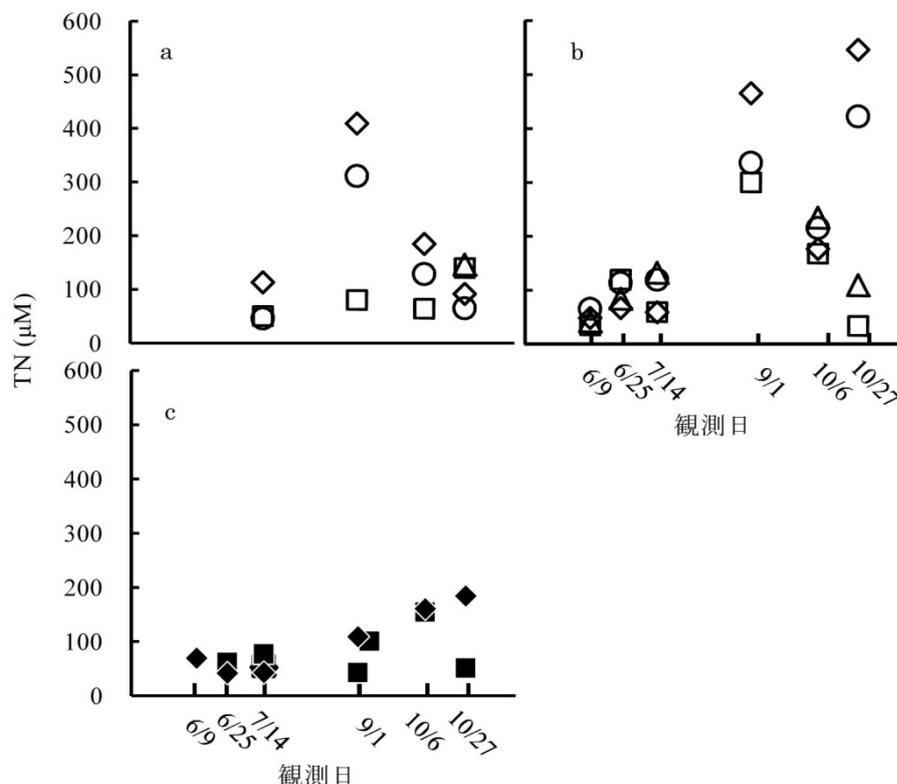


Fig. 2 TN concentration (μM) in 3 rivers; (a) Ishikari River and irrigation lines in IS01 (\square), IS02 (\diamond), IS03 (\triangle), IS04 (\circ), (b) 4 drainages in IN01 (\square), IN02 (\diamond), IN03 (\triangle), IN04 (\circ), and (c) Lake Miyajimanuma and outflow line in M01 (\blacksquare), OUT01 (\blacklozenge).

3.2. TP 濃度

石狩川及び幹線水路における TP 濃度を Fig. 3 (a) に示す。IS04 では 10 月に濃度が低かった。 流入水路における TP 濃度を Fig. 3 (b) 示す。6 月 25 日において全測点で濃度上昇がみられた。以降の 7 月 14 日から濃度

が低くなる傾向がみられた。

湖内及び流出水路における TP 濃度を Fig. 3 (c) に示す。M05 における TP 濃度は 7 月に高くなり、9 月以降から低くなる傾向がみられた。

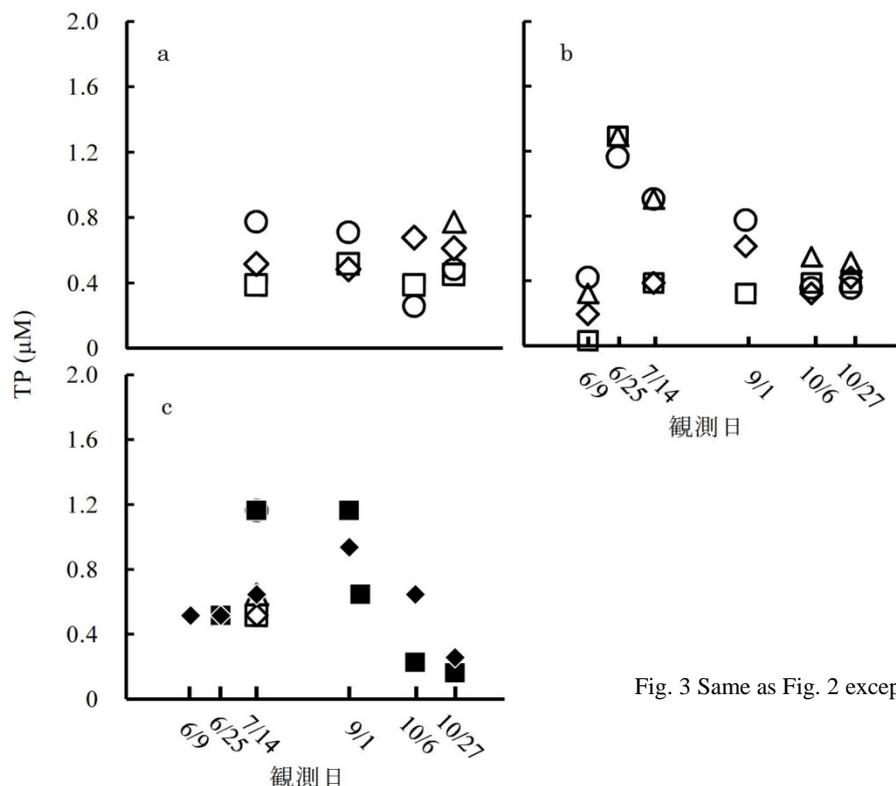


Fig. 3 Same as Fig. 2 except for TP concentration (μM).

3.3. 流量

流入水路における流量の変化を Fig. 4 に示す。9 月 1 日から大富揚水機場が取水を止めるため、渇水期に入る。そのため流量が急激に減少した。

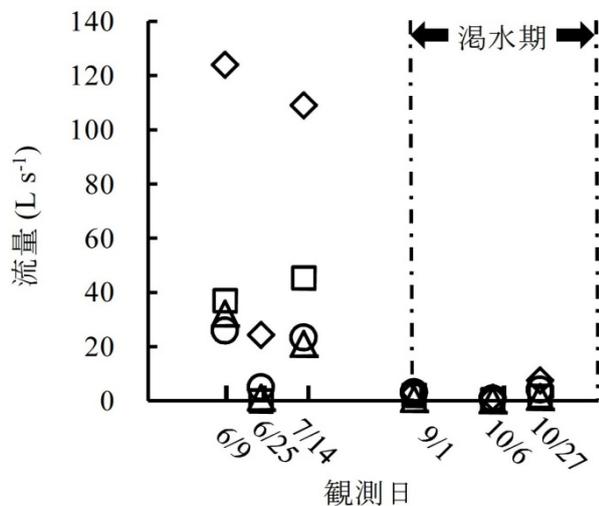


Fig. 4 Same as Fig. 2 except for Flow rates (L s^{-1}).

4. 考察

4.1. 流入水路における TN、TP 濃度

IN02 および IN04 における流入水路水中の TN 濃度は、秋期において他測点に比べ高いが、TP 濃度では各測点に大きな変化はみられなかった。秋期に流入水路水中の TN 濃度が上昇したのは、灌漑の停止に伴い、流入水路の流量が大幅に減少したことが一因として考えられる。しかし IN01 および IN03 は反対に秋期に TN 濃度が低下しているが、農地の利用方法の違いからと考えられる。

6 月から 7 月にかけて IN02 における流量が他測点よりも高いことから、宮島沼の水源として IN02 の集水域は、大きな影響力があると考えられる。そこで、各流入水路における TN、TP 濃度と流量から宮島沼へ流入する TN、TP の量を算出した。観測期間内で観測を行っていない日のデータは最も近い観測日のデータを外挿し、全体として観測期間総量として評価した。また、石狩川から用水を伝って、周辺農地へ TN・TP がどれだけ流入しているかも同様に算出した。農地では雨水や蒸発散、地下への浸透が考えられるが、ここでは石狩川から取水した用水の流量は宮島沼への流入水路の流量と等しいと仮定した。これらを使い、宮島沼への栄養塩流入に対する周辺農地の影響を求めた。

4.2. 石狩川から周辺農地への影響

宮島沼へ流入する水路 (IN01-04) は、全て宮島沼周辺農地を經由しており、宮島沼に対して農地排水の影響がある。しかし、周辺農地に用水として利用されている石狩川河川水に元々含まれている栄養塩について過去の研究では考慮されていなかった。灌漑用水以外にも前述のように農地では雨水や蒸発散、地下への浸透が考えられるが、雨水による栄養塩の負荷はほとんどなく、地下への浸透は、宮島沼への地下水流入を算出した木塚ら [2012] によると宮島沼への流入量全体の 1% であり、観測年は異なるが本論文では農地から地下を經由した流入はほとんど影響がないものとした。そこで石狩川からの影響を明確にするため、観測期間中における宮島沼への流入水路における流量および IS01 における TN、TP 濃度から、石狩川による周辺農地への影響を評価した。なおリンは農地からの出水時に懸濁態として流出する

といわれており影響が考えられるが、本論文では観測日のみのデータから評価した。

石狩川から周辺農地への TN・TP 流入量を Fig. 5 (a, b) に示す。IN02 における TN・TP の流入量は 230 T-N kg、3.75 T-P kg と他流入水路よりも多い。これは Fig. 1 から分かるように、IN02 のもつ集水面積が、他測点の持つ集水面積よりも広いため必要とされる農業用水が多いからである。また IN03 における TN・TP 流入量は 45.3 T-N kg、0.73 T-P kg と最も少ない。農地面積が関係しているように考えられるが、IN01 と IN04 においては IN04 のほうが農地面積が広いにも関わらず、IN01 の方が流入量が多いことから、農作物によって必要な農業用水が異なることが考えられる。各流入水路からの栄養塩流入量の違いを説明するためには、集水面積に占める水田と畑地の割合を比較する必要がある。

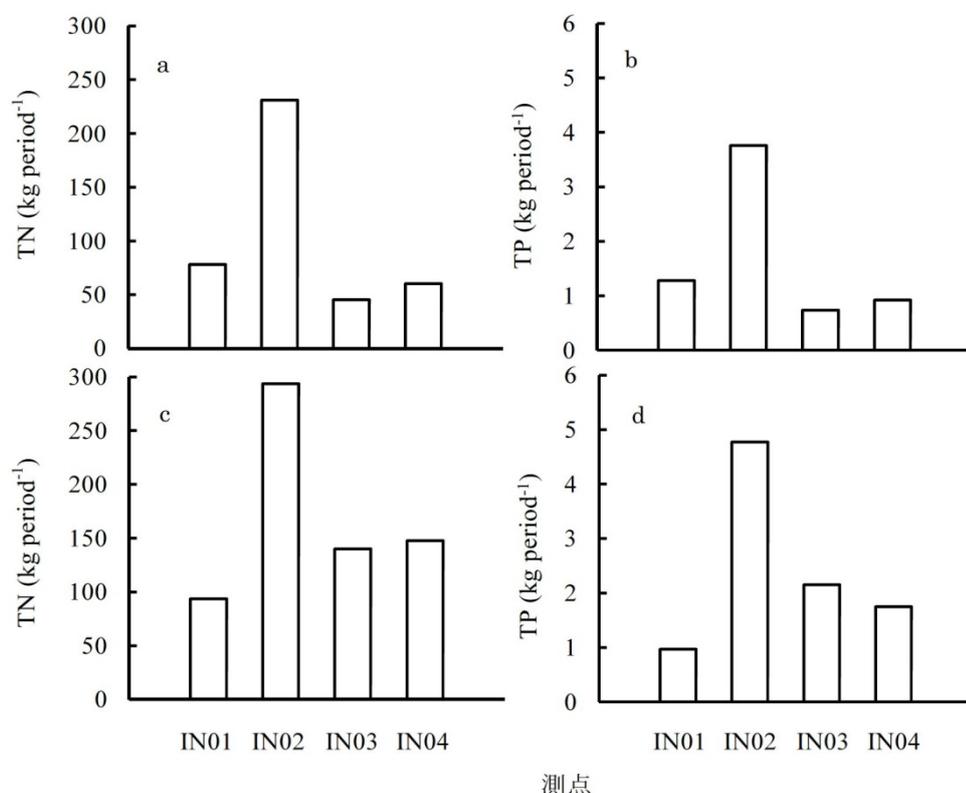


Fig. 5 (a) TN inflow (kg) and (b) TP inflow (kg) from Ishikari River to farmland, (c) TN inflow (kg) and (d) TP inflow (kg) from 4 Drainages to Lake Miyajimanuma.

4.3. 各流入水路における宮島沼への影響

各流入水路における影響を求めため、観測期間合計での流入水路の流量、TN・TP 濃度から宮島沼への TN、TP の流入量を求めた。

流入水路から宮島沼への TN・TP 流入量を Fig. 5 (c, d) に示す。各流入水路からの流入量でも IN02 において 293.7 T-N kg、4.77 T-P kg と最も多い事が分かった。また、集水域の農地面積が最も狭い IN03 では 140 T-N kg の流入量を示し、IN04 の 147 T-N kg よりも僅かに小さかった。IN03 の TP 流入量は IN02 の 4.77 T-P kg に次ぐ

2.15 T-P kg を示した。IN03 は集水域の農地面積が IN02 の約 4 分の 1 の広さでありながら、TN・TP 流入量は IN02 の半分ほどであった。このことから、IN03 は集水域の農地面積の割には、宮島沼への栄養塩流入の影響が比較的大きいことが示唆された。

4.4. 宮島沼周辺農地からの TN、TP 流入量

各流入水路から宮島沼に流入する栄養塩量から、各流入水路の集水域の農地に供給される栄養塩量を差し引くことで、宮島沼への栄養塩流入に対する周辺農地の影響を求めた。周辺農地から宮島沼への TN、TP 流入量を

Fig. 6 に示す。

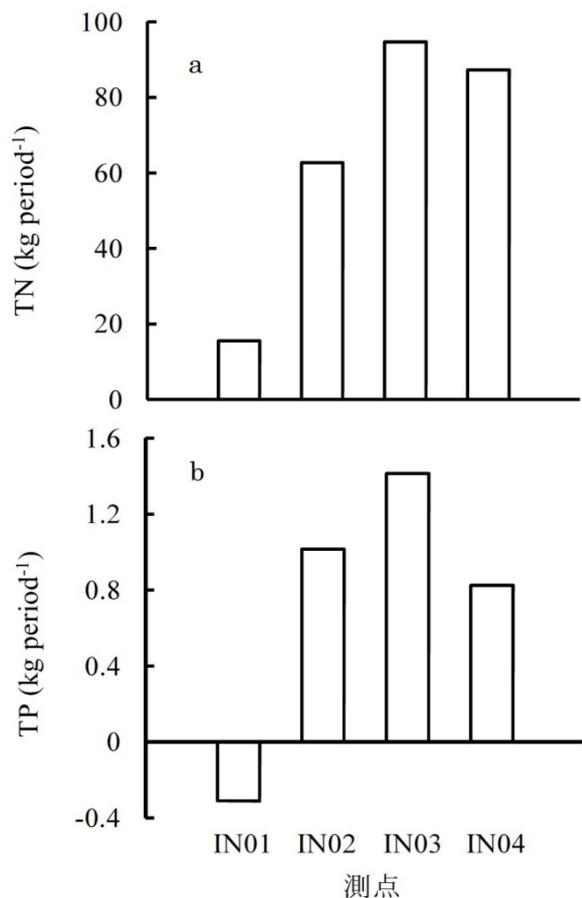


Fig. 6 (a) TN inflow (kg) and (b) TP inflow (kg) from farmland to Lake Miyajimanuma.

各流入水路の中で最も宮島沼へ影響を与えるのは IN02 であったが、TN、TP 流入量のほとんどが石狩川からの TN、TP によるものであり IN02 の集水域の農地が与える影響は 62.7 T-N kg、1.01 T-P kg と、最も集水面積の狭い IN03 よりも小さいことが明らかである。IN03 における TN、TP 流入量は 94.6 T-N kg、1.41 T-P kg と他測点よりも高いことから、宮島沼への影響が最も高いといえる。IN04 では TN 流入量が 87.2 T-N kg と IN03 に次いで高いことから宮島沼への影響が大きいといえる。また IN01 での TP 流入量が -0.31 T-P kg を示すことから、IN01 においては石狩川からの TP 流入量が僅かながら軽減されていることが明らかになった。

また、栄養塩流入量に及ぼす農地面積の影響を除外するために、集水域の農地の単位面積当たりの流入量を Fig. 7 に示す。単位面積当たりの流入量が最も多かったのは IN03 であった。次に流入量が多かった測点は IN04 であった。IN01 および IN02 ではどちらも流入量が少ないことが分かった。

4.5. 宮島沼周辺農地における土地利用

Fig. 8 および Table 1 に各集水域における水田および畑地面積を示す。宮島沼の周辺農地における集水面積と TN、TP 流入量に相関がみられないことから、各集水域

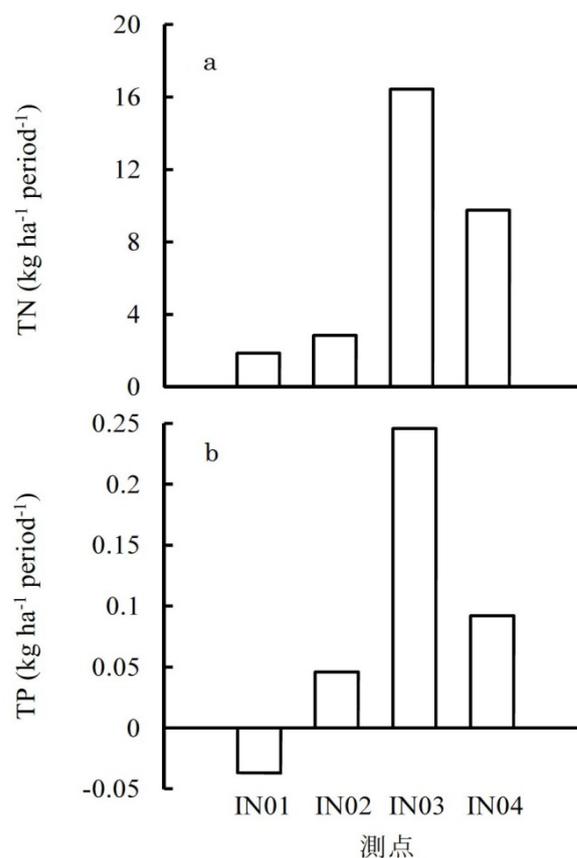
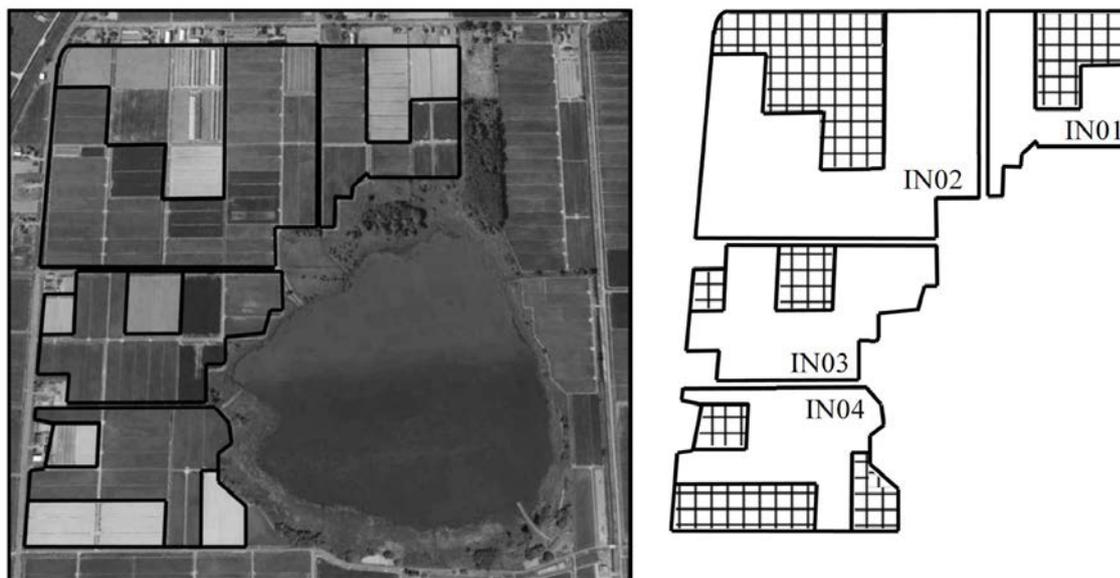


Fig. 7 (a) TN inflow (kg ha⁻¹) and (b) TP inflow (kg ha⁻¹) from farmland to Lake Miyajimanuma per unit area.

の土地利用を解析した。解析は周辺農地における集水域の航空写真から水田および畑地を判別した。なお航空写真の撮影日は明らかになっていないが、少なくとも観測年前後で畑地と水田が入れ替わっている農地は解析範囲に無いことを確認した。また使用した航空写真は画面上端にいくにしたがって縮んでいるため、面積比算出の際はその影響がないように補正した。

面積の大きさに関わらず IN01、IN02、IN03 では水田の割合が高かった。IN01 および IN02 における田畑の面積比はほぼ同様であった。これは Fig. 7 (a) における IN01 および IN02 の単位面積当たりの TN 流入量がほぼ差がなかったことと関係があると考えられる。IN03 ではより水田の面積割合が高く (集水域全体の 78%)、畑地の面積割合が低い (同 22%) 集水域であった。以上のことから、水田の面積によって TN、TP の流入量に変化があると考えられるが、IN04 においては他集水域と比べ、畑地の割合が多いにもかかわらず、単位面積当たりの流入量が IN03 に次いで多いため、水田と農地の割合との関連性を見出すことができなかった。観測日以外で農地から栄養塩が流出していることもあり、前述のように特に懸濁態物質として流出している可能性があり、観測の連続性が課題である。



画像 © 2014 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe.

Fig. 8 farmland sections of paddy rice fields (□) and farmland (■) per unit area

	面積比(%)		面積 (ha)	
	水田	畑地	水田	畑地
IN01	67	33	5.62	2.76
IN02	69	31	15.2	6.85
IN03	78	22	4.49	1.26
IN04	58	42	5.19	3.75

Table 1. size and area ratio per unit area in farmland.

5. 結論

宮島沼の周辺農地における TN、TP の流入において、IN03 の集水域が最も宮島沼へ影響を持つことが明らかになった。また石狩川取水時 (IS01) の栄養塩濃度が高く、IN02 における TN、TP の宮島沼への流入に石狩川での濃度が大きく関係していることが分かった。単位面積当たりの TN、TP の流入量から、農地面積のみならず農地が水田なのか畑地なのかによって大きく影響が異なると考えられ、各集水域における水田と畑地の割合を調べた結果、水田の割合が多い集水域ほど、単位面積当たりの流入量が多いことが示唆された。

周辺水田における栄養分が豊富な水が、宮島沼の富栄

養化を招いているとされていたが (吉田, 未発表データ)、単位面積当たりの TN 流入量の結果をみれば必ずしもそうとはいえず、畑地か水田かといった周辺農地の状況によっても宮島沼への影響を与える度合いが異なることがわかった。イネ科の植物による栄養塩の固定によって、窒素等を消費し、宮島沼へ高い濃度の栄養塩が入ることを制限する可能性もあったが、本研究結果からはむしろ水田の割合が高い農地からの方が栄養塩負荷が高かった。一部の農地では栄養塩の除去機能を持っていたが、集水域全体で見れば、栄養塩の負荷源となっており、宮島沼の富栄養化に対して周辺農地の影響があることは明らかである。今後は各農地での施肥や代掻

き等の状況も考慮し、これらの影響を観測できる体制を整え、宮島沼への農地からの影響を詳細に見積もる必要がある。これらの結果から詳細な栄養負荷の状況が明らかになれば、将来的には宮島沼周辺農地における施肥量調整にもつなげられると考えられる。

謝辞

宮島沼湿地センターの牛山克巳さんと岡野香子さん、ふゆみずたんぼ・慣行田の管理をされている坂本一弘さんには本研究を行うにあたり観測場所や周辺農地の情報を提供していただき、多くの面でサポートしていただきました。心から感謝し御礼申し上げます。

2名の査読者から大変数多くの建設的で貴重なコメントを頂き、本稿を大幅に改定することができました。深く感謝申し上げます。

参考文献

木塚 俊和, 山田 浩之, 平野 高司 (2012), 石狩泥炭地 宮島沼の水・物質収支に及ぼす灌漑の影響, 応用生態工学, 15, 45-59.
呉地 正行 (2007), 水田の特性を活かした湿地環境と地域循環型社会の回復: 宮城県・蕪栗沼周辺での水鳥と水田農業の共生をめざす取り組み, 地球環境, 12, 49-64.

中村 雅子, 矢部 徹, 石井 裕一, 木戸 健一郎, 相崎 守弘 (2010) 河畔林にカワウコロニーが存在する小規模池沼の極端な富栄養化, 陸水学雑誌, 71, 83-87.

宮内 泰介 (2009) 北海道美唄市大富地区の自然と地域社会・ラムサール条約登録湿地宮島沼の周辺で, 北海道大学文学部地域科学演習調査研究報告書. 87 pp.

宮島沼の会 (2013), 2013 年春 渡り鳥飛来報告, 宮島沼の会事務局.

中谷 暢丈, 音道 まりん, 吉田 磨, 牛山 克巳 (2014), 北海道宮島沼における水質汚濁の現状と渡り鳥由来のリン負荷量の推定, 湿地研究, 5, 15-23.

Vollenweider, R. A. (1975) : Input-Output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology, Hydrogie, 37, 57-84.

山梨 光訓, 矢沢 正士 (2003), 宮島沼の水文環境 (1), J. Environ. Sci. Lab., 10, 47-52.

山梨 光訓, 高橋 義博 (2008), 宮島沼の水文環境 (2), J. Community Cooperative Res. Center, Senshu Univ., 3, 67-72.

吉田 磨, 今井 翔, 窪田 千穂 (2011), 地球の測り方, 一中原 准一教授退職記念論文集 一酪農学徒として考えてきたこと一 159-169.