

24. 小笠原母島における水道水源貯水池の水質保全に関する研究

山崎 公子^{1*}・小泉 明¹・関 丙大²・大塚 宏幸³

¹正会員 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 (郵便番号192-0397東京都八王子市南大沢1-1)

²学生会員 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 (郵便番号192-0397東京都八王子市南大沢1-1)

³小笠原村母島支所 (〒100-2211 東京都小笠原村字元地)

* E-mail: nosu@tmu.ac.jp

水道水源貯水池の富栄養化は浄水処理における問題となる。小笠原母島の乳房ダムでは、富栄養化対策として2007年2月に植栽筏を実験的に設置し、2年後に本格導入した。本論文は、植物の収穫量から算定された全窒素と全リンの除去量と水質測定結果から、実施された植栽筏を用いた水質保全について検討評価したものである。さらに、過去のデータの蓄積がない全窒素、全リンを対象に、過去に測定された複数の水質項目を説明変数とする非線形重回帰推定式を作成し、水質分析手段が限られた離島での全窒素、全リンの簡易的な推定方法を提案した。また、この推定式をもとに、過去の全窒素、全リンの濃度を逆推定し、貯水池の富栄養化の状態を時系列的視野で把握した。この研究で得られた知見は、他の離島や過疎地、発展途上国等、水質分析手段が限られる地域における貯水池の水質管理に応用可能と考える。

Key Words : water quality control, reservoir, multiple regression analysis, total phosphorus, total nitrogen

1. はじめに

東京都小笠原村は、東京港から1,000km南に離れた小笠原諸島にある。小笠原村は数多くの島で構成されているが、村民が居住しているのは、父島、母島の2島である。母島では、水道専用貯水池である乳房ダムが唯一の水源地である。乳房ダムでは毎年アオコの発生が確認されカビ臭が発生するため、対策として浄水処理の際に粉末活性炭が使用されている。凝集剤や活性炭等の浄水に必要な資材は船で運ばれるため、資材費の他に高額な輸送費がかかる。したがって、水道原水の水質の悪化は、浄水費用の増加につながる。乳房ダムには水質保全のため循環曝気装置が設置されている。貯水循環による水質保全は、表層で繁殖した藻類を底層に移動させ、藻類の増殖を抑制する効果もある¹⁾とされているが、小笠原の貯水池は平均水深が10m程度と浅く、貯水循環による藻類抑制効果は期待できない。さらに、例年、アオコの発生が確認されると、表層に多く存在するアオコが貯水全体に拡散し、水道原水の藻類の含有量が増加するのを防ぐため、循環装置を停止させるという対策をとっている。

アオコ発生の要因とされる全窒素、全リン濃度は、乳房ダ

ムではともに高く、過去に実施された水質調査結果では、全窒素濃度0.7mg/L、全リン濃度0.15mg/Lと生活環境の保全に関する環境基準の湖沼Ⅳ類型もしくはⅤ類型の基準値を超える濃度である。そこで、窒素・リン濃度を水道3級である湖沼Ⅲ類型基準値以下に維持する水質改善が懸案事項となっている。乳房ダムに流入する沢の流域には、人家や耕作地はない森林地域である。国内の森林地域の河川水の多くは、全窒素、全リン濃度は乳房ダム流入水に比べて低い。琵琶湖流域の森林流出水の平均全窒素濃度は0.1-0.8mg/L、平均全リン濃度は0.006-0.013mg/L、奥多摩の森林河川の平均全窒素濃度は0.55mg/L、平均全リン濃度は0.009mg/Lと、全窒素濃度は乳房ダムと同様の値のところもあるが、全リン濃度ははるかに低い値である^{2,3)}。しかし、乳房ダムに流入する沢は亜熱帯樹林地域にあり、高温多湿の気候のため腐葉土となった落葉等の植物の遺骸が堆積している中を流下していることが原因で、全窒素、全リン濃度が高くなっていると考えられている。

一般に、貯水池の富栄養化対策は、流域の排水を中心とした点源汚染対策である。しかし、乳房ダムの流域には、点源汚濁源はなく、流域の森林からの流出を中心とした面源汚

濁で、流域は急峻な山地となっているため河川直接浄化等の流入水対策は難しい。したがって、貯水自体の浄化もしくは藻類発生抑制を行うこととなる。富栄養化が進むと、増加した藻類の内部生産により有機物質が増加し、さらに藻類が増殖するという悪循環となるため、以前から、遮光による藻類発生抑制等の藻類対策を検討してきたが、地形、気象等の条件が悪く導入には至っていない。

このため、離島という制約条件下での費用、管理の問題等を考慮すると、水生植物を利用した水質浄化が乳房ダムにとって最適な水質改善策であると考え、2007年2月、植栽筏を乳房ダムに実験的に設置した。植物による水質浄化は急激な水質改善効果は期待できないが、継続していくことで少しずつ水質改善されると考えられる。約1年間の水生植物の採取量や育成状態から、水生植物を利用した水質浄化が有効であるとして、2009年3月に本格導入に踏み切った。

本論文では、乳房ダムに設置された植栽筏について、その効果、問題点等を抽出し、乳房ダムでの水質保全効果について検討評価することを目的とする。以下、2.では乳房ダムの概略、植栽筏実験、貯水水質変化について実験結果を示し考察する。3.では、得られた水質測定結果を用いた全窒素、全リン濃度の推定方法の提案を行う。4.では、3.で得られた全窒素、全リンの推定式により、実験開始以前の全窒素、全リン濃度を推定するとともに、空芯菜採取量を用いて水質のシミュレーションを行い、乳房ダムでの植栽筏による水質浄化効果についての考察を行う。

2. 対象地域及び実験の概要

(1) 対象地域の概要

本研究の対象である乳房ダムがある母島は、小笠原諸島の母島列島の主島で、小笠原諸島中父島に次ぐ第二の島で父島の南、約50kmの位置にある。面積は20.2km²、人口は約400人、南北に縦貫道路が通り、南部の沖港が母島の玄関口で、周辺に小笠原支庁母島出張所、村役場出張所がある。島唯一の集落、民宿、旅館も沖港を囲むようにしてあり、父島との連絡船もここに到着する。図1に島の概略図を示す。亜熱帯性気候で、年平均気温は約23℃、気温の日格差が少なく、相対湿度の高い海洋性気候である。平均年間降水量は約1,200mmであるが、1978年～2007年の30年間で690～1,600mmと年毎の格差が大きい。小笠原の土壌は、本土と比べると極めて特徴的で、サンゴ礁の隆起した地域に見られる集塊岩の風化によるラテライト状の赤色土が主体であり、同緯度の沖縄の土壌とも異なっている。主な特徴は、粘土化が顕著であり(重粘土、粘土含量45%以上)、塩基飽和度が高いこと、さらに乾性の土壌が多く、降雨があれば粘性が強くなり、乾けば固くなることである。

小笠原諸島は、東洋のガラパゴスともいわれ、海に囲まれた離島であるため小笠原固有の希少生物が多く存在し、母

島でも生態系の維持に努めている。

乳房ダムは有効貯水量32,000m³、湛水面積 5,520m²、水深10m、集水面積 500,000m²の小規模なダムである。乳房ダムの流域には人家、耕作地はなく、農業と漁業、観光が主産業であることから、大気汚染を引き起こすような工場も存在しない。ダム下流の集落にある清掃工場は、生ごみのコンポスト化による処理だけを行っている。その他の廃棄物は50km離れた父島の清掃工場に輸送して処理している。したがって、大気汚染を原因とする降雨による水質への影響はないと考えられる。

(2) 実験の概要

実施された水生植物による浄化は、水中の窒素、リンを肥料として吸収し成長する水生植物を使用する浄化方法である⁹⁾。植生管理により植物を水域外に除去することで栄養塩の除去を行う。母島の気候は、1年を通して植物の栽培に適していることから、植物による水質浄化の効率は良好であると予想できる。しかし、先にも述べたように、母島は台風の影響をよく受け、農作物にも被害が出る。とくに乳房ダムは、狭い谷間に位置することから風の通り道となり、台風の影響を受けた場合、強風による被害が出やすい場所である。また、海から数百mという位置にあり、潮風による塩害も受けやすい等、課題は多い。

今回の水質保全対策として採用した水生植物浄化法は、植栽筏をダム堤体に連結し、植栽筏での作業が随時行えるようにし、植生管理を容易にしたものである。また、植物は空



図1 母島概略図

芯菜を使用し、食材として利用することで採取した植物が廃棄物量の増加の原因となることを防いだ。空芯菜は学名 *Ipomoea Aquatica Forsk.*、双子葉植物綱・合弁花亜綱・ナス目・ヒルガオ科・サツマイモ属の外来植物である。空芯菜による水質浄化の効果は、水耕栽培を行うことにより根は水中でヒゲ状に1m近く成長し、富栄養化の原因とされる窒素やリンを良く吸収することである。空芯菜の生育に伴う窒素、リンの除去速度については、多くの研究がなされており、文献値において全窒素の除去速度は $0.2 \sim 1 \text{ g-N/m}^2/\text{day}$ 、全リンは $0.02 \sim 0.1 \text{ g-P/m}^2/\text{day}$ の範囲となっている⁹⁾。また、水耕栽培された水生植物の根は、水中に酸素を供給する作用により生物化学的酸素要求量(BOD)を低下させる効果も報告されている⁷⁾。

最初に、外来植物駆除を実施している小笠原への空芯菜の導入に対し、生態系へ与える影響の検討を行った。その結果、乳房ダムは市街地のはずれにあり、流出する河川は市街地を数百m流れてから直接海に達するため、固有植物の生育する地域への影響が皆無に近いこと、農家で既に栽培されていること等の理由により、空芯菜の採用が認められた。

水生植物による水質保全対策は、植栽筏を用いて2007年2月に実験的に開始した。筏の大きさは 30 m^2 、植栽面積は 10 m^2 である。空芯菜の本格的な採取は5月中旬過ぎからとなった。空芯菜は適宜採取し、村内の関係施設等に食材として提供した。その後、2009年3月に本格導入し、植栽筏の面積は 602 m^2 、植栽面積は 400 m^2 に拡大された。

(3) 乳房ダムの水質

現地では原水及び浄水の水質は、pH、アルカリ度、濁度、色度、電気伝導率に対して、毎日測定しているが、他の項目については月1回程度であり、多くの水質項目を本土に採水試料を送り、委託分析している。水道原水である乳房ダムの水質分析項目は、毎日測定されている項目を除くと、臭気、外観、全有機炭素(以下、TOC)、鉄、溶存鉄、マンガン、溶存マンガン、塩素イオン、総硬度、一般細菌、ウェルシュ菌芽胞、大腸菌群、大腸菌の13項目が月1回定期測定されている。乳房ダムの過去13年間の有機物量を表すTOCの変化を図2に、毎日測定されている項目の中から電気伝導率、色度、濁度の月データを図3に示す。乳房ダムへの流入水については、2008年4月から月1回の定期測定を開始した。

有機物量を表すTOCは2004年度から測定が開始され、それ以前は化学的酸素消費量(以下、 COD_{Mn})が測定されていた。TOCは $5 \sim 10 \text{ mg/L}$ の範囲で遷移しているが、2006年11月から半年間は 5 mg/L 前後の低い値となった。実験開始後の2007年5月に台風が相次いで襲来し、原水水質は急激に悪化した。TOC濃度は上昇し、 10 mg/L を越えることもあった。電気伝導率は、 $200 \sim 600 \mu \text{ S/cm}$ の範囲で変動しているが、 COD_{Mn} とは逆の変動となっている。TOCが低い値となっていた2006年11月から半年間も $500 \sim 800 \mu \text{ S/cm}$ と値が上昇して

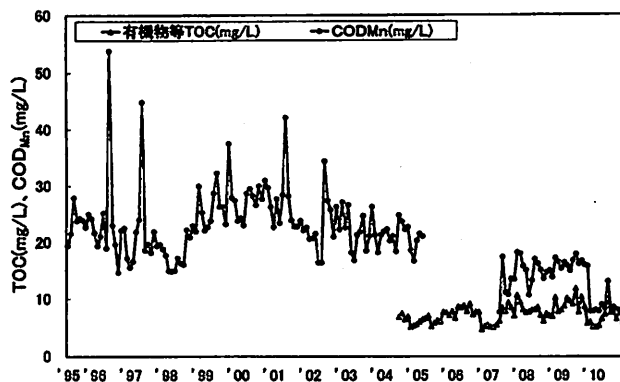


図2 TOCの時系列変化(月データ)

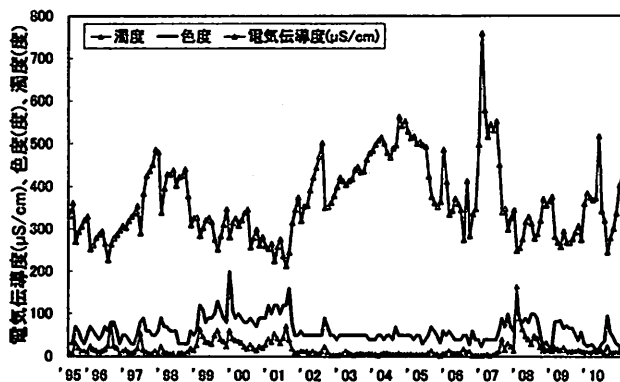


図3 濁度、色度、電気伝導率の時系列変化(月データ)

いる。濁度は、水道原水としては高めの値であるが、ここ数年、20度付近の安定した数値で変動していた。しかし、2007年6月以降は50度前後の高い値となっており、11月の豪雨で流域で発生した崖崩れにより濁度は180度に跳ね上がり、その後も大雨が続き半年以上30度前後の高濁度状態が続いた。

窒素、リンについては、小笠原には分析機器が整っていないため、現地での測定ができないため、定期測定項目でないこともあり過去のデータの蓄積がほとんどなされていない状態となっている。除去目的物質である貯水の全窒素、全リンの測定は、2007年3月から月1回、村で実施している定期水質測定時に同時に採水し分析した。現地には全窒素や全リンの測定が可能な分析機器は整備されておらず、今回の全窒素、全リンの測定も、乳房ダムでの採水後、現地で酸を加えて窒素とリンの固定を行い、4～7日を要して大学まで試料を輸送して分析を行った。窒素、リンともに上水試験方法に拠って分析を行い、全窒素は、アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウムにより酸化分解後、紫外線吸光度法により測定した。全リンはペルオキシ二硫酸カリウムを加えて高圧加熱分解後、モリブデン青吸光度法により測定した。全窒素、全リンの測定結果を図4、5に示す。全窒素も全リンも変動が大きいが、総じて減少傾向にあるといえる。母島は台風の襲来が多いため集中的な大雨が多く、定期測定は降雨への対応が一段落した後に行われることから、高濁度の状態での採水が多い。

また、藻類の状況を把握するために、クロロフィルa・濁度・

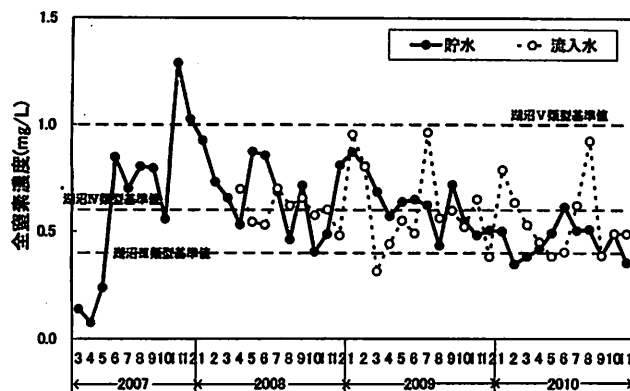


図4 全窒素の月変化(2007年3月~2010年10月)

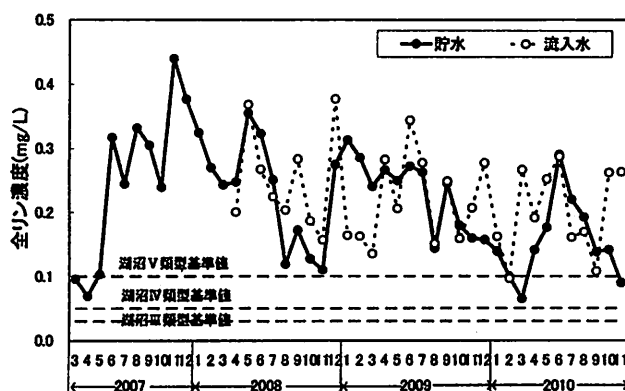


図5 全リンの月変化(2007年3月~2010年10月)

水温の自動測定装置を植栽後側面、水深1mの位置に設置し、10分間隔で連続測定を行った。測定値はクロロフィルa濃度が1日の中で最も高くなる15時台の6データを平均し、クロロフィルa、濁度、水温の日代表値とした。

3. 全窒素・全リン濃度推定式の作成

今回の研究開始以前は乳房ダムの窒素やリンの測定はほとんど行っていないため、植栽後設置前の状態と比較することはできない。したがって、過去に遡っての貯水中の窒素やリンの状態を知るには何らかの方法で推定することが必要である。そこで、現地で継続的に測定が実施されている定期水質測定項目のデータを用いて全窒素、全リン濃度を推定するモデル式を作成し、過去の濃度を推定する。2007年3月から2010年11月までの全窒素、全リンのデータと、同時に測定された定期水質測定項目のデータを相関分析すると、表1に示すように、貯水は全窒素、全リンともに濁度・色度・TOCとの間に強い正の相関関係が、pHや電気伝導度との間には強い負の相関関係があった。流入水の全リンも同様の結果であるが、全窒素は相関係数の正負がほとんど逆になっている。主な項目との相関分析の結果について考察する。

濁度については、植物由来の濁質や分解生成物が多くなると全窒素も増えると考えられるが、流入水的全窒素は濁度とは逆の挙動を示している。一方、貯水的全窒素は濁度と正

表1 相関分析の結果

説明変数	目的変数	貯水(S)		流入水(I)	
		全窒素	全リン	全窒素	全リン
	気温	-0.020	-0.008	-0.030	0.092
	水温	-0.091	-0.136	-0.146	0.192
	濁度	0.741	0.682	-0.217	0.711
	色度	0.749	0.901	-0.362	0.811
	pH	-0.523	-0.635	0.477	-0.693
	アルカリ度	-0.274	-0.463	0.437	-0.789
	電気伝導度	-0.755	-0.792	0.416	-0.813
	有機物等TOC	0.677	0.757	-0.275	0.737
	鉄	0.846	0.908	-0.173	0.539
	溶存鉄	0.827	0.889	-0.110	0.458
	マンガン	0.203	0.214	-0.063	0.670
	溶存マンガン	0.491	0.626	-0.133	0.544
	塩素イオン	-0.739	-0.710	0.353	-0.811
	総硬度	-0.753	-0.768	0.421	-0.824
	COD _{Mn}	0.671	0.658	-0.252	0.709
		n=45, r ₉₅ =0.294		n=32, r ₉₅ =0.349	

の相関関係となっている。また、リンは、土粒子等の濁質に吸着されやすく、濁質と挙動をともにすることが知られている。このことから、流入水の濁質は土粒子が占める割合が多く、貯水の濁質は藻類等の植物由来の濁質の割合が多いと推察できる。

TOCと色度については、乳房ダムの流入水と貯水は、ともに褐色に着色しており、腐葉土から溶出した腐植質を多く含んでいることから、色度とTOCは窒素、リンと高い相関関係になっていると考える。

電気伝導度については、流入水的全窒素濃度は「硝酸+亜硝酸」濃度とほぼ同じ値となっていることが、電気伝導度との間の正の相関関係につながったと考える。しかし、貯水的全窒素、全リン、流入水的全リンは電気伝導度とは負の相関関係になっている。流入水、貯水ともに電気伝導度は、塩素イオンとの相関係数が0.99と、非常に高い正の相関関係にあること、塩素イオン濃度は色度やTOCと負の相関関係にあること等から、塩素イオンが高濃度で存在することが、腐植質の溶出に何らかの影響を与えている可能性が考えられるが、推測の域を出ない為、今後、室内実験等での検証が必要と考える。

アルカリ度は、炭酸イオンの他にリン酸等の弱酸を消費する成分の含有量を表すとされており、全リンとは負の相関関係となっている。

これらの関係に着目し、これらの水質項目の測定値を使用して全窒素や全リンの値を推定することとした。全窒素、全リンと強い相関関係があった定期測定項目のうち、過去から継続的に測定が行われており、さらに測定操作が容易で浄水場で毎日測定が行われている項目を中心にpH、濁度、色度・アルカリ度・電気伝導度を説明変数として選択した。また、選択した説明変数と目的変数の間に非線形の関係がある可能性も考慮し、データ変換を行った説明変数も検討の対象と

した。有機物の指標となるTOCは全窒素、全リン共に相関が高い項目であるが、水道法水質基準の改正に伴い、2004年7月にTOCの測定が開始され、COD_{Mn}は2005年度と2006年度は測定を停止しておりデータの連続性がないため選択しなかった。全窒素・全リンを目的変数とし、選択した説明変数を用いて重回帰分析を行った。その結果、説明変数間の内部相関、物理的有意性及び自由度調整済み重相関係数 R^* を考慮し、次に示す(1)式並びに(2)式を得た。

《貯水の全窒素濃度(y_N^S)の推定式》

$$y_N^S = 3.034 + 0.1872 \times \ln(x_1) - 0.5110 \times \ln(x_2) \quad \dots(1)$$

$n=45, R^* = 0.903$

x_1 : 濁度, x_2 : 電気伝導度, $\ln$: 自然対数

《貯水の全リン濃度(y_P^S)の推定式》

$$y_P^S = 0.0519 \times \ln(x_1) - 0.0024x_2 + 88.9556x_3^{-1} - 0.1123$$

$\dots\dots\dots(2)$
 $n=45, R^* = 0.942$

x_1 : 濁度, x_2 : アルカリ度, x_3 : 電気伝導度

流入水についても貯水と同様に説明変数を選択し、重回帰分析によって推定式を作成した。得られた式を(3)、(4)式に示す。貯水と異なり、流入水は、今回の研究開始以前には水質測定は行われていなかった。したがって過去の流入水質の推定を行うことはできないが、今後、全窒素、全リン濃度を現地で簡易的に推定することが可能となる。

《流入水の全窒素濃度(y_N^I)の推定式》

$$y_N^I = 9.727 \times 10^{-9} \times x_1^{8.798} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$n = 32, R^* = 0.657$

x_1 : pH

《流入水の全リン濃度(y_P^I)の推定式》

$$y_P^I = 0.2827 + 0.0495 \ln(x_1) - 0.0002x_2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$n = 32, R^* = 0.878$

x_1 : 濁度, x_2 : 電気伝導度

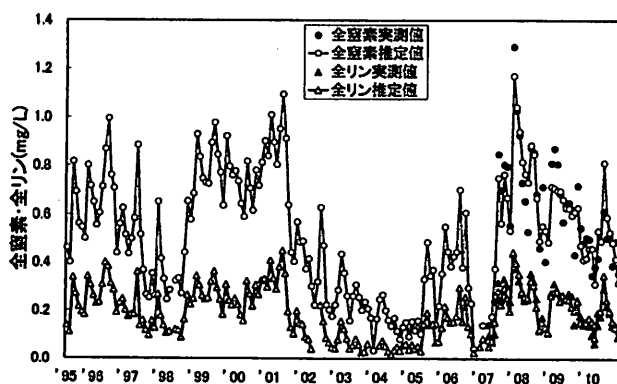


図6 過去の全窒素・全リン濃度推定値

得られた(1)式から(4)式までの推定式の自由度調整済み重相関係数 R^* は、すべて有意水準99%以上となっており、統計的に精度の高い式である。貯水の推定式(1)、(2)を用いて全窒素、全リン濃度を推定した結果を図6に示す。推定した期間を通じてN/P比は約3前後で、藻類の生産には相対的に窒素が不足しており、乳房ダムの藻類生産は、以前から窒素制御であったと推測できる。

4. 環境保全効果の検討

図6に見られるように、貯水の全窒素、全リンともに推定式によって得られた結果は変動が大きい。これは実測値でも同様である。そこで傾向を把握するために推定式によって得られた値の年平均を求めた結果を図7、図8に示す。

全窒素の過去の推定値は、ほとんど湖沼V類型の基準値以下となっている。2002年度から2005年度にかけてはおおむね湖沼III類型基準値を満たしており、特に2004年度は湖沼II類型基準値以下と推定される。一方、全リン濃度は、過去には2002年度から2004年度の3年間を除いて、ほとんど湖沼V類型基準値を満たしていないと推定された。湖沼V類型基準値を満たした3年間は、降水量が少なく年間総降水量は、1,000mmを下回っており、特に2003年度は年間総降水量が699mmという渇水となっており、土壌に吸着しやすいリンが降雨により流出する土砂とともに混入することが少なく、降水量の影響とも考えられる。また、全窒素、全リンともに低い値と推

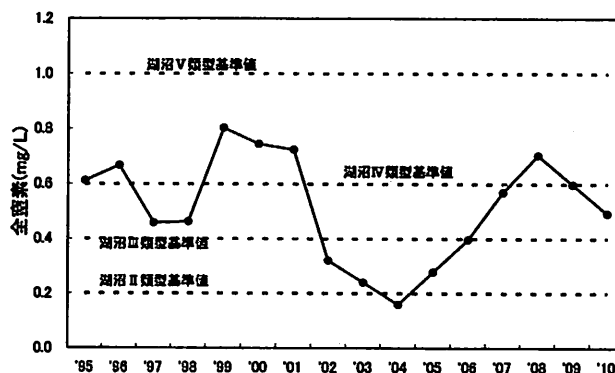


図7 全窒素濃度推定値の年平均

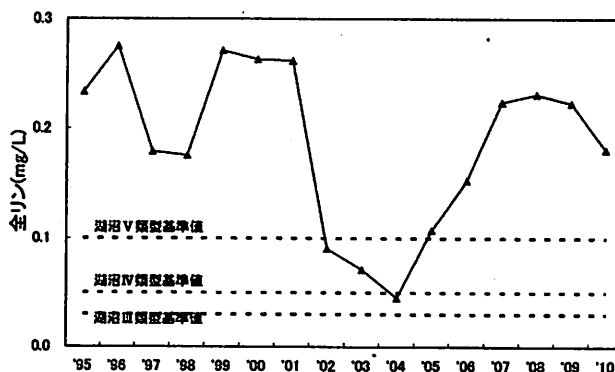


図8 全リン濃度推定値の年平均

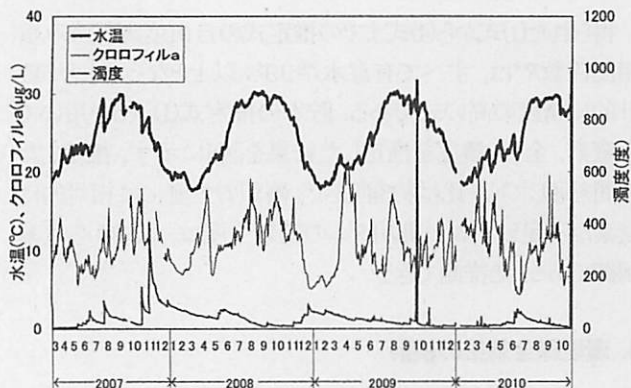


図9 クロロフィルa, 濁度の日変化

定された2006年11月から半年間は、2006年11月と12月は降水量が多いが濁度は高くなく、その後はほとんど降雨がなかったことが理由として考えられる。

2005年以降、貯水の全窒素、全リンともに上昇しているが、全リンについては2007年10月の台風による流入河川流域の土砂崩れにより大量の濁質が乳房ダムに流れ込んだことが原因の一つとして考えられる。図9に濁度、クロロフィルaの変化を示す。クロロフィルaの測定は蛍光法を用いているので、濁度100度を越える高濁度時の測定値は使用できなかった。2009年秋にも、台風により高濁度の水が流入し、貯水は900度近い値となり、さらに、2010年秋の台風では貯水の濁度は約1000度という非常に高い値となっている。このため、図4及び図5に見られるように、全リン実測値は大きく変動している。全窒素も濁度と変動が似ているが、全リンの変動に比べると変動は小さく、低い値を維持している。全窒素、全リンともに2009年から減少に転じており、2010年も減少傾向となっていることから水質が改善されたと推定される。

クロロフィルaは植栽筏を設置した2007年3月以降、概ね20 µg/L以下の値を維持している。一般にアオコ発生の判断基準とされる100 µg/L以下を保っていたことから、今回の測定期間中にはアオコの発生はなかったと推測できる。また、現地での観察でも、アオコの発生は確認されておらず、植栽筏の設置効果があったとも考えられる。

次に、空芯菜の採取量から、窒素とリンの除去効果を見る。図10に空芯菜採取量、図11に採取量の月変化を示す。植栽筏設置以降、約6tの空芯菜が収穫されている。まず、乳房ダムで採取された空芯菜の窒素とリン及び炭素の含有量を測定した^{8) 9)}。採取時湿潤試料換算で窒素が5.15mg/g、リンが0.82mg/g、炭素が53.1mg/gという結果となった。この値を用いて、空芯菜の採取量から、窒素とリンの除去量の算定を行った。2007年2月の植栽筏設置後、空芯菜の採取累積総量は5,713kgである。このうち、食用に供された空芯菜は約12%である。食用に供せない虫食い等が多い部分は、母島島内で飼育している牛の飼料として使用した。採取量から算定された窒素除去量は29.4kg、リンの除去量は4.7kgとなった。

ここで、植栽筏による水質保全対策を本格的に導入後、植

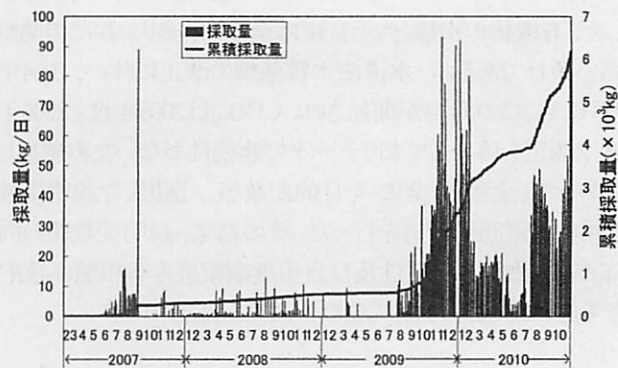


図10 空芯菜採取量

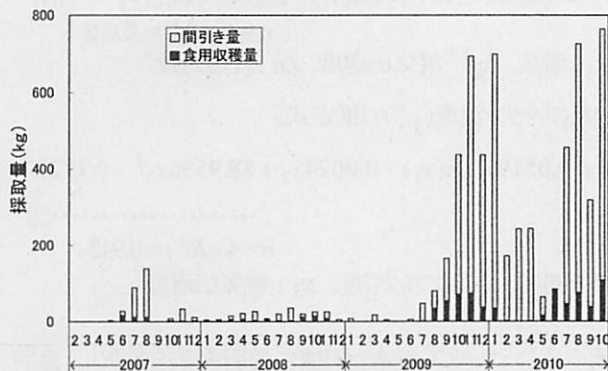


図11 空芯菜採取量の月別内訳

物が安定して採取できるようになった2009年10月から2010年9月までの1年間を対象として、植栽筏が導入されていないことを想定した場合の全窒素、全リン濃度の推定を行い比較する。乳房ダム流域から流入する全窒素と全リンの濃度は測定されているが、流入水量は測定されていないので、面源汚濁源からの窒素とリンの流入量は不明である。そこで、降水量から流入水量を推定する。ここで、流域への降水がダムへ到達する割合は母島にある農業用ダムの1987年から2001年の平均値 0.2¹⁰⁾を用いる。推定値の算定は月ごとに行い、各月の流入水質はその月の定期水質測定値を用いる。また、ダム湖面への降水自体には窒素、リンは含まれていないとした。ダムからの放流量も不明であるため、ダムに流入した水量と同じ水量が流出するものとした。また、乳房ダムの貯水の水質は常に均一であると仮定し、貯水量は各月の最大値である32,000m³を用いた。ダム水面からの蒸発については、日照時間が不明であるため省略した。植栽筏が設置されていないことを想定した全リン濃度の推定方法を式にまとめたものを(5)式に示す。全窒素濃度も同じ方法で推定した。

$$C_{pt} = \frac{C_{p(t-1)} \times V + I_{pt} \times (A_v \times (P_t \times 10^{-3}) \times r)}{V + A_v \times (P_t \times 10^{-3}) \times r + A_R \times (P_t \times 10^{-3})} \dots (5)$$

C_{pt} : t月の全リン推定濃度 (mg/L = g/m³)

I_{pt} : t月の流入水全リン濃度実測値 (mg/L = g/m³)

V : 貯水量 (32,000m³)

A_R : 貯水池湛水面積 (5,520m²)

A_v : 貯水池流域面積 (500,000m²)

P_t : t月の降水量(mm)

r : 流達率 (0.2)

シミュレーション結果を図12に示す。2010年6月は全窒素、全リンともに植栽筏を設置しないことを想定した推定値が実測値より低い値となっている。これは、採水日の7日前から4日前までの間、日降水量が50mmを超える降雨が続いたことで、貯水の水質が悪化した状態での測定となっていたことと、採水前の2日間は晴天であったため流入水の状態は良好となっていたことが原因として考えられる。しかし、図12全体を見ると、実測値は植栽筏を設置しない場合の推定値よりも低い値になっており、実測値の平均が全窒素濃度が0.48mg/L、全リン濃度が0.16mg/Lであるのに対し、植栽筏を設置しない場合の推定値の平均は全窒素濃度が0.62mg/L、全リン濃度が0.23mg/Lであることから、植栽筏により水質改善がなされていることがシミュレーション結果により推察された。流入水質を用いず、空芯菜収穫量から算定された除去窒素量、リン量を用いて推定した結果でも、植栽筏設置後の実測値は植栽筏を設置しない場合の推定値より低い値となっている。

乳房ダムでの空芯菜の栽培は、2009年3月に植栽面積が約40倍に増えたことにより、図10に見られるように採取量が急増した。また、空芯菜は成長が早く、葉や茎を食用とするため、特に夏季は連日の収穫作業となり作業量が多くなる。採取量の多い日には100kg近くになるため、植生管理に新たな人手が必要となり、人件費として維持管理のコストが増加した。そのため、空芯菜の無料配布を終了し、人件費の補填に2010年8月から「水質浄化協力金」を徴収している。しかし、人件費に対し徴収金額はまだ少なく、今後、空芯菜だけでなく、価値の高い作物の栽培も考慮することが求められ、水稻、ハルタマ、ミント・バジル等のハーブ類、つる菜等について現在検討中である¹⁰⁾。また、水稻のように収穫の間隔が長い植物を採用することによって植生管理作業の軽減化も図れると考えられる。

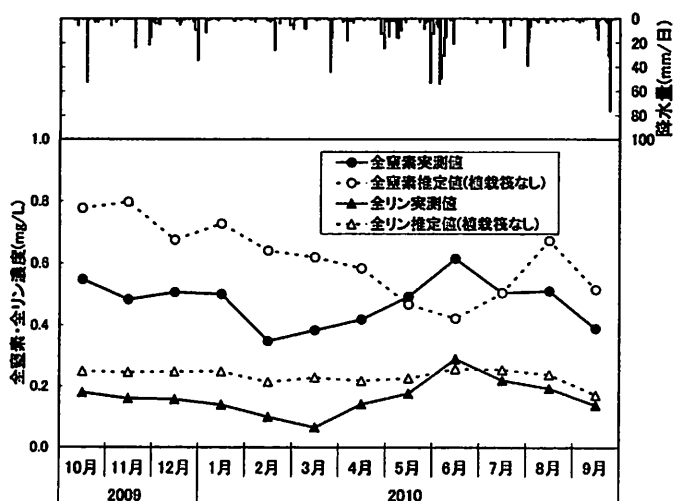


図12 全窒素・全リン推定値(植栽筏設置なしの場合)

5. まとめ

本論文は、毎年アオコが発生していた小笠原村母島の水道水源である乳房ダムに、水質保全対策として導入された水生植物による水質改善の検討評価を行い考察した。これに伴い、過去のデータが蓄積されていないダム貯水の全窒素、全リンを対象に、複数の水質項目を説明変数とする重回帰分析を行い、高い精度の推定式を得て、1995年以降の全窒素、全リン濃度の推定を行い、その結果も評価に使用した。推定式は流入水についても作成しており、過去のデータの逆推定だけでなく、今後、流入水、貯水の全窒素、全リン濃度を、日常的に測定している水質項目の実測値を用いることによって、現地においてリアルタイムで簡易的に把握することにも使用ができる。この推定方法は、比較的安価な簡易分析機器によって容易に測定できる水質項目を用いて全窒素・全リン濃度を推定するものであるため、分析手段が限られ機器整備が困難な小規模事業体や発展途上国でも応用可能であると考えられる。

全窒素、全リンの推定結果から、乳房ダムにおける植栽筏による水質保全対策はわずかではあるが水質改善効果があることが示された。植物による水質浄化は、急激な水質改善効果が見られる方法ではないが、エネルギーや薬剤を使用しないことから、離島である小笠原母島に適した水質保全対策といえる。また、植物採取量からは、植生管理の作業量の多さが明らかとなり、人件費により維持管理コスト増加することから、作業量を低減するための方策の一つとして植栽植物の検討が必要であることが示された。

今後の課題としては、乳房ダムの流入水についても、流入水量の測定、水質データを蓄積し、降雨等が貯水に与える影響を数値化して把握すること、さらに、植栽筏の設置状況、植栽する植物を精査し、母島の風土、条件に適した植物を選択して行くこと等が残されている。

参考文献

- 1) 厚生省生活衛生局水道環境部水道整備課監修：湖沼・貯水池を対象とした水道水源保全マニュアル，日本水道協会，p. 25，1989
- 2) 國松孝男・須戸幹：森林溪流の水質と汚濁負荷流出の特徴，琵琶湖研究所所報第14号，pp. 6-15，1995
- 3) 東京都水道局：平成21年度小河内貯水池管理年報，p. 76，2009
- 4) 縣和一・宋祥甫：水面利用の植物生産 水質浄化と水辺の修景，ソフトサイエンス社，2002
- 5) 橋本敏子・井澤博文・岡本拓・水田満里：「ポッ

- ト植栽による水質浄化システム」の開発と県内の当システムを用いた水質浄化の取り組み, 広島県保健環境センター, 環境技術 Vol. 27, No. 8, pp. 13-19, 1998
- 6) NPO法人都市環境研究会: 水耕栽培による花川浄化プロジェクト最終報告書, p. 14, 2005
- 7) 島谷幸宏・細見正明・中村圭吾編: エコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化, ソフトサイエンス社, pp. 117-122, 2003
- 8) 山崎公子・小泉明・大塚泰永: 小笠原母島における植栽筏による水道水源保全, 用水と廃水, Vol. 50, No. 11, pp. 57-64, 2008
- 9) 山崎公子・小泉明・大塚泰永・大塚宏幸: 小笠原母島における水質浄化に関する実験的研究, 小笠原研究年報, Vol. 31, pp. 657-75, 2008
- 10) 山崎公子: 小笠原諸島における農業用水の水質改善に関する研究, 平成17年度東京都産業労働局委託研究報告書, 2005
- 11) 柳井信一・山崎公子・小泉明・関丙大・小峯美奈子・大塚宏幸: 水質浄化を目的とした植物適用の比較検討実験に関する一考察, 第61回全国水道研究発表会講演集, pp. 138-139, 2010
- (2011.3.30 受付)
- (2011.7.13 受理)

Research on water quality purification of a reservoir in Haha-jima, Ogasawara Islands

Kimiko YAMAZAKI¹, Akira KOIZUMI¹, Byung Dae MIN¹ and, Hiroyuki OHTSUKA²

¹Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University

² Haha-jima Branch Office, Ogasawara Village.

The eutrophication of the reservoir for water supply becomes a problem in the water treatment system. The reservoir in Ogasawara Island used for water supply has experienced eutrophication. To improve water quality an experimental hydrophytic system was set up on site in 2007, with full scale operations starting from 2009. In this paper, we evaluate the effectiveness of hydrophytes in improving water quality purification using the amount of the removal of total nitrogen(TN) and total phosphorus(TP) calculated from the production of the plant and the measurement of water quality. We then made an estimated equation of TN and TP levels that were significantly high by using multiple regression analysis, we utilized past data of other recorded measurements for water quality, which were assigned as explaining variables that there is little past data of TN and TP concentrations on Haha-jima because water quality analyses had been limited. Moreover, the concentration of past TN and TP was calculated based on this estimated equation, and the state of eutrophication of the reservoir was simulated as longitudinal data. Our result of this research is applicable for water quality control and management to other isolated islands, depopulated area and developing countries which don't have any expensive water quality measurement devices.