

REHSE「高校生による環境安全とリスクに関する自主研究活動支援事業」

2022年度 研究活動報告書

水生植物を用いた水質改善—マコモによる農業廃水からの窒素・リンの回収—

石川工業高等専門学校 石川高専環境都市研究部

1. はじめに

1.1 背景

かつての河川は水生植物が生息していたので清澄であったが、現在は汚濁が進み、改善が進んでいない河川もある。石川県が行っている公共用水域の水質測定結果によると、平成7年度から現在までの一部の河川では、BODの値が環境基準を上回っている事が多い。

また、水質汚濁の原因の一つである窒素・リンの回収が報告されているマコモは、本校が位置している津幡町で食用として生産・販売されている。しかし、津幡町のマコモは栽培効率が悪く、栽培にとっても労力がかかる。それにより、マコモ農家や生産量が減少している。また、出荷期間が短い為、マコモのPRが難しいなどの問題を抱えている。

1.2 目的

本研究では、マコモによる河川の水質改善を試みる。窒素・リンを含む農業排水でマコモを栽培し、窒素・リンの回収を目指す。

また、マコモの生産量・消費量との増加により、河川の水質改善が進むと共に地域活性化に繋がると考えた。そこで、マコモの消費量を増加させる為に、栽培後のマコモの可食部と可食部以外の活用法を検討し、マコモの知名度の向上を試みる。

2. 見学・聞き取り

① 日時：2022年7月12日(火)

場所：野瀬川・津幡川周辺水田

見学の目的：実験に用いる水田の水を採取するため

② 日時：2022年8月9日(火)

場所：津幡町役場

目的：マコモについて知見を深めるため

成果：マコモについての知識や栽培の現状などを知り、後の研究に生かすことができた。



図1 実験試料採取



図2 聞き取り調査

3.研究方法

3.1 農業排水の水質調査

石川県が行っている公共用水域の水質測定結果より、平成7年度から現在までのうち、多くの年度で BOD の値が環境基準を上回っていた河川が複数あった。その中で、本校の近隣にある能瀬川を選んだ。加えて、BOD の値は環境基準を上回っていないことが多いが能瀬川の近辺にある津幡川の 2 つの川に着目した。農業で使用する前と農業でを使用した後の水の全窒素・全リンの値の変化を比較する為に、これらの川の周辺の水田の流入口・排出口の水を採取した。しかし、能瀬川周辺の水田の流入口の水は採取することが出来なかった。また、マコモの水質浄化能力の検証において栄養塩を多く含む水として代替する為に、本校の防火水槽全窒素・全リンの濃度を分析した。全窒素の測定は Shimadzu TOC-V を利用し、燃焼触媒酸化方式を用いた分析を行った。全リンの測定はリン酸イオンの数値を元に全リンの値を求める TOADKK DRB200 リアクターを用いた、過硫酸分解 Phos Ver3 法による分析を行った。



図3 窒素分析(2022/7/20)



図4 リン分析(2022/7/21)

3.2 マコモの水質浄化能力検証

本研究では、水質改善を担う水生植物として、抽水植物であり、窒素・リンの回収が報告されている⁶⁾⁷⁾マコモを使用した。マコモの苗は、JA 石川かほくでの購入は時機を逸しており、趣味で栽培されている方よりフリマアプリで購入した。縦 61.0cm, 横 42.2cm, 高さ 34.0cm のコンテナに赤土・黒土をそれぞれ 15L ずつ混ぜ入れ、1 つのコンテナにマコモ 2 株を植え付けたものを 9 つ用意した。そして、追肥の有無によるマコモの水質浄化能力や生長の違いを調べる為、実験条件を 2 つに分けた。また、水位の基準となる線を決め、水が減少した際は基準となる線まで防火水槽の水を加えた。しかし、生育当初にマコモが枯れてしまうものもあった。そこで、マコモの本数によるマコモの水質浄化能力や生長の違いも調べる為、実験条件を 3 つ追加し、合計 5 つの実験条件を設けた。これらを表 1 に示す。その後、マコモの生長を促進するため、全てのコンテナに 5/25 に肥料を 25g 与えた。また、追肥をする条件のマコモには 8/10 に 25g の追肥をした。今回使用した肥料の主成分は窒素、リン、カリウムであり、これらは 8%ずつ含まれている。その後、コンテナの水を 8/5, 8/19, 9/16 に採取し、全窒素・全リンの濃度を分析した。全窒素の測定は Shimadzu TOC-V を利用し、燃焼触媒酸化方式を用いた分析を行った。全リンの測定は公定法である JIS K 0102 に倣い、Shimadzu UV-1200 で吸光分析を行った。

表1 マコモの実験条件

| 実験条件 | コンテナの数 |
|--------------|--------|
| マコモ 1 本 追肥あり | 2 つ |
| マコモ 2 本 追肥あり | 2 つ |
| マコモ 1 本 追肥なし | 2 つ |
| マコモ 2 本 追肥なし | 2 つ |
| マコモなし | 1 つ |



図5 マコモの植え付け (2022/5/20)

3.3 マコモの可食部・可食部以外の活用法

マコモは津幡町の特産品として認定されている。そこで、マコモの知見を深める為、津幡町役場で役場の職員と JA 石川かほくの職員の方々にマコモについての聞き取り調査を行った。

4 研究成果

4.1 農業排水の水質調査結果

農業排水の全窒素・全リンの分析結果を表 2 に示す。津幡川周辺の水田の流入口と津幡川周辺の水田・能瀬川周辺水田の排出口を比較すると、全窒素は流入口より排出口の値が大きく、全リンは流入口より排出口の値が小さい結果となった。また、本校の防火水槽の水と能瀬川・津幡川周辺の水田の排出口での全窒素・全リンの値を比較すると、全窒素の値は小さく、全リンの値はほぼ等しくなった。そのため、本研究の実験のマコモ栽培において農業排水の代わりとして使用した。

表 2 実験試料の水質調査(mg/L)

| 試料 | 全窒素 | 全リン |
|------------------|------|------|
| 7/12 能瀬川周辺水田 排出口 | 1.07 | 0.16 |
| 7/12 津幡川周辺水田 流入口 | 1.01 | 0.17 |
| 7/12 津幡川周辺水田 排出口 | 2.73 | 0.14 |
| 7/4 本校防火水槽 | 0.78 | 0.17 |

また、他地域で行われた農業用水の使用前後での全窒素・全リンの分析について文献調査を行った。「農業集落排水処理水が放流先河川水質および微生物叢に及ぼす影響評価」²⁾より、農業使用前の水である島根県加茂川の河川水と、農業使用後の水である島根県加茂川流域の農業集落排水

処理施設の処理前の水を比較したところ、溶存態窒素濃度・溶存態リン濃度の平均値は、どちらも農業使用後の水の値の方が大きく、農業使用前の水の値と比べ、溶存態窒素濃度が 3.4 倍、溶存態リン濃度が 6.3 倍増加していた。

これより、農業使用後の水は、農業使用前の水より窒素・リンの値が増加していると分かる。これは、農業において使用される肥料に含まれる窒素・リンのうち農作物の吸収しきれなかった窒素・リンが溶出したことが原因の一つであると考えられる。

今回の分析では農業使用前の水より、農業使用後の水に含まれるリンの値の方が小さかったが、文献調査では農業使用後の水に含まれるリンの値の方が大きかった。よって、今回の分析において全リンの値が流入口より排出口の方が小さくなった原因として、試料採取日が雨天であった為、水田の水量が増加し、希釈されたと考えられる。

4.2 マコモの水質浄化能力検証結果

全窒素の結果を表 3、全リンの結果を表 4 に示す。以下の二つの表に明記した値はそれぞれの分析から得た値を条件毎に平均したものである。全窒素はどの条件に対しても 8/5 から 8/19 にかけて増加し、8/19 から 9/16 にかけて減少した。総合的に見ると、8/5 から 9/16 にかけて減少していることが分かる。全リンは、追肥ありの場合は窒素と同じような値の変化をしていたが、追肥なしや、マコモなしはどの場合も値が変化しなかった。

本実験は、マコモの水質浄化能力の検証を目的に行ったため、8/5 から 9/16 にかけて水中の全窒素濃度と全リン濃度が減少するという仮説を立てたが、分析結果は仮説とは異なる結果となった。そこで以下の考察をした。

表 3 条件別の全窒素濃度推移(mg/L)

| | 8/5 | 8/19 | 9/16 |
|----------|------|------|------|
| 追肥あり 1 本 | 3.52 | 19.4 | 0.56 |
| 追肥あり 2 本 | 0.61 | 16.1 | 0.58 |
| 追肥なし 1 本 | 0.20 | 0.27 | 0.14 |
| 追肥なし 2 本 | 0.18 | 0.22 | 0.14 |
| マコモなし | 0.22 | 1.24 | 0.33 |

表4 条件別の全リン濃度推移(mg/L)

| | 8/5 | 8/19 | 9/16 |
|--------|------|------|------|
| 追肥あり1本 | 0.00 | 0.75 | 0.00 |
| 追肥あり2本 | 0.00 | 0.72 | 0.39 |
| 追肥なし1本 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 追肥なし2本 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| マコモなし | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

まず、全窒素濃度の増減の要因として以下の二つを考えた。

一つ目は、降水である。降水中には窒素が含まれていることが報告されている。³⁾ 気象庁が公表している「過去の気象データ検索」⁴⁾ より、2022年8月・9月の金沢市の降水量を調べると、2回目の試料採取日である8/19の5日前から合計98mmの降水を記録していることが分かる。対して、3回目の試料採取日である9/16の6日前から継続的に降水を記録していないことが分かる。よって、降水により、窒素の流入量に変動したと考えられる。全窒素濃度と降水量の推移を表したグラフを図8に示す。

二つ目は追肥である。追肥ありのマコモには8/10に肥料25gの追肥を行った。追肥ありのマコモは、8/5から8/19にかけての全窒素濃度の増加幅が追肥をしていないものより大きいことから、マコモが吸収しきれなかった肥料に含まれる窒素が水中に残留し、値が大きくなったと考えられる。

次に、全リン濃度の増減の要因として以下の二つを考える。

一つ目は追肥である。追肥をしたマコモは8/5から8/19にかけて全リン濃度の増加が見られる



図6 追肥ありのマコモの生長(2022/8/5, 2022/9/16)

ことから、窒素同様、マコモが吸収しきれなかった肥料に含まれるリンが水中に残留し、値が大きくなったのだと考えられる。

二つ目は赤土である。「畜産浄化槽処理水に対する各種資材の吸着能力調査」⁵⁾ より、赤土がリンを回収し、全リンを低減させる働きがあることが報告されているため、本実験で用いた赤土についても、同様の作用が働いたのだと考える。

また、降水量・防火水槽の水の流入量・赤土におけるリンの回収量のデータから、今回の実験におけるマコモによる全窒素・全リンの回収量を計算で推定した。結果は表5に示す。

表5 マコモによる全窒素・全リンの回収量(mg)

| | 全窒素 | 全リン |
|--------|-------|-------|
| 追肥あり1本 | 2,000 | 2,200 |
| 追肥あり2本 | 2,000 | 2,000 |
| 追肥なし1本 | 6.3 | 0.45 |
| 追肥なし2本 | 9.3 | 0.32 |

追肥なしのマコモより追肥ありのマコモの方が、全窒素・全リン共に回収量が多いと分かった。その要因として、追肥の有無によるマコモの生長の違いが考えられる。追肥ありのマコモである図6と追肥なしのマコモである図7を比較すると、追肥ありのマコモの方がより生長していることが分かる。よって、より大きく生長した追肥ありのマコモの方が、窒素やリンを多く回収したと考えられる。



図7 追肥なしのマコモの生長(2022/8/5, 2022/9/16)

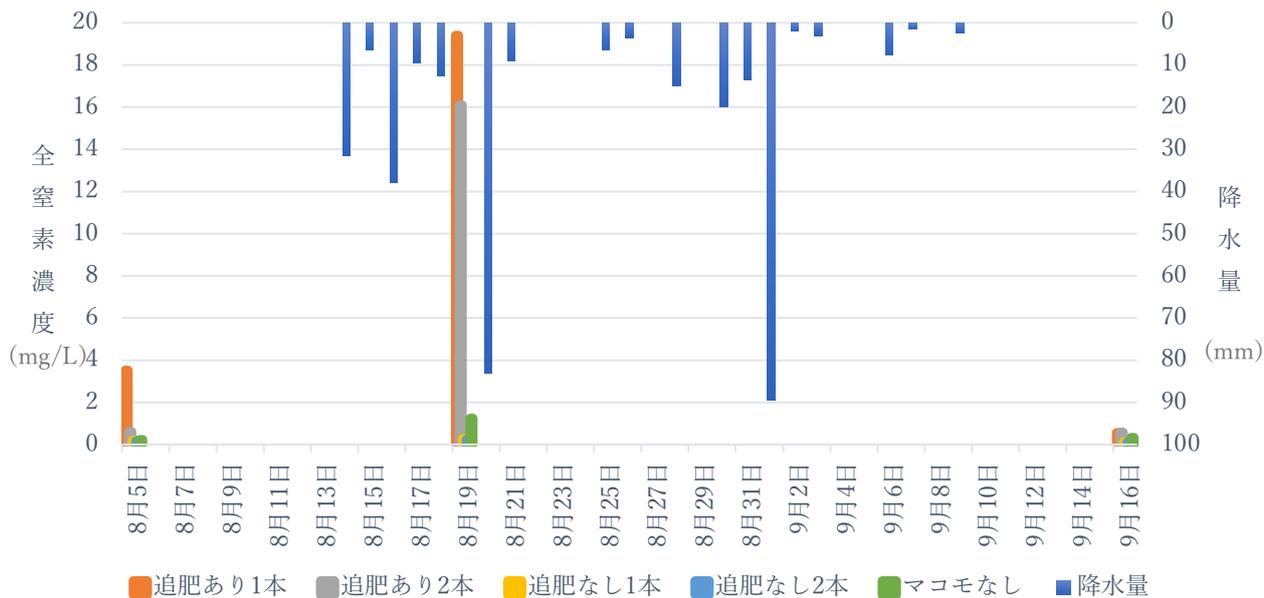


図8 全窒素濃度と降水量の推移

加えて文献調査を行ったところ、「水生植物(マコモ)による水質浄化」⁶⁾より、マコモによって窒素やリンが回収されることが分かった。また、「水生植物(マコモ)の年間を通した窒素・リンの吸着量の評価」⁷⁾より、月や年代によるばらつきはあるものの、マコモが窒素やリンを回収するという成果や8月から9月にかけてマコモの窒素・リンの吸収量が1年間で最大となっていることが報告されている。

また、7月から8月にかけて、稲作では中干しの作業が行われ、栄養塩を含む水が多く排出される。これらのことから、稲作で生じた栄養塩を含む水をマコモ栽培に利用することで排水中の窒素やリンを回収することができるのではないかと考える。

4.3 マコモの可食部・可食部以外の活用法の検討

(1) 聞き取り調査

a. マコモと津幡町の歴史

津幡町は水田が多い為、耕作放棄地も多かった。その解消の為、平成9年に、一度植えたら広く群生するマコモが三重県や滋賀県より石川県津幡町に持ち込まれ、マコモ栽培が開始された。また、津幡町には特産品が無かった中、耕作放棄地解消に加え、食用としても活用する事の出来るマコモを特産品として認定した。

b. マコモ栽培の現状

今現在、マコモ農家は7件あるが、高齢化が進んでいる。また、マコモ栽培を専業としている農家はおらず、稲作の傍らマコモ栽培を行っている農家が多い。また、現在の作付面積は60a、総生産量は1tである。総生産量は5~6年前に比べて、4t減少した。農家件数や生産量の推移を表6に示す。

表6 マコモ栽培の現状

| | 平成28~29年度 | 令和3年度 |
|------|-----------|-------|
| 農家 | 数十件 | 7件 |
| 作付面積 | — | 60a |
| 総生産量 | 5t | 1t |

現在マコモは手作業で定植から刈り取りまでを行っている。マコモは1m間隔で定植し、刈り取りをする際には可食部の生長の個体差を農家自身の目で確認する必要があるなどといった事をしなければいけない為、マコモ栽培の機械化が現在は困難である。また、マコモに付く害虫の駆除することができ、マコモの生育を効率化させる登録農薬が現在1種類しかない。これは農薬の登録には手間と時間がかかる上、マコモ農家が少ないことにより、マコモの生産量並びに農薬使用量が少ない為である。

c. マコモの販売状況

現在、マコモの販売量は生産量の3分の1程である。これはマコモの販売には虫食いの有無などを見る選別が行われる為である。加えて、マコモは傷みやすく、出荷期間が短い為、津幡町以外の地域にもマコモを出荷している。また、マコモの栽培にかかる労力に対し、マコモの販売価格が低い。

d. マコモの可食部以外（葉）の活用法

元々マコモの葉は捨てられていたが、葉の乾燥した匂いが良い匂いであったため、3～4年前まではしめ飾りの材料に使用され、津幡町のスーパーやJAグループ関連が販売を行っていた。しめ飾り制作は他の県でも行われている。しめ飾りの制作の際、虫食いのない、見栄えの良い葉の選定が行われていた為、当時活用されていたマコモの葉は約200kgに留まっていた。かつてはマコモの葉をこのように活用していたが、マコモの可食部の栽培において、葉までは手が回らない点や、しめ飾りの制作が手作業である点に加えて、しめ飾りの制作者が高齢になったことにより、現在は作られていない。

e. マコモのPR方法

津幡町はマコモのPRとして、津幡町の保育園児や小学生に対して、保育園・小学校に出向き、マコモについての説明・マコモの苗の譲渡などを行っている。今年度は津幡町の保育園・小学校合わせて12校でマコモの苗の譲渡が行われた。また、マコモは津幡町の小・中学校の給食でも振る舞われている。

しかし、津幡町民に対しては、マコモの出荷期間が短い為、宣伝が難しい現状にある。

また、他地域にはマコモの苗を持っていき、栽培の方法を教えている。さらに、マコモの植え付け時期をずらして、出荷期間を長くするという工夫をしている。また、現在はコロナ禍により行われていないが、コロナ禍以前に行われていたイベントでマコモ料理が振る舞われたり、マコモ販売が行われていたりしていた。対象者別のマコモのPR方法を表7に示す。

表7 マコモのPR方法

| | |
|--------|---|
| 園児・小学生 | <ul style="list-style-type: none"> ・保育園や小学校に出向き、マコモについての説明やマコモの苗の譲渡を行っている ・給食でのマコモ提供 |
| 町民 | <ul style="list-style-type: none"> ・マコモの出荷期間が短く、PRが難しい現状がある ・店頭、イベントでのマコモ販売 |
| 他地域 | <ul style="list-style-type: none"> ・イベントでのマコモ販売 ・マコモの苗を持ち込み、栽培の工夫などを伝授する。 ・マコモの定植の時期をずらし、出荷期間を長くしている |

聞き取り調査より、マコモ栽培の効率化を図ることが出来ない無上、マコモの販売価格が安価であるという事から、農家件数・生産量を増やす事が難しい現状にあることが分かった。これらが津幡町においてのマコモ普及を阻害している原因の一つだと考えた。そこで、マコモの知名度を向上させる事がこれらの問題の改善策の一つと考えた。そして、マコモの可食部及び可食部以外のPR法や活用法を考える為、以下の事を行った。

(2) マコモの可食部と可食部以外の活用法

a. マコモ調理

マコモの調理を行い、マコモの天ぷら、肉巻き、炒め物を食べた。マコモはタケノコのような食感であり、他の食材との相性がよく、どの料理法でも美味しく食べられた。しかし、マコモの販売時期が短く、販売場所が限られている為、マコモの調理法を発信したとしても、マコモの入手が難しく、マコモの調理が出来ない可能性があると考えた。



図9 マコモ調理(2022/10/15)



図 10 マコモ料理(2022/10/15)

b.葉の利用

マコモの葉でしめ飾りを作ったが、制作は技術的に困難であり、時間がかかった。従って、この活用法を広めたとしても、マコモの知名度向上に繋がることは考えられなかった。しかし、葉の加工体験はなかなか出来ない事であった。そこで、マコモに関心を持って貰う為にしめ飾りの制作などの葉の加工は活用出来ると考えた。



図 11 実際に作成したしめ飾り(2022/12/17)

5 研究成果の発表

日時：2023年1月18日(水)

16時00分～16時30分

発表の場：環境都市研究部 活動報告会

発表題目：「REHSE 研究発表」

発表形態：■口頭 □ポスター ■その他
(スライド)

発表者名：大松心博(2年)、正木菜々美(2年)、
岡田光(1年)

発表概要：石川高専 環境都市工学科1年生を対象に、今年度私たちが行ったマコモの水質浄化能力の検証並びにマコモの活用法などについて PowerPointのスライドを用いて発表した。



図 12 研究発表(2023/1/18)

6 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

今回水質改善のために使用する水生植物として津幡町で栽培され、特産品となっているマコモを使用したが、他地域へ新たにマコモを持ち込んで本研究と同様に水質改善を試みることに 대해서는 慎重に行うべきだと考える。なぜなら、マコモが持ち込まれたことによって、現在の生態系が崩れてしまう可能性があるからである。植物を利用している点から、従来の自然環境には影響を及ぼさないと考えていたが、生態系に影響を及ぼす可能性があることに気づき驚いた。

7 今後の課題

与える肥料の量が多すぎるとマコモが吸収できる限度を超えてしまい、窒素やリンが水中に多く残留する恐れがあると分かった。しかし、肥料の量が少ないとマコモの生長が促進されず、農業排水の窒素・リンを十分に吸収する事が出来ない。加えて、農作物として販売するためにはマコモの生長が不十分であると考えられる。よって、水質改善を図りながら農作物として生産量を多くするには、与える肥料の量を調整していく必要があると考える。

また、本研究では、マコモの可食部と可食部以外の活用法を PR することが出来なかった。その原因として、マコモの出荷期間が短く、販売場所が限定的であること。また、本研究での葉の活用法が実現的ではないことが挙げられる。そこで、まずこれらを改善する事が必要だと考える。

8 まとめ

石川県の一部の河川では、多くの年代で BOD の値が環境基準を上回っている。文献調査からも、農業使用前の水より農業使用後の水に含まれる窒素、リンの値が大きいことが報告されていることが分かった。また、津幡町の特産品であるマコモは、窒素やリンの回収が報告されている。そこで、農業排水に含まれる水質汚濁の原因の一つである窒素・リンをマコモで回収することが河川の水質改善の一助になると考えた。これらに加え、マコモの生産量・消費量が向上することがさらなる河川の水質改善と地域活性化に繋がると考えた。そこで、マコモの消費量を増加させる為にマコモの可食部・可食部以外の活用法を検討し、マコモの知名度向上を試みた。

マコモの水質浄化能力の検証として、赤土・黒土をコンテナに混ぜ入れ、マコモを植え付け、栄養塩を多く含む水を与えた。その後、試料を採取し、全窒素・全リンの濃度を分析したが、マコモの水質浄化能力を正確には調べられなかった。しかし、複数の文献調査よりマコモの水質浄化能力は期待できるものであると分かった。

また、聞き取り調査では、現在、マコモ農家が少なく、栽培の機械化や栽培を効率化させる農薬の登録が進んでいないことによる栽培効率の悪さや、マコモの販売価格が低いという問題を抱えていることが分かった。さらに、マコモの可食部・可食部以外の活用法を考える為にマコモの調理を行った。マコモはタケノコのように、さまざまな食材との相性が良く、美味しく食べることができた。しかし、マコモの販売時期が短く、販売場所が限られている為、マコモの入手が難しかった。また、マコモの葉を利用したしめ飾りの制作を行った。しかし、しめ飾りの制作は技術的に難しく、時間が長くかかった。

従って、これらの 2 つの PR は現実的ではなかった。

これらより、以下のことを提案する。

水田からの排水を活用し、マコモを栽培する事である。稲作の農業排水をマコモ栽培に活用することで、稲作によって外へ排出される窒素やリンを削減でき、さらにマコモ栽培においても肥料でまかなっていた分の窒素・リンを削減できる。従っ

て河川の水質改善に繋がると考える。さらに、与えるべき肥料の量を現在と比べ、減少させる事が出来ると考える。それにより、肥料にかかっていたコストの削減が見込め、現在の安い販売価格のままであっても、農家の利益が向上し、マコモ農家の数を増やす一助にもなると考える。そのうえ消費者もマコモを買い求めやすいため、消費量が増加し、生産量が増加することが期待できる。それにより、さらなる水質改善に繋がったり、マコモ農家が抱える栽培の効率化が進むきっかけになるなど好循環が形成されると考える。

<参考文献>

- 1) 石川県庁：公共用水域水質 河川(BOD), H11-R2
(<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/kankyo/shiryo/koukyo/index.html>)
- 2) 藤井貴敏, 高塚郁也, 伊達勇介, 中野陽一, 青木薫, 須崎萌実, 日野英彦, 藤井雄三, 奥田哲士, 西嶋渉, 藤江幸一：農業集落排水処理水が放流先河川水質および微生物叢に及ぼす影響評価, 水環境学会誌 Vol.40, No.5, pp215-222, 2017
- 3) 田渕俊雄：降水中の窒素とリン, 水質汚濁研究 Vol.8 No.8, 1985
- 4) 気象庁：過去の気象データ検索, 金沢 2022年 8月・9月(日ごとの値) 主要要素
(https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_s1.php?prec_no=56&block_no=47605&year=2022&month=8&day=1&view=)
- 5) 鈴木良地, 増田達明, 中谷洋, 勝野伸吾, 近藤一：畜産浄化槽処理水に対する各種資材の吸着能力調査, 愛知県農業総合試験場研究報告 38号, pp.181-185, 2006年12月
- 6) 江成敬次郎, 鈴木淳：水生植物(マコモ)による水質浄化：環境技術 Vol.24 No.4, pp32-36, 1995
- 7) 江成敬次郎, 小浜暁子, 玉置智, 山廻辺典夫, 菊地奈美子, 山岸正幸, 藤田光則, 中山正与：水生植物(マコモ)の年間を通じた窒素・リン吸着量の評価, 環境工学研究論文集 Vol.42, 2005