

2006 年度卒業論文

わら

くじゅうタデ原湿原の植生分布に 及ぼす水質特性の解析

Analysis of effect of water chemistry on vegetation

in The Kujyu Tadewara mire South Japan



北九州市立大学 国際環境工学部 環境化学プロセス工学科 4年

200351018

篠原 芳海

目次

1. 要旨	3
2. Abstract	
3. 目的	
4. 調査地の概要	4
5. 手法	5
5.1.調査・採水地点	
5.2.分析の意義と手法	6
1) pH	
2) 電気伝導度 (EC)	
3) 溶存酸素濃度 (DO)	
4) 酸化還元電位 (ORP)	
5) 全窒素 (TN)	7
6) 全リン (TP)	8
7) 溶存有機体炭素 (DOC)	9
8) 溶存性二価鉄	10
9) Cation, Anion	11
10) 植生調査	
5.3.調査期間	12
6. 結果	
4.1.系統別の水質	
4.2.調査ラインにおける植生分布	
7. 統計解析	13
5.1.主成分分析 (PCA)	
5.2.正準相関分析 (CCA)	16
8. まとめ	17
9. 謝辞	
10. 参考文献	18
11. 附録	

全 28 ページ

1. 要旨

タデ原湿原([33°07'N 131°14'E])は、阿蘇くじゅう国立公園（第一種特別地域）内に立地する。中部地方以南に現存する湿原としては、ミズゴケをはじめ寒冷地系の残存植物が生育し、学術的にも注目されていることから、湿原の保全と賢い利用が期待されている。

本研究では、調査ラインの水質特性が、植生分布へ及ぼす影響について解析を行った。

調査ライン、湧水と溪流における水質特性の主要因を抽出するため、主成分分析(PCA)を行った。また、調査ラインにおける水質特性と被度上位 5 種の植生との関連性を、正準相関分析(CCA)により解析した。PCA より、調査ラインの水質特性は、湧水や溪流水とは異質であり、調査ラインにおいても西側と東側で異質であることが明らかになった。特に溪流と湿地の境界において、水質が不連続的に変化することが分かった。また、CCA より、土壌水に含まれる有機、無機成分の濃度が、植生形成に影響を及ぼすことが分かった。すなわち、ヌマガヤとヒメミズゴケ、オオミズゴケは、全域に渡り高被度であるが、ノリウツギやイは、有機成分濃度が高い地点で高被度であり、ヨシは、無機成分濃度の高い地点で高被度であった。

2. Abstract

In the Tadewara mire, a lot of endangered species inhabit by the influence of spring water. I analyzed the relationship between vegetation and water chemistry by principal component analysis (PCA) and canonical correspondence analysis (CCA). Concentration of organic (especially DOC) and inorganic components had an effect on vegetation establishment.

3. 目的

一般に、湿原(学術用語で指す Mire)とは北海道など北方に存在するイメージがされることが多い。事実、日本で知名な湿原である、釧路湿原や尾瀬は、日本中部地方以北に存在している(Fig1;日本の重要湿地 500 2001 年)。これは、湿原形成の条件である、高湿、貧栄養、低分解といった環境が満たされやすいためである(辻井 1987 年, 坂口 1974 年)。しかしながら、植物の成長、植物遺体の分解が速く富栄養化が進行しやすく、また、土壌が乾燥しやすい日本中部地方以南においては、なかなか湿原を見ることが出来ない(荒金 1960 年)。ゆえに、くじゅうタデ原湿原、坊ガツル湿原、また、日本最南端の高層湿原といわれている屋久島の花之江河湿原は、極めて特異な環境において形成されていることが推測される。

本調査では、これまでに本湿原で行われた調査と異なり、立ち入りが制限される湿原内部に立ち入り、調査活動を定期的に行えることができた。このことから、これまで明らかにすることが出来なかった知見を広めることが出来るのではないかと考えている。また、本調査によって得られたデータは、湿原保全の基礎資料、今後遷移が予想される湿原との比較、また、湿原の森林化阻止を目的に毎年 3 月末に行われている野焼きの有効性について、実施前後の水質調査から栄養塩等の流出状況を把握し、野焼きによる植生の生存状況の把握等も合わせて、富栄養化阻止など野焼きの科学的実証等に利用されることを望んでいる。

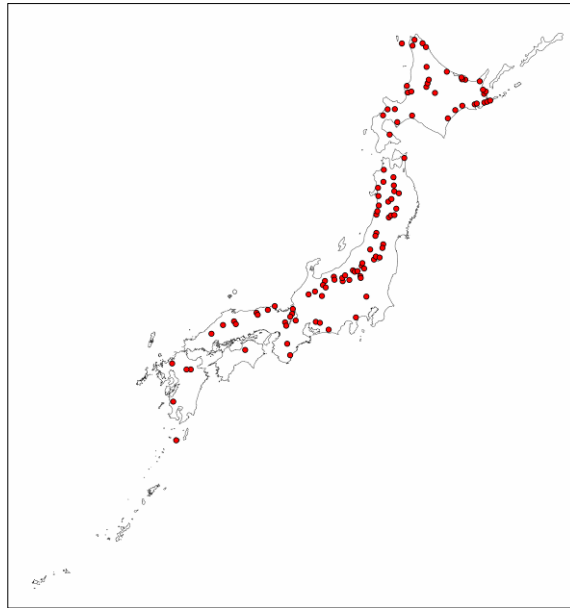


Fig.1 日本の主要な湿原(日本の重要湿地 500 2001 年)

4. 調査地の概要

くじゅうタデ原湿原(Fig. 2[33° 07'N 131° 14'E])は、大分県の西部、くじゅう連山の九重町側にある。海拔約 1000m の高原に、南北 2km 東西 0.5km の緩やかな帯状の形態で立地している。一帯は、阿蘇くじゅう国立公園に指定されており、タデ原湿原は、公園内の立ち入り等を厳しく制限する第一種特別地域に指定されている。また、九州随一の観光道路であるやまなみハイウェイ(県道 11 号線)がすぐ傍に敷設されていること、日本百名山の 1 つである久住山があることから休日や開花・紅葉のシーズンとなると、平日では考えられないほどにぎやかになる。年間平均気温は、玖珠町のアメダスのデータ(Table.附 1)、玖珠町のアメダスとタデ原湿原の標高差(Table.附 2)、気温減率 0.6[°C /100m]から換算(Fig.3;Table.附 3)すると、年間平均気温は約 10°C、年間最低気温は約-2°C、年間最高気温は約 20°C である。また、気象庁のメッシュ気候値(Fig.附 1)より年間平均降水量は約 2600mm である。

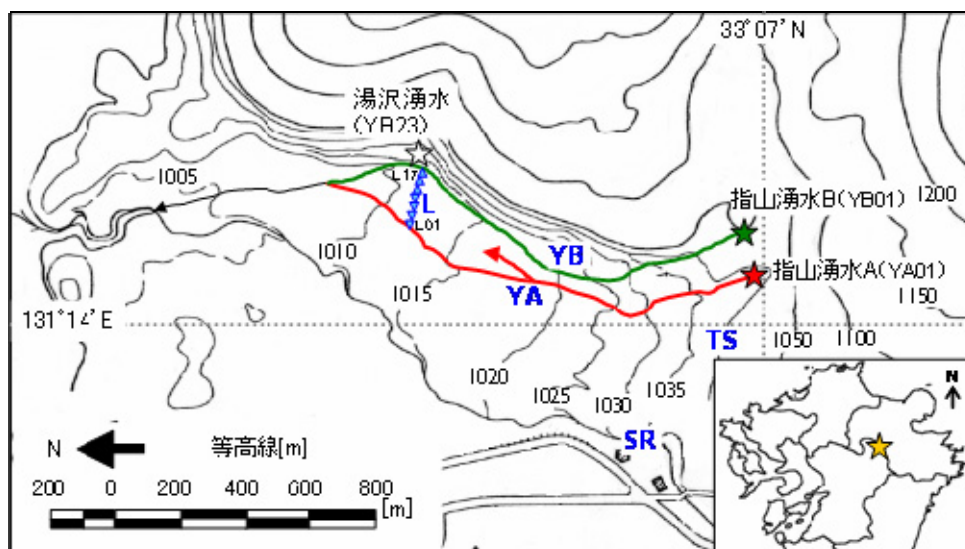


Fig.2 くじゅうタデ原湿原

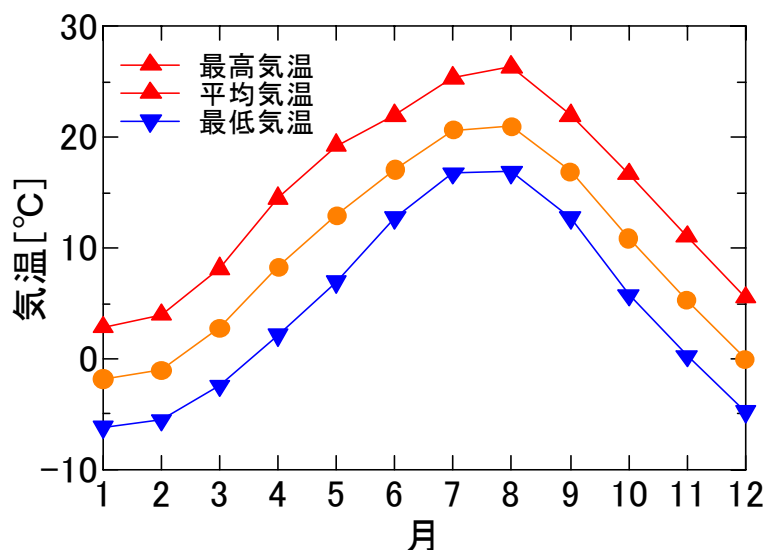


Fig.3 玖珠町のアメダスデータより換算したタデ原湿原の気温

5. 手法

5.1.調査・採水地点

調査は、タデ原湿地内の九州地方環境事務所より許可された区域（環九地国許第060303004号）において行った。調査地点（Fig2, Table.附4）は、大まかに、許可区域に設置した調査ライン（L,SN）、指山湧水Aの溪流（YA）とその支流（YAX）、指山湧水Bの溪流（YB）とその支流（YBX）湿原南部の溪流（TS）、また、白水川（SR）である。

調査ライン（Table.附4）は、タデ原中部のヌマガヤ - ヨシ - ミズゴケが優占して分布している場所である。ここに、東西方向（L）に10m間隔17本の土壌水採水用パイプ（Fig4）を設置し、染み出る土壌水を採水できるようにした。ここで東末端をL01、西末端をL17とした。また、南北方向（SN）に10m間隔9本の土壌水採水用パイプをL05で交差するように設置した、YA、YAX、YB、YBXにおいては、それぞれの湧水や溪流の源流を起点として30mから40m置きに調査地点を設置した。TSにおいては、湿原南部に設置してある木製遊歩道の上から調査可能な溪流において調査地点を設置した。SRは、ビジターセンター近くの橋の上に調査地点を設置した。

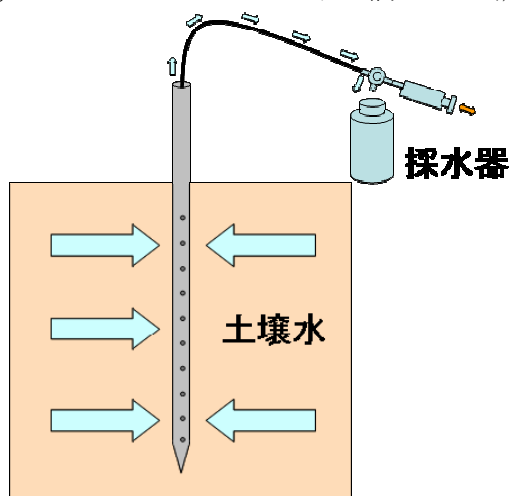


Fig.4 採水用パイプ

5.2.分析の意義と手法

1) pH

pH は、一般的な水質調査で用いられる測定項目のひとつである。根本的には、試料が塩基性か中性か酸性か知るものであるが、その値からは、地質の影響の有無、植生等の影響の有無、海水の流入の有無など非常に得られるものは大きい（アレキサンダー・J・ホーン他 1999 年）。

本研究では、堀場製作所製 pH ポータブルメータ（D-52 また D-54）に、防水プラスチックボディー形電極（形式 9621-10D）を接続したものをを用いた。測定前にフタル酸塩溶液（20°C, pH4.00）と中性リン酸塩溶液（20°C, pH6.88）で 2 点校正を行い。測定は、メータのオートホールドで示された数値を記録した。

2) 電気伝導度（EC）

EC は、試料中に溶存しているイオンの量を定量する装置である。構造上、ケイ酸のように電解しにくい物質は、溶存濃度が高い場合でも EC はほとんど変化しないため、濃度を知ることが出来ない。ただし、塩化ナトリウムをはじめ、電解しやすい物質は、溶存濃度と EC の相関が高いため、塩の流入状況を把握することに適している。

本研究では、堀場製作所製電気伝導度ポータブルメータ（ES-51）に、浸漬型導電率電極（形式 9382-10D）を接続したものをを用いた。測定は、メータのオートホールドで示された数値を記録した。

3) 溶存酸素濃度（DO）

DO は、試料中の酸素濃度から、酸素の供給、消費状況を知り、生物の生育環境や、試料が酸化的環境にあるのか還元的環境にあるのかなどについて知るものである。

本研究では、堀場製作所製電気伝導度ポータブルメータ（OM-51）に、防水 DO 電極（形式 9551-20D）を接続したものをを用いた。測定前に現地の大気で校正した。測定は、メータのオートホールドで示された数値を記録した。

4) 酸化還元電位（ORP）

ORP は、通常の水質調査ではあまり測定されない項目である。基本的には、試料が酸化的性質を持っているのか、還元的性質を持っているのか知るものである。

本研究では、堀場製作所製電気伝導度ポータブルメータ（D-54 また D-52）に、防水白金複合形電極（形式 9300-10D）を接続したものをを用いた。センサーは測定前に希硝酸で洗浄した。また、メータのオートホールドでは数値が示されるまで時間がかかるため、連続した調査地点においては 1 ヶ所ごとに測定した。

5) 全窒素（TN）

水環境の生態系における窒素は、そのほとんどが窒素ガスとして存在している。窒素分子の三重結合は、非常に強固なため化学的に不活性であるから、ほとんどの生物体は直接利用することが出来ない。よって、量的には豊富でないが生命体の栄養

源として利用される硝酸，アンモニア，亜硝酸，尿素，また溶存性有機化合物は，富栄養化の要因として注目されている（アレキサンダー・J・ホーン他 1999 年）．これは，窒素が細胞を構成する元素として 4 番目に多いこと，また，すべてのタンパク質は，窒素を含有していることが関係している．よって，溶存する窒素を測定することは大変重要である．

本研究では，塩基性ペルオキシ二硫酸カリウム分解 - 紫外線吸光度法を用いた．

a) 原理

塩基性ペルオキシ二硫酸カリウムを用いて，試料中に含まれる窒素ガスを除いた窒素化合物を硝酸イオンに酸化分解し，波長 220nm の吸光度（日本分光製 V-530）で定量を行う方法である．

b) 試薬

- ・水酸化ナトリウム・ペルオキシ二硫酸カリウム溶液

水 500ml に水酸化ナトリウム 20g を溶かし，これに，ペルオキシ二硫酸カリウム 15g を溶かした．本溶液は，調製後直ちに使用した．

- ・pH 調整液

濃塩酸（約 10M）を希釈し，塩酸（1+16），塩酸（1+60），塩酸（1+500）を作成した．

- ・硝酸窒素標準原液

110℃で4時間以上乾燥し、デシケーター内で放冷させた硝酸カリウム 0.722g を水に溶かして全量を 1L とした．また、硝酸態窒素は，細菌によって酸化還元分解されやすいため，防腐剤としてクロロホルムを 5ml 駒込ピペットで 3 滴添加した．本溶液中には，硝酸態窒素が 100mg/L の濃度で含まれている．

- ・窒素標準液

硝酸窒素標準原液を，水で 25 倍希釈した．よって，本溶液中には，硝酸態窒素が 4.00mg/L の濃度で含まれている．

c) 操作

採水した試料は，実験室に持ち帰った後，5C ろ紙を用いて 3 価鉄や砂礫を除去した．一般には，採水した試料をそのまま使用するが，懸濁物が含まれると後処理が増え煩雑になるため，本研究では，微細な沈殿物質は除去した．20ml ねじ口試験管に試料 10ml と水酸化ナトリウム・ペルオキシ二硫酸カリウム溶液 2ml を加え、栓を締めたら、直ちに振とう器で振とう攪拌した．再度，試験管の栓に緩みが無いことを確認したら，オートクレーブを用いて，121℃で20分間加熱分解させた．60℃以下に冷却したら、15ml 遠沈管に移し換え，遠心分離機を用いて，2400rpm で3分間遠心分離した．遠沈管底部の沈殿物を崩さないように，上澄み液 10ml を 50ml 遠沈管に移したら，pH2 から 3 になるように塩酸（1+16）を加えた．この溶液を，吸光光度計を用いて，波長 220nm で測定（日本分光製 V-530）した．空試験には，

水を用いて同様の操作を行った。また、検量線は、窒素標準液を希釈して、4, 2, 1, 0.5, 0.25mg/L の 5 つの希釈液を作成し、それぞれ 50ml に対して塩酸 (1+500) 10ml を加え、濃度が 3.33, 1.67, 0.83, 0.42, 0.21mg/L の検量液から測定した。

6) 全リン (TP)

リンは、窒素と並び生命体必須の物質である。集水域におけるリン酸は、硝酸や炭酸、また、ケイ酸と異なり、土壌中では移動しにくいため、地下水に溶出することは少ない。よって、大抵の場合、リンを栄養源とする生命体に影響を与えるため、リンの測定は重要である。ただし、洪水等によって土壌が攪乱されると下流域においてリン濃度が上昇することがある。

全リンは、これらのリンを分解してリン酸とした後に、吸光光度計（日本分光製 V-530）をもちいて定量したものである。

a) 原理

ペルオキシ二硫酸カリウム溶液を用いて、試料に含まれる溶存体リン、無機態リン、懸濁態リンなどさまざまな形態のリンをリン酸に酸化分解し、波長 885nm で定量を行う方法である。

b) 試薬

- ・ ペルオキシ二硫酸カリウム溶液
ペルオキシ二硫酸カリウム 5g を水 100ml に溶かした。
- ・ 2.5M 硫酸
水 500ml に濃硫酸 70ml を少しずつ加えた。
- ・ 酒石酸アンチモニルカリウム溶液
酒石酸アンチモニルカリウム 1.3715g を水に溶かし、全量を 500ml とした。
- ・ モリブデン酸アンモニウム溶液
モリブデン酸アンモニウム 20g を 500ml の水に溶かした。
- ・ 0.1M アスコルビン酸溶液
使用直前に、L-アスコルビン酸 1.76g を水 100ml に溶かした。
- ・ 混合試薬
2.5M 硫酸, 酒石酸アンチモニルカリウム溶液, モリブデン酸アンモニウム溶液, 0.1M アスコルビン酸溶液を、それぞれ、10 : 1 : 3 : 6 の割合で混合し十分に攪拌した。本溶液は、数時間しか利用できないので使用直前に調製した。
- ・ リン酸イオン標準溶液
110℃ で乾燥させたリン酸二水素カリウム 7.165g を、水に溶かし全量を 1L とした。本溶液には、リン酸が 5000mg/L の濃度で含まれている。

c) 操作

採水した試料は、実験室に持ち帰った後、5C ろ紙を用いて 3 価鉄や砂礫を除去した。一般には、採水した試料をそのまま使用するが、懸濁物が含まれると後処理が

増え煩雑になるため、本研究では、微細な沈殿物質は除去した。20ml ねじ口試験管に試料 10ml とペルオキシ二硫酸カリウム溶液 1.6ml を加え、栓を締めたら、直ちに振とう器で振とう攪拌した。再度、試験管の栓に緩みが無いことを確認したら、オートクレーブを用いて、121℃ で 20 分間加熱分解させた。60℃ 以下に冷却したら、混合試薬 1.6ml を加え振とう器で振とう攪拌した。10 分以上放置したら 30 分以内に、吸光光度計を用いて、波長 885nm で測定（日本分光製 V-530）した。空試験には、水を用いて同様の操作を行った。また、検量線は、リン酸イオン標準液を希釈して混合試薬を加え、6.25, 1.25, 0.25, 0.05, 0.01mg/L の 5 つの検量液を作成し測定した。

7) 溶存有機体炭素 (DOC)

炭水化物やタンパク質等の高分子窒素化合物など、試料中に溶存する有機物を炭素に換算したものを DOC と呼ぶ。2005 年 4 月より化学的酸素消費量 (COD) や生化学的酸素消費量 (BOD) に変わって、全有機体炭素 (TOC また DOC) を有機物指標とするようになった。

a) 原理

試料中には、TOC と全無機体炭素 (TIC) の二種の炭素が存在する。TOC は、水素や酸素と結合して構成される化合物で、TIC は、炭酸ガス、炭酸イオン、炭酸水素イオンなど無機化合物から構成されている。これらを合わせて全炭素 (TC) と呼ぶ。よって、TC と TIC を測定しその差から TOC (DOC) を求めることができる。

a-1) TC の測定原理

キャリアガスが流れ、酸化触媒を充填させた燃焼管を、680℃ に加熱させる。試料を、燃焼管内に注入すると、試料中の TC が燃焼、分解し二酸化炭素になる。これらのガスを含むキャリアガスを除湿機で冷却、除湿し、ハロゲンスクラバでハロゲンガスを吸収させる。残りのガスに含まれる二酸化炭素を、非分散型赤外線式ガス分析部 (NDIR) で検出し、検出信号から得られるピーク面積から定量を行う。

a-2) TIC の測定原理

装置内のシリンジに試料を取り込み、pH3 以下になるように塩酸を加えると、炭酸塩はすべて二酸化炭素を遊離し、キャリアガスで曝気すると溶存性の二酸化炭素と共にガス中に遊離する。このガスに含まれる二酸化炭素を NDIR で検出し、検出信号から得られるピーク面積から定量を行う。

a-3) NPOC の測定原理

装置内のシリンジに試料を取り込み、pH3 以下になるように塩酸を加えると、炭酸塩はすべて二酸化炭素を遊離し、キャリアガスで曝気すると溶存性の二酸化炭素と共にガス中に遊離する。このように TIC を除いた試料の TC を定量することで TOC を求める。

b) 操作

測定は、a)のように燃焼酸化-赤外線分析法を測定原理とする、島津製全有機炭素計（TOC-V_{CSN}）を用いて行った。

全有機炭素計を立ち上げ、測定条件（Table.1）を設定した。試料をセットして全炭素（TC）、全無機体炭素（TIC）、不揮発性有機体炭素（NPOC≡DOC）について測定を行った。DOCは、TCからTICを差し引き求めた。

Table.1 DOC 測定条件

	TC	TIC	NPOC
注入回数	2	2	2
最大注入回数	5	5	5
SD(標準偏差値)	0.1	0.1	0.1
CV%(変動係数)	2.0	2.0	2.0
希釈倍率	1	1	1
注入量[μL]	50	800	50
酸添加率[%]	0.0	6.0	1.5
通気時間[min]	-	-	1.5

8) 溶存性二価鉄

鉄は一般的に微量元素と考えられているが、ヘモグロビンなどの構成に必須で、呼吸において重要な役割を持っているため、動植物細胞には比較的多く含まれている。このことから、一般的に生命維持に必要な微量元素として分析される。しかしながら、調査地の溪流や湿地において三価鉄の沈殿が広域的に見られることから、鉄は過供給状態と考えられる。

本研究では、タデ原湿原の特性を明らかにするため測定を行った。測定方法は、1,10-フェナントロリン法を用いた。

a) 原理

二価鉄が、1,10-フェナントロリンと反応し、濃橙色に呈色する錯体を生成することを利用する。

b) 試薬

・ 1,10-フェナントロリン溶液

1,10-フェナントロリン塩酸塩 1.2g を水 1L に溶かした。大変溶解しにくいので振とう器や超音波洗浄機を用いて溶解させた。

・ 酢酸ナトリウム緩衝溶液 (pH4.6)

酢酸ナトリウム・三水和物 68.0g を約 500ml の水に溶かし、氷酢酸（濃酢酸）28.8ml を加え、全量を 1L とした。

・ 二価鉄イオン標準溶液 A

硫酸鉄（II）アンモニウム六水和物 7.02g を水に溶かし、6M 塩酸を 2ml 加え、水で全量を 1L とした。本溶液には、二価鉄イオンを 1000mg/L の濃度で含んでいる。

- ・ 二価鉄イオン標準溶液 B

二価鉄イオン標準溶液 A を正確に 100 倍希釈したもの。本溶液には、二価鉄イオンを 10mg/L の濃度で含んでいる。使用前に調製する。

c) 操作

二価鉄は、大気中また試料中の酸素と容易に反応し三価鉄を生成するため、採水後直ちに 1,10-フェナントロリンと反応させなければならない。

20ml ポリエチレン製容器に、あらかじめ 1,10-フェナントロリン 2ml と酢酸ナトリウム緩衝溶液 2ml を加えておき、これに十分に共洗いをを行った 12ml プラスチック製シリンジで、試料 10ml を採水し直ちに反応させた。この溶液を実験室に持ち帰り、吸光光度計を用いて、波長 510nm で測定（日本分光製 V-530）した。空試験には、水を用いて同様の操作を行った。また、検量線は、鉄標準溶液を希釈して、6.25, 1.25, 0.25, 0.05, 0.01mg/L の 5 つの検量液を作成し、検量液 50ml に対して 1,10-フェナントロリン 2.5ml, 酢酸ナトリウム緩衝溶液 2.5ml を加えたものを用いた。ゆえに、実際には、5.6818, 1.1363, 0.2272, 0.0455, 0.0091mg/L の濃度で測定を行った。

9) 主要陽イオン (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), 主要陰イオン (F^- , Cl^- , SO_4^{2-})

主要元素イオン、微量元素イオンを問わず、試料中に溶けているイオンを定量することは試料の特性を知る上で重要である。例えば、指山湧水 A には、硫酸イオンが高濃度で含まれているので、火山性由来物質の影響を受けていることが考えられる。イオンクロマトグラフ法は、前処理操作をほとんど必要とせずに各種のイオンを高感度、広範囲にわたって検出できる優れた手法である。

a) 原理

イオンは、それぞれの元素で水和性が異なる。イオン交換樹脂を充填させた分離カラム内に溶離液と共に試料を流すと、水和製の強いイオンは、イオン交換樹脂と相互作用しながら長時間でカラムを通過し、水和製の弱いイオンは短時間でカラムを通過する。このように分離されたイオンをサブレッサーカラムで感度を向上させ、電気伝導度計から得られるピーク面積からそれぞれのイオンの定量を行う。

b) 操作

本研究では、試料を 0.2 μm メンブランフィルター (ADVANTEC 製 25AS020AN) でろ過し、電気伝導度が 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 未満になるように希釈した溶液を、1.5ml バイアル瓶に移し、北九州市立大学計測・分析センターに依頼分析した。装置は、Dionex 製イオンクロマトグラフ・DX-120 を用いた。

10) 植生調査

2006 年 11 月 22 日に、調査ライン（東西方向）において、1m $\times$ 1m の方形区から原口教授が植生分布の被度調査 (Table. 附 6) を行った。扱った種は、被度順位が上位

6位のヌメガヤ (MJ: *Moliniopsis japonica*), ヒメミズゴケ (SF: *Sphagnum fimbriatum*), オオミズゴケ (SP: *Sphagnum palustre*), ノリウツギ (HP: *Hydrangea paniculata*), ヨシ (PA: *Phragmites australis*), イ (JE: *Juncus effusus* var. *decipiens*) である。

5.3.調査期間

調査は、2006年4月5日から7日に前調査を行い、2006年5月12日より2006年12月8日まで合計8ヶ月間SA, SAX, SB, SBX, TS, SRにおいて本調査を行った。L, NSにおいては、土壌水を採水のためのパイプの作成、設置の関係上、2006年8月10日より2006年12月8日まで合計5ヶ月間本調査を行った。

タデ原湿原は、大変気象の変化しやすい場所で、洪水等も頻繁に起きていることを2006年7月、8月の調査より確認した。このため、著しく天候が崩れた箇所、渓流水の枯渇などについては欠測、洪水等で流路が変化した場所については、調査地点の追加を行った。よって、全調査地点における調査回数は、必ずしも8回、また5回ではない。調査回数の詳細については、Fig. 附5に示す。

6. 結果

6.1.系統別の水質

分析の結果より得られた各調査地点の系統別水質の平均値をTable.2に示す。

Table.2 各調査地点の系統別水質の平均値

Sampling Point	n	pH [-]	H+ [M]	EC [μS/cm]	TN	TP	DOC	Na+	K+	Ca2+	Mg2+	F-	Cl-	SO42-	Fe2+	DO	ORP [mV]
L+NS	26	4.68	3.38×10^{-5}	294	0.90	0.01	2.70	11.54	1.74	10.28	5.86	0.29	19.14	85.61	-	-	-
YA+YAX	9	4.61	2.79×10^{-5}	315	0.51	0.10	1.78	77.63	4.19	36.87	172.34	1.73	103.98	557.65	0.35	7.26	370
YB+YBX	35	6.03	2.50×10^{-6}	271	0.51	0.11	2.28	74.63	5.30	29.18	167.82	1.21	103.39	283.57	0.80	6.60	226
TS	3	5.89	1.58×10^{-6}	112	0.43	0.11	2.33	49.03	3.11	25.88	162.74	0.95	48.91	199.32	0.71	5.83	278
SR	1	4.09	8.22×10^{-5}	320	0.51	0.10	2.39	87.85	12.91	41.44	172.70	0.84	71.87	656.99	0.73	6.72	394

※ORPの測定値は、3.33 [M] KCl-Ag/AgClを比較電極とした値

6.2.調査ラインにおける植生分布

調査ライン (L) における種ごとの被度 (Table.附6) は、変動が激しいため、まず、加重移動平均で変動を平滑化した (Fig5 ;Table.3)。平滑化は、ある位置の被度を中心とした5ヶ所のデータを式1のように重み (n=3) を付けて求めた。調査ラインの両端それぞれ4ヶ所については、データの足りない方のパラメータと重みを式から除いて計算を行った。なお、 C_k は k 地点における被度を示す。

$$\begin{aligned}
 \text{加重移動平均値} &= \frac{nC_k + (n-1)(C_{k-1} + C_{k+1}) + (n-2)(C_{k-2} + C_{k+2})}{n + 2(n-1) + 2(n-2)} \\
 &= \frac{3C_k + 2(C_{k-1} + C_{k+1}) + (C_{k-2} + C_{k+2})}{9}
 \end{aligned} \quad (1)$$

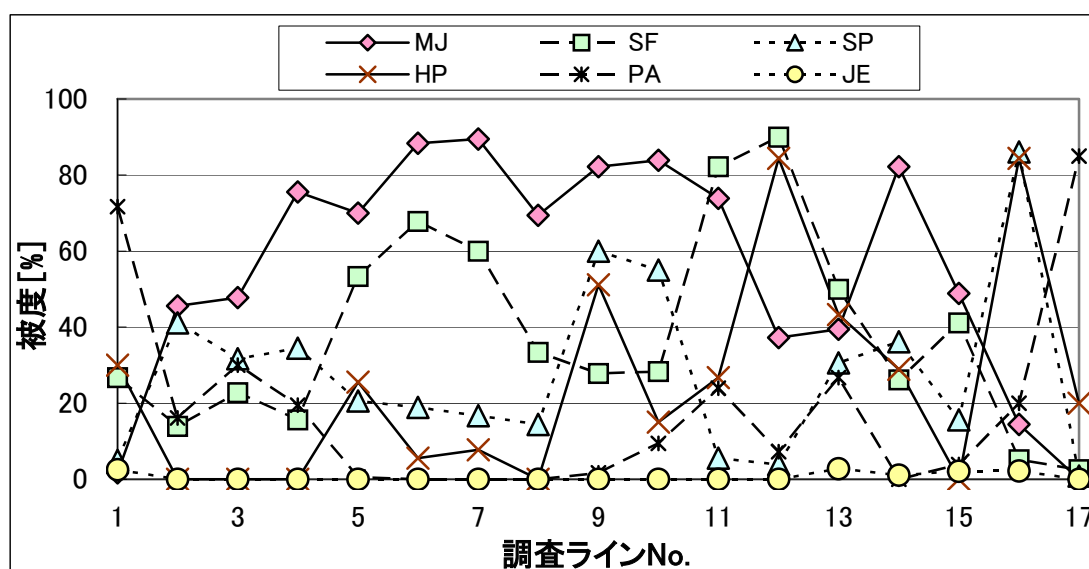


Fig.5 平滑化後の調査ライン上の角種の被度

Table.3 平滑化後の調査ライン上の角種の被度 [%]

	MJ	SF	SP	HP	PA	JE
L01	1.7	26.7	5.0	30.0	71.7	2.5
L02	45.6	13.9	41.1	0.0	16.1	0.0
L03	47.8	22.8	31.7	0.0	30.0	0.0
L04	75.6	15.6	34.4	0.0	19.4	0.0
L05	70.0	53.3	20.6	25.6	0.6	0.0
L06	88.3	67.8	18.9	5.6	0.0	0.0
L07	89.4	60.0	16.7	7.8	0.0	0.0
L08	69.4	33.3	14.4	0.0	0.0	0.0
L09	82.2	27.8	60.0	51.1	1.7	0.0
L10	83.9	28.3	55.0	15.0	9.4	0.0
L11	73.9	82.2	5.6	26.7	23.9	0.0
L12	37.2	90.0	3.9	84.4	7.2	0.0
L13	39.4	50.0	30.6	43.3	26.7	2.8
L14	82.2	26.1	36.1	28.9	0.0	1.1
L15	48.9	41.1	15.6	0.0	3.9	2.1
L16	14.4	5.1	86.1	84.4	20.0	2.2
L17	0.0	2.5	0.8	20.0	85.0	0.0

7. 統計解析

7.1.主成分分析 (PCA)

今回の調査のように、十数項目からなる試料の水質がどのような特徴を持っているのか、ひとつひとつ比較することは容易である。しかし、試料の数が増やし、水質が微妙に異なったものが混在したりすると、単純な比較や、一般的に用いられる二次元、または三次元の散布図から視覚的に特徴を捉えることは難しい。そこで、主成分分析を用いて、試料が主にどのような特徴を持つ項目群から成り立っているのか抽出を行った。

ここでは、タデ原湿原全体の水質について主成分分析（竹内；酒折 2006 年）を

行った．全ての試料において同じ項目のデータを用いる必要があるので，Table.附 5 に示したような，全ての調査地点において共通して測定を行った項目について分析を行った．まず，それぞれの変数は単位が異なるため，変数の基準化を行った．変数は 12 あるので 11 まで主成分を抽出できるが，ここでは，固有値が 1 以上の主成分（Table.4）である第三主成分まで選択した（カイザー基準）．それらの主成分における変数の係数（Table.附 7）とある地点における変数の値の積和より主成分得点を求めた（Fig.7;Fig9, Table. 附 8）．また，Table.附と分散の平方根の積から主成分負荷量を求めた（Table.5Fig.6;Fig.8）．

Fig.6 から Fig.9 より，調査ライン内における水質と湧水やその溪流における水質はまったく異なることが分かった．湧水やその溪流における水は，無機成分を高濃度で含んでいた．YA や YAX においては，硫酸イオンが特に高濃度で含まれていることから，火山性由来物質と接触していることが考えられる．また，調査ラインにおける水は，DOC や TN といった有機成分を高濃度で含んでいることから，有機成分の蓄積や富栄養化が考えられる．調査ライン内においても，水素イオン濃度の違いから西側（L01 から L11）と東側（L12 から L17）で水質が異なることがわかった．

Table.4 各主成分の固有値と寄与率

主成分	固有値	寄与率 [%]	累積寄与率 [%]
1	6.303	52.53	52.53
2	1.875	15.62	68.15
3	1.498	12.49	80.64
4	0.731	6.09	86.73
5	0.499	4.16	90.89
6	0.334	2.79	93.67
7	0.276	2.30	95.97
8	0.227	1.89	97.87
9	0.157	1.31	99.17
10	0.054	0.45	99.62
11	0.037	0.31	99.93
12	0.008	0.07	100.00

Table.5 各主成分の主成分負荷量

	主成分負荷量		
	1	2	3
EC	0.62	1.54	0.65
TN	-3.01	-0.41	0.89
TP	5.56	-0.60	-0.11
DOC	-1.17	-0.46	1.26
H ⁺	-2.31	1.46	-0.35
Na ⁺	6.20	0.00	0.15
K ⁺	4.73	0.35	0.47
Ca ²⁺	5.99	0.37	0.10
Mg ²⁺	5.93	-0.44	-0.14
F ⁻	4.03	-0.44	-0.24
Cl ⁻	5.47	0.09	0.31
SO ₄ ²⁻	5.02	0.82	0.00

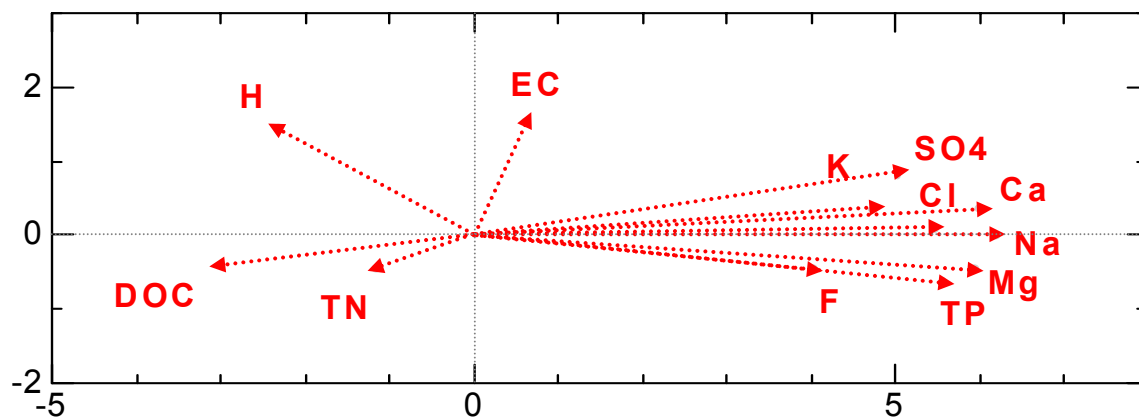


Fig.6 第一主成分 (X 軸), 第二主成分 (Y 軸) の主成分負荷量

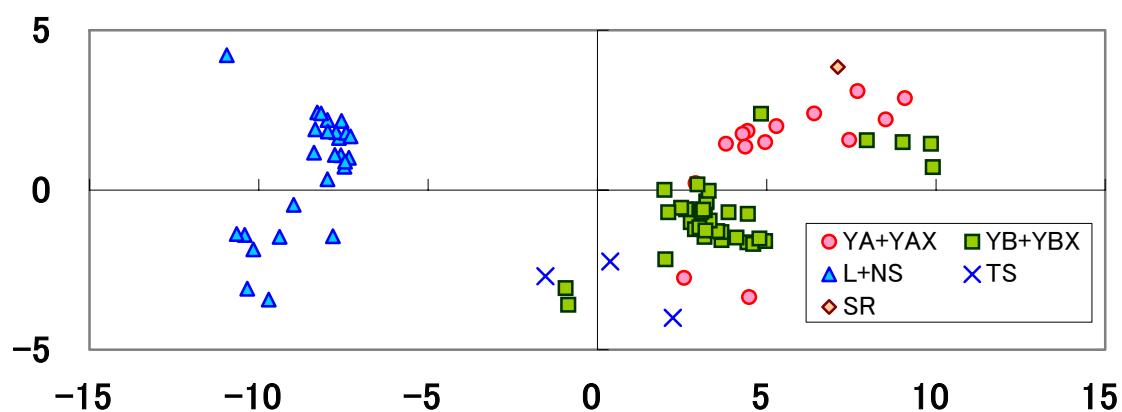


Fig.7 第一主成分 (X 軸), 第二主成分 (Y 軸) の主成分得点

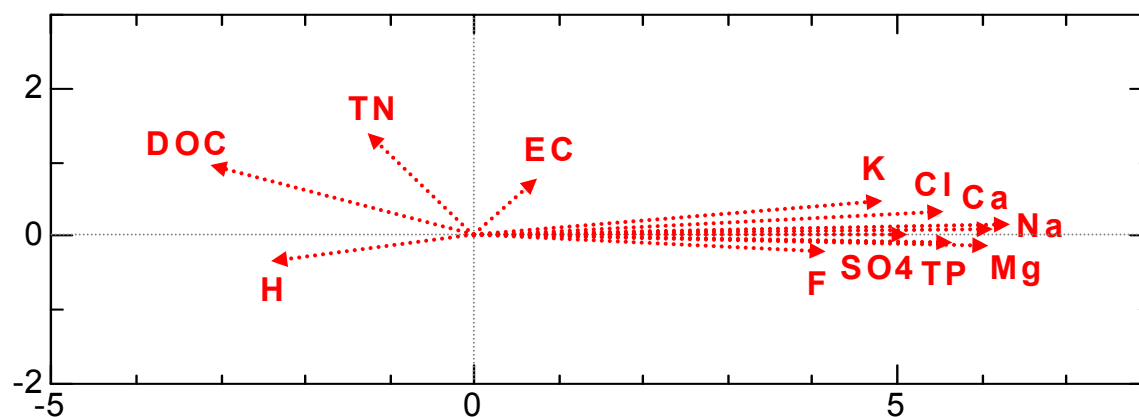


Fig.8 第一主成分 (X 軸), 第三主成分 (Y 軸) の主成分負荷量

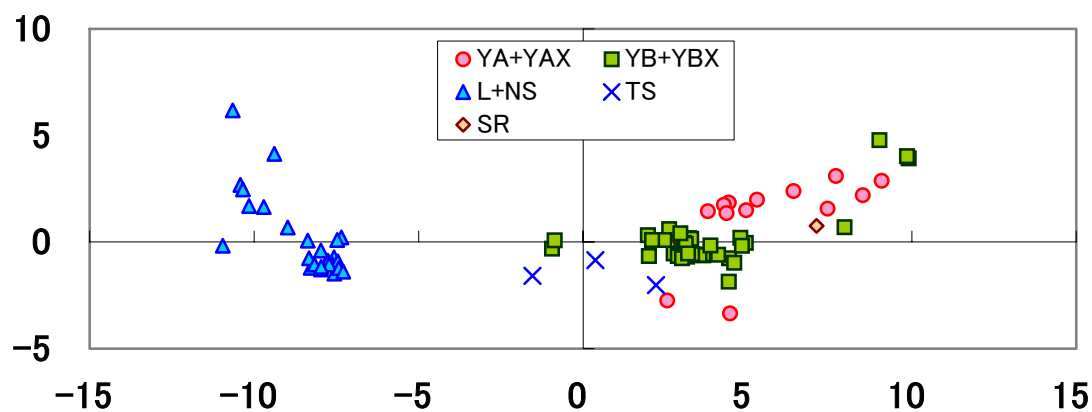


Fig.9 第一主成分 (X 軸), 第三主成分 (Y 軸) の主成分得点

7.2.正準相関分析 (CCA)

正準相関分析は、異なる変数の集まりが、それぞれがその他の変数の集まりに対してどの程度関連性を持っているのか解析する方法である。

ここでは、ある位置における水質と、同じ位置における植物の被度について正準相関分析を行い、水質と植物の被度の関連性を明らかにした。解析には、CCA 解析ソフトウェアである CANOCO4 (Ver.4.53) を用い、調査ライン L における植生のデータ (Table.3) と水質データ (Table.附 5) について解析を行った (Fig.10 ; Table.6)。

Fig.10 より、L01 や L17 のように溪流沿いの水質は、調査ライン内部の水質と大きく異なっており、ヨシ (*PA*) の被度が高いことが分かった。このことから、流れがある場所、湿原内部より低位置など、なんらかの形で溪流の影響を受けていることがわかった。

また、調査ラインの東側は、DOC や TN, TP など有機成分が高濃度で含んでおり、ノリウツギ (*HP*) やイ (*JE*) といった植物の被度が高いことが分かる。このことから、東側は、富栄養化が進行していること、ノリウツギ (*HP*) が進入していることから植生の遷移が東側から起きていることが考えられる。

また、調査ラインの西側は、無機成分を高濃度で含んでおり、ヌマガヤ (*MJ*) やヒメミズゴケ (*SF*) が、溪流の影響を受けにくい調査ライン内部で高い被度で分布していることが分かる。このことから、西側では富栄養化があまり進行しておらず、貧栄養な場所であることが分かった。

ヨシ (*PA*) を除くと、ヌマガヤ (*MJ*)、ヒメミズゴケ (*SF*)、オオミズゴケ (*SP*)、ノリウツギ (*HP*)、イ (*JE*) の順に、第三象限から第一象限にかけて並んでいるように見える。このことから、貧栄養から富栄養な状況になるにつれて、以上の順で遷移しているのではないかと考えられる。

また、水質によって植生が決定するのではなく、植生と水質の間には、相互作用があると考えられるから、今後の課題としたい。

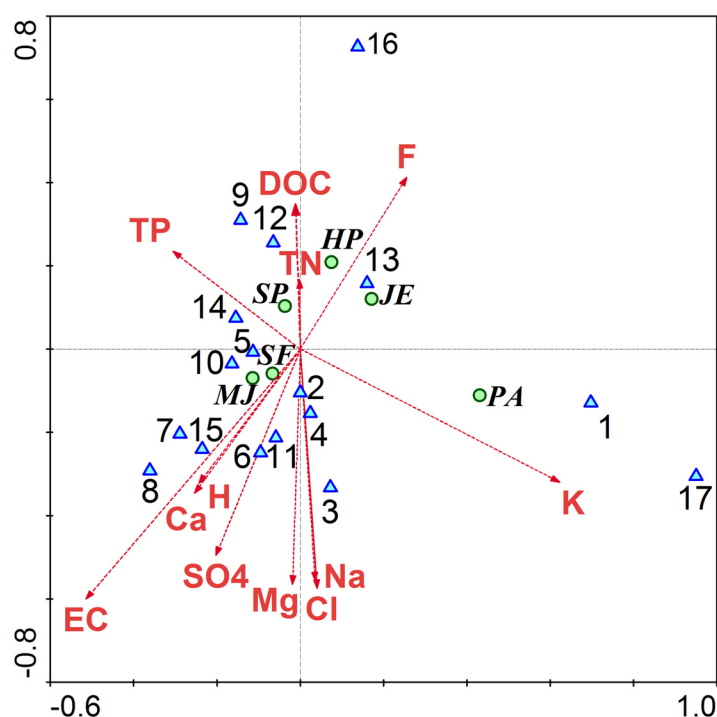


Fig.10 正準相関分析

Table.6 各軸の固有値, 相関係数, 累積分散

軸	1	2	3	4
固有値	0.336	0.150	0.099	0.012
相関係数	0.978	0.993	0.896	0.955
累積分散% 植生	52.0	75.2	90.6	92.5
植生-水質	55.9	80.8	97.3	99.3

8. まとめ

水質調査より, 湿原内は異質な水質で構成されており, 溪流においては, 溪流を流れる間の作用は少なく, 湧水に元来含まれる物質が, 水質を左右していることが分かった. 但し, DOC や TN といった有機成分は, 溪流の作用のほうが大きかった. 湿地内の水質は, 溪流からわずか 10m で一変した. また, 水質の変化や立地環境の相違と同時に植生分布も変化していることが分かった.

今後の調査においては, 水質と植生の間の相互作用の定量, 湿原北部や白水川合流直前における水質と植生との比較, 土壌の化学性や水位の影響による水質, 植生分布との関連性などが挙げられる.

9. 謝辞

本研究は, セブン-イレブンみどりの基金の助成を受けて実施された (2006 年 3 月から 2007 年 2 月). 調査に当たり, 担当教官 原口 昭氏, 特別研究員 伊豫部 勉氏より適所において適格な指示をしていただきました. また, 九州地方環境事務所より本調査へご理解をいただきました. 試料の分析にあたり北九州市立大学 計測・分析センターの長井氏, 道長氏, 北九州市立大学大学院の松根啓士氏のご協力をいただきました. ここに感謝の意を申し上げます.

10. 参考文献

- 1) 環境省, 2001 年, 日本の重要湿地 500, <http://www.sizenken.biodic.go.jp/wetland/>
- 2) 辻井達一, 1987 年, 湿原～成長する大地～, 中央公論社,
- 3) 阪口豊, 1974 年, 泥炭地の地学, 東京大学出版,
- 4) 荒金 正憲, 1960 年, 屋久島：花之江河湿原, 日本生態学会誌, Vol.10, No.2, p67-73
- 5) 気象庁, 2007 年, 気象観測 (電子閲覧室), <http://www.data.kishou.go.jp/>,
- 6) 大分地方気象台, 2002 年, 大分県の気候,
<http://www.fukuoka-jma.go.jp/oita/oita-kikou.htm>,
- 7) 大分県九重町, 2002 年, くじゅうタデ原地域自然環境学術調査報告書,
- 8) 日本分析化学会北海道支部編, 1994 年, 水の分析 - 第 4 版 -, 化学同人,
- 9) 半谷高久 ; 小倉紀雄, 1995 年, 第 3 版水質調査法, 丸善,
- 10) 日本工業調査会, 1998, 年工場排水試験方法,
<http://www.jisc.go.jp/app/JPS/JPSO0020.html>
- 11) アレキサンダー・J・ホーン ; チャールス・R・ゴールドマン著 ; 手塚泰彦訳, 1999 年
陸水学, 京都大学学術出版,
- 12) 島津製作所, 出版年不明, TOC-V_{CSN} ユーザーズマニュアル, 島津製作所
- 13) 竹内光悦 ; 酒折文武, 2006 年, Excel で学ぶ理論と技術多変量解析入門, Softbank
Creative,
- 14) Cajo J.F. ter Braak;Perr Smilauer, 1998 年, CANOCO4, Centre for Biometry Wageningen,

11. 付録

Table.附 1 大分県玖珠町のアメダスデータ

単位 統計期間 資料年数	平均気温	最高気温	最低気温	平均風速	降水量	日照時間
	℃			m/s	mm	時間
	1979～2000					
	22			15		
1月	2.4	7.1	-1.9	1.8	60.4	111.6
2月	3.2	8.2	-1.3	2.0	73.4	123.5
3月	7.0	12.4	1.8	2.0	137.5	129.4
4月	12.5	18.7	6.4	2.1	120.7	159.1
5月	17.2	23.5	11.2	1.9	166.6	148.4
6月	21.3	26.2	17.0	1.9	391.8	95.6
7月	24.9	29.6	21.0	1.8	340.3	120.9
8月	25.2	30.6	21.1	2.0	187.6	150.9
9月	21.1	26.2	17.0	1.6	192.5	125.7
10月	15.1	20.9	10.0	1.6	89.1	152.2
11月	9.5	15.3	4.5	1.6	67.0	128.8
12月	4.2	9.8	-0.5	1.7	43.1	130.1
全年	13.7	19.1	8.9	1.8	1870.1	1579.3

Table.附 2 気象データ換算表

地名	玖珠	長者原
緯度	33°16.1'N	33°07'N
経度	131°09.8'E	131°14'E
標高[m]	346	1053
標高差[m]	707	
気温減率	0.006°C/m	
気温差[°C]	4.24	

Table.附 3 玖珠町アメダスデータより換算したタデ原湿原の気温

単位	平均気温	最高気温	最低気温
	°C		
1月	-1.84	2.86	-6.14
2月	-1.04	3.96	-5.54
3月	2.76	8.16	-2.44
4月	8.26	14.46	2.16
5月	12.96	19.26	6.96
6月	17.06	21.96	12.76
7月	20.66	25.36	16.76
8月	20.96	26.36	16.86
9月	16.86	21.96	12.76
10月	10.86	16.66	5.76
11月	5.26	11.06	0.26
12月	-0.04	5.56	-4.74
全年	9.46	14.86	4.66

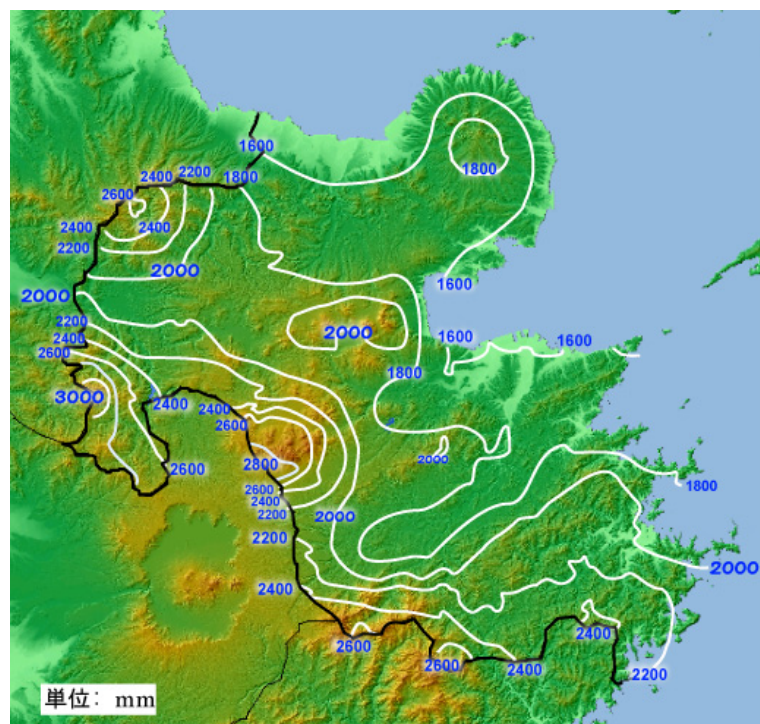


Fig.附 1 大分県の降水量分布

Table.附 4 タデ原湿地における調査地

ID	緯度	経度	ID	緯度	経度
指山湧水Aと溪流			調査ライン		
YA01	33°06'56.59"N	131°14'05.79"E	L01	33°07'22.93"N	131°14'06.93"E
YA02	33°06'57.55"N	131°14'05.58"E	L02	33°07'23.00"N	131°14'07.18"E
YA03	33°07'08.98"N	131°14'02.23"E	L03	33°07'22.94"N	131°14'07.57"E
YA04	33°07'10.05"N	131°14'02.78"E	L04	33°07'22.77"N	131°14'07.92"E
YA05	33°07'11.04"N	131°14'02.40"E	L05	33°07'22.76"N	131°14'08.31"E
YA06	33°07'12.83"N	131°14'03.09"E	L06	33°07'22.73"N	131°14'08.80"E
YA07	33°07'13.37"N	131°14'04.12"E	L07	33°07'22.65"N	131°14'09.16"E
YA08	33°07'15.69"N	131°14'06.64"E	L08	33°07'22.53"N	131°14'09.52"E
支流			L09	33°07'22.50"N	131°14'09.87"E
YAX01	33°07'11.37"N	131°14'02.06"E	L10	33°07'22.38"N	131°14'10.19"E
指山湧水Bと溪流			L11	33°07'22.29"N	131°14'10.63"E
YB01	33°06'56.58"N	131°14'07.24"E	L12	33°07'22.18"N	131°14'11.03"E
YB02	33°06'57.38"N	131°14'06.38"E	L13	33°07'22.17"N	131°14'11.35"E
YB03	33°06'58.43"N	131°14'05.85"E	L14	33°07'22.17"N	131°14'11.66"E
YB04	33°06'59.71"N	131°14'05.29"E	L15	33°07'22.02"N	131°14'12.07"E
YB05	33°07'01.09"N	131°14'04.94"E	L16	33°07'21.94"N	131°14'12.45"E
YB06	33°07'01.72"N	131°14'04.47"E	L17	33°07'21.83"N	131°14'12.79"E
YB07	33°07'03.29"N	131°14'04.09"E	N01	33°07'23.05"N	131°14'08.40"E
YB08	33°07'04.35"N	131°14'03.78"E	N02	33°07'23.38"N	131°14'08.54"E
YB09	33°07'06.82"N	131°14'03.26"E	N03	33°07'23.71"N	131°14'08.75"E
YB10	33°07'07.71"N	131°14'03.23"E	N04	33°07'24.13"N	131°14'08.90"E
YB11	33°07'08.67"N	131°14'03.17"E	N05	33°07'24.38"N	131°14'08.96"E
YB12	33°07'08.68"N	131°14'03.18"E	S01	33°07'22.42"N	131°14'08.26"E
YB13	33°07'13.81"N	131°14'04.90"E	S02	33°07'22.09"N	131°14'08.14"E
YB14	33°07'14.51"N	131°14'05.50"E	S03	33°07'21.76"N	131°14'08.05"E
YB15	33°07'15.39"N	131°14'06.29"E	S04	33°07'21.42"N	131°14'07.99"E
YB16	33°07'15.51"N	131°14'07.32"E	湿原南部		
YB17	33°07'16.63"N	131°14'08.34"E	TS01	33°06'59.83"N	131°14'02.06"E
YB18	33°07'17.71"N	131°14'09.03"E	TS02	33°07'03.37"N	131°13'58.68"E
YB19	33°07'18.39"N	131°14'09.78"E	TS03	33°07'06.29"N	131°13'54.14"E
YB20	33°07'19.40"N	131°14'10.91"E	白水川		
YB21	33°07'20.39"N	131°14'11.73"E	SR01	33°07'06.55"N	131°13'50.75"E
YB22	33°07'21.06"N	131°14'12.58"E			
YB23	33°07'22.11"N	131°14'13.71"E			
YB24	33°07'22.87"N	131°14'13.26"E			
YB25	33°07'24.25"N	131°14'12.91"E			
支流					
YBX01	33°06'57.24"N	131°14'07.82"E			
YBX02	33°06'57.65"N	131°14'06.71"E			
YBX03	未測定				
YBX04	33°07'04.15"N	131°14'05.84"E			
YBX05	33°07'04.94"N	131°14'04.89"E			
YBX06	33°07'05.80"N	131°14'04.01"E			
YBX07	未測定				
YBX08	33°07'08.67"N	131°14'03.83"E			
YBX09	33°07'14.29"N	131°14'06.91"E			
YBX10	33°07'15.26"N	131°14'07.54"E			

Table.附 5 タデ原湿原の水質 (No.1)

Sampling Point	n	pH [-]	H ⁺ [M]	EC [μS/cm]	TN	TP	DOC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺ [mg/L]	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe ²⁺	DO	ORP [mV]
SR01	8	4.09	8.22E-05	319.9	0.513	0.104	2.39	87.8	12.91	41.4	172.7	0.835	71.9	657.0	0.73	6.72	394.2
TS01	8	5.51	3.10E-06	118.5	0.436	0.111	2.12	45.9	1.67	22.6	162.0	-0.207	40.1	183.8	0.28	5.57	357.4
TS02	8	6.09	8.05E-07	140.3	0.496	0.094	2.39	53.7	4.35	26.1	162.9	0.349	51.9	245.6	1.13	6.59	242.6
TS03	8	6.08	8.38E-07	75.8	0.355	0.118	2.48	47.5	3.32	29.0	163.3	2.707	54.7	168.5	0.71	5.33	235.2
YA01-1	5	4.33	4.64E-05	333.9	0.505	0.096	1.68	90.0	5.01	44.6	172.3	3.057	115.8	752.5	0.13	6.83	427.0
YA01-2	8	4.36	4.34E-05	415.7	0.581	0.103	1.52	89.0	4.77	43.6	164.9	2.429	112.7	706.5	0.33	7.20	422.4
YA01-3	8	4.35	4.43E-05	400.0	0.524	0.156	1.57	88.0	5.07	44.6	165.0	2.292	118.6	781.2	0.04	7.34	419.4
YA01-4	8	4.46	3.46E-05	337.0	0.468	0.094	1.58	76.5	3.97	39.0	164.1	1.409	100.6	627.3	0.04	7.59	417.2
YA01-5	5	4.56	2.79E-05	224.6	0.420	0.088	1.32	69.6	3.73	33.3	171.2	0.756	78.1	451.4	0.05	7.62	390.8
YA01-6	2	4.99	1.02E-05	122.6	0.420	0.135	1.19	64.5	0.58	30.7	241.8	3.237	61.6	306.0	0.05	7.70	384.0
YA02	7	4.51	3.10E-05	361.8	0.373	0.077	1.37	80.5	5.18	39.7	164.7	1.944	104.7	662.2	0.04	7.15	382.4
YA03	8	4.48	3.33E-05	349.2	0.525	0.088	1.80	76.9	4.45	36.1	165.6	1.327	91.8	528.8	0.34	7.32	370.6
YA04	8	4.60	2.49E-05	351.3	0.469	0.079	1.93	73.6	4.10	33.7	165.1	2.106	97.9	572.6	0.19	7.43	336.2
YA05	8	4.61	2.45E-05	350.1	0.564	0.084	2.03	79.0	4.40	36.0	163.8	0.916	96.0	553.8	0.23	7.61	
YA06	8	4.66	2.18E-05	336.9	0.456	0.085	1.91	75.9	4.07	34.1	163.7	0.836	93.2	506.7	0.36	7.62	331.8
YA07	8	4.68	2.07E-05	341.4	0.763	0.101	2.11	76.9	6.52	31.9	163.9	0.807	95.5	516.7	0.36	7.69	
YA08	4	4.63	2.36E-05	316.6	0.473	0.110	2.13	90.5	5.69	45.3	183.6	1.064	119.9	644.9	0.45	7.62	323.0
YAX01	8	5.33	4.69E-06	169.6	0.588	0.106	2.76	55.8	1.10	23.8	163.2	2.022	169.3	196.5	2.31	4.89	235.4
YB01-1	5	6.04	9.12E-07	217.0	0.384	0.134	0.32	71.5	5.05	26.5	171.7	2.058	87.4	238.0	0.05	7.29	340.8
YB01-2	8	5.97	1.08E-06	239.8	0.526	0.160	0.41	80.4	7.08	26.6	164.7	0.105	105.2	277.9	0.04	7.37	329.6
YB02	8	6.09	8.17E-07	235.6	0.538	0.196	0.97	70.4	5.86	25.4	164.9	1.197	87.1	235.7	0.05	7.00	
YB03	7	6.32	4.80E-07	238.3	0.666	0.147	1.15	73.8	5.83	26.8	172.2	1.319	93.0	235.1	0.16	7.28	265.0
YB04	7	6.36	4.40E-07	233.4	0.553	0.141	1.49	73.9	5.42	25.7	172.4	1.231	88.6	220.6	0.18	7.45	
YB05	7	6.41	3.87E-07	235.0	0.550	0.117	1.40	76.6	5.90	25.6	172.4	1.274	92.3	239.1	0.28	7.02	237.2
YB06	7	6.53	2.96E-07	229.0	0.587	0.123	1.32	70.7	5.31	25.3	172.2	1.138	91.1	229.1	0.18	7.47	
YB07	7	6.53	2.97E-07	237.8	0.563	0.119	1.29	73.6	5.90	25.7	172.4	1.231	92.0	233.5	0.20	7.60	251.2
YB08	7	6.64	2.32E-07	225.3	0.404	0.091	1.63	73.5	5.93	26.9	165.0	0.652	91.4	240.7	0.19	7.53	
YB09	8	6.54	2.91E-07	230.7	0.396	0.115	1.71	69.1	5.38	26.2	164.4	0.882	85.8	238.1	0.22	7.64	233.2
YB10	8	6.59	2.58E-07	239.3	0.384	0.101	1.62	73.6	6.00	26.0	165.1	1.025	91.8	262.2	0.14	7.69	
YB11	8	6.49	3.23E-07	257.4	0.491	0.096	1.92	74.6	5.73	30.4	165.4	1.242	94.9	318.9	0.18	7.54	237.8
YB12	8	6.20	6.28E-07	263.2	0.393	0.090	1.94	71.0	5.16	28.3	165.0	1.137	90.4	297.8	0.18	7.63	
YB13	8	5.96	1.10E-06	278.7	0.465	0.095	2.16	72.0	5.04	25.5	163.7	1.207	90.6	299.9	0.47	7.56	165.6
YB14	8	5.67	2.12E-06	290.4	0.426	0.091	2.38	73.3	4.87	27.8	163.9	1.229	91.4	314.8	0.58	7.52	
YB15	8	5.93	1.16E-06	292.9	0.468	0.085	2.39	73.7	4.94	28.8	167.9	1.224	91.3	312.8	0.63	7.72	121.0
YB16	8	5.96	1.10E-06	304.7	0.450	0.080	2.10	75.1	5.09	29.9	164.4	1.058	93.6	321.2	0.68	7.46	
YB17	8	5.97	1.08E-06	287.3	0.660	0.089	2.68	71.3	5.17	26.1	164.0	1.120	90.1	303.9	0.65	7.62	136.0
YB18	8	5.99	1.02E-06	268.9	0.501	0.093	2.23	72.6	4.66	28.6	164.1	1.177	91.0	308.9	0.71	7.56	
YB19	8	5.85	1.41E-06	288.9	0.489	0.094	2.36	70.7	4.61	24.6	163.9	1.094	86.2	290.4	0.69	7.48	111.3
YB20	8	5.94	1.15E-06	299.9	0.498	0.088	2.19	71.4	4.65	26.6	164.3	0.119	91.4	308.3	0.65	7.44	
YB21	8	5.98	1.06E-06	279.3	0.544	0.089	2.06	69.8	4.61	28.9	164.3	1.436	91.1	308.3	0.62	7.43	141.8
YB22	8	5.89	1.30E-06	331.2	0.425	0.078	2.52	69.6	4.40	30.1	164.4	1.150	93.4	318.4	0.54	7.55	
YB23	8	5.60	2.52E-06	394.7	0.574	0.126	5.55	110.3	10.61	48.2	168.7	1.695	182.3	309.5	0.22	5.95	293.6
YB24	8	5.67	2.15E-06	397.3	0.540	0.125	6.22	111.8	11.04	50.7	169.6	-0.278	184.6	390.5	0.13	6.71	
YB25	8	5.68	2.09E-06	409.2	0.581	0.093	5.13	111.7	11.77	45.7	170.2	1.477	186.8	394.4	0.21	6.47	255.6

Table.附 5 タデ原湿原の水質 (No.2)

Sampling Point	n	pH [-]	H ⁺ [M]	EC [μS/cm]	TN [mg/L]	TP	DOC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe ²⁺	DO	ORP [mV]
YBX01	8	6.21	6.18E-07	253.2	0.644	0.120	2.15	79.6	6.33	26.1	164.6	2.566	104.2	239.5	0.07	6.51	297.8
YBX02	7	6.28	5.22E-07	235.5	0.679	0.114	2.26	86.9	6.46	27.3	172.5	1.763	112.5	253.3	0.81	6.74	221.6
YBX03	4	4.43	3.75E-05	350.8	0.383	0.090	1.67	78.5	4.44	37.8	183.2	0.638	100.7	586.3	0.23	6.42	355.0
YBX04	7	5.84	1.43E-06	274.8	0.856	0.104	1.71	72.1	2.60	29.8	172.2	0.418	102.3	308.4	3.65	1.99	211.4
YBX05	7	5.89	1.30E-06	266.0	0.430	0.111	1.90	66.0	2.77	27.1	171.9	1.706	92.1	273.1	1.07	5.01	
YBX06	8	5.96	1.09E-06	260.4	0.424	0.098	2.26	66.7	3.67	27.1	164.2	2.139	88.9	267.6	1.62	5.19	254.2
YBX07	5	4.70	2.02E-05	329.3	0.315	0.092	1.97	77.8	4.99	35.9	172.0	0.850	281.7	502.6	0.26	6.07	348.8
YBX08	7	5.93	1.18E-06	229.4	0.860	0.097	1.94	60.1	2.45	23.5	170.6	2.611	77.9	243.1	4.98	1.08	86.6
YBX09	7	6.45	3.54E-07	179.9	0.383	0.103	4.25	49.9	0.76	24.0	164.2	1.166	54.6	56.3	3.42	3.19	
YBX10	8	6.59	2.58E-07	180.8	0.494	0.131	4.95	43.6	0.21	25.0	165.0	1.427	52.5	30.2	3.74	4.42	81.8
L01	5	4.51	3.10E-05	308.6	0.755	-0.001	2.25	12.3	4.50	9.85	5.54	0.272	22.4	103.7			
L02	5	4.36	4.37E-05	290.5	0.428	0.005	2.37	13.1	1.94	12.3	6.04	0.364	20.8	103.1			
L03	5	5.11	7.79E-06	284.2	1.351	-0.004	2.12	12.6	1.62	7.91	5.59	0.122	20.4	88.1			
L04	5	5.38	4.20E-06	282.7	2.516	0.003	2.83	11.6	1.41	6.81	5.59	0.163	19.2	75.5			
L05	5	4.32	4.82E-05	314.0	0.446	0.004	1.66	12.6	1.94	11.6	5.96	0.327	20.9	107.9			
L06	5	4.14	7.27E-05	319.8	0.448	0.004	1.62	12.1	1.55	11.2	5.98	0.153	20.4	105.0			
L07	5	4.22	6.05E-05	322.2	0.264	-0.003	1.73	11.8	1.58	10.6	5.82	0.245	20.9	112.0			
L08	5	4.61	2.47E-05	324.3	0.720	0.024	2.43	12.2	1.76	12.7	5.85	0.159	20.3	109.0			
L09	5	4.23	5.90E-05	320.7	0.663	0.000	1.69	12.3	1.59	11.4	5.76	0.257	19.4	99.5			
L10	5	4.14	7.18E-05	323.5	0.548	0.000	1.63	11.8	1.48	12.9	6.43	0.327	20.7	110.7			
L11	5	3.82	1.52E-04	328.8	1.545	0.004	1.90	11.4	1.66	7.81	5.50	0.094	19.3	104.9			
L12	5	5.38	4.13E-06	229.0	2.188	0.005	2.53	9.37	1.39	7.33	5.28	0.177	15.7	70.4			
L13	5	5.90	1.27E-06	179.2	1.938	0.010	5.10	7.97	1.41	5.13	5.04	0.488	13.4	28.0			
L14	5	5.81	1.54E-06	344.3	1.479	0.023	7.38	9.05	1.66	5.06	4.99	0.774	15.1	11.7			
L15	5	5.81	1.56E-06	390.4	2.078	0.016	8.89	8.52	1.51	4.55	4.66	0.462	15.0	9.84			
L16	5	5.75	1.78E-06	138.9	1.168	0.013	6.04	8.62	1.11	4.82	4.49	0.574	15.1	10.3			
L17	5	5.00	1.00E-05	179.2	0.525	-0.003	2.39	12.3	2.44	7.62	6.25	0.605	19.6	50.8			
N01	5	4.46	3.50E-05	307.0	0.490	0.005	1.74	11.5	1.50	12.0	6.24	0.263	17.0	106.1			
N02	5	4.56	2.78E-05	305.7	0.421	0.013	1.69	11.6	1.55	12.0	6.44	0.174	20.4	101.4			
N03	5	4.19	6.44E-05	314.1	0.228	0.010	1.69	11.8	1.54	13.4	6.55	0.310	19.9	103.0			
N04	5	4.52	3.05E-05	267.7	0.919	0.010	1.79	13.1	1.52	14.7	6.44	0.107	19.7	100.5			
N05	5	4.27	5.36E-05	309.3	0.335	0.002	1.92	12.5	1.68	13.6	6.56	0.157	20.7	104.8			
S01	5	4.33	4.71E-05	314.0	0.293	0.000	1.55	13.6	1.87	14.0	6.64	0.178	20.4	105.3			
S02	5	4.39	4.11E-05	317.4	0.913	0.004	2.21	12.1	1.66	12.8	6.29	0.094	19.8	96.3			
S03	5	4.34	4.55E-05	313.0	0.283	-0.003	1.39	12.2	1.72	13.7	6.52	0.459	20.9	107.7			
S04	5	4.25	5.56E-05	309.2	0.360	-0.002	1.76	12.3	1.70	11.3	6.03	0.247	20.3	100.3			

Table.附 6 調査ライン (L) の植生 (No.1)

Quadrat		Line Distance No. from L01[m]	N or S Side	種名 平均被度 出現頻度	<i>MJ</i>	<i>SF</i>	<i>SP</i>	<i>HP</i>	<i>PA</i>	<i>JE</i>
Main	Sub				60.0 0.91	40.7 0.79	30.4 0.53	23.8 0.53	14.7 0.13	1.2 0.04
1	1	L01	0.5	N	0	0	0	10	100	0
2	2		1.5	N	0	50	10	60	60	0
3	3		2.5	N	10	60	10	30	10	15
4	4		3.5	N	10	20	60	30	20	20
5	5		4.5	N	35	10	80	0	15	5
6	6		5.5	N	40	30	30	0	15	0
7	7		6.5	N	40	10	20	0	20	5
8	8		7.5	N	30	20	20	0	5	0
9	9		8.5	N	20	20	10	0	15	0
10	10	L02	9.5	N	40	15	40	0	20	0
11	1	L02	10.5	N	70	10	70	0	20	0
12	2		11.5	N	80	0	70	0	10	0
13	3		12.5	N	80	0	90	5	30	0
14	4		13.5	N	60	5	80	0	40	0
15	5		14.5	N	40	30	60	0	70	5
16	6		15.5	S	60	30	80	0	70	0
17	7		16.5	S	60	50	20	0	50	5
18	8		17.5	S	40	40	5	0	30	0
19	9		18.5	S	30	20	5	0	30	0
20	10	L03	19.5	S	30	20	20	0	30	0
21	1	L03	20.5	S	80	20	70	0	30	0
22	2		21.5	S	80	25	70	0	30	0
23	3		22.5	S	90	30	60	0	30	0
24	4		23.5	S	80	30	70	0	30	0
25	5		24.5	S	80	30	80	0	20	0
26	6		25.5	S	90	5	90	0	10	0
27	7		26.5	S	80	5	90	0	5	0
28	8		27.5	S	80	5	85	0	15	0
29	9		28.5	S	90	20	60	0	20	0
30	10	L04	29.5	S	80	15	20	0	20	0
31	1	L04	30.5	S	60	10	20	0	20	0
32	2		31.5	S	60	30	5	0	20	0
33	3		32.5	S	60	40	20	0	20	0
34	4		33.5	S	50	30	30	0	10	0
35	5		34.5	S	90	50	10	0	5	0
36	6		35.5	S	70	40	10	0	20	0
37	7		36.5	S	70	70	10	5	5	0
38	8		37.5	S	70	60	20	5	5	0
39	9		38.5	S	95	80	20	40	0	0
40	10	L05	39.5	S	60	40	20	40	0	0
41	1	L05	40.5	S	60	40	30	10	0	0
42	2		41.5	S	70	60	5	5	0	0
43	3		42.5	S	80	80	5	20	0	0
44	4		43.5	S	80	70	5	0	0	0
45	5		44.5	S	70	50	10	0	0	0
46	6		45.5	S	90	80	0	0	0	0
47	7		46.5	S	90	85	0	10	0	0
48	8		47.5	S	80	70	5	10	0	0
49	9		48.5	S	90	85	15	0	0	0
50	10	L06	49.5	S	95	50	35	0	0	0

Table.附 6 調査ライン (L) の植生 (No.2)

Quadrat		Line No.	Distance from L01[m]	N or S Side	種名	MJ	SF	SP	HP	PA	JE
Main	Sub										
51	1	L06	50.5	N		90	75	0	20	0	0
52	2		51.5	N		70	70	30	0	0	0
53	3		52.5	N		70	70	10	20	0	0
54	4		53.5	S		60	70	10	0	0	0
55	5		54.5	S		90	90	5	0	0	0
56	6		55.5	S		60	90	10	0	0	0
57	7		56.5	S		70	80	0	0	0	0
58	8		57.5	S		80	90	0	0	0	0
59	9		58.5	S		85	60	0	0	0	0
60	10	L07	59.5	S		90	90	10	0	0	0
61	1	L07	60.5	S		95	20	40	15	0	0
62	2		61.5	S		95	20	40	40	0	0
63	3		62.5	S		95	30	20	30	0	0
64	4		63.5	S		85	80	0	0	0	0
65	5		64.5	S		75	40	5	0	0	0
66	6		65.5	S		80	40	0	0	0	0
67	7		66.5	S		85	40	0	0	0	0
68	8		67.5	S		75	30	0	0	0	0
69	9		68.5	S		75	50	0	0	0	0
70	10	L08	69.5	S		70	40	0	0	0	0
71	1	L08	70.5	S		60	20	40	0	0	0
72	2		71.5	S		70	10	50	0	0	0
73	3		72.5	S		90	40	30	0	0	0
74	4		73.5	S		80	5	85	0	0	0
75	5		74.5	S		50	5	70	0	0	0
76	6		75.5	S		70	3	80	0	0	0
77	7		76.5	S		90	10	80	0	0	0
78	8		77.5	S		90	0	70	60	15	0
79	9		78.5	S		95	40	40	20	0	0
80	10	L09	79.5	S		70	20	80	60	0	0
81	1	L09	80.5	S		90	30	60	60	0	0
82	2		81.5	S		70	50	30	60	0	0
83	3		82.5	S		70	30	0	10	5	0
84	4		83.5	S		70	80	5	20	5	0
85	5		84.5	S		60	60	40	80	0	0
86	6		85.5	S		85	0	80	10	0	0
87	7		86.5	S		85	5	80	40	0	0
88	8		87.5	S		85	0	95	5	0	0
89	9		88.5	S		90	15	60	0	0	0
90	10	L10	89.5	S		90	50	20	10	15	0
91	1	L10	90.5	S		80	30	70	20	20	0
92	2		91.5	S		60	15	80	60	0	0
93	3		92.5	S		25	5	95	80	0	0
94	4		93.5	S		10	10	90	100	0	0
95	5		94.5	S		40	40	60	50	15	0
96	6		95.5	S		40	90	5	70	5	0
97	7		96.5	S		30	90	10	100	15	0
98	8		97.5	S		80	70	30	60	10	0
99	9		98.5	S		70	80	10	40	10	0
100	10	L11	99.5	S		70	90	0	0	40	0

Table.附 6 調査ライン (L) の植生 (No.3)

Quadrat		Line	Distance	N or S	種名	<i>MJ</i>	<i>SF</i>	<i>SP</i>	<i>HP</i>	<i>PA</i>	<i>JE</i>
Main	Sub										
No.	from	L01[m]	Side								
101	1	L11	100.5	S		80	80	0	50	20	0
102	2		101.5	N		75	80	0	0	25	0
103	3		102.5	N		60	40	0	0	10	0
104	4		103.5	S		80	70	0	90	0	0
105	5		104.5	S		70	60	20	35	5	0
106	6		105.5	S		70	60	10	50	0	0
107	7		106.5	S		70	70	15	30	0	0
108	8		107.5	S		70	80	0	60	10	0
109	9		108.5	S		30	95	0	80	0	0
110	10	L12	109.5	S		25	100	0	100	15	0
111	1	L12	110.5	S		30	80	10	90	5	0
112	2		111.5	N		70	80	15	60	0	0
113	3		112.5	S		5	100	0	90	20	0
114	4		113.5	S		10	100	0	80	40	0
115	5		114.5	S		5	100	0	90	50	0
116	6		115.5	S		30	60	0	50	80	0
117	7		116.5	S		10	80	0	60	70	10
118	8		117.5	S		15	90	0	40	90	5
119	9		118.5	S		30	15	60	40	30	0
120	10	L13	119.5	S		30	30	50	20	30	0
121	1	L13	120.5	S		60	90	0	80	0	5
122	2		121.5	S		70	60	5	50	0	10
123	3		122.5	S		90	15	40	0	0	0
124	4		123.5	S		50	5	65	60	0	0
125	5		124.5	S		40	30	60	60	0	0
126	6		125.5	N		70	50	10	0	0	0
127	7		126.5	N		70	30	20	0	0	0
128	8		127.5	N		80	10	40	20	0	0
129	9		128.5	S		80	20	50	70	0	5
130	10	L14	129.5	S		80	25	40	30	0	0
131	1	L14	130.5	S		80	40	20	0	0	0
132	2		131.5	S		100	30	25	10	0	0
133	3		132.5	S		95	10	20	10	0	0
134	4		133.5	S		80	10	30	10	0	15
135	5		134.5	S		60	75	0	30	0	20
136	6		135.5	S		60	80	0	40	0	10
137	7		136.5	S		80	60	0	0	0	0
138	8		137.5	S		70	20	20	0	5	0
139	9		138.5	S		60	60	5	0	0	0
140	10	L15	139.5	S		30	50	10	0	0	5
141	1	L15	140.5	S		50	40	5	0	10	2
142	2		141.5	S		60	0	70	0	10	0
143	3		142.5	S		30	0	60	0	10	0
144	4		143.5	S		40	50	50	0	20	0
145	5		144.5	S		70	50	30	40	20	15
146	6		145.5	N		30	90	10	60	20	15
147	7		146.5	N		10	60	30	50	30	5
148	8		147.5	N		30	20	40	60	20	0
149	9		148.5	N		10	5	90	100	30	0
150	10	L16	149.5	N		0	2	100	100	20	0

Table.附 6 調査ライン (L) の植生 (No.4)

Quadrat		Line	Distance	N or S		種名	<i>MJ</i>	<i>SF</i>	<i>SP</i>	<i>HP</i>	<i>PA</i>	<i>JE</i>
Main	Sub	No.	from	L01[m]	Side							
151	1	L16		150.5	S		0	5	90	100	15	10
152	2			151.5	S		80	0	75	0	10	0
153	3			152.5	S		70	0	50	30	10	0
154	4			153.5	S		20	20	10	90	30	0
155	5			154.5	S		0	0	20	40	60	0
156	6			155.5	S		40	0	15	30	70	0
157	7			156.5	N		40	0	5	15	70	0
158	8			157.5	N		0	5	5	60	90	0
159	9			158.5	S		0	5	0	30	90	0
160	10	L17		159.5	S		0	0	0	0	80	0

Table.附 7 各主成分における水質の係数

	主成分		
	1	2	3
EC	0.098	0.824	0.431
TN	-0.478	-0.218	0.597
TP	0.882	-0.321	-0.074
DOC	-0.185	-0.244	0.841
H ⁺	-0.366	0.781	-0.235
Na ⁺	0.984	-0.001	0.099
K ⁺	0.751	0.187	0.313
Ca ²⁺	0.950	0.195	0.066
Mg ²⁺	0.941	-0.234	-0.096
F ⁻	0.639	-0.237	-0.160
Cl ⁻	0.868	0.046	0.204
SO ₄ ²⁻	0.797	0.435	-0.003

Table.附 8 各主成分における調査地点別の主成分得点

	主成分				主成分		
	1	2	3		1	2	3
SR01	7.10	3.84	0.76	YBX01	4.95	-1.60	-0.03
TS01	-1.53	-2.70	-1.58	YBX02	4.79	-1.52	0.21
TS02	0.38	-2.24	-0.85	YBX03	4.83	2.39	-0.18
TS03	2.22	-4.00	-2.02	YBX04	2.10	-0.69	0.10
YA01-1	8.51	2.20	-0.47	YBX05	3.01	-1.17	-0.76
YA01-2	7.68	3.10	0.15	YBX06	3.19	-1.27	-0.54
YA01-3	9.08	2.88	0.01	YBX07	7.95	1.56	0.69
YA01-4	5.29	1.99	-0.37	YBX08	2.00	-2.17	-0.66
YA01-5	2.90	0.22	-1.26	YBX09	-0.94	-3.07	-0.31
YA01-6	4.47	-3.35	-2.96	YBX10	-0.86	-3.58	0.07
YA02	6.40	2.39	-0.34	L01	-7.34	1.00	0.22
YA03	4.43	1.85	-0.04	L02	-7.57	1.09	-0.72
YA04	4.95	1.50	-0.14	L03	-8.97	-0.46	0.68
YA05	4.29	1.75	0.33	L04	-10.42	-1.41	2.67
YA06	3.80	1.45	0.00	L05	-7.63	1.62	-1.00
YA07	4.37	1.35	0.86	L06	-8.28	2.43	-1.22
YA08	7.44	1.57	0.32	L07	-7.97	2.19	-1.29
YAX01	2.56	-2.75	-0.64	L08	-7.47	0.73	0.09
YB01-1	4.43	-1.64	-1.86	L09	-8.33	1.90	-0.76
YB01-2	4.44	-0.75	-0.76	L10	-8.16	2.39	-1.07
YB02	4.60	-1.68	-0.97	L11	-10.95	4.22	-0.18
YB03	4.11	-1.48	-0.60	L12	-10.16	-1.85	1.69
YB04	3.66	-1.57	-0.63	L13	-10.34	-3.09	2.46
YB05	3.66	-1.32	-0.57	L14	-9.39	-1.47	4.14
YB06	3.16	-1.46	-0.68	L15	-10.66	-1.37	6.18
YB07	3.54	-1.28	-0.61	L16	-9.70	-3.43	1.64
YB08	2.76	-1.00	-0.53	L17	-7.81	-1.45	-0.97
YB09	2.88	-1.23	-0.65	N01	-7.76	1.10	-0.88
YB10	3.32	-0.96	-0.56	N02	-7.45	0.89	-0.92
YB11	3.88	-0.70	-0.16	N03	-7.56	2.16	-1.48
YB12	3.17	-0.63	-0.33	N04	-7.97	0.33	-0.40
YB13	2.99	-0.61	-0.06	N05	-7.72	1.81	-1.06
YB14	3.22	-0.38	0.08	S01	-7.42	1.78	-1.22
YB15	3.22	-0.36	0.19	S02	-8.37	1.17	0.07
YB16	3.29	-0.02	0.15	S03	-7.29	1.68	-1.39
YB17	2.61	-0.60	0.61	S04	-7.96	1.83	-1.16
YB18	3.07	-0.69	-0.04	分散	39.72	3.51	2.25
YB19	2.47	-0.56	0.10				
YB20	1.98	0.00	0.33				
YB21	3.12	-0.61	-0.08				
YB22	2.95	0.17	0.41				
YB23	9.90	0.71	3.93				
YB24	9.02	1.49	4.78				
YB25	9.85	1.45	4.04				