

## 伊豆沼・内沼における「巻き上がり現象」を利用した底質除去試験(第二報)

## Experiment of Sediment Removal in the Good Use of "the Rolling Up Phenomenon" at the Bottom of Izunuma · Uchinuma Swamp (The Second Report)

渡部 正弘 栗野 健 阿部 時男  
柴崎 徹\*Masahiro WATANABE, Takeshi AWANO, Tokio ABE  
Toru SHIBASAKI

キーワード：伊豆沼・内沼、巻き上がり現象、底質除去

Key Words : Izunuma · Uchinuma, Rolling Up Phenomenon, Sediment Removal

ラムサール条約の指定を受けている伊豆沼・内沼は、渡り鳥の渡来地として有名である。沼の水質はCOD、SSともに環境基準を超えており、水質汚濁の防止及び浅底化防止のため、底質の除去が効果的である。従来の船による浚渫では生態系に影響を与え、手間と費用がかかることから、冬季の強い北西風の吹いた時に起る底質の「巻き上がり現象」を利用した底質除去試験を平成11年度に初めて実施し、SS排出量の算定法を確立している。今回は平成13年4月に実施し、CODの流出特性を把握した。

## 1 はじめに

伊豆沼・内沼は、宮城県北部に残されている貴重な湿地で、1985年に「ラムサール条約」に指定されている。伊豆沼・内沼は冬鳥の渡来地として有名であるが、水質汚濁が進行し公共用水域のCODやSS水質結果ではほとんど環境基準を上まわっている。伊豆沼・内沼は合わせて湖面積が約4平方キロメートルと比較的広いにもかかわらず最大水深で1.4mと浅く、また、地形的に勾配が非常に緩やかで湖水が流出しにくい構造となっているため、泥が堆積しやすく浅底化が進行し問題となっている。浅底のため強い風が吹くと底泥が巻き上がるいわゆる「巻き上がり現象」が起る。水質浄化対策及び浅底化対策として柴崎は新たに、この「巻き上がり現象」を利用した底質の除去法<sup>1)</sup>を提唱していた。ハス等の植物が枯れ、周辺の水田等に利水の必要もない冬季に、下流の堰を上げて沼の水位を上げておき、強い北西風が吹き沼の底泥が強く巻き上がった時点で堰を下げれば一気に底泥が除去でき、生態系を損なわずに水質改善と浅底化防止が図られる、という方法である。この方法は浚渫に比べ経済性が高いという特徴がある。平成12年2、3月の冬に初めて除去法の試験を行ない、風と試験実施のタイミング、採水調査地点の選定および底質除去量算定方法の確立などの成果が得られた。(平成11年度報告書)<sup>2)</sup>。平成12年度の冬は寒さが厳しく1月から3月半ばまで沼の大部分が結氷し、また、3月下旬まで強い風がほとん

ど吹かなかったため平成13年1～3月に試験ができず、平成13年4月12日から14日にかけての西よりの風が吹いた時に試験が実施できた。通常1日で弱まる強い風が12日、13日と2日間も続く良い風の条件であった。昨年度はSSの検討のみであったが、今回はCOD流出特性等も検討したので報告する。

## 2 方 法

## 2.1 試験日の天候

平成12年の冬は厳しい寒さが続き、風がほとんど吹かず1～3月に試験ができなかった。東北地方では、2、3月は日本付近を通過した低気圧がオホーツク海で急速に発達した時に強い風が発生するが、平成12年度の冬は強いシベリアの高気圧がずっと居座り続けたため低気圧が日本付近に近づけず、試験に適した強い風がほとんど吹かなかった。また、厳しい寒さのため1月より3月中旬まで沼の大部分が結氷していたため、「巻き上がり」は発生しなかった。

平成13年4月12日から14日にかけての試験日には、事前に天気図等で季節風の吹き出しを予測していた。予想どおり平成13年4月12日、13日は低気圧がオホーツク海で急速に発達し西高東低の冬型の気圧配置になった。4月12日から14日にかけて西よりの風が吹き、通常1日で弱まる強い風が12日、13日と2日間続いた。しかし、高気圧がやや南から張り出したため、風は概ね西よりの風であった。

\* 1 伊豆沼・内沼環境保全財団

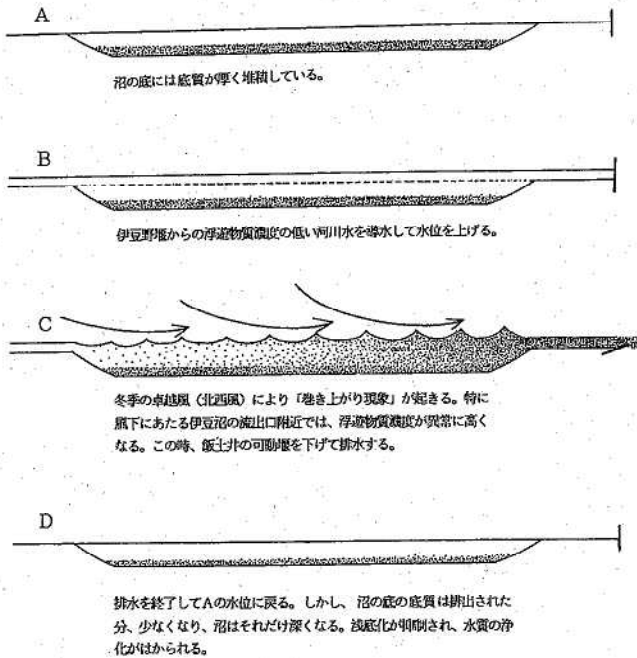


図1 導排水による「巻き上がり現象」を利用した伊豆沼・内沼の底質除去法

### 2.2 「巻き上がり現象」を利用した底質除去法

伊豆沼・内沼の水質汚濁負荷の削減と浅底化防止のため、柴崎の提案した、「巻き上がり現象」を利用した底質の除去法とは、図1のようにA：冬季には沼の水位が低下しているので、B：迫川から導水し流入量を増やし伊豆沼・内沼の水位を上げ、C：大風時に伊豆沼・内沼が大きく巻き上がった時に伊豆沼下流の荒川飯土井水門堰の水門を下げ、流下する水と共に巻き上がったSSを一気に下流の迫川まで流出させ、D：沼の底質を少なくしようとするものである。

伊豆沼・内沼の「巻き上がり現象」は柴崎<sup>3)</sup>、大場<sup>4)</sup>によれば、平均風速10m/s以上の継続時間が短い「単発型」と、平均風速10m/s以上の継続時間が長く瞬間最大風速15m/sを超える風が何度も吹く「持続型」に分類されている。これらの知見を参考にしながら典型的な「巻き上がり」を待ち試験に備えた。

事前に天気図等で季節風の吹き出しを予測し、風の吹く前日の平成13年4月11日に水位竿および自動採水器を設置した。

試験は西よりの風が吹いた平成13年4月12日から14日にかけて実施した。

風が吹き始めると同時に、4月12日午後1時に飯土井水門堰を27cm下げ、4月14日午後1時30分に再度堰を上げるまで48.5時間にわたり試験を実施した。田植え前の時期で堰はあまり下げられなかったことと、今年の冬の伊豆野堰からの伊豆沼への導水が3月下旬までであったため試験開始前でも堰上の越流もなく水位差を大きく取れなかったため、今年の試験より流速・水量とも小規模となった。

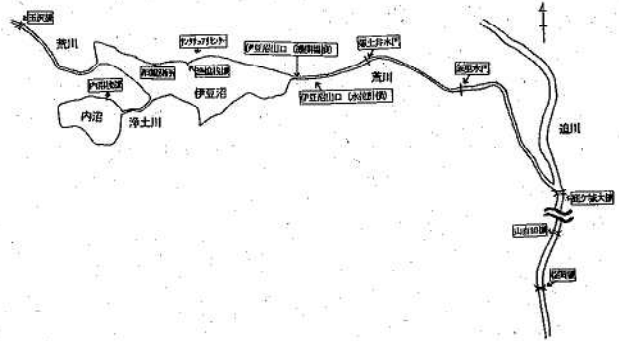


図2 調査地点

### 2.3 調査地点及び測定方法

#### 2.3.1 水位

水位測定用竿は、昨年では1か所のみであったが今回は増やし、伊豆沼では、旧伊豆沼観測所、伊豆沼漁協棧橋、内沼では、内沼出口浄土川右岸の計3か所（図2）に4月11日に設置しておき、試験開始時と終了時の水位差を測定し、流出水量の計算に用いた。

#### 2.3.2 流量測定

伊豆沼に流入する荒川玉沢橋と伊豆沼から流出する荒川の飯土井水門および迫川の桜岡橋（図2）で流量を1日1回程度測定し流入流出水量の参考にした。

#### 2.3.3 自動採水器

自動採水器は伊豆沼出口（機関場横）の荒川に繫留した船の先端、飯土井水門左岸、迫川山吉田橋上流左岸（図2）に3台設置し、平成13年4月12日から14日まで定期的（自動採水器：機関場では1時間毎、その他の地点では2時間毎）に試料採取し、水質試験を行った。

#### 2.3.4 スポット採水

①荒川玉沢橋（伊豆沼流入河川）②伊豆沼漁協棧橋（伊豆沼中央部北側）③伊豆沼出口（機関場横）（伊豆沼から荒川へ流出直後）④伊豆沼出口（水位計横）⑤内沼棧橋⑥荒川飯土井水門⑦荒川飯土井水門（飯土井水門の下流）⑧迫川鹿ヶ城大橋（荒川と迫川の合流地点）⑨迫川山吉田橋（桜岡橋の上流）の9地点（図2）で平成13年4月11日から4月14日まで1日1回程度採水調査した。また、伊豆沼と内沼の波打ち際18箇所でも採水調査を行った。これらの試料についても水質試験を行った。

#### 2.3.5 風向風速

若柳町畑岡敷味の宮城県伊豆沼・内沼サンクチュアリセンター裏山に設置した自記風向風速計による。これは、伊豆沼の湖面の風速に匹敵している。

#### 2.3.6 水質分析

SS, CODはJISK0102に従って測定した。TN, TPはJISK0102に準じて分解シトラックス800により測定した。D-COD（溶存態COD）、D-TN（溶存態TN）、D-TP（溶存態TP）はワットマンGF/C（粒子保持能1.2μm）でろ過後のCOD, TN, TPである。

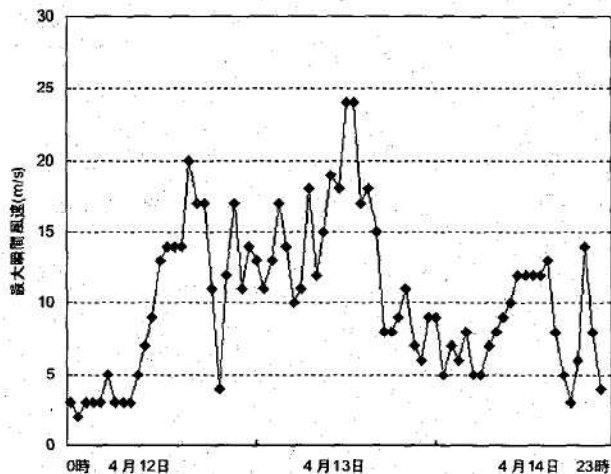


図3 試験実施日の時間毎風速

2.3.7 排出量の算定

総流出水量は、沼面積と沼水位減少値との積により算定した。

総排出SS量は各時刻毎のSS濃度と流量の積の総和で求めるべきであるが時刻毎の流量が求まらなかったため、平均SS濃度と総流出水量の積から算定した。

3 結果と考察

今回の試験では、SS、COD、窒素、燐の流出特性について検討を行った。

3.1 風と巻き上がり

宮城県伊豆沼・内沼サンクチュアリセンター裏山に設置した日記風向風速計による瞬間最大風速の変化を図3に示す。平成13年4月12日、13日にピークがいくつかみられる。

自動採水器により伊豆沼出口（機関場横）で1時間毎、下流の荒川飯土井水門で2時間毎に自動採水したSS濃度結果を図4に示す。風が強く吹いた13日の午後にSS濃度の高いピークがみられる。

今回はSS濃度がそれほど高くなく減少の程度も早いことから、やや弱めの「持続型」の「巻き上がり現象」と考えられる。

3.2 流出水量の推定

伊豆沼・内沼自体の容量が大きい、流入と流出量が少なく量の釣り合いがとれているので、沼の水位は大雨が降らない限り短期間での水位変動はほとんどない。試験時に伊豆沼下流の荒川飯土井水門堰を下げることで、伊豆沼・内沼の水位は徐々に低下する。その水位低下分は、通常期の流入流出分を除く、今回の試験実施による流出と考えられる。

水位変動は、4月12日夜から13日朝にかけて3mmの降雨（築館アメダス）があったが、少量の降雨のため水位変動に影響ないものとして計算した。大きな降雨があれば影響の出るはずの伊豆沼に流入する荒川玉沢橋で4月12日午後と13日午前に流量を測定しているが、全く流量

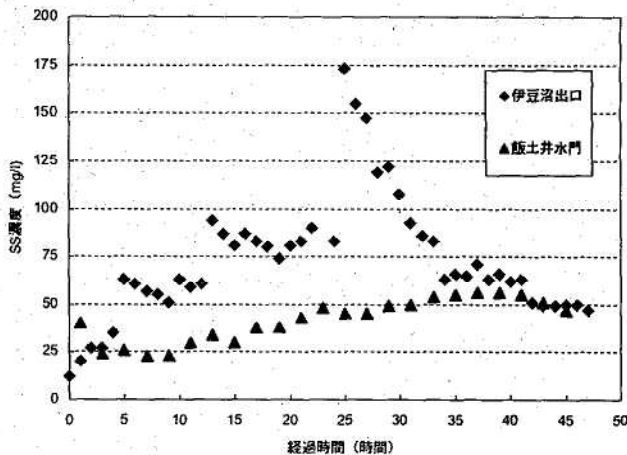


図4 SS濃度変化

の変化はなく、水位に影響はないと考えられる。

伊豆沼の水位の低下は、漁協花橋と旧観測所に設置した水位竿の4月12日の水位から4月14日の水位の低下を測定、2日間の水位低下は8cm(0.08m)であった。

また、内沼の水位の低下は、内沼出口の浄土川に設置した水位竿により測定、2日間の水位低下は6cm(0.06m)であった。

試験実施によるおおよその流出水量は、沼面積に沼水位低下値を掛けて求めた。

沼の面積は、伊豆沼2.89km<sup>2</sup>、内沼0.98km<sup>2</sup>なので試験実施による総流出水量は、

$$\begin{aligned} \text{水位} \times \text{面積} &= 0.08 \text{ m} \times 2890000 \text{ m}^2 \\ &\quad + 0.06 \text{ m} \times 980000 \text{ m}^2 \\ &= (231200 + 58800) \text{ m}^3 \\ &= 290000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

約30万m<sup>3</sup>と推定される。

3.3 総SS排出量の算定

図4より伊豆沼出口（機関場横）では風が強く吹いた13日の午後にSS濃度の高いピークがみられる。しかし約2km下流の荒川飯土井水門ではSS濃度はやや低く、あまり変化もなかった。今回の試験では、水位の変化が小さく、沼からの流出水の流速が遅く流下の途中でSS粒子が沈降したためと考えられる。また、伊豆沼出口でも流速が遅く十分にSSを引き出せていなかったと考えられる。

伊豆沼出口における2日間47回採水の平均SS濃度は72mg/lで、約70mg/l(0.07kg/m<sup>3</sup>)として計算する。

SSの総排出重量は、次式により求めた。

$$\begin{aligned} \text{総SS排出重量} &= \text{水量} \times \text{SS濃度} \\ &= 30 \text{ 万 m}^3 \times 0.07 \text{ kg/m}^3 \\ &= 21000 \text{ kg} \\ &= \text{約} 20 \text{ t} \end{aligned}$$

今回の試験では、伊豆沼・内沼からの総SS排出重量は約20トンと推定される。

3.4 COD濃度の変化

自動採水器で採水・分析したCODの結果を図5に示す。

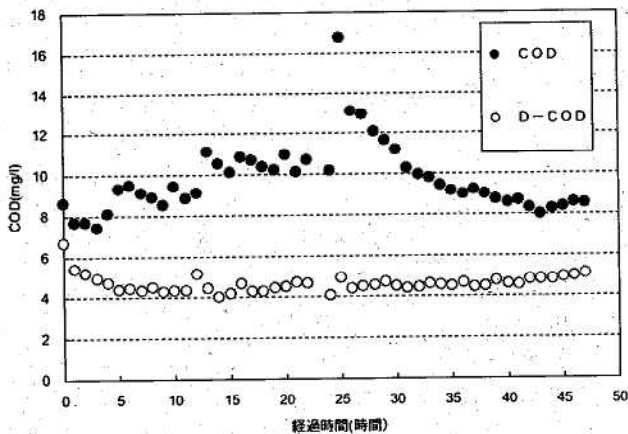


図5 伊豆沼出口のCOD変化

CODはSSと同様の動きをしているが、D-CODは変化がなく一定である。このことから、CODの上昇は巻き上がった底泥粒子によるもので、巻き上がった底泥の溶出の影響は少ないと考えられる。

なお、D-CODのデータで初めの数本が高くなっているが、他地点の自動採水器でも同様の傾向が見られたことから、これは採取用チューブに起因すると考えられた。

### 3.5 窒素・リン濃度の変化

また、N・Pの結果を図6に示す。TNとTPはSSと同様の動きをしているが、D-TNとD-TPは変化が少ない。このことから、TNとTPの上昇の大部分は巻き上がった底泥粒子によるものと考えられる。

### 3.6 下流への影響

巻き上げ時の下流に及ぼすSS影響調査を行なった。下流の迫川山吉田橋で採水しSSを測定した。流量はその下流の迫川桜岡橋の歩道橋で測定した。迫川は上流部の雪どけで濁っていたため影響は不明であった。

### 3.7 今後の課題

「巻き上げ試験」は昨年度から開始しているが、全くの風任せの試験で、大風の吹く日の予想がむずかしく、年に1、2回しかデータにならない。今年は風も弱く流速も小さいパターンの試験1回だけであった。

底浅化防止のためには、底質除去をより効果的に行う必要があり、今後、風が強し流速が大きな「巻き上がり試験」を何度か実施し、その時の風向風速、水量、継続時間等によるSS排出量を測定し、データを蓄積し、各種パターンでのデータベースを作成する必要がある。

また、底質除去により水質がどれだけ浄化されるかを今後調査していく必要がある。

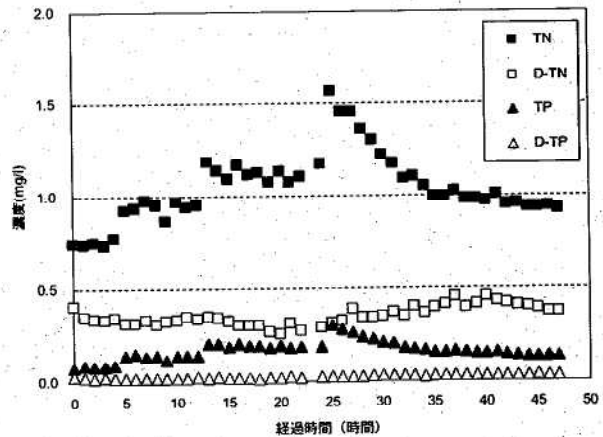


図6 伊豆沼出口のTN・TP変化

## 4 まとめ

- ① 今回の試験では、水位差を大きくできなかったことから流速が遅く、総SS排出量は少なかった。
- ② CODの上昇は、巻き上がった底質粒子によるものと考えられた。
- ③ 窒素・リンの上昇の大部分は、巻き上がった底質粒子によるものと考えられた。
- ④ 巻き上げ時の下流に及ぼす影響は、迫川が雪どけで濁っていたため不明であった。
- ⑤ 底質除去をより効果的に行うため、また、底質除去による水質浄化効果を調査するため、風・水量等が異なる条件下で今後試験を継続実施していく必要がある。

## 参考文献

- 1) 柴崎徹；「伊豆沼・内沼」；日本の水環境第2巻東北編：日本水環境学会編，(2000) p40-48
- 2) 渡部正弘，小葉松英行，八木純，柴崎徹；伊豆沼・内沼における「巻き上がり現象」を利用した底質除去試験；宮城県保健環境センター年報（平成11年度）：No.18 (2000) p113-116
- 3) 柴崎徹；伊豆沼・内沼における「巻き上がり現象」に関する動態調査；みやぎ公衛研カプセル：平成6年9月No.35 (1994) p6-8
- 4) 大場修；伊豆沼・内沼における「巻き上がり現象」に関する動態調査；公衆衛生情報みやぎ：No.220 (1995) p8-13

## 釜房ダム上流域における山林系負荷原単位の検討

## Pollutant Load Per Unit Production from Forest Area in Reservoir Kamafusa Dam

三沢 松子 清野 茂 阿部 時男

Matsuko MISAWA, Shigeru SEINO, Tokio ABE

キーワード：比流量，比負荷量

Key Words : Specific Runoff, Specific Load

人為的汚染源のないダム流入3河川上流部における水質及び流量の調査結果をもとに、上流域の山林系汚濁負荷原単位 (COD・TN・TP) について試算し検討を行った。湖沼水質保全特別措置法に基づく第3期水質保全計画策定時の水質予測に用いられた値と比較すると、降雨の影響のないデータのみの試算結果では予測採用値とほぼ一致したが、降雨の影響が考えられるデータを含めた場合には予測採用値より大きな値を示す結果となった。

## 1 はじめに

釜房ダム貯水池は、湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼として位置付けられ、5年ごとの水質保全計画策定時に水質シミュレーションが行われているが、これまでの調査では、出水時、特に自然系からの負荷の把握が不十分で、ダム貯水池の水質予測にうまく反映されていないのではないかと指摘もある。

河川の上流域や山地に位置する湖沼の多くは汚濁負荷量のうち自然系の占める比率が高い。水質予測における汚濁負荷量の把握には原単位法が用いられることから、汚濁負荷原単位によって汚濁負荷量が左右されることになり、地域の実態に即した原単位が要求される。

今回は、釜房ダム流入河川上流部での水質及び流量の調査結果をもとにした自然汚濁負荷量算定について検討を行ったので報告する。

## 2 方 法

釜房ダムに流入する3河川、太郎川（北太郎川）、北川（小屋の沢）及び前川の各上流域（図1）において、平成9年9月から平成12年3月までに天候に関わらず実施した月1回以上の水質と流量の調査データを用いて検討を行った。ただし、太郎川については、平成11年度途中で集中豪雨により林道が寸断され、調査地点まで行けなくなったため、他の2地点に比べ検討に用いたデータは少なくなっている。

また、調査時の降雨状況は、宮城県気象月報（川崎）の雨量データを用い、調査当日及び先行降雨の状況から降雨の影響の有無を判定した。

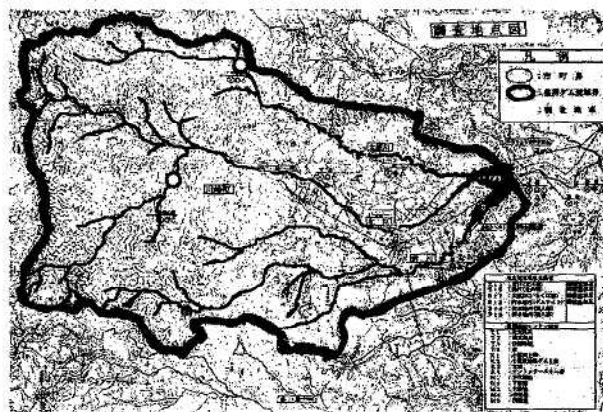


図1 釜房ダム流域と調査地点

## 3 結果及び考察

## 3.1 流量と比流量

水域間の流量の比較には各流域面積の大小による影響要因を除くため流域の面積あたりで示す比流量が用いられることから、今回対象とした3水域の調査期間中の比流量を求めた。

表-1 流入水域の概要

水 域	平均流量 ( $m^3/s$ )	流域面積 ( $km^2$ )	比流量 ( $l/s/km^2$ )		
			平均	最小	最大
太郎川上流	1.772	12.63	140.3	17.50	843.0
北川上流	2.678	24.84	107.7	19.73	620.9
前川上流	1.004	7.52	243.5	31.91	1809

今回の調査地点では、北川流域に比べ太郎川や前川ではその流域面積が各々約1/2, 1/3になっているが、その比流量は北川に匹敵ないしは大きい値を示す結果と

表-2 対象水域の水質

(単位: mg/l)

	COD			T-N			T-P		
	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大
太郎川上流	3.09	1.12	19.20	0.251	0.058	0.930	0.022	0.003	0.110
北川上流	1.33	0.52	3.11	0.116	0.053	0.390	0.006	<0.003	0.070
前川上流	1.09	0.30	6.21	0.175	0.066	0.530	0.010	<0.003	0.092

なっている。流域面積が小さいのに比流量が大きい場合、地形が急傾斜であることや植生が保水性に乏しいこと、あるいは地質的に透水性に富むこと等が考えられ、比流量という指標は流域特性を表している意味でも重要であると考えられる。

3.2 水質

対象水域の水質分析結果を表-2に示した。太郎川上流については高めの傾向にあり、これは全体のデータ数や分布に因るものと考えられる。

3.3 比負荷量

各水域のCOD, T-N, T-Pについて単位面積あたりの負荷量(比負荷量)を表-3に示した。

表-3 水域別比負荷量 (kg/日/km<sup>2</sup>)

	COD	T-N	T-P
太郎川上流	1.69~1398	0.142~67.7	0.010~8.01
北川上流	1.76~393.7	0.009~20.9	0.005~3.31
前川上流	1.91~197.7	0.273~14.4	0.006~2.50

(注) 検出下限値未満は、下限値の1/2として算出した。

3.4 比流量と比負荷量

単位面積あたりの負荷量は比流量の関数として表現できるとされており、各河川各項目ごとに比流量と比負荷量の関係の回帰式を求めたところ、表4のとおりであり、図2にCODを例として示した。

表4 比流量と比負荷量の関係(1)

	COD	TN	TP
太郎川上流	$L=0.0176Q^{1.5501}$ (12.63km <sup>2</sup> ) ( $r^2=0.9538, n=12$ )	$L=0.0018Q^{1.4869}$ ( $r^2=0.948, n=8$ )	$L=0.00009Q^{1.5636}$ ( $r^2=0.8961, n=8$ )
北川上流	$L=0.0137Q^{1.4546}$ (24.84km <sup>2</sup> ) ( $r^2=0.9194, n=28$ )	$L=0.0019Q^{1.3608}$ ( $r^2=0.918, n=23$ )	$L=0.00003Q^{1.5425}$ ( $r^2=0.7633, n=23$ )
前川上流	$L=0.047Q^{0.9872}$ (7.52km <sup>2</sup> ) ( $r^2=0.5396, n=28$ )	$L=0.00208Q^{0.8253}$ ( $r^2=0.4903, n=23$ )	$L=0.0002Q^{1.1015}$ ( $r^2=0.4623, n=23$ )

L: 比負荷量 (kg/日/km<sup>2</sup>) Q: 比流量 (l/s/km<sup>2</sup>)

経験式 $L=a \cdot Q^n$ 式におけるaとnについては、流域面積が小さく、流出率の高い流域、特に河床勾配や流域内の平均傾斜度の高い流域でaの値が大きくなる傾向があり、また、nは流出負荷量の大きい流域、降雨により流出する負荷量の大きい面源負荷のウエイトの高い流域

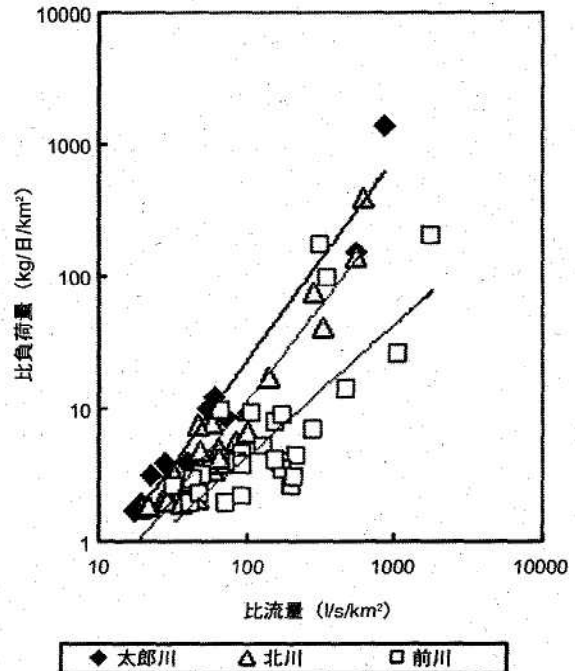


図2 河川別比流量と比負荷量 (CODの例)

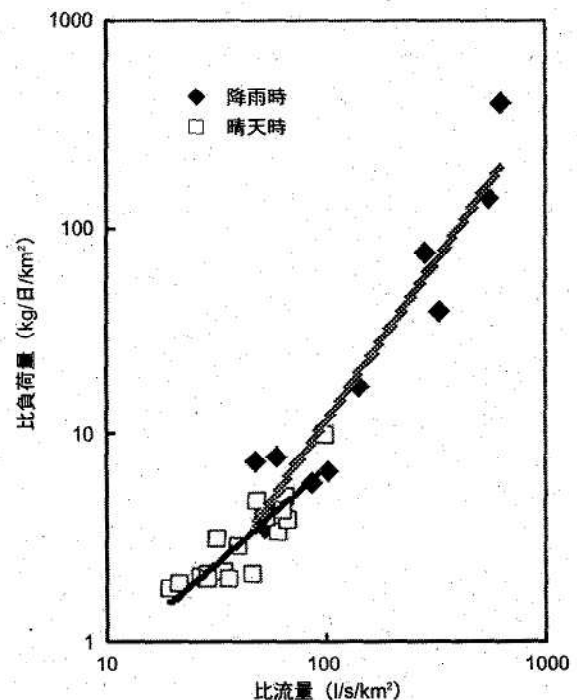


図3 降雨の影響と比流量・比負荷量  
-北川のCODの例示-

表5 調査時の降雨状況

(累積日雨量 単位:mm)

	当日	前3日	前6日	判定		当日	前3日	前6日	判定
H 9/ 9/ 9	0	56	91	降雨時	H11/ 8/26	5	37	43	降雨時
9/17	51	31	48	降雨時	H11/ 9/ 1	2	6	43	
10/15	2	5	6		9/16	0	149	151	降雨時
H10/ 8/ 7	79	26	55	降雨時	10/ 4	0	0	2	
11/27	0	6	6		10/28	73	88	88	降雨時
11/29	0	0	6		11/ 1	24	0	161	降雨時
H11/ 5/19	8	12	12		11/10	0	0	0	
5/20	0	8	20		11/15	10	5	5	
5/26	0	13	13		11/16	4	10	15	
5/27	24	13	13	降雨時	11/17	3	14	19	
6/ 8	0	18	22		12/ 2	0	1	7	
7/ 5	2	37	163	降雨時	12/ 7	5	13	13	
7/ 8	0	4	43		H12/ 1/14	1	25	37	降雨時
7/26	0	1	19		2/14	0	0	3	
8/24	31	0	13	降雨時	3/21	0	0	33	

で大きくなることが多いとされている。また、流域が殆ど山地である河川と農耕地のウエイトが大きい河川とでa値を比較すると、「農耕地河川>山地河川」の傾向があり、さらに汚濁負荷レベルの高い河川ではa値が大きくn値が小さくなり、逆に汚濁負荷レベルの小さい河川ではa値は小さくn値が大きくなる傾向があるとされている。

3.5 降雨の影響

平成9年9月から平成12年3月までのスポット調査実施日及び先行降雨の状況は表5のとおりである。ここで、表における降雨データは、前述のとおり宮城県気象月報を用いた。

3.5.1 降雨の影響の有無の判断基準

降雨の影響の有無の判定にあたっては、当日20mm以上の降雨、調査前3日以内に20mm以上の降雨或いは前6日以内の累積雨量が120mm以上(6日間のAPIが20mm以上)を降雨時扱いとした。この判断基準は、①降雨強度との関連もあるがこれまでの現地調査から累積日雨量20mm未満では濁水の生ずるケースが少ないこと ②一般に、目安として調査前3日以内に20mm以上の降雨があった場合には降雨影響ありとされること ③大雨では河川がもとの状況まで回復するのに約1週間程度要することなどを考慮して設定した。

3.5.2 降雨の影響と比流量・比負荷量

これまでのデータをさらに降雨の影響が考えられるもの(降雨時)とそれ以外のもの(晴天時)に分けて検討を行った。

太郎川については、前述の理由により平成11年8月26日までの調査に止まっており、他に比べ降雨時データの割合が高くなっている。

まず、降雨の影響が考えられるデータのみを用いて比流量と比負荷量の関係を求め、表6-1に示した。

次に、降雨の影響が少ないと考えられるデータを用い

表6-1 比流量と比負荷量の関係(2)-降雨時-

	COD	TN	TP
太郎川上流	$L=0.0103Q^{1.6472}$ (12.63km <sup>3</sup> ) ( $r^2=0.9373, n=6$ )	$L=0.0019Q^{1.4685}$ ( $r^2=0.9492, n=5$ )	$L=0.00003Q^{1.7411}$ ( $r^2=0.9001, n=5$ )
北川上流	$L=0.0092Q^{1.5488}$ (24.84km <sup>3</sup> ) ( $r^2=0.9018, n=10$ )	$L=0.0047Q^{1.2052}$ ( $r^2=0.9052, n=8$ )	$L=0.00005Q^{1.4643}$ ( $r^2=0.6474, n=8$ )
前川上流	$L=0.1151Q^{0.9221}$ (7.52km <sup>3</sup> ) ( $r^2=0.4463, n=10$ )	$L=0.0969Q^{0.6629}$ ( $r^2=0.5341, n=8$ )	$L=0.0054Q^{0.6444}$ ( $r^2=0.249, n=8$ )

L:比負荷量(kg/日/km<sup>3</sup>) Q:比流量(ℓ/s/km<sup>3</sup>)

表6-1 比流量と比負荷量の関係(3)-晴天時-

	COD	TN	TP
太郎川上流	$L=0.1027Q^{1.0235}$ (12.63km <sup>3</sup> ) ( $r^2=0.7536, n=6$ )	$L=5E-08Q^{4.6589}$ ( $r^2=0.9981, n=3$ )	$L=2E-06Q^{2.7606}$ ( $r^2=0.9753, n=3$ )
北川上流	$L=0.0953Q^{0.9254}$ (24.84km <sup>3</sup> ) ( $r^2=0.7754, n=18$ )	$L=0.0026Q^{1.2597}$ ( $r^2=0.697, n=15$ )	$L=0.0002Q^{1.0633}$ ( $r^2=0.3543, n=15$ )
前川上流	$L=0.9341Q^{0.2757}$ (7.52km <sup>3</sup> ) ( $r^2=0.21, n=18$ )	$L=0.2318Q^{0.2316}$ ( $r^2=0.0694, n=15$ )	$L=0.001Q^{0.6256}$ ( $r^2=0.252, n=15$ )

L:比負荷量(kg/日/km<sup>3</sup>) Q:比流量(ℓ/s/km<sup>3</sup>)

表6-3 水域別平均比流量と比負荷量

	平均比流量	COD	T-N	T-P	
太郎川上流	降雨時	271.28	383.23	25.97	1.889
	晴天時	28.10	11.39	0.521	0.073
北川上流	降雨時	226.40	149.04	11.82	0.512
	晴天時	45.20	11.83	1.15	0.042
前川上流	降雨時	479.39	124.52	21.17	1.052
	晴天時	119.37	12.74	2.56	0.073

(注) 単位 平均比流量: ℓ/s/km<sup>3</sup> 比負荷量: kg/年/ha

て比流量と比負荷量の関係を求めたところ、表6-2のとおりであった。図3に北川のCODを例に示した。さらに、それぞれの場合において、その関係式と平均比流量から比負荷量を求めた結果を表6-3に示した。

以上のことから、いずれの場合も、経験式 $L=a \cdot Q^n$ において前川上流はaが大きくnが小さく、逆に太郎川ではaが小さくnが大きくなっていることがわかる。前川上流は他の2流域に比べ流域面積が小さいが流出率が高く、農耕地河川的な性格を有しているものと考えられる。一方、太郎川や北川上流では前川上流に比べ山地河川的な性格が強く、降雨等による流出負荷量の大きい面源のウエイトが高い流域であるものと考えられる。太郎川と北川での違いは、太郎川では流域面積が小さいこともあるが、特に降雨時に太郎川でaの値が大きくなることから、北川に比べ河床勾配や傾斜度が大きく流出率が高くなるのではないかと考えられる。これらのことは、感覚的ながら現地の景観からも理解に難くない。つまり、前川上流では「森林」というよりは「やや里山」のような景観を有し、北川や太郎川では「森林」を形成している感がある。さらに、北川のより「奥の深い森」に対し、太郎川ではV字谷のような地形のもとに形成され、また所々伐採作業のみられる状況にあり、これらが反映されているものと考えられる。

3.6 ダム流入自然（山林）系負荷原単位の試算

各河川の流域面積の比率（太郎川0.281 北川0.552 前川0.167）から加重平均し、ダムに流入する負荷原単位を試算した結果を表7に示した。

表7 流入自然（山林）系負荷原単位の試算

	加重平均自然（山林）系負荷量		
	COD	TN	TP
全データ試算値(A1)	69.90	6.27	0.251
降雨時試算値(A2)	210.75	17.36	0.989
晴天時試算値(A3)	11.86	1.21	0.056
第3期計画採用値(B)	14.96	1.25	0.065
A1/B	4.67	5.01	3.86
A2/B	14.08	13.89	15.21
A3/B	0.79	0.97	0.86

(注) A1~Bの単位：kg/年/ha

晴天時データ(A3)では3項目とも第3期計画のシミュレーションで用いられた値とほぼ一致する結果を示したが、晴天時+降雨時(A1)、降雨時(A2)においては3項目とも大きい値を示す結果となった。このことから、主に平常時に調査を行う公共用水域のデータのみでは評価し難い部分があり、原単位を一括そのまま用いるのではなく、平常時と出水時に分けて用いたほうがより実態を反映し得るのではないかと考えられる。

3.7 平成11年度の降雨特性からの流入自然（山林）系負荷の算定例

以上の結果をもとに、平成11年の降雨パターンを用いて山林系負荷の算定を試みた。平成11年の降雨状況は以下のとおりであった。

- ① 当日20mm以上の降雨日数：30日
- ② 前3日以内に20mm以上の降雨日数：57日
- ③ 前6日以内に120mm以上の降雨日数  
(=前6日以内のAPIが20mm) : 7日

で、前述の判断基準からすると合計94日が降雨時扱いとなる。そこで、  
(晴天時原単位×(271/365))+(降雨時原単位×(94/365))  
で計算すると、COD 63.09, TN 5.37, TP 0.297(kg/年/ha)となり、これに流域全体の山林面積158.92km<sup>2</sup>を乗じて算出した結果と、シミュレーション時の原単位から算定したものが図4に示したとおりで、両者には大きな開きが認められた。

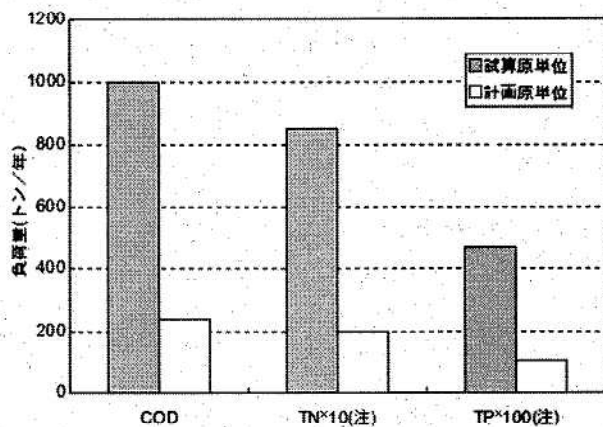


図4 試算値及び計画値による山林系負荷の算出結果比較 (注) 便宜上、TNは10倍、TPは100倍に拡大して表示している

4 まとめ

- (1) ダム流入各河川上流部の比流量と比負荷量の関係では北川に比べ前川や太郎川では流域面積が小さいにもかかわらず比流量が大きいことから、各流域の地形、植生、地質等に違いがある可能性が示唆された。今後それらの違いを数量的にとらえ、水質形成との関係を明らかにしていく必要がある。
- (2) 調査データを降雨の影響の有無によってタイプ分けし、流入河川上流部の山林系負荷を試算し、第3期計画の水質予測シミュレーションに用いられた値と比較したところ、晴天時ではほぼ一致したものの、降雨による出水が考えられる場合にはCOD, TN, TPいずれも最大13~15倍となり、主に平常時に調査を行う公共用水域のデータのみでは評価し難い部分があり、原単位を一括そのまま用いるのではなく、平常時と出水時に分けて用いる等するほうがより実態を反映し得るのではないかと考えられる。



## 松島湾櫃ヶ浦干潟調査 (第一報)

## Analysis of Tidal Flat, Hitsugigaura in Matsushima Bay

小山 孝昭 清野 茂 富樫 郁子  
 三沢 松子 阿部 公恵 吾妻 正道  
 渡部 正弘 水谷 登志喜\*<sup>1</sup> 牧 滋  
 阿部 時男 阿部 孝雄\*<sup>2</sup> 井上 公人\*<sup>3</sup>  
 高村 栄治\*<sup>3</sup>

Takaaki KOYAMA, Shigeru SEINO, Ikuko TOGASHI  
 Matsuko MISAWA, Kimie ABE, Masamichi AZUMA  
 Masahiro WATANABE, Toshiki MIZUTANI, Shigeru MAKI  
 Tokio ABE, Takao ABE, Kimito INOUE  
 Eiji TAKAMURA

キーワード：干潟，リフレッシュ事業，松島湾

Key Words : Tidal Flat, Refresh Project, Matsushima Bay

本県では松島湾の水質汚濁の防止と改善を勧めるため平成2年度から松島湾リフレッシュ事業計画が開始され、松島湾リフレッシュマスタープランに基づき、湾全体の海域環境を総合的、計画的、長期的に改善して松島湾の再生を目指しているところである。この事業の一環として平成5年度から15年計画で松島湾リフレッシュ事業環境改善効果評価調査を実施している。今回、既に浚渫及び覆砂事業を完了した干潟の一つである松島湾櫃ヶ浦（ひつぎがうら）干潟の調査を行ったので報告する。

## 1 はじめに

日本三景の一つであり、優れた景勝地として広く人々に親しまれている松島湾は、近年の周辺地域の都市化の進展による生活廃水流入その他の汚濁要因の増加に伴い、また地形的に閉鎖性海域であることにより水質が悪化し、水産業や観光事業等への影響が危惧されてきている。平成5年度に土木・農政・水産・畜産など関係機関の連携のもと、実現性・経済性・効果の即効性等を考慮しつつ松島湾の水質を改善させ、併せて水産動物の生活環境保全・維持などを図るための方策を検討し、「松島湾リフレッシュマスタープラン」が策定された。マスタープラン目標値は、①COD (75%値) が2.0mg/l (湾内平均) 3.0mg/l (湾奥部)、②T-N (年平均値) が0.30mg/l、③T-P (年平均値) が0.3mg/l、④透明度 (視覚的にきれいな水質) とされた。

このマスタープランに基づき行う事業については、所管する機関で直接的影響調査や事業効果調査を行うが、湾全体の長期的・計画的な水質監視及び将来予測は環境サイドの役割となっている。水質予測モデルや集積された

データ、今後毎年行われる直接的工事影響調査及び事業効果データを活用し、水質・低湿・潮流などに係る環境改善効果と将来水質予測を行うことにより、「松島湾リフレッシュ事業」の進行管理の重要な部分を担当している。平成12年度は、干潟における水質浄化効果の検証を目的として調査を実施することにした。干潟には高い生産能力があり、松島湾内においても重要な機能を有していると考えられる。さらに、干潟の機能の一つに浄化能力があり、これは、栄養塩類の循環の中で発揮されるため浄化能力を評価するためには、その物質循環を把握する必要がある。そこで、松島湾内の干潟における物質循環 (窒素、リン等の動向) を把握し、松島湾全体の水質浄化効果に与える影響について検証するとともに、干潟のあり方、今後の整備の方向性について検討するため、平成11年度に浚渫、覆砂事業が完了した松島湾内の櫃ヶ浦を対象に調査を行ったので、概要を報告する。

## 2 調査方法

### 1) 調査時期

夏期調査 平成12年8月28日から29日まで  
 (29日大潮、最大潮位差148cm)

\*1 現 仙北食肉衛生検査所

\*2 現 仙南保健福祉事務所

\*3 国際航業(株)

冬季調査 平成13年2月7日から8日まで  
(8日大潮, 最大潮位差152cm)

2) 調査地点 櫃ヶ浦 (図1のとおり)



図1 松島湾櫃ヶ浦測点位置図

3) 調査方法

- ①自動採水装置 (ISUCO社製MODEL-2100改良) による連続採水調査 (図中1~3) 海底から0.5 mで採水  
夏期は1時間毎に採水, 冬季は2時間ごとに採水。
- ②スポット採水調査 (図1中4~5) 表層及び中層で採水
- ③①鉛直分布調査 (図1中1~5及び7) ホリバ多項目水質計U-21
- ④流向流速計による流況調査 (計器は, 自動採水機と同じ場所に設置)
- ⑤流入河川負荷調査 (図中R1及びR2)

4) 調査項目

- ①室内分析項目: pH, SS, COD, D-COD, T-N, D-T-N, TP, D-TP, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, クロロフィルa, フェオフィチンa, Cl<sup>-</sup>, DO (スポット, 流入負荷)
- ②現場調査項目: 気温, 透視度, 透明度  
多項目水質計: 水温, 濁度, DO, 塩分

3 結果及び考察

3.1 鉛直分布

夏期調査では調査地点6カ所で水温, DO, 塩分, 濁度を28日2回29日1回の計3回測定した。調査結果をみると, 水温及び塩分は上下層間の差は少なく, DOは下層にいくほど低く濁度は逆に高くなる傾向が見られた。冬季調査では水温及び塩分は同様の傾向を示したが, DOは下層では高く, 濁度は各地点で上層が高かったり, 中層, 下層が高いなど異なった傾向を示した。

3.2 pH

夏期の連続調査では若干潮汐と連動する傾向が見られたが, 冬季では変化は少なく安定していた。

3.3 SS

夏期の連続調査結果では, 日中高くなり夜に落ちつい

て次の日の日中に向かってあがり始めている。これは, 自然現象の他に観光船や漁業関係者等の船による巻き上げが要因として考えられる。冬季は安定していた。

3.4 COD及びD-COD

夏期の連続調査結果では, 懸濁態では潮位が下がるとCOD値が高くなり, 潮位が上がると低くなる傾向が見られたが, 溶存態ではその傾向がより顕著であった。冬季においても同様の傾向が見られた。

3.5 窒素(T-N, D-T-N, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N)

夏期の連続調査結果では, T-Nは潮汐の変化に少し時間をかけて変動しているように見え, 冬季でも同様の傾向を示していた。D-T-Nは夏期は夜中から明け方にかけて高くなる傾向が見られたが, 冬季は変化が少なかった。NO<sub>2</sub>-Nは, 夏期では潮位の変化と連動して増減しており, 冬季でも変化は小さいながら同様の傾向を示していた。NO<sub>3</sub>-Nは, 夏期では傾向が明確ではなかったが, 冬季では夏期より高くなっており潮位の変化とも連動して増減していた。NH<sub>4</sub>-Nは, 夏期は夕方から次の日の朝にかけて高くなり日中低くなっている。D-T-N及びNH<sub>4</sub>-Nでは測定地点付近の底泥表層から溶出した栄養塩類が日中底生動物やプランクトンに吸収されたり干潟で底泥表層に固定されていることが考えられる。

3.6 磷(T-P, D-T-P, PO<sub>4</sub>-P)

夏期の連続調査結果では, T-P及びD-T-Pでは潮汐の変化に連動して満潮時に減少し干潮時に増加する傾向が見られ, 冬季も同様であった。PO<sub>4</sub>-Pでは, 夕方から次の日の朝にかけて増加しているが日中低くなる傾向が見られた。これは3.5と同様の理由によるものと考えられる。冬季では変化は少なかった。

3.7 クロロフィルa及びフェオフィチンa

日中クロロフィルa及びフェオフィチンaとも高くなり, 夜になると低くなっている。これは日中光合成等生物活性が活発になることによるものと考えられる。

3.8 塩化物イオン

夏期の連続調査結果では, 潮汐, 時間による大きな変化はなく, 数値的に18000mg/l前後で安定していた。冬季調査では20700mg/l前後で同様であった

3.9 流入負荷

流入水は, 雨の際の自然水の流入が大部分を占め晴天時はほとんど流れていない状況であった。水質は国道側がCODが高かったがD-T, D-P, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-Pは日によって異なった。

3.10 考察

(1) 連続調査

満潮時と干潮時及び日中と夜間に分けて減少する項目と上昇する項目をみると, 満潮時に減少するのはCOD, T-N, T-P, 上昇するのはpH, NO<sub>2</sub>-N及びNO<sub>3</sub>-Nであった。干潮時上昇するのはCOD及びD-CODでクロロフィルa及びフェオフィチンaも, やや上昇が見られた。日中上昇するのはクロロフィルa及びフェオフィチンa

となっており、夜間上昇するのは、D-T-N, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-Pであった。

満潮時には海水による希釈拡散、底泥からの溶出、分解が起こり、干潮時には、生産された有機物等が底泥表層に固定されるものと考えられる。

(2) 物質収支

夏期と冬期では夏期の数値の変動が大きく冬期は変動が少なく安定した数値となっていた。夏期のCOD, T-N, T-Pの櫃ヶ浦への物質収支について、満潮時を軸として流向流速計により海水の流入流出量が等量となる時間幅で算出した。溶出負荷量は現地の底泥を用い、実験室で干満による時間当たりのそれぞれの溶出量を求めたものから算出した。最初の満潮時では海水量約10万m<sup>3</sup>当たり、

CODに関しては流入0.46 t に対し、流出0.2 t, T-Nは流入34kg, 流出20kg, 同様にT-Pは流入6.6kg, 流出3.8kgで、2回目の満潮時ではCODは流入0.34 t に対し、流出0.13 t, T-Nは流入34kg, 流出15kg, 同様にT-Pは流入5.6kg, 流出2.1kgで、いずれも流入負荷量に比べ排出負荷量が小さくなっていった。これは干潟での物質沈降や生物等による浄化効果と推定される。

4 おわりに

干潟は稚魚の育成場等の種々の重要な機能を有しているが、その中の一つに浄化能力がある。平成13年度も継続して本調査を実施する予定であり、干潟の浄化能力の評価の基礎資料としたい。

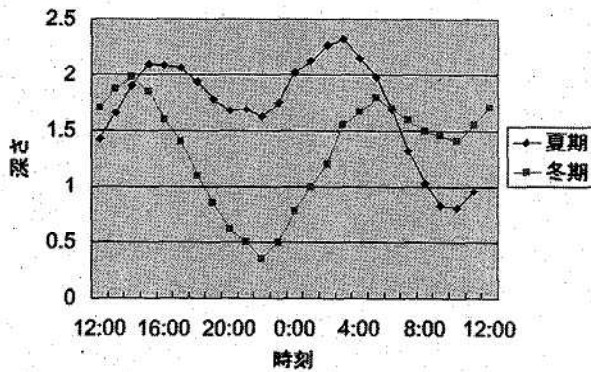


図2 潮位

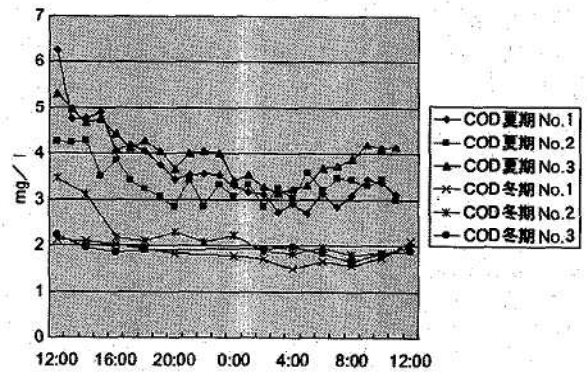


図5 COD

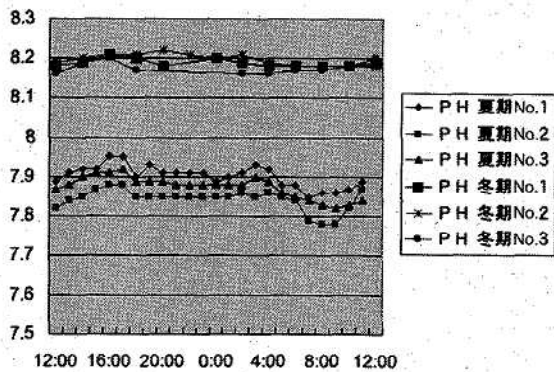


図3 pH

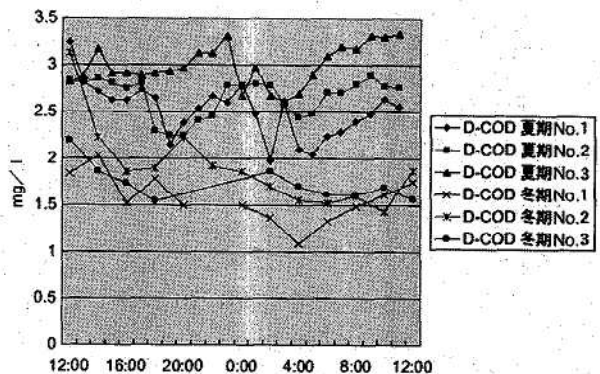


図6 D-CO-D

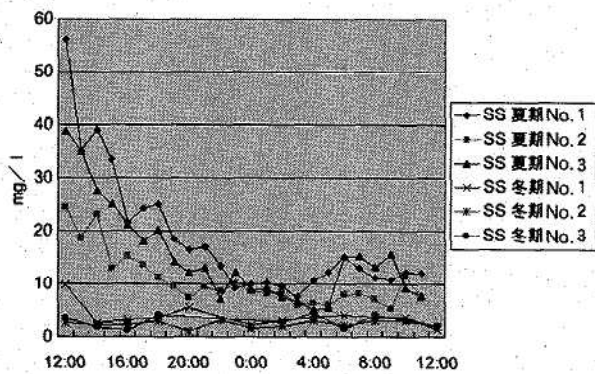


図4 SS

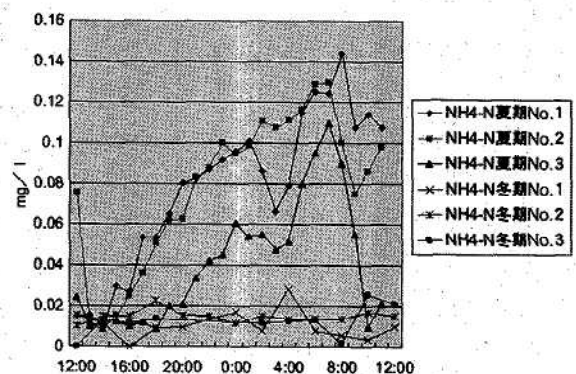


図7 NH<sub>4</sub>-N

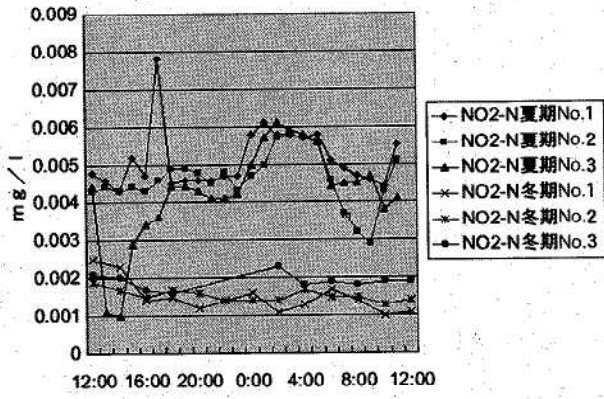


図8 NO<sub>2</sub>-N

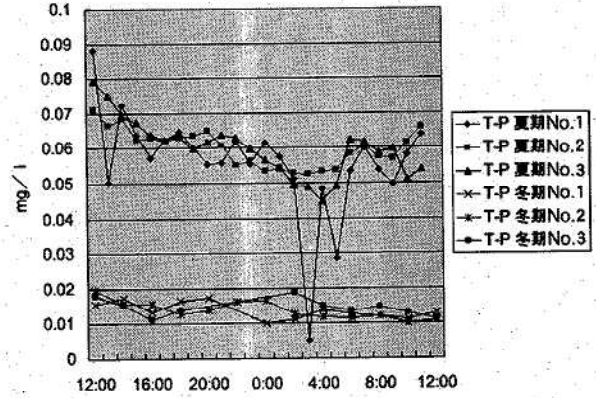


図12 T-P

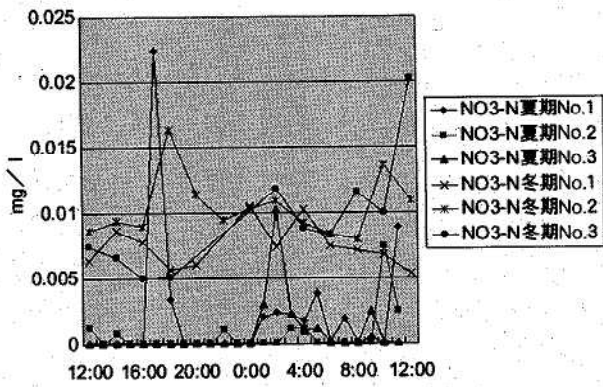


図9 NO<sub>3</sub>-N

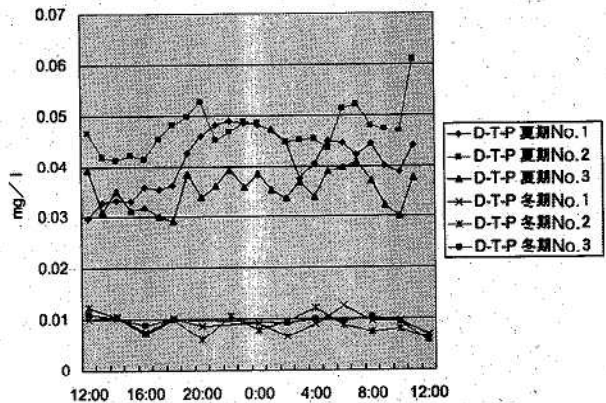


図13 D-T-P

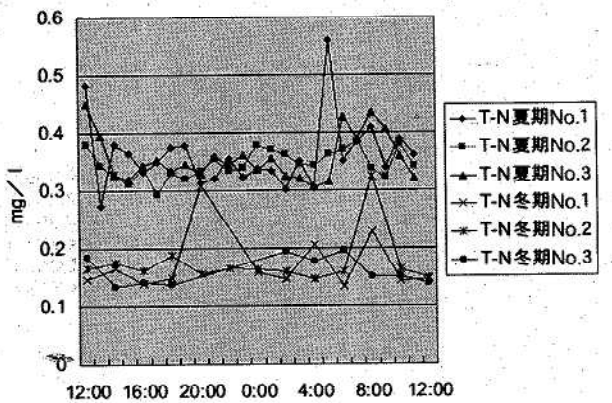


図10 T-N

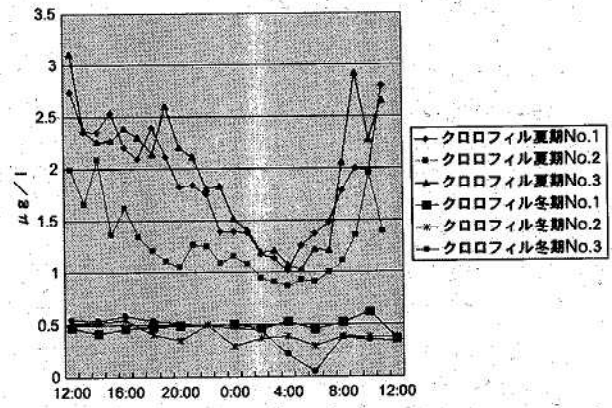


図14 クロロフィル a

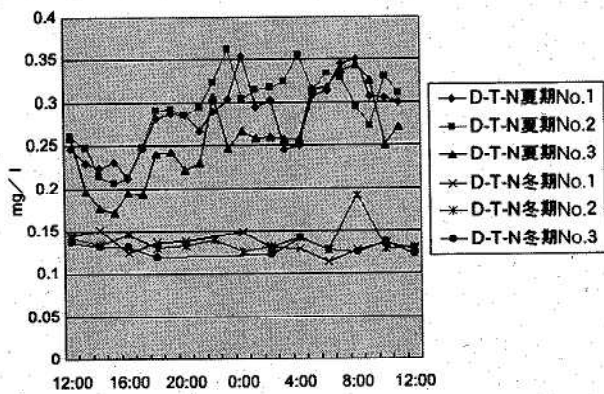


図11 D-T-N

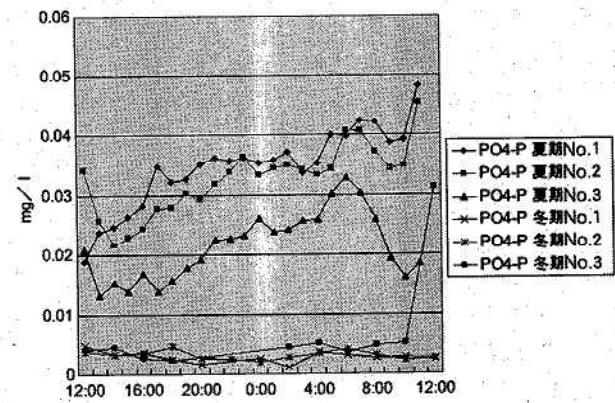
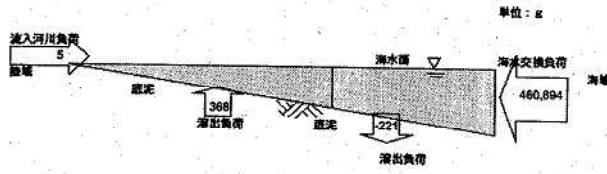


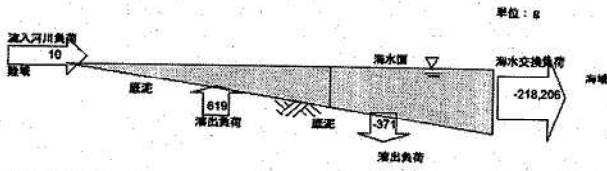
図15 PO<sub>4</sub>-P

COD物質収支

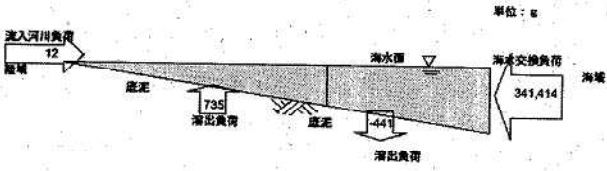
28日13:00~15:00 上潮時



28日16:00~20:00 下潮時



28日21:00~29日2:00 上潮時



29日3:00~6:00 下潮時

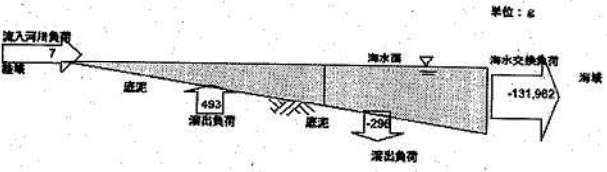
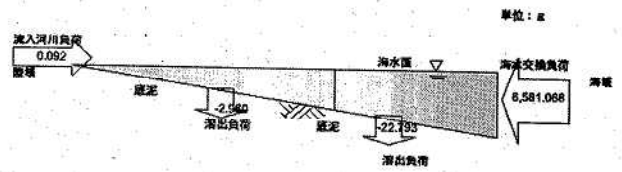


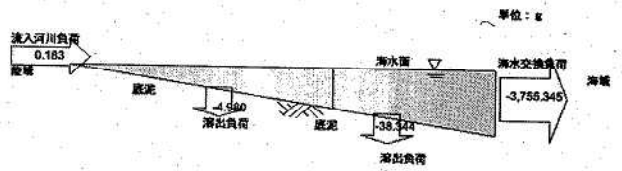
図16 COD物質収支

T-P物質収支

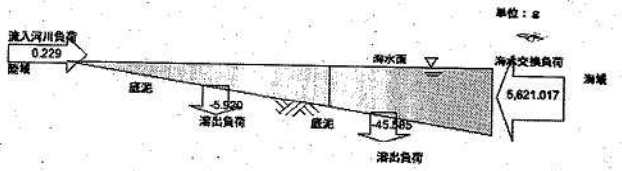
28日13:00~15:00 上潮時



28日16:00~20:00 下潮時



28日21:00~29日2:00 上潮時



29日3:00~6:00 下潮時

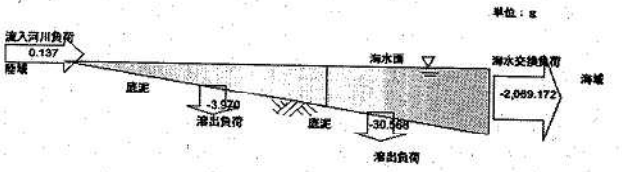
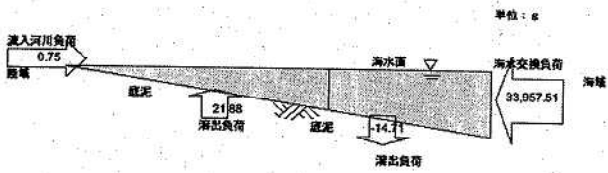


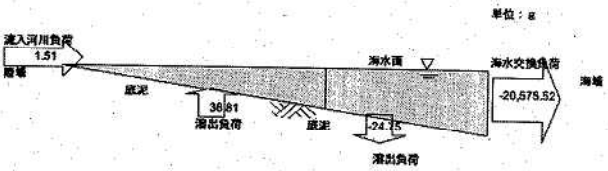
図18 T-P物質収支

T-N物質収支

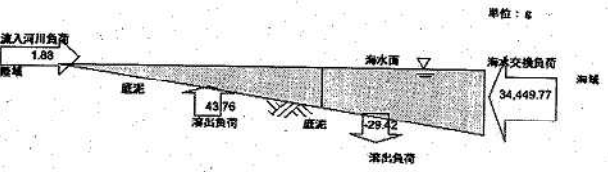
28日13:00~15:00 上潮時



28日16:00~20:00 下潮時



28日21:00~29日2:00 上潮時



29日3:00~6:00 下潮時

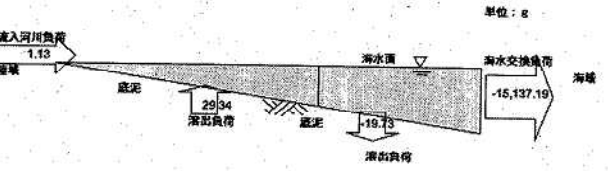


図17 T-N物質収支

# 濁川上流・丸山沢噴気地熱地帯に関する地球化学的考察

## Geochemical Study on the Steaming Ground and Hot Springs of Maruyamasa in Nigori River Headwaters, Miyagi Prefecture

清野 茂 藤巻 宏和\*

Shigeru SEINO, Hirokazu FUJIMAKI

キーワード：酸性河川，温泉水，化学成分，ガス成分，蔵王火山

Key Words : Acid River, Hot Springs-Waters, Chemical Compositions, Volcanic Gass, Zao Volcanoes

蔵王火山に発源する濁川は火山活動と関係ある酸性河川である。濁川上流の丸山沢噴気地熱地帯について1987年から1999年までの13年間にわたる調査結果を地球化学的に解析した結果、蔵王火山が周期的な活動期にあることが考えられた。

### 1 はじめに

蔵王火山は那須火山帯に属し、活動的火山に分類されている<sup>1)</sup>。これらの地域を水源に発する河川には酸性河川が存在し、濁川もその一つである。濁川の水源地は火口湖お釜の湖壁等の浸透水と馬ノ背東崖の湧水であり、五色岳火山砕屑岩を浸食しながら五色岳を南周し、五色沢・振子沢と合流後、丸山沢を集めさらに三途ノ川を合流させて、岨々温泉前で濁川となり澄川、秋山沢等の支流・小沢を集めた後は松川となって、白石川（阿武隈川水系）に合流する流程約15kmの酸性河川である。したがって、濁川の水質は蔵王火山の活動の影響を強く受けていることを報告している<sup>2)</sup>。

昨今、全国各地において火山の活動が活発化している状況にある。蔵王火山の活動は1966年（昭和41年）の振子沢温泉活動を最後に目立った活動はみられていないものの、その火山活動は明治以来20~30年の周期性がみられることから<sup>3)</sup>、本県が1987年（昭和62年）から実施している火山調査のうち蔵王火山に関する調査結果<sup>4)</sup>についてとりまとめ、現在もその活動が継続して認められる丸山沢噴気地熱地帯における地球化学的検討を行った結果、蔵王火山が周期的な活動期にある可能性が高いことが分かったので報告する。

### 2 方 法

#### 2.1 調査期間

火山調査の期間は1987年（昭和62年）から1999年（平成11年）までの13年間で、調査は年1回でその実施時期は秋季9月から11月までの間で実施した。

\* 東北大学大学院理学研究科

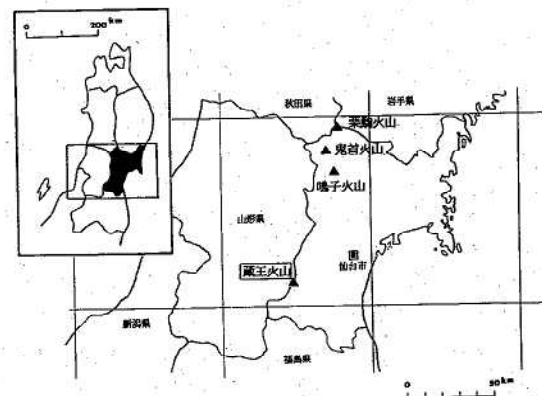


図1 蔵王火山の位置図

#### 2.2 調査地点

蔵王火山の位置図を図1、調査地点図を図2、丸山沢噴気地熱地帯周辺の地形図を図3に示す。

丸山沢噴気地熱地帯は火口湖お釜から北東方向約2kmにあり、濁川の支流・丸山沢の右岸に位置し、西側と南側は断崖で東方に傾斜する斜面上にあって北側には丸山沢が流れており、噴気地熱地帯から湧出する温泉水はこの丸山沢へ流下している。噴気孔群は3か所あり、第I群は西側の断崖寄りにある熱水を伴う噴気口と数個の噴煙だけの噴気孔があり、いずれの噴気孔の周囲には硫黄の析出がみられ、第II群は南側の断崖寄りにある噴煙を伴わない数個の源泉からなる噴気帯そして第III群は第II群の東方約50m離れていて黄白土化したコブ状の丘に無数の微小噴気孔からなる噴気帯で、このうち第I群が噴気地熱地帯の中心的な存在である。丸山沢噴気地熱地帯の規模は東西250m、南北150mである（図3）。

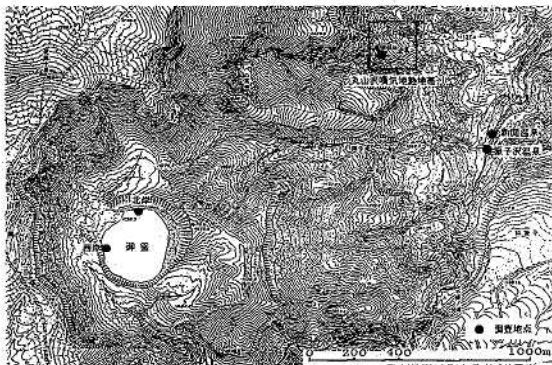


図2 蔵王火山周辺の調査地点図

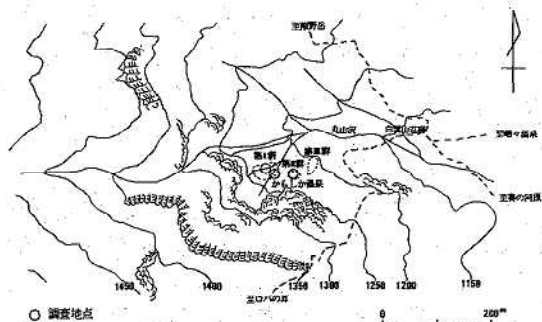


図3 丸山沢噴気地熱地帯周辺の地形図

2.3 調査方法

調査方法を現地調査と実験室に分けて、分析項目と測定・分析方法を表1、試料水の取り扱いの手順を図4に示す。なお、水温(Tw)・pH・電気伝導度(EC)以外の分析項目の測定は1995年(平成7年)から、硫化水素(H<sub>2</sub>S)と二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)のガス成分は1997年(平成9年)からそれぞれ実施している。

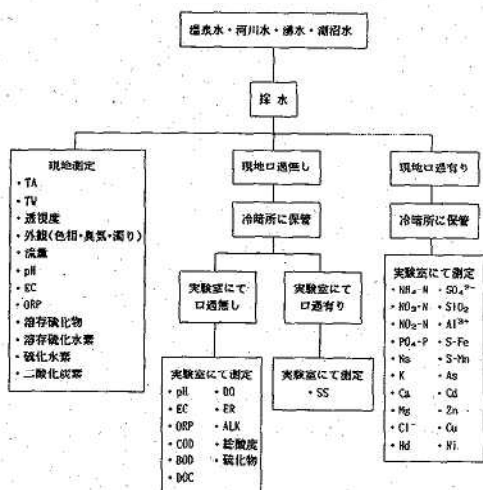


図4 試料水の取り扱いの手順

3 結果及び考察

3.1 水質成分とガス成分

3.1.1 水質成分の経年変動

丸山沢噴気地熱地帯における噴気口(●)と硫気孔(●)

表1 分析項目と測定・分析方法

A 現地測定		
記号	項目	測定・分析方法
TA・TW	気温・水温	SATO デジタル・サーモメーター SK-250WP
	透視度	30cm又は50cm透視度計
	流量	回転式流速計 TAMAYA UC-3
pH	水素イオン濃度	TOA ポータブルpH計 HM-12P
EC	電気伝導率	TOA ポータブルEC計 CM-14P
ORP	酸化還元電位	TOA ポータブルORP計 RM-12P
	溶存硫化物	ガスティック 浸漬検知管法
	溶存硫化水素	共立化学 酢酸鉛試験紙法/バックテスト
	硫化水素	ガスティック ガス検知管法
	硫化炭素	ガスティック ガス検知管法
B 実験室にて測定		
記号	項目	測定・分析方法
pH	水素イオン濃度	ガス電極法 TOA pH計 HM-50V
EC	電気伝導率	電気伝導計法 TOA EC計 CM-60S
ORP	酸化還元電位	酸化還元電位計法 TOA ORP計 HM-30S
SS	懸濁物質	ガラス繊維(GF)口過法
ER	蒸気残留物	磁器製蒸気加熱法
DO	溶存酸素	ウインクラウ・アシ化ナトリウム変法
Hd	総硬度	EDTA滴定法
NH <sub>4</sub> -N	アンモニア態窒素	インドフェノール青吸光度法
NO <sub>3</sub> -N	硝酸態窒素	銅・カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光度法
NO <sub>2</sub> -N	亜硝酸態窒素	ナフチルエチレンジアミン吸光度法
PO <sub>4</sub> -P	リン酸態リン	モリブデン青(アスコルビン酸還元)吸光度法
Na	ナトリウム	フレイム原子吸光法
K	カリウム	フレイム原子吸光法
Ca	カルシウム	フレイム原子吸光法(ランタン添加)
Mg	マグネシウム	フレイム原子吸光法(ランタン添加)
Cl <sup>-</sup>	塩化物イオン	チオシアン酸第二水銀法
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	硫酸イオン	硫酸バリウム比濁法
ALK	アルカリ度	0.01モル/l硫酸滴定法 pH4.6
	総酸度	0.02モル/l水酸化ナトリウム滴定法 pH8.4
SiO <sub>2</sub>	溶性ケイ酸	モリブデン着法
Al <sup>3+</sup>	アルミニウムイオン	キノリノール吸光度法
COD	化学的酸素要求量	100℃における酸性過マンガン酸カリウム消費量
BOD	生物学的酸素要求量	DO計による20℃ 5日間溶存酸素消費量
DOC	溶解性有機炭素	燃焼酸化-赤外線式TOC自動計測法
S-Fe	溶存鉄	フレイム原子吸光法
S-Mn	溶存マンガン	フレイム原子吸光法
As	ヒ素	水素化物発生原子吸光法
Pb	鉛	フレイムレス原子吸光法
Cd	カドミウム	フレイムレス原子吸光法
Zn	亜鉛	フレイム原子吸光法
Cu	銅	フレイム原子吸光法
Ni	ニッケル	フレイム原子吸光法
H <sub>2</sub> S	硫化物	能酸カドミウム-よう素滴定法

に分けて、現地調査時のTw・pH・ECの3項目についての13年間の経年変動を図5に、主な水質成分の5年間の経年変動を図6に示す。

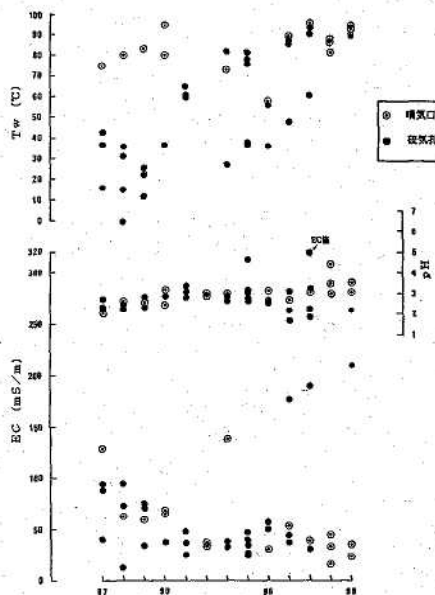


図5 現地調査時のTw・pH・ECの経年変動(1987~1999)

まず、Tw・pH・ECの3項目についてみると(図5)、噴気口と硫気孔では硫気孔の変化が大きく、特にTwとECが顕著であることから、噴気口についてみることにする。1997年(平成9年)からは、Twが約80℃から約90℃へと上昇、pHが2前後から3~4へと上昇傾向にあり、

一方ECは約50mS/m前後から50mS/mを確実に下回る傾向を示している。

次に、主な水質成分をみると(図6)、噴気口と硫気孔では硫気孔の変化が大きいため、噴気口についてみる。1997年(平成9年)からはほとんどの成分が減少している。その中で濃度が増加している成分はCaとClがあり、Caは1998年(平成10年)から上昇、Clは1997年まで上昇しその後減少に転じている。

このように、丸山沢噴気地熱地帯の噴気口におけるTw・pH・ECの3項目や主な水質成分の経年変動をみると、1997年(平成9年)頃から変化していることが分かる。

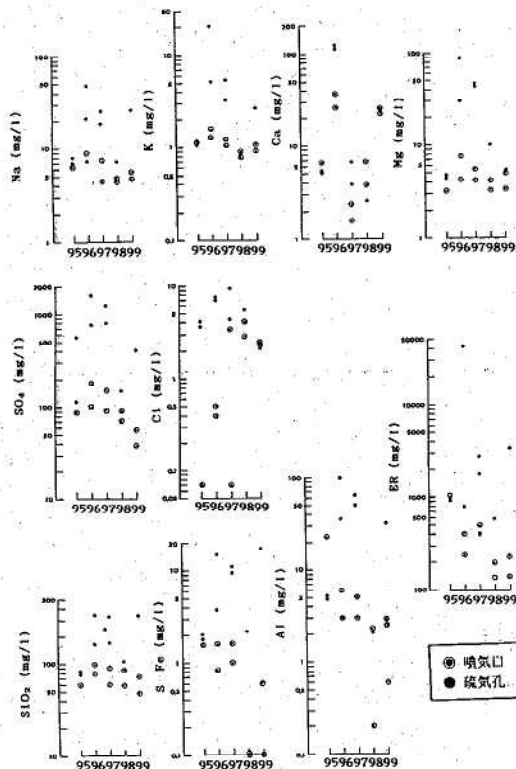


図6 主な水質成分の経年変動(1995~1999)

### 3.1.2 ガス成分の経年変動

現地における検知管法による測定したH<sub>2</sub>SとCO<sub>2</sub>のガス2成分についての経年変動を図7に示す。

CO<sub>2</sub>は硫気孔では0.1%台だが、噴気口では1999年(平成11年)において10%レベルが観測されている。CO<sub>2</sub>は自然大気中に約0.033%(330ppm)含まれ、濃度が10%以上では人が意識障害になるといわれている<sup>5)</sup>。

H<sub>2</sub>Sは硫気孔では200ppm台だが、噴気口では1998年(平成10年)から700ppmレベルが観測されている。H<sub>2</sub>Sは200~400ppmでは上気道刺激、400~700ppmでは1時間暴露で生命に危険、700ppm以上では呼吸中枢麻痺で即死すると考えられている<sup>6)</sup>。

このように、丸山沢噴気地熱地帯の噴気口におけるH<sub>2</sub>SとCO<sub>2</sub>のガス2成分濃度は検知管法による測定結果から、人に危険なレベルになっているといえる。

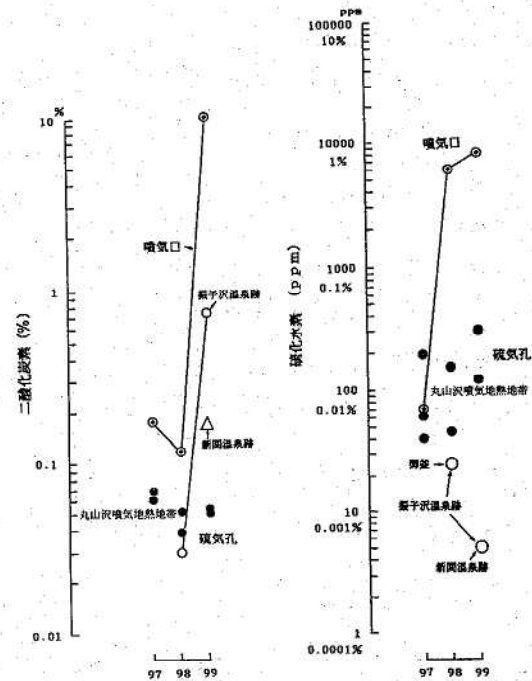


図7 ガス成分(二酸化炭素・硫化水素)の経年変化

### 3.1.3 水質区分と水質組成の経年変動

蔵王火山周辺における1995年(平成7年)以来5年間のトリリニア・ダイアグラムを図8に示す。

まず、キーダイアグラムから水質区分の変動をみると、領域Ⅲアルカリ土類非炭酸塩区(CaSO<sub>4</sub>型)であり、1995年(平成7年)以来5年間変動はない。次に、陽イオン、陰イオンの三角図をみると、陰イオンはほとんど変動がみられないが、陽イオンには変動がみられ、特にCaとMgの変化が大きい。パターン・ダイアグラムから水質組成の変動をみると、丸山沢噴気地熱地帯の硫気孔と噴気口では、そのパターンの変化が異なっている。硫気孔では陽イオン、陰イオンともに変化が大きく、特に陰イオンSO<sub>4</sub>の変化が顕著である。一方、噴気口では変化が小さいものの陽イオンCaと陰イオンSO<sub>4</sub>の2成分に変化をみることができる(図9)。

このように、丸山沢噴気地熱地帯の噴気口における水質組成のうち陽イオンではCaと陰イオンではSO<sub>4</sub>の2成分が変化していることが分かった。

## 3.2 丸山沢噴気地熱地帯における温泉の湧出機構と主要成分の起源

丸山沢噴気地熱地帯における温泉について、その湧出機構と主要成分の起源を検討することは3.1で明らかになった水質成分、ガス成分そして水質組成の変化を解明する手がかりとなるものと考えられる。

### 3.2.1 地形・地質の概観

蔵王火山は基盤岩の花崗岩類(標高1,500m)の上に噴出した火山群で、噴出口を異にする火山列(NW-SE)に沿って各溶岩類が噴出して生成したといわれている<sup>7)</sup>(図10)。丸山沢噴気地熱地帯はこの火山列に沿った振子沢破砕帯上の東方に開く小規模な爆裂火口の下部に位置



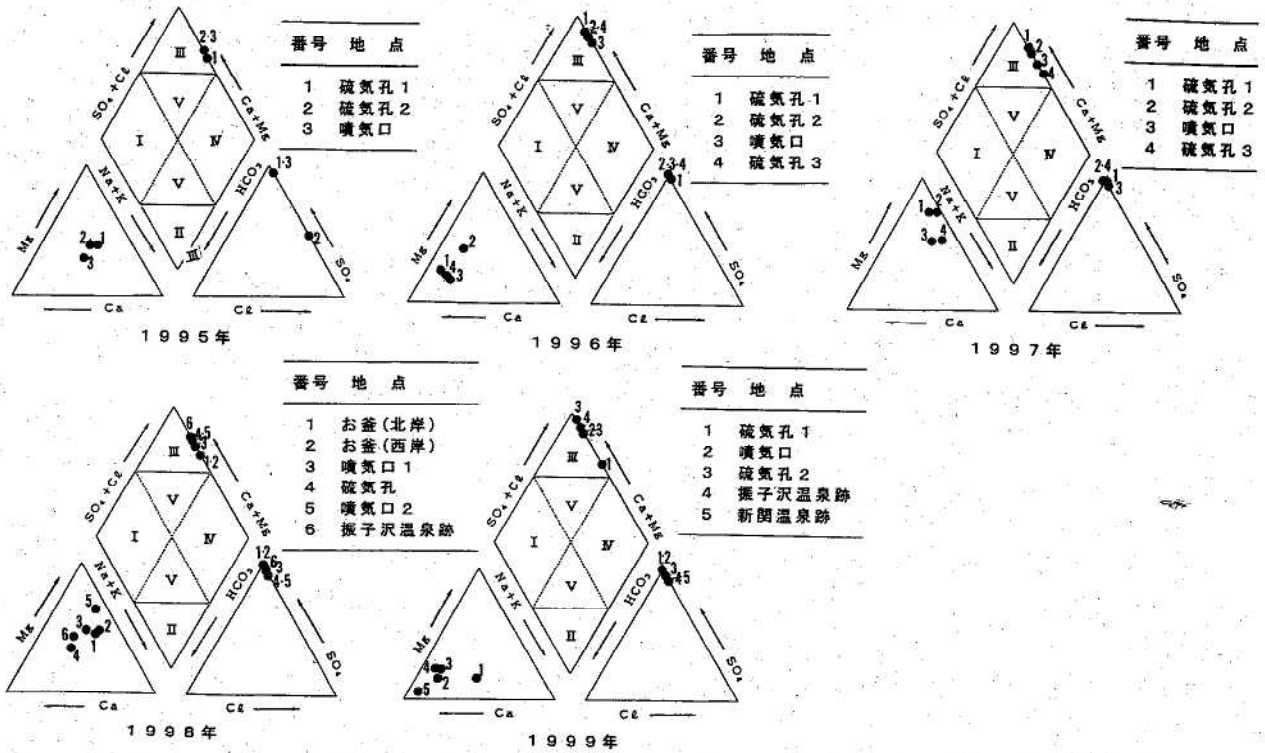


図8 トリリニアダイアグラムの変化(1995~1999)

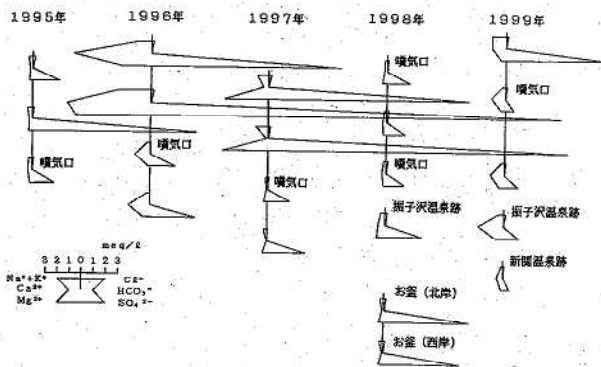


図9 パターンダイアグラムの変化(1995~1999)

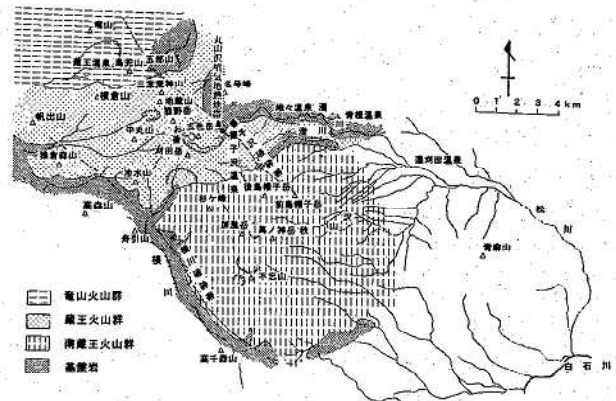


図10 蔵王火山群の地質構造図

し(標高1,250m,北緯38° 08' 29",東経140° 27' 55"),西側と南側は地獄沢熔岩類が崖高約50mの断崖を形成し,その崩壊岩屑で丸山沢噴出物と呼ばれる大小の角レキ集塊岩が互層をなす堆積物の走行傾斜N45° W, 25° SWの斜面上にあり,基盤の花崗岩と断層関係にある<sup>8)</sup>。丸山沢噴出物の岩脈は低アルカリソレイアイト系玄武岩,岩質は暗灰色の含カンラン石複輝石安山岩である<sup>7)</sup>。

### 3.2.2 温泉の湧出機構

丸山沢噴気地熱地帯における温泉は,地下深部に存在するマグマ溜りからpH5~7の弱酸性で溶存成分が少ない熱水やSO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>等を主成分とする揮発性発散物(火山ガス)が地下深部まで及ぶ割れ目を通じて比較的短時間に地表まで上昇し,この時SO<sub>2</sub>が自己酸化還元反応により硫酸酸性となるものの,標高が1,250mもあることか

ら,循環水(地下水)の供給が十分でないために,強酸性(pH<2)とはならず地表付近の間隙の多い岩屑堆積物中へ噴出する噴気孔群として出現していると考えられる。噴気孔群の直上には地下水が湧出しており,この地下水が噴気孔に混入して短時間のうちに沸点までに加熱されて,水蒸気が猛烈に吹き上げる噴気口を形成し,周辺に硫黄を析出させている。さらに,地表付近では丸山沢噴出物に含まれる含カンラン石複輝石安山岩碎屑物(主成分Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, (Mg, Fe)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, (Ca, Mg, Fe, Al, Ti)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)と反応し岩石中のFe, Al等を熱水中へ溶出している<sup>9)</sup>ものと推察される(図11)。

丸山沢噴気地熱地帯の出現は1939年(昭和14年)頃と推定され,それ以前は弱い硫気活動する鳥地獄として存在していたとみられる<sup>10)</sup>。マグマ溜りから熱水や火山ガ

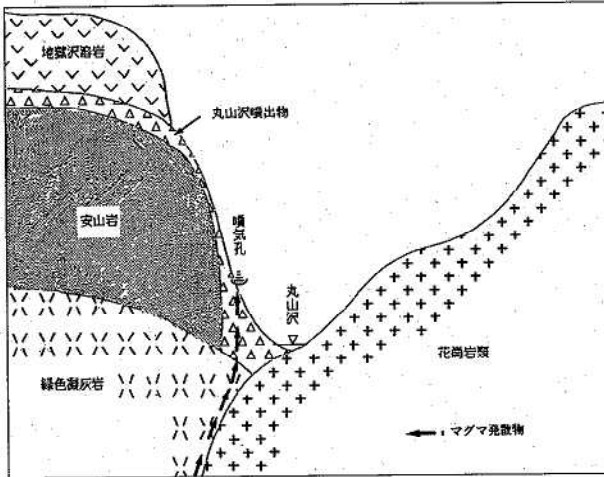


図11 温泉の湧出機構の模式図

スが噴出していた通路の火口湖お釜底が岩砕堆積物や岩塊等で埋没し閉ざされたために、以前から存在していた丸山沢噴気地熱地帯へ通じる破碎帯の割れ目へ熱水や火山ガスが浸入して、現在の丸山沢噴気地熱地帯の噴気活動となっているものと推定される。

### 3.2.3 主要成分の起源

丸山沢噴気地熱地帯で湧出する温泉水の化学的な特徴は、硫酸酸性で硫酸カルシウム (CaSO<sub>4</sub>) を主成分とし、全蒸発残留物 (RE) が約0.3g/l以下でかつECも約300mS/m以下と示すように、温泉水中の溶存成分が非常に少ないことであり、その湧出形態から裂か状の噴気型の火山性温泉といえる。花崗岩や片麻岩等地帯の温鉱泉の多くは弱アルカリ性で溶存成分が著しく少ないことが特徴の1つであるといわれている<sup>11)</sup>。丸山沢噴気地熱地帯は丸山沢噴出物と花崗岩が断層関係にある位置に存在し、この断層に沿って比較的短時間に上昇してきたマグマ溜りから熱水や火山ガスは通路壁面の岩石との接触時間が少ないことから岩石との相互反応が進行せずにその性質を比較的变化することなく地表近くの層厚250mに及ぶ噴出物中に現れる (図11)。地表付近では火山ガスが地下水と遭遇し、たとえば、 $3SO_2 + 3H_2O \rightarrow 3H_2SO_3 \rightarrow 2H_2SO_4 + S + H_2O$ ,  $4SO_2 + 4H_2O \rightarrow 4H_2SO_3 \rightarrow 3H_2SO_4 + H_2S$  というような反応により、硫酸酸性となり、溶存硫化物の生成や硫黄が析出するものと考えられる。また、主成分のCaSO<sub>4</sub>は溶解度が40℃付近で最大(0.210wt%)で、これより高温、特に100℃を越すと急に減少する(0.067wt%)<sup>12)</sup> ことから、高温温泉水中にはCaSO<sub>4</sub>の溶出が少なくなる。したがって、泉温が異なる噴気口と硫気孔ではCaSO<sub>4</sub>の濃度に差異が生ずることとなる。

以上のように、丸山沢噴気地熱地帯の噴気口における温泉水の泉温及びpHの上昇、ECの減少、CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Sのガス成分濃度の上昇そして主要な溶存成分の陽イオンCaと陰イオンSO<sub>4</sub>の2成分が減少していることは、マグマ溜りの活動が活発になっていて、発散物の放出が激しく

かつ上昇速度が速く、岩石との相互反応が進行しないうちにその性質を変化することなく地表へ湧出しているものと推察され、蔵王火山が活動期にある可能性が高いことが考えられる。

### 3.3 蔵王火山の現況

丸山沢噴気地熱地帯で湧出する温泉水の化学的な調査及び地球化学的な考察を行ったところ、蔵王火山が活動期にある可能性が高いことが推察されたことから、蔵王火山の現況について種々の資料・報告書等を調べて検討した。

#### 3.3.1 蔵王火山活動記録

蔵王火山の活動記録<sup>3)</sup>は773年(宝亀4年)からみられ、火口湖お釜を中心として繰り返され、1894年(明治28年)、1918年(大正7年)そして1939年(昭和14年)の3回にわたり、お釜湖底での活動であった。1939年(昭和14年)の活動では当時鳥地獄と呼ばれていた丸山沢噴気地熱地帯付近における小噴火の記録がみられた。それ以来、20数年間静穏な状況が続いた。1966年(昭和41年)の活動の再開はお釜ではなく、五色岳北東方向に離れた丸山沢噴気地熱地帯付近の噴気活動の激化と振子沢・濁川合流付近における強酸性で高温温泉の湧出であり、このときの異常地点<sup>13)</sup>を図12に示す。

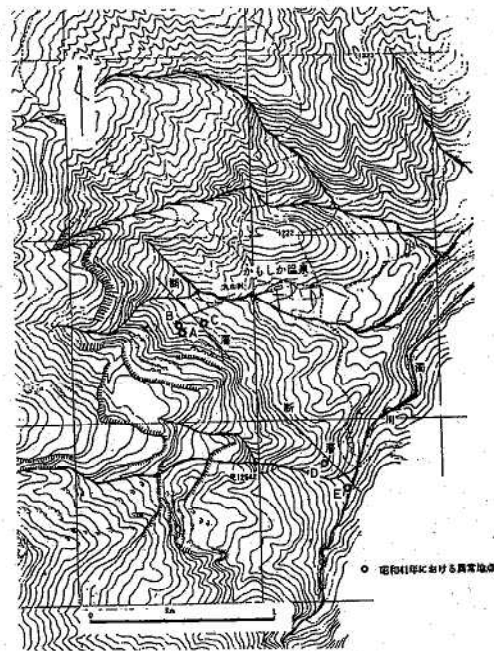


図12 1966(昭和41)年における異常地点<sup>13)</sup>

このような火山活動の記録から、蔵王火山は20年から30年の周期性があることをよみとることができる。

#### 3.3.2 周辺温泉の変化

宮城・山形両県にまたがる蔵王火山周辺には宮城県側に巖々温泉、青根温泉、遠刈田温泉等そして山形県側に蔵王温泉等がある。これらの温泉のうち宮城県側の巖々温泉と青根温泉そして山形県側の蔵王温泉について泉温等について調べた。

宮城県<sup>14)</sup>が1973年(昭和48年)から年2回(6月・9月)実施している温泉調査のうち峨々温泉と青根温泉(7源泉)についての26年間の泉温の変化を図13に、山形県衛生研究所<sup>15)</sup>が1950年(昭和25年)から定期調査を実施している蔵王温泉(4源泉)についての47年間の泉温・pH値・主な成分の変化を図14に示す。

まず、宮城県側の峨々温泉と青根温泉の泉温の変化をみると、峨々温泉は顕著な変化をみていないものの、青根温泉の6源泉は1997年頃から泉温の上昇を示しており(図13)、残りの1源泉(山の湯)は引湯配管に亀裂があり地下水が混入している状況にある(川崎町温泉管理者からの報告)ことから、青根温泉における泉温の上昇は確実である。なお、峨々温泉の従業員からは1999年の夏頃から泉温が約1℃程度の上昇がみられているとの報告がある。

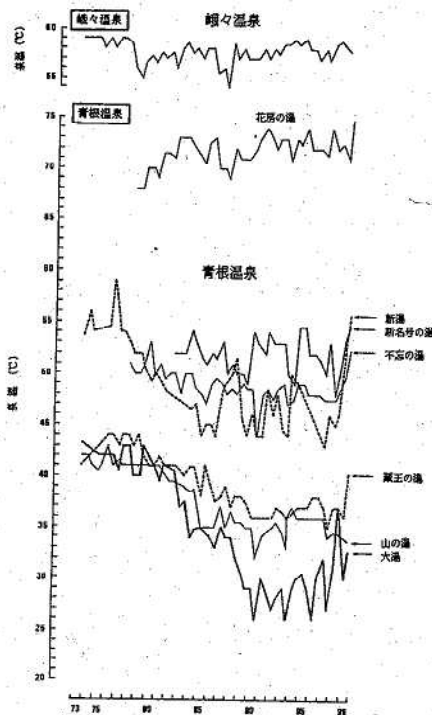


図13 峨々温泉・青根温泉の泉温の経年変化(1973~1999)

次に、山形県側の蔵王温泉では1950年(昭和25年)からの47年間の間に、泉温の上昇、pH値の低下から上昇そして主な溶存成分の増加から減少と確実に変化している状況が報告されている<sup>15) 16)</sup>。

このように、宮城・山形両県にまたがる蔵王火山周辺の温泉における泉温の上昇は確実である。

### 3.3.3 地震の発生状況

仙台管区気象台<sup>17)</sup>が1992年(平成4年)1月1日から2000年(平成12年)1月15日までの8年間に宮城県南部で観測した20回の地震のうち、蔵王火山周辺、特に丸山沢噴気地熱地帯近辺において発生した8回の地震の発生状況と震源位置を図15に示す。

1992年から1996年までに発生した4回の地震は規模

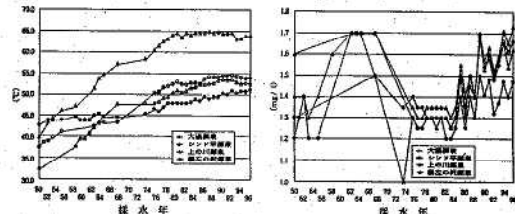


Fig.1 各地区の泉温の変化

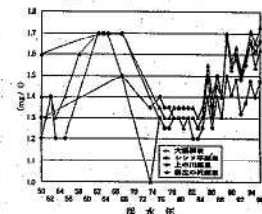


Fig.2 各地区のpHの変化

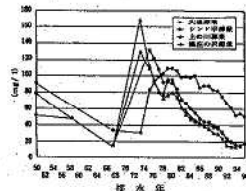


Fig.3 各地区のカルシウムイオンの変化

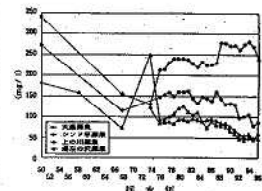


Fig.4 各地区のアリミニウムイオンの変化

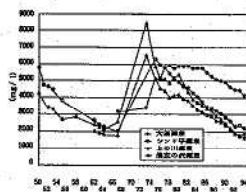


Fig.5 各地区のマグネシウムイオンの変化

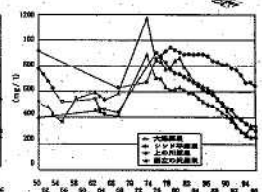


Fig.6 各地区のカリウムイオンの変化

図14 蔵王温泉の泉温・pH・主な成分の経年変化(1950~1996)<sup>15)</sup>

(M)2.0~4.7、震源の深さ7~9kmで、1998年から1999年までに発生した4回の地震は規模(M)1.3~2.0、震源の深さ14~29kmであり、1997年を境に地震は規模及び震源の深さが異なっている状況となっている。これらの地震は振り沢破砕帯(N40°~40°W方向)とその南部にあ

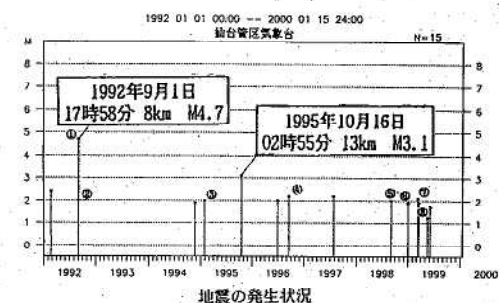


図15 地震発生状況と震源位置図(1992.1.24~2000.1.15)

る横川破碎帯に挟まれた幅の地溝帯において発生している。なお、1966年(昭和41年)に活動した振子沢・濁川合流付近は振子沢破碎帯の線上にあり丸山沢噴気地熱地帯とN40°W方向にある(図12)。

以上のことから、丸山沢噴気地熱地帯における1957年以降の泉温・pH値・主な水質成分の経年変化、周辺温泉の泉温の上昇そして地震の発生状況を総合的に判断すると、蔵王火山の火山活動の現況は1966年(昭和41年)以来の周期的な活動期にある可能性が高いと考えることができる。

### 3.3.4 濁川最下流(清水原橋)のpH値の変化

蔵王火山の火山活動が河川水質に及ぼした影響をみるために、1935年(昭和10年)から1999年(昭和11年)までの64年間における濁川最下流(清水原橋)のpH値の変化を図16に示した。

1940年(昭和15年)と1967年(昭和42年)にpHが2台の強酸性となっており、丸山沢噴気地熱地帯の噴気活動と振子沢・濁川合流付近の温泉活動によるものであったが、1967年以降二つの活動の沈静化とともにpHは上昇し1993年(平成5年)には冷夏・長雨による異常気象によりpH5.6となっていた。その後はpH4台と安定している。濁川最下流におけるpH値の変化から、前述した1966年(昭和41年)以来の周期的な活動期にある可能性が高いと考えられる今回の活動は、濁川のpH値を上昇させる程の活動規模のものではないことが分かる。

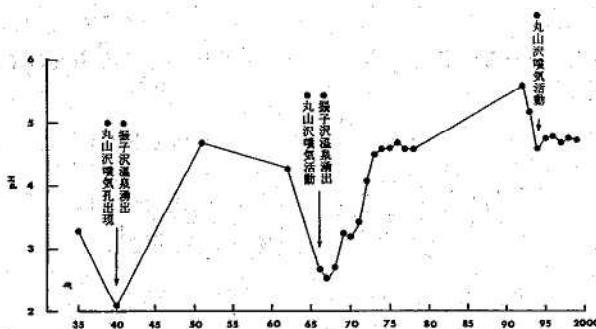


図16 濁川最下流(清水原橋)におけるpH値の変化(1935~1999)

## 4 おわりに

丸山沢噴気地熱地帯の噴気口における温泉水の泉温及びpHの上昇、ECの減少、CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Sのガス成分濃度の上昇そして主要な溶存成分のうち陽イオンCaと陰イオンSO<sub>4</sub>の2成分が減少していることは、マグマ溜りの活動が活発になっていて、発散物の放出が激しくかつ上昇速度が速く、岩石との相互反応が進行しないうちにその性質を変化することなく地表へ湧出しているものと推察され、蔵王火山に関する種々の資料等から次のようなことが分かった。

(1) 火山活動の記録から、蔵王火山は20年から30年の周期性があり、現況は1966年(昭和41年)の活動以

来の周期にあること。

(2) 温泉水の主な水質成分は1966年以降の沈静期においては増加したもののその後は減少傾向を示していたが、現況は濃度レベルが活動期の1966年と同一の濃度またはそれ以下となっていること。

(3) 宮城・山形両県にまたがる蔵王火山周辺の温泉での泉温の上昇が確実であること。

(4) 蔵王火山周辺、特に丸山沢噴気地熱地帯近辺において発生した地震は1997年を境に地震は規模及び震源の深さが異なっているが、振子沢破碎帯と横川破碎帯に挟まれた地溝帯において発生していること。

以上のことから、蔵王火山の火山活動の現況は1966年(昭和41年)以来の周期的な活動期にある可能性が高いと考えることができる。しかし、濁川最下流におけるpH値の変化がみられないことから、濁川のpH値を上昇させる状況の火山活動ではないといえる。

## 参考文献

- 1) 気象庁編:日本活火山総覧, 124-128 (1996)
- 2) 清野茂:宮城県保健環境センター年報, 13, 149-153(1995)
- 3) 清野茂:宮城県保健環境センター年報, 13, 143-144(1995)
- 4) 宮城県保健環境センター:蔵王火山の現況, (2000) 未印刷
- 5) 荒木竣他編:環境科学辞典, 59, 東京化学同人(1985)
- 6) 荒木竣他編:環境科学辞典, 81, 東京化学同人(1985)
- 7) 東北開発センター:蔵王・温泉地質, pp.25 (1967)
- 8) 今田正・大場与志男:蔵王火山の火山地質, 蔵王連峰総合学術調査報告書, 1-24 (1985)
- 9) 下方鉦蔵:酸性泉におけるアルミニウムの起源, 温泉工学会誌, 1, 2, 61-65 (1975)
- 10) 安斎徹:神秘の火口湖御釜, 山形地質学研究所, pp. 224 (1961)
- 11) 湯原浩二・瀬野錦蔵:温泉学, pp.293, 地人書館(1991)
- 12) 日本化学会編:化学便覧基礎編Ⅱ, 167, 丸善(1984)
- 13) 今田 正他:有史時代の活動と現在, 蔵王連峰総合学術調査報告書, 31-45 (1985)
- 14) 社宮城県温泉協会:温泉測定調査事業実績報告書(1973-1999)
- 15) 久間木國男他:蔵王温泉の温泉要素の変動(第1報), 10, 58-66 (1978), (第2報), 14, 43-55 (1981), (第3報), 18, 9-19 (1985), (第4報), 30, 5, 20 (1997) 山形県衛生研究所報
- 16) 久間木國男他:蔵王温泉の経年変化, 温泉工学会誌, 126, 213, 67-74 (1999)
- 17) 仙台管区気象台地震火山課:宮城県南部の地震発生状況資料(2000)未発表