

厚生労働科学研究費補助金 (健康安全・危機管理対策総合研究事業)

「大規模災害および気候変動に伴う利水障害に対応した環境調和型

水道システムの構築に関する研究」

分担研究報告書

研究課題：御嶽山噴火に伴う牧尾ダム貯水池の水質対応

研究代表者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院 統括研究官

研究協力者 今本 博臣 水資源機構 総合技術センター マネージャー

研究要旨

御嶽山では、2014年9月27日に1979年以来35年ぶりとなる噴火が発生した。噴火による火山噴出物の分布や噴出量は、1979年に発生した噴火とほぼ同様であったことから、御嶽山を流域とする牧尾ダムの水質は、前回同様、長期にわたり噴火の影響を受けることが予測された。このため水資源機構では、中部地方整備局とともに、関係自治体や利水ユーザーと連携して効率的な水質調査を実施するだけでなく、精度の高い放流水質の予測を行いつつ適切な水質保全対策を実施した。その結果、現在までは大きな利水障害が発生することなく、下流への利水供給が継続できている。

A. 研究目的

木曽川水系牧尾ダムは、御嶽山噴火口域を含む流域 304km²、総貯水容量 75,000,000m³ の貯水池であり、中京圏の水がめとして上水道、工業用水、かんがい用水を供給するとともに関西電力（株）が 35,000kw の発電を実施している。

牧尾ダムの流域内には人家がほとんどないため、貯水池内では富栄養化問題は発生していないが¹⁾、1979年の御嶽山噴火の際には、高濁度水や酸性水の流入が生じたという経緯がある²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。

御嶽山では、2014年9月27日に1979年以来35年ぶりとなる噴火が発生し、大量の火山噴出物を含んだ高濁度水や酸性水が牧尾ダムに流入した⁶⁾⁷⁾⁸⁾。この対策を検討するため、木曽川の水質管理に関係する機関である国土交通省、経済産業省、農林水産省、長野県、愛知県、岐阜県、三重県、名古屋市、関西電力、水資源機構では、「御嶽山噴火に伴う木曽川上流域水質保全対策検討会」（以下「検討会」という）を立ち上げた。検討会では、効率的かつ効果的な水質調査を実施するため、17箇所の水質調査地点を設定し監視を強化

した⁹⁾。これらの調査データは、単に相互利用するだけでなく随時インターネット上で公開した。

また、牧尾ダムの管理者である水資源機構では、ダム放流水の影響で下流ユーザーが取水障害を引き起こさないように、精度の高い放流水質の予測を行いつつ適切な水質保全対策を実施した⁹⁾。

本研究は、大規模災害における貯水池の水質対応という視点から牧尾ダムの事例を紹介する。

B. 研究方法

1) 牧尾ダムの水運用

2012年から2015年における牧尾ダム貯水池の水運用実績を図-1に示す。牧尾ダムの貯水位は、12月1日から翌年3月31日までは発電利用により貯留水を全量使用するため、3月末にはEL.832mの最低水位付近まで低下する。その後、4月1日から雪解け水を貯留して貯水位を回復させ、5月以降の灌漑期に備えるという運用になっている。また下流への利水供給は、ダム貯水池底層に位置するEL.826mに設置された発電放流設備を用いて行い、発電放流設備が使用出来な

い場合は、EL.827m に設置された利水放流設備を使用するため、いずれの設備を使用しても、最低水位 EL.832m 以下からの底層放流となることに特徴がある。

2) 水質調査

牧尾ダムでは、これまで年間に 12 回の頻度で水質調査を実施していたが、図-2、図-3 に示すように噴火以降に大量の噴出物が流入・堆積している状況が確認されたため、噴火の翌日より調査地点、調査頻度、調査項目を引き上げることとした。

噴火の影響が最も懸念される濁度と pH については、図-4 に示すように調査地点が流入地点（表層）、ダムサイトから上流 200m の貯水池地点（表層）、放流地点（表層）の 3 地点を選定し、調査頻度を 2014 年 9 月 28 日～10 月 31 日が 2 回/日、11 月 1 日～12 月 19 日が 1 回/日、12 月 20 日以降は 1 回/週で実施した。

また、精度の高い水質予測を実施するため、貯水池内の濁度と pH の鉛直分布を、ダムサイトから上流 200m、1,500m、3,000m の 3 地点（水深 1～5m ピッチで湖底まで連続測定）で、1 回/週～1 回/2 週の頻度で実施した。更に、2014 年 10 月から 11 月にかけて、流入地点（表層）とダムサイトから上流 200m の貯水池地点（湖底+1m）で濁質の粒度分布を 4 回測定した。

噴火に伴う火山噴出物が人の健康に与える影響を把握するための項目は、既存文献を参考に¹⁰⁾ カドミウム、鉛、六価クロム、ヒ素、総水銀、セレン、ホウ素、フッ素の 8 項目とし、流入地点（表層）、ダムサイトから上流 200m の貯水池地点（表層）、放流地点（表層）で 1 回/月の頻度で測定した。

3) 水質保全対策

牧尾ダムでは大量の火山噴出物を含んだ高濁度水や酸性水が流入したため、実行可能な水質保全対策を速やかに実行することとした。

3-1) 余水吐きゲートを用いた放流操作

牧尾ダムは、発電放流設備（EL.827m）と利水放流設備（EL.826m）の 2 つの放流設備を有するが、いずれの設備を使用しても底層放流となるため、放流量が大きくなると底層に滞留している高濁度水（図-5）が大量に流下することが懸念された。このため噴火直後から試験放流直前（2014 年 12 月 14 日）までは、ダム天端に位置する余水吐きゲート（EL.870m）による放流を実施した。

また、12 月 24 日以降においても貯水位が余水吐きゲートより高い場合は、利水放流設備や発電放流設備だけでなく、余水吐きゲートを併用した混合放流を実施することで、できる限り放流濁度が低下するようにした。

3-2) ダム放流による下流への影響軽減対策

ダムサイト底層に滞留している高濁度水の流量を軽減するため、2014 年 11 月から 12 月初旬にかけて利水放流設備の上流側約 30m の位置に沈下式の汚濁防止フェンスを設置した（図-5、図-6）。また、発電放流設備については角落とし用のレールがあるため、2015 年 1 月から 3 月にかけて関西電力（株）が EL.827m～829m の標高に角落しゲートを設置した。

3-3) 貯砂ダムに堆積した火山噴出物撤去

2014 年 10 月に火山噴出物の堆積状況を調査したところ、貯水池上流端に位置する貯砂ダムとダムサイト底層に約 67 万 m³ 堆積していることがわかった（図-5、図-7）。特に、貯水池上流端の堆積物は出水で洗掘する頻度が高いため、2014 年 10 月から 2015 年 3 月にかけて貯砂ダムに堆積した火山噴出物 15,000m³ を撤去するとともに、適正な処理を実施した（図-8）。

4) 水質予測

御嶽山噴火に伴う放流水質への影響は、利水放流設備を使用する試験放流時、及び、貯水位が最低水位になる 3 月末が最も大きいと想定されることから、これらの時期の水質予測を実施した。予測に当たっては、水質保全対策を考慮した条件で

実施した。

4-1) 試験放流時の水質予測

噴火直後は余水吐きゲートで放流していたが、2015年1月以降は発電放流により貯水位が余水吐きゲート敷高を下回るため、利水放流設備による底層放流となる。このような放流は、底層に滞留している高濁度水が大量に流下することが懸念されるため、2014年12月15～18日にかけて試験放流を実施した。

試験放流に先立ち、鉛直1次元水質予測モデルによる放流濁度の予測を実施した。放流濁度の予測は、貯水池の濁度鉛直分布状況を踏まえて、図-9に示すように高濁度層と低濁度層が2層に分離している状況を初期値とし、流動層厚を考慮して計算した。

4-2) 水位低下時の水質予測

図-1に示す水運用ルールに従って3月末に貯水位を最低水位まで低下させると、4月には出水の大部分を貯留してしまうため、5月以降の利水供給が増大する期間に火山噴出物を多く含んだ濁水を長期間放流することが懸念される。そのため、濁水長期化の影響が最小限になる水運用を把握するための検討を実施した。

牧尾ダム貯水池では、図-10に示すように、高濁度水が流入しているにもかかわらず、貯水池内濁度は数十度に収まっているというような現象が確認された(図-11)。そのため、貯水池に流入した濁水が、貯水池内で密度流としてダムサイトまで到達した割合を把握する目的で、鉛直2次元水質予測モデルによる現況再現計算を実施した。

水質調査結果を元に実測L-Q式(図-12)を作成し、噴火後の2014年10月から2015年9月までの1年間の期間を対象に現況再現計算を実施した結果、図-13に示すように貯水池内の濁度鉛直分布が数千度になってしまい、図-11に示す実測値と大きく乖離した。そのため、L-Q式を可変させたところ、実測値の1/10に修正すると図-14に示すように出水時の貯水池の濁り状況、及び、水

位低下時の濁度上昇とその後の低減状況が精度良く再現された。

以上の結果を踏まえて、3月の貯水位低下期、及び、出水を貯留する4月に濁水長期化が発生しない水位を検討するための水質予測は、修正L-Q式を用いることとした。

C. D. 研究結果及び考察

1) 水質調査結果

1-1) 濁度と濁質粒度分布

河川水の濁度は、出水時に高くなり流量が減少すると低下する。しかし、図-10に示すように、噴火直後の牧尾ダム流入地点では、流量が $5\text{m}^3/\text{s}$ でも濁度が1,800度(採水分析による測定)まで上昇するなど、噴火後約2ヶ月間は流量の大小にかかわらず数百から千度以上の間で変動した。しかし、12月以降になると、出水時には濁度が数百度まで上昇するものの、平時時には数度～数十度まで低下した。

貯水池の濁度は、通常、数百から千度以上の濁水が長時間流入すると、濁水が貯水池で拡散するため、長期間にわたって高濁度化する。しかし、噴火後のダムサイト地点の濁度鉛直分布は、図-11に示すように500度以上の値(2014年10月16日の採水分析では最大380,000度)を示すのは底層のEL.825m～829mのみであり、それよりも高位標高部は低い値となっていた。また、出水時に貯水池内に流入する高濁度の濁水は、様々な粒度で構成されているため、通常、上流端付近には粗い粒子が、下流のダムサイト付近には細かい粒子が堆積する。しかし、図-15に示すように、火山噴出物を多く含んだ流入地点の濁水は、90%以上がシルト・粘土(粒子径 $74\mu\text{m}$ 以下)の細かい粒子で構成されていたため、ダムサイト底層に滞留している高濁度水の濁質粒度分布と同じような形状になっていた(図-16)。また、毎年実施している貯水池内の堆砂測量結果から、火山噴出物は、上流端の貯砂ダムとダムサイト底層に大部分が堆積していることがわかった(図-5)。

以上のことから、火山噴出物を多く含んだ流入

水は、密度流として貯水池底層を滑るようにダムサイトまで移動したものと考えられる。

放流濁度は、噴火直後から 2014 年 12 月 14 日までは、水質保全対策の一環として EL.870m の余水吐きゲートから放流した効果で、試験放流を実施した 12 月、水位低下期の 3 月、及び出水を貯留する 4 月を除くと、平均濁度は 3 度であり例年とほぼ同様の値となっている（図-10）。

木曾川本川に位置する兼山地点（牧尾ダムから 120km 下流の水道取水地点）の濁度は、噴火直後の 2014 年 9 月末から約 2 週間にわたって、流量の大小にかかわらず、数百度まで上昇しているが、それ以外は例年とほぼ同様の値となっている。

1-2) pH

流入地点の pH は、噴火前の 2014 年 4 月から 9 月までは pH7.0 程度で安定していたが¹⁾、噴火直後の 10 月から 12 月までは、図-17 に示すように、流入量の大小にかかわらず pH4~6.5 の間で推移した。12 月以降になると、平水時には pH6~7 まで上昇したが、出水時には依然として pH4.5 まで低下する場合がある。貯水池平均（全層の重み付き平均）の pH は、噴火後約 2 か月間にわたって pH4.5 付近で推移していたが、12 月以降は pH5~6 まで上昇した。しかし、出水時には依然として pH4 付近まで低下する場合がある。放流の pH は、噴火後約 2 か月間にわたって pH5 付近で推移していたが、12 月以降は pH5.5~6.5 まで上昇した。しかし、出水時には依然として pH3.5 まで低下する場合がある。

一方、木曾川本川に位置する兼山地点では、噴火直後から出水時も含めて pH7 付近で推移しており、大きな変化が見られなかった。

1-3) 人の健康の保護に関する項目

流入地点において、噴火直後の 10 月 2 日時点で環境基準値を上回った項目は、図-18 に示すように、鉛、ヒ素、総水銀であった。そのうち鉛と総水銀については濁度が千度以上、ヒ素については濁度が 50 度以上では環境基準値を上回ったが、

濁度が 25 度以下になると環境基準値を上回ることが無かった。また、環境基準値を上回った 3 項目においても、溶解成分で比較すると環境基準値を下回っていたため（10 月 9 日測定のヒ素を除く：濁度 1760 度）、これらの重金属類は火山噴出物に吸着している成分がほとんどであったものと考えられる。また、カドミウム、セレン、六価クロム、フッ素、ホウ素については、いずれも環境基準値を上回ることが無かった。

一方、貯水池地点と放流地点では、8 項目ともに環境基準値を上回ることが無かった。これは、貯水池内で火山噴出物の大部分が沈降したことによる影響であると考えられる。

2) 水質予測結果

2-1) 試験放流時の水質予測

予測結果は、図-19 に示すように汚濁防止フェンスなしのケースでは、1,200 度の放流濁度が長時間継続するものの、汚濁防止フェンスを設置すると放流濁度は 1~2 時間程度で低減するという結果が得られたことから、「検討会」での了承を得て試験放流を実施した。

試験放流は、下流河川への影響を確認しながら、4m³/s から 15m³/s まで徐々に増加させた。また、放流初期は、高濁度になることが予測されたため、余水吐きゲートを併用した混合放流を実施した。

結果は、図-19 に示すように、放流初期はダム放流地点で最大 900 度まで上昇したが、時間とともに急速に低下傾向を示し予測結果とほぼ同様となった。

2-2) 水位低下時の水質予測

水位が最も低下する 3 月上旬は、EL.846m、EL.855m、EL.863m の 3 ケースを設定し、放流濁度を比較した。その結果、図-20 に示すように、出水時には貯水位が低いほど放流濁度のピーク値は高くなるがその後の低減は早くなり、貯水位が高いほど放流濁度のピーク値は低くなるがその後の低減は遅くなると予測された。しかし、放流された濁水が下流河川に及ぼす影響は、いずれのケ

ースにおいても大きな差が無いことから「検討会」での了承を得て、水位低下の制限は設けないこととした。

また、L-Q 式を実測値の 1/10 に修正すると現況再現の精度が向上したことから、貯水池に流入した高濁度水の 9 割は密度流として底層を滑るようにダムサイトまで到達し、残りの 1 割が貯水池内で拡散したものと考えられる。

3) 今後の課題

噴火後 2 年経過した現状では、貯水池内濁度は、出水後にはやや高くなるものの平水時は低下するため、今後、大きな影響を及ぼす可能性は小さいものと考えられる。

一方、pH については、周辺生態系への影響は確認されていないものの、出水後の流入水では pH4.5 まで、貯水池内では pH4 まで、放流水では pH3.5 まで低下する場合がある。特に流入水の低 pH の状態は、図-21 に示すように 1979 年噴火時においても長期間継続している。しかも、この状況が解消されたのは、1984 年に発生した長野地震により、流入水を低 pH にする原因となっていた火山噴出物の大部分が埋没した後であることから推測すると、牧尾ダムは、今後も長期にわたって低 pH が継続することが予測される。

従って、今後も長期的な視点でモニタリングを実施する必要がある。

E. 結論

水資源機構では、御嶽山噴火直後より関係自治体や利水ユーザーと連携して効率的な水質調査を実施するとともに、適切な水質保全対策の実施や、きめ細かなダム運用を行ったため、大きな利水障害が発生することなく、下流への利水供給が継続できている。以下に、御嶽山噴火が牧尾ダムの水質に与えた影響を示す。

1) 濁度

噴火直後の流入濁度は、出水時だけでなく平水時においても千度以上となっていた。このような

傾向は約 2 ヶ月間継続した。一方、放流濁度は、試験放流を実施した 12 月、水位低下期の 3 月、及び出水を貯留する 4 月を除くと、例年とほぼ同様の値まで低下していたことから、水質保全対策の効果があったものと考えられる。

2) pH

噴火後 2 年が経過した現在においても、出水後の pH は、流入水では pH4.5、貯水池内では pH4.0、放流水では pH3.5 まで低下する場合がある。

3) 健康項目

噴火に伴う火山噴出物が人の健康に与える影響を把握するために選定したカドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン、ホウ素、フッ素については、流入地点で濁度が極端に高い場合は、環境基準値を上回ることがあるが、そのような場合でも溶解成分で比較すると、ほぼ環境基準値以下になっていた。一方、貯水池地点と放流地点では、貯水池内でほとんどの火山噴出物（濁質）が沈降するというダムによる副次的効果の影響で、環境基準値以下になっていた。

G. 研究発表

1) 論文発表

今本博臣・安藤昌文・壺岐宏・小野島広大（2017）御嶽山噴火に伴う牧尾ダム貯水池の水質対応，ダム工学，27（2）

2) 学会発表

小野島広大・今本博臣（2016）御嶽山噴火に伴う対応及び水質に関する影響，平成28年度国土交通省国土技術研究会，自由課題，安全安心 1

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

1) 特許取得

該当なし

2) 実用新案登録

該当なし

3) その他

I. 参考文献

- 1) 水資源機構：水質年報 2015.
- 2) 科学技術庁：1979 年御嶽山噴火による災害.
- 3) 科学技術庁国立防災科学技術センター：1979 年御嶽山噴火による災害現地調査報告，1980.
- 4) 島田安太郎：御嶽山（地質と噴火の記録）1982.
- 5) 気象庁：御岳山の 1979 年噴火による降灰分布と山麓の川水の pH，気象研究所技術報告，第 12 号，1984.
- 6) 東京大学地震研究所：気象庁 130 回火山予知連絡会 2015.
- 7) 防災科学研究所：気象庁 130 回火山予知連絡会 2015.
- 8) 産業技術総合研究所：気象庁 130 回火山予知連絡会 2015.
- 9) 国土交通省：御嶽山噴火に伴う木曾川上流域水質保全対策検討会資料 第 1 回，2014.
- 10) 小杉有希，栃本博，高橋保雄，富士栄聡子，小西 浩之，小輪瀬勉，矢口久美子：2000 年三宅島噴火後の水道水中有害無機成分等の実態調査，東京健安研年報 **57**，325-332，2006.

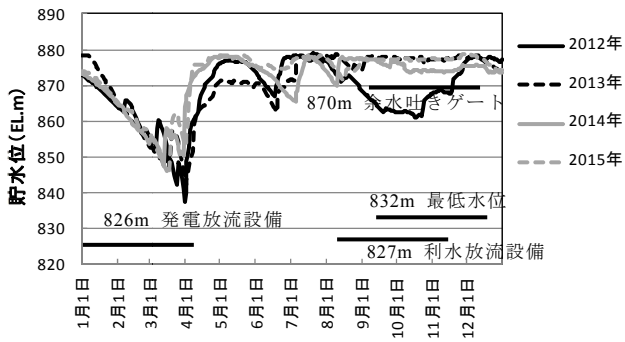


図-1 牧尾ダム貯水池の水運用実績

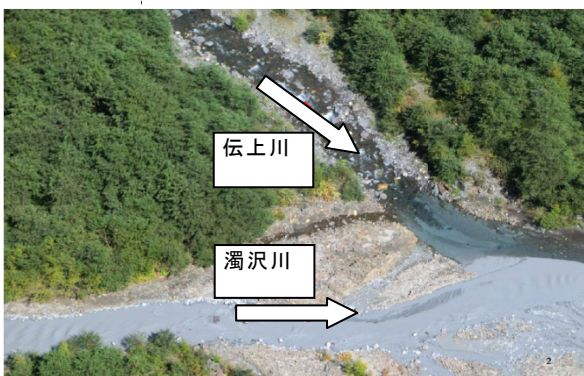


図-2 貯水池内に流入する高濁度水 (流入地点：2014年9月29日)



図-3 貯水池流入端に堆積した火山噴出物の状況 (貯砂ダム地点：2014年9月29日)

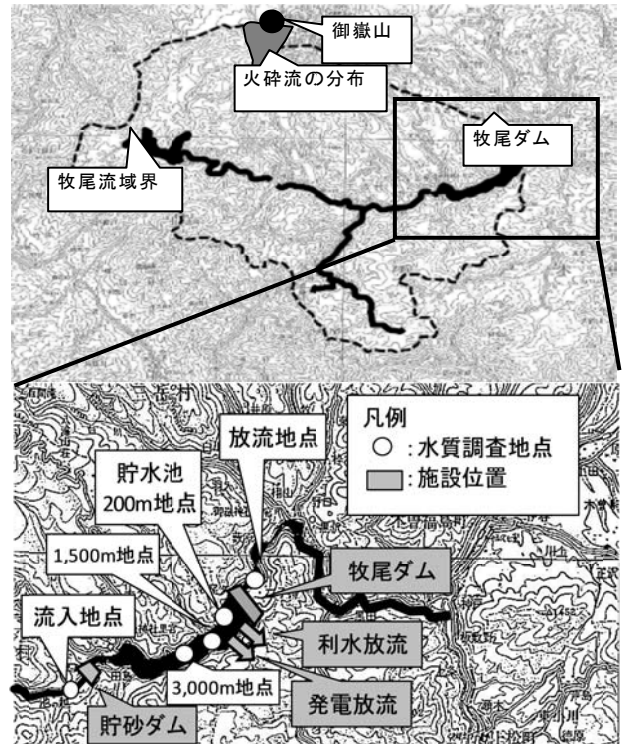


図-4 牧尾ダム流域の水質調査地点と施設位置

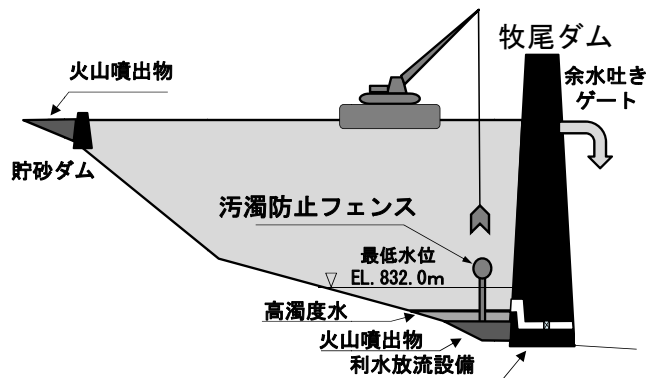


図-5 沈下式汚濁防止フェンス概念図



図-6 沈下式汚濁防止フェンス (幅 140m, 高さ 10m)



図-7 貯砂ダムに堆積した火山噴出物



図-8 貯砂ダムに堆積した火山噴出物の撤去状況
(2015年2月4日)

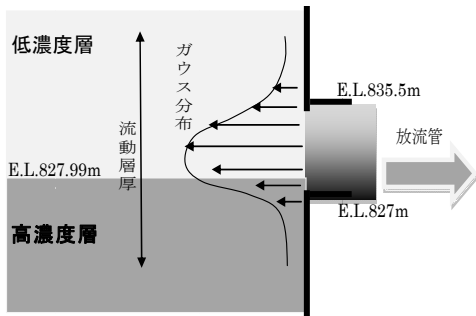


図-9 モデルの概念図

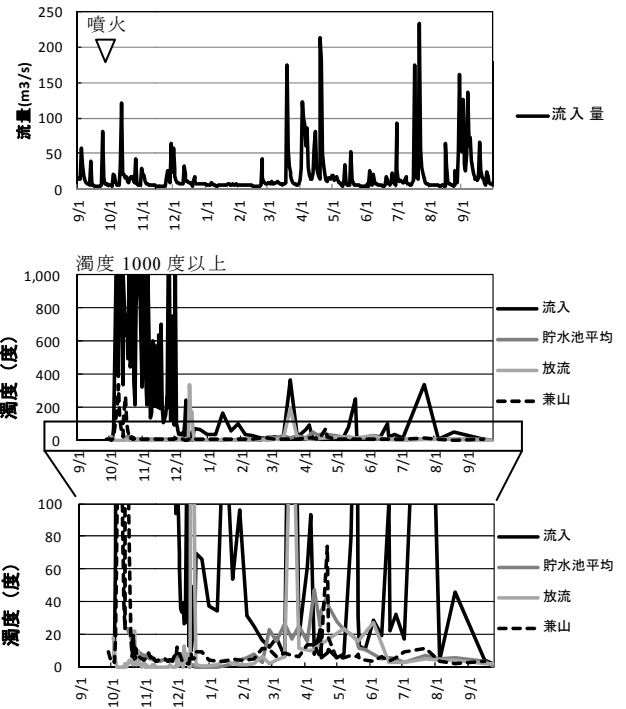


図-10 流入量と濁度の変化
(2014年9月～2015年9月)
(測定限界値が1000度のポータブル測定器で測定)

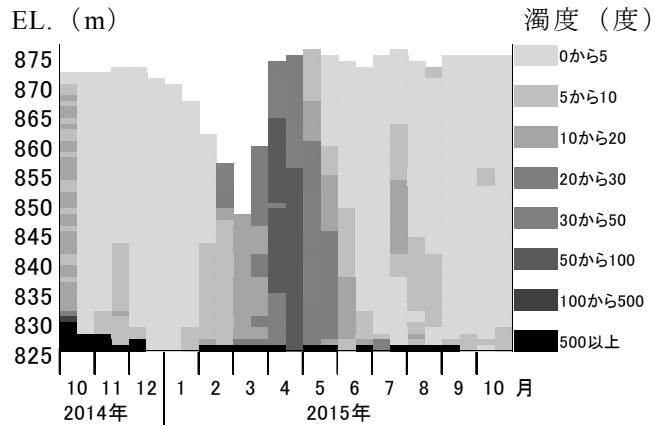


図-11 ダムサイト 200m 地点の濁度鉛直分布の変化

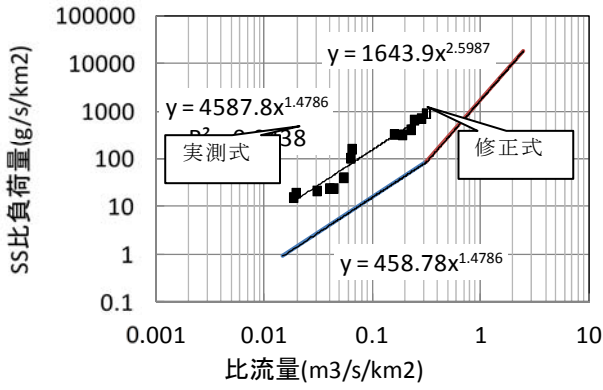


図-12 実測 L-Q 式と修正 L-Q 式

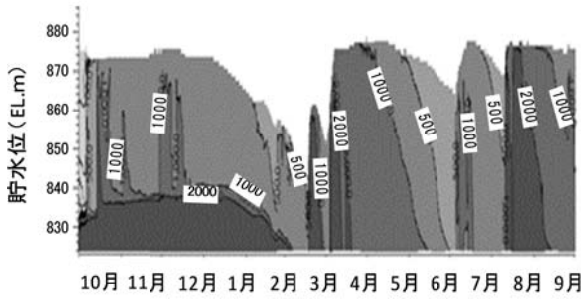


図-13 実測L-Q式を使用した鉛直濁度の予測結果 (2014年10月～2015年9月)

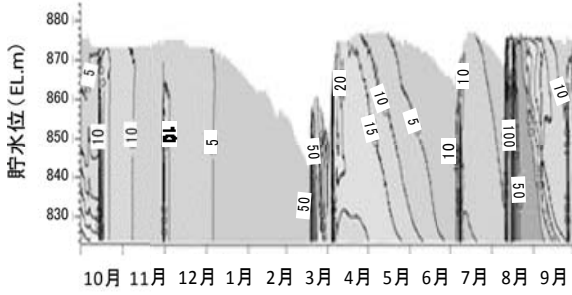


図-14 修正L-Q式を使用した鉛直濁度の予測結果 (2014年10月～2015年9月)

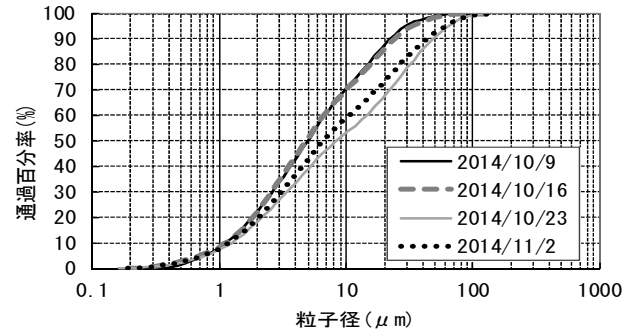


図-15 流入地点の濁質粒度分布

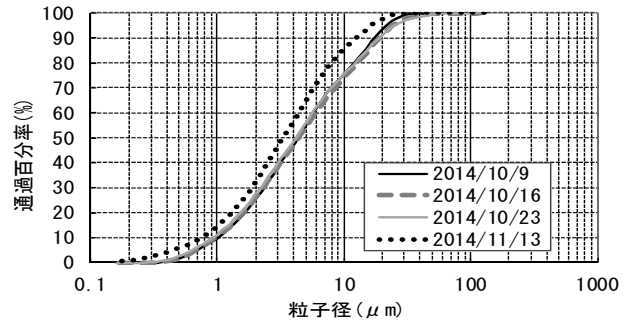


図-16 貯水池底層に滞留している濁質粒度分布

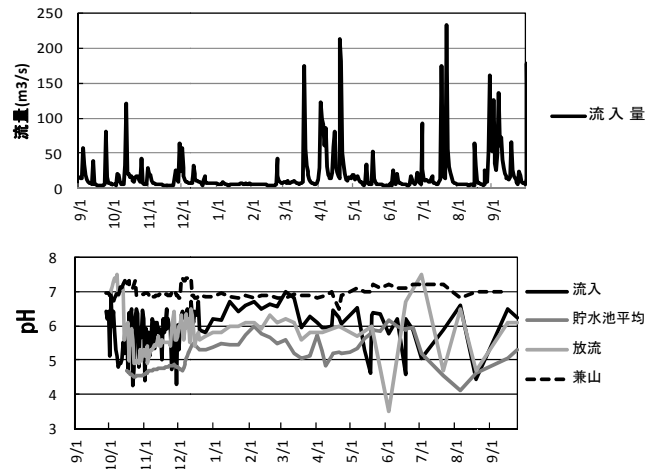


図-17 pHの変化 (2014年9月～2015年9月)

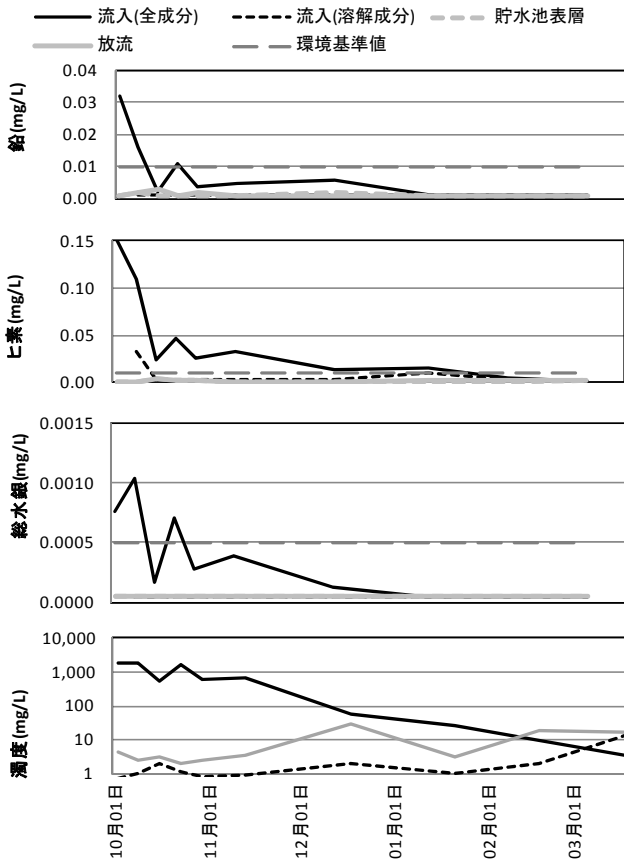


図-18 代表的な健康項目と濁度との関係
(2014年10月～2015年3月)

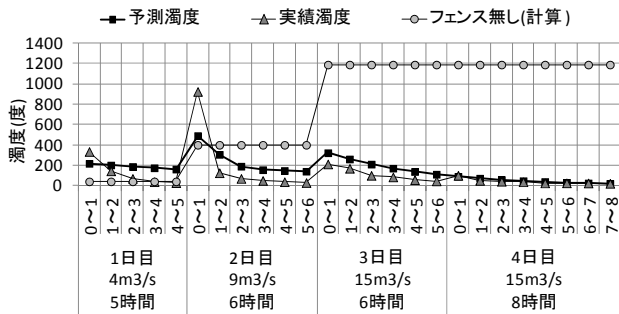


図-19 試験放流時の放流地点濁度(予測・実績)

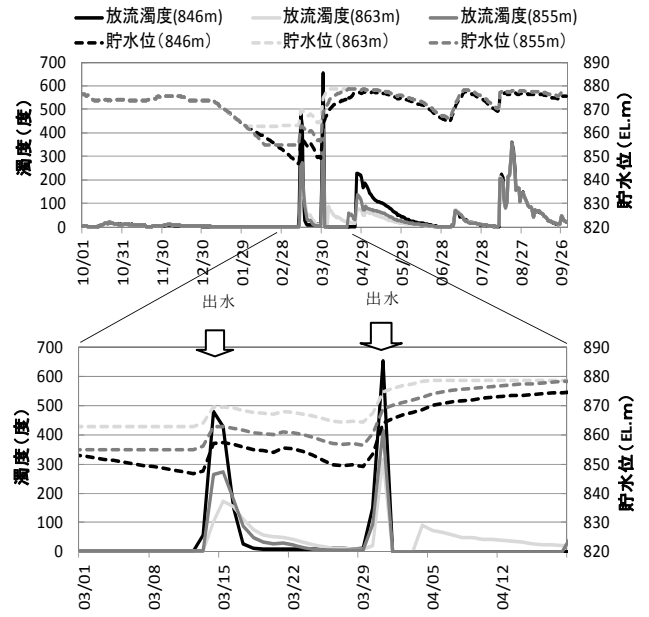


図-20 放流濁度の予測結果
(2014年10月～2015年9月)

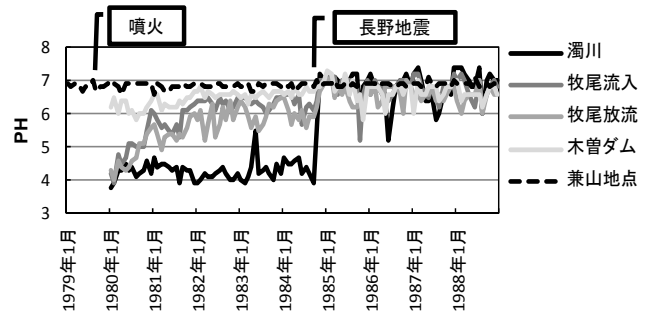


図-21 1979年噴火時におけるpHの経年変化