

御嶽山噴火に伴う対応及び水質に関する影響

小野島 広大¹・坂野 和弘¹・石黒 勇次郎¹

¹水資源機構愛知用水総合管理所 牧尾管理所(〒397-0101 長野県木曽郡木曽町三岳7696-1)

御嶽山では、有史以来2度目となる大噴火が平成26年9月27日に発生した。

前回噴火時(1979年)の経験から、牧尾ダムの貯水池水質は、長期にわたり噴火の影響を受けることが予測されたため、愛知用水総合管理所として綿密な水質監視体制を構築し、関係自治体やユーザーに水質情報を提供するとともに、下流河川に対し可能な限り水質影響の軽減対策を講じることとした。この結果、現在までは特段の支障を来すことなく、ダムからの利水補給を継続している。

本稿では、こうした御嶽山噴火に伴う対応及び水質に関する影響について報告する。

キーワード：牧尾ダム、御嶽山、水質調査、火山噴火、濁度、PH

1. はじめに

(1) 御嶽山の噴火

御嶽山では、有史以来2度目となる大噴火が平成26年9月27日に発生した。

愛知用水の水源地である牧尾ダムは御嶽山より南東約10km地点に位置し、主となる流入河川は王滝川である(図-1)。この王滝川の支流として伝上川、濁川があり、源流が御嶽山腹にあるため、発生した火山噴出物が河川内に降り積もり、これらの河川を通して牧尾ダム貯水池へ流れ込み、土砂堆積や、水質等に大きな影響を与えている。

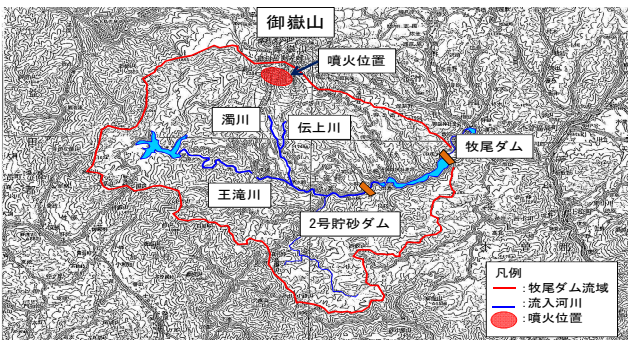


図-1 牧尾ダム位置図及び流域図

(2) 牧尾ダムの水運用

牧尾ダムの水運用は、12月1日から翌年3月31日を目途に発電利用により貯留水を全量使用し、4月1日から貯留

を開始し、5月以降は灌漑用水として使用するという特殊な運用となっている(図-2)。

下流への利水補給は、通常運用ではダム貯水池底層部(EL.826m)に設置された関西電力発電放流設備を用いて行っている。発電放流設備が使用出来ない場合は、牧尾ダムのEL.827mに設置された利水放流設備から放流を行うこととなっており、いずれの設備を使用しても、常時、底層放流となることに特徴がある。このため、水運用として貯水位が低下する冬期から春期にかけて、底層に堆積している火山噴出物が再懸濁化して、放流水質に悪影響を与えることが懸念された。

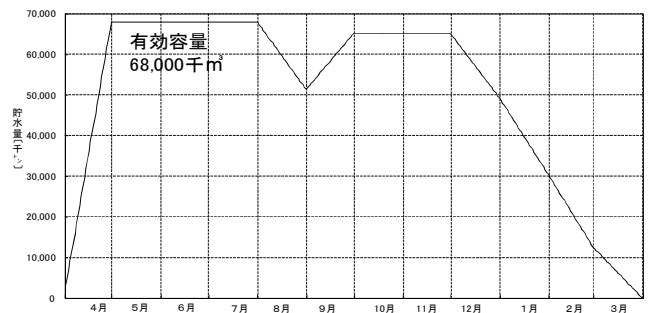


図-2 牧尾ダム貯水運用曲線

(3) 水資源機構としての対応

このような事態に対し、利水補給に影響を出さないために以下の対応を適時的確に行った。

a) 関係機関との情報共有・合意形成

各関係機関による水質監視体制の構築及び合意形成の場の設立

b) 貯水池内の状況把握

水質監視体制の構築，水質調査，貯水位低下時の水質予測及び堆積状況調査

c) ダム放流による下流への影響軽減

汚濁防止設備の設置及び試験放流の実施

d) 緊急対策工事

火山噴出物の貯水池内への流入軽減

また，上記対応に伴い，水運用に関係して時系列順に4つの想定される課題に対し，機構が所有している水質予測モデル(JWAモデル)の改良を行った上で以下の検討を行うことで，対策実施や運用に貢献した。

本稿では，これらの対応策について報告する。

表-1 牧尾ダムの濁水に係る課題とその対応の概要

時期	内 容
10～12月	① 循環期における貯水池の濁りの長期化 【課題】貯水池底層の濁水の巻き上げが懸念 【観測】出水時観測，現地鉛直観測 【実験】循環流動による巻き上げ影響実験 【予測】循環期の濁りを予測（拡散等モデル改良）
12月中旬	② 水位低下時における底部利水放流管の放流 【課題】汚濁防止フェンスの設置効果，試験放流時予測 【対応】汚濁防止フェンス：10mの設置 【観測】現地高濁度水標高の把握，鉛直観測継続 【実験】火山灰濁質流出実験，凝集沈殿剤試験 【予測】汚濁防止フェンス効果，試験放流時予測
1月～3月 4月～5月	③ 水位低下時の貯水池の濁り 【課題】どこまで水位を下げられるか 【観測】出水時観測，現地観測実施 【予測】水位低下毎の貯水池濁水予測（4ケース）
5月～ 8月頃	④ 夏期出水時における放流濁水の長期化 【課題】放流濁水の継続時間と水位との関係 【観測】出水時観測，現地観測実施 【予測】放流濁度のピークと継続時間と水位との関係

2. 関係機関との情報共有・合意形成

御嶽山の噴火を受け，10月28日に各関係機関が連携・協力し，水質監視体制や牧尾ダム貯水池の水質保全対策，下流河川への影響緩和策等を検討するため，国土交通省中部地方整備局，農林水産省東海農政局，経済産業省中部経済産業局，長野県，愛知県，岐阜県，三重県，名古屋市，関西電力，水資源機構中部支社をメンバーとする「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）が設置された。この検討会により，御嶽山噴火に伴う牧尾ダム及び下流河川への影響を把握するための水質監視体制の確認，影響を緩和するための対策，牧尾ダムの試験放流計画等，今後のダム運用を含めた議論がなされるなど，関係者間の合意形成の場となった。

3. 水質調査

(1) 水質監視体制の構築

火山噴火以降，牧尾ダム貯水池では噴出物が大量に流入・堆積している状況が確認されている。（写真-1，2）このような状況下において，貯水池水質及び放流水質へ与える影響を把握するため，噴火の翌日より流入地点，貯水池地点，放流地点において（図-3），pHと濁度を中心に観測を開始し，関係機関への情報提供及びホームページでの公表を行うこととした。



写真-1 流入地点の火山噴出物堆積状況



写真-2 ダムサイトから上流6.4km地点の噴出物堆積状況

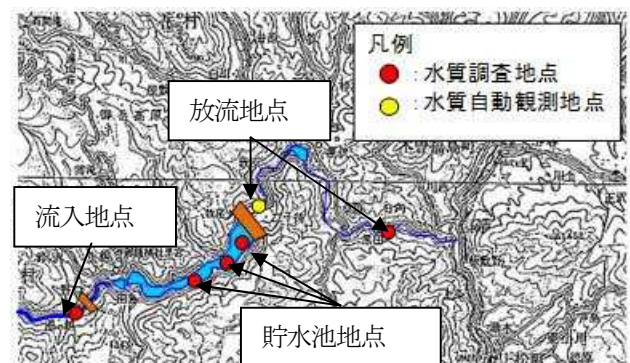


図-3 水質観測箇所位置図

(2) 水質観測結果

a) 濁度と粒度分布

流入河川の濁度は，通常，出水時に高くなり流量が減少すると濁度も低下するが，牧尾ダムでは，噴火直後の

2014年9月末から約2か月間にわたって、流入量の大小にかかわらず、数千度の高濁度水となっていた（図-4）。12月以降になると、出水時の濁度は例年に比べるとやや高い値を示すものの、平水時には数度～数十度まで低下した。

貯水池の濁度は、通常、数千度の濁水が長時間流入すると貯水池内全層が高濁度化するが、図-5に示すようにEL.827m～829mの貯水池底層付近のみで500度以上となっており、それよりも高位標高部は低い値となっていた。

また、通常、出水時に流入した高濁度の濁質は様々な粒度分布で構成されているため、上流に粗い粒子、ダムサイト付近に細かい粒子が堆積するが、牧尾ダムでは流入地点と貯水池底層の濁質粒度分布を比較すると、概ね同じ分布形状となっており分級が見られていない（図-6, 7）。

これらの理由は、濁水塊が1つの高密度な塊となり密度流として流入したため、貯水池内で拡散する濁質量が少ないことに起因しているものと考えられる。

一方、木曽川本川に位置する兼山地点の濁度は、噴火直後の2014年9月末から約2週間にわたって、流入量の大小にかかわらず、数百度の高濁度水となっていたが、それ以降は例年とほぼ同様の値まで低下した（図-4）。

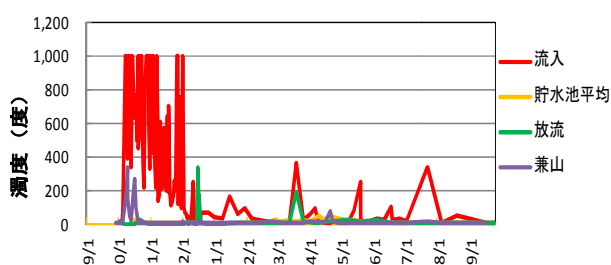


図-4 噴火後における濁度の変化（2014. 9～2015. 6）
（濁度1000以上は測定不可のため1000度で表示）

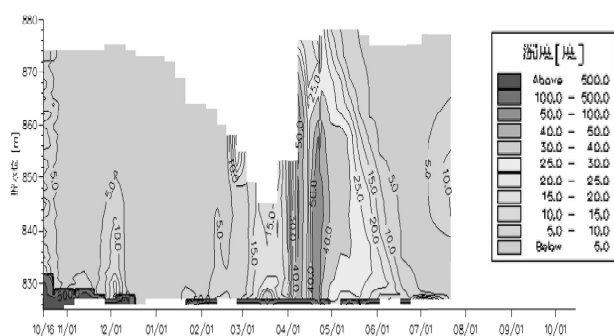


図-5 ダム貯水池の濁度鉛直時系列図（2014. 10～2015. 7）

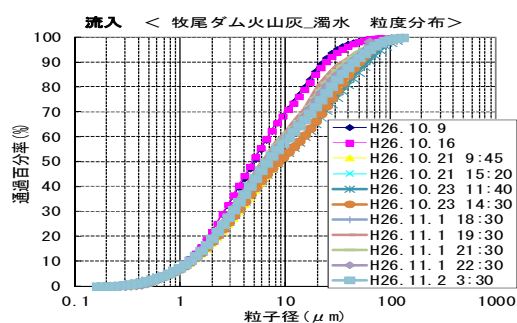


図-6 流入濁質の粒度分布

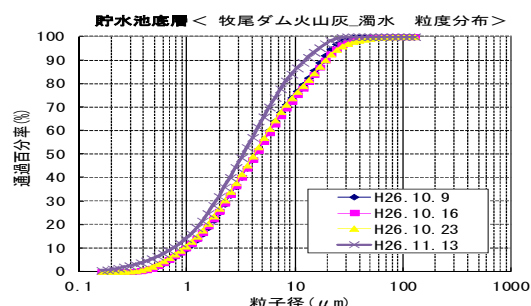


図-7 底層に滞留している濁質の粒度分布

b) pH

流入河川のpHは、濁度と同様に噴火直後の2014年9月末から約2か月間にわたって、流入量の大小にかかわらずpH4～6の間で推移していたが、12月以降になると、出水時のpHは例年に比べると低い値を示すものの平水時にはpH6～7まで上昇した（図-8）。

放流水のpHは、噴火直後の2014年9月末から約2か月間にわたってpH5～6となっていたが、12月以降になると、出水時のpHは例年に比べると低い値を示すものの平水時にはpH6～7まで上昇した。

一方、兼山地点のpHは、出水時も含めて例年とほぼ同様の値が継続しており、大きな変化が見られない。

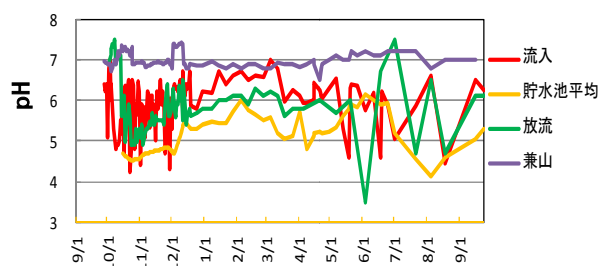


図-8 噴火後における濁度の変化（2014. 9～2015. 6）

4. 水質予測モデルの改良

(1) 予測モデル改良の必要性

牧尾ダムでは、火山噴出物の流入に伴い底層に高濁度水が滞留していることが判明したため、貯水池の濁りの

長期化予測および精度の高い放流濁度の予測が必要となった。

水質調査の結果、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など（図-5）、通常の貯水池では見られないような特殊な現象が確認されていたため、水資源機構が所有している貯水池水質予測モデル（JWAモデル）を用いて、牧尾ダム貯水池で生じている濁水の挙動解析を実施した。

(2) 流入負荷量（L-Q式）の修正

流量が100m³/s以下の場合には表層の濁りへの影響が少ないこと、及び、洪水後には速やかに低減が見られることから、流入負荷量の修正及び同定を行った（図-9）。その結果、予測に用いた修正L-Q式は、実測から求めたL-Q式の約1/10のSS比負荷量となった。

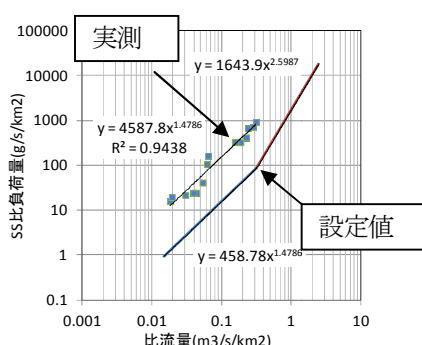


図-9 予測に用いた修正L-Q式と実測L-Q式との関係

(3) 再現結果

修正L-Q式を使用した再現結果を、図-10に示す。修正L-Q式を使用した場合は、平常時や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再現されている。

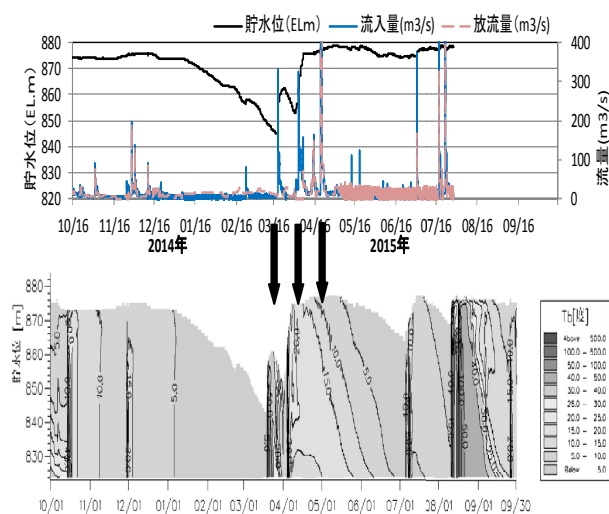


図-10 修正L-Q式を使用した濁度鉛直時系列図
(2014. 10～2015. 9)

5. 水質影響の軽減対策

(1) ダム放流による下流への影響軽減

前述のように牧尾ダムから下流への利水補給は、通常運用ではダム貯水池底層部（EL.826m）に設置された関西電力発電放流設備を用いて行っているが、2014年度下半期にかけて発電放流設備が改修中であったため、2015年3月までの放流はEL.827mに設置されている利水放流設備（最大流量30m³/s）を使用した。

この取水深は、牧尾ダム貯水池の最深部付近に堆積している火山灰土とほぼ同じ標高であるため、取水による流速で利水放流設備から下流へ流下することが懸念された。このような影響を軽減するため、利水放流設備の上流側に沈下式の汚濁防止フェンスを設置した（図-11・写真-3）。



写真-3 沈下式汚濁防止フェンス

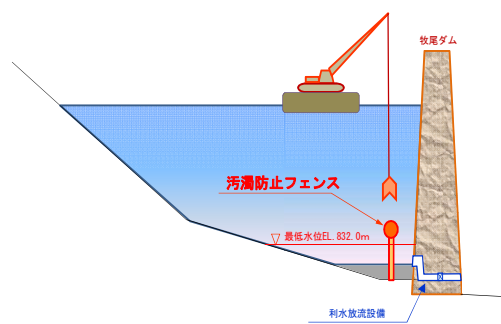


図-11 沈下式汚濁防止フェンス概念図

(2) 汚濁防止フェンスの効果

利水放流設備から放流される濁度の予測は、高濁度水の現地状況を踏まえて、高濁度層と低濁度層が2層に分類している状況を初期値とし、流動層厚を考慮して放流濁度を算出した。その結果、汚濁防止フェンスを設置すると、放流初期は一時的に放流濁度が高くなるものの、1～2時間程度で速やかに低減するという結果が得られたことから（図-12）、「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、利水放流設備からの放流を4m³/sから15m³/sまで徐々に増加

させた。なお、利水放流設備からの放流は、放流初期に高濁度になることが予測されていることから、余水吐ゲートから貯水池表層の水を希釈水として放流することとした。結果は、図-12に示すように、放流初期は直下流地点で最大900度となったが、時間とともに急速に低下傾向を示しており、予測結果とほぼ同様となっていた。また、汚濁防止フェンスの効果を算定するため汚濁防止フェンスなしのケースで予測計算を実施した結果、約1200度の放流濁度が長時間継続すると算出されたことから、沈水式の汚濁防止フェンスは所定の効果を発揮したものと考えている。

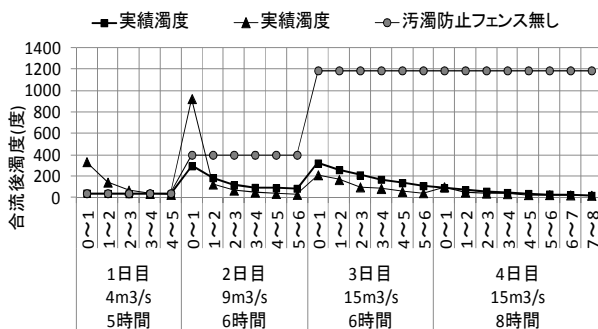


図-12 試験放流時の放流濁度（予測・実測）

(3) 貯砂ダム堆積土砂撤去工事

噴火により降灰した火山噴出物は、出水の度に牧尾ダム貯水池へ流入した（写真-1）。2014年10月に火山噴出物の堆積状況を調査した結果、牧尾ダム有効貯水域内及び死水域内に、それぞれ約24万m³、約43万m³の計算結果となった。このような火山噴出物の流入は、今後も大規模な出水が発生する度に発生し、特に冬期から春期の水位低下時には貯水池全体が濁水化して下流への放流に悪影響を及ぼすことが懸念されたため、貯水池への流入を軽減することを目的として、2014年10月から2015年3月にかけて約15000m³の堆積土砂撤去工事を行った（写真-4）。

また、関西電力では、貯水池底層に堆積した土砂が発電放流設備から流出することを防ぐ目的で、EL.827m～829mに角落しゲートを設置した。



写真-4 火山噴出物撤去状況（平成27年2月4日）

(4) 水位低下時の水質予測

1月から3月にかけての水位低下時において、出水により高濁度の水が流入すると貯水池が高濁化することが予測されるため、JWAモデルによる予測計算を実施した。予測計算にあたっては、火山灰による流入濁度は大部分が密度流として進入するため、流入負荷量（L-Q式）を図-9に示すように設定した。

予測計算は、3月末までに貯水池運用でどこまで水位を下げられるのかを検討するため、低下水位を3ケース（EL.846m, EL.855m, EL.863m）設定し放流SSの比較計算を行った。その結果、洪水を迎えた時の貯水位が低いほど放流SSのピークは高くなるが、その後の低減は早くなり、貯水位が高いほど放流SSのピークは低くなるがその後の低減は遅くなると予測された（図-13）。しかし、試験放流の結果から、放流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くないと判断されることから、「検討会」での了承を得て、発電取水で低下する貯水位に対しては特段の制限を設定しないこととした。

また、貯水位が最低となる2015年3月末前後の濁度鉛直分布の予測結果は、図-10に示すように、貯水池内の濁度は、4月初旬の洪水による影響で全層が数百度まで上昇するが、その後数日で50度まで低下しており、実測の濁度鉛直分布（図-5）とほぼ同様の結果となっている。

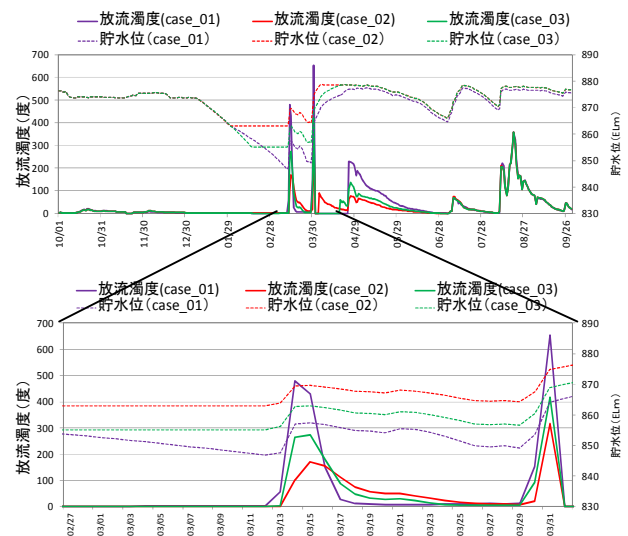


図-13 水位低下時の放流濁度予測結果

6. 今後の課題

噴火後1年半を経過した現在において、流入水の濁度は出水時にはやや高くなるものの平水時は安定しているため、今後も大きな影響を及ぼす可能性は小さいものと考えられる。しかし、流入水のpHは、出水時にはpH4程度まで低下する場合があります、貯水池内、特に底層部の

pHが低下して、出水時および出水後の放流水がpH4～5程度になる場合がある。

このような場合、ダム下流、特に水道取水地点での影響を軽減する観点から、上層からのゲート放流と下層からの放流を併用した放流や、他ダムからの希釈放流の検討も行っている。

このような低pHの放流は、1979年噴火時において5年程度継続していることから（図-14）、今後も長期にわたって継続すると予測されるため、長期的な視点でモニタリングを実施する必要がある。

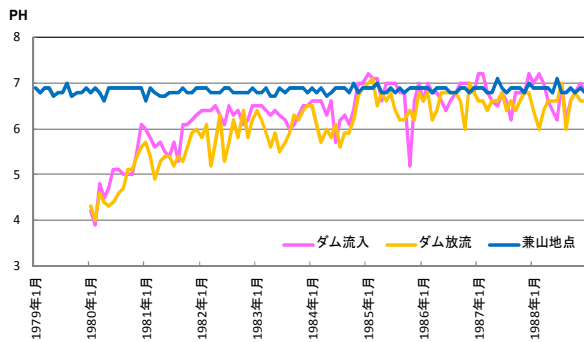


図-14 昭和54年噴火時のpH観測結果

また平成28年3月には、ダムの水位低下に伴い、貯水池内底部に堆積した堆積物が流水に浸食されてダム堤体近くに流れ込む状況も確認されており（写真-5）、貯水池内の濁度上昇、pH低下につながるとともに、取水工付近の高濁度層が上昇した。今後もダム運用による貯水位低下の度に、堆積物の浸食によって水質が悪化する傾向が数年間継続するおそれがある。こうした堆積物の抜本的な除去対策も今後の大きな課題となっている。



写真-5 貯水池堆積物浸食状況（平成28年3月）

7. あとがき

今回の噴火後における初期対応、貯水池への影響把握が適切に行われたため、各関係機関との連絡・調整も滞りなく行うことが出来た。また、火山灰による濁水の予測についても、現地観測結果を反映した予測を行ったことで精度の高い予測が可能となり、現地における各課題への対応の検討及び実施に適時反映できた。

噴火は自然災害であり、上流に位置する機構や他機関のダムだけでなく、その下流の河川環境や河川水を利用する利水者を含めて木曽川全体に亘って影響を及ぼすこととなる。また過去の事例を参考にすると、噴火の影響は今後5年から10年の間発生する可能性があるとして予測され、長期的な対応が必要と考えられる。このため、噴火に伴って必要となるさまざまな対応については、ダム施設の管理者のみならず、河川管理者や平常時において木曽川によって利益を受けている関係者で公平に分担して対応していくシステムを構築していく必要がある。

今回の御嶽山の噴火対応は、近年多発する自然災害における初期対応として貴重な経験となった。また、噴火により得られた各種データは、火山噴出物がダム湖へ流入するという特異な状況であるが、全国的にも貴重なデータが蓄積されていると考えられる。今後も継続して観測と分析を行っていく所存である。

参考文献

- 1) 東京大学地震研究所 気象庁130回火山予知連絡会
- 2) 防災科学研究所 気象庁130回火山予知連絡会
- 3) 御嶽山降灰合同調査班 気象庁130回火山予知連絡会
- 4) 1979年御嶽山噴火による災害 科学技術庁
- 5) 産業技術総合研究所 気象庁130回火山予知連絡会