

丹生ダム貯水池および高時川の水質予測

—琵琶湖水位低下抑制のための丹生ダムからの補給について—

平成16年9月11日

琵琶湖河川事務所

丹生ダム貯水池および高時川の水質予測

－ 琵琶湖水位低下抑制のための丹生ダムからの補給について －

【 着目点 】

琵琶湖水位低下抑制の一つとして、丹生ダムから夏期にまとまった量の水を放流し、琵琶湖に補給することが有効と考えています。そこで、その補給水の水質、特に水温についてシミュレーションにより検討しました。

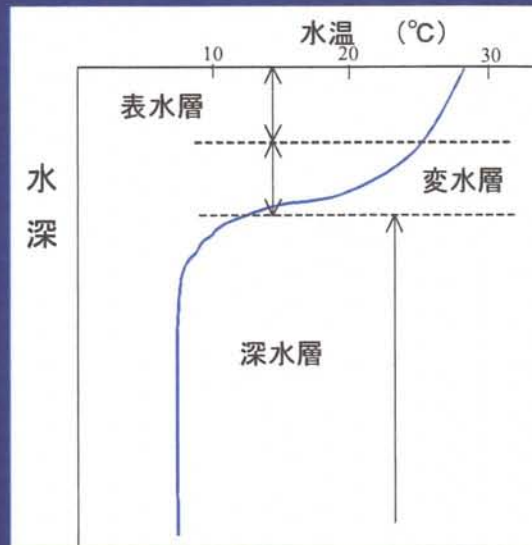
また、ダム貯水池および放流水について一般に想定される水質問題として、濁水放流の長期化と貯水池の富栄養化についても検討しました。

1. 琵琶湖への補給水の水温について 冷水現象とは

水温成層

春から夏にかけての受熱期は、日射により表水層が温められて水の密度が小さくなり、低温で密度の大きい水と混合しなくなります。その結果、低温の水の上に高温の水が積み重なり、「水温成層」が形成されます。また、表水層と深水層との間に大きな水温変化ができ、これを変水層（水温躍層）といいます。

夏期の貯水池の水温分布(イメージ)



春から夏にかけての受熱期は、日射により表水層が温められて水の密度が小さくなり、低温で密度の大きい水と混合しなくなります。その結果、低温の水の上に高温の水が積み重なり、表水層と深水層との間に大きな水温変化ができます。これを変水層（水温躍層）といいます。すなわち、貯水池の深い部分の水は夏期でも比較的冷たく、その時期の河川水よりも低温となっているため、この水を放流すると、いわゆる冷水放流の問題が生じます。

冷水問題

- ・稲作への影響
- ・生態系への影響

ダム貯水池からの冷水放流の問題点として、一般に次のことがあげられます

・稲作への影響:

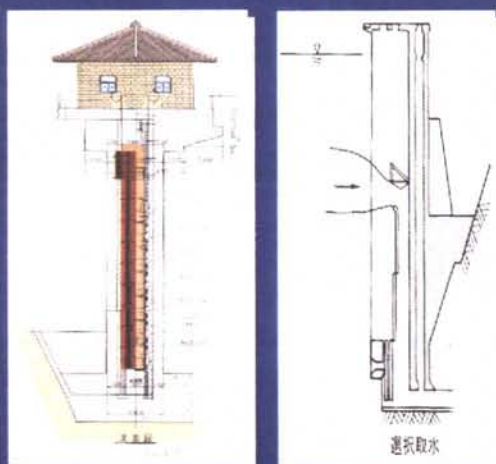
稲作の生育に及ぼす被害は、品種によっても異なりますが、おおむね水田水温が23～24℃以下になると不稔歩合が急に増加し、18～19℃になると大きな被害が発生するといわれています。

・生態系への影響:

魚類は種によって適応水温が異なります。水温変化により、例えば冷水に適応する魚種への変化が起こったりして、生態系が変化することが考えられます。

選択取水設備

- 選択取水設備は流入水温と同等の水温層から放流できる設備です



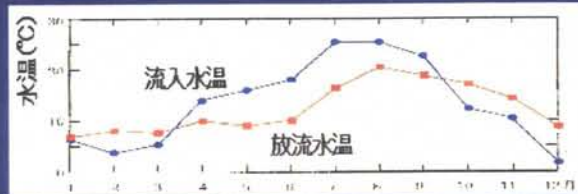
冷水放流の対策としては、一般に選択取水設備が用いられます。

選択取水設備は、貯水池の任意の深さから取水できる設備です。通常は、農業や漁業への影響に配慮して、なるべく流入水温に近い水温の層から放流するように調節します。また、貯水池において富栄養化や濁水が発生した場合には、なるべく影響の小さな層から放流することで、富栄養化問題や濁水問題を軽減できるような対策を講じています。

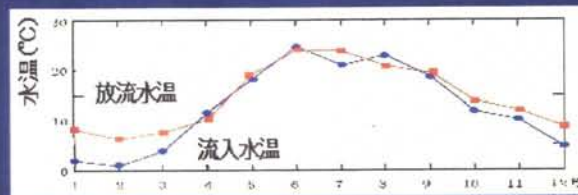
取水深と冷水放流の関係

(下久保ダムの場合)

- 中層・低層取水
 - ◆ 流入水温 > 放流水温 (春～夏)
 - ◆ 流入水温 < 放流水温 (秋)
- 表層取水
 - ◆ 流入水温 ≒ 放流水温 (春～夏)
 - ◆ 流入水温 < 放流水温 (秋)



常時中層・底層取水した場合の放流水温



常時表層取水した場合の放流水温

➡ 流入水温 ≒ 放流水温の運用が求められています

上図は、下久保ダムに選択取水設備が設置されていなかった時の流入水温と放流水温の比較です。青い実線が流入水温を、赤い実線が放流水温の実績を示しています。この時の下久保ダムからの放流水温は6月くらいまで、ほとんど上昇せず、流入水温と比較すると、水温上昇がおおむね2ヶ月程度遅れていることがわかります。

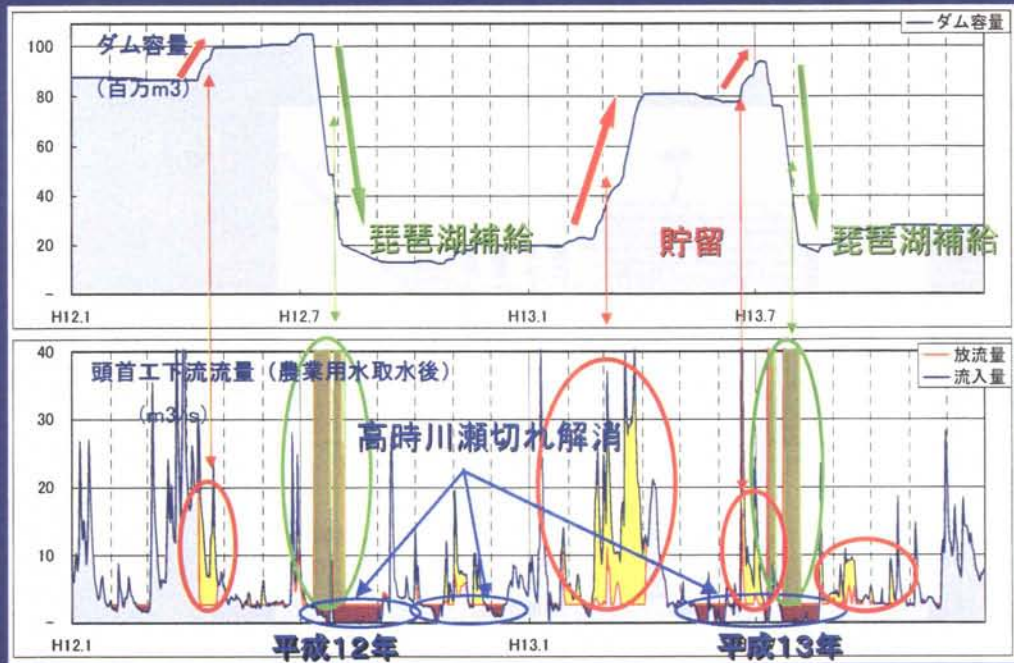
このように、水温成層を形成するダムの水を常時、中層や低層で取水する場合は、春から夏にかけて流入水温 > 放流水温となります。また、秋は逆に、流入水温 < 放流水温となります。

下図は、選択取水設備設置後の、表層取水による放流水温と流入水温との関係です。表層取水により、受熱期の放流水温は流入水温とおおむね同じ水温で放流できていることがわかります。

このように、水温成層を形成するダムの水を常時、表層取水した場合は、春から夏までは流入水温 ≒ 放流水温となります。しかし、それ以降は、流入水温 < 放流水温となることがあります。

これまでは、農業や漁業の生産に重点をおいた放流操作になっており、なるべく水温の暖かい層の水を放流することが基本になっていました。しかし近年は、河川環境にも配慮し、できる限りダム建設前の環境へ戻すため、流入水温 ≒ 放流水温となるような運用が求められています。

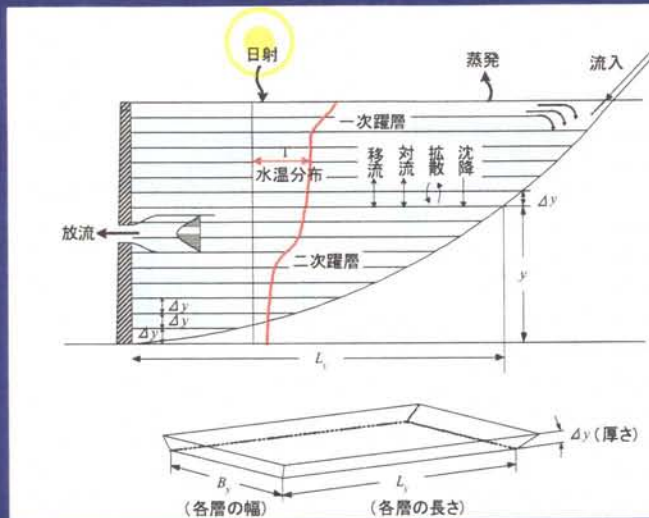
丹生ダムからの補給



この図は平成12年の丹生ダムからの補給運用の計算例です。夏期の琵琶湖の補給は図中緑の矢印で表している部分であり、この部分は $50\text{m}^3/\text{s}$ を20日連続して放流しており、その水量は約 8600万m^3 です。

丹生ダム貯水池水質予測

鉛直一次元モデルを使用して予測を行いました。



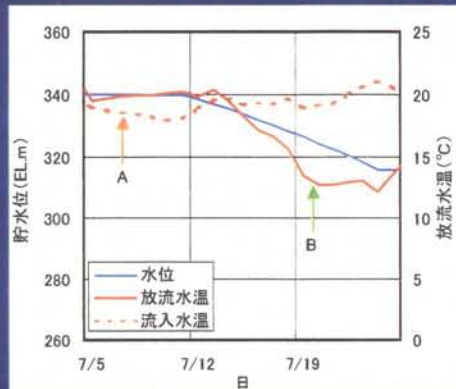
【予測対象期間】

1992年～2002年

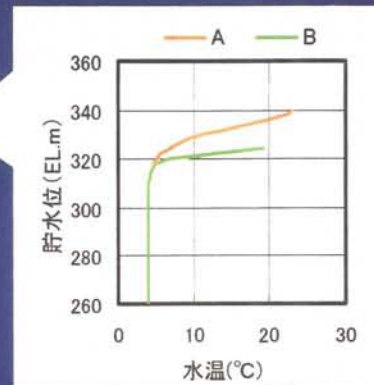
鉛直一次元モデルの概念図

貯水池への河川流入、日射などの自然条件および貯水池からの放流操作を考察することのできる水質予測モデルを用いて、1992年～2002年の丹生ダム貯水池水質予測を行い、放流水の水温を検討しました。

補給水の水温および水温分布の計算例



放流時の水位と水温変化の例(2000年)
※一般的な表層放流を行った場合



左図A・Bの時の貯水池内の水温鉛直分布

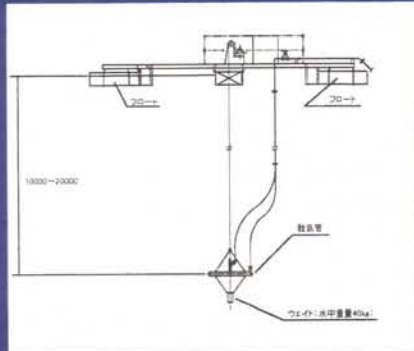
表層の温水の量に限界がある



表層放流を長期間大量に行うと放流水温が流入水温よりかなり低くなる可能性があります。

この図は一般的な表層からの放流により琵琶湖への補給(8600万 m^3)を行った場合の貯水池からの放流水温と補給開始時点および終了時点の貯水池の水温分布を示したものです。一例として2000年を示しています。表層の温水には限界があるため、表層放流を長期間大量に行うと放流水温が流入水温よりかなり低くなる可能性があります。

曝気循環装置



- 曝気装置を運転し、貯水池内の水を循環させることによって、温水の量を確保することを期待しています。

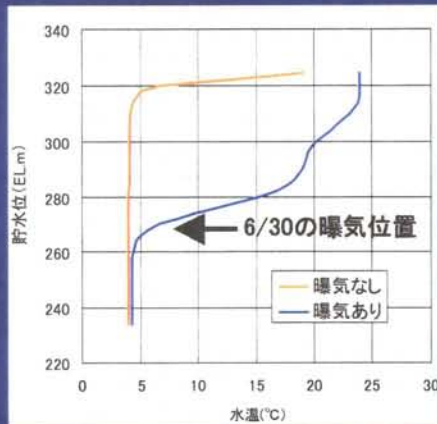
曝気循環装置は、貯水池の下層から気泡を発射し、それにより下層の冷たい水を表層へ連行しかき混ぜるものです。

図には浅層曝気を示しています。なお、曝気循環装置の種類としては、対象とする深さや目的等に応じて浅層曝気循環装置と深層曝気循環装置があります。

丹生ダムにおいて琵琶湖の補給に必要な温水の量を確保するため、春～夏にかけて徐々に貯水池内の水を鉛直方向に混合し、所要の水温および水量の温水層を形成することを検討しました。貯水池内の循環方法としては水質保全対策として多くの実績のある「曝気循環装置」を採用することとしました。

曝気装置の運用方法

4月1日より曝気装置を稼働し、徐々に深度を深くしていきます
(2000年の運用例)



曝気による効果の鉛直分布図
(2000年7月20日)

曝気装置の稼働

運用期間	曝気水深
4月1～30日	表層－5m
5月1～15日	表層－15m
5月16～31日	表層－20m
6月1～30日	表層－70m

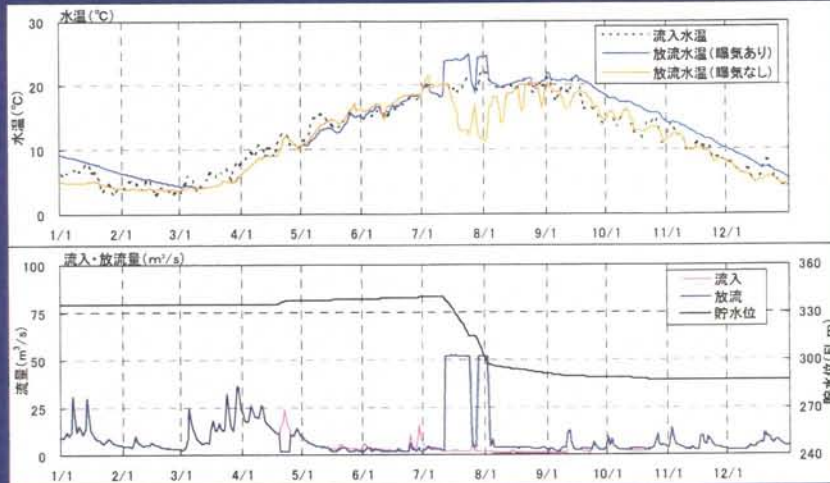
これは2000年の琵琶湖水位低下抑制のための放流を開始してから9日目
(EL.340mからEL.325m の約3,700万 m^3 の放流)の例です。

曝気なしの場合は温かい水をほぼ放流し終わってますが、曝気をした場合はまだ温かい水の放流が可能です。

このように、期間ごとに曝気の深度を変えることにより、適切な温水層を形成することができます。

丹生ダム貯水池水質予測（計算結果）

○水温に関する検討



水温経時変化の比較(2000年)

- ・ 放流水温は、流入水温とほぼ同じ水温となっています。

予測対象期間は現在の琵琶湖水位運用が開始された後の1992年～2002年の11年間としました。

この11年間のうち夏期の丹生ダムからの補給実施日数の最も多い2000年を代表年として示します。

曝気循環による対策を行わない場合は7月後半の補給水の水温が低下しますが、曝気循環により、温水が確保できることが明らかになりました。

なお、より適切な循環方法について引き続き検討していきます。

下流河川の水質の 予測検討

- ・予測地点 川合橋、野寺橋
- ・予測対象期間 1992年～2002年の11年間

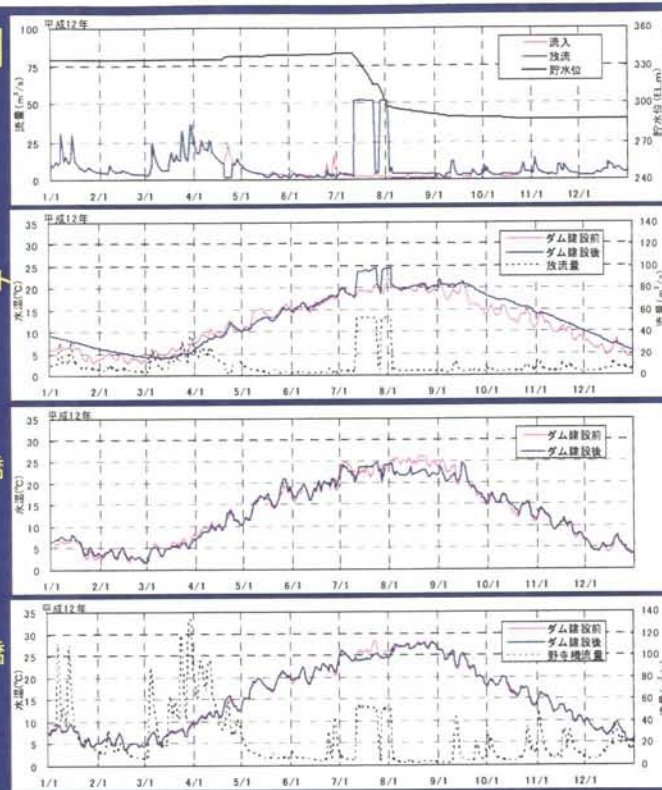


貯水池からの放流水温が高時川を流下する間にどのように変化するかをシミュレーションにより検討しました。予測対象期間は、貯水池水質予測と同様に琵琶湖運用後の1992年～2002年の11年間としました。

下流河川水質予測 (計算結果 水温) (2000年)

・ダムサイト地点では、ダムがない場合よりやや高い水温を放流する場合がありますが、約15km下流の川合橋地点ではほぼ同じ値となっています。

水温の予測結果 (2000年)



ダムサイト地点では、ダムがない場合よりやや高い水温を放流する場合がありますが、約15km下流の川合橋地点ではほぼ同じ値となっています。

2. 放流水の濁水長期化について

濁水現象とは

ダム貯水池がある場合は、貯水池の水による希釈や濁質の沈降により、放流濁度のピークは低くなりますが、洪水の濁水と貯留されていた水が混ざるため、濁水の量が増加します。このため、濁水の長期化が発生することがあります。

河川では、洪水時の濁水は、すぐに下流に流れます。

ダム貯水池がある場合は、貯水池の水による希釈や濁質の沈降により、放流濁度のピークは低くなりますが、洪水の濁水と貯留されていた水が混ざるため、濁水の量が増加します。このため、濁水の長期化が発生することがあります。

大きな容量をもつダム貯水池では、小さなダム貯水池に比べて、このような影響が更に顕著になる可能性があります。

濁水問題

放流水による濁水が長期化すると、一般に次のような問題が発生します。

- ・水産資源の減少・生態系への影響
- ・景観の悪化・レクリエーション阻害
- ・浄水費用の増大

放流水による濁水が長期化すると、一般に次のような問題が発生します。

①水産資源の減少・生態系への影響；

下流河川に濁水が長期にわたって流れると、転石、護岸などの付着性藻類の生息場への直接的な影響のほか、日光の透過が阻害され、付着性藻類が減少することになります。底生動物も同様の被害を受けます。魚類に与える影響としては、餌料である付着性藻類や底生動物の減少と、濁りに対する忌避行動などがあげられます。

②景観の悪化・レクリエーション阻害；

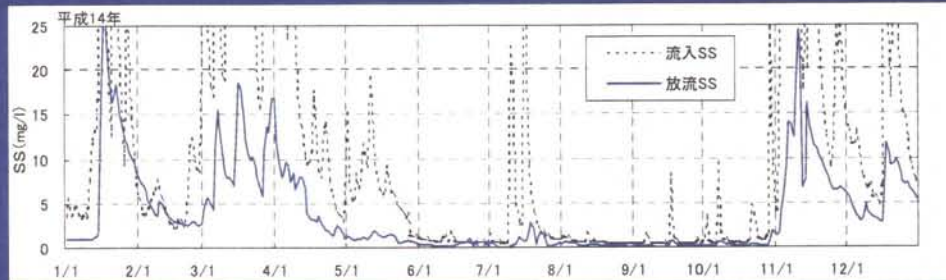
濁度が高く、白濁していたり、沿岸帯に浸って足元が見えなくなる状態(濁度10～15度)では、親水活動が行われるような状況ではありません。

③浄水費用の増大；

水道の浄水過程において、一般によく用いられる「凝集沈殿＋急速ろ過」を採用した場合、原水の濁度上昇によって、凝集剤注入率の増加とそれに伴う汚泥量も増加して、処理費用は増大することになります。

丹生ダム貯水池水質予測（計算結果）

〇SS(懸濁物質)に関する検討



SS経時変化の比較(2002年)

・放流SSは、流入SSをほぼ下回っています。

先に説明した貯水池水温の予測を同じモデルを用いてシミュレーションを行いました。

予測対象期間は琵琶湖運用後の1992年～2002年の11年間としました。

11年間で流入SSのピーク流入濃度が最も高い2002年を代表年として示します。

図に示すように、放流SS濃度は年間を通じほとんどの期間で流入水のSS濃度を下回っています。また高時川では環境基準の類型指定はされていませんが、参考までに環境基準(河川AA類型)の値25mg/lと比較すると、この11年間で、流入SSは年間数日～数十日この値を上回るのに対し、放流SSはほとんど上回ることはありません。

下流河川水質予測 (計算結果 SS) (2002年)

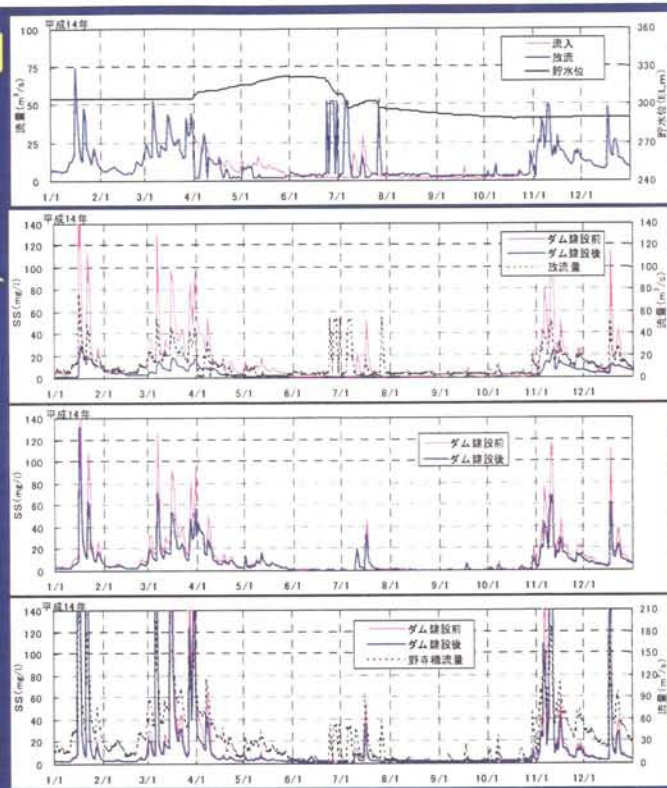
・ダム貯水池でSSは除去され、濃度が低下します。また、下流の川合橋、野寺橋ではダムあり、ダムなしの差がほとんどなくなっています。

ダムサイト

川合橋

野寺橋

SSの予測結果 (2002年)



高時川の流下に伴うSSの変化の予測例です。

ダム貯水池でSSは除去され、濃度が低下します。また、下流の川合橋、野寺橋ではダムあり、ダムなしの差がほとんどなくなっています。

3. 丹生ダム貯水池の富栄養化について

富栄養化現象とは

- 自然湖沼での富栄養化
 - ◆ 数百年から数万年の長い時間をかけて、湖が湿地から陸地へと変化する現象を指します
- ダム貯水池での富栄養化
 - ◆ 流入水の窒素(N)、リン(P)など、水中の栄養塩濃度が高まることで、植物プランクトンが異常発生することを指します

富栄養化は、「天然の湖沼が、数百年から数万年の長い時間をかけて、湖が湿地から陸地へと変化する現象」を指します。しかし、近年では、人間活動の結果として栄養塩が流入し、富栄養化が急速にすすむ「人為的富栄養化」と、自然的要因による「自然的富栄養化」にわけるようになってきました。貯水池の富栄養化は、植物プランクトンが栄養塩を利用して異常に増殖することを指します。

富栄養化現象による問題

・上水道における被害

・レクリエーションの影響

富栄養化現象による問題

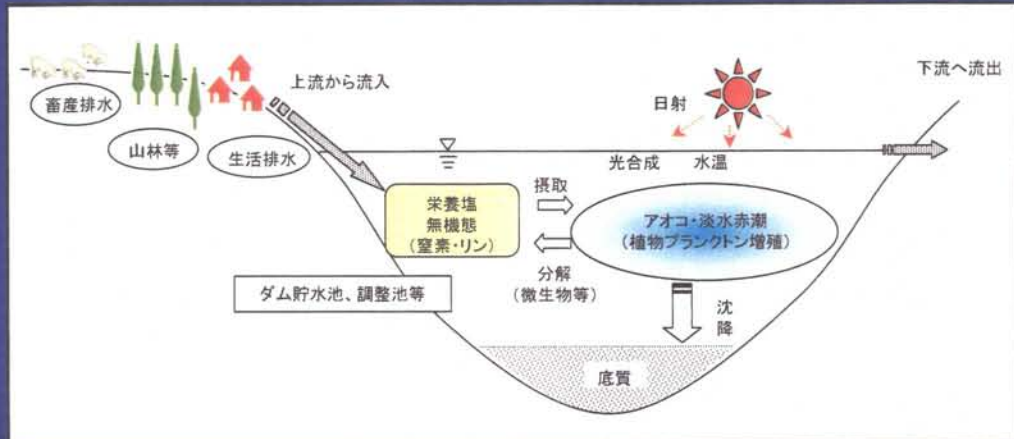
・上水道における被害

貯水池内で藍藻類等の増殖に伴って水道水の異臭味障害の原因物質である2-MIBやジェオスミンが発生した場合、浄水場ではそれらを除去するために活性炭処理などを行うこととなります。また、取水した水中の藻類濃度が高い場合、ろ過池における閉塞までの時間が早くなり、浄水工程を管理するうえで経済的な問題を生じます。さらに、フミン質などのトリハロメタン前駆物質は、浄水場の塩素消毒工程で塩素と反応し、発ガン性物質であるクロロホルムなどの消毒副生成物を生成することが知られています。

・レクリエーションの影響；

動・植物プランクトンの増加は透明度の低下や着色などをもたらし、水辺の景観を損ないます。さらに著しい場合にはアオコなども発生し、レクリエーションの場としての価値が損なわれることとなります。

ダム貯水池の水質に影響を及ぼす栄養塩



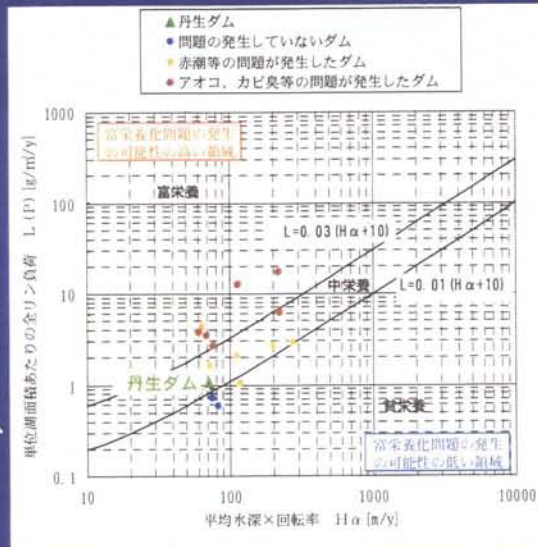
ダム貯水池には、上流から、山林の施肥、生活排水、畜産排水、農業排水など、様々な栄養塩が流入します。このような流入栄養塩の濃度が高い場合は、貯水池内でアオコや淡水赤潮などの水質障害が発生することがあります。水深の浅い湖沼では、底泥から栄養塩が溶出し、少なからず水質に影響を与えているといわれていますが、ダム貯水池は水深が深いため、流入栄養塩が支配的であります。

Vollenweiderモデルによる丹生ダムの予測

フォーレンヴァイダー

・Vollenweider モデルとは、富栄養化を予測するために、世界各地の数多くの湖沼の観測結果を用いて、作成した統計学的モデルです。ダム湖などの富栄養化の予測に、広く用いられています。

・丹生ダムは、貧栄養に近い中栄養に図示されることから、アオコの発生等富栄養化問題が発生する可能性は低いと予測されます。



L : 湛水面積当たりの年間リン流入負荷量

H : 平均水深 (常時満水位での貯水容量 / 湛水面積)

α : 回転率 (平均年間総流入量 / 常時満水位での貯水容量)

・Vollenweider モデルとは、富栄養化を予測するために、世界各地の数多くの湖沼の観測結果を用いて、作成した統計学的モデルです。ダム湖などの富栄養化の予測に、広く用いられています。

・丹生ダムは、貧栄養に近い中栄養に図示されることから、アオコの発生等富栄養化問題が発生する可能性は低いと予測されます。しかし、淡水赤潮の発生の可能性は否定できません。

なお、丹生ダム貯水池の水質予測については、琵琶湖水位低下抑制のための補給の効果と影響の検討等をふまえた貯水池規模および運用の検討の進捗をうけて、引き続き検討して行きます。

○まとめ

1. 琵琶湖への補給水の水温について

1992年から2002年の水質予測の結果、曝気循環装置を適切に運用することにより、冷水放流することなく琵琶湖への補給を行うことができることが明らかとなりました。

2. 放流水の濁水長期化について

1992年から2002年の水質予測の結果、放流水のSS濃度は年間を通じほとんどの期間で流入水のSS濃度を下回っていることが明らかとなりました。

3. 丹生ダム貯水池の富栄養化について

アオコの発生等富栄養化問題が発生する可能性は低いと予測されます。