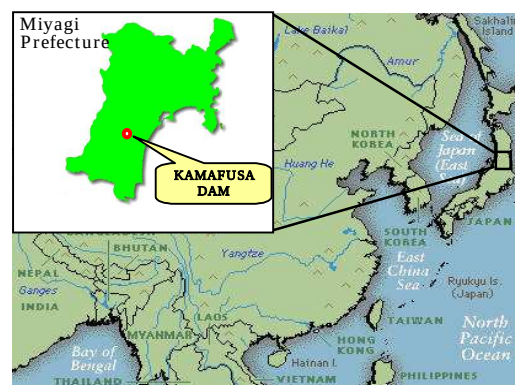


Key Issues: 水質
気候区分: 温帯湿潤気候 (Cf)
主題: 釜房ダム水質保全対策
効果: 異臭味障害の解消
富栄養化障害の防止
プロジェクト名: 釜房ダム
国: 日本、宮城県 (アジア)
(N38°10' E140°38')
GP実施機関: 国土交通省 東北地方整備局 釜房ダム管理所
GP実施期間: 1984～
キーワード: 水質保全対策、異臭味対策、富栄養化
要旨:

治水、上水道、発電を目的とする多目的ダムである釜房ダムの貯水池は、長期にわたり環境基準を達成せず、さらに高い頻度で異臭味障害(カビ臭)が発生していた。このような背景から、間欠式空気揚水筒による全層曝気循環により湖内水の水質保全対策を行うパイロット実験、大型タイプの空気揚水筒の稼動により、湖水循環による物理的、生物的效果を明らかにするとともに、フォルミディウムの異常増殖を抑制するメカニズムを解明して、貯水池内における有効な水質保全対策を進めている。

1. プロジェクトの概要

釜房ダムは、1970年に名取川水系基石川上流に建設された治水、上水道、発電を目的とした多目的ダムで、その諸元は表－1のとおりである。



位置図



写真－1

表－1 釜房ダム概要

項 目	諸 元
①ダム	
型式	重力式コンクリートダム
堤高	45.50 m
堤頂長	177.00 m
堤頂幅	7.50 m
堤体積	100.00 千 m ³
②貯水位と貯水容量	
洪水時満水位	EL 150.60 m
常時満水位	EL 149.80 m
制限水位	EL 143.80 m
最低水位	EL 133.00 m
総貯水容量	45,300,000 m ³
有効貯水容量	39,300,000 m ³
堆砂容量	6,000,000 m ³
洪水調節容量	21,000,000 m ³
③淡水面積と形状	
流域面積	195.25 k m ²
湛水面積	3.9 k m ²
湛水延長	北川筋 4.0 Km 前川筋 4.7 Km
④取水・放流施設	
水道用取水	選択取水 (EL 137.0m, 予備 EL133.0m)
発電用取水	表面取水
放水バルブ	表面取水
クレストゲート	4 門 (EL 144.6m)
コンジットゲート	3 門 (EL 124.0m)



2.プロジェクト地域の特徴

ダム流域の土地利用状況は、山林などが流域面積の約88%を占め、田畑、牧草地が約10%、湖面約2%となっている。流域内には約11,000人が生活しており、主な産業は第一次産業、特に畜産が盛んで牛約4,800頭が飼育されている。

一方、流域からの汚濁負荷削減については、1987年9月、ダム湖としては全国で初めて湖沼水質保全特別措置法の指定を受け、総合的な汚濁防止措置として、1991年度までの5カ年を第一期とする「釜房ダム貯水池湖沼水質保全計画」が策定・実施されている。

3.主要な影響

釜房ダムの貯水池は、水質環境基準の湖沼AA類型、II類型に指定されているが、環境基準を達成していない状況である。また、ダムの湛水開始より1983年までの13年間に8カ年と高い頻度で異臭味障害(カビ臭)が発生し、以下のとおりの環境影響が確認されている。

- ①COD 75%値は、2.2～3.9 mg/l で環境基準 1 mg/l を超過し、横ばい状態である。
- ②窒素・リンは、湖沼類型Ⅲ～Ⅳ型に相当し、中～富栄養期に相当するレベルである。
- ③カビ臭は、1970年の湛水開始より実験着手前の1983年までの13年間で8カ年と高い頻度で発生し、その発生原因はフォルミディウムが体内で生成する2メチルイソボルネオールであることが確認されている。
- ④利水者である仙台市水道局は、カビ臭対策として粉末活性炭処理を実施してきたが、処理期間は年平均約130日、処理費用は年間6,000万円に達し、財政上大きな負担となった。

4.影響緩和策

このような背景から、釜房ダムに最も適した水質保全対策を策定するため、1984年から間欠式空気揚水筒による全層曝気循環により湖内水の水質保全対策パイロット実験を実施している。本報告は、1990年度より稼働を開始した大型タイプの空気揚水筒1基を含む6基9筒稼働時の調査結果を踏まえて、湖水循環による物理的、生物的效果を明らかにするとともに、フォルミディウムの異常増殖を抑制するメカニズムを解明して、貯水池内における水質保全対策の一つの方向性を考察した。

パイロット実験は、間欠式空気揚水筒をダム湖の深い箇所に約100m間隔で設置し、陸上のコンプレッサーから連続して送り込まれた空気は、間欠的に砲弾状の気泡となってエアリフト作用を起こし、揚水筒内の水を押し上げるとともに下部より底層水が吸水される。揚水された底層水は、表層水を混合することによって水温が上がり等密度の層に水平方向に拡散する。実験施設の設置及び空気揚水筒の諸元をそれぞれ表-2, 3に示す。空気揚水筒の設置図を図-1に示す。

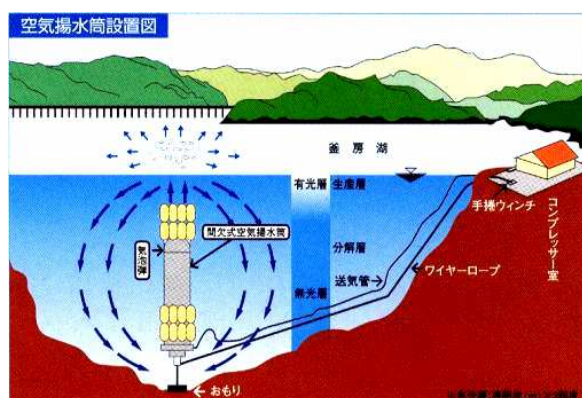


図-1 空気揚水筒設置図

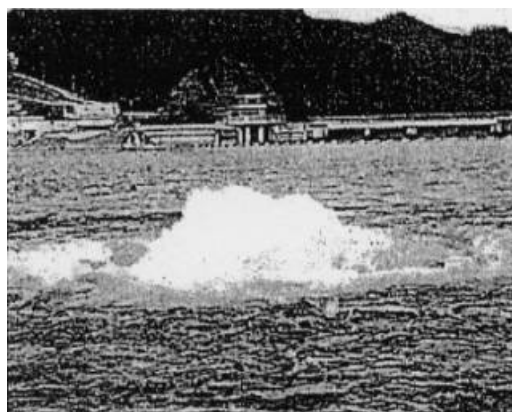


写真-2

表-2 空気揚水筒の諸元

	諸 元	
空気揚水筒 (NO.1～NO.5) φ500mm	揚水筒	内径:500 mm 筒長筒長:14～16m(変更可能) 吐出水深:15.8m,夏期9.8m 揚水量:25,000m ³ /日(筒長16m)
	ブローア	出力:7.5kW 空気量:950 ㍒/分
大型揚水筒 (NO.6) φ500mm×4	揚水筒	内径:500 mm×4 筒長:16m 吐出水深:15.8m,夏期9.8m 揚水量:100,000m ³ /日(筒長16m)
	ブローア	出力:22kW 空気量:3,700 ㍒/分

表-3 実験施設の設置工事

設置年月	揚水筒	筒長 (m)	設置水深	
			吸入口 (EL)	吐出口 (EL)
1984年6月	NO.1	16m	118	134
1984年9月	NO.2	14m	120	134
	NO.3			
	NO.4			
1987年8月	NO.5	14m	120	134
1989年8月	NO.6	16m	118	134

(1) 湖水循環による改善効果

a. 水温躍層の低下効果

湖内における水温鉛直分布より、躍層上部と下部の水温勾配の交点を求め、これより上層を表層水とした。釜房ダムでは、例年 8 月に最も強い水温躍層が形成されており 8 月の水温鉛直分布より躍層上部、すなわち表層水深を求めた。揚水筒は、湖水を循環し、水温躍層を低下させる物理的作用をおこなっているもので、具体的な低下効果を以下に示した。

- ①実験施設稼働前の表水層の厚さは 2～3mであったが、稼働後は 5 筒で 5～6m、9 筒では 7mと明らかに水温躍層の低下を生じている(図-2)。
- ②特異気象(冷夏から急激に天候回復)となった 1988 年は、5 筒稼働時でも一時的に表層 1～2m に一次躍層が形成され、水温躍層低下能力の不足が認められた。
- ③9 筒稼働した 1990 年は、1988 年に比較的類似する気象条件であったが、一次躍層の形成は弱く躍層低下能力が向上したことが認められる。

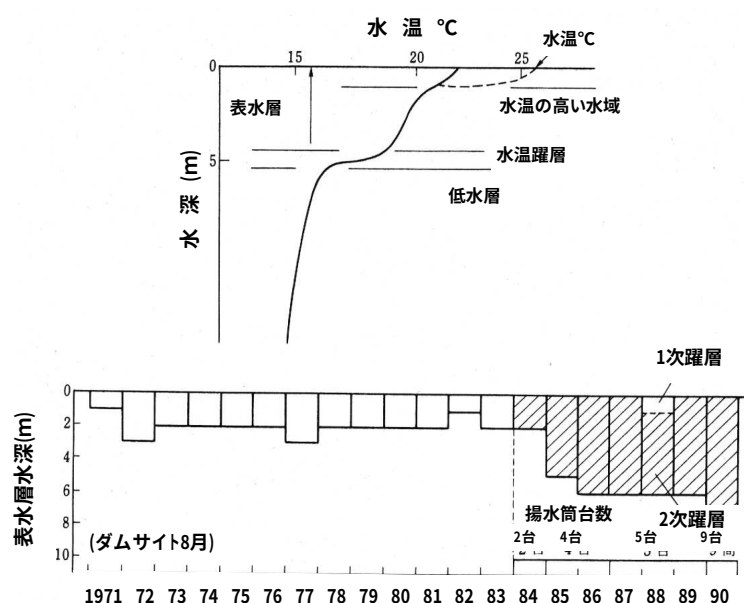


図-2 揚水筒稼働による表面水深の変化

b. フォルミディウムの抑制効果

実験施設稼働前後のフォルミディウムとカビ臭の発生状況を表-4 に示す。

- ①揚水筒稼働後、フォルミディウムは激減し、カビ臭はまったく発生していないことから、明らかにフォルミディウムの発生抑制効果が認められた。
- ②特異な気象条件である 1988 年 8 月は、フォルミディウムが約 390 群体/ml (最大 1,500 群体/ml) まで増殖しており 5 筒では不足することが考えられた。

表－４ フォルミディウム及びカビ臭の発生状況

(群体/ml)

月 年	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1 月	0	680	(450)	60	80	60	40	40	290	-	134
2 月	0	920	(180)	0	-	-	30	10	320	20	45
3 月	0	150	190	30	-	150	110	10	620	10	22
4 月	0	320	70	0	20	30	20	0	260	-	0
5 月	0	320	130	30	60	210	110	90	40	20	65
6 月	0	0	0	0	(350)	150	0	0	0	0	0
7 月	0	0	10	0	(310)	240	0	0	0	0	0
8 月	0	(3600)	930	(14000)	(680)	20	0	0	390	10	0
9 月	(2700)	(2400)	(2300)	(2500)	390	0	0	0	0	10	28
10 月	(860)	(470)	(2300)	(150)	40	0	0	100	0	0	0
11 月	(100)	(580)	(200)	(310)	10	0	20	20		-	0
12 月	190	(3100)	(370)	90	50	10	0	80		-	0

() カビ臭発生期間

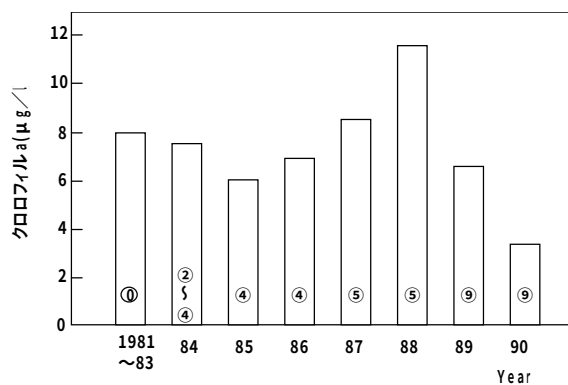
空気揚水筒稼働期間 [出典: 仙台市水道局]

c. プランクトン総量の抑制効果

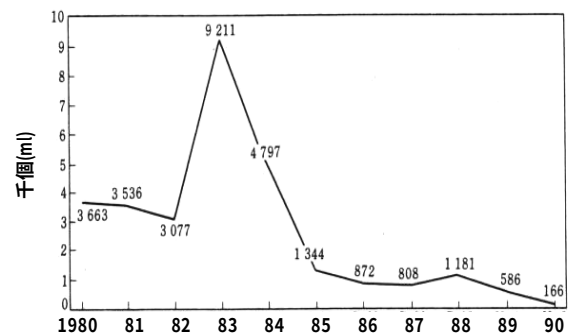
プランクトン総量を抑制することは、内部生産によるCODの増加を低減することにつながる。

このことから、プランクトン総数と総量を示すクロロフィルaの変化について、以下に記した。

- ① 実験前及び揚水筒 4～5 筒稼働時のクロロフィルaの濃度は 8ug/l 程度まで低減している。(図－3)
- ② プランクトン総数をみると 1990 年では、約 160×1,000 個/ml と激減しており、抑制効果が認められることから、今後も継続して調査していく方針である。(図－4)



図－３ クロロフィル a の変化図



図－４ 植物プランクトンの変化図

d. まとめ

以上の揚水筒 9 筒稼働による水質改善効果ならびに既報告の内容を整理した成果を表－5 にとりまとめた。

表－５ パイロット実験成果

	わかった事	考えられる事
影 響 範 囲	揚水された水は短絡流とならず表層水に混合し、主に吹送流により湖内全域に2～3日で広がる。長期的には全層循環している。	
水温躍層低下 その影響範囲	揚水筒4～5筒の稼働によって、躍層は2～3mから5～6mに、9筒稼働では約7mに低下した。	9筒で大半の年は一次躍層の形成を抑制できそうである。
水 質 変 化	稼働後は、低層水の嫌気化が改善されている。 表層水温の低下は小さく、放流水温は流入水温より高く、稼働による濁水の長期化は生じていない。	冷水現象は起こらないと考えられる。 湖水循環による悪影響はみられない。
生 物 現 象	フォルミディウムは明らかに抑制されている。 藻類総量は、9筒ではじめて減少した。	躍層の低下による表層の滞留時間の改善が大きな要素と考えられる。

(2)藻類抑制機構に関する考察

フォルミディウムは、空気揚水筒の稼働後激減しており、また植物プランクトン総量も1990年の9筒稼働に伴って、減少する傾向が認められた。

今後の適切な施設規模と運用方針を策定していくためには、藻類抑制機構について理解を深める必要がある。複雑な湖内の現象を解明する手がかりとして、現地、室内での実験結果も含めて考察を加えた。

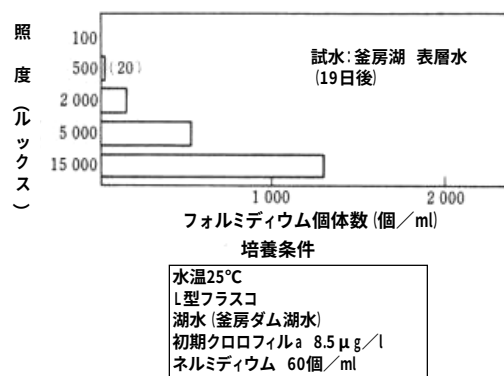
a. 藻類の抑制に関する要素

藻類の増殖するための要素としては、光、栄養、水温、表層での滞留時間（増殖時間）、PHが重要であると考えられている。これらの条件のうち、パイロット実験の湖水循環により大きく変化させられる要素は光制限、表層での滞留時間（増殖時間）である。水温躍層の低下から鉛直方向の水の混合範囲が広くなり、藻類は光のあたらない深い部分まで運ばれることになる。一方湖水循環は、栄養を削減するものではないし、また表面水の温度変化は小さいことから藻類の抑制機構には、関与が少ないものと考えられる。したがって光制限と表層での滞留時間（明及び暗部での循環サイクル）について、述べることにする。

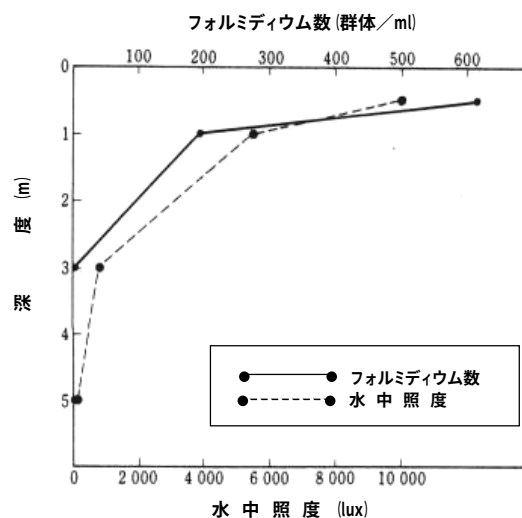
b. 藻類増殖に対する光制限について

釜房ダムの表層水にフォルミディウムを添加した室内実験及び現地での藻類増殖量試験（1m³のフレキシブル水塊装置）によると、フォルミディウム増殖と光の関係は以下のとおりである。

- ①フォルミディウムは 2,000 ルックス以上で増殖しており、照度が高いほど増殖活性は高くなっている。
（図－5）
- ②現地藻類増殖量試験では、光が5,000 ルックス以上の水深 0.5～1mで 200～600 群体/mlに増殖したが、水中照度が 1,000 ルックス程度となる水深 3mでは増殖が抑制されている。（図－6）
- ③以上の結果には実験装置の制約の影響も考慮する必要があるが、フォルミディウムが活発に増殖するためには、照度 2,000 ルックス程度が必要とみられ、釜房ダムにおいてその照度に対応する水深は 2m 程度であることから、水深 1～2mまでが藻類の活発な増殖範囲と考えられる。



図－5 フォルミディウムの増殖と照度の関係(室内)



図－6 湖内の水中照度とフォルミディウム数(現場藻類増殖試験)

c. 表層の滞留時間の影響について

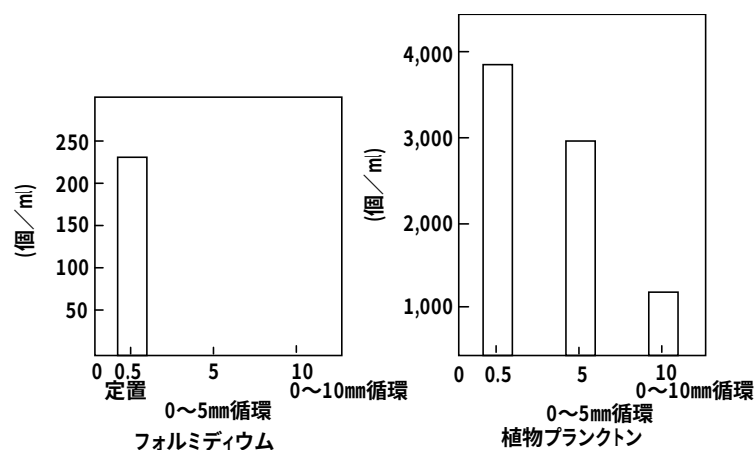
トレーサー調査結果などより、水温躍層が低下すると藻類は表水層の中に分布し、表層 1～2mの明部とそれ以深の暗部を循環する環境におかれる。このような明部と暗部における滞留時間が、藻類の増殖抑制に深く関与していると考えられることから、現地・室内での実験結果から検討を行った。

①現地藻類増殖量試験により、試験装置を表層に定置、0～5m及び 0～10mを循環させた場合の抑制効果を図－7 に示す。0～5mの循環によりフォルミディウムが抑制され、0～10mで循環させると藻類の総量も 1/3 程度に減少する結果が得られた。なお、暗条件の継続日数が長い方が抑制効果が大きいことが確認された。(表－6)

②室内実験においても、暗条件の長い方が藻類の増殖抑制効果が大きくなっている。

③水資源開発公団の室内培養実験においても、暗条件が1週間程度継続すると増殖がみられない。

(図－8)



図－7 植物プランクトン抑制効果

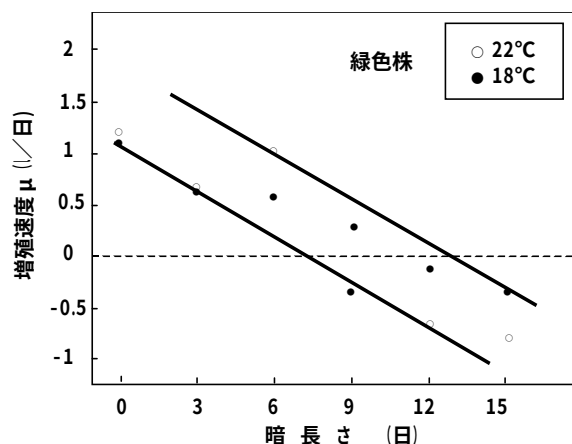
表－6 フォルミディウムの増殖と明暗条件

明暗条件			初 期		最 終 日	
			クロ フィル a	フォルミ ディウム	クロ フィル a	フォルミ ディウム
コントロール				個/ml	μg/l	個/ml
明 12 時間 暗 12 時間			8.3	100	285	
1:1	明	暗				
	2 日	4 日	8.3	100	245	14,720
	5 日	10 日	8.3	10	79	690
1:2	2 日	4 日	8.3	100	187	14,600
	5 日	10 日	8.3	100	69	0

条件 ・1L 型フラスコ

・釜房ダムの湖水(0.5m)+栄養塩

・T-N 1.5mg/l, T-P 0.05mg/l



図－8 連続暗条件とフォルミディウムの増殖速度
(出典:水資源開発公団のフォルミディウム室内培養実験)

d. ま と め

藻類の増殖の抑制には、明部と暗部の循環のなかで暗部での滞留時間の長さが重要な要素となっていると考えられる。空気揚水筒は、湖水を循環させて水温躍層を低下させることにより表層水の滞留時間の改善を行っているものである。水温躍層の位置は、稼働前の2～3mから9筒稼働で7m前後まで低下し、シミュレーション計算結果から推測すると表層2mの滞留時間は、稼働前の60日前後から、9筒稼働で約6日程度まで表層(明部)の滞留時間の短縮が認められた。すなわち、藻類の暗部での滞留時間が大幅に長くなったことが推測され、このことが藻類の増殖抑制に重要な役割となっていると考察される。

(3)湖水循環施設の必要規模の検討

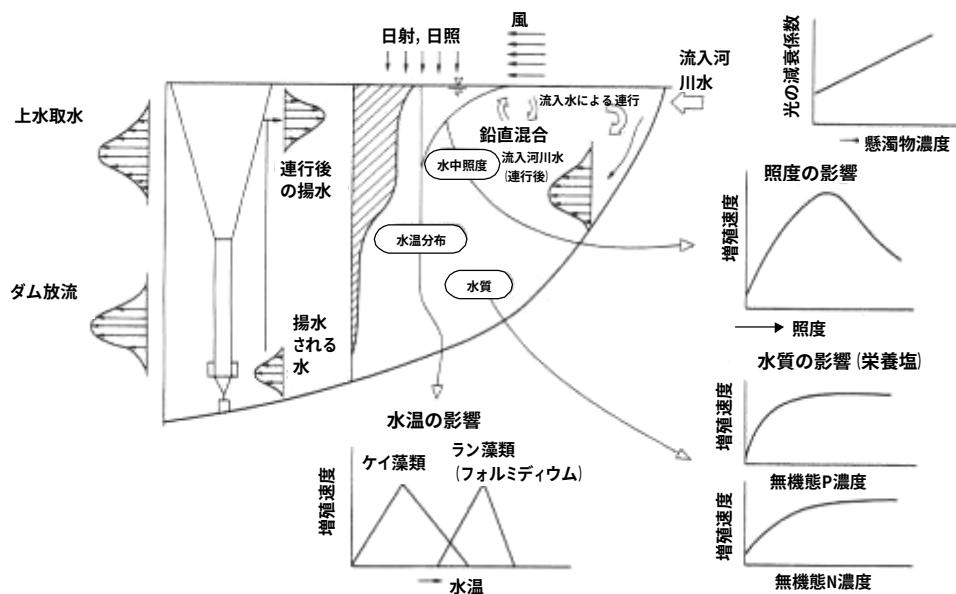
釜房ダムの富栄養化障害は、植物プランクトン(フォルミディウム)の異常増殖によるものであるが、この現象には栄養条件、水温条件、光条件とともに、表層の滞留状況が大きく影響を及ぼしている。この表層部の滞留は、気温、日射などの受熱条件や、風、流入水、放流操作ならびに空気揚水筒の湖水循環効果などが関与しており、これらを適切にモデル化の上、湖水循環モデルを構築した。この湖水循環モデルにより、以下の解析・検討を行ったものである。

①空気揚水筒の湖水循環効果及びプランクトンコントロール効果の予測

②揚水筒の適正規模の検討

a. モデルの基本構造

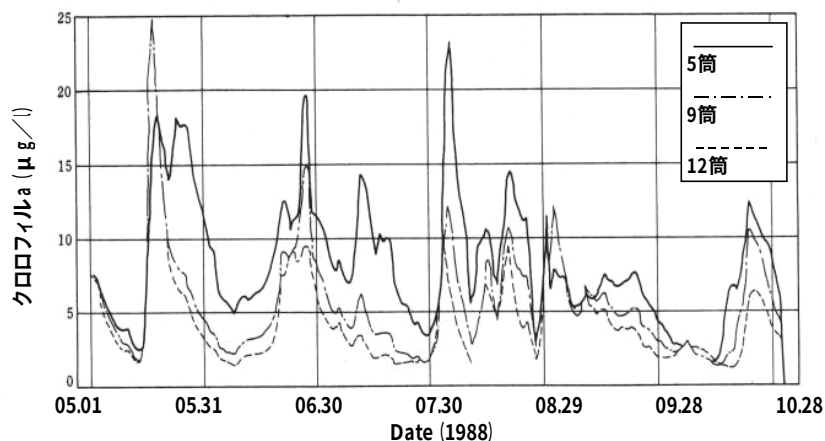
モデルの基本構造は、将来的には鉛直二次元モデルで縦断方向の変化を取り扱う必要性も考えられるが、当面、揚水筒による水の鉛直混合促進効果の再現を重点事項とし一次元モデルに準拠したモデル構造とした。モデルの模式図を図－9に示す。



図－9 湖水循環モデルの模式図

b. 現況再現シミュレーション結果

- ①最も水温躍層の発達した1988年の再現結果を図－10に示す。水温の再現性は、鉛直分布パターン及び日変化パターンは良く再現されているが、流入水温観測値が欠測している洪水時のみ1℃程度差異が生じている。
- ②フォルミディウムの異常増殖については、現段階では特定の種を定量的に予測するモデルは開発されていない。そこで、現地での現象とモデル計算結果を組み合わせ、クロロフィルaと水温躍層をパラメータとする準経験モデルとして予測計算を行った。発生時期の再現性は良く発生量についても全体傾向は再現している。



図－10 水温試算結果

c. 揚水筒の適正台数の検討

釜房ダムの揚水筒の運用実績では、1990年の気象・水象の条件で、フォルミディウムの発生を抑制でき、かつ、プランクトン総量のクロロフィルaのレベルを減少させることができた。しかし、9筒稼働については、単年度であり他の気象・水象の条件での効果をみて評価する必要がある。このことから、適正台数についてのシミュレーションを行った。

(a)シミュレーションケース

施設計画を策定するにあたって、対策年次の選び方により必要規模が異なるが、各種データがそろっている 1981～90 年の 10 年間の内、一次的にフォルミディウムが発生した 1988 年を対象とすることとした。

(b) 予測結果

1988 年の条件における、クロロフィル a の再現計算の結果を図-13 に示す。

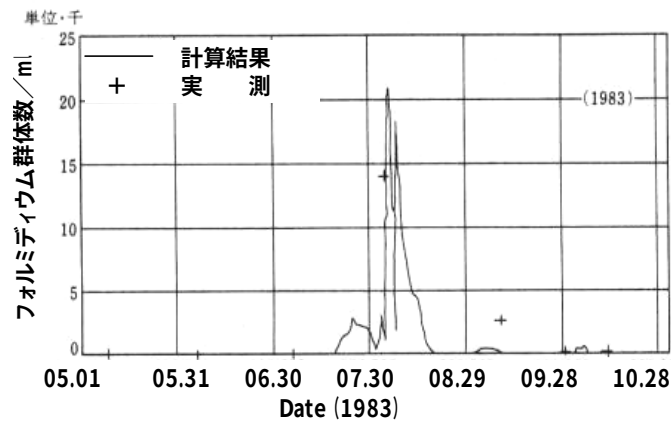


図-11 フォルミディウムの試算結果 (1983 年)

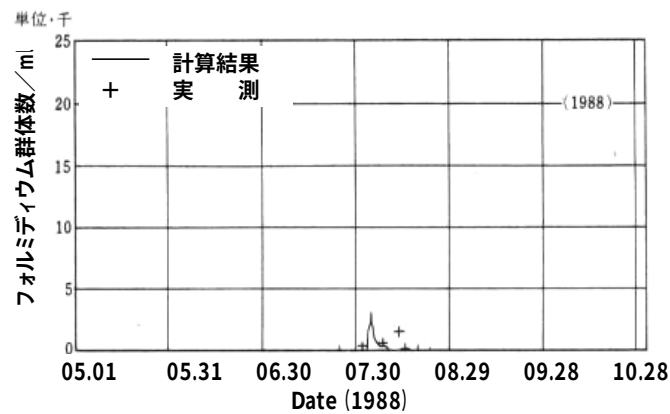


図-12 フォルミディウムの試算結果 (1988 年)

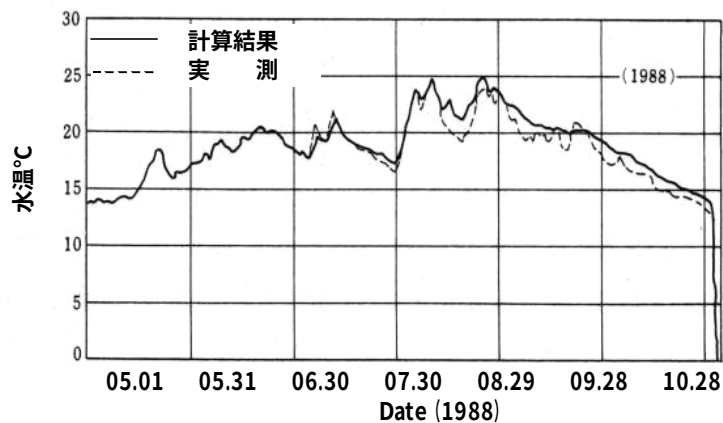


図-13 揚水筒運用筒数とクロロフィル a

d. 今後の検討課題

鉛直一次元の湖水循環モデルを構築して、表水層の水温成層の強さと滞留時間の改善によって生じるフォルミediumの抑制（異臭味障害の解消）と、藻類総量の抑制（CODの削減）の効果について検討を行った。この結果物理現象については、水温成層の低下効果についてシミュレーションでよく再現することができた。また、藻類の抑制効果については、空気揚水筒数台と藻類抑制効果の関係をあらわすことができたが、湖内の複雑な流動条件と藻類の抑制効果の関係を把握するために 9 筒稼働時の効果について、気象・水象の異なる年次で調査を集積し、評価する必要があるものと考えられる。

5. 影響緩和策の効果

1984 年より実施されてきた本実験は、利水上の異臭味障害の解消という目的をほぼ完全に果たすことができた。また、各種調査によって湖水循環がもたらす植物プランクトン増殖の抑制機構についてもかなり解明することができた。さらに貯水池の特性にあわせ経済性、効果を考慮した適切な湖水循環の規模を決定することが必要と思われる。

・6. 成功の理由

異臭味による直接被害は上水道利水者が被ることから、ダム管理者と上水道利水者が連携して調査に当たり、フォルミediumの発生状況を分析することが出来た。また、基礎的な水質項目については、ダム完成時から定期的に行っており、蓄積してきたことから、解析に当たっては十分な基礎資料とすることが出来た。

7. 第三者のコメント

- 河北新報「釜房ダムにカビ臭、仙台市水道局が調査へ」、1981.9.17
- 河北新報「成るか臭い水解消、高圧空気で湖浄化」、1984.6.11
- 河北新報「県、釜房湖を指定湖沼へ」、1987.5.29

8. 詳細情報の入手先等

● 参考文献

月刊「ダム技術」（財）ダム技術センター（Japan Dam Engineering-Center），1992，3

● 問い合わせ先

財団法人 新エネルギー財団 水力本部

住 所：東京都千代田区紀尾井町 3-6 秀和紀尾井町パークビル 6F

Tel: 03-5275-9824

Fax: 03-5275-9831

Email: hydropower@nef.or.jp