

生体試料中の非イオン界面活性剤ポリオキシエチレン・ アルキル・フェニル・エーテルの分析法

三浦平則[※] 小林裕[※]
三浦竹治郎[※] 滝沢行雄^{※※}

はじめに

昭和53年度に環境庁が実施した「化学物質に関する環境調査」の結果の中に、非イオン界面活性剤の一種であるポリオキシエチレン・アルキル・フェニル・エーテルは分解性が不良で、広い地域の水質および底質から検出されているという報告があり、水性動植物への影響や哺乳動物への濃縮性の有無に関する確認の必要性が示されている。このような背景をふまえて、滝沢らは環境庁の委託研究として、この難分解性物質について小動物を対象とした消化管吸収およびその蓄積性に関する調査研究を行った。この調査研究に際し、実験動物中の本物質の化学分析を秋田県公害技術センターが担当したが、生体試料の分析法は文献上未知であり、その確立のためにさまざまな検討を要した。この分析法の検討過程で得られた知見および実際に実験動物試料に適用した方法についてここに報告する。

1 底質試料分析法の応用

沼田ら¹⁾は底質試料中の非イオン界面活性剤の分析法として図-1に示す方法を提案している。そこでこの条件を標準添加生体試料に応用し、回収率を求めた上で実用可能か判断することにした。

<実験>

装置 日立分光光度計139型 (ガラスセル30mm)

標準液

ポリオキシエチレン・ノニル・フェノール・エーテル (商品名: 花王アトラスKK、エマルゲン909、酸化エチレン付加モル数9.00、構造式: 図-2) 5gを秤取し、メチルアルコールで定容500mlとする。これを適宜メチルアルコールで希釈して測定用標準溶液とする。なお、添加回収実験用標準はこの標準溶液を使用した。

※秋田県公害技術センター

※※秋田大学医学部公衆衛生学教室

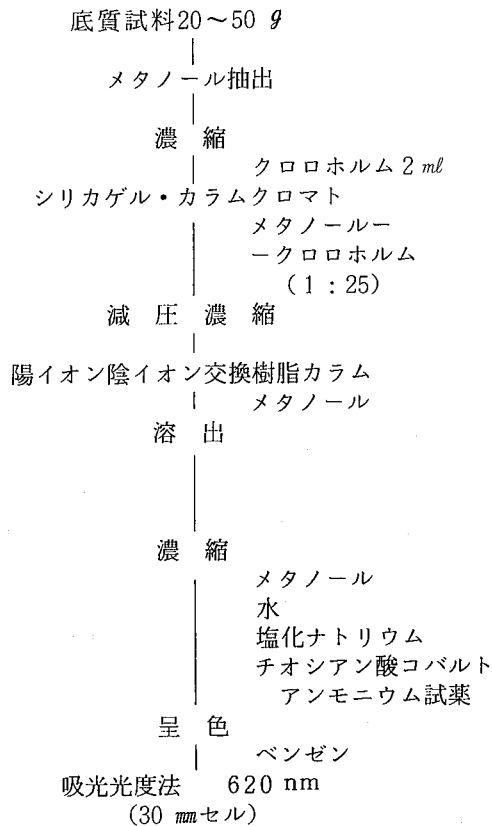


図-1 底質試料分析フローチャート

一般試薬

チオシアン酸コバルトアンモニウム試薬

チオシアン酸アンモニウム（特級）620 g と硝酸コバルト（特級）280 g を水に溶かして1 l とする。ベンゼン約50 ml で2回抽出し、不純物を除去してから使用する。

シリカゲル

カラムクロマトグラフィー用ワコーゲルS-1を130℃で3時間加熱し、活性化したものを使用する。

陽イオン交換樹脂

ダウエックス50W-X 4、20~50メッシュH型500 ml を5%塩酸を満たし底部にガラスウールをつめたカラムに流し込み充填する。2.5 l の5%塩酸を2 ml/minの流速で流し、同様に順次5% NaCl 2.5 l、5%塩酸2.5 l、5% NaCl 2.5 l、5%塩酸2.5 l で処理後、精製水を通して流出水が中性になるまで洗浄する。これを水を満たしたビーカー中に保存し、使用に際しては一定量をカラムに取りメタノールを流してアルコール系に置換する。

陰イオン交換樹脂

ダウエックス1-X 8、50~100メッシュC1型500mlを5%NaOHの入ったカラムに充填した後、5%NaOH、5%(NH₄)₂SO₄、5%HC1、5%(NH₄)₂SO₄、5%NaOHの順に各々2.5ℓ流し、最後に流出水が中性となるまで水洗する。以下前記同様に処理する。

その他の試薬

すべて試薬特級を使用した。

動物試料

マウスホモジネートを凍結乾燥したものをを使用した。

方 法

マウス凍結乾燥試料に標準物質を1,000 μg添加してメチルアルコールにより24時間ソックスレー抽出し、抽出後メチルアルコールを減圧下留去した残渣について沼田らの方法を参考として組み立てた図-3に示すフローチャートに従って処理し、定量を試みた。なお、シリカゲルカラムクロマトグラフィーの流出液については、TLCをCHCl₃:メチルアルコール=15:1で展開後ドラージェンドルフ試薬の噴霧によるオレンジ色の発色で標準物質のスポットをチェックした。

<結 果>

結果を表-1に示す。

<考 察>

検量線によると1,000 μgに対応する吸光度は0.240付近であるが、標準1,000 μg添加試料の場合にはそれをはかるに上回り、検量線の範囲を越えていた。単純に外そうとしたとしても平均回収率は285%程度となる。この過大値を与えた原因として、チオシアンコバルトアンモニウム試薬による発色の際に青緑色の沈殿が生成し、これが抽出操作によってベンゼン層に溶解したことが考えられた。チオシアン酸コバルトアンモニウム比色法における青色沈殿の原因物質としてはカチオン界面活性剤が知られている。²⁾ そこでイオン交換樹脂カラムの延長を行って同様の実験を試みたが改善はみられなかった。また、シリカゲルカラムクロマトグラフィーの繰り返し、溶媒系の変更等の検討も加えたが、小数例を除いて大部分は過大値を与えバラツキも大きかった。

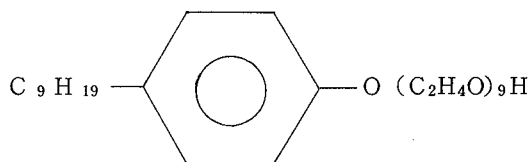


図-2 ポリオキシエチレン・ノニル・フェノール・エーテルの構造式

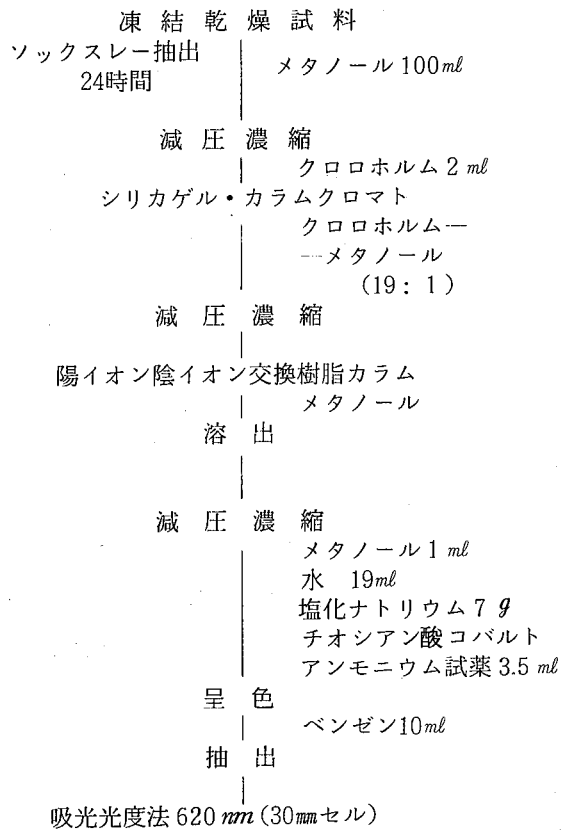


図-3 底質試料分析法の生体試料への応用

表-1 底質試料分析法の応用結果

標準物質 (μg)	吸光度 (620nm)	試料No	吸光度 (620nm)
0	0	1	0.740
400	0.094	2	0.640
800	0.193	3	0.519
1,200	0.285	4	1.148
1,600	0.377	5	0.512

2 Rosenの方法の検討

上の実験結果から、過大値をもたらす原因は生体内の非イオン性物質、すなわちある種の脂質であろうと考えられた。

Rosen³⁾は鉱油・綿実油などの非イオン性物質と数種類の非イオン界面活性剤より成る混合物から、シリカゲルカラムクロマトグラフィーと7種類の溶媒系を用いてこれらを相互に分離、定量している。この方法にならって、前と同様に標準添加しソックスレー抽出後メチルアルコールを留去した残渣について図-4のフローチャートに従い分析を試みた。しかしこの方法も再現性が悪く、ルーチン化することは無理と考えた。

3 アルカリケン化条件における

安定性

1および2の検討より、ソックスレー抽出後に直接シリカゲルカラムクロマトグラフィーでクリーンアップすることは困難であると判断し、妨害物質が脂質である場合の前処理としてアルカリケン化を考えた。そこでまずケン化条件における標準物質の安定性を確認する目的で、次のような実験を行った。

<実験>

装置・試薬・標準溶液

1の実験に準じた。

方法

標準物質 1,000 μ gを図-5に示したフローチャートに従って処理し、1の実験と同様にチオシアン酸コバルトアンモニウム試薬で発色させ定量して回収率を求めた。

<結果>

定量値・回収率を表-2に示す。

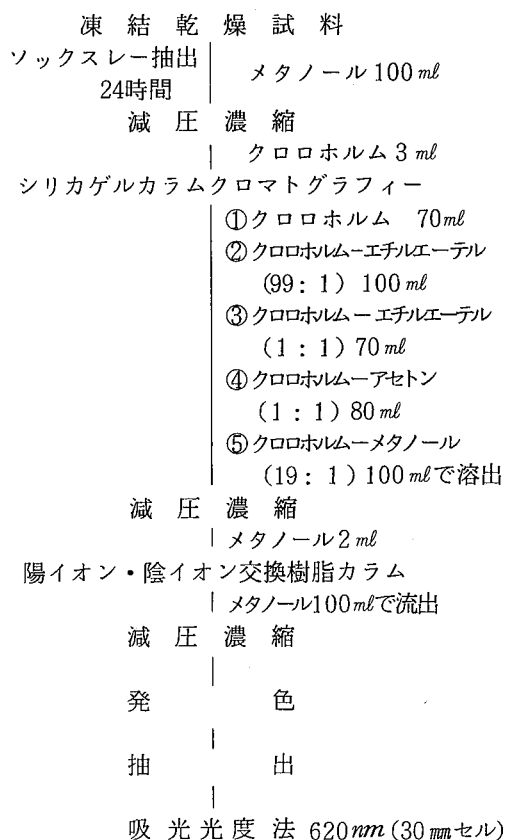


図-4 Rosenの方法の応用

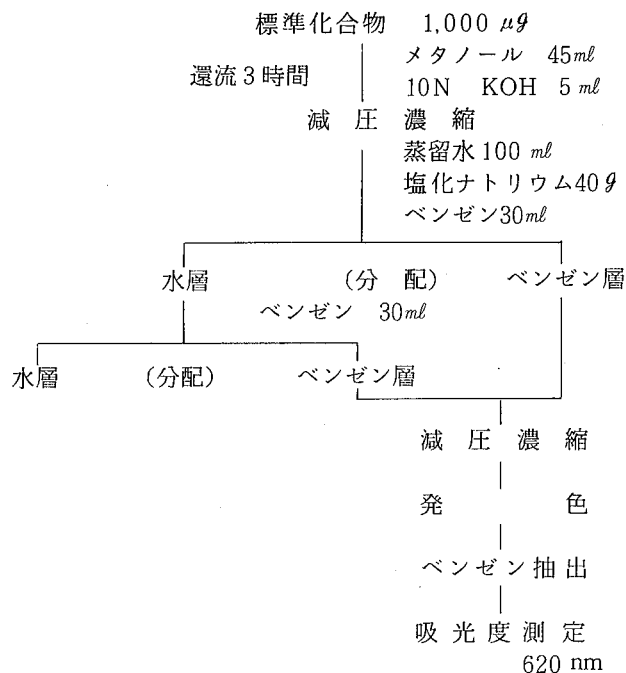


図-5 ケン化処理と標準物質の回収

表-2 ケン化条件における回収率

統計量 添加量	n	\bar{x} (μg)	R (μg)	σ_{n-1} (μg)	c. v. (%)
1,000 μg	6	1,023	1,003~ 1,046	15	1.5
回収率		102 %	100~ 104%		

<考 察>

回収率平均が102%であり、C. V. (%)が1.5であることからこの標準化合物がケン化条件で安定であり、かつ塩析剤の存在下でアルカリ溶液からきわめてよくベンゼンに抽出されることを確認できた。

4. ケン化を前処理とした添加回収実験

3の実験によって標準物質のポリオキシエチレン・ノニル・フェノール・エーテルがアルカリケン化条件においても安定であると判断したので、前と同様に動物試料に標準添加を行い、ケン

化処理によって妨害物質が分解しかつクリーンアップ操作により除去可能か否か検討することにした。

<実験>

装置・試薬・標準溶液

1の実験に準じた。

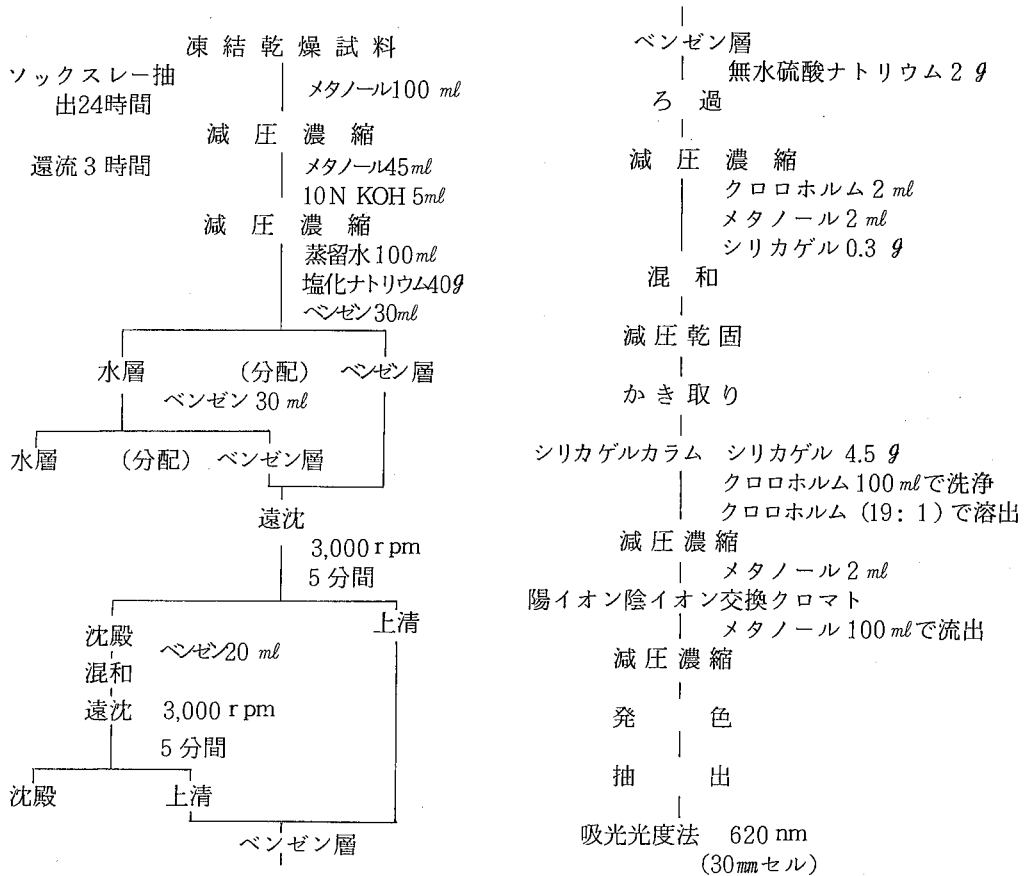


図-6 生体試料分析法フローチャート

動物試料

1の実験に同じ

方法

1の実験同様に標準物質 1,000 μg を添加した動物試料をメチルアルコールで24時間ソックスレー抽出し、アルカリケン化処理後ベンゼン抽出を行い、引続きシリカゲルカラムクロマトグラフィー・イオン交換クロマトグラフィーによりクリーンアップを行う。次いでチオシアン酸コバルトアンモニウム比色法により定量を行った。(図-6参照)

<結 果>

定量値・回収率を表-3に示す。

表-3 標準添加凍結乾燥試料における回収率

統計量 添加量	n	\bar{x} (μg)	R (μg)	σ_{n-1} (μg)	C. V. (%)
1,000 μg	8	1,014	868~ 1,136	106	10.4
回収率		101%	87~ 114%		

<考 察>

回収率平均：101%；C. V. (%)：10.4の数値が示すように過大値は生じておらず、回収率も満足できるものである。また実際にチオシアン酸コバルトアンモニウムによって発色した時点でも青緑色の沈殿は生じなかった。すなわち図-6のフローチャートにおけるケン化処理条件で妨害物質が完全に分解され、その後のクリーンアップ操作によって分解生成物と標準物質を分離できたものと判断し、実際の試料に応用することにした。

5 投与実験動物への応用

滝沢らは哺乳動物における非イオン界面活性剤ポリオキシエチレン・アルキル・フェニル・エーテルの吸収・蓄積性を検討することを目的として次のような実験を計画した。

<吸 収 実 験>

ポリオキシエチレン・ノニル・フェノール・エーテル 1.5 mg / 匹をマウス胃内に投与後、1、3、5、8、24時間における体内（消化管・尾部・毛皮を除く）残存量を各群4匹について測定する。

<蓄 積 実 験>

上記物質 1.5 mg / 匹 / 日をマウス胃内に連日投与し、1、3、7、14、21、28日後における体内（消化管、尾部、毛皮を除く）蓄積量を各群4匹について測定する。

上の実験に使用した動物のホモジネート凍結乾燥試料に図-6の方法をそのまま応用して分析を行った。この結果、投与後1時間群の1匹にのみ460 μg が検出されたが、その他はすべて本比色分析法の定量限界 200 μg （吸光度 0.05に相当）を下回った（図-7 参照）

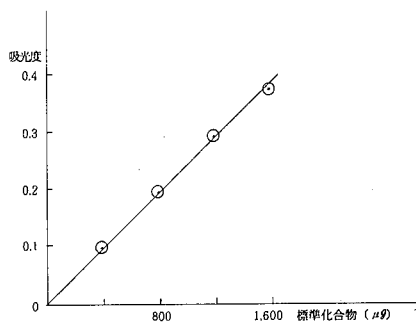


図-7 検量線

6 ま と め

生体試料中の非イオン界面活性剤ポリオキシエチレン・アルキル・フェニル・エーテルの分析法を確立するために、当初、標準添加動物試料について沼田らの底質試料の分析法にならないシリカゲルカラムクロマトグラフィー、イオン交換クロマトグラフィーを用いてクリーンアップした後、チオシアン酸コバルトアンモニウム比色法により定量し回収率を求めた。しかし爽雜物質によるプラスの妨害を受け数倍の高値を与えた。そこで、この妨害をイオン交換カラムの延長・シリカゲルカラムクロマトグラフィーの繰り返し・溶媒系の変更等によって除去することを検討したが、好結果を得ることはできなかった。非イオン性物質と非イオン界面活性剤との混合物からこれらを相互に分離する Rosen の方法も応用してみたがルーチン化は無理であった。この爽雜物が比較的低極性の溶媒系によって目的物質と共に流出することから我々はこれを脂質の一種と考え、目的物質のアルカリに対する安定性を確認した上でケン化処理による妨害物質の分解を試み、クリーンアップ操作後に比色定量を行って好結果を得た。実試料にこの方法を応用したところ、濃度がチオシアン酸コバルトアンモニウム比色法の定量下限に満たなかったため、そのほとんどが不検出となったがここで我々が検討した方法(図-6)を前処理として、定量段階で比色法よりも感度の良い方法、例えば高速液体クロマトグラフィーによる方法あるいは Kaduji と Stead⁴⁾が報告している HBr 分解-ガスクロマトグラフィー定量法などを用いれば低濃度の生体試料の分析も充分可能と考える。

(参 考 文 献)

- 1) 沼田ら、昭和54年版ケミカル・アセスメント・マニュアル・レポート「化学物質と環境」
環境庁保健調査室
- 2) 小田良平・寺村一広共著「界面活性剤の合成と其応用」、塙書店刊
- 3) Rosen, M. J., Anal. Chem., 35, 2074, (1963)
- 4) Kaduji, I. I. and Stead, J. B., Analyst, 101, 728, (1976)

八郎潟調整池の富栄養化について

第1報 八郎潟調整池の形状と過去の水質について

三 浦 竹治郎

はじめに

近年全国的に閉鎖性水系の富栄養化が問題となっており、本県でも八郎潟調整池の富栄養化が進み、これが対策を要望されるに至った。現象面では、近年夏期に観察されるアオコの発生、水質環境基準の超過、漁獲の減少、湖岸のゴミ等が結びつき、これに多少の郷愁を伴って、“死の湖水、の危機感を呼んだものである。

八郎潟調整池は、かつて琵琶湖に次ぐわが国第二位の湖（潟）であった八郎潟の4/5を干拓し、農地を造成した時に、かんがい用水源として残された1/5の水面であり、約2,797haの広さである。干拓前は半かん湖であったが現在は淡水湖である。調整池の水質を検討するには、この湖水面自体の変化と農業用水としての機能を無視しては考えられない。

八郎潟調整池の水質汚濁機構を解明する前提として、干拓事業による水質変化の経緯を収集し得た既存の各種調査文献から追跡して現在の問題点の由来を明らかにしたい。

1 八郎潟地形の変化

北緯40°、東経140°の経緯度交点をほぼ中心にもつ八郎潟は男鹿島と本土との間に両面砂嘴（洲）の発達による複トロンボと継続的な地盤の隆起運動で形成された、南北約26km、東西約12km、面積22,173haの長楕円形の潟（海跡湖）であり、南端にある長さ約3.5km、巾約500m、水深約3mのS字形にだ行した船越水道で日本海に連絡している半かん湖であった。

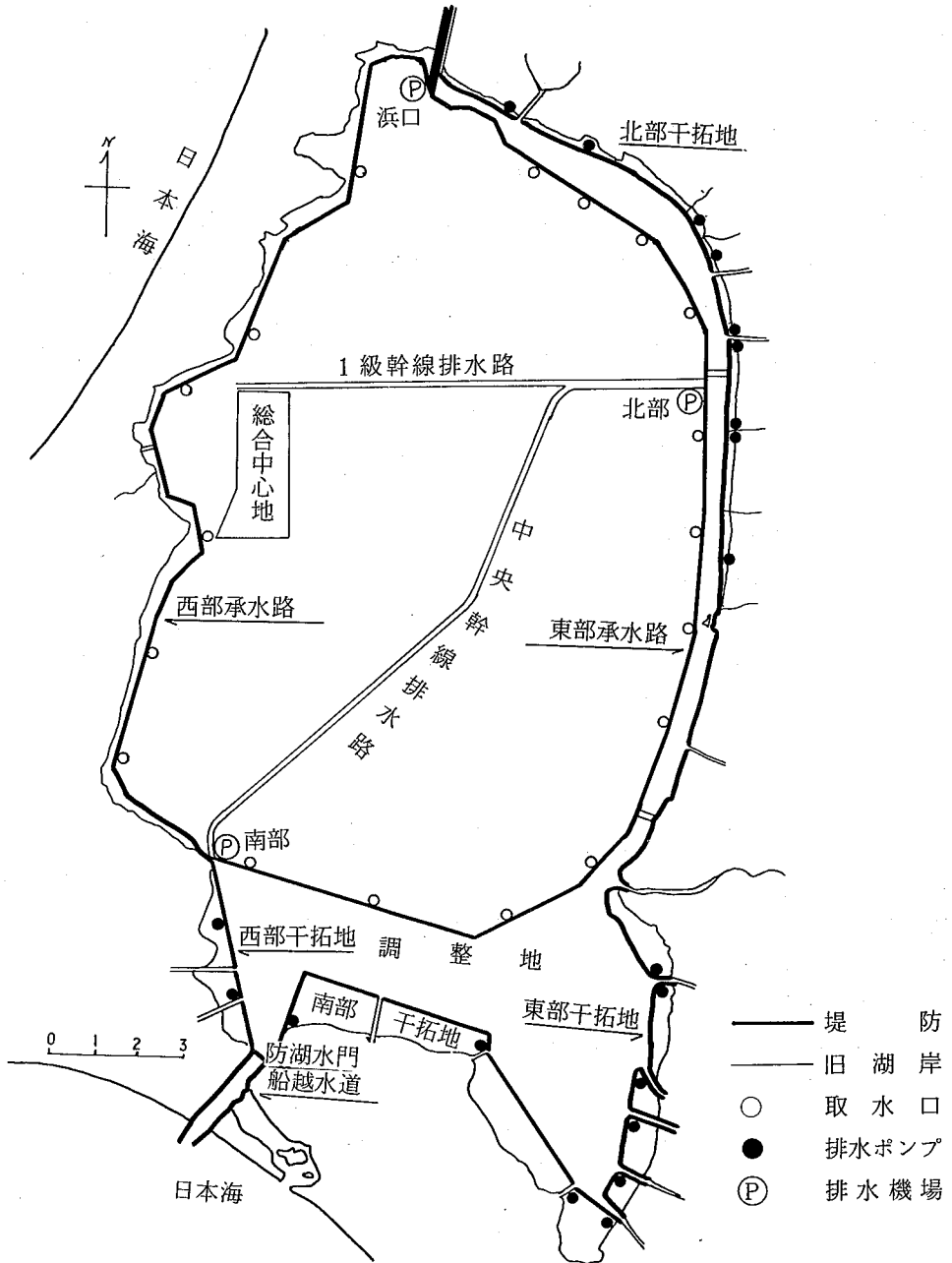
八郎潟の水深は浅く、平均3m、最深4.7mの中央部が平坦な湖盆形地形である。湖底は湖岸周辺地は砂土であるが、大部分はヘドロと俗称される微粒子粘土からなる軟質泥土で厚い所で60mにも達する。これは主として第3紀層の頁岩などの風化物と海成沖積地帯の微粒子の沈澱したものが塩基性の潟内で変質した一種の塩成土壌と動植物プランクトン、水生植物等の遺体残査からなるものである。潟内水面は非常に豊富な水生植物を産し、その利用は沿岸住民の生活に深く結びついていた。潟への流入河川は23（排水路を含む）で、そのほとんどが東岸に偏在しており流入河川の流域面積は689km²である。

八郎潟の干拓は潟水面22,024haの内、中央の15,666ha及び周辺の1,563haを干拓地とし、残余の水面は調整池、東部承水路、西部承水路とした。調整池は船越水道に設けた防潮水門により日本海から遮断し、淡水化して干拓地の用水源とした。潟流域からの河川水は調整池及び承水路で貯留し、農業用水として利用し、残水は延長1.9km、巾340mの直線にショートカットした

船越水道から日本海に排除することとした。

干拓工事は昭和32年に着工し、36年に防潮水門が完成し、周辺干拓は41年に完工し、中央干拓は延長約52kmの堤防で囲み、39年に堤防締め切りし、41年に干陸した。

第1図 八郎潟干拓地



中央干拓地内の農業用水は正面及び東部堤防12カ所、西部堤防6カ所の用水取入口から調整池及び承水路の水を取り入れ、その排水は干拓地内の最低部を南北に通る長さ16kmの中央幹線排水路と総合中心地の北側に接する東西に走る長さ6.9kmの一級幹線排水路に集水し、南部及び北部排水機場から調整池及び東部承水路に排水される。周辺干拓地の排水はそれぞれ小排水路及び20の排水機により調整池及び承水路に排出される。このような用排水系統から中央干拓地の用水は全て調整池及び承水路から取水され、干拓地内での蒸発散量を除き、全て排水機場を通じて調整池及び承水路に還元される完全な循環かんがい方式である。特に5,437haのかんがい面積を持つ西部承水路の用水はその大半を南部排水機場で調整池から調達しており、46年以降排水、取水の同時作業は行わないが、調整池内の拡散がおそいので、幹線排水路からの排水がほぼそのままの水質で西部承水路に導入される場合があり、一水系の循環水の様な状態になる。

残存湖[※]の集水域は西部承水路約4,800ha、調整池と東部承水路で86,200haであるが、残存湖に供給される年間総水量は、資料による差が大きくさらに検討を要するが、干拓地で必要とする総水量は1.35~1.60億トンと試算されており、この水量をまかなうことと、日本海から船越水道を通じて海水が流入することを防ぐために調整池の水位を第1表のようにかさ上げしており、防潮水門の操作によりこれを超えた水位上昇分だけ放流されるようになっている。

表一 調整池の管理水位

5月1日~7月30日	+ 1.00 m
8月1日~8月10日	+ 0.80 m
8月11日~9月10日	+ 0.60 m
9月11日~3月31日	+ 0.50 m

表二 水利使用許可量

	中央干拓地	周辺干拓地	計	摘要
かんがい面積 (ha)	11,679.5	2,204.7	13,884.2	初期及びかんがい期
取水量 (最大) (m^3/s)	39,757	4,711	44,468	
年間総取水量 (万 m^3)	42,770	4,140	46,910	
非かんがい期取水量 (m^3/s)			8,441	

調整池かんがい用水の貯溜水位

常時満水位	+ 1.00 m
制限水位	
7月1日~8月10日	+ 1.00 m
8月11日~9月10日	+ 0.70 m
9月11日~10月30日	+ 0.50 m
最低水位	- 0.20 m
西部承水路常時満水位	+ 0.35 m

脚注 ※残存湖は調整池と承水路を含めて言う。

この結果調整池の利用貯水量は46,000千 m^3 と試算されており、当然循環使用する水利体系が必要となる。なお水利権に基づく水利使用許可量は第2表のようである。

残存湖岸は西部承水路の西岸を除き、全て堤防が築堤されており、築堤工事と水路確保のために掘削が行われ、また捨石や砂礫の投入が行われており、湖底の形状、底質は干拓前と全く変わっている。調整池においても干拓時の浚渫のため深さ8~11mの溝が多くあり、底土のかくはんが著しい。

干拓前の潟の沿岸水面をおおってあった水生植物はその種が半減し、現存量は激減した。

2 水質について

干拓前の八郎潟水質については水試が大正5年、昭和10年、昭和26年に調査している。

干拓工事中は工事による水質変化の調査が昭和36~38年に事業団の委託により水試で行った。36年には秋田県が八郎潟の総合的な調査を実施している。干拓後は事業団及び農試で調査しており、40年以降は水試、公害課も調査を行っている。近年は秋田湾開発関連その他の調査も行われている。したがって、調査データ数はかなりの数にのぼるが、これらの調査はそれぞれ調査目的の年代が異なるため、分析法、分析値の表示等に統一性がなく、同列には比較できないが、ここでは適宜概観的に抱合して、水質変化の経過をたどることとする。

1) 干拓前の水質の概況

八郎潟の水質はその地形と密接な関連にある。季節風の強い日本海岸の平坦地にある長辺26km、水深4m以下の浅い単純な盆状地形は常に風浪による水層の攪拌があり、水温は上層下層でほとんど変わらず、気温に平行し、躍層現象はない。風浪激しく、湖底の泥土を攪拌し、透明度もしばしば1m以下である。

水色について、大正5年の報告は“普通多く混濁し、フォーレル氏標準液に相当することなく、只秋期澄水の期に至れば時にはその10号に相当する水色を認め得ることあり”とし、昭和10年の報告は“概してフォーレル氏水色標準液の6~10号の間に相当する”“夏期褐色となり泥炭地の悪栄養湖において屢々見る如き水色”“7月に於て黒褐色”の記載がみられる。25年8、9月にも水色醤油色、馬尿色と記録されている。このようにしばしば醤油水、赤水の表現や黒色、黒褐色、黄土色、灰、暗灰褐、灰緑と言った水色記載が出て来る。

PHは船越水道からの海水浸入の影響を受けて水道近辺はPH値が高いが、潟内はほとんど中性域である。昭和10年調査では“潟内では夏期でもPH8を超えることはごく稀である、とし、26年調査では南東部で夏期PH8を超えるものが観測され、36年調査でも夏期PH8を超えるものが少数観測されている。これらは植物性プランクトンの一時的な繁殖の影響と思われる。26年調査で“20年来かつてなかったカナ(アナベナであらう)が水面一面に浮上繁殖し、(船

越町地先)と記載があり、36年植物プランクトン現存量調査では代表的な富栄養湖と評価している。

塩分濃度

八郎瀨は湾曲した狭細な船越水道で日本海に通ずる半かん湖であるが、日本海の干満潮位差が50cmと少なく、また瀨に流入する河川の流量が少ないので、水道の流量が30~50m³/秒と少ないにもかかわらず、水位は第3表のように殆んど変らない。雨期でも河川の増水によって湖面の水位を高めることは殆んどなく、渇水期には供給される水量が湖面蒸発に追いつかず、瀨内から水の流出が少ないのみか、むしろ海水の流入することが多い。淡鹹両水の出入混合を決定する最大要因は風による吹送流と言われ、南寄りの風が卓越する夏期に湖内へ海水の流入が見られ、北寄りの風となる秋春期には湖水が日本海に流出する。海水の浸入地域は余り広くなく、瀨北部や馬場目川河口先には殆んど淡水に近い所がある。湖内には季節風によるゆるい湖流があり季節によって流れが変わる。したがって、瀨内の塩分濃度は季節、場所によって複雑に変化する。一般に水道地先が濃く、変化が激しく、湖心部や南東湾入部はやや安定している。湖心部の濃度は第4表のようであり、低鹹湖である。

表-3 水位表

単位 m

(観測所名 船越 位置 男鹿市船越 東京湾中等潮位基準)			
既往最高水位	昭和30年6月26日 0.870	平均最多水位	0.312
平均高水位	0.464	平均低水位	0.161
平均平水位	0.345	既往最低水位	昭和31年4月13日 0.142

表-4 湖心部の塩素濃度

mg / ℓ

年次	地点数	観測数	平均値	最低値	最高値
10	4	24	1388	1045	1661
26	2	12	1905	1026	2147
36	10	43	1419	859	1929

KMnO₄消費量

湖沼水質の指標としてCODが基準設定されているが、過去の調査にもKMnO₄消費量が記録されている。湖心部の測定値は第5表のようである。八郎潟は豊富な水藻繁殖や湖畔の広大な耕地からの栄養塩の供給による富栄養湖とされているが、KMnO₄消費量はそれを十分裏付けるものと考えられる。36年調査の変動が大きく、最高値が非常に高いのは、同時測定のBOD値から判断して、干拓工事の影響を受けているものと思われる。

表一五 湖心部のKMnO₄消費量

mg/ℓ

年次	地点数	観測数	平均値	最低値	最高値
10	4	12	21.24	10.5	27.6
26	2	11	7.19	4.22	14.26
36	5	18	25.87	13.51	45.03

2) 干拓後の水質

干拓後の八郎潟残存湖の水質は干陸事業とその後の営農を抜きにしては考えられない。

八郎潟に流入する河川水量は比較的少いとされ、干拓地の農業用水を循環使用している現状では、干陸後のヘドロと俗称される湖底土の耕土化過程の中で洗溶脱する塩類は全て調整池に供給される。昭和36年3月、防潮水門締切りから38年11月中央干拓地の堤防締切りまでは流入河川および降雨によって一方的に稀釈化が行われたが、この間にも工事による湖底土の攪拌が激しく、その影響は大きかったものと思われる。38年11月から41年5月までは中央干拓地の排水による塩類の供給と流入河川及び降雨による稀釈化が同時進行したと考える。41年5月以降は干拓地からの洗溶脱塩類の供給と流入河川水及び降雨による稀釈化が同時進行したと考える。しかし、最近の八郎潟周辺環境変化は流入河川水の水質悪化を促しており、単純に河川水による稀釈化とは言い難い状況にある。

なお、八郎潟干拓地の水循環は図一2のようである。

塩分

干拓による水質の最も大きな変化は当然のことながら塩分濃度である。調整池の塩分濃度は表一六に示す如く、防潮水門締切り後急速に淡水化が進み、干陸が完成した42年以降は略安定し、極めて徐々に淡水化が進行している。しかし普通河川水並の濃度に安定しないのは表一七に示すように干拓地土壌からの洗溶脱があることと、水の循環使用の結果である。しかし、土

壤から脱塩量は経年的に低下すると考えられるので、今の大規模な土木工事が終了するならば確実に淡水化が進行するものと思われる。この淡水化は後述の生物相に決定的な影響を及ぼしている。

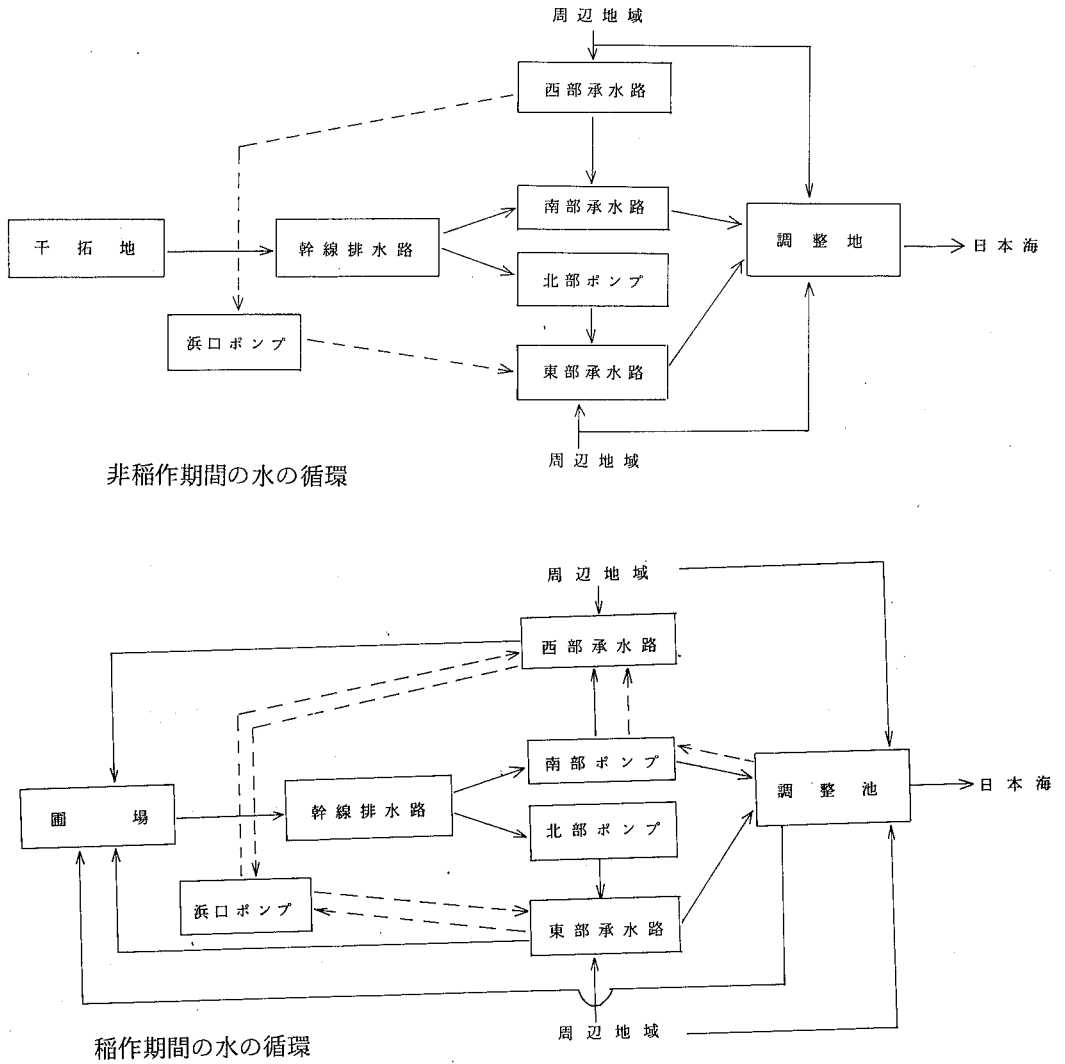


図-2 八郎潟干拓地の水循環

表一6 調整池の塩素量

年次	37	38	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
地点数	7	6	2	4	11	6	2	6	5	6	6	4	2	3
観測数	12	9	2	12	11	22	21	78	60	24	36	22	12	25
塩素量平均値	877	644	134	143	143	212	85	103	106	87	99	95	96	89

表一7 両排水機場排水の塩素量

年次	42	44	45	46	47	48	49	50	53	54
南部	348	715	534	369	288	406	263	193	129	103
北部	406	421	278	295	190	277	221	189	145	131

PHについて

干拓後の水質変化のもう一つの特徴はPHの非定常的な変動であり、極大値がPH10を超える上昇である。PHの上昇は干拓前にも稀に観測されているが、第8表に示すように43年頃から顕著になり、特に西部承水路で毎年観測されるようになった。47年頃からは東部承水路、調整池でも観測されるようになった。季節的には夏から初秋にかけて多いが、時には5月中旬から観測されている。原因として植物プランクトンの繁殖が指摘されているが、なお、佐藤、佐久間が指摘する湖水中の塩類組成比特にNa/Ca比などの動向も十分検討する必要がある。

表一8 PHの年次変動

年次	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
西部承水路	観測数	3	5	17	42	27	151	88	93	65	32	24	18	46	25
	PH 8台	1		5	16	9	14	18	42	3	6	9	11	13	4
	PH 9台			5	5		3	6	1					2	1
東部承水路	観測数	3	5	6	28	60	166	126	61	9	34	33	24	37	26
	PH 8台			1		2		25	8			13	8	16	4
	PH 9台							1	1			1	1	2	
調整池	観測数		3	12		8	131	148	83	67	47	31	30	45	27
	PH 8台			4		2		37	19	1	1	10	13	14	6
	PH 9台							11	4			4	2	6	4

COD、BODについて

COD及びBODの観測例は少ないが、代表的な観測データを表一9、10に示した。CODについては経年的に特に大きな変化はなく、干拓前と比較しても大きな変化はないと思われる。

しかし、年次による極大値の巾がかなり大きく、近年高い値が出ていることで、これらは必ずしも夏だけでなく、5月中に出ることもある。このことについては、植物プランクトン量だけでなく、塩類量との関連も詳細に検討しなければならない。調整池南東部の湾入部で常に高い値を示すことは干拓前からの傾向であるが、近年これが強調されて来ており、同地域が湖水の滞溜地域であることの関連で検討されなければならない。西部承水路が幾分高く、また干拓地内からの排水が高いことは干拓地からの洗溶脱塩類によると思われる。

BODについてはさらにデータが少なく十分検討できないが、過去10年位は大きな変化は無いと思われる。しかしCOD同様極大値が高くなっているので検討が必要である。

表一9 CODの年次変動

年		次	37	43	48	52	53	54
調整池	観測地点数		7	4	1	4	6	7
	延観測数		12	8	2	30	46	39
	平均値		4.28	5.61	3.87	4.55	4.94	3.86
	最高値		5.57	12.40	5.69	7.50	24.0	9.8
	最低値		3.41	2.29	2.05	2.70	0.86	1.5
東部承水路	観測地点数			2	6	3	5	9
	延観測数			4	28	18	37	43
	平均値			5.92	3.84	5.58	4.54	4.58
	最高値			13.07	5.84	8.20	26.0	8.1
	最低値			2.99	1.93	3.50	1.9	1.2
西部承水路	観測地点数			3	6	4	6	3
	延観測数			6	34	24	46	2.9
	平均値			9.34	4.28	5.25	5.37	5.88
	最高値			19.31	6.48	8.70	14.0	7.6
	最低値			3.31	2.56	2.80	1.85	1.2
南部ポンプ	延観測数				8	6	11	14
	平均値				4.98	5.43	10.04	8.01
	最高値				6.00	8.20	22.0	15.0
	最低値				3.25	3.50	1.5	4.4
北部ポンプ	延観測数				6		2	2
	平均値				4.24		6.27	5.89
	最高値				6.25		6.66	6.13
	最低値				2.41		5.87	5.65

表—10 BODの年次変動

年 度		48	52	53	54
調 整 池	観測地点数	1	4	4	4
	延観測数	3	30	32	33
	平均値	4.54	3.39	3.16	2.28
	最高値	6.22	7.00	10.00	3.7
	最低値	2.65	0.9	0.4	0.8
東部承水路	観測地点数	1	3	3	4
	延観測数	3	18	25	34
	平均値	3.91	3.42	4.08	2.10
	最高値	4.30	6.1	15.0	4.5
	最低値	3.23	1.5	0.8	0.4
西部承水路	観測地点数	1	4	4	2
	延観測数	3	24	33	19
	平均値	2.94	3.26	2.88	3.20
	最高値	3.34	7.4	5.3	7.6
	最低値	2.69	1.7	0.4	0.5
南部ポンプ	延観測数		6	9	12
	平均値		2.83	6.06	8.39
	最高値		4.0	15.0	15.0
	最低値		2.1	1.3	4.4

プランクトン

干拓前の八郎潟は魚種の豊富な生産量の多い漁場であった。この魚の生産力は食餌連鎖からして、豊富な動物性プランクトンや水棲昆虫、底棲動物が生産され、その前提として豊富な植物性プランクトンが生産されたことを示している。

プランクトンについては、水試、小久保、三浦山口の報告がある。“八郎潟の研究”には詳細な調査報告がある。これらの調査報告によってプランクトンの種、量は大きく変っているが、共通しているのはプランクトン量が非常に多い事である。

昭和36年の橋本の調査によれば動物プランクトンは量は非常に多いが、種類は少なく、梓脚類、8科9属9種、輪虫類3科5属7種としており、特に *Sinocalanus tenellus*, *Paracyclops nana*, *Keratella crucifoumis*, *K. valga*, *Nauplius* が卓越種であり、汽水系のものが主で、淡水系のものが少い。総数は4・5月に最も多く6～9月に減少し、10・11月に再び増加する。

植物プランクトンについては、小久保はプランクトンは比較的多いが植物プランクトンの少い汽水湖であるとしているが、市村等は日本湖沼の中でも最も基礎生産量が多い、現存量が春

及び秋に激増する富栄養湖型であるとしている。植物プランクトンの主体は珪藻類で、小久保は8種を記録し、36年調査では種、量共に非常に多く、135種に及んでいる。総数は春に極大値があり、夏期激減し、9月からまた増加する。大半を汽水性のものが占めている。しかし、富栄養湖で夏期に増殖する藍藻類の *Microcystis*, *Anabena* が少いと市村等は記録している。

プランクトンの消長について注目すべきは、昭和25年夏期に起きた「醤油水」による魚の異常大量斃死で、原因はイトマキ珪藻の異常繁殖とされているが、この調査の際、このような動植物プランクトンの局所的な異常繁殖現象は過去にもしばしば局地的にあった事が判明し、醤油水、黒水、赤水、カナ等俗称されている。

このようなプランクトンの消長から判断すれば、干拓前の八郎潟は軟弱な微粒泥土からなる浅い湖盆型地形で、季節風による波浪で湖底まで攪拌され、栄養豊富な低鹹水湖で、動植物プランクトンが質量共に多い天然の富栄養湖であった。

干拓後のプランクトンについては、40年以降、水試、内水面水産指導所で詳細な調査を継続実施中であり、また50年に加藤等が調整池の生物相調査を実施している。

43年の調査では、動物プランクトンは *Copepoda*, *Rotifera* が主体をなすことは変わらないが種が大きく変っている。植物プランクトンでは珪藻が卓越しているが、局地的に夏期に藍藻の *Oscillatoria* が卓越する。その後も動物プランクトンでは *Copepoda*, *Rotifera* が主体であるが種の変移が目立つ。植物プランクトンでも主体は珪藻であるが、種の変移が起きている。また藍藻の *Microcystis*, *Aphanocapsa*, *Anabaena*, 緑藻の *Spirogyra* が卓越種として出現する。50年の加藤等の調査では珪藻を370種以上記録しているが、その卓越種は貧塩性、好アルカリ性のものであり、淡水系の割合は干拓前の約30%から70%に増加しており確実に種の変移が行われていることを示している。

51年以降の調査では、動物プランクトンは量は多いが、種は *Copepoda*, *Cladocera*, *Rotifera* の数種が卓越種として消長している。植物プランクトンでは、51年 *Microcystis*, 52年 *Anabaena*, 53年 *Microcystis* によるアオコが観測されており、また緑藻の *Ulothrix* が順次増加している。

また、植物プランクトンの種や輪虫類の種の組成から見て、西部承水路、東部承水路北部、調整池湾入部はそれぞれ異った生物相を示しており、水質環境の相違を示唆している。

八郎潟の生物相を現象面からのみ判断すれば、残存湖は確実に富栄養化が進行していると言える。しかし、前述の八郎潟の環境の大きな変化を勘案し、生態学的見地に立つならば、八郎潟の生物相の変化は、八郎潟干拓事業によって湖水の淡水化と循環使用による農業用水化を強制された結果、水質環境は根本的な変遷を余儀なくされ、水棲生物の生態系を根底から攪乱した結果である。その人為的な攪乱は現在もまだ継続されており、生態系の変遷と混乱は急激な

動きとして表現されている。これは富栄養化と言うあいまいな単一因子で計れるものではなく、生態系の急激な変貌の一断面としてとらえなければならない。

ま と め

八郎潟の自然と水利の変化とそれによってもたらされた水質環境の変化の一部について検討した。

八郎潟は干拓前から、その地形的要因により、天然の富栄養湖であった。干拓により富栄養化の要因は更に拍車をかけられたかにみえ、PH、COD、BODの極大値の上昇と変化の激化が見られる。また、生物相の大きな変化が起きている。これらの要因解析については目下長期計画を検討しながら、その一部に着手しているが、八郎潟の環境の変化については既往の多くのデータがあるので、これらをさらに検討することにより、過去の変化の軌跡を解析できるものと考えられる。

謝 辞

我々の八郎潟水質環境調査のため多くの貴重な調査研究資料を提供された、農試化学部、農試大潟支場、水産試験場、県内水面水産指導所、八郎潟基幹施設管理事務所の各位に哀心より感謝致します。

引 用 文 献

- | | | |
|--------------|------|---|
| 秋 田 水 試 | 1916 | 八郎潟水面利用調査報告 |
| 〃 | 1936 | 八郎潟水産基本調査書 |
| 小久保 清 治 | 1944 | 本邦湖沼のプランクトン 生物学の進歩第2輯 |
| 橋 本 光 正 | 1951 | 八郎潟水族の異常斃死の研究(孔版) |
| 秋 田 水 試 | 1953 | 八郎潟水産物生産力調査(孔版) |
| 三浦五郎・山口正男 | 1954 | 夏期における八郎潟主要プランクトン
八郎潟調査研究資料第2号(孔版) |
| 下 村 敏 正 | 1954 | 1950年夏期における秋田県八郎潟水族の異常斃死現象と同湖の海洋学的研究1 日水研業績集1 |
| 秋 田 県 | 1965 | 八郎潟の研究 |
| 八郎潟調整池生物相調査会 | 1976 | 八郎潟調整池の生物相調査報告 |
| 八郎潟干拓事務所 | 1969 | 八郎潟干拓事業誌 |
| 八郎潟新農村建設事業団 | 1976 | 八郎潟新農村建設事業誌 |
| 秋 田 農 試 | 1972 | 八郎潟干拓地土壌の特性と耕地化過程に関する土壌学的研究
指定試験第19号 |

金子淳一	1977	八郎潟干拓地ヘドロにおける機械化適応性の向上と耕地化過程に関する研究 秋田農試研究報告22号
佐藤敦	1978	八郎潟干拓地土壌の耕地化に関する研究 第1報 八郎潟残存湖の水質について 秋田農短大研究報告第4号
佐藤敦・佐藤仁・阿部和紀	1976	第2報 八郎潟残存湖の塩類濃度について 日土肥講要22
佐久間宏・金子淳一・尾川文朗	1973	八郎潟の干拓に伴う残存湖の水質変化について 日土肥講要19
秋田水試		秋田県水産試験場事業報告書 43年度
秋田県内水面水産指導所		秋田県内水面水産指導所事業報告書 昭和45～54年度
秋田農試		八郎潟中央干拓地第二期土壌調査成績書 昭和41～49年度
秋田農試大潟支場		低湿重粘土水田に関する土壌肥料試験成績書 昭和53～54年度
秋田県		秋田県の公害 45～51年度
〃		環境白書 53～54年度