

人工湖（山瀬ダム）の水質汚濁機構の解明に関する調査研究（平成10～12年度）

珍田尚俊・渡辺 寿*・加藤 潤**

1. はじめに

秋田県では人工湖8ヶ所について、環境基準の類型（AA及びA）指定をしているが、半数の4ヶ所について環境基準を達成できない状態にある。県内の人工湖が環境基準を達成できない原因を解明するため、平成4～9年の約6年間にわたり、環境基準未達成の萩形ダム（昭和41年建設）と皆瀬ダム（昭和39年建設）及び、築後間もない山瀬ダム（平成3年建設）について調査を実施した^{1,3)}。その結果、萩形及び皆瀬ダムでは山瀬ダムと比較して、ダム湖内及び流入河川のCOD、T-N、T-P濃度等が高めであること、また、夏から秋にかけて下層でDOが著しく減少し、底質からのT-N、T-Pの溶出が増大することから、植物プランクトンが増殖しやすく、COD濃度が高くなることが推察された。

今回は、水質汚濁が比較的進んでいない山瀬ダム及びその周辺河川の水質等の変化について継続的に調査し、山瀬ダムの水質の特徴及び水質汚濁の進行状況について考察した。

2. 山瀬ダムの概要

山瀬ダムは、図1に示したとおり、米代川水系岩瀬川の北秋田郡田代町岩瀬に、中央コア型ロックフィルダムとして、平成3年に建設された。

山瀬ダムの流域面積は67.2 Km²、総貯水量は1,290万 m³、堤高62 mであり、岩瀬川流域の洪水被害を防止し、下流既得用水の補給等流水の正常な機能を維持し、さらに田代町及び能代市に対し水道用水として、かつ工業用水として東北電力(株)能代火力発電所に対して取水を可能にした。また、山瀬発電所を建設し、最大出力2,100 KWの発電を行うダムである⁴⁾。

3. 調査方法

3.1 調査期間

平成10～12年の5月(12年は6月)、7月、9月、10月の年4回(底質は10～12年の10月の年1回)

3.2 調査地点(図2)

- ・湖内2地点(表層～下層(5mおきに実施))
 - A地点 水質:5～7層
 - B地点 水質:4～6層
- ・流入河川3地点(岩瀬川、繫ノ沢、内町沢)
- ・平成11年からは岩瀬川の上流部3地点を追加(赤倉鉦山旧坑口、赤倉沢橋、岩瀬川上流)
- ・底質は湖内(A、B)2地点及び流入河川3地点

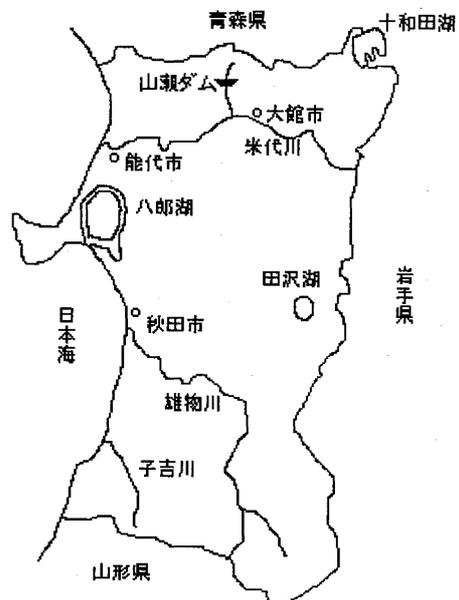


図1 山瀬ダム位置図

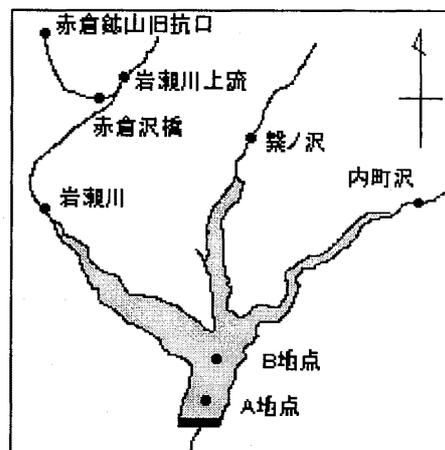


図2 山瀬ダム調査地点図

* 現秋田県水産振興センター

** 現秋田県北部流域下水道事務所

3.3 調査項目及び分析方法

分析項目及び方法については表1に示す。(底質の全量の分析方法は、CODが底質調査法による過マンガン酸カリウム法、T-Nがケルダール・中和滴定法、

他の項目は硝酸-過塩素酸分解法による前処理を行った後、水質分析と同じ方法で行った。また、底質の溶出の分析方法は、底質3%で4時間振とうした水溶液を試料とし、水質分析と同じ方法で行った。)

表1 水質・底質の分析方法

項目	分析方法	水質	底質(全量)	底質(溶出)
電気伝導度	JIS K0102 13	○		
透明度	海洋観測指針 4.1	○		
pH	JIS K0102 12.1	○		
DO	JIS K0102 32.1	○		
COD	JIS K0102 17	○	○	○
NH ₄ -N	JIS K0102 42.2	○		○
NO ₂ -N	JIS K0102 43.1.1	○		
NO ₃ -N	JIS K0102 43.2.3	○		
T-N	JIS K0102 45.2	○	○	
PO ₄ -P	JIS K0102 46.1.1	○		○
T-P	JIS K0102 46.3.1	○	○	
クロロフィルa	海洋観測指針 9.6.2	○		
SS	環境庁告示 付表 9	○		
TOC	JIS K0102 22.1	○		
Cl ⁻	JIS K0102 35.3	○		○
SO ₄ ²⁻	JIS K0102 41.3	○		○
Na ⁺	JIS K0102 48.2	○	○	○
K ⁺	JIS K0102 49.2	○	○	○
Ca ²⁺	JIS K0102 50.2	○	○	○
Mg ²⁺	JIS K0102 51.2	○	○	○
T-Fe	JIS K0102 57.2	○	○	○
Mn	JIS K0102 56.2	○	○	○
Al	JIS K0102 58.2	○		

4. 調査結果

4.1 水温 (図3)

ダムサイトA地点表層の平成10年～12年の水温は13.3～20.9℃の範囲で、B地点表層の水温は11.5～21.7℃の範囲にあり、B地点の変動が流入河川の影響により若干大きくなっている。最下層においてはA、B両地点とも大部分が7℃前後で、季節による変化がみとめられない。なお、7月～9月にかけては表層の水温上昇に伴い、表層と最下層との温度差が10℃を超えている。また、B地点と流入3河川の水温を比較してみると、各月とも表層から5m層に流入していると思われる。

4.2 pH (図4)

平成10年～12年のpHは、ダムサイトA地点では6.2～7.0の範囲で、B地点のpHは6.1～6.9の範囲にあり、季節による変化は、A、B両地点とも平成12年の表層と5m層を除いてほぼ一定で推移し大きな変動はみられない。流入河川についてみると、岩瀬川、繫ノ沢及び内町沢のpHの年平均値は、それぞれ4.8～6.2、6.7～6.9、7.0～7.5の範囲にあり、岩瀬川が酸性になっている。この岩瀬川の影響によりダム湖自体がやや酸性を示す傾向がみられる。

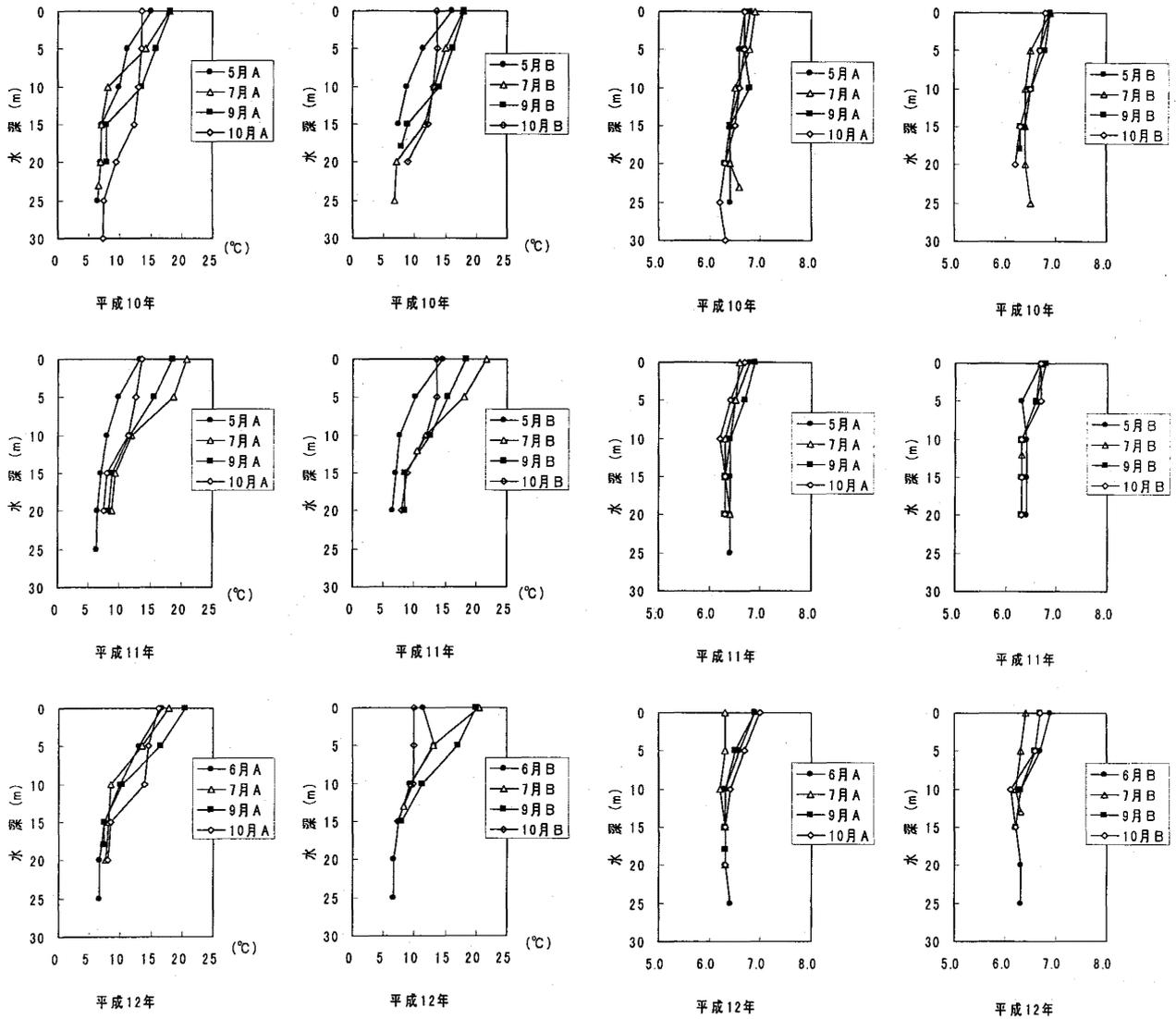


図3 山瀬ダムの水温分布

図4 山瀬ダムのpH分布

4.3 溶存酸素量(DO) (図5)

ダムサイト A 地点表層の平成 10 年～ 12 年の DO は、4.1～12 mg/L の範囲で、B 地点の DO は 3.4～12 mg/L の範囲にあり、年平均値は A 地点では 9.5～10 mg/L、B 地点では 8.9～9.9 mg/L とやや A 地点が高い傾向にある。

また、A、B 両地点とも 9 月～10 月にかけて 15 m 層以深で DO の減少傾向がみられるが、これ以外の時期・地点とも DO の著しい減少はみられない。

4.4 浮遊物質(SS) (図6)

ダムサイト A 地点の平成 10 年～12 年の SS は <1.0～53 mg/L の範囲で、B 地点では 1.0～13

mg/L の範囲にあり、年平均値は A 地点では 1.8～6.6 mg/L、B 地点では 1.9～4.8 mg/L の範囲で、平成 10 年が最も高く年々減少している。特に平成 10 年 7 月の A 地点の最下層で 53 mg/L と非常に高くなっているが、これは下層部の泥の一部が混入したものと考えられ、この地点のデータを除くと A 地点は <1.0～11 mg/L の範囲で年平均値は 1.8～4.6 mg/L となり、A、B 両地点での差はほとんどみられなくなる。

流入河川についてみると、岩瀬川、繫ノ沢及び内町沢の SS の年平均値は、それぞれ 3 mg/L、<1～3 mg/L、<1～1 mg/L の範囲にあり、岩瀬川が最も高くなっている。

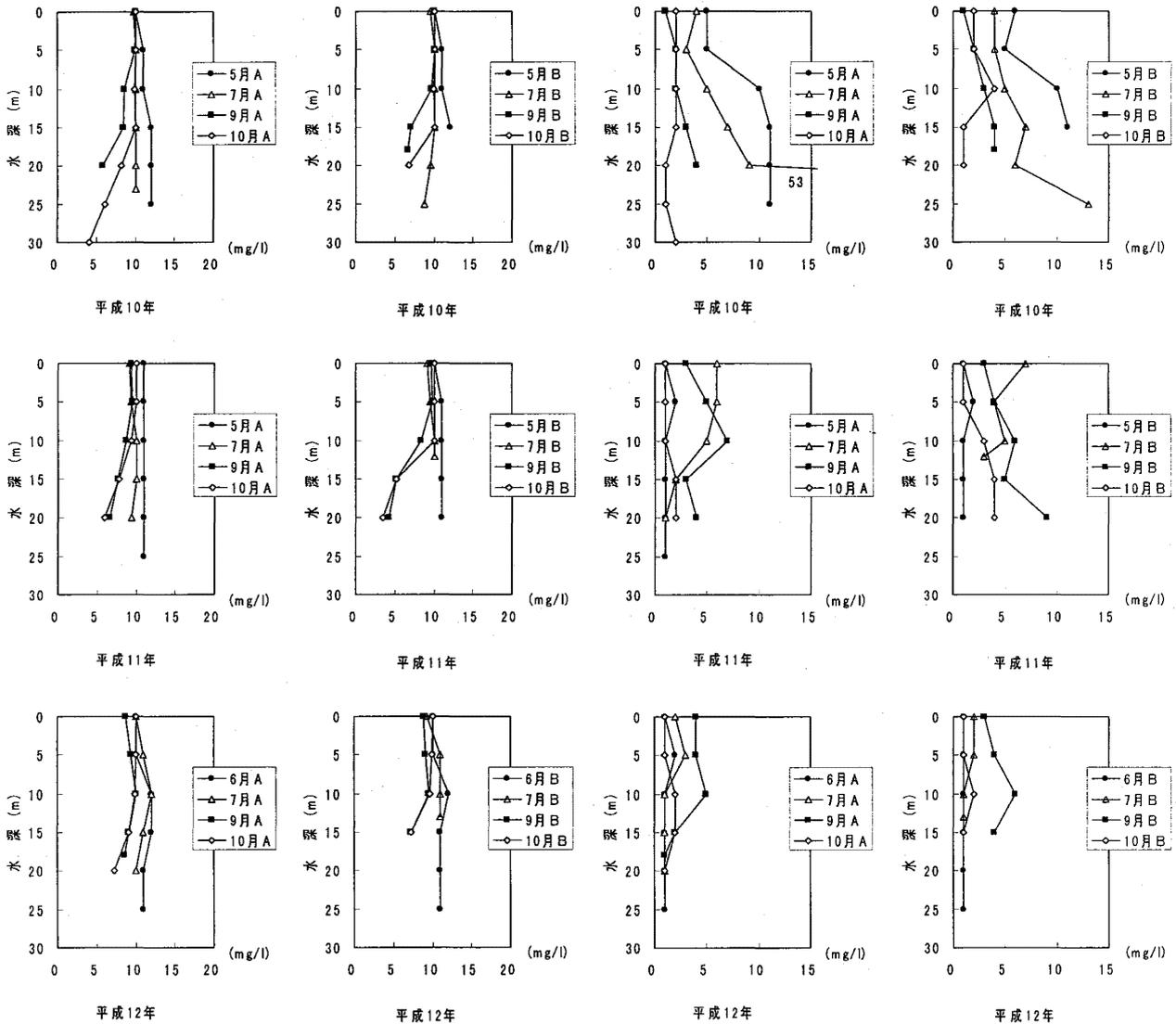


図5 山瀬ダムのDO分布

図6 山瀬ダムのSS分布

4.5 全窒素(T-N)及び全リン(T-P) (図7～9)

ダムサイト A 地点の平成 10 年～ 12 年の T-N は 0.19 ～ 0.75 mg/L の範囲で、B 地点では 0.17 ～ 0.76 mg/L の範囲にあり、年平均値は A 地点では 0.30 ～ 0.36 mg/L、B 地点では 0.31 ～ 0.38 mg/L となっている。平成 10 年は A、B 両地点とも変動が大きく、平成 11 年は A 地点では 7 月、B 地点では 9 月、10 月を除き、大きな変化がなく推移している。平成 12 年は A、B 両地点とも表層から下層まで比較的大きな変化がなく推移している。全般的に下層になると高くなる傾向があり、特に 9 月～ 10 月が顕著である。

一方、平成 10 年～ 12 年の T-P は、ダムサイト A

地点では $0.003 \sim 0.038 \text{ mg/L}$ の範囲で、B 地点では $0.003 \sim 0.027 \text{ mg/L}$ の範囲にあり、年平均値は A 地点では $0.004 \sim 0.013 \text{ mg/L}$、B 地点では $0.005 \sim 0.012 \text{ mg/L}$ となっている。年平均値からみると A、B 両地点とも平成 10 年が高く、年々減少する傾向にあるが、平成 10 年は SS が高いことが影響していると考えられる。平成 10 年では A、B 両地点とも 5 月、7 月に変動が大きく、下層になると高くなる傾向がみられ、平成 11 年には A、B 両地点とも表層が 7 月、9 月に高い傾向がみられ、特に B 地点の 9 月は 0.008 mg/L 前後で下層まで推移している。平成 12 年は A、B 両地点とも表層から 10 m 層まで高くなっている。

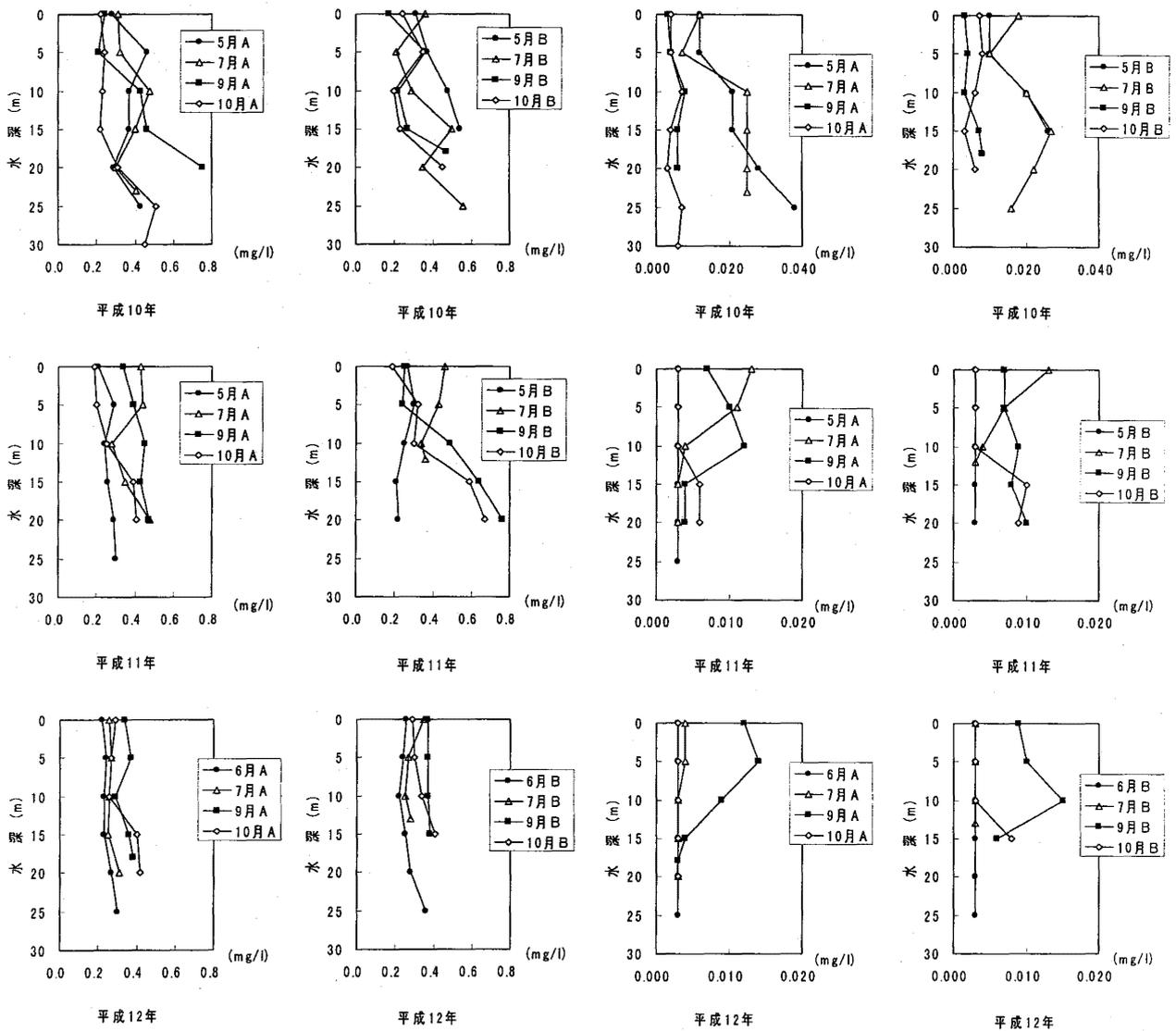


図7 山瀬ダムの T-N 分布

図8 山瀬ダムの T-P 分布

T-N, T-P の年平均値を環境基準(本県では湖沼への窒素, リンの類型あてはめをしていない)に基づいて分類すると, 窒素でⅢ類型, リンでⅠ～Ⅲ類型に分類される。また, N/P 比が 27～75 で, 山瀬ダ

ムはリンが制限的な栄養塩となっている湖沼であると推定できる³⁾。

流入河川についてみると, B 地点に流入する岩瀬川, 繫ノ沢及び内町沢の T-N の年平均値は, それぞれ 0.27～0.37 mg/L, 0.17～0.20 mg/L, 0.20～0.24 mg/L の範囲にあり, 岩瀬川が最も高く, ダムの濃度とほぼ同じ濃度で, 繫ノ沢及び内町沢はダムの濃度より低くなっている。

また, 岩瀬川, 繫ノ沢及び内町沢の T-P の年平均値は, それぞれ 0.004～0.008 mg/L, <0.003～0.003 mg/L, 0.003～0.006 mg/L の範囲にあり, T-N と同様に岩瀬川が最も高くなっている。3 河川ともダムの濃度より低いか同じ濃度になっている。

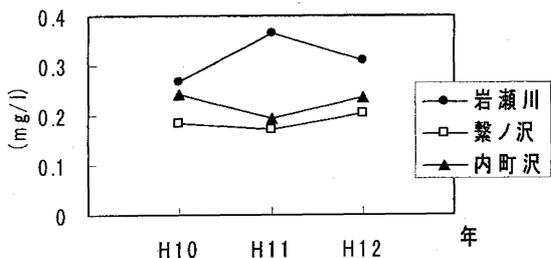


図9 山瀬ダム流入河川の T-N 変化

4.6 化学的酸素要求量(COD) (図10～11)

ダムサイト A 地点の平成10年～12年のCODは0.9～2.3 mg/Lの範囲で、B 地点では1.0～2.5 mg/Lの範囲にあり、年平均値はA 地点では1.4～

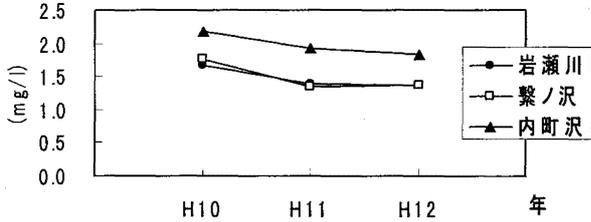


図10 山瀬ダム流入河川のCOD変化

2.1 mg/L、B 地点では1.5～2.1 mg/Lの範囲で、平成10年が最も高く年々減少している。全般的にA、B 両地点とも7月、9月に高くなる傾向がみられ、また表層から5 m層で高い傾向がみられる。

流入河川についてみると、岩瀬川、繋ノ沢及び内町沢のCODの年平均値は、それぞれ1.4～1.7 mg/L、1.4～1.8 mg/L、1.8～2.2 mg/Lの範囲にあり、内町沢が最も高くなっている。また、ダムの濃度と同様に平成10年が最も高く、平成11年～平成12年にかけては減少あるいはほぼ一定の値になっている。3 河川ともダムの濃度より低いかほぼ同じ濃度になっている。

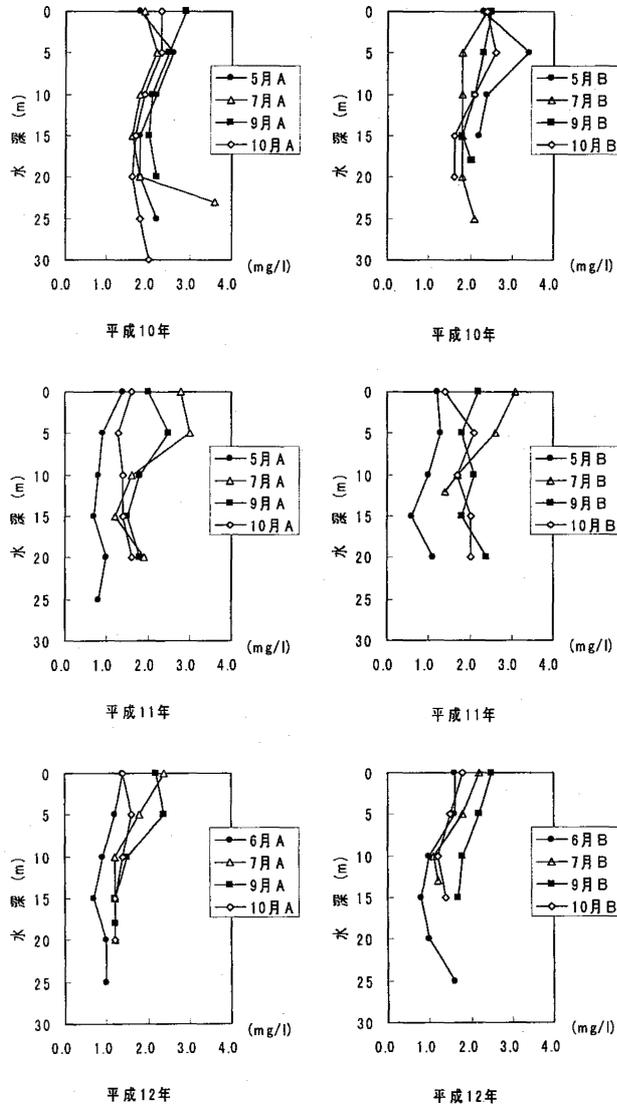


図11 山瀬ダムのCOD分布

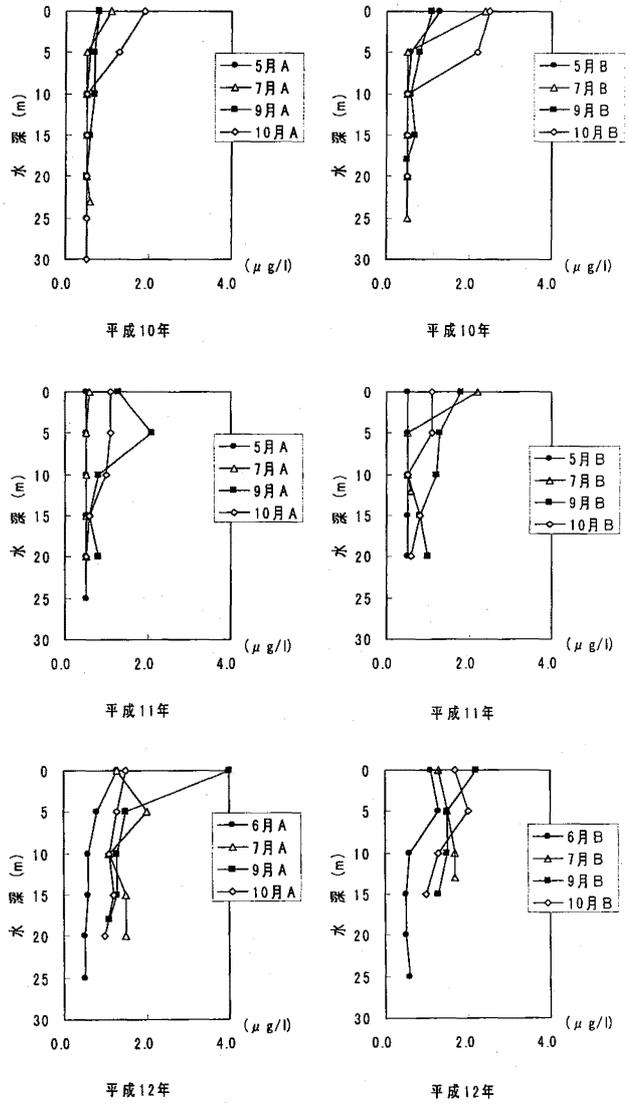


図12 山瀬ダムのクロロフィルa分布

4.7 クロロフィル a (図12~13)

ダムサイト A 地点の平成10年~12年のクロロフィル a は $0.5 \sim 4.0 \mu\text{g/L}$ の範囲で、B 地点では $0.5 \sim 2.5 \mu\text{g/L}$ の範囲にあり、年平均値は A 地点では $0.6 \sim 1.2 \mu\text{g/L}$、B 地点では $0.8 \sim 1.2 \mu\text{g/L}$ の範囲にあり、年々上昇する傾向がみられ、A、B 両地点とも平成12年が最も高く、全般的に9月の表層が高い傾向になっている。流入河川についてみると、岩瀬川、繋ノ沢及び内町沢のクロロフィル a の年平均値は、それぞれ $0.5 \sim 1.1 \mu\text{g/L}$、$0.5 \sim 0.8 \mu\text{g/L}$、$0.5 \sim 1.0 \mu\text{g/L}$ の範囲にあり、ダム湖と同様 3 河川とも年々上昇する傾向がみられ、ダムの濃度より低いかほぼ同じ濃度になっている。

4.8 透明度 (図14)

ダムサイト A 地点の平成10年~12年の透明度は $1.0 \sim 6.5 \text{ m}$ の範囲で、年平均値は平成10年が 1.9 m、11年が 3.3 m、12年が 3.5 m となっている。また、B 地点の平成10年~12年の透明度は $1.0 \sim 6.0 \text{ m}$ の範囲で年平均値は平成10年が 1.7 m、11年が 3.1 m、12年が 3.6 m となっている。A、B 両地点ともほぼ同じ値で推移し、平成10年を除いては5~6月及び10月が高くなっている。

4.9 底質の調査結果 (図15~17)

ダム湖 A、B 両地点と流入3河川を比較してみると、特にダム湖底質の COD の含有量が流入河川の10倍以上と高く、T-N、T-P 等でもダム湖 A、B 両地点が流入3河川を上回っていることが多い。流入3河川で比較してみると、岩瀬川の T-P が他の2河川よりも比較的高い濃度になっている。

ダム湖及び流入河川の底質中の各項目の含有量を平成10~12年度の年度別に比較すると、COD については、流入河川は変化が見られないが、ダム湖では平成12年が比較的高い傾向を示している。T-N については、ダム湖及び流入河川ともに平成10年~12年にかけて年々減少している。T-P については、ダム湖及び流入河川ともに平成11年が最も高くなっている。また、平成10年及び12年を比較すると、流入河川では3河川ともにほぼ同じ濃度であるが、ダム湖では12年の方が高くなっている。

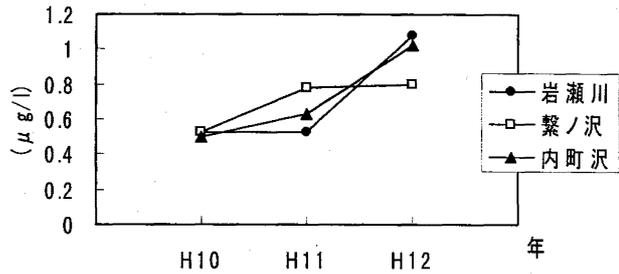


図13 山瀬ダム流入河川のクロロフィルa変化

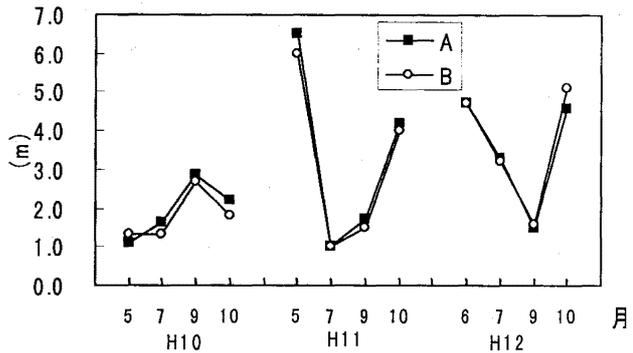


図14 山瀬ダムの透明度の推移

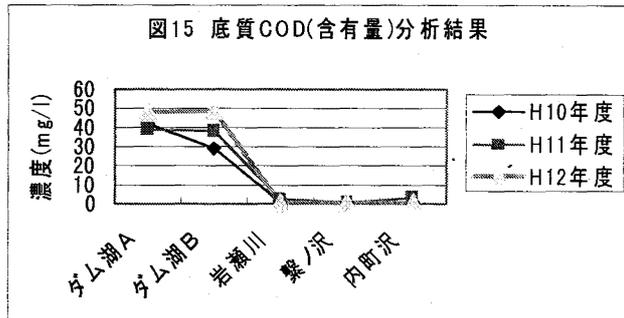


図15 底質COD(含有量)分析結果

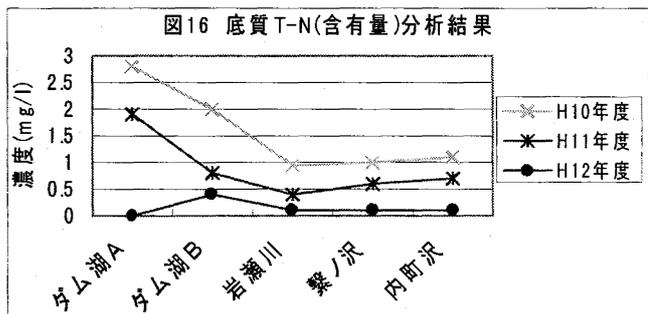


図16 底質T-N(含有量)分析結果

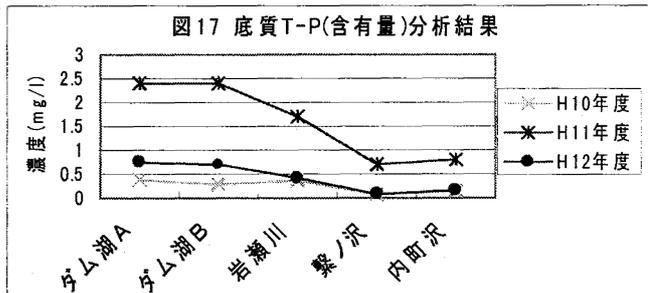


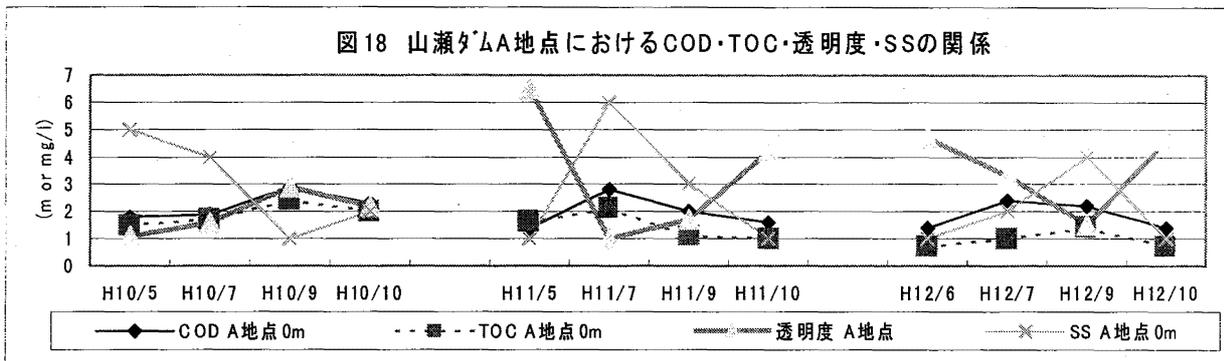
図17 底質T-P(含有量)分析結果

5. 考察

5.1 山瀬ダムの透明度、COD、SS との関係

平成 11 ~ 12 年のダム湖内の透明度は、平均 COD 濃度及び SS が高いと悪くなり、逆に低いとよくなる傾向がみられる(図 18)。しかし、平成 10 年の調査では、SS 及び透明度が回復しても、COD が高くなる傾向があり、特に 9 ~ 10 月の COD が高い。その原因として、TOC 濃度が COD と同様に高くなっていることから、春頃から比較的長い期間にわたり、たくさんの雪解け水や雨水が流入河川等を経て、大量の土砂と共にダム湖内に流入したこと

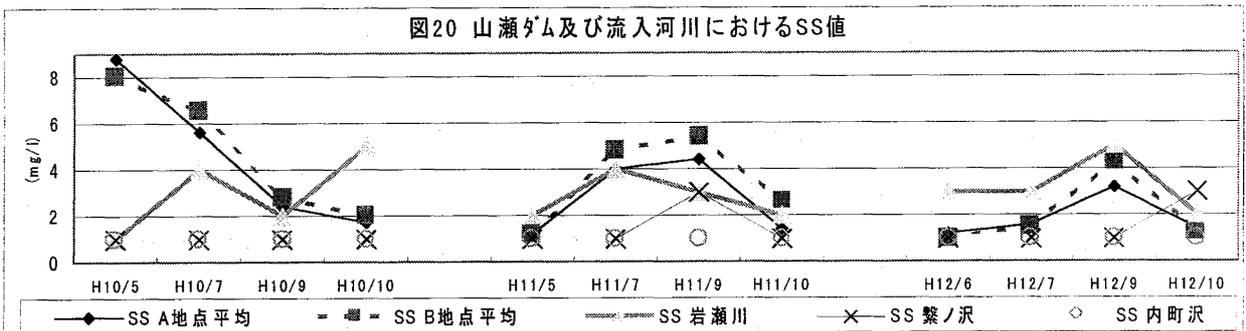
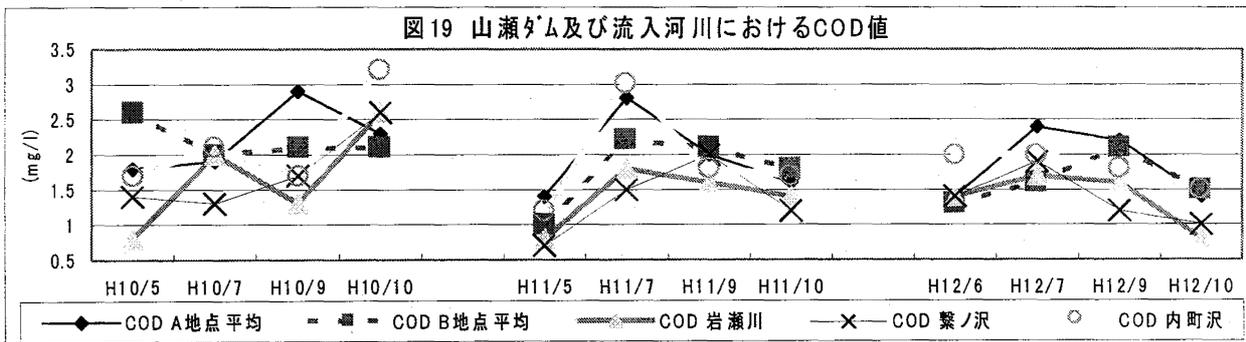
で 5 ~ 7 月頃の SS が高く、ダム湖内に大量に浮遊していた土砂等の有機成分が、後に溶存性有機物として残留したことで 9 ~ 10 月の COD が高くなったものと推定される。また、10 月については特にクロロフィル a が高かったことなどから、内部生産による COD の上昇が主な原因であると考えられる。また、透明度が 2 m 以下の時は、表層の SS が 3 mg/L 以上、透明度が 4 m 以上の時は表層の SS が 1 mg/L となっている。

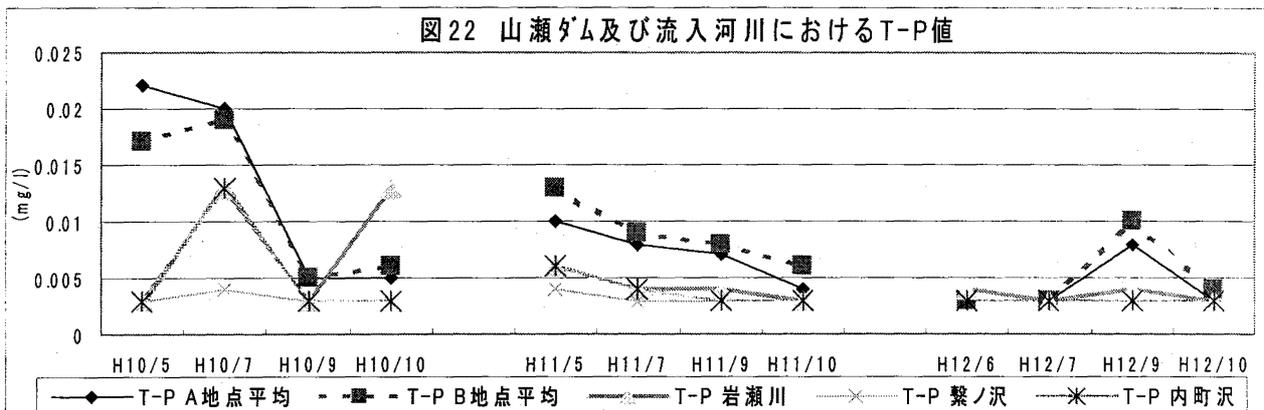
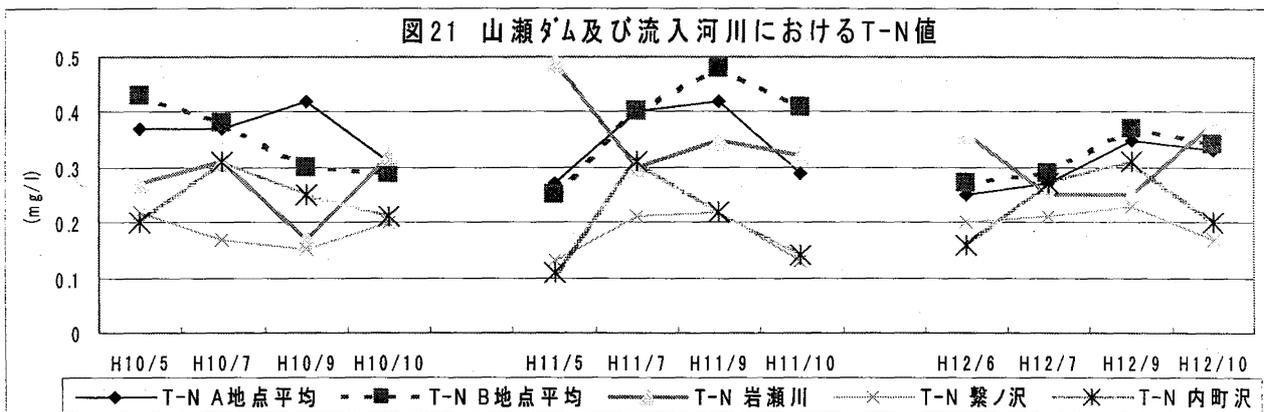


5.2 流入河川による山瀬ダムへの影響

山瀬ダムに流入する3河川のうち、岩瀬川の流量が約 6 割前後(46 ~ 70 %)と最も多く、内町沢及び繋ノ沢がそれぞれ約 2 割前後(内町沢 13 ~ 25 %, 繋ノ沢 12 ~ 29 %)である。また、岩瀬川の SS, T-N, T-P 濃度(年平均濃度 SS 3 mg/L, T-N 0.27 ~ 0.37 mg/L, T-P 0.004 ~ 0.008 mg/L)が他の 2 河川よ

り高く(図 20 ~ 22), 内町沢の COD(年平均濃度 1.8 ~ 2.2 mg/L)が他の 2 河川より若干高い傾向がある(図 19)。以上のことから、ダム湖内の水質及び底泥の堆積には、岩瀬川が大きく関与していると考えられる。また、繋ノ沢は SS, T-N, T-P, COD 等の濃度が 3 河川中最も低く、ダム湖内への影響がほとんどないものとみられる。





5.3 岩瀬川の特徴及び山瀬ダムへの影響

ダム湖の pH がやや低くなっているのは、流入する3河川のうち、岩瀬川の酸性化による影響と考えられる。また、岩瀬川の T-N, T-P 等の濃度が他の2河川より高いこと、そして、岩瀬川の近くで赤倉鉦山の排水が流出していることから、平成11年～12

年には岩瀬川の上流部を含め、赤倉鉦山旧抗口、赤倉沢橋の pH, COD, T-N, T-P などの主な項目について追加調査を行った。

赤倉鉦山旧抗口から山瀬ダムまでの pH を平成11年度については図23、12年度については図24に示す。(山瀬ダム A 及び B は表層のデータを使用)

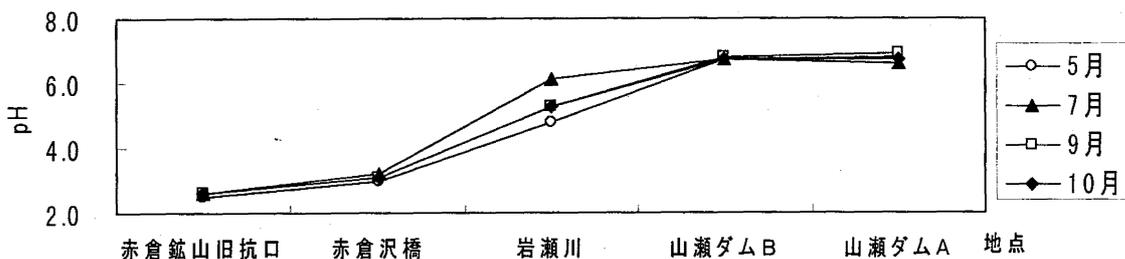


図23 赤倉鉦山旧抗口から山瀬ダムまでのpH変化(H11)

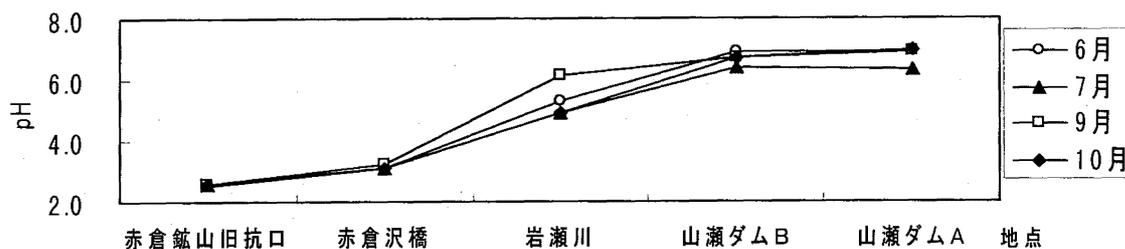


図24 赤倉鉦山旧抗口から山瀬ダムまでのpH変化(H12)

赤倉鉱山旧坑口の平成11年～12年のpHは2.5～2.6、赤倉沢橋のpHは3.0～3.2の酸性水であり、pH値の幅がほぼ一定である。また、赤倉鉱山旧坑口及び赤倉沢橋の酸性水が合流する前の岩瀬川の上流水のpHは6.9～7.3の中性で、ほとんど変化がみられないが、酸性水合流後の岩瀬川のpHは4.8～6.1の弱酸性水となっており、pHの変動が大きくなっている。以上のことから、岩瀬川の酸性化の原因は、休廃止鉱山の赤倉鉱山の酸性排水が赤倉沢橋を経て岩瀬川に流入しているためであり、酸性水合流後の岩瀬川のpHの変動が大きいのには、降雨等による赤倉沢橋から岩瀬川に流入する水量の変化も考えられるが、上流部から流れてくる岩瀬川自体の水量の変化が主な原因であると推察される。

また、赤倉鉱山旧坑口排水が、硫酸イオン、T-Fe、Al、Ca、ケイ酸等を高濃度に含有した硫酸酸性水

であるが、その酸性排水が岩瀬川へ合流した後、pHの急激な上昇とともに硫酸イオン、T-Fe、Al、Ca、ケイ酸等の濃度が大きく低下している。また、岩瀬川上流と比べて酸性水合流後の岩瀬川のSSが上昇する傾向があることから、硫酸イオン、T-Fe、Al、Ca、ケイ酸等の沈殿物がSS濃度を高める原因の一つであると考えられる。

赤倉鉱山旧坑口から山瀬ダムまでのCODの濃度変化については図25～26に示す。(山瀬ダムA及びBは表層のデータを使用)

赤倉鉱山旧坑口、赤倉沢橋及び岩瀬川のCODは、ダム湖より低いかほぼ同じ濃度となっている。これは、赤倉鉱山旧坑口排水の有機物の含有量が少なく、また、強い酸性水のために内部生産によるCODの増加も、ほとんど望めないことによるものであると考えられる。

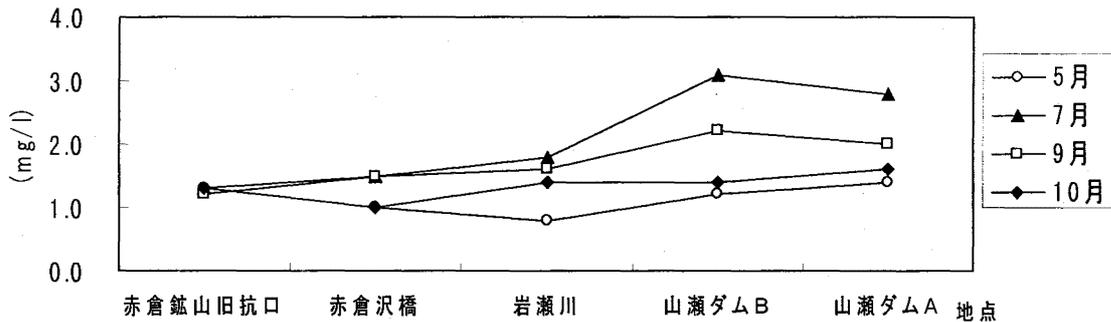


図25 赤倉鉱山旧坑口から山瀬ダムまでのCOD変化(H11)

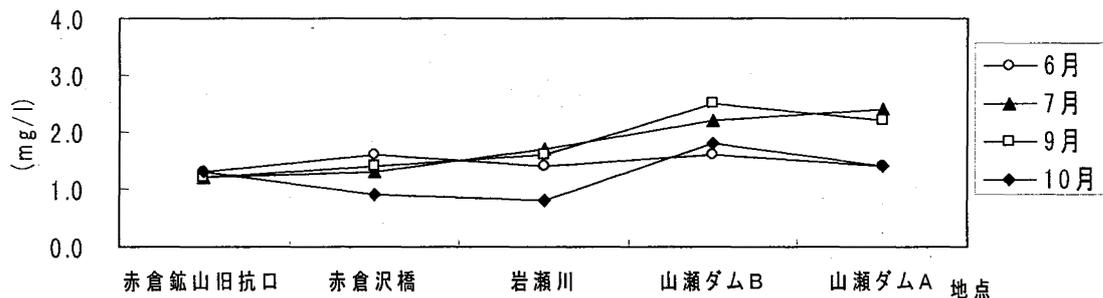


図26 赤倉鉱山旧坑口から山瀬ダムまでのCOD変化(H12)

赤倉鉱山旧坑口から山瀬ダムにいたるT-Nについては図27～28に、T-Pについては図29～30に示す。(山瀬ダムA及びBは表層のデータを使用)

T-N、T-P濃度は、赤倉鉱山旧坑口で非常に高くなっているが、赤倉沢橋では特にT-Pが大きく減少し、酸性水合流後の岩瀬川ではダム湖とほぼ同じ濃

度となっている。岩瀬川上流(酸性水合流前)と酸性水合流後との水質を比較すると、酸性水合流後にはT-N濃度が約3倍上昇しており(平均T-N濃度、上流0.12～0.13 mg/L、合流後0.31～0.37 mg/L)、岩瀬川及びダム湖のT-N濃度を押し上げる大きな要因となっている。

また、T-P については岩瀬川上流でもある程度検出され、酸性水合流後でも T-P 濃度がほとんど変化していないことから、酸性水及び岩瀬川上流水とも

にダム湖内への T-P の蓄積に関与していると考えられる。

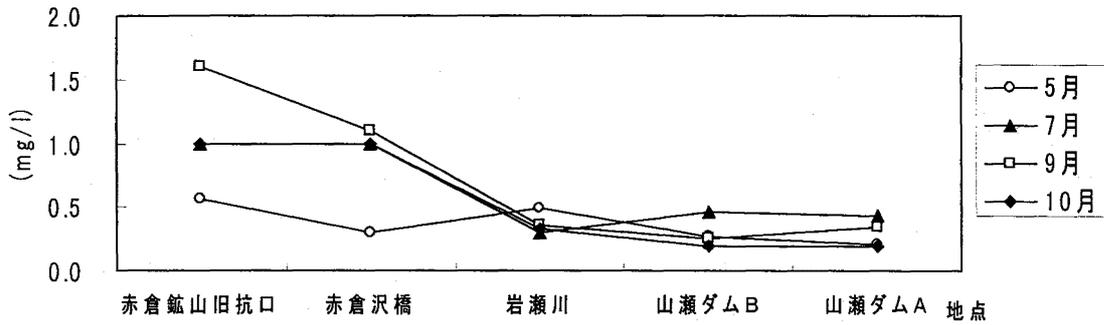


図27 赤倉鉦山旧抗口から山瀬ダムまでのT-N変化(H11)

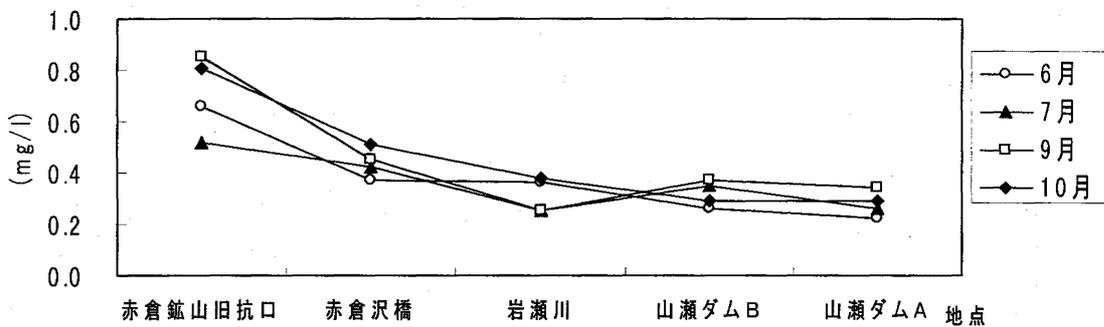


図28 赤倉鉦山旧抗口から山瀬ダムまでのT-N変化(H12)

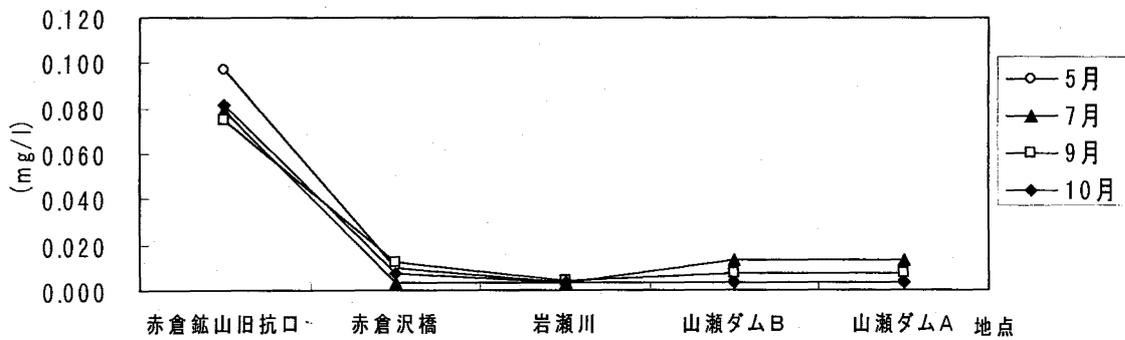


図29 赤倉鉦山旧抗口から山瀬ダムまでのT-P変化(H11)

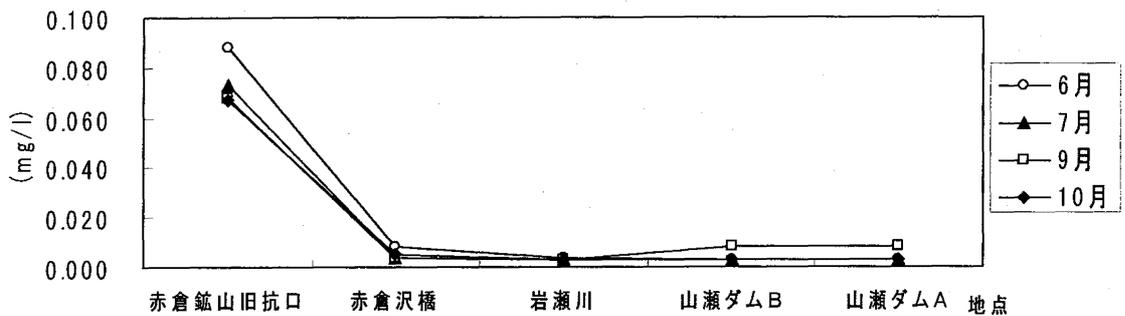
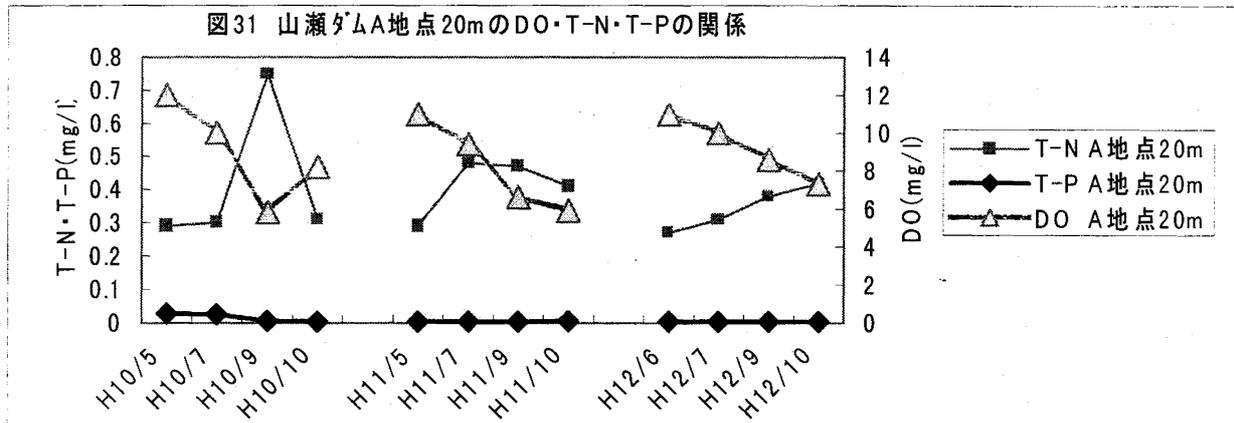


図30 赤倉鉦山旧抗口から山瀬ダムまでのT-P変化(H12)

5.4 山瀬ダムの内部生産 (図 31)

7～9月にかけてダム湖内の表層水の水温上昇に伴い、表層のクロロフィル a 濃度の上昇がみられ、COD 濃度も高くなる傾向があることから、この時期には植物プランクトンの内部生産により COD が

上昇していると推察される。また、9～10月には10～15 m 以深で DO の減少がみられると同時に T-N が高くなる傾向があるが、T-P には大きな変化は認められないため、栄養塩の溶出はわずかであると考えられる。



5.5 まとめ

山瀬ダム湖内 (A 地点全層) の年平均 COD 濃度は、平成 10 年 2.1 mg/L, 11 年 1.6 mg/L, 12 年 1.4 mg/L となり年々減少する傾向にあるが、平成 10～11 年の大雨・長雨等による自然発生的な要因で一時的に水質が濁ったことによるものと考えられる。また、平成 4～9 年の過去 6 年間の年平均 COD 濃度 (平成 4 年から順に 1.4 mg/L, 1.1 mg/L, 1.3 mg/L, 1.5 mg/L, 1.4 mg/L, 3.8 mg/L) と比較しても、平成 9 年度を除き大きな変化はなく、水質汚濁がほとんど進行していないと考えられる。

山瀬ダムの上流部には人為的な汚染がほとんどないことから、ダム湖内の COD 上昇の原因としては、流入河川からの SS 成分の流入と、湖内の植物プランクトンによる内部生産が主な要素であると考えられる。

今後、山瀬ダムの水質が環境基準を超過している他のダム湖の水質レベルまで悪化する可能性は低いと思われるが、年月の経過と共にダム湖内に堆積す

る有機物等の増加によっては、ダムが徐々に富栄養化する可能性も考えられる。したがって、山瀬ダムの水質調査を継続的又は定期的を実施し、水質の変化を長期的に監視することが望ましい。

参考文献

- 1) 人工湖の水質汚濁機構解明に関する調査研究 (第 1 報) - 萩形ダム、山瀬ダム -, 秋田県環境技術センター年報, 第 20 号, 98-106, 1992.
- 2) 人工湖の水質汚濁機構解明に関する調査研究 (第 2 報) - 萩形ダム、山瀬ダム -, 秋田県環境技術センター年報, 第 22 号, 45-55, 1994.
- 3) 人工湖 (皆瀬ダム・山瀬ダム) の水質汚濁機構解明に関する調査研究, 秋田県環境技術センター年報, 第 25 号, 50-56, 1997.
- 4) 山瀬ダム (パンフレット), pp.1-4, 秋田県山瀬ダム・発電所建設事務所, 1990.