

諏訪湖及び天竜川上流部の水質改善について

研究第二部 主任研究員 若 森 敦 裕

1. はじめに

天竜川はその源を八ヶ岳に発し、いったん諏訪湖に流入した後、釜口水門から南下し遠州平野を経て太平洋に注ぐ一級河川である。天竜川上流部に位置する諏訪湖は、日本を代表する湖沼のひとつであるが、昭和30年代後半からの水質の悪化に伴い、昭和61年に湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼となり、種々の水質改善施策が行われたものの未だ環境基準の達成には至っていない。このため、天竜川上流部についても諏訪湖の水質の影響を受け上流区間ほど水質が悪いという特異な水質環境にある。

当センターでは、諏訪湖の水質及びその影響を受ける天竜川上流部の水質の将来的な動向を予測し、その改善に向けた長期的方策を検討してきたが、本報文では、特に諏訪湖の将来水質予測に関するシミュレーションを中心として業務の概要を紹介する。

2. 諏訪湖の概要

諏訪湖は近くの変動、断層等によって生まれた諏訪盆地の一部に湛水して形成された湖面積13.3km²、貯水量約6,300m³の自然湖沼である。表-1に諏訪湖の諸元を、図-1に流域図を示す。近年の富栄養化の進行が著しく夏期を中心にアオコが発生し観光地としての魅力を損なっている。

2.1 流域の社会環境

諏訪湖の流域内の諸元を表-2に示した。流域内人口は約18.3万人で、入り込み観光客数は宿泊客が年間約533万人、日帰り客が年間約1,320万人となっている。諏訪湖の産業は古くは製糸業が隆盛を極めたが、昭和に入って精密機械産業が発達し、近年はハイテク先端産業主体である。

表-1 諏訪湖の諸元

湖 面 積	13.3km ²
水 深	最大 7.2m、平均 4.7m
貯 水 量	約6,300万m ³
滞 留 時 間	約40日間
流 入 河 川	31河川
流 出 河 川	1河川
流 域 面 積	531.8km ²

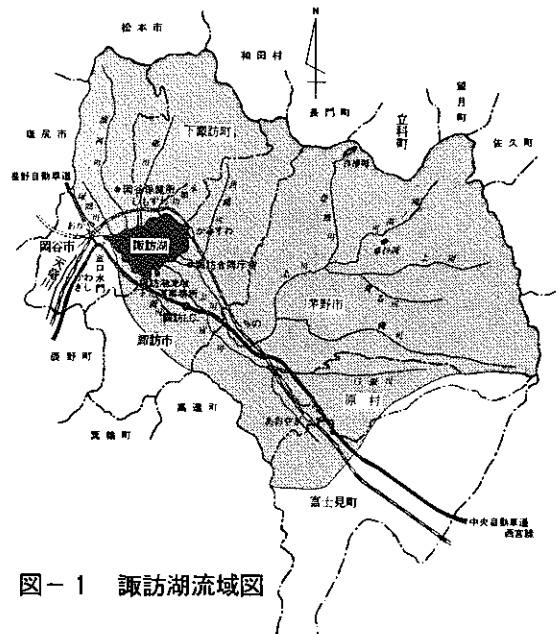


図-1 諏訪湖流域図

表-2 諏訪湖流域の諸数値 (平成3年値)

項 目		諸 元	
人 口		約18.3万人	
観 光 客 数		宿 泊：約 533万人/年 日 帰 り：約1,320万人/年	
土 地 利 用	市 街 地	32.08km ²	(6.0%)
	水 田	37.91km ²	(7.1%)
	畑	24.45km ²	(4.6%)
	山林原野	437.37km ²	(82.2%)
小 計		531.81km ²	(100.0%)
工 業 出 荷 額		約1.0兆円/年	
家 畜	牛	2,400頭	
	豚	950頭	
下 水 道 整 備 率		約56%	

2.2 諏訪湖の水環境

(1) 水理特性

諏訪湖の水理的流動を支配する要因は、流入、風、熱の非均一分布である。流入河川が31本で、流出河川は釜口水門を経た天竜川1本であるため、恒流成分は釜口水門へ向かう西の流れであると考えられる。滞留時間は年平均で見ると、28～54日間の範囲にあり、平均的には40日間である。

風は冬季には北西風、春から秋にかけては北西風と南東風がほぼ同じ頻度となる。湖流は風の影響を強く受け、表面層(0～1.0m)では風向きと同一に流れ、底層では補償流によって風上へ向かう流れとなる。成層については、水深が浅いため一般の湖沼に認められるような躍層の形成はない。

(2) 水質特性

表-3に諏訪湖の環境基準値を、図-2に諏訪湖の水質の経年変化を示した。昭和50年代後半より、有機物、栄養塩濃度とも横這い傾向にある。季節的变化についてみると図-3に示すように、COD、クロロフィルaとも、夏期に高濃度を示す傾向にある。夏期のアオコの発生等をみてもわかるように、諏訪湖の水質の季節的変動は、植物プランクトンの消長に大きく支配されているといえることができる。

栄養塩濃度は、T-N:1.1mg/l、T-P:0.1mg/l程度であり富栄養化限界値、環境基準値を大きく上回っている。

(3) 生物特性

植物プランクトンについては、出現種は40～50種程度で、夏期には藍藻、その他の季節では珪藻が優先する。夏期の藍藻は諏訪湖の水の華を形成する原因となっている。図-4に諏訪湖植物プランクトンの季節変化を示す。

大型水生植物については、1911年～67年までは富栄養化の進行に伴い現存量が増大したが、その後、富栄養化の過度の進行や、浚渫、湖岸の埋め立て等の進展によって現存量が減少している。

表-3 諏訪湖環境基準

COD	3 mg/l
T-N	0.6 mg/l
T-P	0.05 mg/l

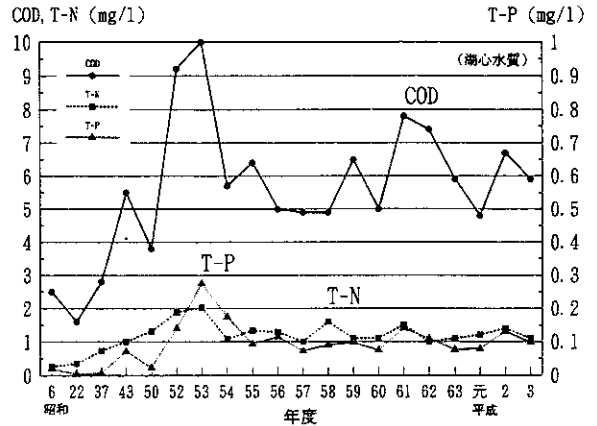


図-2 諏訪湖水質経年変化

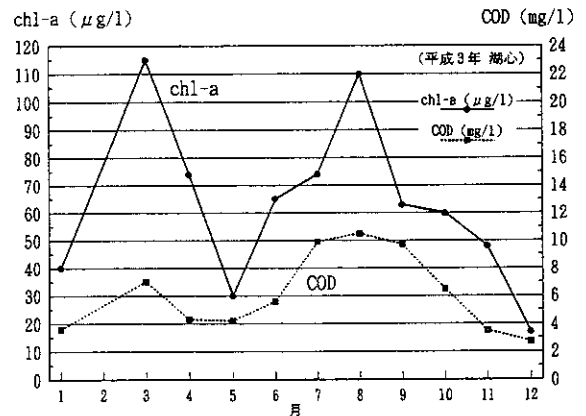


図-3 諏訪湖水質季節変化

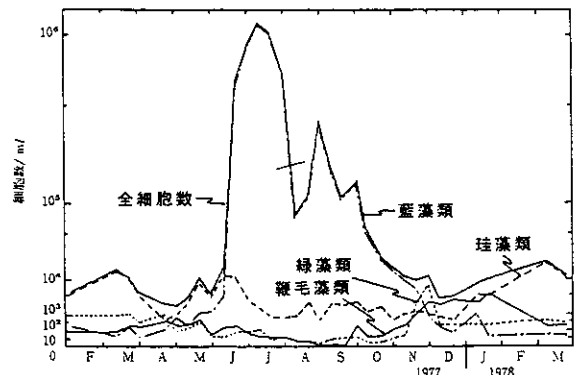


図-4 諏訪湖植物プランクトンの季節変化

3. 水質改善目標の設定と水質モデルについて

諏訪湖及び天竜川上流部の水質改善を検討するにあたり流域の動向を踏まえた目標水質の設定と、水質予測シミュレーションモデルの構築をおこなった。

3.1 目標水質

地元においては諏訪湖再生のスローガンとして「泳げる諏訪湖」という言葉が定着している。この「泳げる」という抽象的な概念を、水質として表わすこととし、実際に諏訪湖で湖水浴が行われていた頃の水質や、霞ヶ浦における水浴と水質の関係に関する知見等に基づき以下の値を採用した。

夏期(7~9月)のCOD平均値 3~5mg/l

この値における透明度は長野県の実験値より1.2~1.4mとなることがわかっており、親水活動において十分な値と判断できる。また、大腸菌群数に関しても考慮する必要があるとして検討を行ったが、下水道整備の進捗と、大腸菌群数との相関を調べた結果、本業務における目標年次においては大腸菌群数で1,000MPN以下に収まるとの結論を得たため目標とする水質項目として言及することはおこなわなかった。

3.2 水質モデルの概要

施策の評価に用いるモデルは、諏訪湖が水深が浅く水温成層が顕著でないこと、湖流解析(富所1986)の結果等を勘案し、湖全体を1つの完全混合槽と仮定し、植物プランクトンの消長を取り扱った生態系の動力学モデルとした。

図-5、6に水質予測モデルの概念図を示した。本モデルの特徴は、諏訪湖における藻類群集構造の季節的变化を考慮し、藻類を藍藻、珪藻、緑藻に区分して、それぞれの水温や栄養塩、日射量などの環境条件に対する応答を個別に取り扱えるものとしていることにある。モデルの有効性は平成3年を対象とした現況同定を実施することにより検証した。その結果、季節的変動パターン及び濃度レベルとも再現性は充分と判断された。計算結果を図-7に示す。

- ①植物プランクトン 珪藻類、藍藻類、その他
- ②動物プランクトン
- ③無機態窒素
- ④有機態窒素 溶解性非生命体、懸濁性非生命体、生命体
- ⑤無機態リン
- ⑥有機態リン 溶解性非生命体、懸濁性非生命体、生命体
- ⑦有機物 溶解性非生命体、懸濁性非生命体、生命体

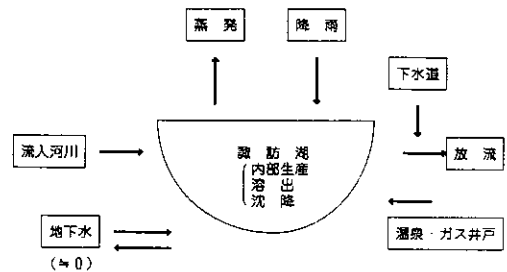


図-5 ワンボックスモデルの概念図

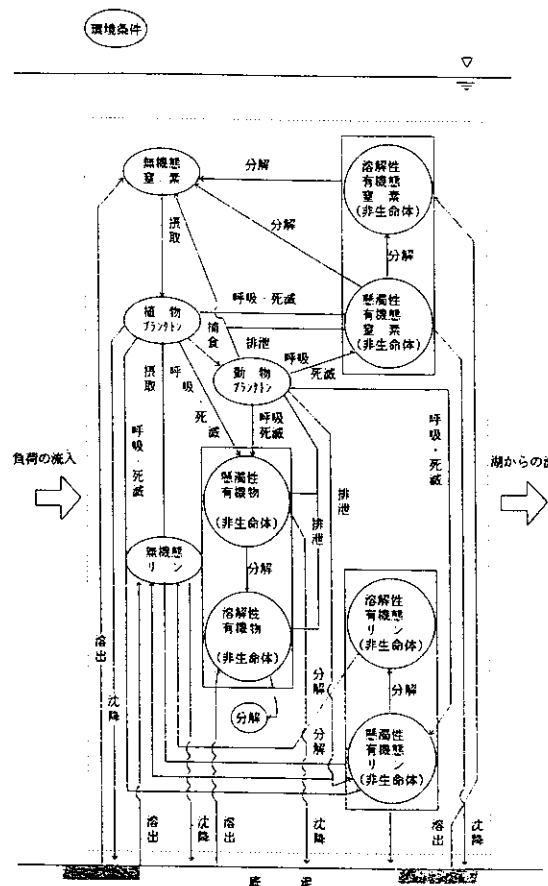


図-6 水質予測モデルの概念図

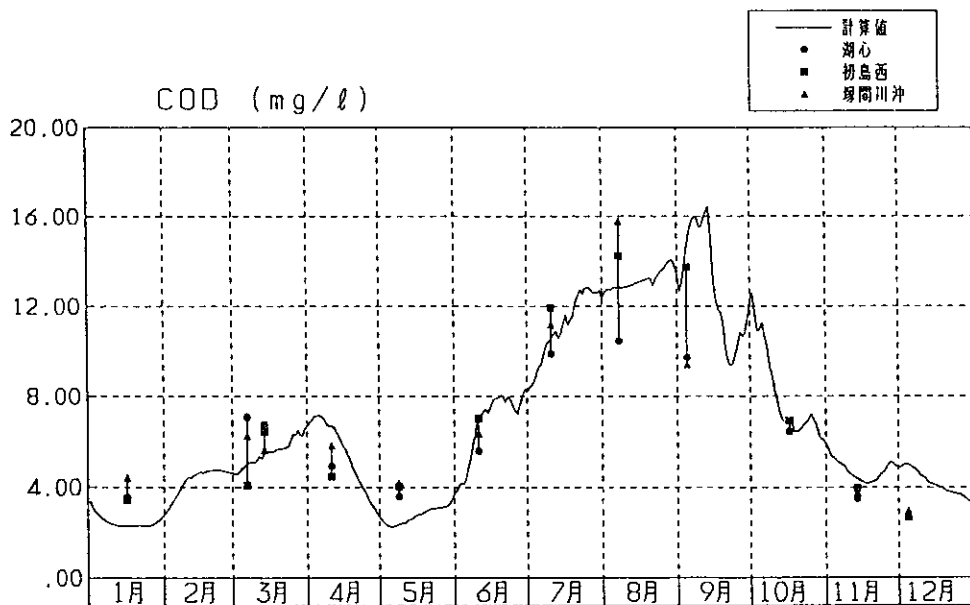
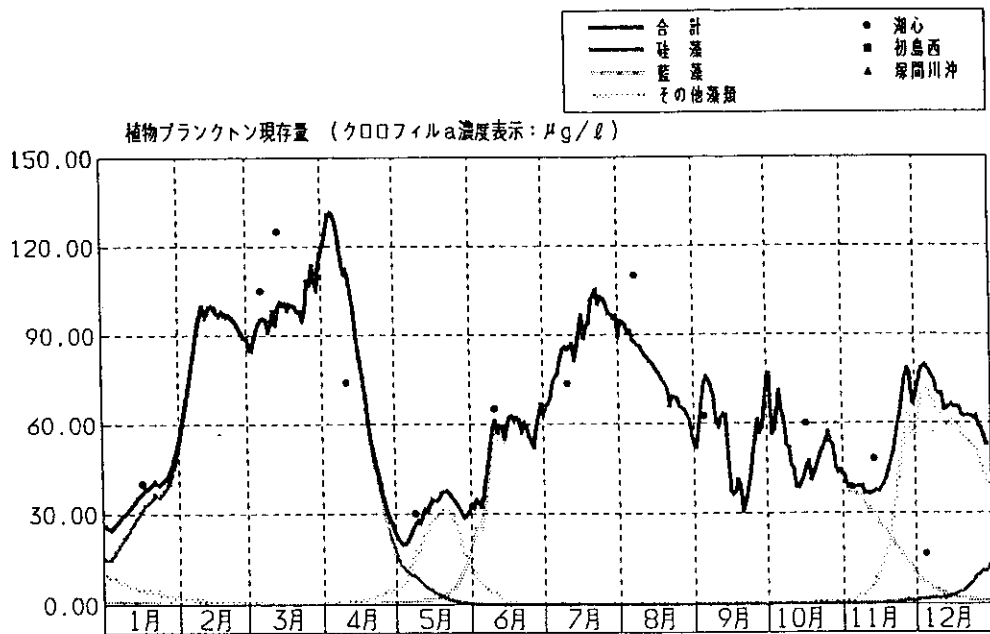


図-7 水質現況同定結果 (平成3年)

4. 諏訪湖における負荷量収支について

諏訪湖の将来水質予測の実施に当たり、流域の将来フレームから発生源別の排出負荷量の構成や流達負荷量について検討した。なお、将来対象年次は概ね20年後の平成23年とし、下水道整備率を100%としている。今回の検討により諏訪湖の負荷量収支を自治体別、河川別に明らかにできたことは、今後の行政、自治体、住民等の水質改善に向けた具体的行動を起こしていく際に有用な資料として活用することが期待される。結果について図-8、9に示す。

水質環境から将来の諏訪湖流域について概観すると、下水道整備の効果により、人間活動、事業所由来の負荷（点源負荷）が削減され、河川由来の流入負荷量については、COD、T-Nが約40%、T-Pについては約70%の削減となる。一方汚濁源の特定が難しい面源負荷（農地、山林原野、市街地負荷等）については将来的に現況で推移することとなり、将来の負荷構成の大部分を占めることが予測される。特に汚

染源の特定が困難な山林原野等からの負荷については、流入河川において浄化を実施するしか対策がなく、この意味で河川管理者が水質改善に果たす役割は増大していくことも予想される。

また、算定した排出負荷量をもとに各河川毎の流達負荷量算出したが、諏訪湖に流入する排出負荷量のうち、総窒素については流達する率が1.72という値になり、排出負荷の算定結果以上が不特定な負荷が流入する減少がみられた。

流達負荷量は実測の水質・水量の観測結果に基づき算定されるため、問題は排出負荷量の算定精度にあると思われる。原因は浅層地下水からの負荷の再溶出等が考えられるが、水文環境における地下水の収支の解明も含め、今後の検討が必要な事項である。

また、洪水時の流入負荷特性を把握するため、平成5年度に洪水時水質調査を実施した。その結果、図-10に示したとおり、流量の増加に伴い流路内に蓄積された負荷が一挙に流出することが明らかとなった。

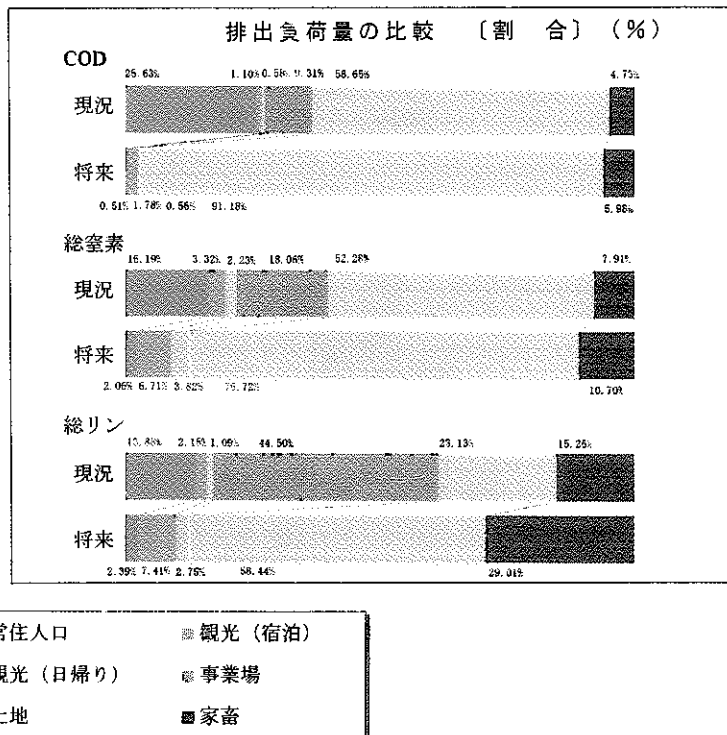


図-8 平成3年と23年の排出負荷量の比較

5. 水質改善方策とその効果

5.1 基準ケースにおける検討

前項において検討した将来の負荷量構成を元に、水質予測計算を実施した。

水質予測計算にあたっては、最初に基準ケースとして、現在鋭意実施されている下水道整備と底泥浚渫が完了したものと仮定した計算を実施した。

対象水文年次における諏訪湖流入量の経年変化及び計算結果を図-11、12に示す。

計算結果について考察すると以下のとおりである。

- 一年平均水質としてみた場合には、現況（平成3年）より水質は改善されているものの、目標とする夏期に泳げる諏訪湖の達成には至らない。
- 流況の良い平水年の水質は、渇水年に比較して良好なものとなっている。
- いずれの年においても6～7月にかけて出水があり、この時にかなりの量の栄養塩が流れ込むため、植物プランクトンが増殖しクロロフィルa濃度が上昇し、水質悪化の要因となっている。

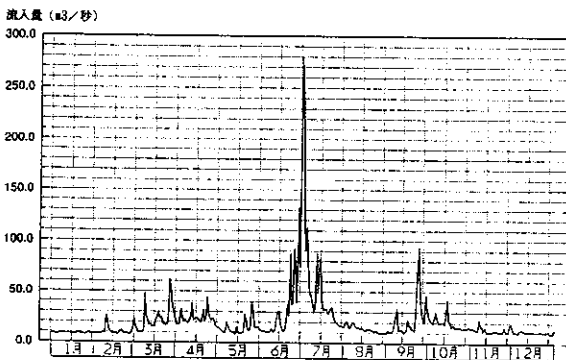


図-11 平水年（1985年）における流入量の経時変化

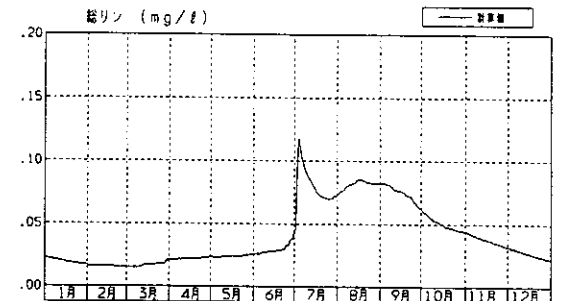
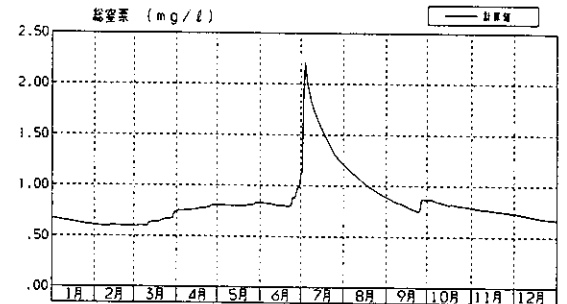
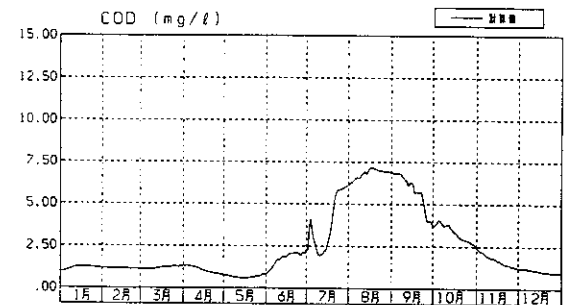
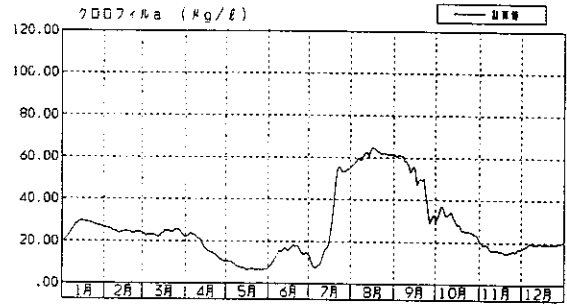


図-12 将来フレーム下での湖内水質予測結果

5.2 水質改善方策とその効果

水質改善策の検討は、基準ケースに想定される各種施策を組み合わせたケースを各種設定し、各々の改善効果評価という形で行った。水質保全方策は、大きく流域内対策、流入河川対策、湖内対策の3つに大別し、それぞれにおける削減負荷量の算出、水質の予測を行った。水質改善策の検討に当たっては現行法体系や、事業費の面から実施可能と考えられるもの（レベルⅠ）と、実施には多くの困難や課題に伴うもの（レベルⅡ）に区分して幅広く検討をおこなった。施策の組み合わせについては表-4のとおりである。

また、図-13に予測計算結果の一例を示す。なお、計算結果は平水年次の年平均値と夏期平均値について表示した。平水年の計算結果のみについて示した。

シミュレーション結果を考察すると以下のとおりである。

- 下水道整備や、底泥浚渫によって、将来的に環境基準値をCOD、T-Pについて達成可能である。年平均値でT-Nの環境基準を達成するには、ケースVまでの施策を実施することが必要である。
- 泳げる諏訪湖の実現には、夏期にCODを5mg/l以下に落とすことが必要であるが、これを実現するにはケースVまでの施策を組み合わせる必要がある。
- シミュレーション結果から見ると、出水による一挙的な負荷の流出の後、諏訪湖の水質悪化が認められる。このため、出水時の河川水バイパスについて、今後検討が必要と考えられる。

表-4 水質改善施策シミュレーションケース

水 質 浄 化 対 策		項 目						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
現 行 施 策	下水道整備の完成（高度処理）	○	○	○	○	○	○	○
	底泥浚渫の完了	○	○	○	○	○	○	○
レ ベ ル Ⅰ	流域内対策		○	○	○	○	○	○
	流入河川対策		○	○	○	○	○	○
	流内対策		○	○	○	○	○	○
レ ベ ル Ⅱ	流域内対策					○	○	○
	流入河川対策						○	○
	流内対策							○

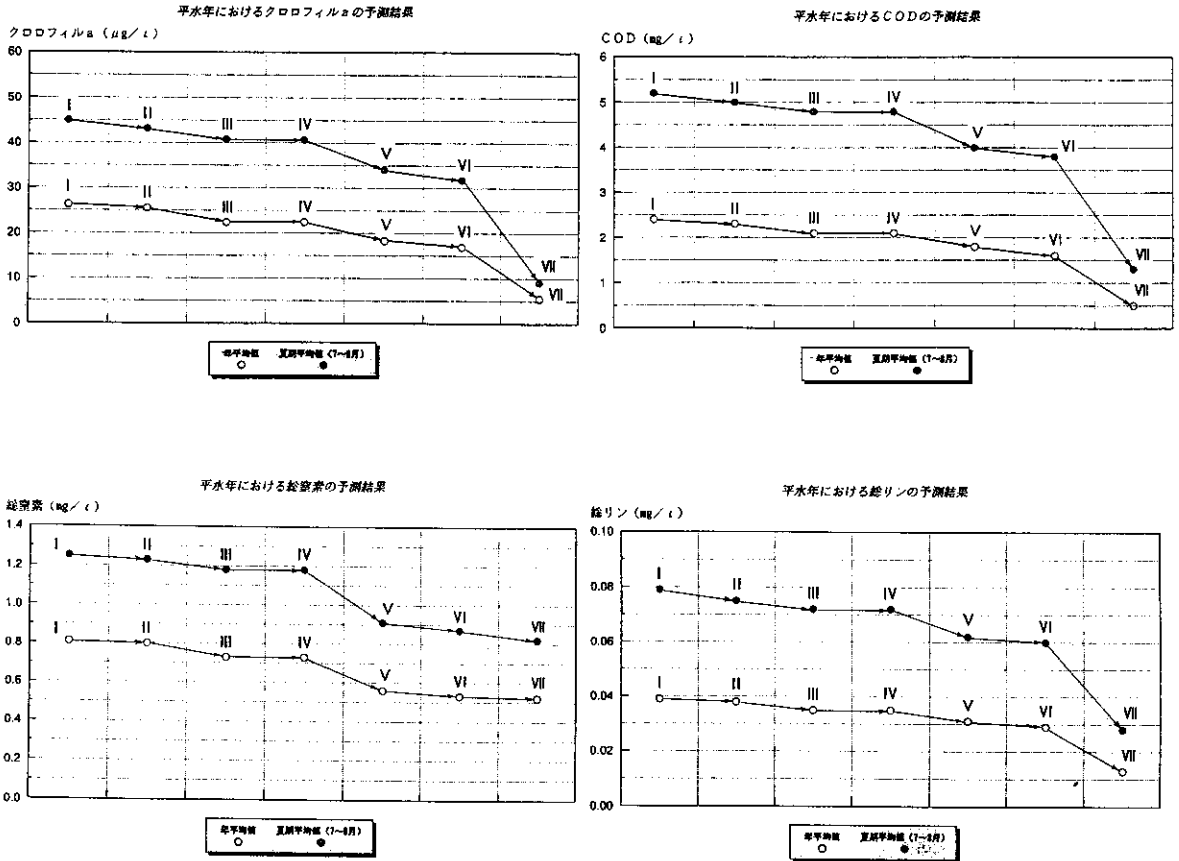


図-13 水質改善方を想定した将来水質予測結果

6. おわりに

泳げる諏訪湖の再生を目指した、総合的水質改善検討調査の一部を紹介した。

現在、鋭意実施されている下水道整備や底泥浚渫の進展によって、諏訪湖の水質は大きく改善されるものの、「泳げる諏訪湖」の実現には、実行が困難なものも含め、更に思い切った施策の展開が必要であることが明らかになった。

特に、将来的に汚濁負荷の大半を占めることが予測される非点源負荷の削減については、現時点で抜本的な対策手法が確立されておらず、住民も含めた流域の諸活動に関わる各主体の責任ある参加と行動を前提とした、具体的なアクションプログラム（行動計画）策定の必要性を痛感した次第である。

水質予測モデルに関しては、水質の季節変化をある程度取り扱えるように構築しているが、季節変化については、プランクトン優先種、気象条件をはじめ多くの条件が複雑に関連していると考えられ、非常に特異な状況を示す年（例えばアオコの発生の有無）について、諸係数値の設定等も含めて、精度よく再現することまでは困難であった。

また、地下水については既存データも少なく、今回のモデルでは、本格的に取り扱うことができなかったが、地下水水質への影響の把握や、その改善には長期間を要するため、基礎資料の収集等を含めて、今後、そのしくみを解明していくことが必要と考えられる。