

# 36

# URBAN KUBOTA

アーバンクボタ・SEPTEMBER 1997 特集＝諏訪湖

株式会社クボタ



東側上空から俯瞰した諏訪湖の航空写真、山頂部に雪の積もる後方右側の山脈は穂高連峰、1980年11月、撮影／渡辺まなぶ。

Kubota

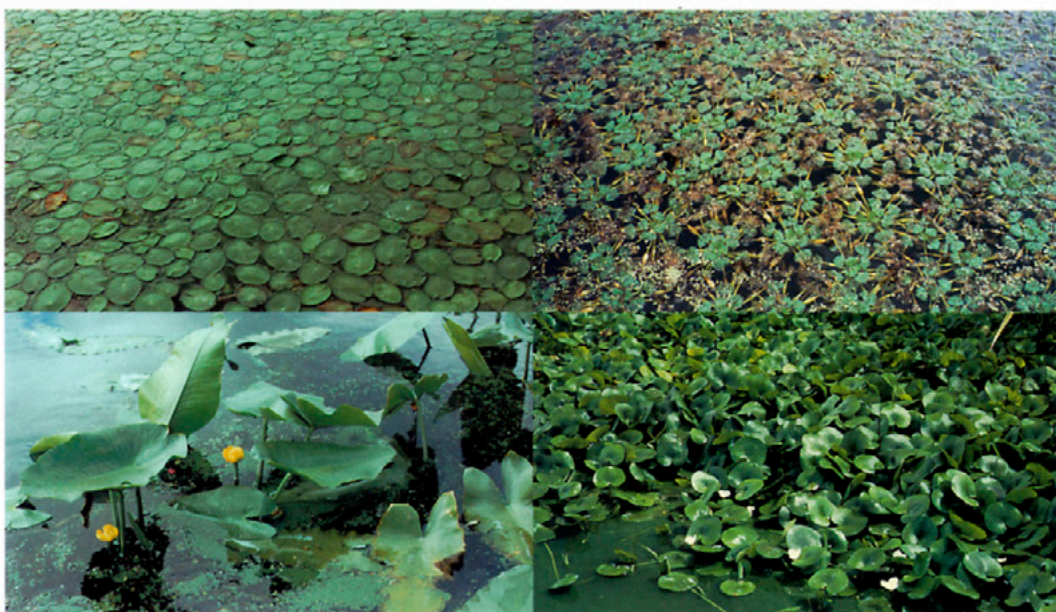


● 諏訪湖の水生植物



《抽水植物》

左上＝ヨシとマコモの群落、手前の水際の植物がマコモ、その後方がヨシ。  
左下＝ミクリ 右＝マコモ



《浮葉植物》

左上＝アサザ 右上＝ヒシ  
左下＝コウホネ 右下＝トチカガミ



《沈水植物》

左：①クロモ ②コカナダモ ③センニンモ  
④セキシウモ  
中：左＝ヒロハノエビモ 右＝エビモ  
右：左＝ヤナギモ 右＝ササバモ

〔写真提供/渡辺〕



# URBAN KUBOTA 36

アーバンクボタ NO.36 SEPTEMBER 1997 株式会社クボタ

目次

特集 = 諏訪湖

1	諏訪湖の生立ち.....	2
	- 諏訪盆地とその周辺地域の地史の概要 -	
	熊井久雄	
2	水質の変遷.....	12
	渡辺義人	
3	生物相の変遷 .....	20
	沖野外輝夫	
4	まちづくり懇談会と日独セミナー .....	42
	藤原正男	
5	湖岸の再生計画 .....	46
	荻原敬三	
6	都市景観計画と湖沼浄化 .....	54
	- 日独セミナーから -	
	飯田 実	



湖岸の再生状況(本文第5章参照)

写真上 = 修景された湖岸。水辺にはなぎさがつくられ、湖岸には湖畔林が植栽され、遊歩道が設けられた。散策する人々も増え、親しみやすい湖畔へと面目を一新している(1997年8月撮影)

写真中 = 新たに創出された水生植物帯。水生植物帯の中には、水路のような開水面が自然に形成されている(1997年3月撮影)

写真下 = 整備中の湖岸。既設のコンクリート護岸の前面が盛土され、水生植物が植栽されている。遠方には未整備の護岸が見える(1997年8月撮影)

〔写真・文ノ沖野〕

発行所 = 株式会社クボタ

大阪市浪速区敷津1丁目2番47号

発行日 = 1997年9月

編集製作 = (有)アーバンクボタ編集室

図版作成 = スタジオ・ツノ

印刷 = 大日本印刷株式会社大阪工場



# 諏訪湖の生い立ち

- 諏訪盆地とその周辺地域の地史の概要 -  
語り手 / 熊井久雄 = 大阪市立大学理学部教授

## 諏訪盆地周辺の古期岩類

《西南日本の帯状構造と糸魚川 - 静岡構造線》

編集 諏訪盆地の周辺には、古生代から新生代まで様々な地質年代の地層・岩体が分布しているだけでなく、この地域には、日本の主要な構造帯が集まっていて、その構造帯のずれたところに諏訪盆地がつかられていると聞いております。それで今日は「諏訪湖の生い立ち」というよりは、むしろ諏訪盆地とその周辺地域の地質に重点をおいて、地質図を中心にお話しただけだと思います。

熊井 では、まず最初に日本の大きな地質構造からみて、諏訪盆地がどのような位置にあるかを見てみます。図1・2は、中部日本の主な地質構造線と地質区を描いたものです。この図は、日本列島の土台を構成する最古期 - 古期岩類の地質構造を示したのですが、中部日本の場合には、この古い地質構造が、フォッサマグナ地域によって大きく割られている点に最大の特徴があります。

そのために本州弧の最も大きな地質区は、東北日本と西南日本および両者の境界地帯であるフォッサマグナ地域に区分されることになります。諏訪盆地は、フォッサマグナ地域の西縁、糸魚川 - 静岡構造線に接したところに形成されています。

糸魚川 - 静岡構造線は、本州中央部を南北に縦断する大断層で、この構造線を境にその西側が西南日本になります。西南日本の地質構造は、北から南へ、飛騨帯、美濃帯、領家帯、三波川・御荷鉾帯、秩父帯、四万十帯の順に配列し、それぞれの地質区を特徴づける中・古生層、花崗岩類、変成岩類などが分布します。領家帯と三波川帯とを境しているのが中央構造線で、これより北側は西南日本内帯、南側は西南日本外帯に分けられます。

中国・四国地方から近畿地方をへて中部地方西部までは、これらの地質構造が東西方向に整然と配列し、きれいな帯状構造をつくっているのですが、中部地方東部になると、図のように東西方向から南北方向へと向きを変え始め、やがて糸魚川 - 静岡構造線によって折

り曲げられ、新しい地層に覆われてその姿が隠れてしまいます。

もともと、この帯状構造は東方へ連続している、それが、新第三紀前期中新世から始まる一連の大変動によって、現在は地下深くに潜在しているものです。ですから、この変動の影響が少ない場所では、フォッサマグナ地域にも帯状構造が地表に露出しています。それが関東山地で、ここでは図に見るように北から南へ、三波川・御荷鉾帯、秩父帯、四万十帯が順に配列しています。ただし配列の方向は、北西 - 南東方向に変わっています。

また詳しい地表地質調査やボーリングによる地下深所の古期岩類の調査からは、領家帯変成岩類が三波川帯の北側にあって、同じ方向で配列していることが裏付けられています。

このようにフォッサマグナ地域では、古期の帯状構造は、図の点線に示されるように、八の字の形に大きく屈曲しているのです。この対曲構造は、新第三紀以降に形成された地質構造とは非調和的ですから、この構造は、基本的には新第三紀以前にはつくられていたと考えられます。

## 《諏訪盆地周辺の古期岩類》

図1・1は、諏訪盆地とその周辺地域の地質図です。いま述べた構造線や古期岩類が、この図の範囲ではどこに分布するかを見ますと、まず天竜川の右岸流域と後山の南方に、領家帯の変成岩類と花崗岩類がみられます。

一方、茅野市の南方には三波川変成岩類が見られ、図の下端には領家帯とを境する断層が僅かに示されています。これが、地表に露出する中央構造線の東端で、この北への延長は杖突峠付近を通ると思われませんが、塩嶺累層に覆われて確かなことは分かりません。また横河川の上流域には、古生層を源岩とする横河川変成岩が分布しますが、これが三波川変成岩類に相当すると考えられています。

ただこの地質図だけでは、古期岩類の分布関係が分かりにくいと思います。それで、新第三紀以降の地層をすべてはぎとり、諏訪盆地周辺地域の範囲も少し広げて、中・古生層の分

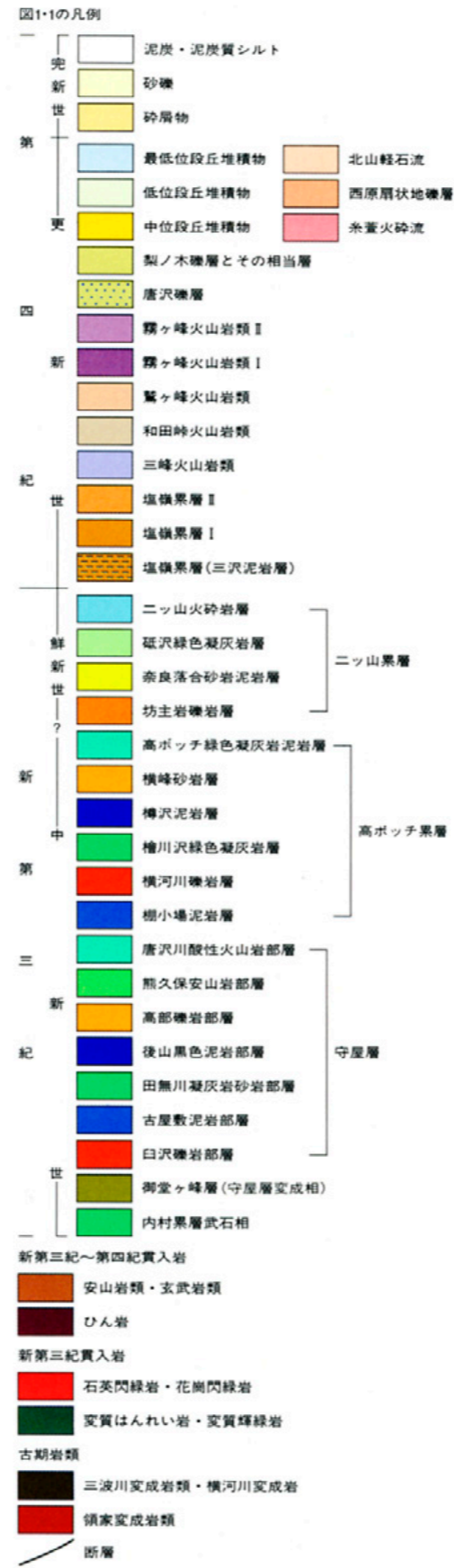
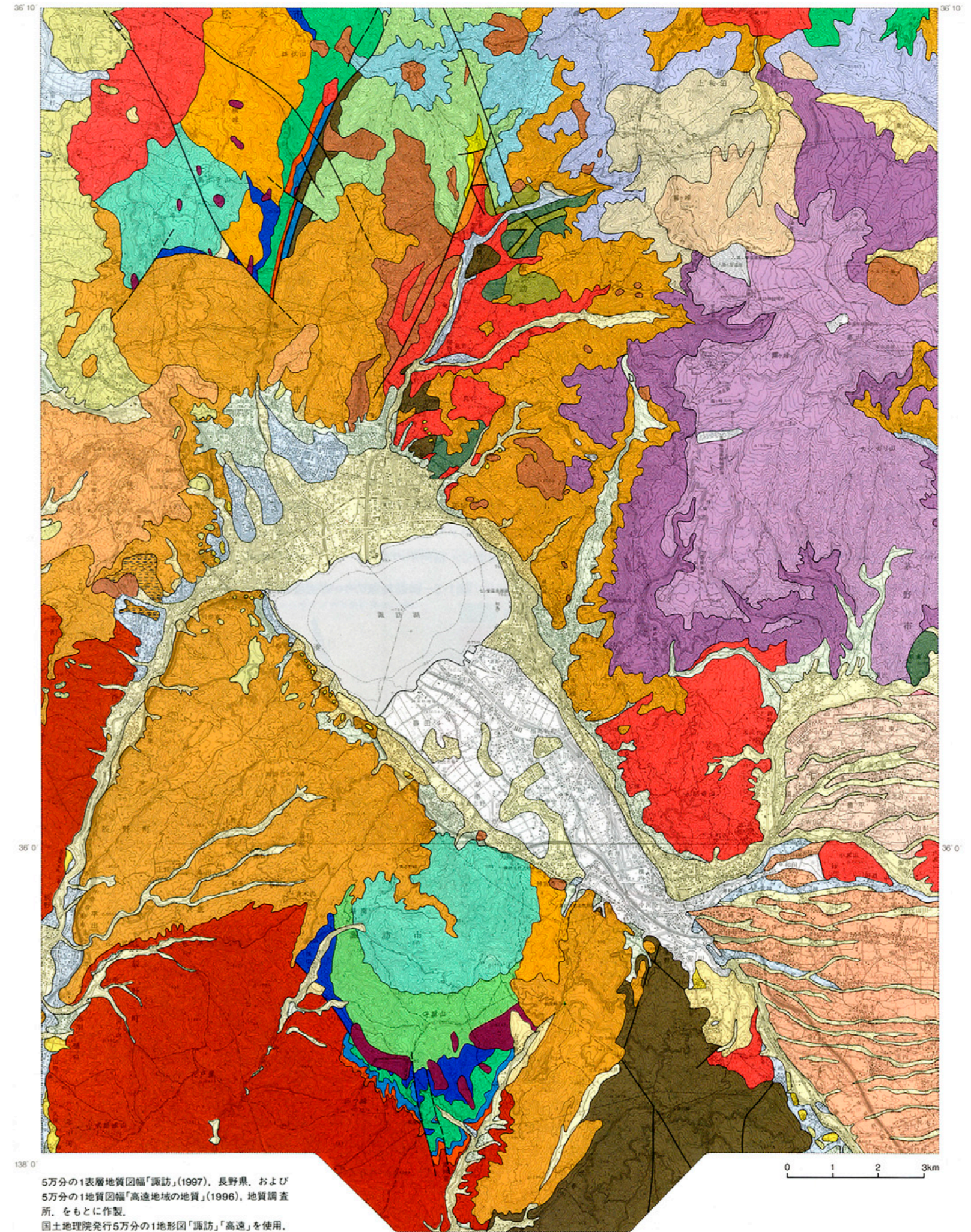


図1・1 - 諏訪盆地とその周辺地域の地質図



5万分の1表層地質図幅「諏訪」(1997)、長野県、および5万分の1地質図幅「高遠地域の地質」(1996)、地質調査所、をもとに作製。国土地理院発行5万分の1地形図「諏訪」「高遠」を使用。



布を示すと図1・3のようになります。

この図から、中央構造線や糸静線のおおよその位置関係が分かりますが、いま述べましたように横河川変成岩が三波川変成岩類であるとすると、糸静線の東側では、中央構造線の位置は横河川変成岩より北側になる、つまり中央構造線は、糸静線を境にして約12kmも左横ずれしていることになります。

そして、このずれた部分に諏訪盆地が位置しているわけです。中央構造線の位置についてはまだよく分かっていませんが、いずれにしても諏訪盆地周辺では、糸静線の何回もの激しい活動により、古期の地質構造が大きな影響を受けていることは間違いありません。

グリントフ変動

古期岩類の形成された時代は、まだ日本海の姿もなく、日本列島は大陸の東縁にあったと考えられていますが、新第三紀になると、環

太平洋地域には大きな変動が発生し、島弧や縁海の原型がつくられてきます。この大変動は、日本では海底火山の激しい活動を伴い、その噴出物である緑色凝灰岩で特徴づけられるので、グリントフ変動と呼ばれます。

新第三紀中新世の初頭、中部日本では糸静線の部分で大きな断裂があらわになり、フォッサマグナ地域では基盤が沈み込みます。ここでは、多くの場所に陥没盆地が生まれて礫や泥岩を堆積し、続いて激しい火山活動が起こります。この時期は海進と重なったため、フォッサマグナ地域のほぼ全域が海域となり、火山活動は海底噴火となって特徴的な噴出物を残しました。

《高ボッチ累層と守屋層》

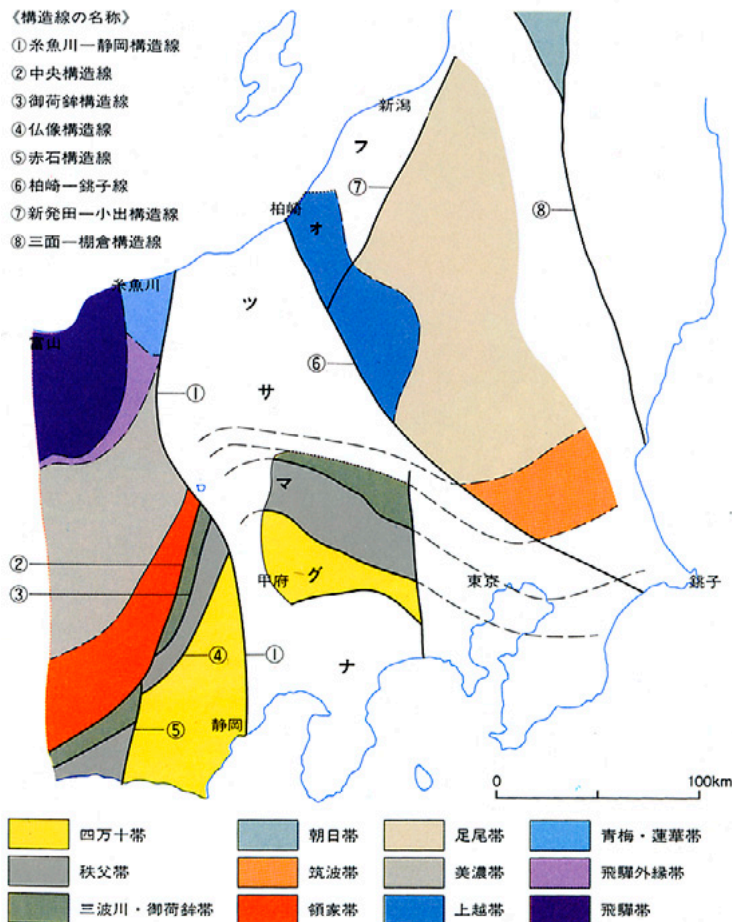
諏訪地域では、地質図に見るように、諏訪湖の北方と南方とに、グリントフ変動発生期の地層が分布します。前者は、横河川の右岸か

ら高ボッチ山および鉢伏山にかけて分布する高ボッチ累層で、下位から泥岩・礫岩・緑色凝灰岩と重なり、再び泥岩・砂岩・緑色凝灰岩の順に重なっています。諏訪湖の南方のものは守屋山を中心に分布する守屋層で、下位から礫岩・泥岩・凝灰岩と重なり、再び泥岩・礫岩・凝灰岩の順に重なっています。

いずれの地域でも、基底部に瀕海性の礫岩や泥岩が堆積し、次いで海底火山活動の結果として緑色凝灰岩が堆積します。その堆積が終わると再び外洋性の泥岩・砂岩、次いで凝灰岩が堆積しています。このように火山活動は再度にわたって行われ、2度目の火山活動はより深い海で生じておりました。

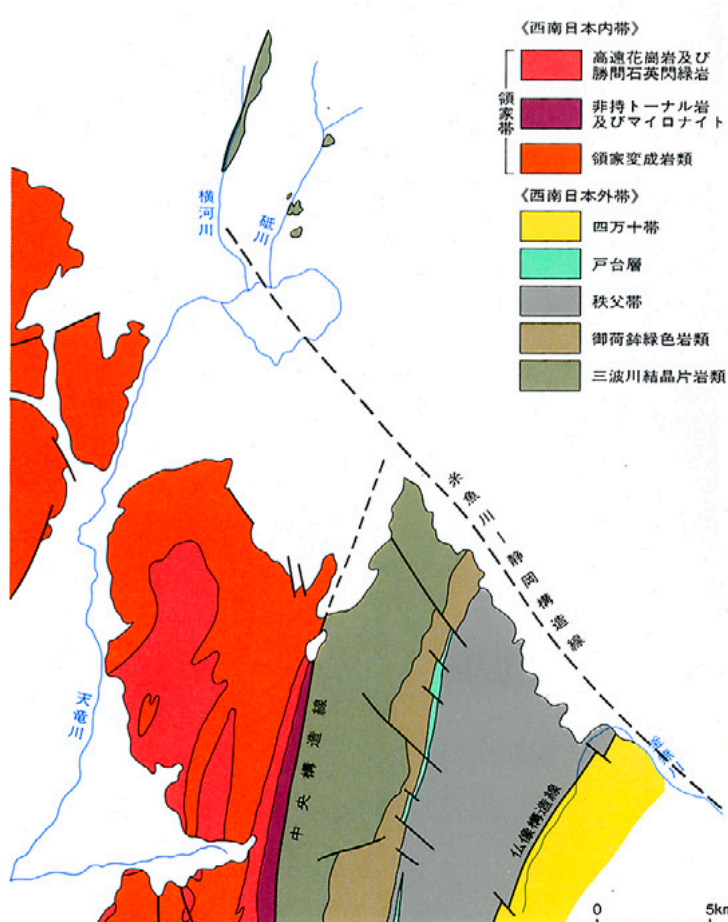
守屋層の陥没盆地は、糸静線に接してその南西側にはみ出した場所で発生し、その東縁は中央構造線に限られています。また高ボッチ累層を堆積した陥没盆地は、糸静線のすぐ東

図1・2 - 中央日本のおもな地質構造線と地質区



《日本の地質「中部地方1」》，共立出版(1988)による

図1・3 - 諏訪地域の中・古生層の分布



《天竜川上流地域地質調査(1984)および諏訪教育会「諏訪の自然誌」(1975)による》



側で発生し、その東縁は横河川変成岩に接する断層で限られています。

図1・4は、中新世の前期の終わりから中期の初め頃、約1,600万年前頃のフォッサマグナ地域の古地理図です。この図から、糸静線にそって陥没盆地が発生し、そこが火山活動の場に変わっていることが分かりますが、この時期はまた、フォッサマグナ地域の海域が最も拡大したときにあたり、日本海と太平洋とは広くつながっていました。

一方、北部フォッサマグナ地域では、この時期、諏訪地域とともに、上田市北部の河東山地から新潟の湯沢にかけての広い地域で激しい火山活動が生じており、この地域にも厚いグリンタフの地層が堆積しました。

《花崗岩の貫入と中央隆起帯》

中新世の中期になると、北部フォッサマグナ地域では、諏訪地域や河東山地の火山活動は

終息し、地下では石英閃緑岩や花崗閃緑岩がつくられ、それが次第に上昇して、この地帯は隆起域に転じます。図1・5に見るように、諏訪湖の北西から美ヶ原の北東を経て、河東山地から新潟の湯沢にいたる地域は、グリンタフの火山岩類とそこに貫入する中新世中期～後期の花崗岩類が分布します。それと同時に、この地域は地層が褶曲していないことで特徴づけられます。そのため、この一帯は中央隆起帯と呼ばれます。

諏訪盆地周辺にも、これらの花崗岩類がいろいろな場所に顔を出しています。地質図に見るように、高ボッチ山の北西部、美ヶ原、下諏訪町、茅野市の永明寺山を中心とした地域に分布する花崗岩類は、すべてこの時期に貫入したものです。また諏訪湖の七ツ釜温泉のボーリングでは、地下191～365mに塩嶺累層、その下位の365～700mにこの花崗閃緑岩のある

ことが確かめられています。

一方、フォッサマグナの海は中新世の中期には、すでに日本海側と太平洋側に分かれています。そのことは、この時期の海成層から産出する有孔虫の層序とその種類の違いから分かるわけですが、おそらくこの時期にはいま述べた中央隆起帯がすでに陸化し、この陸域が中心となってそれぞれの海が隔てられていったのでしょう。

さらに中新世の後期に入っても中央隆起帯の隆起は続き、その北側の北信地方や新潟地方に広がるグリンタフの海に礫を供給するようになります。またこの時期には、南部フォッサマグナ地域では関東山地が隆起し始め、これらによりフォッサマグナ地域の大部分が陸域に変わっていきます。

中新世末期から鮮新世初頭には、中央隆起帯の南縁で新しい陥没盆地が発生し、湖沼が生

図1・4 - 中期中新世初頭（約1,600万年前頃）のフォッサマグナ地域の古地理図

〈フォッサマグナ地質研究会、1991〉

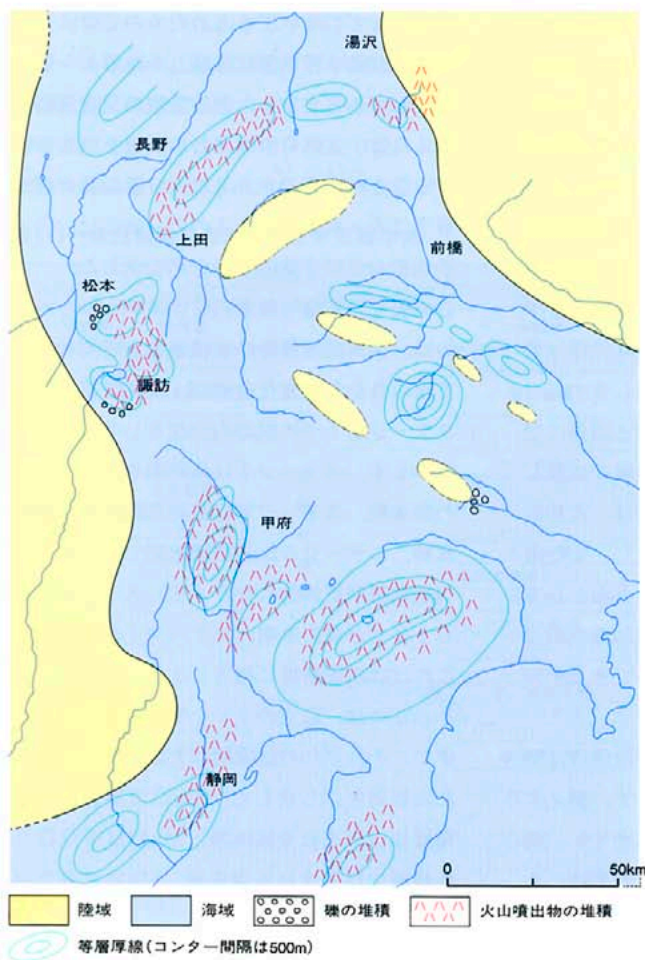
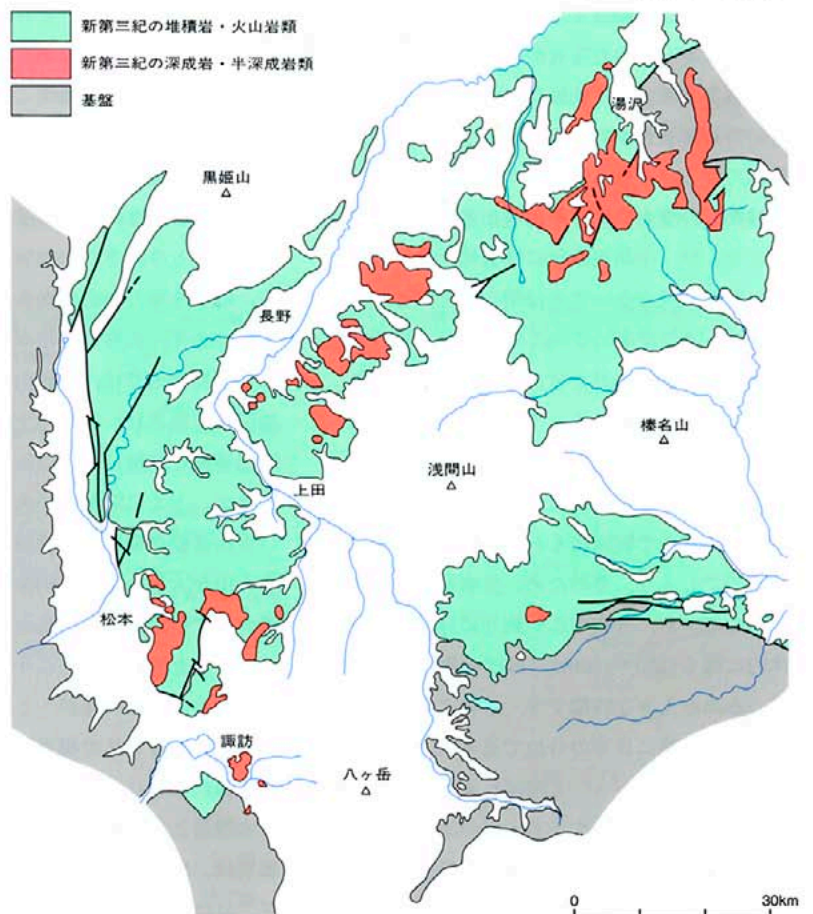


図1・5 - 中央隆起帯とその周辺域の新第三系

〈フォッサマグナ地質研究会、1991を簡略化〉





まれます。その湖沼に堆積した地層がニッ山累層で、地質図に見られるように、ニッ山を中心として横河川から砥川にかけての地域に分布します。基盤は主に石英閃緑岩で、基底部に礫岩、続いて砂岩泥岩が堆積し、次いで厚い火山砕屑岩類が堆積しています。

この湖沼性陥没盆地が示すように、この時期には諏訪地域は削剥の場となり、やがてはニッ山の湖沼も消失します。こうして諏訪地方一帯には、糸静線の西側も含めて高原状の地形が形成され、この状態は第四紀更新世に入るまで続きます。

#### 塩嶺累層

前期更新世に入ると、諏訪地方一帯には安山岩質の溶岩が流れ出し、この地域一帯を広く覆いつくします。それが塩嶺累層で、諏訪盆地をとりまいて広く分布するので、地質図を見たとき真先に目に映るのがこの地層です。塩嶺累層は、諏訪湖の東側地域では、下部は主として凝灰角礫岩で水成層をはさみ、上部は主に複輝石安山岩溶岩からなります。諏訪湖の西側地域では、基底部に泥岩が堆積し、次いで複輝石安山岩、上部は鉄平石型の板状節理の著しい複輝石安山岩からなります。

塩嶺累層の噴火形式やその噴出源はよくわかりませんが、中期更新世に特徴的な爆発的な中心噴火形式でないことは明らかで、おそらくグリンタフ変動によって形成された構造的な弱線部に生じた裂か噴出であろうと思われます。その噴出源も単一ではなく、北西 - 南東方向や北東 - 南西方向のいろいろな断層群が交差してつくる網の目状の裂かにそって、あちこちで何回にもわたって溶岩を流出したのでしょう。そのため、分布域は非常に広いのですが、分布の広い割には層厚は全体的に薄く(300~400m)、ほぼ一様に堆積しているのが大きな特徴です。このような溶岩は、この時期に日本の各地で見られ、それらは「フラットラバー」と呼ばれます。

この時期、飛騨山脈や赤石山脈の上昇がすでに始まり、赤石山脈の西側には伊那盆地が形成され始めますが、こうした山地の隆起が進

む一方では、松本盆地周辺から諏訪地方一帯にかけては、浸食平坦面 あまり凹凸のない平原状の地形が大きく広がっていました。そうした地形のために、この溶岩流は、霧ヶ峰から糸静線の西側一帯まで、広い範囲に一樣に分布することになったのでしょう。

また霧ヶ峰一帯には、塩嶺累層の堆積後まもなく、ほぼ同じような溶岩の流出があり、溶岩台地をつくっています。これが現在の霧ヶ峰高原の原形です。この頃になると北八ヶ岳では、古蓼科火山が成層火山としてその姿をあらわしてきます。

#### 中期更新世の地殻変動

##### 《山地の急上昇と山間盆地の形成》

地殻変動が一段と激しくなり、現在の地形が作られてくるのは中期更新世に入ってからです。飛騨山脈・木曾山脈・赤石山脈は急激に上昇し、また新第三系で構成される地域も隆起して山地をつくります。

この全体的な隆起は、それまでに形成された深部断層を反映して地塊運動となって進み、隆起量や傾動量も各地塊ごとに異なった形で現れます。糸静線が再び活動を始め、古い断層群の一部も活動し、また隆起する地塊の境界部には新たな断層が生まれます。隆起からとり残された地域は山間の盆地となり、隆起を増した山地から大量の礫が供給され始めます。こうして松本盆地が誕生します。また伊那盆地では、木曾山脈の上昇に伴って湖沼が形成され、砂や粘土を堆積します。

隆起運動と同時に火山活動も一段と活発になります。とくに隆起量の大きい地域では激しい火山活動が発生し、飛騨山地では、古期御岳火山が大きな成層火山体を形成し、また南八ヶ岳では、古阿弥陀岳が大成層火山としてその容姿を現します。こうして諏訪地方周辺は、次第に現在の地形へと近づいてきます。

##### 《梨ノ木礫層とその相当層》

地質図に示されるように、塩尻峠西側には梨ノ木礫層とその相当層が分布します。梨ノ木礫層は、塩尻市洗馬梨ノ木を模式地とし、現在では塩尻市の西部から松本盆地の東縁にそ

って標高900~1,000mの平坦面をつくっています。この礫層が、前述した松本盆地の初期堆積物で、松本盆地の縁辺では層厚30~50m、盆地内では100mに達すると推定されます。

同盆地では、この礫層の上位に片丘礫層が堆積しますが、今回の地質図では、松本盆地の梨ノ木礫層および片丘礫層に対比される地層を一括し、梨ノ木礫層とその相当層として示してあります。

諏訪盆地周辺では、これらの礫層は、前述のように塩尻峠西側から松本盆地にかけて広く分布しますが、諏訪湖西岸では標高約950mに小規模の平坦面を形成しているだけで、盆地の底には分布しません。この時期には、諏訪盆地はまだ誕生していないのです。

#### 諏訪盆地周辺の後期更新世の地層

##### 《諏訪盆地周辺の後期更新世層序表》

表1・1は、諏訪盆地および八ヶ岳山麓における後期更新世の層序表で、中期更新世末以降に、これらの地域に堆積した地層の順序とその年代などについてまとめたものです。諏訪盆地には八ヶ岳西麓に堆積した地層の一部が埋没していますから、諏訪盆地の発達過程を知るには、これらの地層との関連を明らかにすることが必要です。また八ヶ岳山麓の標準層序は八ヶ岳東麓にあるので、表には、八ヶ岳西麓および東麓の層序を示しました。

この表で、右端の酸素同位体ステージというのは、深海底堆積物の堆積速度を時間軸として得られた気候変化曲線で、現在では、このステージが1つの国際的尺度として用いられています。ステージ7は最終間氷期の1つ前の間氷期、ステージ6は最終氷期の1つ前の氷期、ステージ5が最終間氷期でこのステージから後期更新世になります。ステージ4から2までが最終氷期、ステージ1が後氷期でこれはほぼ完新世に相当します。

その左には、以上のような寒暖の繰り返しの中で、それぞれの温暖期に大阪平野に堆積した海成層を示しました。Ma11は高位段丘堆積層にはさまれる海成層、Ma12は中位段丘堆積層にはさまれる海成層、Ma13は縄文海



進時の海成層で沖積層には含まれます。この表では、こうした日本の代表的な平野の形成過程と関連させながら、諏訪盆地とその周辺に堆積した地層を位置づけました。これは、鍵層の広域火山灰層によって各地域の層準が対比できるようになったからで、それらの広域火山灰層をその左に示しました。

また、その左にはローム層とあります。陸上に降下した火山灰を主とする風成層をローム層と呼んでおり、この欄は、それらの風成層層序を示します。小坂田ローム層と波田ローム層は松本盆地にみられる後期更新世のローム層層序です。

小坂田ローム層は、塩尻市の小坂田公園を模式地とし、新期御岳火山のカルデラ形成期に噴出した降下火砕物を含みます。Pm-ⅠからPm-Ⅲまで何層もの軽石層をはさみ、これらの分布は関東地方にも及ぶので非常に有効な鍵層となっています。またPm-ⅠとPm-Ⅱの境には、広域火山灰の阿蘇4がはさまれます。阿蘇4の年代は約9万年前ですから、このローム層の年代は約10～7万年前頃で、最終間氷期に堆積したものです。小坂田ローム層を風成でのせる段丘が中位段丘です。

波田ローム層は、松本市の今井鎮川左岸が模

式地で、新期御岳火山の中央火口の噴出した降下火砕物をはさみます。最終氷期に堆積したローム層で、年代は約6～2万年前頃になります。波田ローム層を風成でのせる段丘が低位段丘群です。

一方、八ヶ岳山麓では、中期更新世に堆積したローム層は広瀬ローム層、後期更新世に堆積したローム層は佐久ローム層と呼ばれ、佐久ローム層は下位から、下部、中部、上部、最上部に区分されます。佐久ローム層と、小坂田ローム層および波田ローム層との対応は表に記されている通りです。

《諏訪盆地縁辺の段丘群》

岡谷地域の横河川の両岸には、標高約860m前後のところ平坦面があり、これらは、直径30cmにもおよぶ巨礫を含む崖錘性の砂礫層からなります。この礫層は、上の原礫層とよばれ、層厚は40m以上あります。礫層の上位には風成の小坂田ローム層がのっており、中位段丘に区分されます。この地層の相当層が中位段丘堆積物です。

またこの地域には、沖積面からの比高約20mの部分に、今井面とよばれる平坦面が分布します。この平坦面は、やや淘汰のわるい垂円～垂角礫からなる扇状地性の礫層からなり、

今井礫層と呼ばれます。層厚は50m以上、上位には風成の波田ローム層をのせます。盆地の北東縁や南西縁にも、この礫層に相当する扇状地性礫層が分布します。地質図には低位段丘堆積物として示してあります。

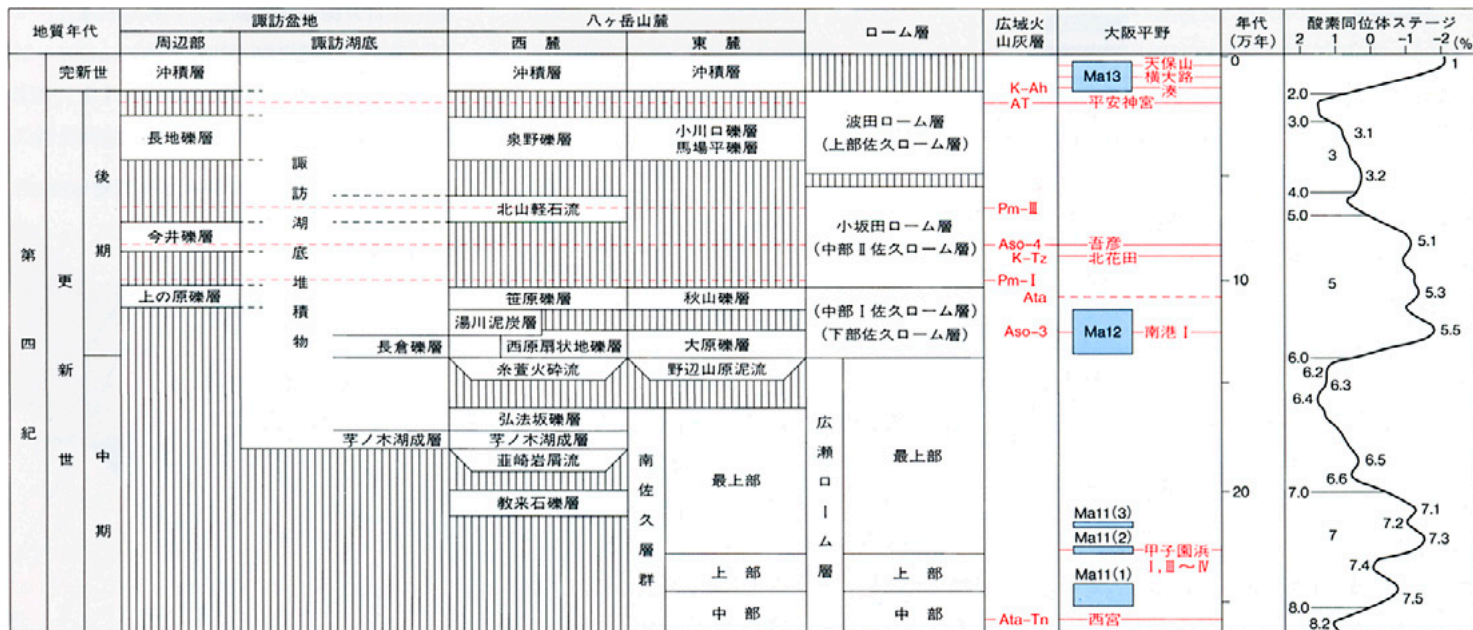
さらに沖積面からの比高約5～10mの部分には、長地面とよばれる平坦面が分布します。この平坦面も、扇状地性のやや淘汰のわるい垂円礫層からなります。この礫層は長地礫層と呼ばれ、層厚は10m程度、上位には風成の波田ローム層最上部をのせます。地質図では最低位段丘堆積物として示してあります。

こうした段丘群とは別に、盆地の北西部と北東縁および南西縁には、北西-南東方向の断層群によって形成された基盤岩類からなる階段地形が局地的に分布します。同じ段丘地形でも、断層によって盆地側へ落ち込んだために落差ができたもので、これらの断層群は、盆地下に伏在すると推定される糸魚川-静岡構造線の活動に付随して形成されたものです。

《八ヶ岳西麓の地層》

地質図の範囲では、地表に分布する八ヶ岳西麓の地層は、凡例にあるように糸萱火砕流、西原扇状地礫層、北山軽石流だけです。後期更新世に入ると、南八ヶ岳の火山は山体崩壊

表1-1 諏訪盆地周辺の後期更新世層序表



諏訪盆地：熊井(1988)。八ヶ岳山麓：八ヶ岳団研(1988)。ローム層：八ヶ岳団研(1988)および松本盆地団研(1977)。大阪平野：吉川ほか(1993)。酸葉同位体ステージ：Prellほか(1986)。



図1-6 - GS400地質柱状図

〈大島ほか, 1997〉

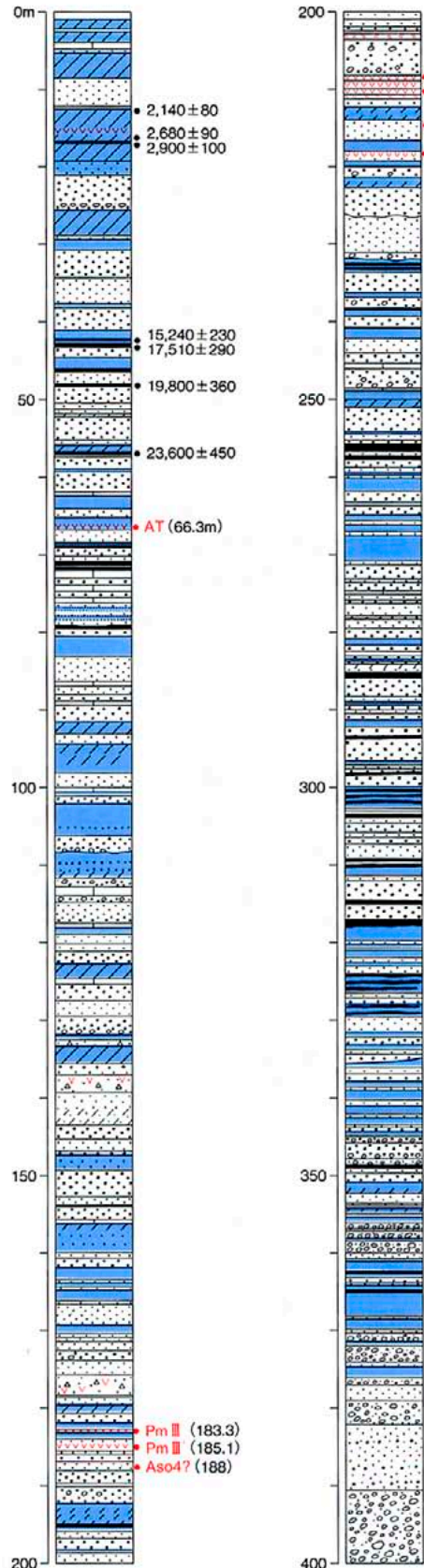
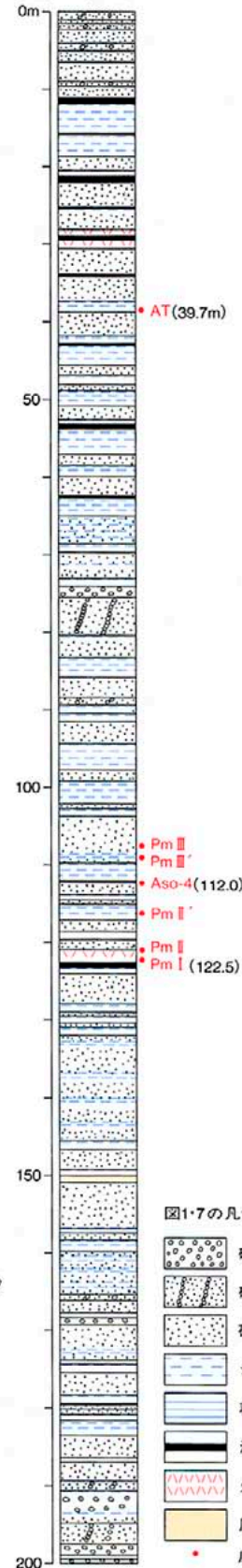


図1-7 - 63B地質柱状図

〈大島ほか, 1997〉



期に入ります。山体は浸食され、北麓を除く山麓一帯には、泥流堆積物・扇状地性礫層・河成礫層などが広く堆積し、火山麓扇状地が形成されます。この時期に、西麓に広く堆積したのが西原扇状地礫層です。

またそうした山体の崩壊と平行して、山頂部では溶岩や火砕物の噴出も盛んで、この時期の初期に噴出したのが糸萱火砕流です。この火砕流は、泥流を伴った流紋岩質～デイサイト質の火砕流で、地質図では朝倉山の南に僅かに顔を見せるだけですが、北山軽石流や西原扇状地礫層の下位に広く分布します。

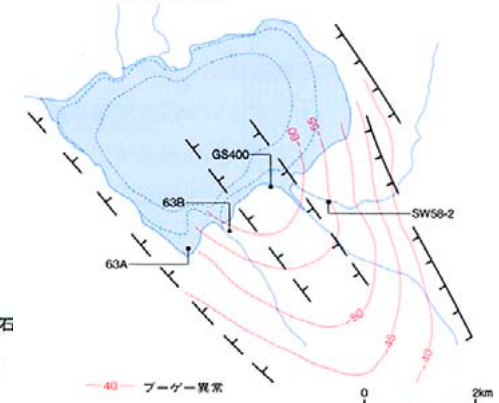
地質図には分布が示されませんが、西原扇状地礫層が堆積したのと同じ時期に、西麓の渋川ぞいに広く堆積したのが長倉礫層です（層序表参照）。長倉礫層は、比較的淘汰のよい円～亜円礫からなる扇状地礫層で、渋川下流ぞいでは現河床下に伏在します。さらに上川と宮川の合流点付近までは地下で連続しており、地下水の採水層となっています。この礫層は、諏訪湖の地下深くにまで続いていると考えられます。

北山軽石流は、天狗岳付近を噴出源とする軽石流で、渋川から柳川にかけての西麓一帯に広く流下したもので、地質図には、その西端が示されています。この軽石流の軽石の一部も、やはり諏訪湖の湖底下にみられます。

《沖積扇状地礫層群と沖積低地》

ついでに沖積層についても触れますと、諏訪湖に流入する河川のうち、上川と宮川を除く

図1-8 - 諏訪湖南東岸のボーリング調査地点と伏在断層





中・小の河川の河口部には沖積扇状地が分布し、とくに湖の北西側には、横河川や砥川などによって形成された沖積扇状地がよく発達し、この一帯を覆っています。

一方、湖の北東岸の下諏訪町から諏訪市をへて茅野市にいたる湖岸と山麓には、急傾斜の崖錘性の扇状地が形成され、淘汰のわるい垂角～角礫からなる礫層が厚く分布します。これらの礫層のほとんどには巨礫が含まれており、土石流起源のものと考えられます。それで地質図には、完新統の碎屑物として区分して示しました。

湖の南東側、上川・宮川が流れる低平地には、主として腐植を含む粘土層やシルト層からなる非常に厚い堆積物が分布し、地盤沈下を引き起こす諏訪盆地特有の厚い軟弱な地層をつくっています。

#### 湖底堆積物の堆積の始まり

さて諏訪湖の湖底堆積物ですが、層序表では湖底堆積物が堆積し始まるのは、八ヶ岳西麓で、葦崎岩屑流直上の芋ノ木湖成層が堆積し始まるのと同じ時期にしています。

葦崎岩屑流は、古阿弥陀岳の山頂部が高さ約1,500mにもわたって大崩壊したときの岩屑流で、中期更新世以降の火山体の崩壊としては日本で最大規模のもです。現在、富士見町から葦崎市街地まで、釜無川左岸ぞいに高さ30～120mにわたって延々と断崖が続いていますが、これが葦崎岩屑流の露頭です。

この岩屑流の分布の北限は、およその位置で

いうと現在の阿弥陀岳から原村を結ぶ線あたりにあります。そのためにこの一帯でも地形が大きく変化し、葦崎岩屑流が堰き止める形になって、この岩屑流の流下以後は、河川の流路が変わってしまいます。

葦崎岩屑流の流下以前の時期では、この地域に堆積した湖成層の層相をみますと、渋川や柳川方面からの礫は、すべて南方に向かって流下しています。ところが葦崎岩屑流の発生後には、茅野まで含むこの一帯には芋ノ木湖成層が堆積するのですが、この堆積物の流下方向は南方に向かわずに、諏訪湖の方に向かっているのです。このことから、諏訪盆地の堆積物は、葦崎岩屑流の発生直後に、その堰き止めによって始まったことが分かります。この時期は、約20万年前頃になります。

ただし葦崎岩屑流による堰き止めは、堆積物の開始時期を示すに止まります。盆地の構造や性格を把握するには、湖底下の堆積物や盆地縁辺の地質を知ることが必要です。

#### 湖底堆積物と盆地の断面

##### 《堆積物の層相と盆地の基底》

諏訪盆地では、沖積低地下の堆積物に天然ガスが含まれます。それで戦後、ガス田調査のためのボーリングが行われ、そのときの調査で、湖底下には塩嶺累層より上位の堆積物が約400m以上あることが分かりました。

ごく最近では、中部日本の活構造を明らかにする調査・研究の一環として諏訪盆地が取り上げられ、東京都立大学の山崎さんなどによ

って湖の南東岸で3本のオールコアボーリングが行われております。図1・8が調査地点で、それぞれのボーリングの深度は、GS400が深度400m、63Bが深度200m、63Aは深度60mです。ここでは、GS400と63Bの地質柱状図を図1・6および図1・7に示します。

GS400の堆積物をみますと、深度370mまでは砂(粗～細粒)、シルトの互層で、泥炭層を多くはさんでいるのが大きな特徴です。礫層はごく僅かな層準にしかはさまれていませんから、湖水域もしくは河川の氾濫原という状態が続いていたのでしょう。

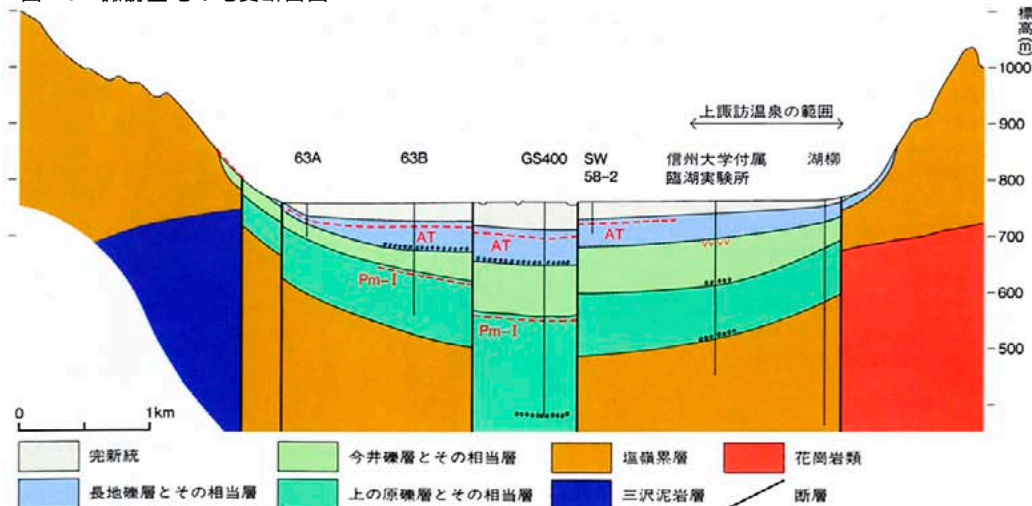
深度370m～400mになると、間に10mほどの砂層をはさみますが礫層が主体になります。ただ深度400mでも基盤の塩嶺累層には達しておりません。この深度370m～400mの礫層は、よく円磨された小さな円礫とされますから、私は、これは八ヶ岳西麓から流下してきた長倉礫層と考えています。基盤の塩嶺累層に由来する礫は、この付近ではそれほど円磨されてはいないからです。

##### 《鍵層の深度と伏在断層》

これらのコアに挟まれる広域火山灰の深度をみますと、AT(始良Tn火山灰)の深度は、63Aが33.4m、63Bは39.7mです。それに対してGS400では66.3mという深さです。また阿蘇4とPm-の深度は、63Bの112.0mと122.5mに対し、GS400ではぐんと深くなり188mと210.5mにもなっています。

つまり63BとGS400という隣接する両地点で

図1・9 - 諏訪盆地の地質断面図



《図1・9地質断面図の断面線》





は、同じように沈降しているのではなく、GS400地点の方がはるかに速い速度で沈降しているということです。ちなみに阿蘇4を基準に両者の堆積速度を算定しますと、63Bでの堆積速度は1.2m/1,000年、GS400での堆積速度は2.0m/1,000年で大きな違いが見られます。これらの事実から、63B地点とGS400地点の間には、GS400側に落ち込む断層が伏在していることが分かります。またSW58-2のボーリングでは、ATの深度は36.8mになっています。ですから、SW58-2地点とGS400地点の間にも、GS400側の落ち込む断層が伏在していると考えられます。

《現在の湖につながる水域の形成》

なお63Aと63Bでは、珪藻化石の分析によりほぼAT層準以降の堆積環境が明らかにされています。また1986年・1987年には、国土地理院により湖心の数地点で深度30～40mの湖底ボーリングが実施され、湖底堆積物が詳しく分析されています。それらの結果によりまず、現在の湖に直接つながる水域の形成は約13,000年前頃で、その後、水域の拡大・縮小という変遷を経て、現在の湖にいたっているとされています。

《盆地の断面》

図1・9は、西は有賀峠付近から、上述のボーリング地点を通して上諏訪温泉を抜け、東は角間新田にいたる諏訪盆地の断面図です。図

には、杉山隆二先生（元信州大学理学部長）のご好意により、以前に信州大学附属臨湖実験所で行われたボーリング調査の未発表の研究成果を使用させて頂きました。GS400とは僅か1.3kmほどしか離れていない臨湖実験所では、基盤の塩嶺累層は地下280mに出てきます。この断面図から、盆地の縁辺は東西ともに断層で切られ、盆地全体が沈降している様子がよく分かりますが、この盆地の特徴的な構造は、盆地中央部が小さな地溝状の形で激しく落ち込んでいることです。

そしてこの落ち込みが激しいために、この盆地の沖積低地下には、約20万年という短い期間に400m以上にも達する厚い軟弱な地層がほぼ連続して堆積しているのです。一方、盆地東側の縁辺では、断層によって基盤の塩嶺累層と花崗岩とが境されていますが、こうした地質条件が前提となって、諏訪湖畔では温泉が湧出しているわけです。これについては最後に触れます。

《糸静線活断層系のトレンチ発掘調査》

以上に述べた断層群はすべて、地下に伏在する糸魚川 - 静岡構造線の活動が地表付近にあらわれたものと考えられ、糸静線の活動が現在も進行中であることを裏付けています。

活断層の過去の活動を知るには、トレンチ発掘調査によって、露頭の記録から断層の活動とその年代を求めるのが有効です。諏訪盆地

周辺の糸魚川 - 静岡構造線活断層系では、これまでに、岡谷市中島A遺跡、茅野市金沢地区、富士見町若宮地区の3カ所でトレンチ発掘調査が行われています。それぞれの調査の概要を簡単にまとめますと、図1・10のようになります。

これに、松本市並柳地区での牛伏寺断層のトレンチ発掘調査の結果を加えますと、この地域で発生した一番新しい地震は、西暦841年の信濃国地震である可能性が高く、それ以降は、トレンチ発掘調査の結果からも文献上の記録からも、糸魚川 - 静岡構造線活断層系の活動が確認されないとされています。

ただ諏訪盆地の沖積低地では、地下の軟弱な地層が非常に厚いので地震時には揺れが激しく、しかも最初に述べたように古期の構造が集まっている場所だけに、西日本や東日本で発生した地震にも敏感に反応しやすいという傾向がみられます。この点は充分に考慮する必要があるのであります。

また古い断層の場合、それが新しい時期に活動したとしても、そこに新しい地層が分布していない場合には活断層として意識されないというケースもあります。古い断層が再活動するケースは非常に多いので、この点にも注意することが必要でしょう。

上諏訪温泉 - 温泉と地下水 -

最後に、もう紙数もないと思いますのでごく

図1・10 - 糸魚川 - 静岡構造線活断層系のトレンチ発掘調査

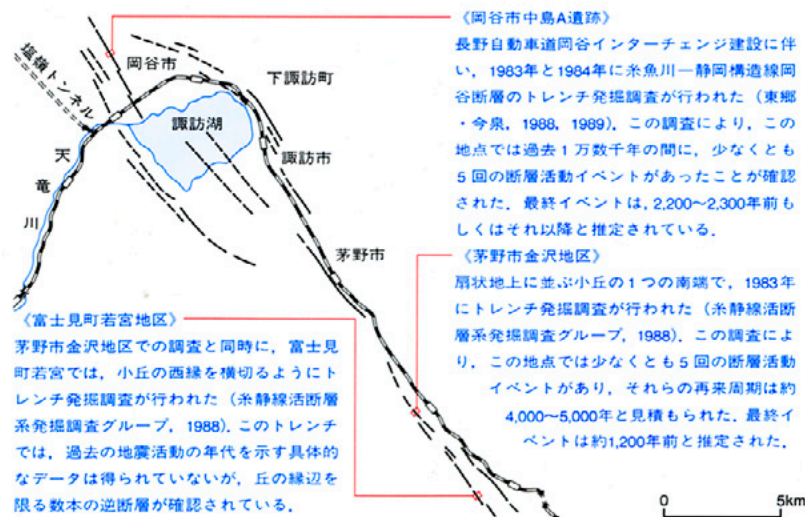


図1・11 - 上諏訪温泉の分布

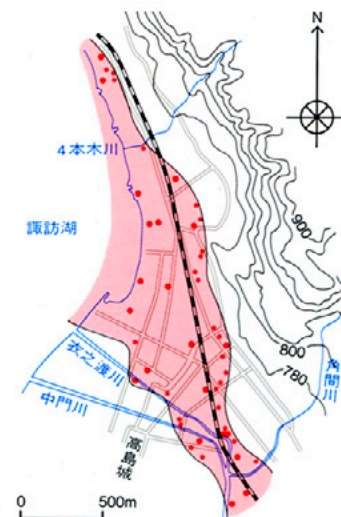
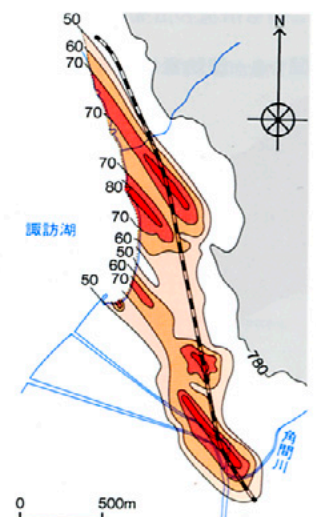


図1・12 - 1958年の温度分布





簡単に、上諏訪温泉について触れます。

上諏訪温泉は、1971年12月末では、湧出口数320口、総湧出量は毎分9,150ℓ（1日あたり約13,200m<sup>3</sup>）、平均温度は62℃で、温泉の多い長野県でも最大の温泉地です。この温泉については、昭和初期からの研究があり、1960年以降は諏訪市水道温泉部で詳しい調査・研究が続けられ、これらの研究成果は、稲垣益次氏により「諏訪の自然誌、地質編」（諏訪教育会、1975年）にまとめられています。

図1・11は上諏訪温泉の湧出地域で、長さは約3.3km以上、最大幅は約800mで、東側の丘陵沿いに北北西 - 南南東の方向に分布します。この点は三沢勝衛氏が早くから注目していたところで、1924年には吉村信吉氏と共に、温度分布の高温帯は、諏訪盆地の東を限る断層線と平行すると述べています。図1・12は1958年における上諏訪温泉の温度分布で、高温帯は北北西 - 南南東の著しい方向性をもって雁行状に配列しており、これは地下の地質構造と深く関連していると考えられます。

上諏訪温泉では、1950～1960年の時期に、ポンプによって各自が競って揚湯し始めたので湧出量が急増し、水位が年々低下すると共に自噴泉の湧出量も少なくなり、1950年代には自噴する源泉が無くなります。

こうした状況から、諏訪市では、温泉を統合し、特定の深い源泉から揚湯して温泉街に配

湯する計画をたて、その調査のために市所有の北浜温泉（下諏訪町境の湖畔の温泉）で深度400mのボーリングを行います。これにより地下での温度分布の変化や地下水との関係も詳しく調べられ、その結果、熱水供給層は地下約100m付近の塩嶺累層にあって、熱源は塩嶺累層の下位に存在する花崗閃緑岩にあること、周辺から供給される冷たい地下水が塩嶺累層によって熱水に変わり、温泉水となっていることなどが明らかにされます。ただ泉量については検討が充分でなく、無制限の揚湯に伴う水位低下現象が温泉水の有限性を示すに止まっています。

その後、諏訪市は統合源泉として1974年に深度400mの湖柳源湯、1975年に深度400mの小和田源湯を掘削し、その適正揚湯量を検討することになりますが、その調査には私も加わることになりました。このときには、基礎資料の不足から適正揚湯量の策定にまではいたりませんでした。揚湯に伴う温泉水の動きを明らかにすることはできませんでした。

図1・13は、七ツ釜源泉の温泉水の動きを平面の流線網図として示したものです。図に見るように、全く揚湯していない諏訪湖側から内陸側へ向かって温泉水が流動していますが、これは、諏訪湖の水が漏水しているのではなく、深度約100m付近にある帯水層の温泉水が流動しているのです。そのことは、周辺の

観測井の深度・水温・電気伝動度の状態から分かります。

図1・14は、上諏訪温泉街にある湖柳源泉の揚湯試験に伴う温泉水の動きを地質断面中に流線網図として示したものです。図に見るように深度100～200m付近に厚い砂礫層、つまり優れた帯水層があり、その下位は塩嶺累層（塩嶺累層の下位は花崗閃緑岩）で、源泉を揚湯すると、この帯水層の温泉水が流動してくるのがよく分かります。

このように七ツ釜でも湖柳でも、量的に最も多くの温泉水を賦存しているのは深度100～200m付近に分布する砂礫層で、この帯水層の泉質や水位に大きな変化が生じれば、それは要注意ということになるわけです。

なお断層との関係についていえば、断層が壁となって、この帯水層（砂礫層）を遮るので湧出域が限定され、帯水層上位の粘土層が切れているところで、温泉水が自噴していたと考えられます。

また諏訪湖の湖底には、釜穴とよばれる多くの小さな凹地がありますが、この方は、腐植物から発生するガスが砂礫層に貯留され、そのガス圧が上位の粘土層の加圧力をこえたとき爆発して噴出孔をつくったものと考えられています。ただ、これらのことは、詳しい地質調査がなされていないので、確かなことは言えないというのが現状です。

図1・13 - 七ツ釜源泉付近の流線網図

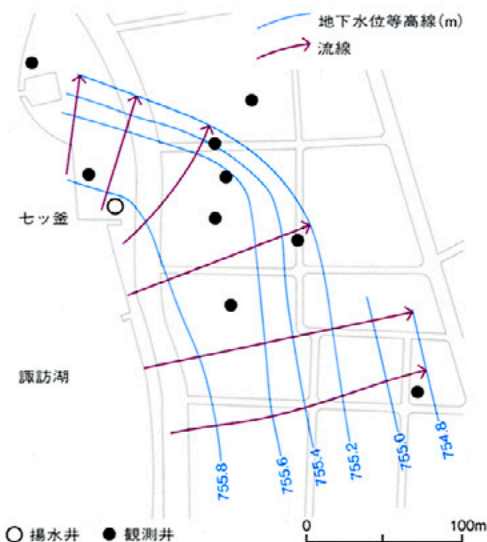
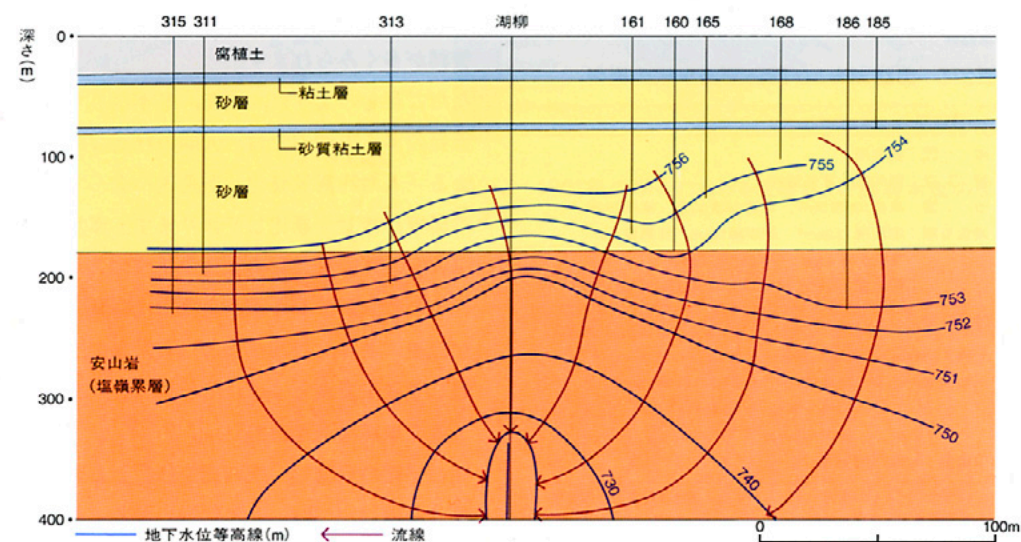


図1・14 - 湖柳源泉付近の流線網図 (湖柳源泉揚湯時)





# 2 水質の変遷

## <座談会>

### 水質の変遷

渡辺義人 = 信州大学繊維学部応用生物科学科  
講師

### 生物相の変遷

沖野外輝夫 = 信州大学理学部付属諏訪臨湖実  
験所長

### まちづくり懇談会と日独セミナー

藤原正男 = 諏訪環境まちづくり懇談会(前会長)

### 湖岸の再生計画

荻原敬三 = 長野県諏訪建設事務所長

(所属はすべて1996年2月当時)

## 諏訪湖の概要とその特徴

### 《調和型湖沼の富栄養湖》

編集 今回は諏訪湖の特集です。まず最初は  
諏訪湖の水質の変遷について、渡辺先生から  
お話しをお願いいたします。

渡辺 本題に入る前に、最初に諏訪湖の概要  
と、湖の特徴などを簡単に述べておきます。  
表2・1は諏訪湖とその集水域の概要です。こ  
れにあるように、諏訪湖は、調和型湖沼の富  
栄養湖に属します。湖では、植物プランクト  
ンや水生植物などの緑色植物が、光合成作用  
によって有機物を生産しているわけですが、  
この生物生産の立場から湖を分類すると、調  
和型湖沼と非調和型湖沼に分けられます。

調和型湖沼は、生物生産に係るさまざま  
な栄養物質の調和がとれていて、生物の生活  
に好ましい水環境の湖です。それに対して、  
非調和型湖沼は、湖の水質が生物の生活に適  
さず、生物生産がある種の特異な生物に著し  
く偏っている湖で、これにはいろいろなタイ  
プがあります。

調和型湖沼のうち、生物生産の高いものは富  
栄養湖、生物生産の低いものは貧栄養湖と呼  
びますが、一般に天然の湖では、栄養塩の流  
入が多い低地の湖や、湖水がよく循環して栄  
養塩が頻りに利用される浅い湖では、生物生  
産が高い富栄養湖が多くみられます。

それに対して、栄養塩の流入が少ない高地の  
湖や、湖水の循環が限られ栄養塩の利用効率  
がよくない深い湖では、生物生産の低い貧栄  
養湖が多くみられます。

ただご存じのように、現在、日本はもちろん  
世界の多くの湖沼では、人間の旺盛な活動に  
よる「人為的富栄養化」が急速に進んで、湖  
沼環境が著しく悪化しております。諏訪湖の  
場合も、1900年代初め頃は中栄養湖とみなさ  
れるのですが、その後、人為による富栄養化  
が急速に進み、1970年代には富栄養湖を通り  
越して過栄養湖とよばれる状態になりました。

### 《浅く単純な湖盆形態》

湖の平面の形状は、南西側を底辺とした台形  
状で面積は13.3Km<sup>2</sup>。非常に浅い湖で、最大水

深でも6.3m、平均水深は約4mで、湖底の地  
形も平坦で、底の浅い皿状を呈します。

湖岸線は約16km。肢節量は1.3と小さく、湖の  
周囲は出入りの少ない単調な湖岸線がつづき  
ます。ただこの湖岸線は、近年の埋立てや護  
岸でつくられたもので、以前は、河川の流入  
する付近には水生植物の茂る「エゴ」と呼ば  
れる入り江状の地形がいくつかあり、湖岸線  
は少し入り組んでいました。いずれにしても、  
浅く、偏平で、湖岸線も単調という非常に単  
純な形をしているために、諏訪湖には、ほか  
の湖とは違った特徴がみられます。

### 《集水域の性状》

図2・1は、諏訪湖の集水域および水系の概略  
図です。集水面積は、湖面積の約40倍の531Km<sup>2</sup>  
で、湖に流入する河川は大小あわせて31河川  
になります。これらの河川のうちには、八ヶ  
岳側の逆川や渋川のように、カリウム、ナト  
リウム、カルシウム、塩素などの成分を多く  
含み、水素イオン濃度がpH3～5という酸性  
河川もありますが、大部分の河川は、水素イ  
オン濃度が中性付近のごく普通の水質の河川  
です。ですから水量からいっても、これらの  
酸性河川が諏訪湖の水質に影響を及ぼすこと  
はありません。

集水域531Km<sup>2</sup>のうちでは、ほぼ75%にあたる約  
400Km<sup>2</sup>の土地が針葉樹や夏緑広葉樹に覆われま  
す。これらの森林は、河川源流から上流部に  
かけての広い地域を覆いますから、河川の水  
質も比較的安定し、大きく偏るということも  
ありません。

しかし湖に近づくにしたがって、農耕地や市  
街地が増えてきます。農耕地の面積は約62Km<sup>2</sup>  
でこのうち水田30Km<sup>2</sup>、畑32Km<sup>2</sup>。また市街地の  
面積は約54Km<sup>2</sup>と多く、それらを合わせると全  
集水面積の約22%にもなります。これらの地  
域からは多量の栄養塩が河川に流出し、それ  
が湖に流入して湖の富栄養化を招いているこ  
とは、よく知られている通りです。

また農耕地や市街地面積の増大は、河川の水  
量にも影響を及ぼします。1時間20ミリ以上  
の強い雨が降れば、畑からは表土が流出しや

表2・1 諏訪湖および諏訪湖集水域の概要

(a) 諏訪湖	
成因	構造湖
湖沼型	調和型、富栄養湖
位置	東経138度05分、北緯36度03分、標高759m
湖盆形態	湖面積13.3km <sup>2</sup> 湖岸線16km 肢節量1.3*
	最大水深6.3m 平均水深 約4m
	貯水量6,500万m <sup>3</sup> 湖水の滞留時間 約40日
(b) 集水域	
面積	531km <sup>2</sup> 標高：759～2,899m
土地利用の内容	耕地62km <sup>2</sup> (水田30km <sup>2</sup> 畑32km <sup>2</sup> )
	森林・草地 約400km <sup>2</sup>
	市街地54km <sup>2</sup> その他15km <sup>2</sup>
降雨量	1,365ミリ/年

\*湖岸線の出入りの度合いをあらわす量。湖岸線延長と、湖面積  
と湖面積の円形の周との比。



すくなり、市街地では降雨が地下に浸透せずに直接河川に流入し、河川の水量が急激に増え、湖の水位が上昇します。そのため、かつては、しばしば水害を招いておりました。

《湖水の滞留は短く、一様に入れ替わる》

集水域の年間の降水量は、約7億3,000万m<sup>3</sup>で、このうちの77%が河川に流出し、湖に流入します。その水は、暫くの間は湖に滞留しますが、やがて天竜川を介して湖外に流出していきます。湖水の流入・流出量は、年間を通じて一定ではなく季節によって変わります。諏訪湖では、流出地点の釜口水門で人為的に水位が調節され、流入・流出水量ともほぼ同じような変化で推移します。

諏訪湖の容積は6,130万m<sup>3</sup>とされるので、湖水の滞留時間は、年平均にすると約40日弱と見積もられます。ただし豪雨や長雨のときには、流入・流出量とも増加して水の流れも速くなり、湖水は短時間に入れ替わってしまいます。それを考慮すると、平常時では約2ヵ月ぐらいの短い期間で、湖水はほぼ入れ替わって

ると思います。

普通の湖では、湖岸には湾入部があり、湖底には凹凸の地形がみられます。また滞とよばれる溝状の窪地が湖底に刻まれ、そこが水路となっている湖もあります。そのため、流入した水は、湖から早めに流出する部分と湖に長く残留する部分とに分かれるケースが多いのですが、諏訪湖の場合は、浅い単純な湖盆形態で、湖岸線も単調なので湖水の一部が長く留まるような場所もなく、湖水はほぼ一様に入れ替わってしまいます。

《湖水は風で動き、よく混合している》

湖での水の動きは、一般には、風、河川水の流入、水の密度差(温度差)などで生じますが、諏訪湖の場合は、主として風の影響で湖水が動きます。これも、前述のように水深の浅い偏平な湖盆形態のためです。

諏訪湖は、諏訪盆地という山間の細長い凹地にあるので風の通りがよく、平常時でも午後からは風が吹きます。風による水の動きは、水平方向だけでなく、鉛直方向にもおよびま

すから、湖内の水はゆっくりと攪拌されている状態となり、とくに強風や台風の際には、湖内の水が一挙に攪拌されてしまいます。

図2・2は、湖内44地点で、表層水の水質を同時観測した結果の1例です。図に見るように沿岸域200mぐらいまでは流入水の影響を受けていますが、それより沖合では水質がほとんど均一になっています。図は全リン濃度の例ですが、他の化学成分でも同様の結果になっており、湖内の水が均一化していることが分かります。いいかえると、諏訪湖は完全混合系の湖とみなせるということです。

《水温躍層は出現するが非常に弱い》

湖では、夏になると表層水と底層水の間で温度の急変する水温躍層が生まれて、上下の鉛直方向での水の動きがなくなり、湖水は停滞します。これが夏季の停滞期(成層期)です。諏訪湖の場合は、水深が浅いので水温躍層という急激な温度変化はみられませんが、それでも弱い水温躍層は出現します。

図2・3は、1981年における表層と底層の水温

図2・1 諏訪湖の集水域と水系

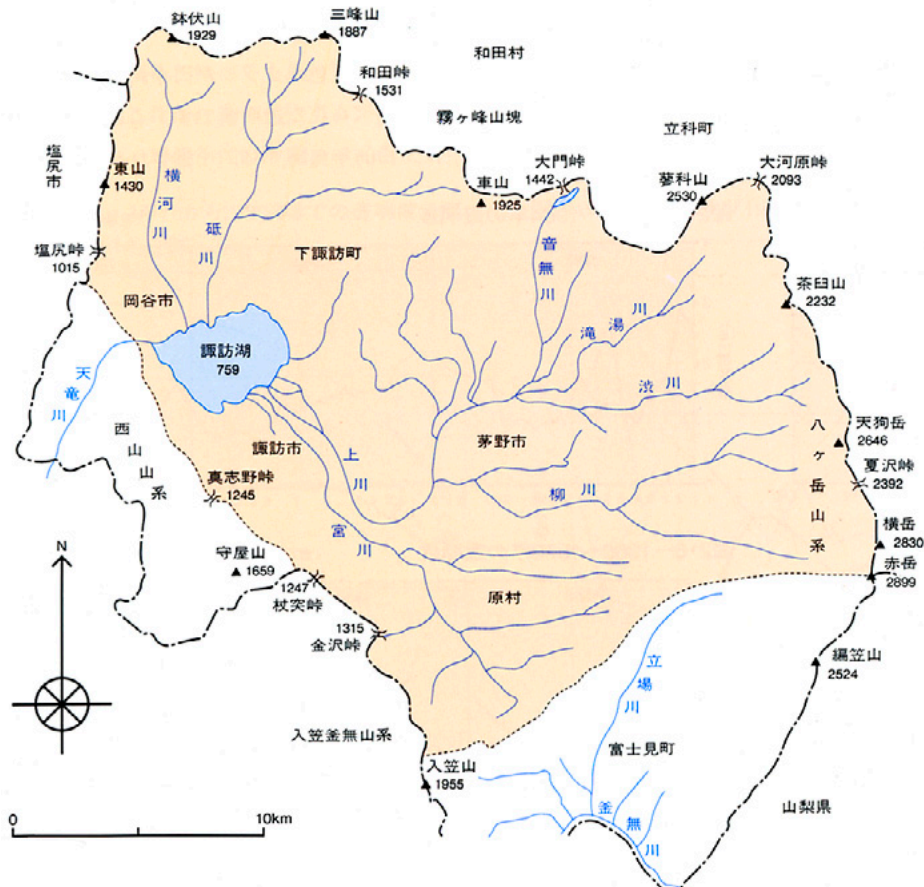


図2・2 表層水中の全リン濃度分布(1981年5月27日)

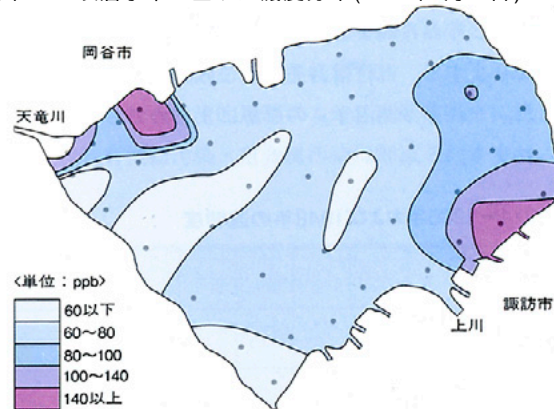
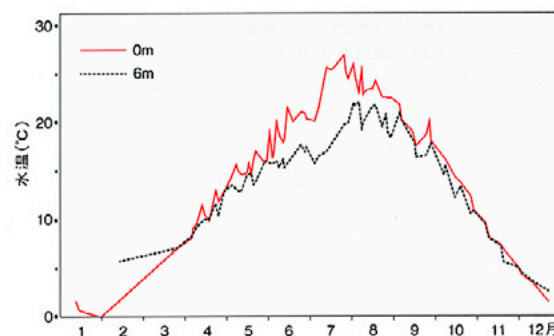


図2・3 1981年の湖心における表層および底層水温の季節変化





の季節変化で、6月から8月にかけては弱い水温躍層が現れており、こうした時には、上・下の水が安定(停滞)します。ただこうした現象も、風の弱い平穏な日が続く数日から1週間ほどの間のことで、少し強い風が吹けば表層水も底層水も混合されてしまいます。

以上が、諏訪湖にみられる水の動きの主な特徴です。このほかに、温度、雨量、日射量などの気象条件が水質に及ぼす影響も無視できないのですが、少し細かくなりますので、ここでは省略し先へ進みます。

#### 諏訪湖の研究

では、諏訪湖の水質はどのように変遷しているかということですが、古い時代は記録がないので、変遷といいましても約100年前頃からの話になります。そうはいいいましても100年前の状況が詳細に記録されている湖は、きわめて僅かしかありません。

諏訪湖の場合は幸いなことに、日本の湖沼学の創始者である田中阿歌麿先生が、明治39年(1906)から大正2年(1913)にわたって、この湖と湖に関連する事象を詳しく調べ、その成果を『諏訪湖の研究』(上・下巻、1,682p)として残しておられます。昭和初期、1930年代になりますと、吉村信吉先生がこの湖を調べられ、それを『湖沼学』のなかにまとめておられます。

さらに戦後まもない1947~1950年には、宝月欣二先生などによって、生物群集と環境を1つの系(生態系)として捉え、そこでの生物生産力を明らかにしようとする、日本で初めての研究が始まっています。これは、今日の湖沼環境の問題と密接に関わる画期的な研究で、その後、多くの研究者によって、諏訪湖はもちろん他の湖沼においても、この分野の研究が継続され、研究内容が深められていくことになります。

#### 透明度の変遷

##### 《湖の透明度と富栄養化》

このように諏訪湖は、古くから非常に多くの研究がなされているのですが、ただ昔は、水の分析といっても大変な苦勞があり、データもそう多くはありません。現在のような精密な測定機器ができて、微量成分を含めた水質の詳しい変遷がたどれるのは、実際には1970年代以降になります。

また、自然の水域を対象とした調査では、そのデータのある幅で読むことが必要です。1点だけのデータでは、その重みが問題になってくるといってもありまして、水質の変遷と一口にいっても、なかなか難しい問題が含まれているわけです。

そういった意味では、昔も今も同じ方法で測定され、湖のきれいさの基準として使われて

きた透明度が水質の変遷をもっとも適切に示す尺度となります。これは、1865年にイタリアの人が考案したもので、直径30cmの白く塗った円板を水中に沈め、その円板が見えなくなる深さを透明度とするものです。測定方法は簡単で、個人的な誤差の範囲も10%以内、データも信頼できます。

透明度は、測定方法が非常に簡単なため何か頼りない感じもありますが、その情報量は非常に多く、湖の栄養度を知るうえですぐれた方法です。水がきれい澄んでいれば透明度は高く、水中に浮遊する植物プランクトンの量が多くなれば、水は濁って透明度は低くなります。ですから湖の富栄養化が進めば、透明度は必ず低下してきます。それで、富栄養化の経過を知るうえで、この透明度の推移を知ることが重要になるわけです。

ただ、植物プランクトンは季節によって出現する種類が変わり、その量も増減します。その増減に伴って透明度も変わりますから、年間でみた透明度の最大の値と最小の値が大切な指標となり、これを経年的に追うことで湖水の大筋の変化が分かります。

#### 《1906~1948年》

図2・4で、青色のグラフが田中阿歌麿先生によって調べられた透明度です。これに見るように、1906年当時では、一番きれいなのは冬

図2・4 1906年および1948年の透明度

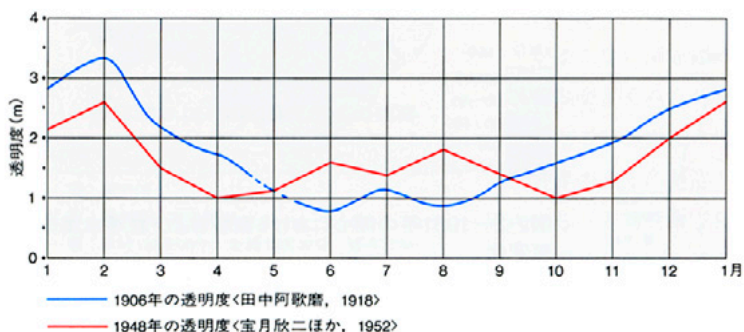


図2・5 1962~1964年の透明度

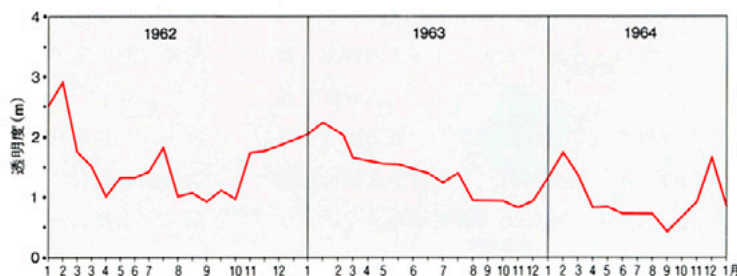
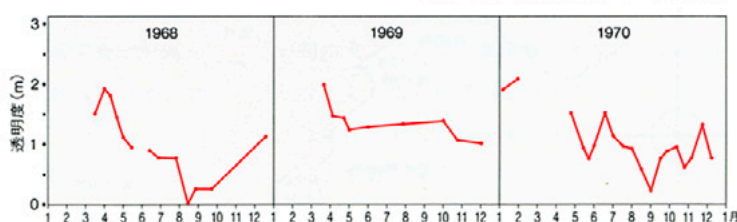


図2・6 1968~1970年の透明度





の2月で3.40m、一番汚れているのは6月で0.80mとなっています。諏訪湖ではこれが一番古い記録で、その次には昭和11年(1936)の春夏秋冬の測定値が知られています。ただこの出典がはっきりしないのですが、春=1.67m、夏=0.97m、秋=1.60m、冬=2.63mで、冬の透明度は大分低くなっています。夏の下限は低くなっていませんが、湖の水質が1906年と比べて変化していることは間違いありません。ただしそれは、そう大きな変化ではありません。

その後は、昭和22~24年(1947~1949)に、宝月先生が調べられたデータがあります。それが図2・4の赤色のグラフです。図は1948年の透明度で、一番高いところが2.60m、一番低いところが1.00mで、この時期でも1906年と比べて大きな変化はみられません。

ただ1948年の透明度では、春と秋が一番低くて、1~4月の透明度は1906年と比べて約1m弱も低くなっています。これは、すでに富栄養化の萌芽が現れているということでしょう。ただし1948年の場合は、夏が高くて8月で1.80mもあります。1960年代以降になると夏の透明度が一番悪くなるのですが、この時期には、1906年と比べても夏の方がまだきれいでした。これは、夏に発生するプランクトンの種類が、1960年代以降変わってきたせい

だろうと考えられますが、透明度だけでは何ともいえません。いずれにしても、1906年頃から1948年頃までは、湖水に大きな変化は大きく推移してきたと考えられます。

#### 《1960年代~1970年代》

その後1960年代になりますと、ご存じのように日本では、高度成長に伴うさまざまな公害問題が一斉に噴出して、社会全体が大きく揺さぶられます。河川・湖沼・内湾では、有機物汚水の排出による水質汚濁が全国的に進み、また多くの水域で有害物質による毒物汚染があらわになって、生物はもちろん、人体にまで深刻な被害が生じてくるようになります。諏訪湖も例外ではなく、湖岸周辺の多くの精密機械工場やメッキ加工工場、食品工場などからは、重金属や有機物を含む大量の廃水が未処理のまま湖に流入し、魚介類や湖底の泥にカドミウムやクロムなどがかなり高い濃度で含まれていることが分かって、大きな問題になりました。

それに加えて、農耕地の農業排水や市街地の生活排水も未処理のまま流入するので、湖の栄養塩は増える一方となり、大量のアオコも発生するようになります。とくに1968年夏のアオコの大発生は有名で、湖一面を緑色に変え、流出したアオコは天竜川の上流数十キロまでを緑色に染めてしまいました。そのため

1965年には「諏訪湖浄化対策委員会」が発足し、続いて1969年には「長野県諏訪湖公害防止協会」ができて、流域下水道整備のための基礎調査が行われるようになります。

では、この時期の透明度はどうかといいますと、図2・5が1962~1964年の記録で、これは当時、高校生であった笠原大洋さんが調べたものです。これを見ますと、1962年当時は冬は3m近く、夏でも80cmほどありますが、それが1963年、1964年と、年を追うごとに冬も夏も両方とも次第に悪くなっていき、1964年の夏は50cmを切っています。こうして年ごとに湖水が汚れていきますが、ただこの時期の重金属による深刻な汚染は、透明度には反映されていないようです。

1968~1970年になりますと、図2・6に示すように透明度はさらに悪くなります。1968年の夏には透明度0が記録されていますが、これが、前述のようにアオコが湖一面を覆ったときの状態で、白い円板が沈めるそばから見えなくなっているわけです。こうした湖の汚れに対して、1970年には環境基準、1971年には排水基準が設定され、また1973年には水質汚濁防止法に基づき、上乘せ排水基準を定めた長野県条例が施行されます。

これらの法的規制によって、産業廃水に伴う有機物汚染・重金属汚染は削減されますが、

図2・7 1910年代から1980年までの透明度の変遷 (林秀剛ほか、1980)

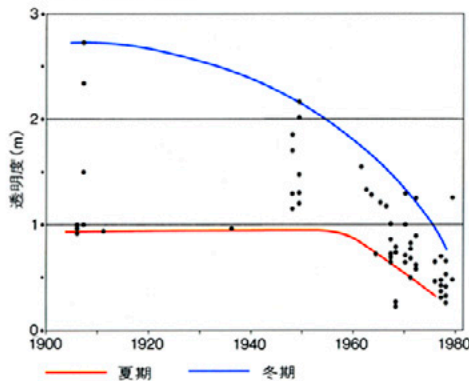
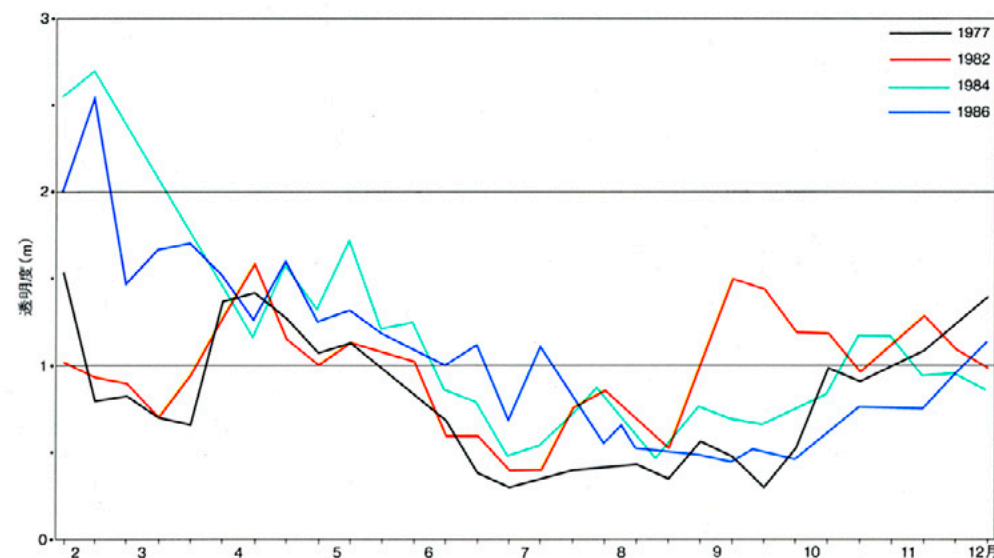


図2・8 1977年および1980年代の透明度





農業排水や生活排水の汚濁物質は依然として湖に流入しています。しかも、夏に発生する大量のプランクトンの一部が完全に分解されずに湖内に蓄積されるようになり、湖の富栄養化は進む一方で、1970年代後半には夏の透明度は20～30cm、冬の透明度は1.60m以下というのが常態になってしまいます。

図2・7は透明度について、1900年代の初頭から1970年代末までの、冬の上限と夏の下限の推移を示したものです。この図に見るように1960年頃から1970年代末に向かっては、上限も下限も両方ともに急速に悪くなっており、この湖が過栄養の状態に陥っている様子がよく分かります。諏訪湖が、日本の汚れた湖のワースト1として、不名誉な記録を残すのもこの時期です。

#### 《1980年代以降》

こうした状況のなかで、1979年には流域下水道の一部が供用され始めます。そのさい、とくに湖水の浄化に大きな意味をもったのは、湖岸の諏訪中央衛生センターの排水が1981年から下水道に取り込まれ、終末処理場に収容されたことです。当時、衛生センターでは、ほぼ諏訪市全域と茅野市の一部の住民のし尿を処理していたのですが、その排水が直接湖内に放流されていたのです。

そのためこの時期には、湖内でのプランクトンの大量発生的主要原因の1つが、この排水に含まれる窒素やリンにあったわけですが、この問題が一挙に解消されて、湖への栄養塩の流入が大きく削減されることになりました。いわばこの区域の住民のし尿は、下水管が施設されなくとも終末処理場に収容される恰好になったのですから、その効果は予想を上回るものがありました。流入汚水量と窒素・リン濃度から計算すると、両者とも、約30%ほどが削減されたと思われます。

この頃になると、漁業協同組合では、湖内の鯉の養魚飼料を低リン化したり、飼料の量を自粛するようになります。住民の間では、家庭排水からリンを取り除こうとする運動がおきてきます。またいろいろな市民団体が、自

発的に湖の清掃にとりかかるといように、湖をとりまく状況が大きく変わってきます。こうした中で、湖水は少しずつ回復に向かってきました。

一方、沖野さんが所長をされている信州大学理学部付属諏訪臨湖実験所では、湖水の回復経過の追跡を重要な研究テーマの1つに取上げ、1977年から湖心での10日間隔の定期観測を始めました。図2・8は、その定期観測による透明度の推移で、図に見るように1980年代以降の透明度は、湖が最も汚れていた1977年と比べて全体として高くなっており、湖水が回復に向かっていることを示しています。

この状況をもう少し子細に見ますと、1980年代以降になると、1977年と比べて、夏場の透明度の悪くなっている期間が短くなり、また短い期間に透明度が頻繁に上がったたり下がったりする傾向が目立ちます。この傾向は、沖野さんの話によりますと、定期観測の間の短期間のうちにも2mを越える透明度が何回か観測されるとのことですから、図で見る以上に上下の周期が短く、また頻繁におこっているようです。

このような透明度の変化からは、1980年代以降になると、湖外から供給される栄養塩の減少につれて、植物プランクトンの発生状況に明らかに異変が起きていることが分かります。ただこの辺の事情については、後ほど沖野さんの方から、植物プランクトンの消長と関連して詳しいお話があると思いますので、これ以上は立入りません。

#### 溶存酸素量の垂直分布

##### 《溶存酸素量の垂直分布と富栄養化》

次に透明度と並んで、湖内の生物の生活と深く関わり、湖の富栄養化の推移を示すものに水中の溶存酸素量があります。この測定法の開発も古く、すでに1888年にウインクラーによって確立されております。

湖では、植物プランクトンによる有機物の生産は光の届く表層で営まれ、生産された有機物の分解は主として底層で、微生物によって行われます。ですから表層では、植物プラン

クトンの光合成作用で水中に酸素が放出され、底層では、微生物が有機物を分解するときに酸素を使うので酸素が消費されます。

このように湖では、そこに生物が生活している限り、表層では水中に酸素が放出され、底層では酸素が消費されているわけですが、湖内の水が循環しているときには、底層で酸素が消費されても、酸素を含んだ水が上から補給されてくるので問題はおこりません。

それが夏の停滞期に入って、水が上下に動かなくなると、底層では、上から酸素が補給されないで酸素は消費される一方となり、水中の溶存酸素量がどんどん減っていきます。その減り方は、分解する有機物が多くて微生物の活動がより盛んであれば、それだけ多くの酸素が減っていきませんが、有機物が一番多く沈積しているのは湖底表層ですから、水中の溶存酸素量の減り方は湖底付近で著しく、中～富栄養湖でもしばしば無酸素状態になることがあります。そして富栄養化が進めば、それだけ酸素の消費が激しくなりますから、酸素量の減少する位置が、次第に底層の上部へと上がってくるようになります。

一方、表層では有機物の生産が多くなれば水中に放出される酸素量も増えていきます。ただ湖の表面付近の溶存酸素量は、普通の気象条件下では、大気中の酸素と平衡状態(飽和)を保つので、過飽和になれば大気中に放出され、不飽和になれば大気から補給されます。ですから表層の溶存酸素量は、正確には有機物の生産量を反映しません。

ただし湖が富栄養～過栄養化して、夏にアオコが発生したときは別で、このときは過飽和になることがあります。これは、アオコの正体であるミクロキスティスが、普通の植物プランクトンとは違って極端な表面集中型で、湖の表面をびっしりと覆ってしまうからです。ミクロキスティスについては、後ほど沖野さんからお話しいただけるとと思いますが、いずれにしても、湖の表層が過飽和になるときは特別な気象条件でもなければ、アオコの発生が想定されるということです。



以上のように、夏の停滞期の表層から底層までの溶存酸素量の垂直分布は、湖の富栄養化の進行状況をよくあらわしています。

《中栄養湖から過栄養への変遷》

では諏訪湖の状況はどうかといいますと、それを示したのが図2・9です。この図で、まず1919年の状態を見ますと、表層から底層まで溶存酸素量は余り変化がなく、湖底付近で僅かに少なくなっています。これは、底層にも酸素が充分あって、分解する有機物の量も少なく、余り汚れてない状態です。このような垂直分布型は、貧～中栄養の湖でよくあらわれます。

それが1950年になりますと、底層の溶存酸素量は、湖底から水深4mぐらいまでが酸素不足の状態です。これは、底層で分解する有機物の量が多くなったため、消費される酸素量がぐんと増えたからで、この時期には、すでに富栄養化していたのでしょう。

1967年になると、表面から水深2m付近までの表層が過飽和になっています。これは、アオコが発生して湖の表面を覆いつくし、アオコから放出される酸素によって表層が過飽和になっているときの状態です。一方、底層では、湖底から底層最上部の水深3mぐらいまでが酸素不足に陥っています。この垂直分布型には、過栄養化している湖の症状がよくあらわれています。

《過栄養の諏訪湖で生じる特異な現象》

ところが1970年代になりますと、底層の酸素

不足は常態ではなくなって、しばしば酸素不足が解消する現象がおきてくるのです。その例が1979年の垂直分布で、表層はアオコの発生で過飽和なのに、底層では酸素不足が生じておりません。このような奇妙な現象は、まず普通の湖では見られません。

これは、さきに述べましたように、諏訪湖では夏の水温躍層が非常に弱く、少し強い風が吹けば上下の水が混合してしまうからです。それで、アオコに覆われてたつぷりと酸素を含んだ表層水が底層にまで達し、底層の酸素不足を緩和してしまうわけです。

ですからこの場合には、底層にはまだ未分解の有機物がどっさり残っています。そのため今度は、夏場だけではなく、5月末から6月初めの時期にも、酸素不足が生じるようになります。それが1970年代の状況です。このように過栄養化していた諏訪湖では、通常の湖の概念からは外れた現象がときどき起こりました。

《1980年代以降》

1980年代以降になりますと、透明度の推移が示していたように湖水は回復に向かってきます。この傾向は、溶存酸素量の推移を見るとさらに明瞭になります。図2・10は、臨湖実験所の定期観測のデータで、1977年、1982年、1986年の表層と底層の溶存酸素量を、春から冬までの季節変化の中で示してあります。

まず、1977年の最も汚れていた時期には、いま述べたように、底層には5月末と7月末に

2つの酸素不足のピークがみられます。

それが1982年になると、2つの酸素不足のピークはみられるものの、両者とも酸素不足がいくぶん緩和されているのがわかります。

そして1986年になれば、年間を通じて、全体として底層の溶存酸素量が増大し、5月末の酸素不足のピークもすっかり消えています。このように、1980年代以降の底層の溶存酸素量の推移には、湖水の回復しつつある状況がはっきりと映し出されています。

窒素とリン

《富栄養化の原因は窒素・リンの過剰供給》  
植物プランクトンが増える原因は何かというと、結局は、窒素・リンという栄養成分の増加です。陸上でも、作物を育てるときには、窒素・リン・カリウムなどの栄養肥料を与えますが、湖でも植物プランクトンが増えるときには、各種の栄養元素が必要です。その栄養元素のなかで、一般の湖では最も不足し、生産の制限因子となっているのが窒素とリンなわけです。その窒素・リンを、人間が湖の中に過剰に流し込み、それが原因で植物プランクトンが異常増殖しているというのが、現在の人為的富栄養化です。ですから湖の富栄養化の進み具合は、基本的には、湖水の窒素・リン濃度がどのように変遷してきたかを見ればよいわけです。

《1931～1977年の全窒素・全リン濃度》

ただ昔は、これを測るのが非常にむずかかったのです。私どもも随分と苦労した覚えが

図2・9 夏期の溶存酸素量鉛直分布の変遷

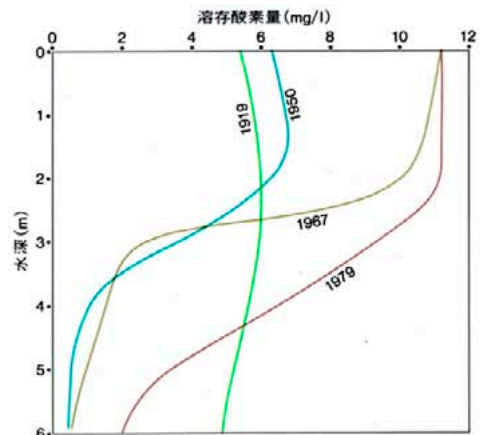
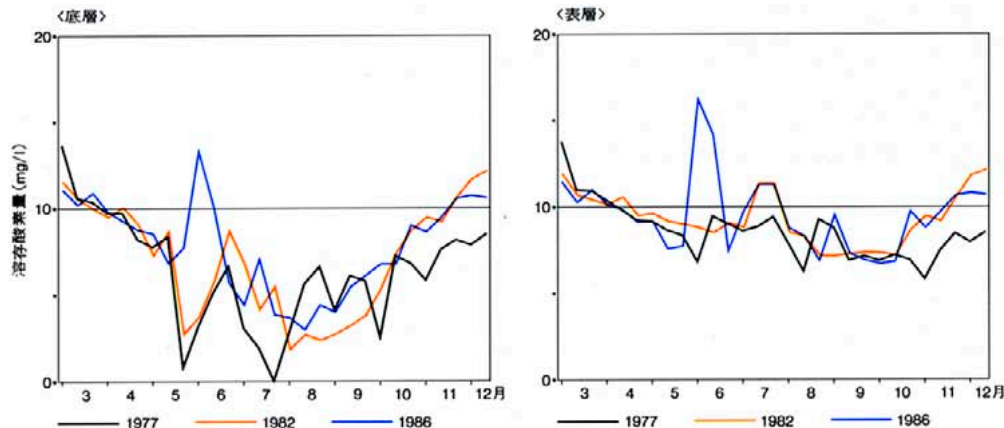


図2・10 1977年および1980年代の表層と低層の溶存酸素量の季節変化





ありまして、実際にこれらの濃度を迅速に、しかも正確に測れるようになったのは、せいぜい20年前ぐらいからだと思います。

諏訪湖の場合は、吉村先生が調べておられますから、1931年からの変遷をたどることができます。表2・3は、これまでに報告されている測定値と、1977年以降は臨湖実験所による定期観測のデータによって、全窒素および全リン濃度の変遷をみたものです。

まず1931年をみますと、全窒素は1ℓ中0.26mg、全リンは0.020mgです。富栄養湖の下限は、全窒素で0.20mg、全リンで0.020mgとされますから、この時期は、中栄養湖から富栄養湖へ移り変わる途中にあったのでしょう。それが1949年の宝月先生の測定結果では、全窒素が1ℓ中0.49mg、全リンが0.080mgに増えています。この時期は、すでに富栄養湖になっていたわけですね。

その後、富栄養化は急速に進み、1969年には全窒素は1ℓ中1.35mgに増えて1931年の約5倍となり、さらに1977年になると、全窒素は1ℓ中1.6～2.0mg、全リンは0.26～0.34mgにも増大します。これは、富栄養湖の下限とさ

れる濃度に比べると、全窒素は約10倍、全リンは約17倍という驚くべき値です。この時期の諏訪湖が、過栄養湖とされる所以です。

《1980年代以降》

1980年代以降になると、湖が回復に向かっていく時期になります。この表では1981～1986年の6年間について、毎年のデータが示されています。

まず全窒素の濃度をみますと、6年間における上限の値は1ℓ中1.2～2.1mgで、1977年の2.0mgと比べ下がってないようにも見えます。ただ、このなかには突発的に濃度が上昇している年があるので、下がってないとも言い切れないのです。下限の値は1ℓ中0.8～1.2mgで、これは1977年の1.6mgと比べてははっきりと下がっています。一方、全リンの濃度は、1977年の1ℓ中0.26～0.34mgに比べ、6年間の値は0.05～0.29mgで、この方は、濃度の低下をはっきりと示しています。

以上は、全窒素・全リンとも、最も濃度の上がる夏の濃度です。そこで、臨湖実験所では湖水の実態をより詳しく把握するために、10日間隔の定期観測によって得られたデータを

濃度別に整理し直し、各濃度の年間の出現頻度を調べられています。言い忘れましたが、臨湖実験所の定期観測では、表面から湖底まで1m間隔で7層から採水し、その7つのサンプルの平均濃度が使用されています。

その結果が表2・3で、上が全窒素、下が全リンです。まず全窒素をみますと、一番高い濃度域の1ℓ中2.01～2.50mgは、1977年は年間10.5%の頻度で現れますが、1983年にはもう現れません。次の1ℓ中1.50～2.00mgの濃度域は、1977年の出現頻度は31.6%ですが、これも1983年以降、次第に出現頻度が減っています。逆に、1ℓ中0.51～1.00mgの低い濃度域の出現頻度は、1983年以降増えており、全体として、1983年以降は低い濃度域に測定値が移っている状態がよく分かります。年平均濃度も、1983年以降は低下しています。

一方、全リンはどうかといいますと、1977年は1ℓ中0.30mg以上の濃度域が7.1%も出現しますが、1983年以降はゼロです。次に0.21mgから0.30mgまでを一緒にしますと、1977年は28.3%も出現しているのに、1983年以降は出現頻度がぐんと減っています。逆に0.10mg以

表2・2 夏の窒素・リン濃度の変遷(1931～1986年)

〈単位：μg/l〉

測定年月	全窒素	溶存無機態窒素	全リン	リン酸態リン
1931年8月	260	—	20	—
1949年9月	490	220	80	14
1958年5月	1160	—	80	14
1966年7月	—	193	30	3
1969年6月	1350	325	—	—
1977年8月	1630～2020	2～60	260～340	80～100
1981年8月	1220～1500	190～630	160～290	24～40
1982年8月	1130～2130	570～1730	70～280	20～54
1983年8月	1110～1970	310～400	100～250	8～42
1984年8月	780～1150	20～60	140～230	22～89
1985年8月	1075～1400	60～436	101～198	16～30
1986年8月	1164～1502	62～650	49～154	2～16

表2・4 1977年と1980年代の水質の比較(年平均)

項目	1977年		1986年		1989年		1992年	
	mg/l	mg/l	減少率	mg/l	減少率	mg/l	減少率	
塩素量	15.7	12.1	22.9%	8.6	45.2%	10.6	32.5%	
COD	5.45	4.16	23.7	4.39	19.4	4.44	18.5	
全リン	0.149	0.106	28.9	0.107	28.2	0.104	30.2	
全窒素	1.527	1.197	21.6	0.776	49.2	1.413	7.5	
クロロフィル量	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	減少率	mg/m <sup>2</sup>	減少率	mg/m <sup>2</sup>	減少率	
	466	247	41.2	427	18.4	282	39.5	

表2・3 1977年および1980年代の全窒素・全リン濃度出現頻度

全窒素濃度 μg/l	年間出現頻度(%)				
	1977	1983	1984	1985	1986
～500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
501～1000	10.5	16.5	64.5	30.0	30.0
1001～1500	47.4	60.0	32.3	50.0	60.0
1501～2000	31.6	24.0	3.2	16.7	6.7
2001～2500	10.5	0.0	0.0	3.3	3.3
2501～	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
年平均濃度	1.61	1.31	1.39	1.24	1.18

全リン濃度 μg/l	年間出現頻度(%)				
	1977	1983	1984	1985	1986
～50	0.0	12.8	12.9	3.3	20.0
51～100	32.1	66.7	51.6	53.3	46.7
101～150	25.0	12.8	9.7	26.7	10.0
151～200	7.1	5.1	19.4	10.0	10.0
201～250	14.3	2.6	6.4	6.7	3.3
251～300	14.3	0.0	0.0	0.0	10.0
301～	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0
年平均濃度	0.157	0.08	0.111	0.107	0.107

\*年平均濃度の単位はmg/l



下の低い濃度域の出現頻度が増えていて、全リンについても、1983年以降は、全体に低い濃度域に測定値が移っていることがよく分かります。年平均濃度も、1983年以降は低下しています。以上のように、1980年代以降になりますと、窒素もリンも、両方ともに濃度の低下が認められ、湖水が回復に向かっているのが分かります。

大筋だけの話ですが、古い時期からの水質の変遷となりますと、だいたい以上のようなことになるかと思えます。

編集 1986年以降は、全体としてどんな状況になっているんですか。

渡辺 表2・4が1977年と比べた1986、1989、1992年の水質です。1989年頃までは回復傾向がはっきりと見られますが、1990年頃からは回復傾向は鈍ってきて、年ごとに良くなったり悪くなったりして、全体を通して見ると、現在までヨコバイ状態が続いています。ですから、まだ決して安心できる状態ではありません。ちなみに諏訪湖の環境基準は、COD(化学的酸素要求量)が1ℓ中3mg以下、全窒素は1ℓ中0.6mg以下、全リンは1ℓ中0.05mg以下

下です。この数値と現状を比べてみれば分かるように、この目標の達成にはまだ時間がかかりそうです。

### 湖底堆積物中の重金属濃度と栄養塩濃度 《重金属類》

なお最後にもう一つ、さきに述べましたように、1960年代には底泥の重金属類が大きな問題になりました。では現在、これらの汚染物質がどうなっているかということですが、これについては、1991年(平成3年)に地質調査所によって、その分布状況が詳しく調べられています。湖底全域の60数地点で、約1mほどの深さまでの湖底堆積物を取って、そこに含まれる重金属類の濃度が調べられていて、図2・11が試料の採取地点です。その調査結果を、代表的な5つの例で示しますと図2・13のようになります。

図に見るように、13、15、22地点では、深さ30数cmから40数cmの部分に高濃度の重金属類が含まれていますが、これが1960年代に湖に流入したときのもので、ほかの地点でもほぼ似たような傾向を示します。ところが31、39地点では、湖底の表面付近に高濃度の部分が

みられます。これは、この2地点では湖底が浚渫されたために、下の方の高濃度の部分が湖底の表面に出てきてしまったのです。ですから浚渫を行うとすれば、高濃度の重金属を含む下の部分まで除去しないと具合が悪いことになります。

なおこの図では、鉛、銅、亜鉛、ニッケル、クロムなどの重金属濃度が調べられていますが、カドミウムが見られません。カドミウムについては、1979~1980年に私どもが湖底表層の分布状態を調べていますので、その結果を図2・12に示します。1960年代には、湖岸に近いところでは4~6ppmというような高濃度もみられましたが、1980年では図のような状態になっておりました。

### 《窒素とリン》

1979~1980年の調査では、深さ20cmぐらいまでの泥を取って、炭素、窒素、リンの濃度も調べました。その結果が図2・14(採泥地点は図2・12に記載)で、どの地点でもリンの濃度が高く、特に湖心部の湖底表層で窒素もリンも濃度の高くなっているのが特徴です。

図2・11 湖底堆積物の採取地点(1991年)  
〈石原ほか, 1993〉

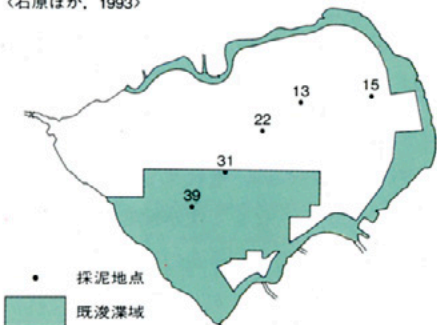


図2・12 表層堆積物中のカドミウム濃度(1979~1980年)

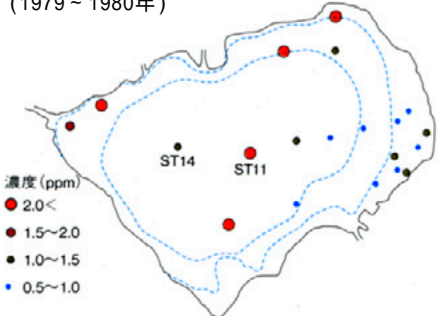


図2・13 湖底堆積物(1m弱)に含まれる重金属濃度の垂直的变化(1991年11月採泥)  
〈石原ほか, 1993〉

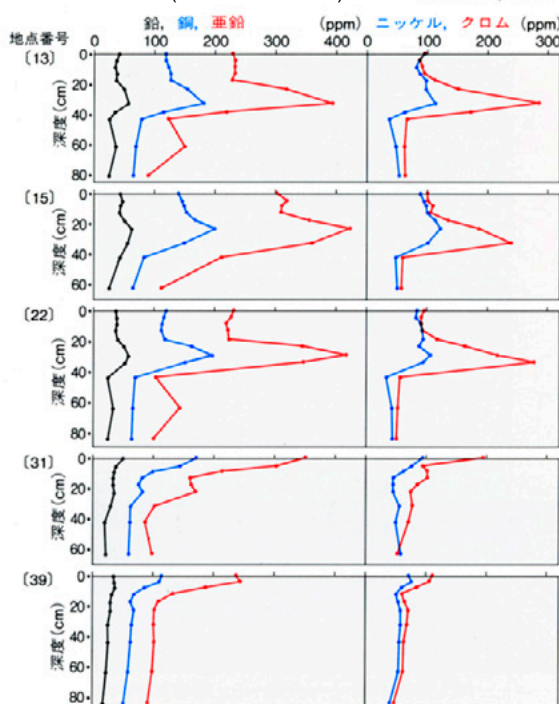
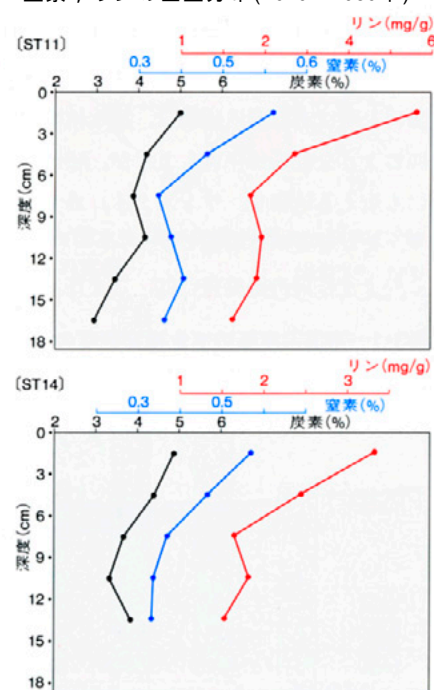


図2・14 表層堆積物(0~15cm)の炭素、窒素、リンの垂直分布(1979~1980年)



# 3 生物相の変遷

## 水生植物

### 《沿岸帯の水生植物群集》

沖野 湖の植物では、植物プランクトンと並んで重要なのが湖岸に繁茂する水生植物です。水生植物は、その生活型の違いによって、抽水植物、浮葉植物、沈水植物、浮漂植物などに分けられますが、人為の加わらない、なだらかな地形の沿岸帯では、浮漂植物以外の各グループが、湖岸の浅い方から沖合に向かって帯状にきれいに分布します(図3・1)。

抽水植物は、根は底土の中にありますが、葉の大部分が水面上に出ているもので、ヨシ、マコモ、ガマなどです。汀線付近を中心に水域と陸域にまたがって分布します。

浮葉植物は、根は湖底に定着しているのですが、葉が、文字どおり水面上に浮かんでいるもので、ヒシ、アサザなどです。抽水植物よりは少し深いところに分布します。

沈水植物は、体の全部が水中にあるもので、根は湖底に定着しています。葉のほとんどは水中にありますが、上端の葉は、浮き草のように水面上に流しています。ササバモ、エビモ、ヤナギモ、クロモなどで、一番沖合に分布するのがこのグループです。

浮漂植物は、浮遊植物ともいいますが、根が底土につかないで、葉が水面を漂っているもので、ウキクサやアカウキクサなどです。

図の左端にある湿性植物は、抽水植物とほぼ同じような位置に生育しますが、陸側の湿地にも生える植物で、サンカクイ、カヤツリグサ、セリなどがこの類です。

このように湖の沿岸帯には、さまざまな水生

植物がその生活型に相応した場所に生育しているのですが、現在、多くの湖沼ではそうした景観は見られません。水生植物群集は、いうまでもなく、湖の生物にとっては非常に重要な存在で、湖水や底泥からは栄養塩を取り込んで湖水を浄化するだけでなく、魚類やえび類には産卵の場を提供し、稚魚や幼生にはそのすみ場を与えます。ですから湖の再生ということも、水生植物の回復なしには考えることができないわけです。

### 《富栄養化に伴う沈水植物分布域の減少》

諏訪湖の研究は、さきほど渡辺さんが述べられたように、田中阿歌磨先生によって1900年代の初頭に始りますが、幸いなことに、ちょうど同じ頃の1911年に、植物生態学の大先輩である中野治房先生が諏訪湖の水生植物を調べておられます。それが図3・2Aで、この時期はまだ埋立地もなく、当時の湖面積は今より大きくて14.5km<sup>2</sup>あります。

図を見ると、抽水植物は、コウホネ、マコモ、ヨシがみられ、このうちヨシの分布は少ないようですが、ヨシはもともと陸側に生活域を拡げているので湖水中の分布は広くありません。図は湖の内側だけを調べたもので、それで少ない感じがするのですが、陸側も含めればヨシの分布域はかなり広がります。

浮葉植物は、諏訪湖にはもともと少なかったようで、この当時ヒシの姿はみられません。岸边にあって、栄養分の少ない方が生育しやすいヒルムシロが若干見られる程度です。

それに対して、圧倒的に多いのが沈水植物です。センニンモ、ホザキノフサモ、クロモな

ど多くの種類が見られるだけでなく、分布も非常に広く、図のように水深4mの等深線のところまで生息地を広げています。

昔から、水生植物が生育できる深さは、春先の透明度の2倍ぐらいというのが経験的に知られていて、これは水中に届く光量の関係からも肯定されています。当時の春先の透明度は、さきほど渡辺さんが示された図2・4を見ますと約2mです。したがって、当時の生育限界は4mということになり、図の分布域ともよく合っています。この時期の水生植物の分布面積は380ha(3.8km<sup>2</sup>)で、湖面積の26%にも相当する部分を水生植物が占めていたことになります。

その後は少し時代があいて、1949年に宝月先生らが調査されており、それが図3・2Bです。宝月先生は、中野先生のお弟子さんにあたりますから記載や調査法が同じで、40年弱の間隔があっても、これら2つの図面の信頼性は非常に高いものがあります。

この時期になりますと、沈水植物ではセンニンモの姿がなくなって、代わりにクロモやセキショウモが増えてくるといった変化があります。一番目につくのは、生息範囲が2.5mの等深線のところまで押し縮められ、後退してしまったことです。

では、この間に何があったかということですが、これは、次第に富栄養化が進んで透明度が落ちてきたために、それまでの深さのところでは光量が足りなくて沈水植物が生育できなくなったからです。さきの図2・4で1948年の春先の透明度を見ますと、1911年のそれに比べて1m近くも落ちています。これは、春先に珪藻が盛んに繁殖しているからで、その原因は、もちろん栄養塩の増加です。

このように1911~1949年にかけては、富栄養化の進行に伴って、沈水植物の生育地が次第に縮小してきたのが特徴です。表3・1は、水生植物の各種類について、1911年から1976年にかけての量的な消長と、あわせて分布限界深度と分布面積の推移、また3つの植物グループの構成比の変化などをまとめたものです。

図3・1 湖沼沿岸帯の水生植物群落の分布

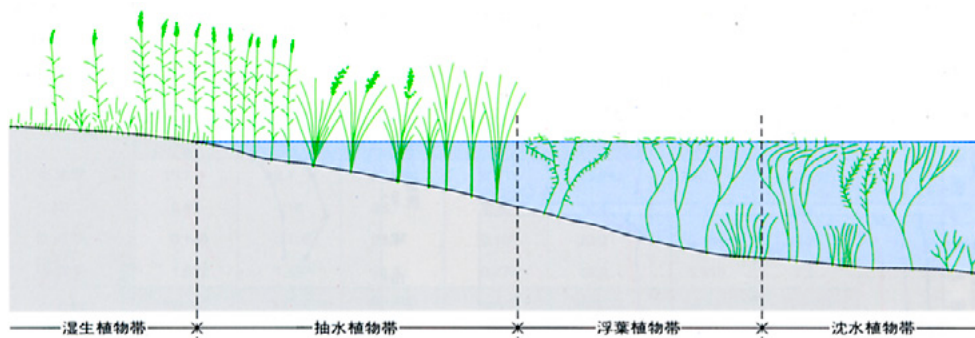




図3-2 夏の大型水生植物の分布の経年変化

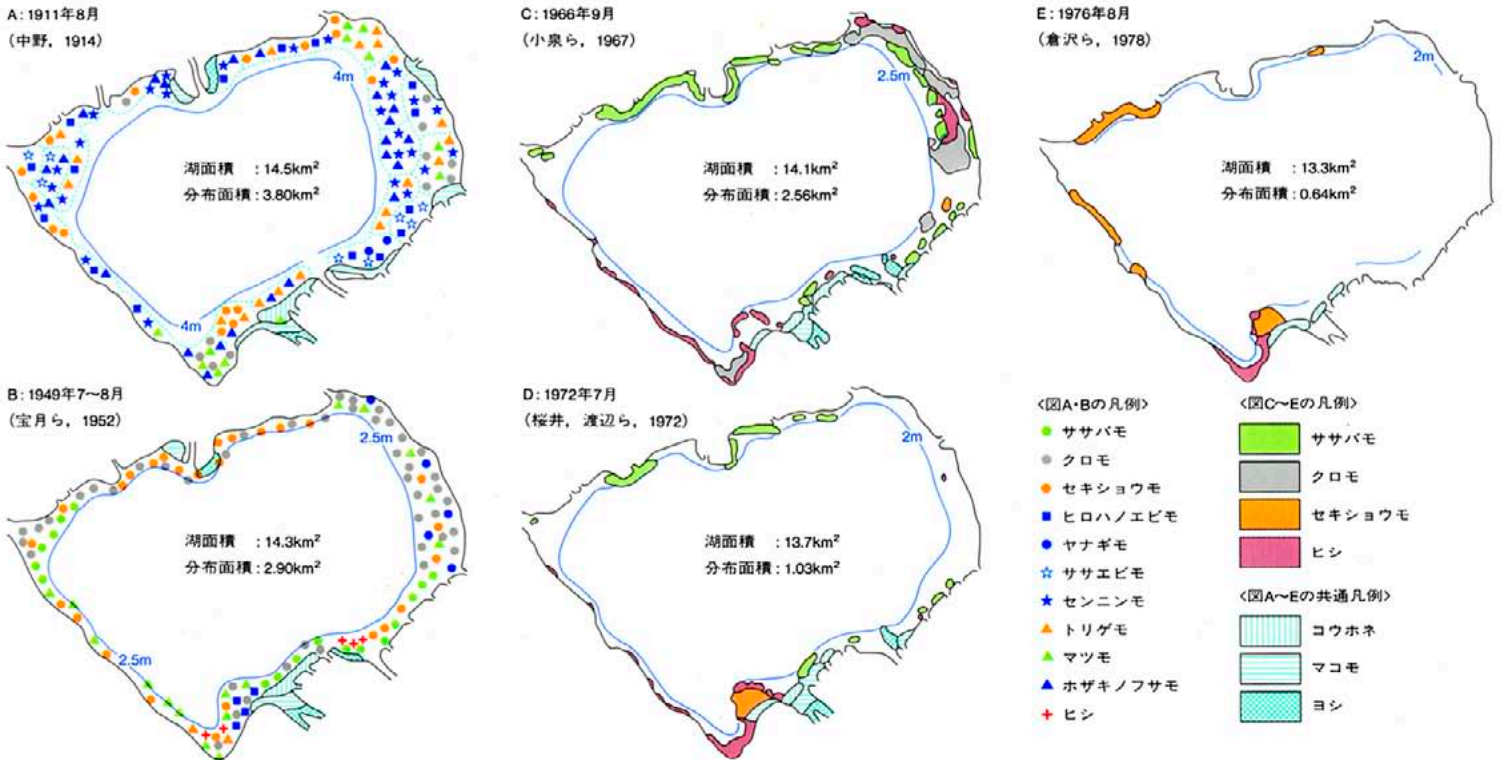


表3-1 大型水生植物の分布域，分布面積，現存量，生活タイプ別の構成比の変遷  
 <倉沢，沖野，1983を一部改変>

種別・生活型別現存量(トン)	1911	1949	1966	1967	1972	1976
①						
ササバモ <i>Potamogeton malaiianus</i>	—	120	276	159	120	21
エビモ <i>Potamogeton crispus</i>	+	3	—	1	—	12
ヒロハノエビモ <i>Potamogeton perfoliatus</i>	++	29	—	21	39	11
ヤナギモ <i>Potamogeton oxyphyllus</i>	+	49	—	—	—	—
センニンモ <i>Potamogeton maackianus</i>	+++	—	—	20	—	2
ホソバノミズヒキモ <i>Potamogeton octandrus</i>	+	2	—	r	—	—
イバラモ <i>Najas marina</i>	++	40	—	—	—	—
セキショウモ <i>Vallisneria gigantea</i>	++	184	16	130	120	20
クロモ <i>Hydrilla verticillata</i>	+++	377	597	238	8	10
マツモ <i>Ceratophyllum demersum</i>	+	105	—	8	—	—
ホザキノフサモ <i>Myriophyllum spicatum</i>	+++	20	—	—	—	—
シャジクモ <i>Chara braunii</i>	—	1	—	—	—	—
②						
ヒシ <i>Trapa japonica</i>	—	23	630	442	349	358
③						
ヒルムシロ <i>Potamogeton distinctus</i>	+	—	—	98	—	—
④						
コウホネ <i>Nuphar japonicum</i>	+	23	142	90	74	16
⑤						
マコモ <i>Zizania latifolia</i>	+++	174	235	235	268	23
ヨシ <i>Phragmites communis</i>	+++	43	63	63	72	—
⑥						
① 沈水植物	+++	808	889	576	288	76
② 浮葉植物	+	23	630	541	349	358
③ 抽水植物	+++	240	439	387	414	39
全現存量(①+②+③)		1071	1958	1504	1051	473
分布限界深度と分布面積	1911	1949	1966	1967	1972	1976
分布限界深度(m)	4.0	2.5	2.3	2.3	2.0	1.7
分布面積(ha)	380	290	256	256	103	64

+ : あり r : 少ない — : なし

図3-3 埋立地面積の経年変化

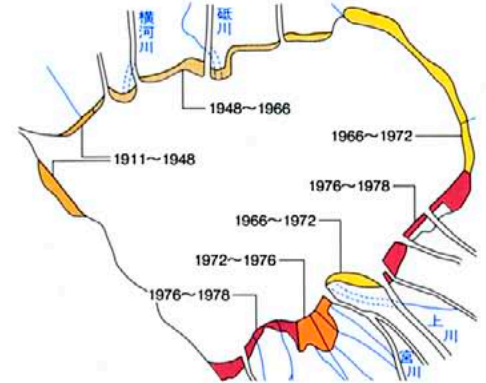
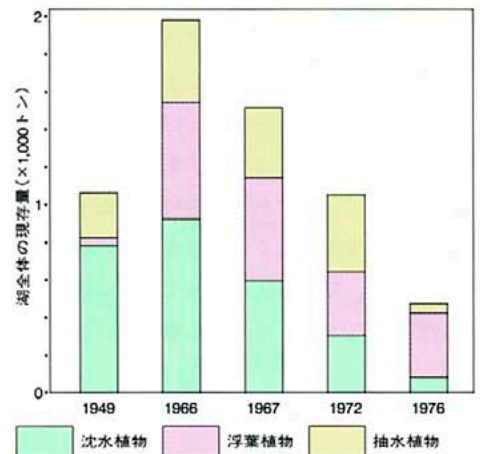


図3-3 大型水生植物の現存量と生活タイプ別の構成比の変遷  
 <倉沢ほか，1979>



この表で、最下段をみますと、1911年の分布限界深度4.0m、分布面積380haに対して、1949年には分布限界深度が2.5m、分布面積は290haとぐんと縮小しています。

#### 《過栄養化と浮葉植物(ヒシ)の進出》

その後、1966年になりますと、信州大学の小泉先生が、宝月先生らとほぼ同じ方法で水生植物を調べておられます。それが図3・2Cです。この当時、すでに湖岸の埋立てが始まっています。北側の一部と、東側および南側の湖岸は元のままですから、水生植物はそれほど大きな痛手を受けておりません。

表3・1で1949～1966年の推移をみますと、まず分布限界深度が2.5mから2.3mへと浅くなっています。もちろんこれは、過栄養化して透明度がさらに落ちているからで、それに伴って分布面積も290haから256haに減っています。ところが、分布面積は減っているのですが、水生植物の全体の量は、1,071トンから1,958トンへと約1.8倍にも増えているのです。これは、栄養塩が増えているために単位面積当たりの植物の現存量が増えていることを示しています。この時期の分布面積の減少は主に透明度の低下が原因ですが、植物の現存量は、栄養塩の増加によって逆に増えたことが分かります。

ただその増え方は、それぞれの植物グループによって違います。まず沈水植物からみますと、これは約1.1倍の増え方です。しかし種類は減っていて、ササバモとクロモの現存量だけが増えています。次に抽水植物をみると、これは約1.8倍の増え方で、コウホネ、マコモ、ヨシの3種類とも増えています。

最後に浮葉植物、これはヒシ1種類だけですが、その増え方は爆発的で、1949年に比べて1966年は約27倍になっています。ヒシは葉が水面に浮いていますから、透明度の低下にも関係なく、栄養が高くなればそれだけ増えられるという、富栄養化にとって非常に有利な生活型をしており、どんどん増えていくわけです。

図3・4は、水生植物の全現存量の変遷と、そ

の中で3つの植物グループの構成がどのように変化しているかを示したものです。この図に見るように、1949年時点では、水生植物の全現存量のなかで僅か2%しかなかった浮葉植物が、1966年になると全体の32%も占めてしまいます。このように、1949年から1966年にかけては、過栄養化に伴う浮葉植物の急激な増加というのが大きな特徴で、植物グループの構成も大きく変わってしまいました。

#### 《埋立と浚渫による水生植物の消滅》

小泉先生の後には、1972年に信州大学の桜井先生と渡辺先生が調べられ、さらに1976年には臨湖実験所の元所長の倉沢先生らが調べられております。それが、図3・2のD(1972年)とE(1976年)です。

2つの図を見ていただければ分かるように、この時期の水生植物に対するダメージは決定的なものです。1972年には、東側の湖岸から南側の湖岸にかけての水生植物がまとまって消滅しました。さらに1976年には、特殊な地域を除いては、水生植物の存在がほとんど見られないというような状態になっています。

こうした消滅の仕方からも推定できるようにこの時期の水生植物の消滅は、人間が直接に湖岸を埋立てたり、浚渫したりしたことが原因です。図3・3は、湖岸埋立地の造成年度を示したものです。1948～1966年の埋立ては北側の湖岸に限られていますが、1966～1972年には東側の湖岸と南側の湖岸の一部、さらに1972～1978年には残された南側の湖岸が埋立てられます。

これらの埋立ては、主として治水のための護岸工事によるものですが、当時の埋立ては、とくに諏訪湖に限らず水生植物のことなど考慮していません。そのため、この工事によって最も大きな痛手を受けたのは、汀線付近を生育の場とするヨシやマコモなどの抽水植物で、水生植物の現存量が最も多かった1966年に比べ、10年後の1976年には、抽水植物の量は僅か11分の1ほどに激減しています。

一方、この時期には「水生植物の枯死によって湖水が汚濁する」という誤解があって、

1969～1980年には、水深2.5mより浅い湖底の大部分の浚渫が計画され、実行されます。その結果、浚渫を免れたごく一部の地域を除いては沈水植物も消滅し、1966年にくらべると、1976年にはわずか12分の1ほどに減っています。こうして諏訪湖の水生植物は、図3・2Eに見るように、1976年にはほとんど壊滅状態に陥ります。

ただこうした状況にあっても、浮葉植物のヒシだけは人間の影響を受けにくい生活型をしているために、その減り方が少ないのです。図3・4に見られるように、沈水植物も抽水植物も壊滅状態にあるなかで、この植物だけが存在を誇示しているのが分かります。

#### 《渋のエゴ》

ところで諏訪湖には、以前には、エゴと呼ばれる入江状の地形がいくつかあって、そこは多くの水生植物が繁茂する場所としてよく知られていました。現在の流域下水道終末処理場のある場所も、かつては「渋のエゴ」と呼ばれていたところなのですが、ここに処理場の建設計画が持ち上がったとき、諏訪市教育委員会の自然研究部の人々が、エゴの消滅を惜しみ、その原生的自然の記録を残すためにエゴの実態調査を行っております。

その調査結果は「渋のエゴ調査報告書」として1973年に発刊されていますが、諏訪湖の水生植物について述べる場合、この貴重な「渋のエゴ」の記録は外せません。この報告書からは、エゴの水生植物帯が、湖に生息する生物だけでなく、鳥類や陸域の小動物の生活の場として利用され、多くの生物がここを繁殖の場として、また採餌の場として利用している姿が浮かび上がってきます。そして、同じ生物である人間もまた、この豊かな「生」の空間を共有すべきことを言外に語りかけてきます。それで、この報告書のなかから主要と思われる図版を6点ほど選び、また簡単なコメントを作成しておきましたので参照してください(p.24～P.25)。

#### 《回復の状況をめぐって》

1980年代以降になりますと、さきのお話にあ



ったように湖水は回復に向かってきます。また1990年代に入りますと、県の諏訪建設事務所を中心に湖岸の再生事業が始まりますが、これについては、後で萩原さんから話があります。ここではいくつかの植物を例に、最近の状況に触れてみます。

沈水植物では、いまエビモとササバモが戻ってきているのですが、長野県水産試験場の諏訪支場で昭和61年(1986)から毎年、エビモを中心にその分布状況を調べておられます。図3・5の4枚の図がそれぞれですが、ご覧のように1986年は分布域がだいぶ広がっています。しかし1991年には急に減って、最近また増えている傾向にあります。この増減のおこる原因はよく分からないのですが、全体としては水深3mぐらいのところまで水生植物帯の分布域が戻ってきていますから、湖水が回復傾向にあることが分かります。

また表3・1にセキショウモというのがあります。これは岸辺の砂地に生える比較的小さな沈水植物ですが、これが最近少し増え始めています。このセキショウモが多くなるのは、春先の透明度が高いということになりますので湖にとって良い兆候といえます。

ただこうして透明度が高くなってきますと、厄介なコカナダモが増えてくる可能性もあります。コカナダモは、諏訪湖ではいままで余り増えたことはないのですが、本来は流水性のもので、現在でも川の中にはたくさんあります。そのコカナダモが流れてきて、最近になって湖内に定着し始めています。そうなりますと、湖内に生育する水生植物の構成が変わってきてしまいます。

できれば、早くクロモが増えてきて、さらにコウホネ、トチカガミ、アサザ、ホッソモなど、以前の諏訪湖での構成種が戻ってきて、その分布を拡げて行ってほしいと思っているのですが、その辺りが気がかりなところです。そのほか、富栄養な環境に強いヒシも増えており、将来のヒシがどうなるかというのも問題の1つです。

### 植物プランクトン

#### 《植物プランクトンの季節変化》

プランクトンというのは、自分で遊泳する力の弱い、水中に浮かんで生活する浮遊生物の総称です。こうした微小な水生生物は、植物にも動物にもじつに多くの種類がいます。また懸濁物に付着している細菌類も含めて、浮遊性の細菌類も湖沼生態系にとって重要な構成員です。これまで諏訪湖で知られている植物プランクトンとしては、黄色鞭毛藻類5種、珪藻類176種、緑藻類75種、藍藻類26種、黄褐色植物門4種、ミドリムシ植物門10種の総計296種にも達しています。

このうち主要なものは、珪藻類、藍藻類、緑藻類で、その中でも出現する種の数が多く、発生期間の長いのは珪藻類です。諏訪湖の場合には、夏に出現するアオコの細胞密度が他を圧倒しているのので、諏訪湖の植物プランクトンといえば、すぐに藍藻類のアオコをイメージする人が多いのですが、種類からいえば天然の湖と同様に珪藻類が多いのです。

植物プランクトンは、その種類ごとに、それ

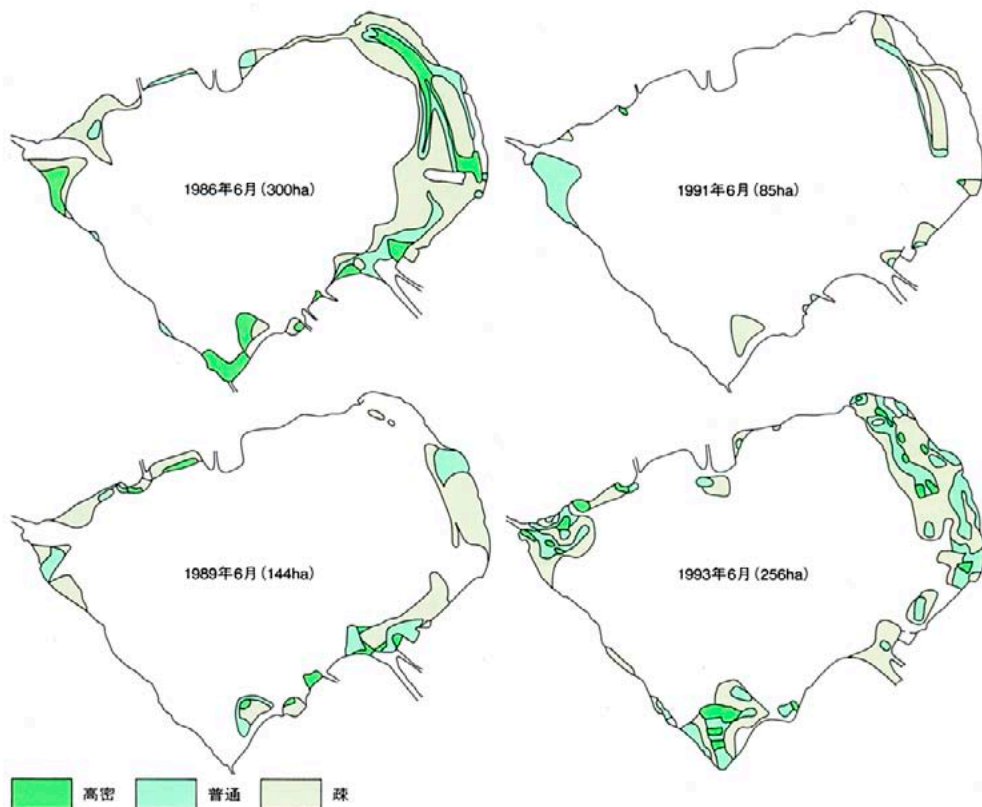
ぞれ増殖に適した水温や光の条件が異なるので、季節によって発生する種類が違います。湖内の水温や光は、その年の気象条件に左右されますが、その気象条件に大きな差がなければ、毎年ほぼきまった時期に特定の植物プランクトンが出現し、季節ごとにその消長がみられます。これを、植物プランクトンの季節変化と呼んでいます。

諏訪湖の場合にも、図3・12のように、季節的な優占種の交替が毎年ほぼ定期的に見られます。図に見るように、春は珪藻の季節で、1月～5月には平べったい円筒状のヒメマルケイソウが多く、2月～4月にはこれにオビケイソウ、2月～5月はホシガタケイソウ、3月～5月はハリケイソウ、そして4～5月にはメロシラが加わります。

6月～9月になって、水温が上がり光が強くなってくると春の珪藻類は減って、これに代わって藍藻類が優勢になります。なかでもミクロキスティスの占有率は圧倒的で、これを主体とするアオコ状態は7～8月に最盛期に入り、岸辺は緑色のペンキを流したような状

図3・5 エビモ群落の経年変化(1986～1993年)

〈長野県水産試験場資料にもとづき簡略化〉





# 渋のエゴ

図3・6 渋のエゴを中心とする植物分布

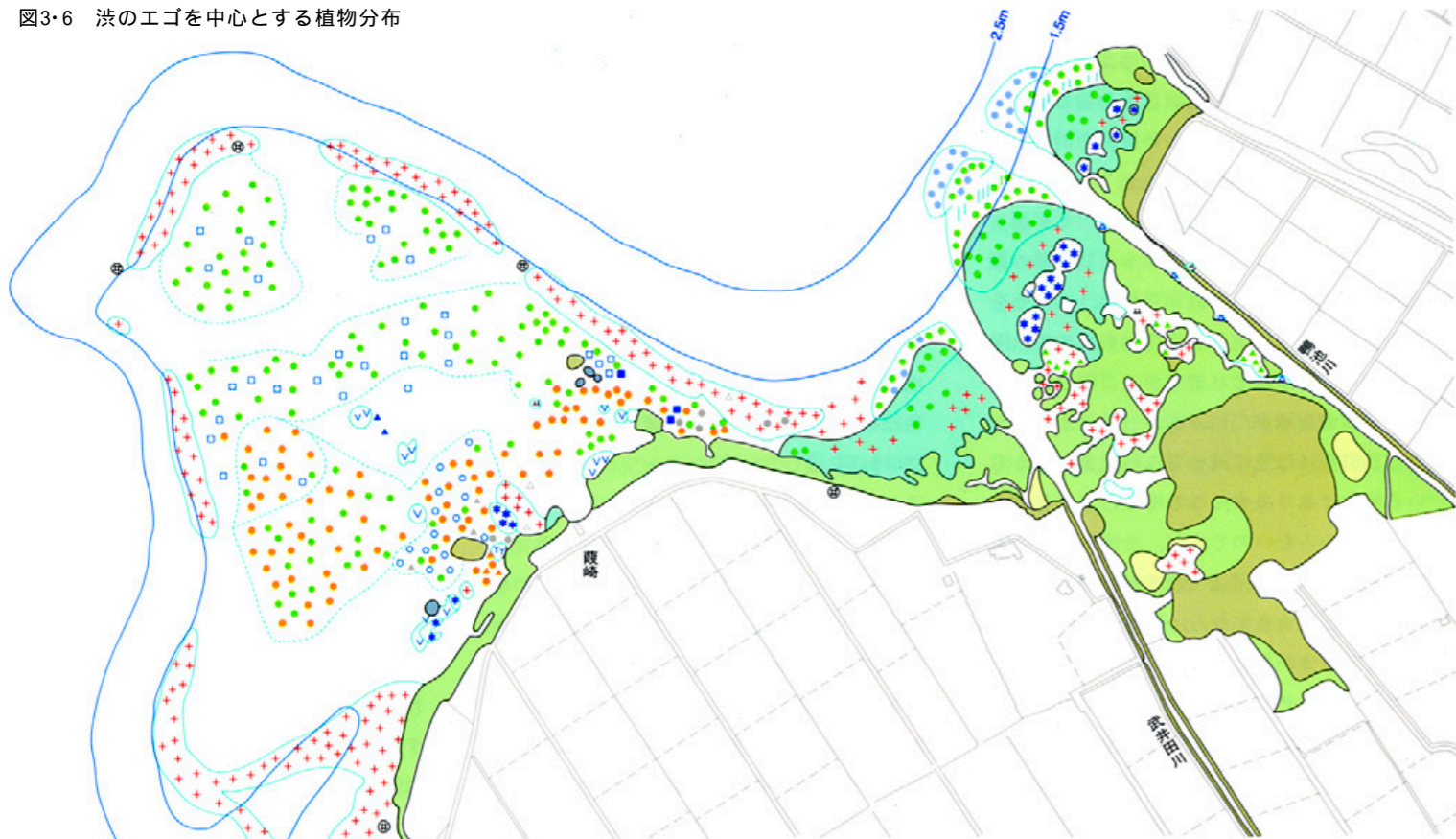


図3・7 渋のエゴ内部の相観模式図 (河川流路に直角に交差した断面)

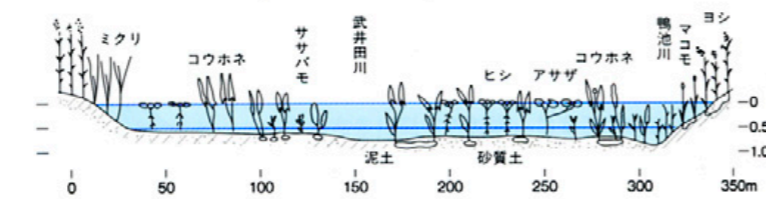
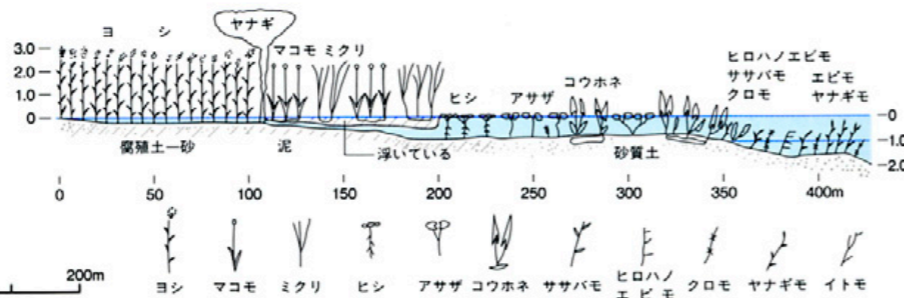


図3・8 渋のエゴ内部の相観模式図 (陸側から湖へかけての断面)



- |  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p>＜抽水植物＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ヨシ</li> <li>マコモ</li> <li>ミクリ</li> <li>コウホネ</li> </ul> | <p>＜浮葉植物＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>クログアイ</li> <li>オモダカ</li> <li>ヒシ</li> <li>アサザ</li> <li>ヒルムシロ</li> <li>ヒツジグサ</li> </ul> | <p>＜沈水植物＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ササバモ</li> <li>クロモ</li> <li>セキシヨウモ</li> <li>ヒロハノエビモ</li> <li>ヤナギモ</li> <li>トリグモ</li> <li>マツモ</li> <li>ホザキノフサモ</li> <li>イトモ</li> <li>シャジクモ</li> <li>コカナダモ</li> <li>エビモ</li> <li>イバラモ</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 熊穴(釜穴)</li> </ul> |
|--|--|--|--|

図3・9 渋のエゴにおける繁殖鳥のNest siteと植生との関係



図3・10 渋のエゴに出現した鳥の生活域模式図

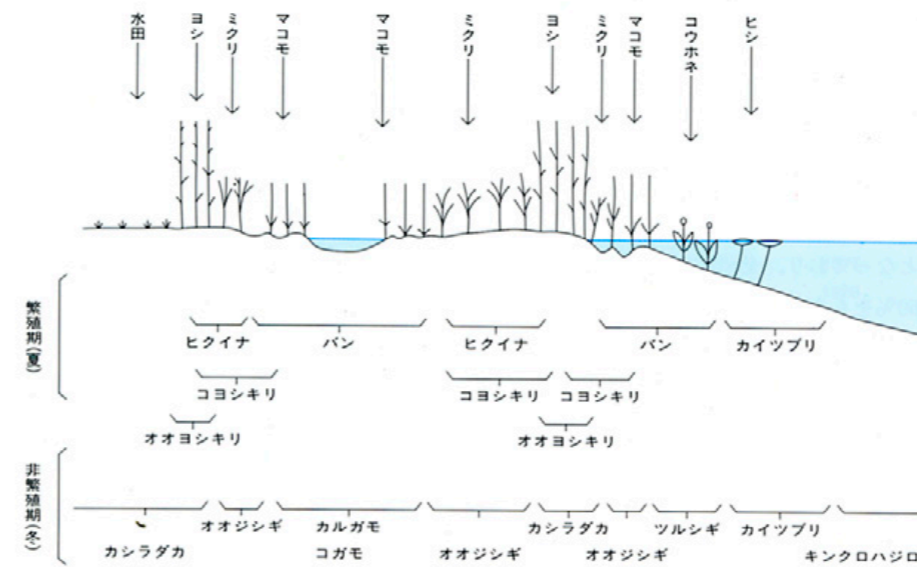


図3・11 渋のエゴの貝類生息断面図

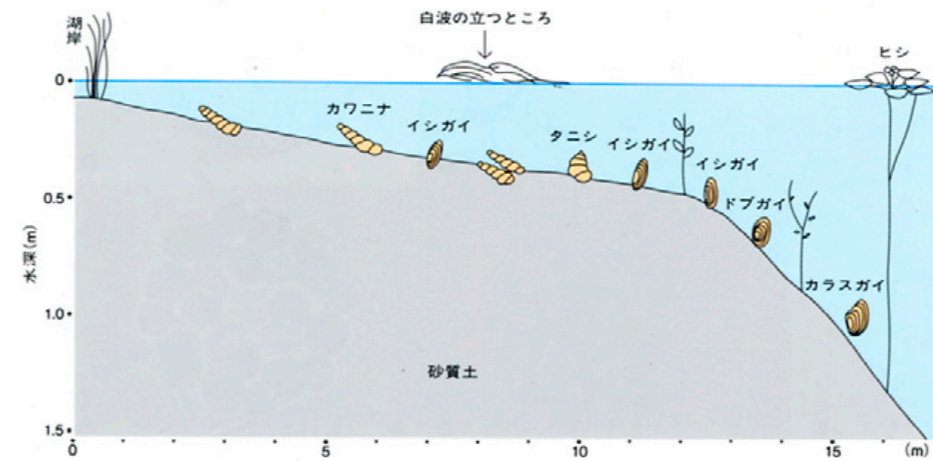


図3・6-図3・11は「渋のエゴ調査報告書」諏訪市教育委員会、(1973)により作製。

渋のエゴは、渋崎の三角州と葭崎の三角州に挟まれた入江にあった。現在の流域下水道終末処理場の位置がそれにあたり、湾口の幅は300m、奥行は600mに達していた。渋のエゴに分布していた水生植物は、外観的には抽水植物が主体で、内部は浮島状になっており、水生植物の種数はおよそ40種を数えている。

図3・8の相観模式図に見るように、湖岸から湖心へかけて「ヨシ帯 マコモ帯またはミクリ帯 ヒシ帯 アサザ帯 コウホネ帯 ヒロハノエビモまたはササバモ帯 ヤナギモ帯」というように、抽水 浮葉 沈水と、それぞれの水生植物が移り変わっている。これらのいずれもが諏訪湖全体にとっても代表的な水生植物である。

水生植物に覆われたエゴの中には、熊穴(釜穴)とよばれる地形があった。この熊穴の周辺だけは植物によって水面をふさがれることなく、開水面になり、底部は穴状になっていた。その大きさは最大で直径8m、水深は2mもあり、底質は砂質のものが多かったようである。

エゴの内部は水生植物の宝庫であるが、そこはまた動物群集にとっても重要な生活の場所であった。報告されている底生生物は、イトミミズ科3種、ユスリカ科1種、グロシフォニア科1種(ヌマビル)、巻貝9種、二枚貝7種及びヌカエビ、テナガエビなどである。図3・11はエゴ内部の貝類の生息分布を模式的に示したものである。

エゴは、魚類にとっても重要な場所であることは水中に立てた木や竹、水中の貝殻の内側などに多数の魚卵が産みつけられていることからわかる。エゴのような水生植物の繁茂している場所では餌も多く、環境も安定しているため、魚類の再生産の場、産卵・幼稚期の安全な生活の場所としてたいへん重要である。定量的なデータは難しいが、エゴ内部から採集された魚類が12種におよんでいることから、その重要性は推測できる。

ヨシの茎にはヨシキリがとまって鳴いていたり、抽水植物の間を泳ぐパンの親子などの例からもわかるように、鳥類にとってもエゴのような水生植物帯は格好の生活の場所となる。渋のエゴ調査時に出現した鳥類は、18属50種にもなる。その中で、巣が発見され、この地域での繁殖が確認されたのは、オオヨシキリ、コヨシキリ、パン、カイツブリ、カルガモの5種であった(図3・9)。

図3・10は、鳥類それぞれの生活域がどのような植物と関係しているかを模式的に示したものである。見た目には混在しているようでも、それぞれの鳥たちは独自の生活域をもっていることがわかる。同じ植物群落到、同じ時期に生活域を重ねている場合でも、オオヨシキリは比較的陸地化した部位のヨシに営巣し、コヨシキリは水辺のヨシに営巣するといったように、それぞれ独自の生活域をもっていることが観察されている。

エゴの内部は、湖に係る生物のほかにも、水生植物の茎や葉を生活場所とする昆虫類や陸地の動物なども多く生息する。魚類にとっては産卵・幼魚の避難場所であると同時に、陸上の動物にとっては摂食の場でもあり、それだけに生物相が豊かなのである。(沖野)



態になります。最近では、アオコの構成種にいくぶん変化がみられますが、いずれにしてもマイクロキスティスを主体とするアオコ状態は、湖の水温が低くなる10~11月頃まで続きます。この間、藍藻類は天竜川へ流れ去ったり、河川からの流入水によって希釈されたり、あるいは湖底に沈積するなどして、次第に湖の表面からは姿を消していきます。

アオコが減る秋から冬にかけては、春に優先していた珪藻類のメロシラ、オビケイソウやヒメマルケイソウが再び増えてきて、11月を過ぎる頃からは珪藻類が湖の主要な植物プランクトンになります。珪藻類は、一般に水温の低い状態を好み、湖水が循環している時期に増える傾向があります。

なお、クロレラでおなじみの緑藻類の仲間が年間を通して見られます。6月から7月にかけては、オオヒゲマワリ、タマヒゲマワリといった群体をつくる緑藻(緑色鞭毛藻)が目につきます。ただし、その細胞密度は1cm<sup>3</sup>中に数千細胞以下で、藍藻類の数十~数百万細胞に比べると桁違いに少ない量で、優占種となることはありません。

《夏期における優占種の変遷(1911~1983)》ところで、藍藻類のマイクロキスティスによる「水の華」現象は、昔から発生していたわけではありません。そこで次に、マイクロキステ植物プランクトンの顕微鏡写真

イスがいつ頃から発生していたか、また夏の主要な植物プランクトンがどのように変遷したか、その経過を見てみます。

諏訪湖の場合は、幸いにも、前述のように中野先生の調査がありますので、1911年から現在までの、夏期の植物プランクトンの変遷についての概略を知ることができます。それが表3・2で、表中の... というのが主要な植物プランクトンの優占順位です。

この表で、まず1911年をみますと一番多いのがメロシラで、から まですべて珪藻類が占めています。に藍藻類のアナベナが見られるものの、マイクロキスティスの記載はありません。ですから当時の夏の諏訪湖は、全体として珪藻類の多い茶色っぽい色調で濁っていたのでしょう。

それが1930年頃には、吉村先生による「水の華」現象が報告され、そして1948年になると倉沢先生と白石先生によって、マイクロキスティスによる「水の華」現象が確認されます。それが表3・2に示されていて、マイクロキスティスが となっており、全植物プランクトン細胞数の60%をも占めています。つまり、この時点ではすでに、夏期の優占種が珪藻類から藍藻類へと変わってしまっているわけです。細胞数は1cm<sup>3</sup>あたり1,000~10,000程度ですが、いずれにしても湖の富栄養化が大いに進

んでいたことが分かります。

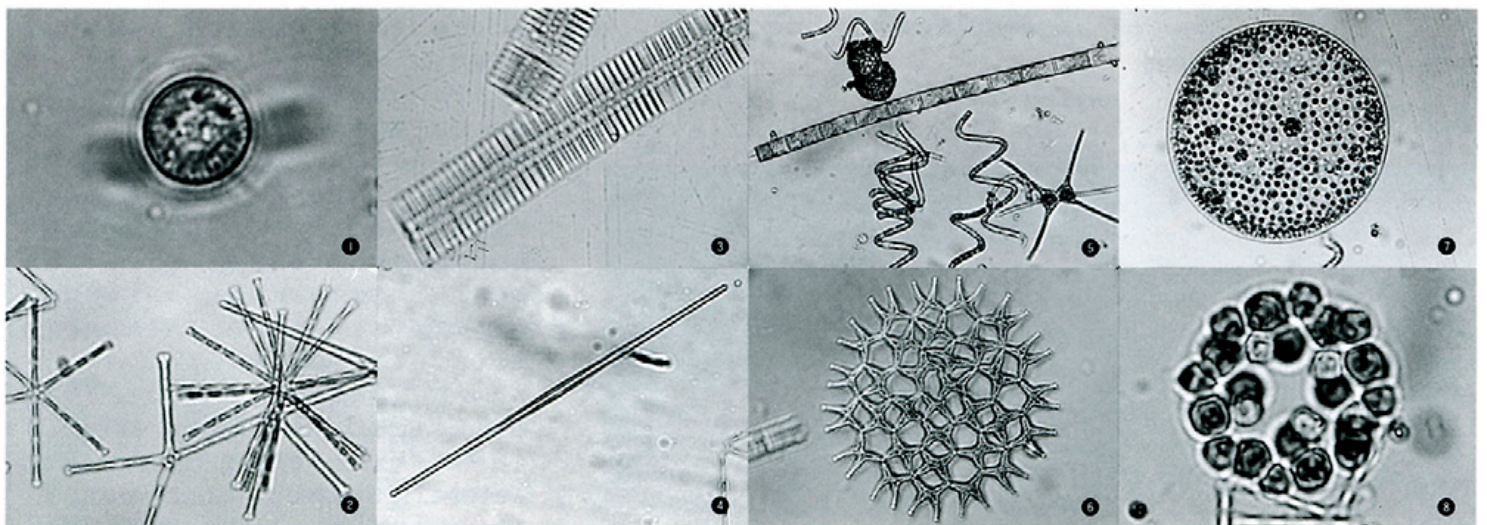
さらに過栄養化した1970年代になると、1970年でも1977年でも、マイクロキスティスの優占率は99%にも達しています。99%というのは、もうマイクロキスティスだけが湖を占有してしまい、他の植物プランクトンがほとんど見られないという状態です。このときの細胞数は1cm<sup>3</sup>あたり10万~100万にも達し、1948年に比べると100倍ぐらいに増えています。

それが1980年代になると、湖水の回復とともにマイクロキスティスの優占率も減ってきて、1983年には優占率は65%に低下します。細胞数は1cm<sup>3</sup>あたり1万~10万程度で、1948年の10倍ぐらいの状態です。ですから、65%という数値をみれば1940年代に戻りかけているのが分かるのですが、ただマイクロキスティスが減った代わりに、同じ藍藻類のアナベナになって全細胞数の27%に増えています。

#### 《1980年以降の現存量の季節変化》

図3・13は、湖が最も過栄養化した1977年と、1980年以降のクロロフィル量、つまり植物プランクトンの現存量を年間の季節変化のなかで示し、両者を比較したものです。現存量の季節変化は、透明度の季節変化となって現れますから、これは、さきほど渡辺さんの示された図2・8と対応しています。

図に見られるように、1977年にはマイクロキ



①ヒメマルケイソウ(細胞直径10~30μ) ②ホシガタケイソウ(星形につながる各細胞は長さ40~130μ、幅1~2μ) ③オビケイソウ(帯状につながる各細胞は長さ40~170μ、幅2~3μ) ④ハリケイソウ(細胞は長さ100~300μ、中央幅5~6μ) ⑤メロシラ(直線状につながるものは長さ10~20μ、幅3~5μ、らせん状につながるものもある) ⑥クンショウモ(群体の直径は110~230μ、通常32個の細胞から成る) ⑦オオヒゲマワリ(群体の直径は200~800μ、1,000~2,000個の細胞から成る) ⑧タマヒゲマワリ(群体で、細胞は2本の鞭毛をもち、直径は8~16μ)

表3・2 夏期表層に見られる主要な植物プランクトンとその優占順位の変遷 (1911年～1983年)

〈倉沢, 沖野, 1983を一部改変〉

植物プランクトン		1911	1948	1970	1977	1983
鞭毛藻類 Flagellatae	ウズオビムシ <i>Peridinium</i>	+	④			
	ミドリムシ <i>Euglena</i>					⑤
	カタマリヒゲマワリ <i>Pandorina</i>		r		r	
	タマヒゲマワリ <i>Eudorina</i>		r	r	r	
藍藻類 Cyanophytae	ミクロキスティス <i>Microcystis</i>		① 60%	① 99%	① 99%	① 65%
	フォルミディウム <i>Phormidium</i>			②	②	③ 6%
	アナベナ <i>Anabaena</i>	⑥	⑤	③	+	② 27%
珪藻類 Bacillariophyta	メロシラ <i>Melosira</i>	①	② 15%	④	④	r
	ヒメマルケイソウ <i>Cyclotella</i>	⑤	③	+	⑥	r
	ヌサガタケイソウ <i>Tabellaria</i>	④				
	ホシガタケイソウ <i>Asterionella</i>	②	+	+	+	
	ハリケイソウ <i>Synedra</i>	③	r	r	r	
	フナガタケイソウ <i>Navicula</i>	+	+		r	④
	ニッチア <i>Nitzschia</i>					③
緑藻類 Chlorophyta	ミクラクティニウム <i>Micractinium</i>			⑤	r	r

①～⑥：優占順位 +：あり r：少ない

図3・12 植物プランクトンの季節変化(1970年)

〈倉沢, 1973〉

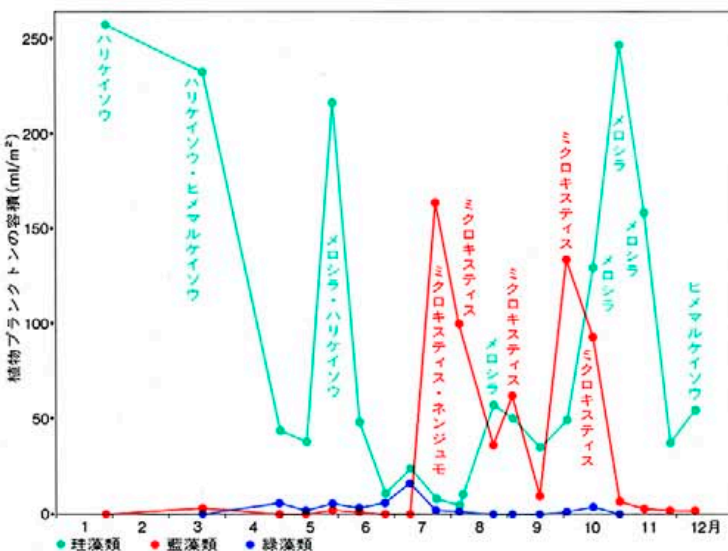


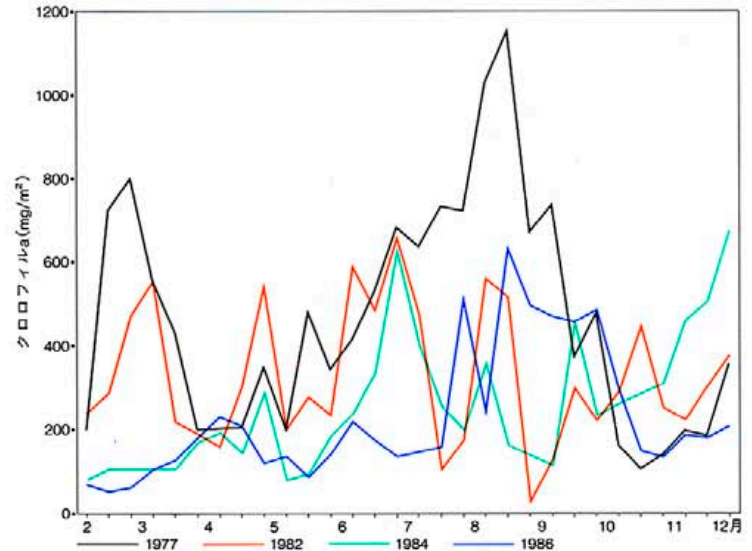
表3・3 夏期の気象条件とCOD・クロロフィル量・基礎生産力についての1977年と1981～1985年の比較

諏訪湖の状況と気象状況	1977	1981	1982	1983	1984	1985
最高水温(底層)(°C)	23.8	22.1	20.0	19.9	24.6	24.4
20°Cを越えた期間	初め:	7/15	7/31	7/1	—	7/14
	終り:	9/20	8/23	7/12	—	9/17
月平均日輻射量 (cal/cm²)	6月:	394	353	406	450	462
	7月:	456	442	350	373	480
月降雨量 (mm)	6月:	195	149	172	105	209
	7月:	222	371	207	258	219
透明度 (cm)	最大:	154	195	165	240	267
	最小:	30	51	30	30	35
	7～8月の平均:	38	71	57	86	66
COD(ppm)	最大:	9.51	6.43	6.67	6.75	6.61
	環境基準達成率(%):	7	28	27	50	23
クロロフィルa量 (chl-a mg/m²)	最大:	1150	490	750	750	665
年総生産量 (Cg/m²)		756	576	629	590	614
年総無機化量 (Cg/m²)		642	559	541	492	435

表3・4 年間総生産量, 総無機化量, 年間輻射量および総生産量のエネルギー転換効率の経年的変化

年	総生産量 (Cg/m²年)	総無機化量 (Cg/m²年)	年輻射量 (Kcal/cm)	エネルギー転換効率(%)
1949	260	211	—	0.24
1969	557	615	—	—
1977	756	642	—	—
1978	699	708	114	0.61
1979	777	625	106	0.73
1980	—	—	110	—
1981	576	559	121	0.48
1982	629	541	115	0.55
1983	590	492	—	—
1984	575	435	—	—

図3・13 1977年および1980年代のクロロフィル量の季節変化





ティス類のクロロフィル量は、最大値で $m^2$ あたり1,160mgもありますが、1980年以降になると最大値で $m^2$ あたり650mgとぐんと減少しています。またその発生期間も短くなり、ミクロキスティス類が発生する前後の時期には、同じ藍藻類のアナベナ類が一時的に発生するという具合で、1980年以降になると、藍藻類には明瞭な変化が現れています。

一方、珪藻類はどうかというと、1980年以降では、春に優占種となっているいくつかの珪藻類が、短い周期で頻繁に交替しているのが目立ちます。これは、栄養塩の減少にともなって、それぞれの植物プランクトンの増殖が早くに頭打ちになってしまい、増加・減少の周期が短くなっているためです。

ところが、その反面では、それぞれの植物プランクトンの最大現存量が1977年とたいして変わらないか、当時の過栄養状態を上回る場合も見られます。つまり、流入する栄養塩は減少傾向にあるものの、1980年以降も、珪藻類にとってはまだ十分な栄養状態が保たれているということなのです。

また植物プランクトンの増減は、日射量、水温、降雨量などの気象条件に影響されます。気象条件と植物プランクトンの関係を調べたのが表3・3で、この表の最上段には、「水の華」の発生量に関係あるとされる湖の底層水温を記してあります。

1984年を見ますと、7月14日から9月17日までの約2ヵ月間にわたって、底層水温が20以上になっています。過去の経験では、こういう水温状態のときには、必ず大量のアオコが発生しています。さらに6月、7月の日射量もほかの年度より高く、1984年は、アオコの大量発生に都合のよい気象条件が揃っていたわけです。しかし、こうしたアオコにとって好都合な気象条件の下でも、1984年のアオコ発生量は前年を上回っておりません。この点を考慮しますと、湖の体質は、見た目以上に、かなり回復していることが分かります。

《1949年以降の年総生産量の変遷》

表3・3の最下段に記してあるのは、総生産量

および総呼吸量です。総生産量(基礎生産量)は、植物プランクトンがつくる有機物の総量で、これは光合成量(炭酸同化量)に当たります。総呼吸量は、光合成のさいに消費される植物の総呼吸量とその他の微生物の呼吸量をあわせたものです。

植物プランクトンの現存量の変化は、当然のことながら基礎生産量の変化によるわけですが、諏訪湖の場合には、1949年の宝月先生の研究以来、同じ方法で基礎生産力の測定が行われています。ここでは表3・4により1949年以降の総生産量の変遷を見てみます。

宝月先生の研究結果では、1949年当時、諏訪湖では1年間に太陽から到達するエネルギーの0.24%が植物プランクトンに固定(エネルギー効率)され、1年間の総生産量は、炭素量にして1 $m^2$ あたり260gとされています。この総生産量を100としますと、その後の20年間で総生産量は200以上に達し、1970年代の最も過栄養状態にあったときには270から300にもなっています。その後1980年代に入ると240にまで低下しています。このように総生産量という生物生産に係る直接的なデータにおいても、富栄養化の各段階では、それが増大し、湖水の回復過程では、それが減少している状況ははっきりと示されているわけです。

また富栄養化の過程では、1969年や1978年にみられるように、総生産量に対して総呼吸量が勝っていて、湖が他栄養状態にあったことが分かります。この当時は、1年間に太陽から到達するエネルギーの0.61~0.73%が植物プランクトンに固定されていたわけで、そのすさまじい生産力には驚かされます。しかし1980年代になると、総生産量と総呼吸量との比は常に1を越えており、湖外からの有機物の流入が減って、湖が他栄養から自栄養の状態になっていることが分かります。また、エネルギー転換効率も0.48~0.55%と最大の時期を過ぎて低くなっています。

## ミクロキスティス

《細胞にガス空胞をもち、群体を形成する》植物プランクトンについては、だいたい以上のようになりますが、生物の側からの話として、藍藻類のミクロキスティスの生活についても触れておきます。

ミクロキスティスの属している藍藻類というのは、細胞内に藍色素をもつ藻類です。ほかの藻類と違うところは、細胞の中の核や葉緑体の形が明確ではないことで、そのため細菌類に近い生物として藍色細菌とも称しています。ミクロキスティスの細胞は、直径が3~7 $\mu$ で、細胞の中に空気を満たしたガス空胞をもっているのが大きな特徴です。

通常は、写真に見るように、数百個の細胞がゼラチン状の物質の中に押し込まれ、群体をつくっています。単細胞植物ですから、個々の細胞が二分裂して増殖し、群体自身も大きくなっていくわけですが、この群体が、湖面に見られる青い粉の正体です。

《湖面表層に集中分布し、光と栄養塩を独占》ミクロキスティスの増殖力の高い時期は、1年のうちで太陽からの輻射量が最も高い5月から8月の期間です。植物プランクトンは光合成をするために、その増殖には光が必要ですが、光が強すぎると逆に光合成が阻害される性質があり、これは光阻害と呼ばれます。珪藻類は、夏の湖の表面に入射する光量でも光阻害を受けやすく、表面よりやや下の、光が弱くなる層の方が光合成を活発に行うことができます。また珪藻類の比重が水よりもやや大きいこともあって、珪藻類が優占する時期には、表層より少し下の層で分布が最大になるという特徴がみられます。

ところがミクロキスティスの群体は、夏の表面の光量でも光阻害を受けることが少なく、光合成を充分に行える性質をもっています。しかも、細胞内にガス空胞をもっているので表面に浮上しやすく、その分布は、湖面表層に極端に集中するのが特徴です。ですから、湖水中での珪藻類の鉛直的な分布と、ミクロキスティスの湖水中の分布とは、図3・14に

見るように大きな違いがあります。

このようにミクロキスティスの分布は、極端な表層集中型ですから、その増殖期には、湖に入射してくる光の大部分をミクロキスティスが独占してしまい、ミクロキスティスより下方に位置する植物プランクトンは、光の不足から増殖することができなくなります。その結果、湖水中の栄養成分をもミクロキスティスが独占することになり、増殖がますます容易になります。これが、夏にミクロキスティスが大発生する原因の1つです。

《浮上・沈降の繰り返しで高生産を継続》

ミクロキスティスが集積しているときの状態を少し詳しく観察すると、諏訪湖の場合、早朝から正午頃にかけては、ミクロキスティスの群体が湖の表面に浮上・集積し、午後になると表層全体に分散します。そして夜を経て翌日の朝になると、また表面に浮上・集積するというパターンが繰り返されます。

こうしたミクロキスティス特有の生態は、細胞内のガス空胞が膨らんだり、縮んだりすることで生じます。図3・15は、レイノルズらによって研究されたこの機構の説明図で、ミクロキスティスの浮上・沈降と、細胞内のガス空胞の膨縮との関係が示されています。

早朝、湖表面のミクロキスティスに光が当たってくると、光合成が活発に行われ始めますが、それが過剰になると、細胞内の浸透圧が高まり、同時に膨圧も上昇して、弱いガス空胞はつぶれます。このため浮力を失ったミクロキスティスの群体は下方に沈降します。下方に移ったミクロキスティスは、ここでは光が弱いために光合成活動は低下し、細胞の成長も低いので、ガス空胞が次第に増えてきます。こうして再び浮力を回復し、翌日の早朝には湖の表面に浮上してくるわけです。

諏訪湖の場合、表面に浮上・集積している状態でのミクロキスティスの量は、1 cm<sup>3</sup>あたりでの細胞数が100万以上、クロロフィル量では1 m<sup>3</sup>あたり1,000～5,000mgにも達します。それが表面下10～30cmに沈降したときには、その10分の1以下にまで減少してしまいます。表面下10cmでの光量は、湖面から入射した光量のわずか数パーセントしかないからです。こうしてミクロキスティスの群体は、1日の間に浮いたり沈んだりして浮いているときには、高い光合成能力で短時間に有機物を大量に生産し、沈んだときには、光合成はお休みという具合にして、全体として高い生産量を維持するわけです。

《アオコは動物の餌として利用されにくい》  
ところで湖沼生態系食物連鎖の中では、植物プランクトンは、動物の餌として利用されます。ですから、植物プランクトンの増殖力が大きくても、動物プランクトンや魚などの餌となり、一時的には多くなってもすぐに減少し、その植物プランクトンの量が異常に増えることはありません。

ところがミクロキスティスの場合は、同じ植物プランクトンでありながら、アオコ状態になるほど現存量がどんどん増加します。これは、ミクロキスティスをすぐに餌にする動物が少ないからです。植物プランクトンを餌にする動物プランクトンは、ある大きさまでは上手に濾過しながら食べるのですが、ミクロキスティスは群体をつくっているのが大きすぎて餌にできないのです。顕微鏡で見ますと、群体のままのミクロキスティスは機械的に漉しわけられ、濾過されません。

図3・16は、夏にアオコの発生する機構を模式的に描いたものです。図では、アオコから動物プランクトンへいく線の上に×印がつけてあり、ここで食物連鎖が途切れるために、ミクロキスティスは減ることがなく、その量が増えていくことを示しました。ですからミク

図3・14 ミクロキスティスと珪藻類の鉛直的分布の相違

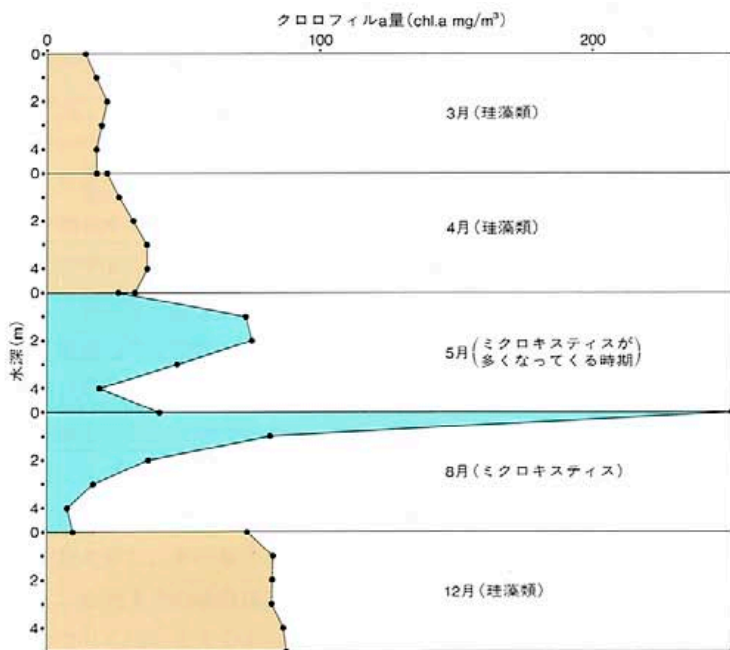
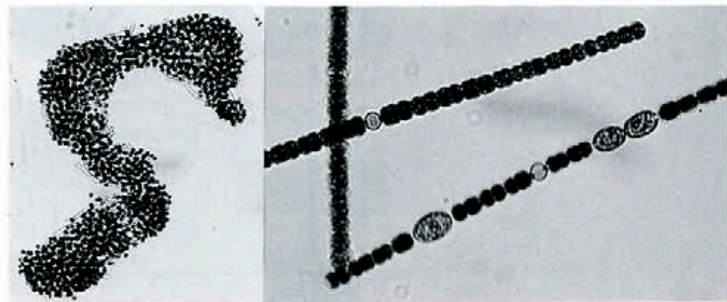


図3・15 ミクロキスティスの浮上・沈降と細胞内のガス空胞の膨縮



ミクロキスティス(左)とアナベナ(右)の顕微鏡写真





ロキスティスがなくなるのは、その下に描いてあるように、温度が下がり、原生動物や細菌などによって分解されやすくなる秋ということになります。諏訪湖の場合には、秋に台風や長雨がありますから、その流入水で希釈されながら天竜川に流れ去る部分と、湖底に沈んでいく部分とで、湖中のアオコは少なくなっていくます。ですから、台風がこない年には、アオコはいつまでも残ることになります(笑)。

《生食連鎖と腐食連鎖》

このようにミクロキスティスは、ほかの生物には利用されにくいということから 従来は、湖の生態系の中では物質循環を乱すものと考えられていたのですが、最近では、ミクロキスティスを好む微生物のいることが分かってきて、それが大分調べられています。

表3・5は、明治大学の山本鎔子さんが調べられたもので、藍藻を好んで溶解するいろいろな微生物ファージ(細菌ウイルス)、細菌、カビ、原生動物などの種類と、藻体を溶解する方法がまとめられています。面白いのは、これらの微生物が藍藻なら何でも溶解するので

はなく、それぞれの生物に役割が決まっています、或るものはミクロキスティスだけに取りつき、また或るものはアナベナにしか取りつかないということです。

諏訪湖の場合、先に述べたように、現在ではミクロキスティスによるアオコ現象が見れる前にアナベナが発生するようになりました。このアナベナが消滅するときに、溶藻微生物が活躍しています。アナベナが消滅するとき湖水の表面に「シロコ」と呼んでいる白い皮模様のものが拡がり、これが数日間続きます。このときの湖水を顕微鏡で見ると、アナベナの細胞がばらばらになって壊れており、微生物によって溶解されたことが分かります。

ミクロキスティスの場合には、8月末から10月にかけて、こうした溶藻微生物が活躍します。ですからミクロキスティスは、夏の最盛期には餌として利用されませんが、その年の秋には溶藻微生物がこれを利用し、さらに翌年の春にはこれらの溶藻微生物を動物プランクトンが利用し、その動物プランクトンはワカサギの稚魚に餌として利用されます。ですから、1年を通して見ると十分に物質の循環

系は成り立っているわけです。

このあたりのことが大分わかってくるようになります。現在では、植物プランクトン 動物プランクトン 魚という、従来の食物連鎖は1つのループであって、もう1つ、腐ったものを食べて微生物が増え、これが原生動物、動物プランクトンを経由して、魚までいくループがあると考えられるようになってきました。前者を生食連鎖、後者を腐食連鎖と呼んでいます。

過栄養の状態のときには、腐食連鎖の方が活発に働くようになって、生食連鎖の方は少し脇きに押しやられる。湖水が回復すれば、生食連鎖の方が活発になって腐食連鎖は脇きに押しやられる。湖の状態にあわせて両者がバランスを取り、全体を安定させようとしているわけです。ミクロキスティスも、腐食連鎖の中にあって、湖の物質循環ではそれなりの役割を果たしているわけで、従来は無駄なものと考えられて目の敵にされていたわけですが、決して無駄になっているわけではないということだと思えます。

図3・16 アオコ発生の機構についての模式図

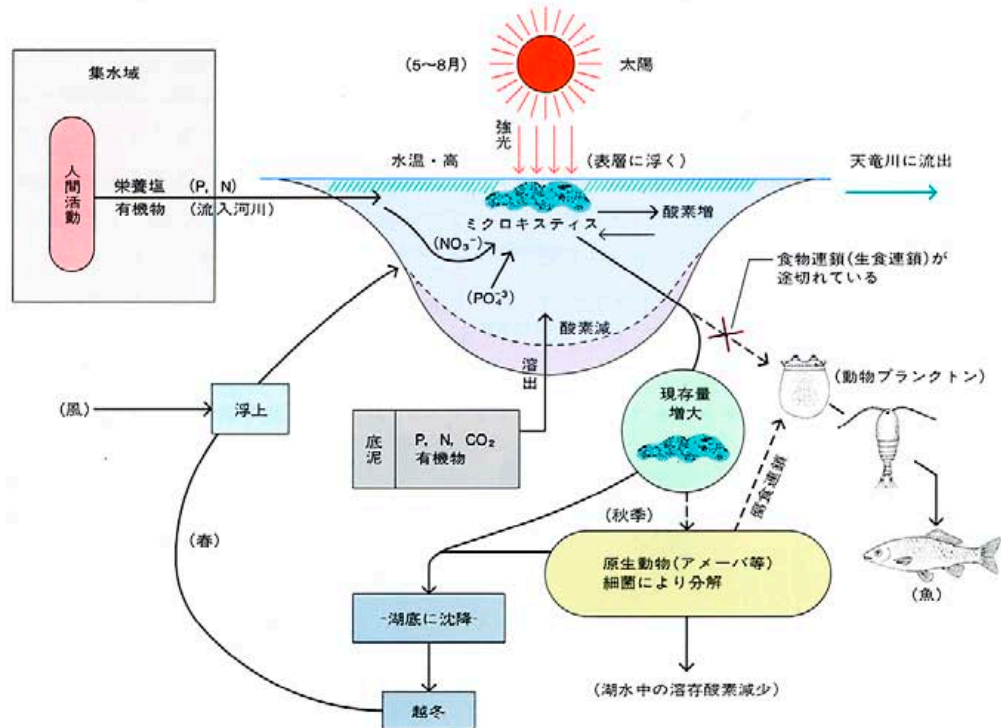


表3・5 藍藻を溶解する微生物群 <山本, 1988>

微生物群	属名	溶解機構
シアノファージ	AS-グループ* SM-グループ Lpp-グループ N-グループ	細胞内溶解
細菌	<i>Bacillus brevis</i> <i>Bdellovibrio</i> spp. <i>Cellebrius</i> sp. <i>Lysobacter</i> spp. <i>Myxococcus</i> spp.	内部寄生 細胞外酵素接触 捕獲 細胞外物質
カビ [下等なカビ 高等なカビ]	ツボカビ <i>Acremonium</i> spp. <i>Emerellopsis</i> spp. <i>Verticillium</i> spp.	細胞外物質
原生動物 アメーバ	<i>Acanthamoeba</i> spp. <i>Asterocaulum</i> spp. <i>Nuclearia</i> spp.	捕食

\*宿主細菌の頭文字でグループ分けされている。

ミクロキスティスの毒性

《有毒藍藻による動物の被害》

ただミクロキスティスについては、もう一つ厄介な問題がありまして、この生物が毒素をもっているということです。日本では被害の例がないのですが、従来から外国では、ミクロキスティスやアナベナによる「水の華」現象のさいに、その水を飲んだ家畜や野性動物などが病気になるたり死亡したりする事件が起きておりました。こうした事実から、アオコの毒性については以前から注目されていたわけですが、最近その辺の研究が進んできました。かなりいろいろなことが分かってきました。ここでは、東京都立衛生研究所の渡辺真利代博士や信州大学の朴虎東先生・林秀剛先生の研究にもとづいて、この問題を簡単に紹介いたします(注)。

表3・6は、有毒藍藻による動物被害の報告例をまとめたものです。これに見るように、ミクロキスティスを原因種とする動物の死亡例は、北アメリカ、カナダ、イギリス、南アフリカなど非常に広い地域にわたって起きており、一方、アナベナを原因種とする動物の死亡例は、北アメリカ、カナダ、フィンランドなど比較的高緯度の地域で起きています。動物が死亡するまでの症状も違っていて、ミクロキスティスの場合は、吐いたり、下痢、喉の渇きなどの症状を示した後、2～3時間から1～2日後に死亡する例が多く、解剖すると、胃腸管系に炎症や点状出血がみられ、また肝臓の肥大、うっ血が顕著であることなどが報告されています。1例として1985年9月にアメリカのウィスコンシン州南部でおきたウシの被害を見ますと、濃密なミクロキスティスを含む水を飲んだ60頭のうち、20頭が12時間後から食欲不振、横臥、脱水、錯乱などの症状を示し、36時間後から60時間後に9頭が死亡しています。一方、アナベナの場合には、けいれん、ひきつけ、まひなどの神経性の症状を示し、その後まもなく死亡する例が多く、致死までの時間はミクロキスティスの場合よりも短いようです。

表3・6 有毒藍藻による動物の被害

〈渡辺真利代, 1994〉

原因種	場所	被害動物
<i>Anabaena</i>	オーストラリア(ニューサウスウェールズ)	ラム
<i>A.circinalis</i>	USA(ミネソタ, コロラド, アイオワ, モンタナ, インディアナ), カナダ, フィンランド	ウシ, ヒツジ, ブタ, ニワトリ, シチメンチョウ, アヒル, ガチョウ, キジ, イヌ, ネコ, リス, キツネ, 野鳥, コイ
<i>A.limmermanni</i>	フィンランド	ウシ
<i>A.spiroides</i>	USA(イリノイ)	ブタ
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	USA(ミネソタ, ニューハンプシャー), バミューダ, カナダ	ウシ, ウマ, イヌ, カモ, 魚類
<i>Coclosphaerium kuetzingianum</i>	USA(ミネソタ)	ヒツジ, ブタ, ニワトリ
<i>Gloeotrichia echinulata</i>	USA(ミネソタ)	ウシ, ウマ, ブタ
<i>G.pisum</i>	USA(ミネソタ)	ラム, ウシ, ウマ
<i>Microcystis aeruginosa</i> ( <i>M.flos-aquae</i> , <i>M.toxica</i> を含む)	USA(ミネソタ, ウィスコンシン, コロンビア), カナダ, ソ連, イギリス, 南アフリカ, 中国(モンゴル), オーストラリア	ウシ, ウマ, ヒツジ, ニワトリ, イヌ, ネコ, ウサギ, サイ, 野鳥, 水鳥
<i>Nodularia spumigena</i>	オーストラリア, バルト海沿岸	ヒツジ, ウマ, イヌ, ブタ, ラム, アヒル
<i>Nostoc rivulare</i>	USA(テキサス)	ウシ, ニワトリ, アヒル, シチメンチョウ, 魚類
<i>Oscillatoria agardhii</i>	イギリス, フィンランド	ウシ, 野鳥, 魚類

表3・7 有毒藍藻による人体影響

〈渡辺真利代, 1994〉

例	年代	場所	被害者	症状	原因藍藻
1.	1975	USA(ペンシルバニア州)	5,000人	胃腸炎	<i>Schizothrix calcicola</i>
2.	1979	オーストラリア(バーム島)	子供138人 大人10人	肝炎に似た症状 食欲減退, 吐き気	<i>Cylindrospermopsis rachiborskii</i>
3.	1979	USA(ペンシルバニア州)	(1)子供20~30人  大人数人 (2)大人 1人 子供 2人 (3)子供15人	頭痛, 腹痛 吐き気, 下痢 耳の痛み 目の炎症 吐き気, 下痢 発疹	藍藻?  <i>Anabaena</i>  <i>Anabaena</i>
4.	1989	イギリス (スターフォードシャイア)	16歳の兵士2人	不快感, 喉の渇き 口周辺の水泡 血小板の減少	<i>M.aeruginosa</i>
5.	1989, 1990	USA(シカゴ) ネバール(カトマンズ)	熱帯地方への旅行者, エイズ患者, カトマンズ在住者	吐き気, 低い熱, 長期間の下痢	藍藻?

表3・8 自然藻体をマウスに腹腔内投与したときの毒性

〈渡辺真利代, 1994〉

採取場所	毒性(mg/kg)	優占種	生存時間(分)
Balgavies湖(イギリス)	11(LD <sub>50</sub> )	<i>M.aeruginosa</i>	30-120
Rescobie湖(イギリス)	20(LD <sub>50</sub> )	<i>M.aeruginosa</i>	30-120
Sayhteenjarvi湖(フィンランド)	125(MLD <sub>50</sub> )	<i>An.flos-aquae</i> <i>M.aeruginosa</i>	2-15
Rapajarvi湖(フィンランド)	750(MLD <sub>50</sub> )	<i>M.aeruginosa</i> <i>Gomphoshaeria</i>	6-24
Saaskjarvi湖(フィンランド)	750(MLD <sub>50</sub> )	<i>Aph.flos-aquae</i> <i>An.circinalis</i>	7-10
バルト海沿岸(フィンランド)	125(MLD <sub>50</sub> )	<i>N.spumigena</i>	
養魚池(中国)	90(LD <sub>50</sub> )	<i>M.aeruginosa</i>	
茨戸湖(日本)	140(LD <sub>50</sub> )	<i>M.aeruginosa</i>	60-120
諏訪湖(日本)	360(LD <sub>50</sub> )	<i>M.viridis</i>	60-120
霞ヶ浦(日本)	310(LD <sub>50</sub> )	<i>M.viridis</i>	60-120

LD<sub>50</sub>: 半数致死量 MLD<sub>50</sub>: 最低致死量



## 《人体への影響》

有毒藍藻はまた、人体にも直接的な被害を及ぼします。それをまとめたのが表3・7で、ここには、第3の例にアナベナを原因種とする被害、第4の例にミクロキスティスを原因種とする被害が示されています。

アナベナによる被害は、アメリカのペンシルバニア州北東部の2つの湖で起きたもので3つの例があげられています。(1)の場合は、湖で水遊びをしていた子供たちが、頭痛、吐き気、胃の痛み、下痢など夏かぜのような症状を示したもので、このときの湖面は、着色するほどのブルーム状態ではなかったとされています。(2)の場合は、湖で泳いだ後に、耳の痛み、くしゃみ、目の炎症などの症状を示したもので。(3)の場合は、湖水と接触した後で、吐き気、下痢などの症状が24～48時間続いたというもので、(2)と(3)の場合は、アナベナのブルーム発生時に起きています。

ミクロキスティスによる被害は、1989年にイギリスで起きています。ミクロキスティスのブルームが見られた貯水池でカヌーの練習をしていた16歳の兵士2人が、池の水を飲んだ後発熱し、口周辺の水泡、倦怠、吐き気、下痢などの症状を示したもので、このときは現場の水からは、ミクロシスチン-LR(後述)が検出されています。

## 《マウスに腹腔内投与したときの致死量》

表3・8は、ミクロキスティスやアナベナの自然の藻体をマウスに腹腔内投与したときの毒性を調べたもので、半数致死量(LD<sub>50</sub>)と最低致死量(MLD<sub>100</sub>)で比較してあります。イギリスの2つの湖の試料は、いずれもミクロキスティス・エルギノーサが優占種ですが、その毒性は非常に強く、わずか11～20mg/kgで、半数のマウスが30～120分で死亡しています。日本の湖では、北海道の檜炭戸湖で同種のミクロキスティス・エルギノーサが97.5%を占めたときの試料です。こちらの方はイギリス産のものに比べれば毒性は弱く、半数致死量は140mg/kgとなっています。諏訪湖と霞ヶ浦の場合は、いずれもミクロキスティス・ヴィリディ

スが70%以上占めたときの試料で、半数致死量は諏訪湖が360mg/kg、霞ヶ浦が310mg/kgとなっており、毒性はさらに弱くなっています。一方、アナベナの試料はいずれもフィンランドの湖のもので、この方は最低致死量と比較してありますが、マウスの致死時間が2～15分とか7～10分というように非常に短く、毒性の強いのが特徴です。

## 《ミクロシスチンとアナトキシン-a》

このようにミクロキスティスやアナベナには毒性物質が含まれているわけですが、1990年代に入ると、この毒素の正体についての研究が急速に進み、その化学構造が明らかになり、分析法も開発されてきました。

ミクロキスティスが体内でつくる毒素は、ミクロシスチンとよばれる肝臓毒で、確認されているのは7種類ありますが、主要なものはミクロシスチン-RR、-YR、-LRです。

またアナベナに含まれる毒素は、アナトキシン-aとよばれる強力な神経毒です。アナベナの場合には、アナトキシン-aとミクロシスチンの両方の毒素を含む場合が多く、一方、ミクロキスティスの株の中からも、アナトキシン-aが検出される場合があるようです。

## 《日本の湖沼における毒素の分布》

表3・9は、日本各地の湖沼に出現するアオコの中に、アナトキシン-aやミクロシスチンがどのくらい含まれているかを調べたものです。この表で、エポキシ体とあるのはアナトキシン-aの酸化物で、これは無害な物質です。ただアナトキシン-aの含有量が減るにつれて、エポキシ体が増えてくるという関係にあるので、これが検出されることはアナトキシン-aがあったことを意味するわけです。

この表を見ますと、ミクロキスティスが優占している試料からは、ほとんどの場合ミクロシスチンが検出されています。一番多いのは1989年8月の霞ヶ浦で1,732μg/gです。ただ翌年は同じ8月でも179μg/gとぐんと少なくなっています。さらにその翌年になるとユレモが優占し、その試料からは948μg/gのミクロシスチンが検出されています。

諏訪湖も霞ヶ浦に次いで多く、1991年7月には1,610μg/gのミクロシスチンが検出されています。またアナベナが優占する試料からも、相模湖や諏訪湖ではミクロシスチンが検出されています。

一方、アナトキシン-aが検出される試料は少なく、検出された場合でもその含有量は微量です。しかし、ダム1の場合はアナベナの中から16.3μg/gのアナトキシン-aが検出されており、また濠5の場合には、ユレモが優占する試料からアナトキシン-aが16.3μg/g、ミクロシスチンが657μg/gと両方の毒素がともに検出されています。

## 《諏訪湖におけるアオコと毒素の季節変化》

このようにアオコに含まれる毒素量は、同じ湖でも、年ごとにだいぶ違った様相を呈します。諏訪湖の場合は、さきの表にもありましたように、アオコの中の毒素量がとりわけ多かったのは1991年です。

図3・17は、この年にアオコの発生した6月から10月までの全期間にわたって10日ごとに湖水をプランクトンネットで採取し、ミクロキスティスの構成種とミクロシスチンの成分および含有量がどのように変化しているかを詳細に調べたものです。ミクロキスティスの構成種は、M・エルギノーサ、M・ヴェーゼンベルギー、M・ヴィリディスに3分類され、このうちM・エルギノーサは細胞の大きさによってLとSにさらに細分類され、それぞれの増減が詳細に調べられております。

図の(a)に見るように、この年はミクロキスティスの細胞数は8月10日に最大となり、その後一時減って9月20日には再び増え、10月末頃から消失していきます。この間、6月11日から7月20日まではM・エルギノーサLが優占し、7月20日以降になるとM・ヴィリディスが優占種となってきます。また8月30日以降になるとM・ヴェーゼンベルギーが30%の占有率を示しています。

図の(b)は、こうしたミクロキスティスの消長に応じて、ミクロシスチンの成分とその含有量がどう変化したかを見たものです。図に見

るようにミクロシスチンは、-RR、-YR、-LRの3種が検出されていますが、-YRは僅かです。-RRと-LRで大半が占められています。その-RRと-LRは、6月20日から7月20日にかけて増加し、7月20日には3種の毒素の合計含有量は乾燥藻体で212 µg/100mgを示して、この年の最高を記録します。この時期はM・エルギノーサLが優占し、ミクロキスティス属が急増している時期にあたります。

ところが7月30日以降になって、M・ヴィリディスが優占種となってくると、ミクロシスチンは急激に減少し、ミクロキスティスの細胞数が最大となる8月10日でもミクロシスチンの含有量は減少のまま推移し、その後10月30日までは大きな増加も見られません。

このように諏訪湖の場合には、M・エルギノーサLが優占する時期にミクロシスチンの含有量が高くなっています。ただし東京のある公園池の場合では、M・ヴィリディスが優占している時期とM・エルギノーサSが優占している時期に、それぞれミクロシスチンの含有量が高くなっています。両方の水域に共通し

ている特徴は、ミクロシスチンの含有量が高くなるのは、いずれもミクロキスティスが急増していく時期にあっているという事実で、この点は留意しておく必要があるかと思えます。

#### 動物プランクトン

##### 《ワムシ類》

動物プランクトンは、水中を遊泳または水中に浮いて生活する小形の動物群集で、諏訪湖ではこれまでに、原生動物12種、ワムシ類38種、甲殻類27種が知られています。このうち重要なのはワムシ類と甲殻類です。

ワムシ(輪虫)類は、体長が0.1~0.5ミリほどの小形の動物で原生動物と間違われやすいのですが、顕微鏡で見ればその複雑な構造がすぐに分かります。袋形動物に属し、浮遊性の種類以外に付着性のももおります。

ワムシ類の頭部には、円形状の繊毛列をもつ「輪盤」と呼ばれる器官のあるのが特徴で、この繊毛が動いているときは、あたかも車輪が回転しているように見えるのでワムシと呼ばれます。頭部の繊毛を回転させて水流をお

こし、微小なプランクトンやバクテリアなどの餌を取り入れながら水中を回転して進みます。咀嚼板の構造や機能は食性によって違い、それが分類の目安にもなっています。諏訪湖に見られるワムシ類の主なものは、ナガミツウデワムシ、ハネウデワムシ、フクロワムシ、ツボワムシ、カメノコウワムシなどですが、それぞれの優占する時期は季節によって異なります。図3・18は、倉沢先生がまとめられたもので、1970年における諏訪湖での動物プランクトンの優占種の交替と量の季節変化です。おおまかにいいますと、ナガミツウデワムシは12月頃から5月頃にかけて、ハネウデワムシは初夏の頃と秋に、フクロワムシは7~8月頃の夏に、ツボワムシは春と冬に、カメノコウワムシは春と秋に、それぞれ優占する時期が見られます。

ナガミツウデワムシやツボワムシは、珪藻類のヒメマルケイソウやバクテリアを餌にしますが、魚の仔稚魚や同じワムシ類のフクロワムシからは、餌として食べられます。諏訪湖では、3月から5月にかけてはワカサギの仔

表3・9 日本各地の富栄養水域における毒素ミクロシスチンとアナトキシン-aの含有量 (単位: µg/g) <Park et al., 1993bより>

採取水域	年月日	優占種	アナトキシン-a	エポキシ体	ミクロシスチン			
					RR	YR	LR	7DMLR
網走湖	1988年7月20日	A.c	0.6	0.2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
霞ヶ浦	1989年8月14日	M.a	—	—	963	356	413	—
	1990年8月21日	M.a	—	—	111	n.d.	68	—
	1991年7月31日	O.m	0.4	n.d.	478	45	275	150
	1991年9月12日	O.m	0.4	n.d.	n.d.	n.d.	43	94
木崎湖	1991年8月21日	A.m	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
相模湖	1990年8月4日	A.s	n.d.	n.d.	214	15	104	n.d.
	1991年7月19日	A.s	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	1991年8月15日	M.a	—	—	340	n.d.	210	—
諏訪湖	1990年8月19日	M.w	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	1990年9月6日	A.f-a	0.8	1.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	1990年9月11日	A.f-a	1.5	0.7	36	n.d.	31	n.d.
	1991年7月23日	M.v	—	—	979	9	622	—
手賀沼	1989年9月12日	O.r	n.d.	n.d.	—	—	—	—
牧野ヶ池	1990年10月22日	Ap.r	0.3	n.d.	—	—	—	—
女鳥羽池	1990年7月9日	M.a	—	—	149	27	27	—
ダム1	1990年8月15日	A.m	16.3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
漆5	1991年8月14日	O.r	14.3	n.d.	646	n.d.	11	n.d.
	1991年8月17日	O.r	2.3	n.d.	569	n.d.	151	n.d.
	1992年2月14日	O.r	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

A.c: *Anabaena circinalis*. A.f-a: *Anabaena flos-aquae*. A.m: *Anabaena macrospora*.  
 A.s: *Anabaena spirroides*. Ap.r: *Anabaenopsis raciborskii*.  
 M.a: *Microcystis aeruginosa*. M.v: *Microcystis viridis*. M.w: *Microcystis wesenbergii*.  
 O.m: *Oscillatoria mougeotii*. O.r: *Oscillatoria raciborskii*.

図3・17 諏訪湖におけるミクロキスティスの種類組成とミクロシスチンの季節変化(1991年) <Park et al., 1993aより>

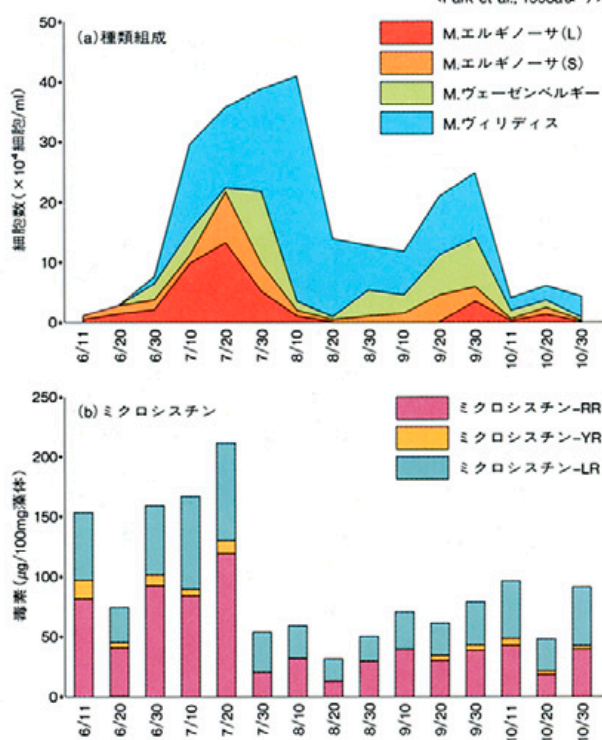
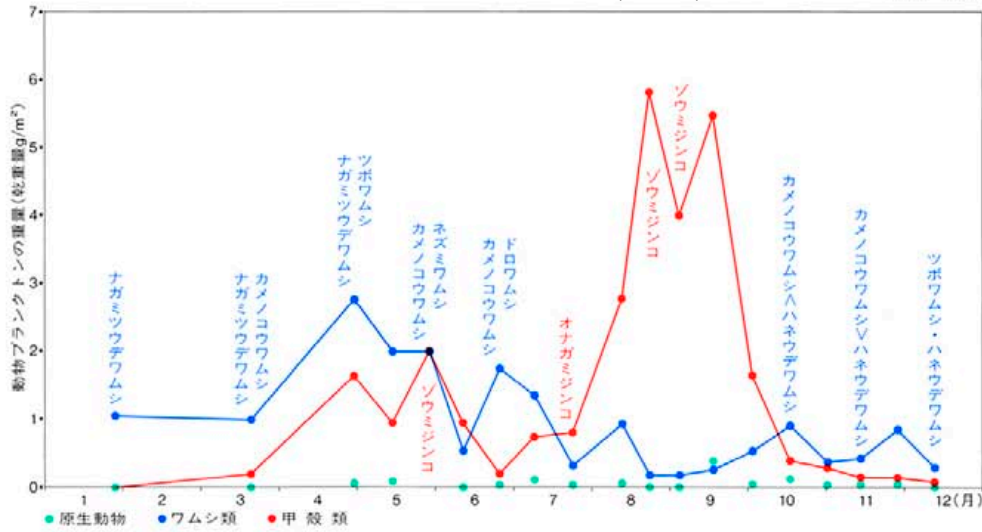


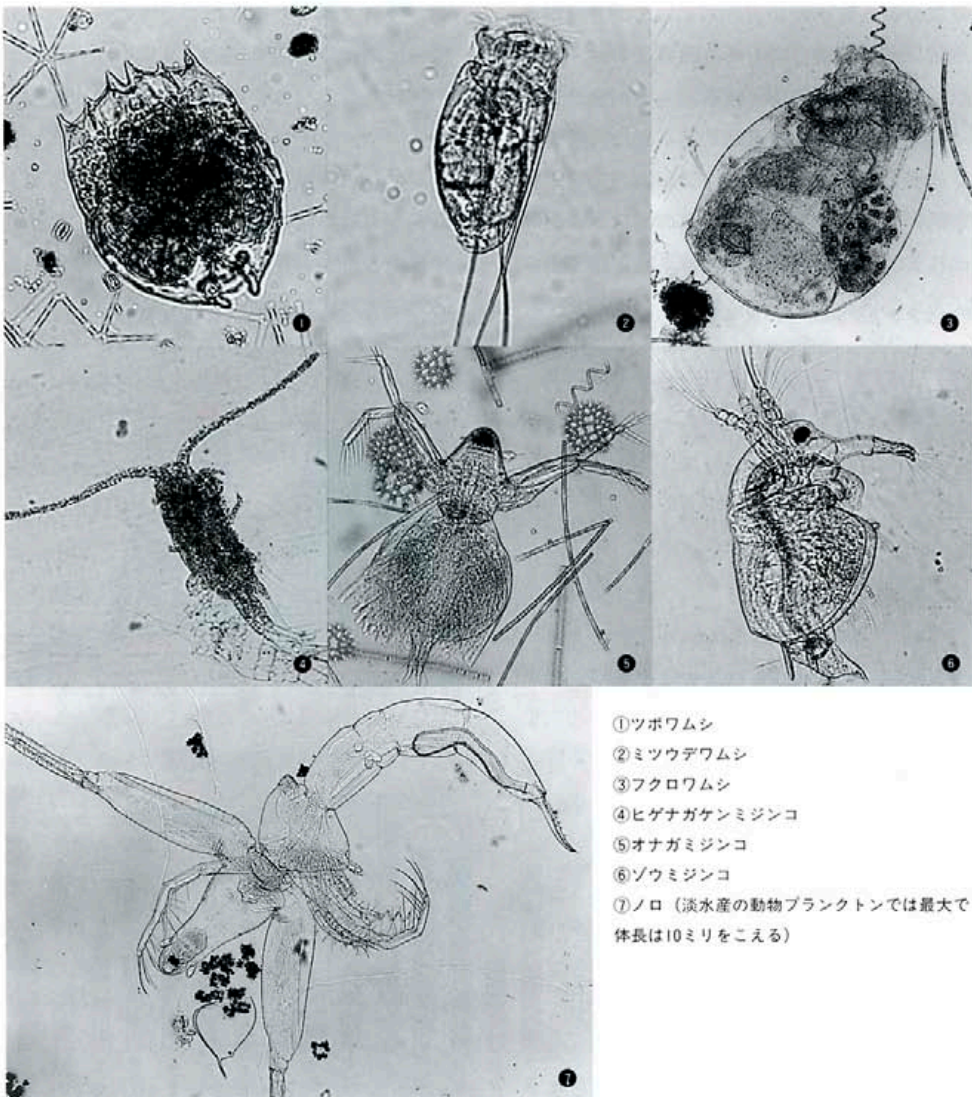


図3-18 動物プランクトンの優占種の交替と量の季節変化(1970年)

〈倉沢, 1973〉



動物プランクトンの顕微鏡写真



- ①ツボワムシ
- ②ミツウデワムシ
- ③フクロワムシ
- ④ヒゲナガケンミジンコ
- ⑤オナガミジンコ
- ⑥ゾウミジンコ
- ⑦ノロ (淡水産の動物プランクトンでは最大で体長は10ミリをこえる)

稚魚の多い時期で、春に増えたこれらのワムシ類は、ワカサギの仔稚魚の成長を支える格好の餌として利用されているわけです。

《ゾウミジンコ》

甲殻類の動物プランクトンには、枝角類とカイアシ類とがありますが、現在の諏訪湖で量的に最も多いのは枝角類に属するゾウミジンコ科の仲間です。頭部に2対の触角があり、第一触角がゾウの鼻のように伸びているのが特徴で、名前の由来にもなっています。諏訪湖では、ゾウミジンコ、ニセゾウミジンコ、ゾウミジンコモドキの3種がいます。いずれも体長は0.5ミリほどで、主として植物プランクトンを餌にしています。

ゾウミジンコとニセゾウミジンコの形態は非常によく似ていますが、第一触角や尾部にある殻刺の長さなどから識別されます。これらの2種のゾウミジンコは、その発生時期がずれていて、ゾウミジンコは春に発生して夏に消滅しますが、この時期には、ゾウミジンコに替わってニセゾウミジンコが発生し、秋になると、両種が混在することが知られています。この現象は最初は霞ヶ浦で分かったのですが、諏訪湖でも同じような発生の仕方を行っています。近縁の2種が、春から夏にかけて交替する理由は、まだよく分かっておりません。一方、ゾウミジンコモドキは、春と秋に増え夏にはその姿が余り見られません。

《ノロ(ノロミジンコ)》

淡水に棲む動物プランクトンのなかで身体のもっとも大きいのは、ノロと呼ばれる甲殻類の1種で、これも枝角類に属します。体長は約10ミリにもなるので、慣れれば肉眼でも見つけられますが、身体は無色透明ですから知っていないと気がつきません。ノロは第二触角がよく発達しているため、動物プランクトンとしては大きな遊泳力をもっています。6対の脚をもち、この脚で餌を捕らえて、脚の基部にある口器を使って餌となる動物プランクトンの体液を吸って生活しています。

諏訪湖にも、このノロが比較的多く生息しています。ノロの生息密度が最も高くなるのは

6月頃ですが、1977年の調査では、最大で1 m<sup>3</sup>の湖水あたり2,710匹にもなっています。これは1ℓあたりでは約3匹ほどになり、他の動物プランクトンと比べればごく少ない数ということになります。ノコは体長がきわめて大きいので、この程度の数であっても非常に多くの餌を必要とします。餌となる微小な動物プランクトンからすれば、決して少ない数ではありません。

#### 《変遷》

ふつう貧栄養の湖では、動物プランクトンとしては、甲殻類のなかでもカイアシ類に属するケンミジンコの仲間が優占し、富栄養化が進むにつれてワムシ類や原生動物が増える傾向があります。

諏訪湖の場合にも、1920年頃には夏にケンミジンコが最も多かったという報告がありますが、それが1950年頃や1970年頃の調査では、ケンミジンコは余り見られなくなり、同じ甲殻類でもゾウミジンコやオナガミジンコなどの枝角類の仲間が優位を占めています。

それと同時にワムシ類の種属数、個体数が急増しています。有機物が増えると、それを分解するバクテリアが増えますが、ワムシ類はこのバクテリアを餌にしていますから、それを食べてどんどん増えていくわけです。

さらに1970年代の後半になると、汚濁生物の指標とされる原生動物の繊毛虫のエダワカレツリガネムシが急増し、動物プランクトンの総個体数の90%以上を占める場合のあることが報告されています。

動物プランクトン全体の個体数の増加を見ると、1920年頃については定量的なデータがないので分かりませんが、1950年頃には1ℓあたり500個体前後であったものが、1970年代後半には、その5～6倍の2,000～3,000個体にも増えています。増えた大部分がワムシ類で占められているのも大きな特徴です。

#### 底生動物

底生動物は、湖の底泥または湖底の表面を生活の場としている動物の総称で、じつにさまざまな種類のもが含まれます。動物プランクトンと同じグループにも湖底に生息しているものがありますし、多くの昆虫類の幼虫は湖底で生活します。貧毛類のイトミミズ類もいますし、また貝類やエビ類なども湖底を生活の場としています。諏訪湖の場合は、こうした多くの底生動物のなかでは、ユスリカの幼虫と貧毛類のイトミミズの類が数・量ともに多く、代表的な底生動物となっています。

#### 《ユスリカ幼虫》

ユスリカは昆虫類の双翅類に属し、蚊と近縁の生物ですが、人を刺すことはありません。世界中に広く分布し、これまでに記載されているだけでも数千種以上にのぼります。日本で命名されているのはその1割もなく、特に河川域には多くの種が生息していますが、その多くはまだ同定されておりません。

諏訪湖に生息するユスリカ類は、オオユスリカ、アカムシユスリカ、カユスリカの3種ですが、前2者の数量が圧倒的に多く、カユスリカはそれほど多くはありません。ただし今後の調査では、沿岸部や水草帯からは、まだ知られていないユスリカ類が見出される可能性が高いと思われます。

ユスリカの生活史は、卵 幼虫 蛹 成虫の四期からなっています。幼虫はヘモグロビンをもち赤い色をしているので、アカムシともいわれています。湖底の泥の中で生活し、蛹になるまでに4回の脱皮をします。蛹になると水中を浮上し、湖面で羽化し、成虫となって大気中に飛び出します。

大気中に飛び出しても飛翔力は大きくないので風に飛ばされやすいのですが、水辺や灯火の近くに群がり、直径1m、高さ2～3mほどの蚊柱をつくっているのをよく見かけます。この蚊柱は、交尾のために集まっているもので、雌は交尾の後1～2日すると水面に産卵し、死んでしまいます。水面で羽化した後の成虫の命はせいぜい1週間くらいです。成虫

の体長は、オオユスリカでもアカムシユスリカでも15ミリほどになりますから、知らない人は、刺しはしないかと薄気味悪く感じることもあるようです。

ユスリカの卵はゼリー状の物質にくるまれていて、ユスリカは水面があればどこでも産卵します。コップに水を入れておくと、透明な糸状(アカムシユスリカ)や塊状(オオユスリカ)の卵塊を産むのが見られます。産卵時期に雨が降ると、ちょっとした水溜まりにはたくさんの寒天様の塊を見ることができですが、これらがユスリカの卵塊です。

諏訪湖のように底泥の栄養度の高い湖では、大量のユスリカが発生します。地元の人たちが、これを「ウンカ」といっているのを耳にすることがありますが、これは「<sup>うまか</sup>湖蚊」が転じたものと思われます。一般に「ウンカ」と呼ばれているのは水田に発生するツマグロヨコバイの類で、ユスリカではありません。

諏訪湖のユスリカについては、当時、臨湖実験所におられた山岸宏先生と現在は新潟大学におられる福原清夫先生とによって、1968年からその翌年にかけて詳しい調査・研究がなされ、その生態が明らかになりました。それによりますと、オオユスリカの羽化期は年に3回あって、4月上旬～5月下旬、6月上旬～7月下旬、8月上旬～10月上旬に見られますが、アカムシユスリカの羽化期は年1回で、10月上旬～11月中旬だけです。

底泥中の幼虫を調べますと、11月頃に羽化するアカムシユスリカの幼虫が、夏には全く採集されなくなります。それで、直径10cmほどの竹筒の中をくり抜き湖底から深さ1mくらいまでの泥をとって調べますと、アカムシユスリカの幼虫は、夏には底泥に潜って夏眠している事実が分かりました。図3・19がその調査結果で、幼虫の掘潜深度は最大で90cmにも達しています。幼虫が湖底表層に戻り始めるのは、底層水温が15程度に低くなる時期ですから、その動きには水温が1つの目安となっているように考えられます。

アカムシユスリカの幼虫が底泥深くに潜る夏



の時期は、底層水温が高く、水中の溶存酸素が不足しやすい時期にあたります。ユスリカの幼虫はヘモグロビンをもち、これにより低酸素にも耐えるとされており、アカムシユスリカの幼虫の場合には、この酸素条件の悪い時期には底泥深く潜って夏眠してしまうので、この悪条件をさらに上手にしのいでいるわけです。

また水面で羽化する時刻ですが、1日のうちで羽化数の最も多いのは午後6時から10時までの間で、一般に夕方から深夜にかけて羽化し、昼間はあまり羽化しないことも、このときの調査で明らかにされています。

表3・10は、諏訪湖でのこれまでのユスリカ幼虫の調査記録をもとに、個体数の経年変化をまとめたものです。オオユスリカは1948年6月の1㎡あたり約12,000匹、アカムシユスリカは1988年12月の1㎡あたり約13,000匹が最大ですが、個体数は年によって大きく違っており、その増減は、湖の栄養度の変化とは直接的には関係していないように思われます。いずれにしても諏訪湖の湖底には、1㎡あたり数千匹のユスリカの幼虫が生息していることが分かります。

このように、諏訪湖の湖底には非常に多くのユスリカ幼虫が生息しますが、図3・20は、幼虫が羽化期に入る直前から羽化の終わるまで

毎日欠かさず湖に舟を出し、底泥や湖面での幼虫、蛹、成虫の数を丹念に調べ、どのくらいの幼虫が成虫になるかを見たものです。この図で、まずオオユスリカの方を見ますと、1983年7月29日、オオユスリカが秋の羽化を始める直前に底泥中に生息していた幼虫の数は1㎡あたり1,156個体です。このうち湖底から水中に浮上したのは677個体(58.6%)、さらにその蛹から成虫へ羽化した数は297個体です。つまり、底泥中のオオユスリカ幼虫の25.7%、約4分の1が湖面から羽化しているわけです。残りのオオユスリカ幼虫は、湖水中で魚やほかの生物に利用されており、この時期にワカサギ、コイ、ホンモロコ、ヨシノボリなどの消化管の中身を調べると、オオユスリカ幼虫がたくさん出てきます。

アカムシユスリカの方は、1983年9月28日、羽化を始める前に諏訪湖の底泥中に生息した幼虫の数は1㎡あたり2,326個体です。このうち湖底から水中に浮上したのは665個体、さらにその中から成虫へ羽化した数は325個体です。つまり底泥中のアカムシユスリカ幼虫の14.0%、約7分の1が湖面から羽化していることになります。ただアカムシユスリカの場合は、羽化期が終わった11月22日に、羽化できなかった4齢幼虫が底泥中に残っていることで、その数は819個体にもなります。これらの幼虫

は、その後ほかの動物に食べられてしまうか、自然に死んでしまいます。

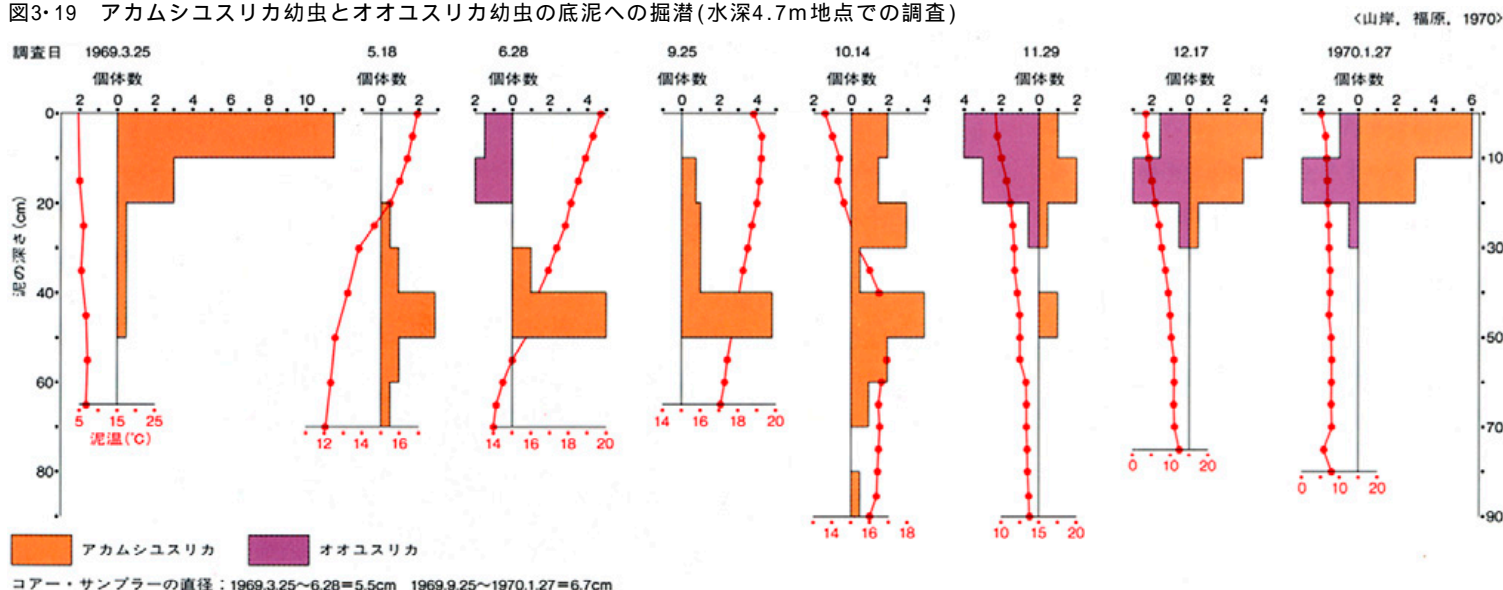
アカムシユスリカ幼虫を食べている魚は、ワカサギ、モツゴ、オイカワなどですが、そのほとんどはワカサギです。アカムシユスリカが発生している時期には、ワカサギの腹の中にはユスリカ幼虫がいっぱい詰まっているのがみられ、この時期のワカサギが非常に成長がよいこともよく知られています。

このようにユスリカ幼虫は、湖の魚にとっては大事な食物で、諏訪湖の魚類生産を支える重要な生物になっているわけです。また、それと同時に諏訪湖の富栄養化を遅らせ、湖の浄化にも貢献しています。ユスリカ幼虫は、湖の底泥を食べてその中の有機物を消化・吸収し、残りは糞として排出してバクテリアが分解しやすい形に変えています。この過程でリンや窒素を身体の成分として蓄積しているわけで、そのリンの量を見積もったデータでは、大気中に飛び出したものだけでも1年間に170kgとされています。人々に嫌われ厄介もの扱いされるユスリカですが、この生物もまた、湖の生態系のなかではたいへん重要な役割を果たしているわけです。

《イトミミズ》

諏訪湖の底生動物のなかでは、ユスリカ幼虫と並んで数・量の多いのが、低酸素に強く、

図3・19 アカムシユスリカ幼虫とオオユスリカ幼虫の底泥への掘潜(水深4.7m地点での調査)



有機質の多い泥を好む貧毛類のイトミミズ類です。ただ量の多いわりには、諏訪湖ではこれまで詳しい記録がなく、近年になって生態の調査・研究がされ始めております。

現在、諏訪湖の湖底から採集されている水生貧毛類は10種で、そのうちの7種がイトミミズ類です。その中でも主要なものは、ユリミミズ、フトゲユリミミズ、イトミミズ、エラミミズの4種です。イトミミズ類全体の量を左右しているのはユリミミズで、1㎡あたり8,000から20,000匹の個体数が生息していますが、この生物は、春と秋に多く、夏には個体数が減ります。年間を通して出現するのはミズミミズとエラミミズです。

また、貧毛類の中でも底泥の中に潜って生活するリアコドリルスは、4月には㎡あたり4,000~7,000個体になりますが、夏には全く採集されなくなり、10月以降に再び現れて1㎡あたり9,000個体にも増えます。これはリアコドリルスが低酸素に比較的弱いからだと考えられています。

イトミミズの方は、ユスリカ幼虫と同様にヘモグロビンをもち体液中に酸素をたくわえるので、低酸素にも比較的強いとされています。ユスリカ幼虫と同じように湖底の泥を食べ有機物を分解していますが、イトミミズの方は1日に自分の体重の90倍もの量を食べるとも

いわれます。ですから湖底の掃除屋としての役割はきわめて大きく、底質の浄化には欠かせない貴重な生物ということになります。

《貝類》

諏訪湖に生息する主要な貝類については「渋のエゴ」の項に簡単に記してあります。昭和初期まではマシジミが非常に多く水揚げされ諏訪湖の名産として知られていたのですが、1940年頃から1960年の間にほかの二枚貝とともに激減してしまいました。マシジミは砂地を好み、溶存酸素が豊かな場所に棲んでいますから、湖の富栄養化が進み、夏期底層水の酸素が欠乏してくると、真先にダメージをうけてしまったわけです。

巻貝の方でも、この間にオオタニシ、マルタニシなどが激減し、それに代わってヒメタニシやカワニナなどが一時期増えました。しかしこの両種も、1960年代以降の沿岸部の改変によって著しく減っております。貝類は、湖の富栄養化と湖岸の改変によって、その様相が一変してしまった生物群の一つです。

《エビ類》

大形の甲殻類としては、諏訪湖には4種のエビ類が知られています。主なものはテナガエビとスジエビで、テナガエビは体長が9cmほどにもなりますが、スジエビは小形で体長は5cmぐらいにしかありません。

諏訪湖漁業協同組合の資料によると、昭和に入る前までは年間の漁獲量は40~170トンもあって、全漁獲量の10~30%を占めていますから、当時の諏訪湖には相当量のエビ類が生息していたのでしょう。それが昭和に入るとエビの漁獲量は激減し、1965年以降には1~2トン以下、全漁獲量に対する割合も1%にも達していません。これも、湖の汚染や水生植物帯の減少が大きく関わっていることは明らかです。最近ではエビモの回復に伴って、エビ類も少しづつ増えているようです。

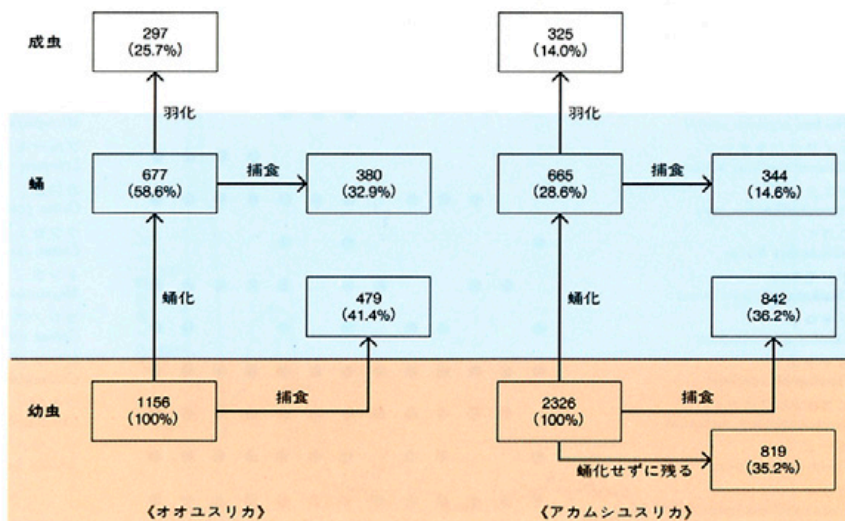
《トンボ類》

沿岸部の水生昆虫ではトンボ類の記録が最も多く、1920年頃にすでに20種が数えられています。その後の詳しい調査でさらに追加され、これまでに32種が記録されていますが、水生植物帯の減った現在では、量・種とも激減しました。1964年から1973年にかけては、メガネサナエ、ウチワヤンマ、コフキトンボの3種のトンボの羽化率が詳しく調べられていますが、水質の悪化とともに、羽化率が急激に減少していることが明らかにされています。下諏訪町では青年会議所のメンバーが中心になって、1979年からトンボの羽化数が調べられていますが、1990年頃から羽化数の増加がみられるということですから、いまは回復傾向に向かっているのだらうと思います。

表3-10 ユスリカ幼虫2種の現存量の変遷 (個体数/㎡)

年代	オオユスリカ			アカムシユスリカ	
	3,4月	6月	12月	3,4月	12月
1928	746	—	2,321	219	597
1929	790	—	—	1,404	—
1948	752	11,748	396	352	44
1949	880	1,848	880	220	220
1966	—	2,220	—	—	—
1967	—	—	616	—	13
1968	150	1,232	167	572	2,209
1969	62	1,980	441	4,752	838
1970	275	3,607	15	1,375	191
1971	—	2,229	—	—	—
1972	—	10,170	—	—	—
1977	—	889	903	—	326
1982	173	3,415	222	2,768	3,032
1983	99	1,481	1,022	556	4,550
1984	370	9,482	474	1,007	444
1985	495	6,489	1,552	5,074	3,618
1986	1,230	1,837	526	—	3,563
1988	—	—	153	1,000	13,017
1989	148	452	207	326	780
1990	202	524	1,304	1,304	926

図3-20 オオユスリカおよびアカムシユスリカの成熟幼虫個体数・蛹化量および羽化量の関係 (枠内の数字は㎡あたりの個体数) <平出, 沖野, 1983>





魚類

《主要魚類の経年変化》

諏訪湖には、大正時代の初めに漁業協同組合ができますが、それ以降、湖の漁業はすべてこの漁協の管轄下で行われるようになり、毎年の漁業統計や放流事業が詳しく記録され、それが出版物として公表されています。この類の資料は、他の湖では余り見られない貴重なもので、倉沢先生はこの資料を丹念に整理され、「諏訪湖における主要魚貝類放流量と漁獲量との経年変化の関連」という労作をまとめられ、1983年に発表しております。

図3-21は、これらにもとづいて諏訪湖の主要魚類の経年変化を簡略化し、定性的にまとめたものです。図で青緑色が在来種、紫色が移殖放流種、橙色は在来種に追加放流したものです。諏訪湖には固有種はいませんのですべ

てが在来種になりますが、在来の魚はあまり勢力を保つことがなく、移殖放流した魚の方が勢力を発揮しているのが特徴です。

《在来種》

在来種のうち、きれいな水域に生息するカワヤツメ、ヤマメ、イワナ、カワムツなどの魚種は、1935年頃には諏訪湖から姿を消しており、現在は見ることはできません。ハゲギギやニゴイも、1960年頃には消滅してしまいました。在来の魚のうち、人為的に補助されることなく今日まで存続しているのは、アメノウオ、メダカ、アカザ、タモロコ、カマツカ、モツゴ、アブラハヤなどで、これらの魚種も漁獲されるのは少量にしかすぎません。

《移殖放流種》

長野県は内陸部にあつて、海に面した部分がありませんから、この地方では、昔から動物

タンパクをとるのは淡水魚が主体で、そのために諏訪湖の魚類は、タンパク源として非常に重要視されておりました。古くは天正8年(1580)に琵琶湖からゲンゴロウブナを移入したという記録もあり、江戸時代には高島城主が乱獲防止の禁令をだしています。

ですから創立当初の漁協でも、湖の資源維持のために外から魚貝類をもってきて、熱心に移殖したり追加放流したりしたわけで、大正年間には、コイ、ウナギ、ドジョウなどの稚魚の放流が続けられています。

こうした中で、1914年には霞ヶ浦からワカサギの卵もってきて放流しますが、諏訪湖の環境はワカサギの好みにあっていたようで、ワカサギは川に上がって産卵し、自然増殖でどんどん増えていきます。この時期は、すでにワカサギの人工増殖も行われていますが、

図3-21 諏訪湖魚類目録の経年変化

魚名	1909	1918	1931	1935	1937	1948	1960	1961	1962	1975	1977	1978	1980
カワヤツメ <i>Lempetra japonica</i>	●		●										
アメノウオ <i>Oncorhynchus rhodurus</i>	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●
ヤマメ <i>Oncorhynchus masou</i>				●									
イワナ <i>Salvelinus pluvius</i>	●				●								
アユ <i>Plecoglossus altivelis</i>	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ワカサギ <i>Hypomesus transpacificus nipponensis</i>		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
メダカ <i>Oryzias latipes</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
グッピー <i>Poecilia reticulata</i>										●	●	●	●
ナマズ <i>Parasilurus asotus</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ハゲギギ <i>Pelleobagrus nudiceps</i>		●		●		●							
アカザ <i>Liobagrus reini</i>		●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●
バラタナゴ(ニッポンバラタナゴ) <i>Rhodeus ocellatus smithi</i>							●	●	●				
タイリクバラタナゴ <i>Rhodeus ocellatus ocellatus</i>										●	●	●	●
ゼニタナゴ <i>Pseudoperilampus typus</i>			●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
ニゴイ <i>Hemibarbus barbas</i>	●						●		●				
ホンモロコ <i>Gnathopogon caeruleus</i>		●	●			●	●	●	●	●	●	●	●
タモロコ <i>Gnathopogon elongatus</i>	●			●	●		●		●			●	●
カマツカ <i>Pseudogobio esocinus</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ヒガイ(カワヒガイ) <i>Sarcocheilichthys variegatus</i>		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
モツゴ <i>Pseudorasbora parva</i>	●			●	●		●	●	●	●	●	●	●
ウグイ <i>Tribolodon hakonensis</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

魚名	1909	1918	1931	1935	1937	1948	1960	1961	1962	1975	1977	1978	1980
アブラハヤ <i>Moroco steindachneri</i>	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
オイカワ <i>Zacco platypus</i>	●	●		●		●	●	●	●		●	●	●
カワムツ <i>Zacco temminckii</i>	●		●		●								
フナ <i>Carassius carassius</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
コイ <i>Cyprinus carpio</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ソウギョ <i>Ctenopharyngodon idellus</i>						●	●	●	●	●	●	●	●
レンギョ <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>						●	●	●	●	●	●	●	●
ドジョウ <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
シマドジョウ <i>Cobitis bivaiae</i>	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
ウナギ <i>Anguilla japonica</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ライギョ <i>Channa argus</i>							●						
オオクチバス <i>Micropterus salmoides</i>											●		
ブルーギル <i>Lepomis macrochirus</i>											●		
カジカ <i>Cottus pollux</i>	●				●							●	
ウツセミカジカ <i>Cottus ohmiensis?</i>							●						
ドンコ <i>Mogranda obscura</i>							●		●				
ヨシノボリ <i>Gobius similis</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ビリンゴ <i>Chaenogobius annularis</i>							●	●	●	●	●	●	●
ウキゴリ <i>Chaenogobius urotaensis</i>				●	●		●		●				
ツシマハゼ <i>Aboma tsusimae</i>							●						

●.....在来種    ●.....在来種への追加放流    ●.....新移殖放流種

自然増殖の方が人工増殖をはるかに上回っているのが特徴で、これには、当時の河川が清流であったこと、小さな魚を食べる肉食の大きな魚が余りいなかったことなど、有利な事情があったことも見逃せません。

そのほかゼニタナゴとかヒガイなども移殖放流されていますが、これらは、意識的に放流したというよりは、ほかの魚にくっついてきたというのが実情です。この当時から、琵琶湖のアユは種苗として各地に出荷されていますが、諏訪湖でも琵琶湖のアユを放流して、これにくっついてきたのがこれらの魚です。漁獲量もそう多くはありません。

珍しいものでは、1975年から熱帯産のメダカのグッピーが魚種目録に登録されています。これは放流したのではなくて、どこかで飼っているものが逃げ出すか、こぼれたりして水

路に出て、温泉の湯尻で越冬しながら繁殖したものです。この魚は、水温が15 ぐらいになるところと死んでしまいますが、18 以上あれば越冬できますから、日本の各地の温泉でも、同じような現象が起きています。ただ現在では、下水道ができて湯尻が少なくなりましたのでいなくなりました。再び姿を見せることもないと思います。

魚類のほかでは、移殖放流して大量に自然増殖したものに、さきに述べたテナガエビがあります。これも大正の始めに霞ヶ浦から移殖放流したもので、大正の末から昭和初期にかけては大量のエビが水揚げされています。

ワカサギやテナガエビのように、諏訪湖の場合には、どういうわけか、外から移殖すると定着し、在来種を押し退けて増えていく傾向が目立ちます。その意味では、今後問題にな

りそうなのがブラックバスの類です。もともと日本の淡水魚には、小さな魚を食べるのはナマズぐらいしかいないのですが、ブラックバスは魚を食べるのでワカサギの稚魚を好餌にします。それで大いに警戒しているわけです。ブラックバスは、浅瀬の砂地がなければ増えませんが、湖水がきれいになれば砂地も増えてきますから、ブラックバスの増える下地ができてきます。今でも1-2年おきに、これを釣った人がおりますから、湖にいないことはないのです。増えないのは、まだ増える場所ができていないというだけです。ですから諏訪湖の場合には、水生植物ではコカナダモ、魚ではブラックバスのような移入種が今後問題になるだろうと考えています。

《漁獲物に占める主要魚貝類の変遷》  
 諏訪湖の漁獲物には、魚類だけでなく貝類や

図3・22 総漁獲量の変遷

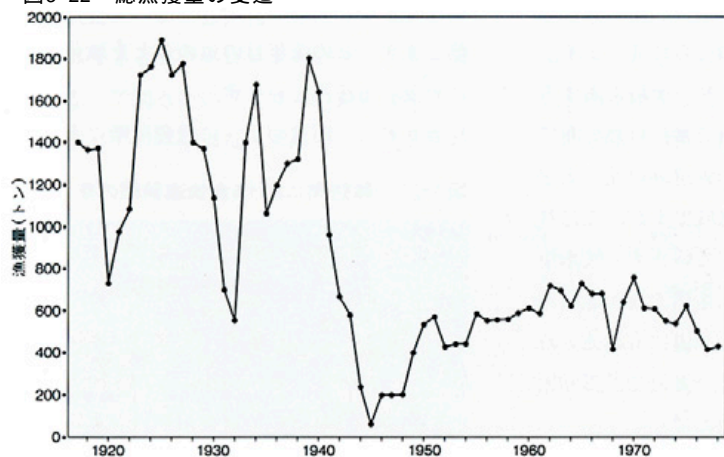


図3・23 ワカサギの漁獲量と放流量(卵)の変遷

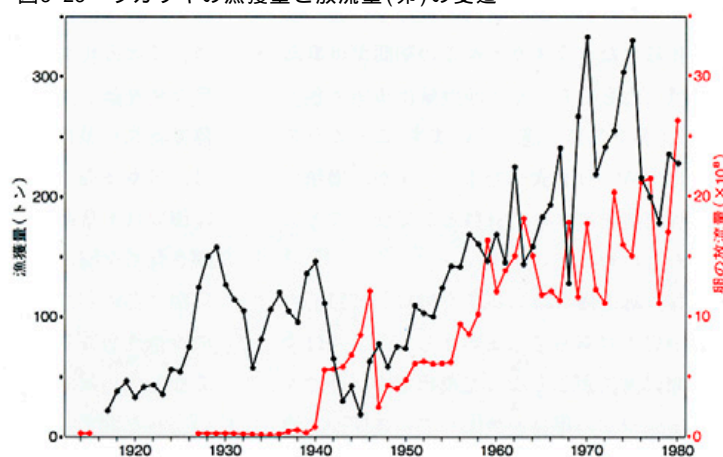


図3・24 フナおよびコイの漁獲量の変遷

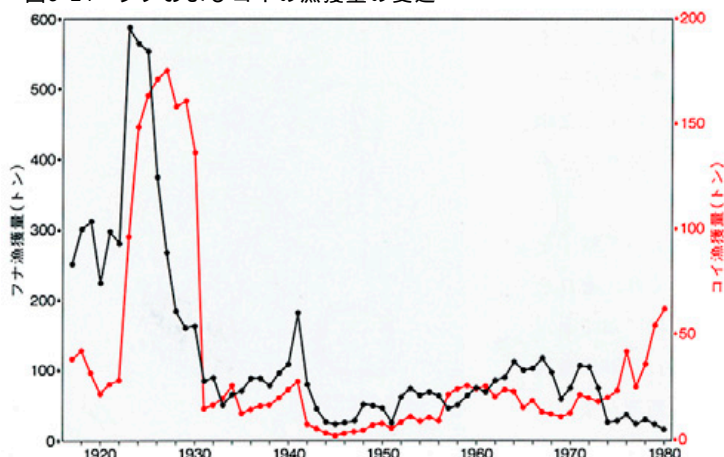
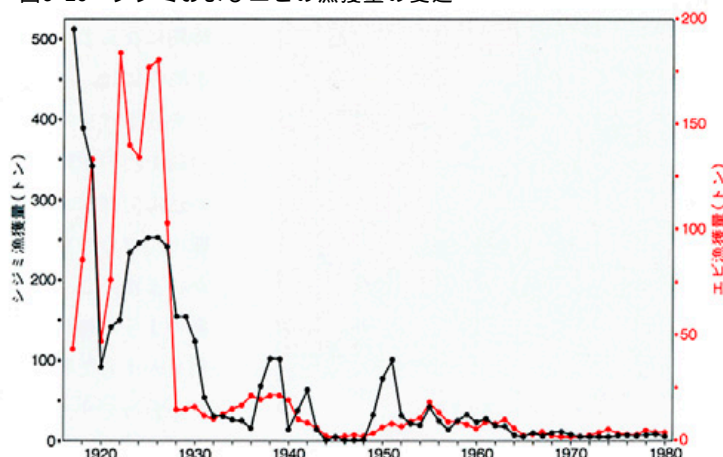


図3・25 シジミおよびエビの漁獲量の変遷





エビ類も含まれます。それで、これらの漁獲量の変遷についても、ごく大ざっぱに触れておきます。図3・22は1917年から1980年までの総漁獲量の変遷、図3・24はフナ、コイの漁獲量の変遷、図3・25はシジミ、エビの漁獲量の変遷、図3・23はワカサギの漁獲量とその放流量(卵)の変遷を示したものです。

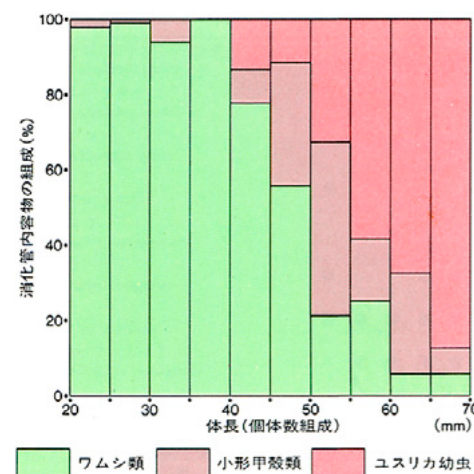
これらの図で分かるように大正時代は、フナが約600トン、シジミが約500トンも水揚げされており、フナ・シジミ時代とも呼ばれていました。この時期はエビも多く、その漁獲量は最盛期で約170トンに達しています。

大正末から昭和初期になると、フナ、シジミ、が減り始め、それに代わってワカサギ、コイ、タニシが増えてきて、フナ、コイ、ワカサギ、シジミ、タニシなどがほぼ同じ程度の量となり、これら各種属の競争時代になります。

その後、1933年から1942年にかけて総漁獲量が上がっていますが、これは1919年に霞ヶ浦から移殖したカラスガイがこの期間だけ異常に繁殖したもので、その漁獲量は多いときには約1,000トンにも達しています。このカラスガイは当時、身も食べたようですが、増殖の目的は貝殻をボタンの材料として使うことであつたといわれています。

その後、総漁獲量は1945年を境にして以前の約半分以下に落ちてしまいました。これは主に貝類の漁獲がなくなったためです。今でもヤマトシジミの稚貝を放流していますが、漁

図3・26 ワカサギの体長と消化管内容物



獲量が放流量をこえることはありません。こうして1945年以後は、ワカサギが諏訪湖の主要な魚種となり、現在に至っています。その占有率は60～80%で、これにコイ、フナを加えると全漁獲量の90%以上になるとされており、倉沢先生は、現在はワカサギの単独優占時代だと指摘しております。

大正時代には自然増殖が盛んで圧倒的に多かったフナは、今は非常に少なくなりました。1950～1960年には、フナの卵や稚貝の放流量も多かったのですが、その効果はあまり上がらず、1970年代に入って放流量が少なくなるとつれて漁獲量もぐんと減ってしまいました。この原因としては、フナの再生産の場であった湖岸の水生植物帯の激減が大きく関わっているように考えられます。

《ワカサギ》

現在、諏訪湖の魚といえば、前述のようにワカサギに代表されますが、この魚の生活史については古くから詳しく調べられています。ワカサギは、サケ目キュウリウオ科に属する魚で、北方系の遡河回遊魚です。自然分布では、日本海側では島根県の宍道湖以北、太平洋側では千葉県以北が生息域ですが、今は移殖されて全国に広く分布しています。淡水中に閉じ込められても容易に生活でき、北方系の冷水性魚族でありながら高温にも耐えられるなど広い適応性をもっているため、諏訪湖のような湖でも繁殖し得たのでしょう。

ワカサギの産卵は、2月から4月にかけて、流入河川を遡上して砂地で行われます。この時期になると、上川や砥川の河口部よりやや上流側には、上がってくるワカサギを採るヤナを仕掛けます。大きな吹き流しのような網の袋を川の中に入れて、そこにワカサギを追い込んで捕まえます。採ったワカサギは、すぐに卵をとって精子をかけます。こうして受精卵をつくり、それを網のような種板にのせて水につけておくと、何日かすると孵化するので、それを湖に放流するわけです。今では、この受精卵が全国に出荷されていて、最初に移殖した霞ヶ浦へも

逆に出荷するほどになっています。

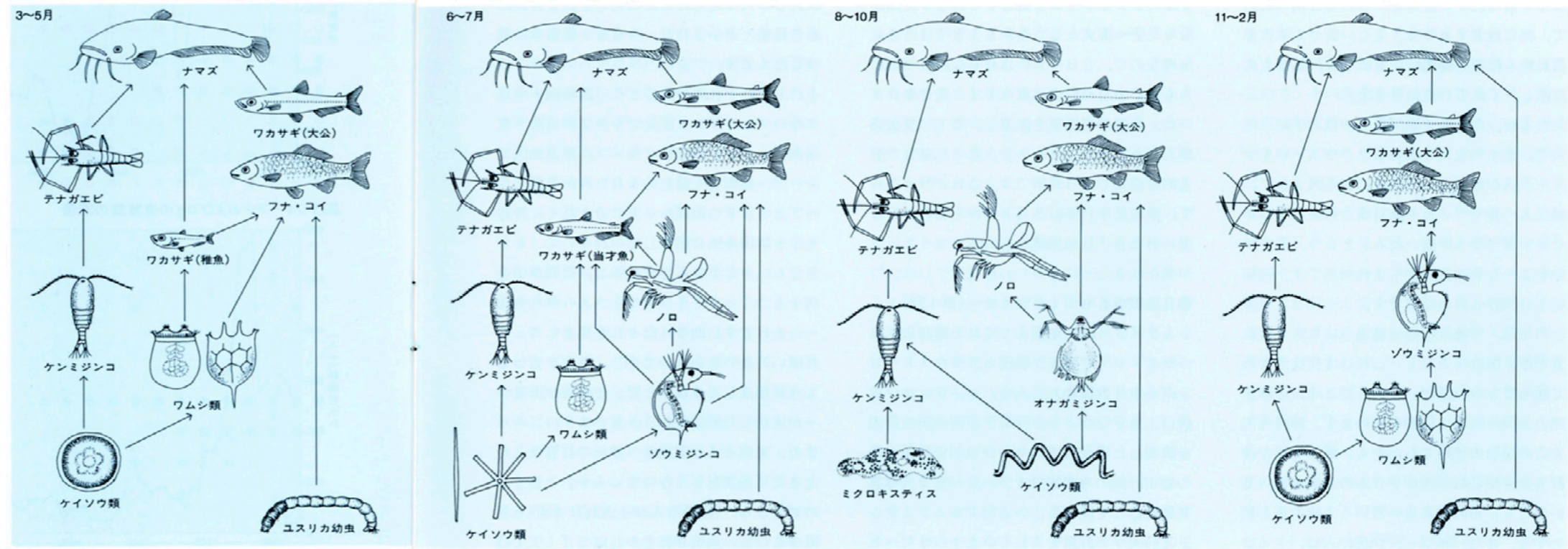
5月頃には仔魚となり、水深2mほどの水域で泳ぎまわっていますが、この時期は沖合には殆ど出ていきません。6月以降の成魚期になると、水深3～5mの沖合で多く見られるようになり、昼間は底層で群れをつくって泳ぎ、夜間は湖中で静かにしています。

魚群探知器によってワカサギの魚影をみますと、夏場には、とくに夜になると底層の酸素が少なくなりますが、ワカサギはこの状態を敏感にキャッチして、貧酸素層の底層部を避けて、その上方で休んでいるのがよく分かります。ですから逆に、ワカサギの魚影から貧酸素層を知ることができるわけで、これは諏訪湖ならではの興味深い現象です。

こうして1年経つと、生殖ができるほどに成長し、翌年の冬の終わり頃になると産卵のために川を上るわけです。1年経っても生殖ができるまでに成長しなかった魚は2年目に成熟します。この2年目の魚のことを地元では「太公」と呼んでいます。

ワカサギは、前述のように发育段階によって

図3・27 諏訪湖における食物連鎖網の季節変化



生息場所を変えますが、食べる餌の内容も发育段階に応じて変えていきます。図3・26はワカサギを体長順に並べ、その消化管の内容を調べたものです。図は、消化管に入っている餌を重量比で示してありますが、その餌は仔魚期のワムシ類から、次いで動物プランクトン(小形甲殻類)へ、さらにユスリカ幼虫へと変わっている様子がよく分かります。一番小さいワムシ類は1個体が0.3μg、次の小形甲殻類では、ゾウミジンコ4.1μg、ゾウミジンコモドキ5μgで、さらにユスリカ幼虫の蛹は200μgにもなります。

このようにワカサギは、その成長に伴って餌の種類を次々に変えていきますが、非常に都合のよいことに、諏訪湖の中では、ワカサギの食性変化と同調するように餌となる生物が次から次に発生してきます。

ワカサギが孵化し、仔魚期を経る4～5月頃には大量のワムシ類が発生し、やがて5～6月頃になるとゾウミジンコ類が発生して、成魚になって間もないワカサギの格好の餌になります。この時期には、大形プランクトンの

ノロも最大の発生量になっています。

7月に入る頃にはワカサギの体長は40ミリを越えますが、この時期はオオユスリカの第2回目の羽化期にあたります。さらに8月から9月にはオオユスリカの第3回目の羽化期、10月から11月にかけてはアカムシユスリカの羽化期が続きます。ワカサギは、これら羽化期のユスリカ幼虫をじつによく食べます。この時期のワカサギのお腹の中をみると、ユスリカ幼虫で真っ黒になっており、ワカサギの体長は、これら各時期ごとに飛躍的に一段と大きくなっていきます。図3・27に、ワカサギの成長と諏訪湖の食物連鎖網を模式的に描いてみましたので参照してください。

ワカサギが、諏訪湖で現在のように繁殖できたのは、以上のように、この湖ではワカサギの成長に合わせて良好な餌が順番に発生していることが主因になっているわけですが、なかでもユスリカ幼虫は大きな役割を演じています。それと、人間が大きな手助けをしているという事実も見逃せません。生物にとっては、産卵・受精・孵化という段階は、最も弱

く、また大切な時期にあたりますが、この段階を人間が介助していることが、ワカサギの仔魚期への生残率を高めていることも明らかです。諏訪湖への放流卵数は、今では25億粒以上にもなっています(図3・23)。

諏訪湖では、2年目の魚は「太公」と呼ばれますが、この太公については、昔から、太公の体重が大きい年には湖からとれる数は少なく、湖からとれる数の多い年には太公の体重が小さいという傾向のあることが知られています。これは、湖の大きさが一定なものですから、こうしてバランスがとられているわけですが、各年の成長の差がどのような要因から生じているのかなど、細かい点についてはまだよく分かっておりません。

だいが長くなりましたが、以上が諏訪湖の生物とその変遷についての概略です。本来は、このほかにも鳥類についても触れないといけないのですが、それはまた別の機会に、専門の先生方によって改めて取り上げていただければと思います。





# まちづくり懇談会と日独セミナー

## 発足当時の事情

藤原 私は、戦後、兵隊から帰ってきてからは、諏訪湖畔で家業の旅館(ぬのはん)をやっております。それで、湖水を汚した犯人の一人なものですから、いつかは何とかしなくてはと思ってはいましたけれども、仕事が忙しく何もできないままでおりました。

「諏訪環境まちづくり懇談会」は、平成元年(1989)10月にできたのですが、その数年前からは、私たち自身でも何かしたいという気持ちを強くもっていました。ただそうした気持ちの一方では、それまでに施された行政の方からのいろいろな措置や手段がほとんど成果を上げておりませんので、正直なところ、これはもうギブアップかなという思いを抱いていたのです。

当時、私は民間団体の諏訪国際交流協会の会長をしていたのですが、この協会の理事に、信州大学の飯田実先生がおられました。飯田先生は専門は英文学なんですけど、以前からヨーロッパの町、大都市だけでなく地方都市や田舎町の景観の美しさに深い関心をもっておられまして、こうした町の美しさがどのようにして造られているかをいろいろと調べていて、特に西ドイツでは、美しい街づくりに非常に熱心に取り組んでいることを、私どもにも話してくれていたわけです。

ところが、たまたま飯田先生の教え子のご主人で、先生の友人でもあるクラウス・ハルツォーク氏が西ドイツ外務省におられまして、お二人の間で「いっそ諏訪市で日独まちづくりシンポジウムを開いたら」という、雲をつかむような夢の企画が生まれたんです。昭和62年(1987)3月のことです。

この話は、早速に国際交流協会にもちこまれますが、協会の方でも「これは文化交流として願ってもない話だ」ということで、この企画の実現に向けて活動を始めます。沖野先生もこの協会の理事でしたから、飯田先生や沖野先生を中心にシンポジウムの企画を練っていただく。市の方にもいろいろと協力をお願いする。またハルツォーク氏からは、ドイツ

大使館を経て東京ドイツ文化センターに働きかけてくれます。

こうして昭和63年(1988)3月に、飯田先生と交流協会会長の私は、東京ドイツ文化センター所長のリヒャルト・シュナイダー博士をお訪ねして、支援をお願いいたしました。そのときの私どもの計画は、日独の専門家を中心に1日のシンポジウムを行いたいというものだったんですが、シュナイダー所長は、1日だけのシンポジウムなら効果がないからやらない方がいいといって、反対のご意見なんです。それに対して飯田先生も負けじと自説を主張されまして、私はただひとり、汗をかきっぱかりだったんです(笑)。そのうちに、話がまちづくりの基本である「生活の質」に及んだときに、お二人の意見が一致して2時間にも及ぶ白熱の議論が好転し、シュナイダー所長が代案を出されました。

そのあらまは、専門家どうしが高い所から討論するのではなくて、西ドイツの専門家が現場の諏訪の町をよく見せてもらって、その上で市民と膝をつきあわせて討論したり、専門家や行政の方々とも話し合いました。ですからシンポジウムではなくて、より実際的なセミナー方式とし、会期も1日ではとても無理なので、5日ぐらいはやらないとだめだろう。そのためには、東京ドイツ文化センターは、最高の専門家を派遣し、若干の資金援助もいたしましょうという、じつに誠実で好意的な提案であったのです。これが軸となつて、平成元年(1989)5月8日から12日の5日間にわたる「日独環境まちづくりセミナー」が開かれることになったわけです。

## 日独環境まちづくりセミナー(第1回)

シュナイダー所長が選んでくれた講師は、トーマス・ジーヴェルツ教授とクラウス・ペピングハウス教授のお二人で、ジーヴェルツ教授は、有名なウィーンのドナウ河の再生計画を実現した責任者で、ヨーロッパでは第1級の都市計画の専門家です。ハーバード大学客員教授などを歴任し、いまはダルムシュタット工科大学の教授をされています。またペ

ピングハウス教授は、アーヘン工科大学の水質工学研究所の所長で、河川や湖沼の水質汚染や廃棄物処理などのコンサルタントとして、ドイツ国内だけでなく世界の各地で活躍されておられる方です。

こうなりますと、私どもの方でも民間だけでなくやるのは具合が悪いので、諏訪市や県の方にも一緒に参加して応援してくださいとお願いします。最初は、予算の関係があるので市は躊躇したんですが、最終的には、私がセミナー実行委員会の会長に、市長には名誉会長になっていただき、事務局も市役所の中に設けられることになりました。またそれまでは諏訪湖の問題について、県の諏訪建設事務所とお話しする機会など私たちには全くなかったんですが、一緒にやってくださいということではいろいろと話し合いがもたれます。

一方、町の人々にも広く参加を呼び掛けましたから、一般の主婦や勤労者、会社の経営者や商店街の方、青年会議所や自由業の方など、そのほかいろいろな職種や階層の市民レベルの人々がたくさん参加してくれます。そして相手がドイツの先生なものですから、ドイツ人に日本人は地元のことには知らないと言われるのは恥だということで、みんな一生懸命に勉強したんです。

それもそれぞれの分野ごとに、諏訪湖・水辺グループ、リゾート開発グループ、道路・交通網グループ、商店街グループ、産業地区グループ、住環境・歴史的まちなみ・公園グループという6つのグループに分かれて、沖野先生や飯田先生に指導していただいて、4ヵ月ぐらひかけてみんなで勉強し、質問事項を何十とつくってドイツの先生へあらかじめ送ったわけです。向こうはそれを見まして、これはいけないということで(笑)、返事を書けるように用意してくれまして、その辺がセミナーが成功した原因だろうと思います。

また、東京ドイツ文化センターで打合せしたときに「通訳はどうなっているか」と言うものですから、「優秀な人が1人おります」と答えましたら、所長が首をかき上げて「1人では



無理だ」と言われるんです。それで3人連れてきてくれまして、逐次通訳ではなくて同時通訳でやりましょう。道具はこちらである程度用意するから、足りない分はそっちでお金を出しなさいというわけです。町の人たちは、みんな一般の市民ですから同時通訳なんていうのは初めての経験です。それで、みんなイヤホンをつけて、向こうの先生と対で質問できるように練習しました。

そして、この3人の通訳が大変いい通訳の方々に、実際のセミナーでは熱中してくるとこの辺の方言が飛び出してくるんです。「そうずら」とか「ごちせい」とか、いろいろ出てくるんです(笑)。そうしたことも余り苦にせずに、20分ごとに交替しながら上手に通訳してくれました。これも、セミナーが成功した原因の1つだろうと思います。

セミナーは、さきに述べましたように5月8日から12日まで行われました。ドイツの両先生には、8日は諏訪市内や湖上の視察、9日は、午前中は周辺の霧ヶ峰・ハケ岳山麓地帯を視察して午後は各グループの専門部会での討論と話し合い、10日は、午前中は諏訪市内の商店街を視察して午後は各グループの専門部会での討論と話し合い、11日は午前・午後を通じて各グループの専門部会での討論と話し合いという、非常にきついスケジュールだったんですが、嫌な顔を少しも見せずにじつに熱心に、また率直にお話してくれました。

そして最後の12日は、これまでの締め括りとしてジーヴェルトツ先生の講演が予定されておりました。それで私は、明日が最後だということで11日の晩に「一杯飲みに行こう」と先生方をお誘いしたんです。そうしましたらジーヴェルトツ先生が「いや、今夜はちょっと……」。ドイツで用意してきたのを全部やめて、明日の講演の原稿を今晚つくるから」と言われて飲みに行くのを止められました。

そして翌日の最後の講演では、ジーヴェルトツ先生は、ウィーン市での「ノイエ・ドナウ」治水計画の経験が諏訪にも役立つことを述べた上で、昔の諏訪の地図と現在の諏訪市の構

造を手掛かりにして、諏訪の将来はこのようにしたらという先生の構想を1つの図の中に示してくれたんです。もちろんこの図は、前の晩に描かれたのでしょうが、それほど気合を入れてセミナーに取り組んでくれました。また、この図に示された構想がじつに見事で、私どもに夢と勇気を与えてくれるんですが、ただそれを説明するには、私などより飯田先生の方がずっと適任ですから、本誌のどこかで、先生にセミナーの内容を解説していただければと思います。

一方、ベピングハウス先生は、このセミナーだけで各専門部会のグループの活動が終わってしまうのは大変残念なので、このセミナーを基礎に新しい目標をつくり、さらに活動を盛んにしてほしいと述べられました。そしてドイツのバイエルン州の南部、アルプスの北側にあるガルミッシュ・パルテンキルヒェンでは、諏訪と同じような条件にあって、湖と森を抱えた「まちづくり」が行われているので、この都市と諏訪との間で、日独共同の研究をいろいろな専門家を交えて行い、また市民間の交流をはかったらどうか、それも行政も入って一緒にやったらどうかという、私どもの誰も考えてもみなかった案が突然に両先生から提言されたのです。

これまでの5日間、諏訪の市民になったような感じで、かゆいところまで手の届くように様々なことを教えてもらい、セミナーを大成功させてくれた上に、最後にこうした素晴らしい提言まで頂いて、私はもう本当に頭の下がる思いで、心から両先生にはお礼を申し上げたわけです。

このセミナーのおかげで、町の多くの人々が認識を改めました。それまでは私と同じように、多くの市民が内心ではギブアップと感じていたのですが、ドイツでも日本と同じように湖を汚して泳げなくしたけれども、今はその湖を泳げるようにしたという話を聞いてみんな奮い立ったわけです。

こうして、セミナーのときにつくられた各グループが中心となって、平成元年(1989)10月

に「諏訪環境まちづくり懇談会」が発足しました。会の基本理念は、エコロジーと人間尊重のまちづくりで、略して「まち懇」とっています。第2回、第3回の日独セミナーも「まち懇」が主体になって進めました。

第2回日独環境まちづくりセミナーセミナーの最終日にドイツの両先生から提案された日独共同研究の話は、東京ドイツ文化センターのシュナイダー所長も、その場で大賛成していただき、実現に向けて支援しようということになりました。それで「まち懇」では、翌年の平成2年(1990)6月から7月にかけて、飯田先生、沖野先生、渡辺先生と諏訪環境会議の塩原さんの4人の専門家にドイツに視察にってもらいました。

ルール地方やバイエルン州のガルミッシュ・パルテンキルヒェンを訪ねてもらって、実際に湖沼の浄化や河川の再自然化がどのように行われているのか、また地方都市の再開発やリゾート地の状況などを、向こうの担当者の方々と直接にお会いして詳しく調べてもらったわけです。そして先生方の視察報告をうけ7月末の「まち懇」総会で、翌年の平成3年(1991)に第2回の日独環境まちづくりセミナーを開こうということがきまりました。

また諏訪湖は、周辺の山地森林地帯と一連のもので、その浄化も諏訪市だけでなく、周辺の広域市町村が一緒になってやらないと達成できませんから、第2回のセミナーでは県をはじめ、岡谷市、茅野市、下諏訪町、富士見町、原村の各首長に協力をお願いし、この地域の市民の方々にも広く参加を呼び掛けました。そして次のセミナーでは、ドイツでは実際に行政がどのような取り組み方をしているかを知りたいと思い、東京にシュナイダー所長をお訪ねして、バイエルン州で水質浄化と都市計画に携わっている行政の方を派遣していただくようお願いしたわけです。

第2回の日独セミナーは、県と6市町村の支援のもとに、平成3年(1991)10月29日から11月2日にわたって行われました。ドイツからは、バイエルン州水利管理局部長のクラウス・

ブックシュテーク氏と、バイエルン州ガルミッシュ・パルテンキルヒェン郡の副郡長のグイドー・カンブ氏のお二人が見えられました。このときには、ヘリコプター、貸船、バスなどを使って諏訪地方を視察してもらい、その上で各グループによる専門部会と一般公開セミナーを行ったのですが、両氏ともじつに熱心に取り組んでくれました。

バイエルン州には、氷河の削ったあとにできた湖沼が大小あわせて20ほどありますが、これらの湖を浄化して泳げるようにしたこと、景観の保存や、車道を制限した人間生活優先の再開発のこと、そのほか多くの問題について、スライドを使いながら具体的に、また実務的なレベルのことまで詳しく教えていただいたわけです。

じつは私自身、家が諏訪湖畔にありましたから、子供のころは夏は湖で泳ぎ、冬はスケートをして遊んで育ってききましたので、湖の再生というのも、私の頭の中にはそんなイメージしかなかったわけです。ところが、スライドで紹介されたドイツの湖を見ますと、林と緑地に囲まれ、渚まであって、そこでは家族ぐるみで泳ぎ、くつろいでいて、何とも豊かで落ち着いた感じなんです。それで、このと

きから諏訪湖の将来像も、私の頭の中ではすっかり変わってしまいました(笑)。

このように第2回のセミナーも成功のうちに終わったのですが、2回ともうまくいきましたのでこの勢いが加速され、終わったあとで、いつも諏訪だけでやらずに次はドイツで3回目のセミナーをしたらどうか、という案がドイツ側から出されたんです。それで私たちも、ではまたご厄介になりますということで、次はドイツへ行って実際の現場を見ながら勉強しよう、ということになりました。

ただ、そのためには細心の準備と現地の予備調査がどうしても必要になります。このときにも、東京ドイツ文化センターのご好意によって、飯田先生が1992年1月から3月まで、バイエルン州ムルナウのゲーティンストゥートに留学できることになりました。この留学期間を利用して、飯田先生にお骨折りいただき、ガルミッシュ・パルテンキルヒェン郡議会でスピーチして協力を要請していただく、あるいは関係者と打合せしたり、各地を視察していただくなどして、十分に準備をすすめることができました。

第3回日独環境まちづくりセミナー  
こうして、平成5年(1993)6月中旬の約10日

間、「まち懇」のメンバーを中心に40名近いグループを組んでドイツへ行き、第3回目の日独セミナーをやりました。このときには行政の方からも、県の方では小川河川課長、荻原所長さんの前任者の平沢所長、水産試験場の前大前諏訪支場長、それに諏訪市の職員の方なども一緒に参加してくれました。またマスコミの方でも、信濃毎日新聞、NHK、長野放送などが同行してくれました。

向こうでは、2回目のセミナーで講師をしてくれたブックシュテーク氏とカンブ氏が、ガルミッシュ・パルテンキルヒェンの街やバイエルン州の湖などをいろいろと案内してくれました。両先生とも諏訪の人たちには何を見せたら参考になるかを充分に知っておりますから、それはぎっしりとつまったスケジュールをつくってくれておりました。

商店街の再開発地区、歴史的街並み、博物館と美術館、工場、再自然化の河川工事現場、湖上と湖畔からの湖の視察、流域下水処理場、自然保護地区の湿原、ゴミの分別回収とリサイクル・コートなどなど、私どもが知りたいと思っているところを全部案内してくれました。しかもその合間には、環境保護団体や市民グループとの懇親会、あるいは一般家庭との交流まで組んでくれていました。

そしてそれぞれの現場では、向こうの実際の担当者も交えて、私どもの質問に丁寧に答えてくれましたので、これは本当に勉強になりました。第1回と第2回のセミナーは、その全記録を本にして残しておりますが、この第3回目は、すべて屋外の現場でのセミナーなものですから記録がとれるかどうか心配だったんですが、幸いにもカセットテープに収録するうまい工夫が発案され、このときの記録も本としてまとめてあります(注)。

それまでの2回のセミナーでは、諏訪で先生方のお話を聞いたり、写真やスライドを見せてもらっていたわけですが、それが現地に来て、ゴミ一つ見られないきれいな湖水をまのあたりし、また再開発された美しい街並みの商店街と、その前の広い歩道を楽しそうに散

第3回日独セミナー／シュタルンベルグ湖湖畔での記念撮影





策している人々を実際に見ますと、感じ方がまるで違っていて、みんなえらく感激して帰ってきたわけです。帰りぎわにドイツの両先生に「スケジュールはとてもきつかったけれども、みんな大変感激しました」とお礼をいいましたら、向こうからは「諏訪の方がよっぽどきついスケジュールでしたよ」とやり返されてしまいました(笑)。

#### まちづくり懇談会の活動

ドイツから帰ったあと、これまでのセミナーで勉強したことを実際に生かしていくにはどうしたら良いかということで、まず最初に現状をしっかりとらえるために、地図づくりに取り掛かりました。

第3回セミナーでドイツに行ったとき、東京在住の若い建築設計士さんが一緒にいらっしやいました。この方は、ドイツの大学を出たあとシュツットガルトの設計事務所に勤め、ドイツのまちづくりのコンペにも参加した経験もあって、まちづくりの手法を全部知っております。それで、この人に教わりながら、みんなで現状地図をつくりました。

商店街のおやじさんなども、家の店構えがどうなっているか自分で描いてみなさいと言われて、五十、六十の人たちがみんな表へ出て描いたわけです。それで、おれの家はこんな格好をしているのかと初めてわかった(笑)。周りの道の状態を描くために実際に歩いてみると、歩くところはまるで歩けないし、自動車ばかりが通っている。これはまあ、ひどい街だと(笑)。樹も生えてないし、ちょっと貧相すぎるじゃないか、ということがつぶさにわかってきました。

それで現状地図ができたときに、行政の担当の方、警察、国道事務所、保健所、地方事務所、建設事務所、中部電力など、関係ある行政の方々に全部一緒に出席してもらって、この地図に印をした問題の場所はここですと言って、一日案内してまわりました。

次には、この現状地図をもとにして、湖・水辺グループ、商店街グループ、道路・交通網グループなど、それぞれのグループが中心に

なって、将来はこのようにしたいということをもみんなで検討し、「将来地図」というのをつくりました。これには1年2ヵ月ぐらいかかりましたが、「まち懇」としては将来こういうのがいいなという、かなり分厚い資料がみんなの汗で出来上がったわけです。

それで今度も、この「将来地図」を示して行政の方と一緒に検討会をやりました。そのときに飯田先生と沖野先生が先にたって、検討会をうまくリードしていただきました。本日は、このあと荻原所長さんの方から、諏訪湖の水辺整備のマスタープランやその進行状況のお話があるわけですが、その中には、私どもの案も随分と生かされております。

ところで最初、平成元年(1989)に「まち懇」が発足したときに、当面の目標として

1. 長野オリンピック(1998)までに泳げる諏訪湖にしよう。
2. 石彫公園に遊べる浜辺をつくろう。
3. 上諏訪駅前の歩道橋をグリーンブリッジにしよう。

という3つのことをかかげたんです。

第1番目は、外国からお客さんが来るときに泳げない湖というのはどうにも恥ずかしい。何とかして泳げるようにしようということでバルーンを上げたんですが、これは、まだ時間がかかりそうです。

第2番目は、これはお陰さまで平成7年には湖の一部には浜辺ができて、ここには家族連れが大勢きて、小さな子供たちはひざ小僧ぐらいまで水に入って遊んだりしております。こちらの方は実現したんです。また鴨池川の河口のところには、ちょっとした遠浅のところがあるので、ここには青年会議所の方が監督するという形で、子供たちが泳いだり、貝を拾ったりして遊んでいます。

このように少しずつ環境が良くなってきているので、諏訪湖を泳げる湖にするという目標も、これは時間がかかっても何としても実現したい。ドイツの先生方とはみんな「泳げるようになったら行くから(笑)。行って確認するよ」という約束があるものですから、いつ

かは呼んであげなければならないのですが、残念ながら現状では、いつ呼ぶかはまだ決まっております。

現在、湖の水辺は、荻原所長さんの方でも随分と力を入れていただいているので、なぎさができたり、ヨシが育ってきたりして、一時のコンクリートの護岸とは様相がだいぶ変わってきています。水質も以前に比べて良くなっています。

それで「まち懇」では、この様子を一般市民に知ってもらい、湖で人々が遊んでほしいということで、湖を1周するバスを出すことにしました。夏の7月～9月の3ヵ月間、土・日だけですが、20人乗りのマイクロバスを仕立てて、1日に8回、1時間で湖を1周するようにして、停留所も10ほどつくりまして、1日券を買っておけば、何回も乗り降りしてもいいということで始めたわけです。

停留所は、美術館とか眺望のよい場所におき、建設事務所の方にもお願いして、釜口水門やクリーンレイク諏訪(終末処理場)を見学できるようにしてもらい、そこでは諏訪湖の説明もしていただくようにしました。土・日だけの運用なので回数が少なく、まだ赤字なんです。バスに乗った人々の感想では、諏訪に来た人にも、町の人にも好評です。

諏訪湖の周りの景色が移り変わるのがよく分かりますし、町の人でも「私、こんな知らなかった」という人が多くて、利用客もだんだん増えています。やっている方でも、湖の水辺が年々よくなっているものですから張り合いがあるわけです。いずれにしても、少しでも多くの人々が諏訪湖を身近に感じていただいて、できるだけ早くに諏訪湖を泳げる湖に戻したいというのが、私どもの願いです。

# 湖岸の再生計画

## 諏訪湖の治水

荻原 私のおります諏訪建設事務所は、長野県土木部の出先機関で、この地域の土木行政を担当しております。道路、河川、砂防、都市計画など、社会資本の整備や施設の管理を行っているわけですが、県下で一番大きな湖である諏訪湖も私どもが管理しております。諏訪湖の環境整備は、私どもの仕事の中でも特に重点事業の1つとして、力を入れて取り組んでいるものです。

諏訪湖の環境整備は、図5・1のように大きくは2つに分かれまして、1つは水害のない安全な湖にすること、もう1つが美しい湖に、つまり泳げる湖・生物の棲む湖・緑の多い自然豊かな湖にすることです。

まず水害のない湖ですが、流入する河川は31本と多いのに対し、流出河川は天竜川が唯一つあるだけなので、諏訪湖周辺は、古くから浸水の常襲地帯となっていました。このため治水施設として、昭和42年頃から湖岸堤の整備に取り掛かり、これはほぼ完成いたしました。ただ当時は、安全第一ということでコンクリートの単調な護岸が湖周の7割ぐらゐを占めることになったのですが、これらの修景については後で述べます。

また、諏訪湖の治水には洪水の調節が必要ですが、これは、天竜川に流出するところに釜口水門が設けてあり、ここで流出量を制御します。将来計画では、最大流入量1,600m<sup>3</sup>/sを想定し、このときの最大放流量を600m<sup>2</sup>/sとして1,000m<sup>2</sup>/sの洪水調節を行い、諏訪湖周辺および天竜川流域の水害を防ぐことになっています。

ただし、釜口水門から600m<sup>2</sup>/sを放流しますと、現状では釜口水門下流の天竜川流域で水害が起きてしまいます。そのため、いま天竜川の改修事業を行っているわけですが、この改修事業は非常な長期間にわたります。それまでの間は、釜口水門からの放流量も、天竜川の流下能力に対応して制限せざるを得ないわけで、現状は300m<sup>2</sup>/sが放流できる最大量としています。平成12年度には、改修事業の

進展にともなって最大400m<sup>2</sup>/sまで放流できる予定です。なおこの図で、洪水調整の後に流水の維持としてあるのは、これは釜口水門の操作上のことで、天竜川には常時8.7m<sup>2</sup>/sを放流するということです。

## 湖の浄化対策

もう1つの美しい湖のための環境整備は、具体的には「泳げる湖」「生物の棲む湖」「緑の多い自然豊かな湖」を目指しているわけですが、これは大きくは2つの柱がありまして、その1つが浄化対策、もう1つが水辺環境の整備ということになります。浄化対策としては、図にあるように、流域下水道の整備、湖底の浚渫、流入河川や湖内に浮遊するゴミの除去などを行っております。

## 《諏訪湖流域下水道》

流域下水道は、岡谷市、諏訪市、茅野市、下諏訪町、富士見町および原村の6市町村を結ぶもので、7つの幹線と終末処理場(クリーンレイク諏訪)が県の事業、面整備はそれぞれ関連の市町村が行っております(図5・2)。昭和47年2月から事業に着手し、昭和54年に一部供用し始め、平成5年度からは全市町村で供用しております。全体計画と進捗状況は表5・1に示す通りで、平成7年度末の普及率は76.7%になっております。

終末処理場は、最終的には6系列の水処理施設が完成しますが、現在は3系列の水処理施設が稼働しており、平成7年末現在では流入下水量は87,700m<sup>3</sup>/日、COD、SS、窒素、リンの除去率は、表5・2のようになっています。

いま4系列目の水処理施設を工事中ですが、この施設では窒素・リンを除去できる高度処理を行うことになっており、また平成7年からは応急の措置ではありますが、現在の施設でリンの除去を始めています。

処理水は、湖底に埋めた管渠により天竜川への流出口の近くで湖内に放流しております。また処理場の傍らには、ヨシを植えた浄化実験場を設けて、ヨシの成長やそれによる浄化効果などを測定しております。

なお諏訪湖は、湖沼水質特別措置法に基づく

指定湖沼の1つで、環境基準は表5・3のようになっています。現在は、第2期水質保全計画(1992~1997年)が進行中です。

## 《底泥の浚渫》

さきほどのお話にもありましたが、昭和40年に諏訪湖浄化対策研究委員会が発足し、諏訪湖浄化に関する研究が行われまして、その中で湖底の浚渫が提言されました。それにもとづき昭和44年から浚渫を始めてまして、第1期工事としては、昭和44年~昭和55年の12年間で、水深が2.50mより浅い湖周の部分を浚渫しました。洪のエゴの一部や曾根遺跡などは除いていますが、いずれにしてもこれが、沖野先生のお話にありましたように、水生植物を減らす原因となったわけです。

昭和56年度からは第2期工事として、底泥からの栄養塩類の溶出を抑えるということで、窒素・リンを多く含む湖底表層の40~50cmの深さまで浚渫を行っております。平成7年度末では、第1期工事も含めると湖のほぼ半分ぐらゐの面積が浚渫し終わっています。

## 《ゴミの除去》

洪水などのときには、流入河川を經由して湖内にはゴミやヨシの枯れたものなど大量の浮遊物が出ます。こうした場合には、私どもが建設業者などを総動員してこれを除去いたします。通常のゴミは、愛護団体などのボランティアの活動をお願いして除去しております。

## 湖岸の再生へ/人工なぎさの実験

水辺環境の整備は、湖の水辺の整備と、湖畔に湖を一周できるジョギングロード・遊歩道とをあわせて整備するもので、自然環境の再生と同時に、人々に親しみやすく緑豊かな魅力的な湖畔づくりを目指します。これは、本日の主題でありますから、経過なども含めて少し詳しくお話しします。

さきほど述べましたように、治水施設としての湖岸堤はほぼ完成したのですが、これが主としてコンクリート波返し工の護岸であったために、湖畔は人工的な風景に置き換えられて親水性は失われ、また湖周部の浚渫によって水生植物も激減してしまいました。



図5-1 諏訪湖の環境整備 諏訪建設事務所

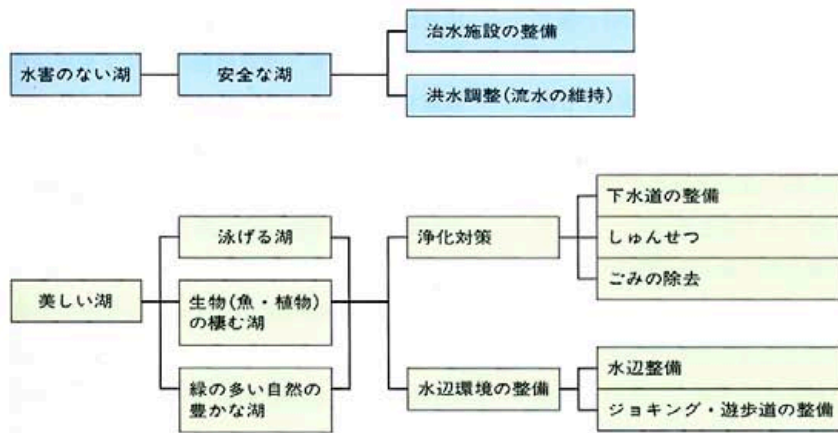


表5-1 諏訪湖流域下水道計画諸元および進捗状況

関係市町村(加入順)	岡谷市・諏訪市・茅野市・下諏訪町・原村・富士見町		
施行年度	昭和46年度～平成23年度		
終末処理場	豊田終末処理場(豊田処理区)		
水処理方式	凝集剤併用型循環式硝化脱窒法+急速砂ろ過		
汚泥処理方式	濃縮→消化→脱水→焼却→溶融資源化		
排除方式	分流式		
計画及び実施状況	全体計画	平成7年度末	進捗率(%)
計画処理面積(ha)	6,719	4,150	61.8
計画処理人口(人)	205,400	150,296	76.7*
計画処理水量(m <sup>3</sup> /日)	186,000	108,000**	58.1
計画処理系列・池数	6系列12池	3系列6池	—
幹線数(幹線)	7	6	—
延長(km)	47.3	39.4	83.3
ポンプ場(箇所)	1	1	—
概算事業費(億円)	1,080	558	51.7
関連公共下水道概算事業費(億円)	1,647	841	51.1

\*普及率 \*\*処理能力

図5-2 諏訪湖流域下水道(豊田地区)計画

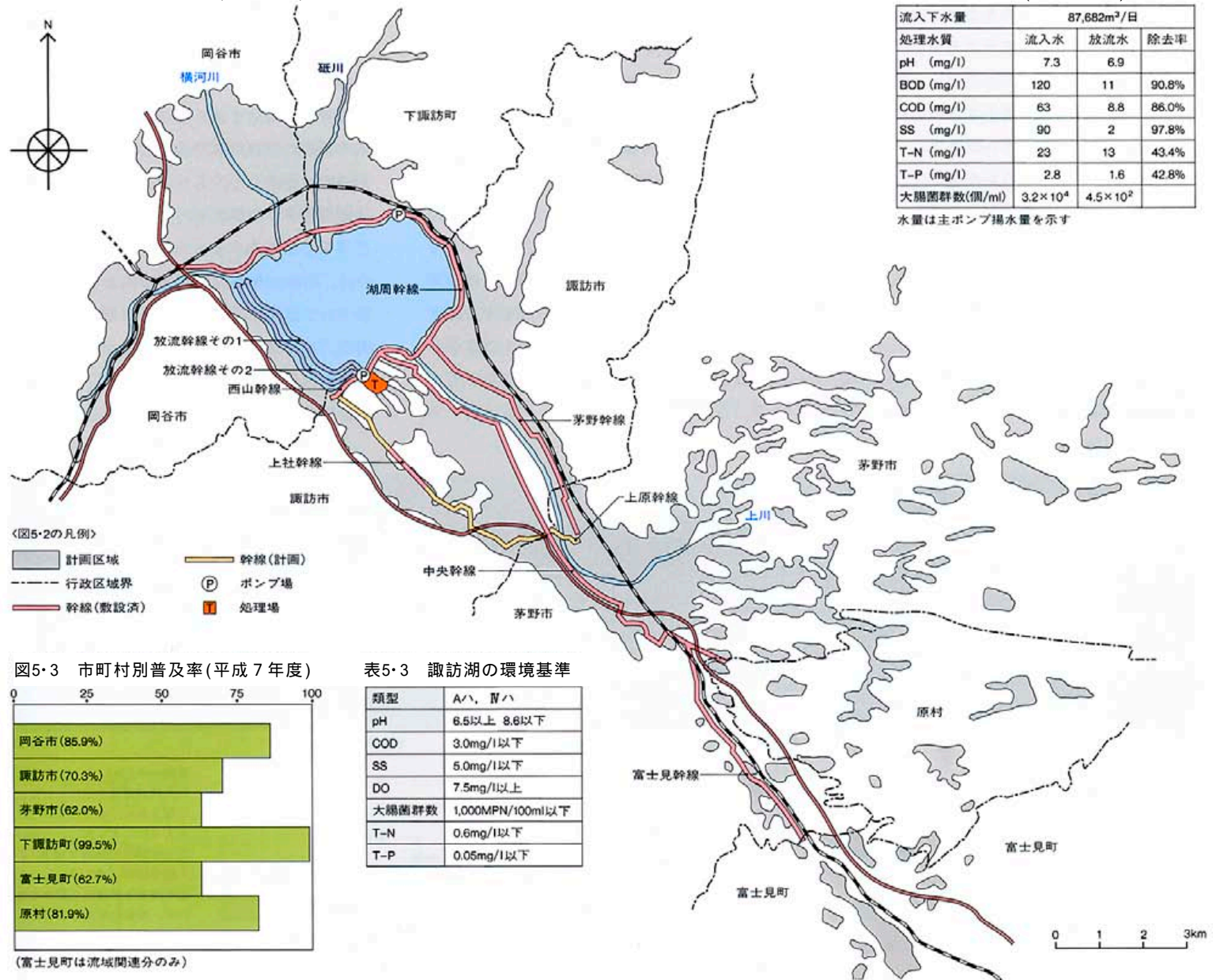
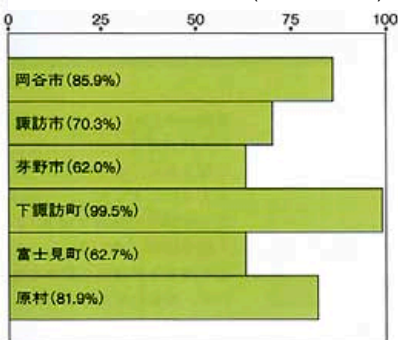


表5-2 処理水質(平成7年度)

流入下水量	87,682m <sup>3</sup> /日		
処理水質	流入水	放流水	除去率
pH (mg/l)	7.3	6.9	
BOD (mg/l)	120	11	90.8%
COD (mg/l)	63	8.8	86.0%
SS (mg/l)	90	2	97.8%
T-N (mg/l)	23	13	43.4%
T-P (mg/l)	2.8	1.6	42.8%
大腸菌群数(個/ml)	3.2×10 <sup>4</sup>	4.5×10 <sup>2</sup>	

水量は主ポンプ揚水量を示す

図5-3 市町村別普及率(平成7年度)



(富士見町は流域関連分のみ)

表5-3 諏訪湖の環境基準

類型	AⅧ、ⅣⅧ
pH	6.5以上 8.6以下
COD	3.0mg/l以下
SS	5.0mg/l以下
DO	7.5mg/l以上
大腸菌群数	1,000MPN/100ml以下
T-N	0.6mg/l以下
T-P	0.05mg/l以下

そのため治水上の機能を維持しながら、親水性や水生植物帯を回復するにはどうしたらよいかということで、まずモデルケースとして湖岸堤の前面に実験的な人工なぎさをつくってその成否をみたわけです。これは、平成5年から6年にかけて、前任の平沢所長のときに行われました。

人工なぎさは、図5・4のように湖周の6カ所に設けましたが、大別すると2つのタイプがあります。1つは図5・6の渋崎なぎさのように、抽水植物帯の復元を目的としたものです。着工直後の写真を見ていただければ分かるように、既設の湖岸堤の前面に、主として砂質土で覆った前浜をつくり、そこにヨシやマコモを植栽したものです。高浜の人工なぎさもこのタイプです。

もう1つは図5・5の片倉なぎさのように、既設の湖岸堤の前面をゆるい階段状に、なだらかに覆土し、さらにその先の水辺には玉砂利や大きな石を配置して、人々が水際まで下りて水と遊べるようにしたものです。大和、釜口の人工なぎさもこのタイプです。また横河崎の人工なぎさは、両者の要素を混合させた人工なぎさです。

いずれも、石や木などの自然素材を用い、水際線は変化のある曲線にして穏やかな水辺風

景にするなど、さまざまに工夫してその効果を見ました。図には、それぞれ着工前と竣工後約1年経ったときの写真を付しましたが、これに見るように、約1年経ただけでも湖岸の景観が大きく変わってきました。基本的にはこうした方法で、水辺になぎさ(前浜)を創出できることが分かりました。

渋崎なぎさの延長は413m、片倉なぎさの延長は185mで、6つの人工なぎさを合わせると約2,300mほどになります。

#### 水辺整備のマスタープラン

これらの人工なぎさの実験により、だいたいの要領が分かってきましたので、平成6年から7年にかけて、湖周全体の水辺整備についての検討委員会を設けました。沖野先生に委員長をお願いし、藤原さんをはじめ地域の有識者の皆さんの参加をいただいて委員会をつくり、現在の状況と問題点、これからの整備の方向などについて、治水、景観、親水・レクリエーション、自然環境という4つの観点から、時間をかけて充分にご検討いただきました。こうした作業をへて、水辺整備のマスタープランの策定に向かったわけです。以下この4つの観点からみた湖の特性や課題などを、図を中心にして簡単に紹介いたします。

#### 《治水》

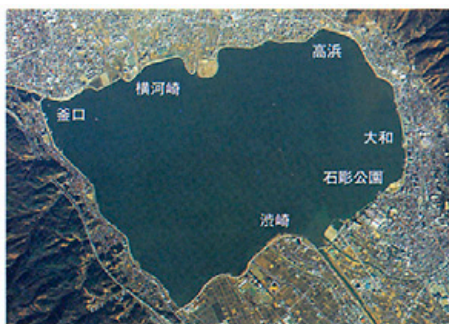
治水については、前述のように湖岸堤がほぼできております。湖岸形態にはコンクリート波返し工のほか、自然石護岸、遠浅護岸、階段護岸、低水護岸などがありまして、図5・7のよう湖畔をとりまいています。これら既存の湖岸堤の治水機能を維持しながら、どのように修景していくかが課題になります。また湖岸には25カ所の漁港と3カ所の栈橋、ヨットハーバーが1カ所ありますから、それらの修景も必要になります。

#### 《景観》

図5・8は、景観構成の現況です。諏訪湖の周辺景観は、その東岸部と西岸部は、丘陵や山地が迫って重量感のある景観をつくり、南東側は開けて富士山やハゲ岳が眺望できるという自然景観に恵まれております。したがって湖畔背後の景観形成には、これらの周辺景観の特徴に配慮することが必要で、そのためには自然豊かな原風景を再生するのが望ましいということになります。ここで原風景というのは、昭和30年頃の風景をいいますが、これについては後で述べます。

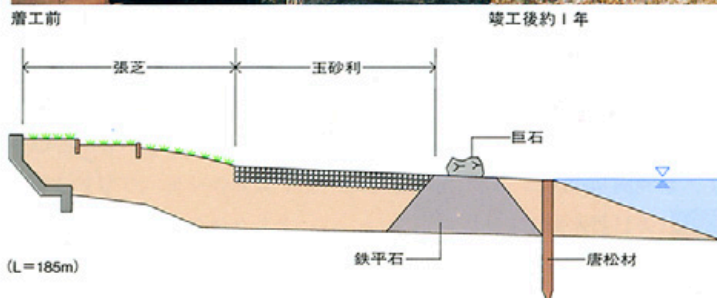
次に、湖周水辺には、図のように地形的な凹凸が見られます。ですから、これらを活かして変化に富んだ美しい湖岸線を目指します。

図5・4 人工なぎさの設置場所



\*片倉なぎさは石彫公園と同じ場所

図5・5 片倉なぎさ



#### 整備のポイント

- ①既設湖岸堤前面になだらかに覆土をし、水辺に下りられるようにしました。
- ②玉砂利を30cm厚で敷き、より親水性に配慮しました。
- ③水際線を曲線にし変化を持たせ、景観に配慮しました。



既存の護岸は、人工的で固い印象が強いののでこの改善のために修景デザインを施したり、護岸延長を分節し緑を多くするなどして、表情の豊かな、うるおいのある水際景観を創出することが課題になります。

また湖岸堤ができる以前には、水辺に沿ってヤナギなどの湖畔林が多くみられ、諏訪湖の景観を構成する重要な要素になっておりました。現在でもかつての湖岸線に沿って、ヤナギや桜などの巨木が点在していますが、諏訪湖の景観には、この失われた湖畔林の再生が不可欠で、現存のものを保全・活用すると共に、地域の特性を生かした樹種による新たな湖畔林の創出が必要です。

#### 《親水・レクリエーション利用》

以前は湖畔に近づきやすく、諏訪湖は、物理的にも心理的にも地域の人々の憩いの場であったのですが、湖岸堤や湖周道路の整備に伴って、諏訪湖の存在が人々から分離される傾向が生じてしまいました。湖畔の環境整備では、市民の憩いの場としての諏訪湖の存在を復権しなければなりません。

この場合、湖岸の背後地では、観光・レクリエーション拠点をはじめ、さまざまな土地利用がされており、また公園やジョギングロードの計画もあります。したがって、これらの

背後地の利用形態に対応して、堤内地と堤外地を一体的に整備することが必要です。

図5・9は、観光・レクリエーション利用の現状です。観光面では、遊覧船発着所が各市町村にあって、いくつかのコースに分かれて遊覧船が出ています。湖面はボート、ヨット、モーターボート、ウィンドサーフィン、アイススケートなど各種の水上スポーツに利用され、下諏訪町には公認漕艇場があって町民レガッタも行われます。

釣りも盛んで、諏訪湖のワカサギ釣りは有名で、県内外から多くの人々が湖を訪れます。湖畔沿いに既に整備されたジョギングロードは、散策やジョギングに、またハーフマラソン大会にも利用されています。これらの多様な活動を支え、親水・レクリエーション活動をさらに活性化し、魅力的なものにすること、それと同時に子供からお年寄りまで、誰もがいつでも利用できる湖岸づくりが課題になります。

その際、現在の湖周部には、公園や美術館、遊覧船の発着所などの観光・レクリエーション拠点が分散・点在していて、相互の関連が希薄です。ですから、これらをネットワーク化し、要所々に休息スポットや見晴らしスポットを設け、縁地帯を配置するなどして、

湖周全体をうるおいと安らぎのある湖畔へと変えていくことが必要です。

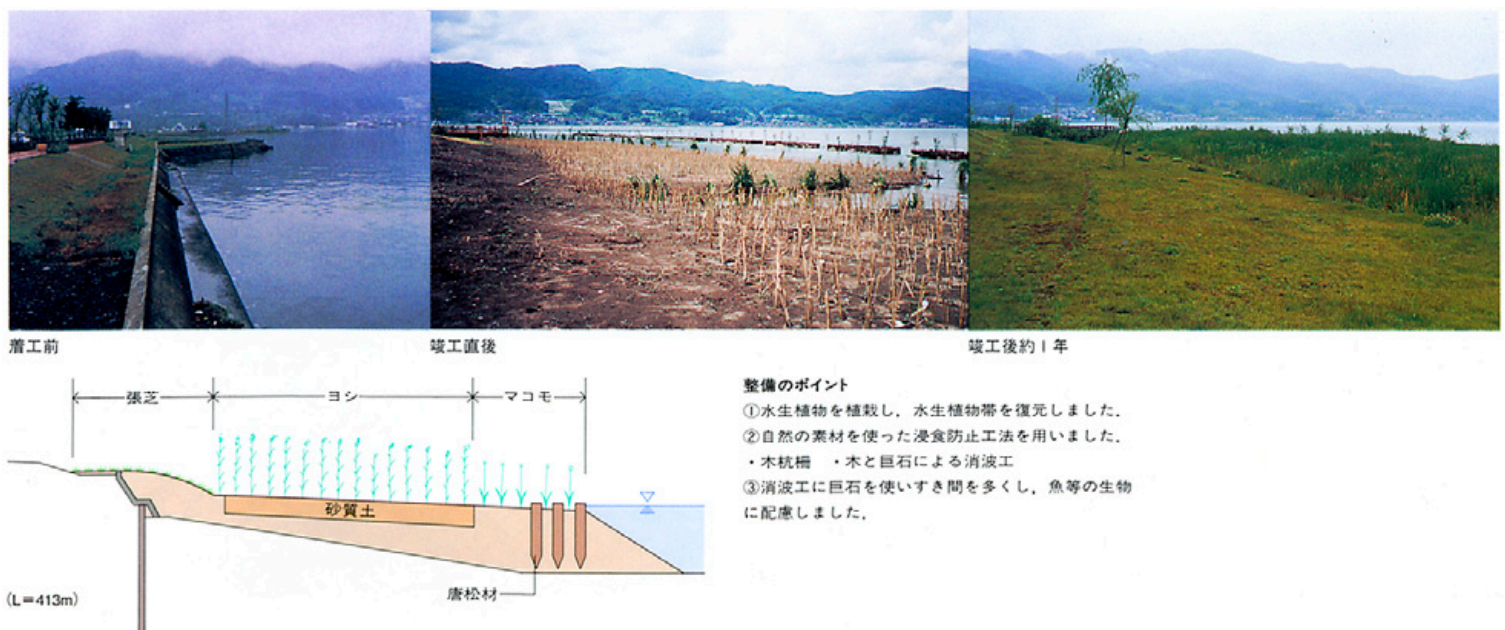
また図には水生植物帯を示し、横河川河口付近には野鳥・コハクチョウを記しています。諏訪湖は白鳥の飛来する南端の地で、1974年からはコハクチョウも渡来し、越冬するようになりました。これからは、自然環境をさらに向上させ、自然学習に利用できる水辺の存在が要請される時代です。そのためには、利用の場所と生物の生息空間に配慮する湖岸づくりが必要になります。

#### 《自然環境》

諏訪湖の生物相については、さきほど沖野先生から詳しいお話がありました。水生植物が激減し、生態系は大きなダメージをうけ、現在では図5・10のような姿に変わっています。図のように、いまは透明度の回復により、浅水部を中心にエビモなどの沈水植物が回復してきてはありますが、抽水植物は、元の浜のエゴ周辺や横河川河口のコハクチョウ飛来地付近にわずかに残っているだけです。

こうした現状なので、湖の生態系を回復するには、水生植物帯の復元が何にもまして急務になっているわけですが、その際には、エゴなどの原風景を参考にして多様な自然環境を復元し創出すること、一定規模以上のまとま

図5・6 洪崎なぎさ





りをもった区域を確保することが重要で、ある程度は生物の生息環境を優先するゾーンを設定し、人間の利用を控えた空間を確保することも必要になります。

また、前述の水生植物の再生を目的とした人工なぎさは、今後とも可能な場所に設けていくことが望まれますが、その際には原風景の水生植物の生育条件を把握し、場の環境特性に応じて復元していくことが肝要です。そして生態系の復元は湖の水質と密接に関連しますから、水質浄化を促す工夫が重要です。

《昭和30年頃の前風景を目標》

諏訪湖畔の環境整備を進めるときに、目標または参考としなければならない原風景は、約40年前の昭和30年頃のものが適当と考えられます。というのも、この時期は、高度経済成長が始まる前の時代にあたり、現在の湖岸改修や埋め立ても行われていません。水質も比較的良形で、多様な生物が豊かに生息し、諏訪湖の風景が大きく変貌する直前の時代であったからです。また、当時10代であった人々は今は50代になっていて、当時の原風景のイメージを記憶しています。

昭和初期から昭和30年頃の諏訪湖の写真を見ますと、現在の状況からは想像もできないような姿が浮かび上がってきます。砂州や砂浜があり、変化に富む水際線があります。自然素材でつくられた石積みの護岸があり、一方では、なだらかな湖岸地形がみられ、そこには湖畔林や魚付き林が生い茂っています。また、さきほど沖野先生が示された多くの図版からは、豊かな水生植物の景観を想像することができます。これらが、水辺整備の目標とし、また参考とする原風景です。

《ゾーニング》

以上のように、湖周全域の水辺は、治水、景観、観光・レクリエーション、自然環境という4つの観点から総合的に検討していきますと、地域ごとにそれぞれ違った課題があります。これを、背後地の土地利用の状況をベースとして実際に具体化していきますと、創出する湖畔のテーマがしぼられてきます。

その結果、目標とする湖畔空間のテーマや方向、湖岸堤の整備内容の違いなどから、湖周の全域を、図5・11のように、AからHまでの8つのゾーンに大きく区分けいたしました。そ

れぞれのゾーンにおけるテーマと方向、それに伴う水辺整備の特徴や内容の要点などは、この図に示してあります。このゾーニングにもとづいて、マスタープランの作成に取り掛かったわけです。

《イメージ図から詳細設計へ》

ところで、ふつう私どもが土木の設計をするときには、まず最初は直線的な断面の計画から始めます。しかし、この水辺整備の計画では自然的・生態的側面が重視されますから、従来の手法は適当ではありません。それでまず最初に、こんな水辺にしたいというイメージ図をつくりました。

例えばAゾーンでは、図5・13に見られるように「ふれあいなぎさやコンクリート護岸の修景を図った案」として、全体のイメージ図をまず描いて、その中で要点をコメントし、検討して行きました。この場合には、前浜のさきに沈水植物帯を育てることが重要なポイントになっているわけです。

またBゾーンでは「浜のエゴをモデルにした人工エゴ形成案」の断面スケッチを描いております。それが図5・14で、いろいろな要点を

図5・7 既存の護岸形態

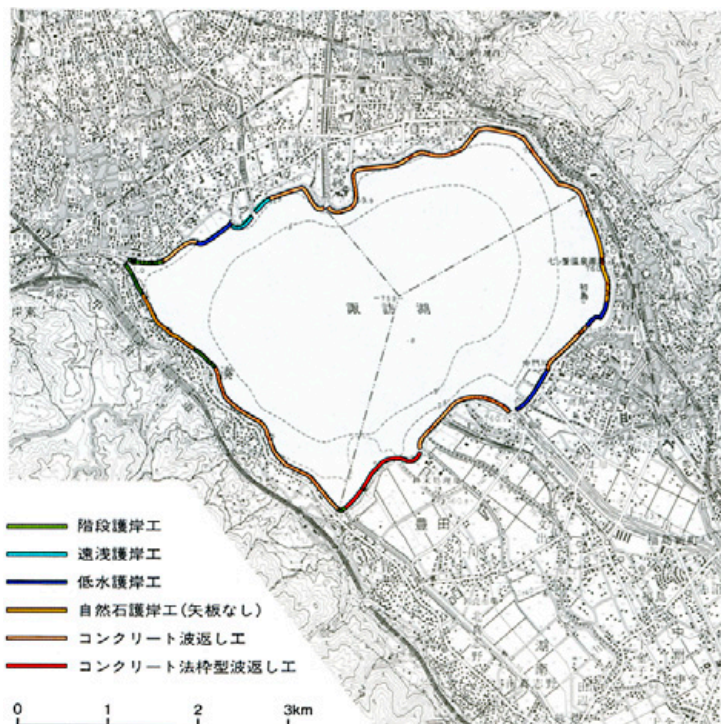
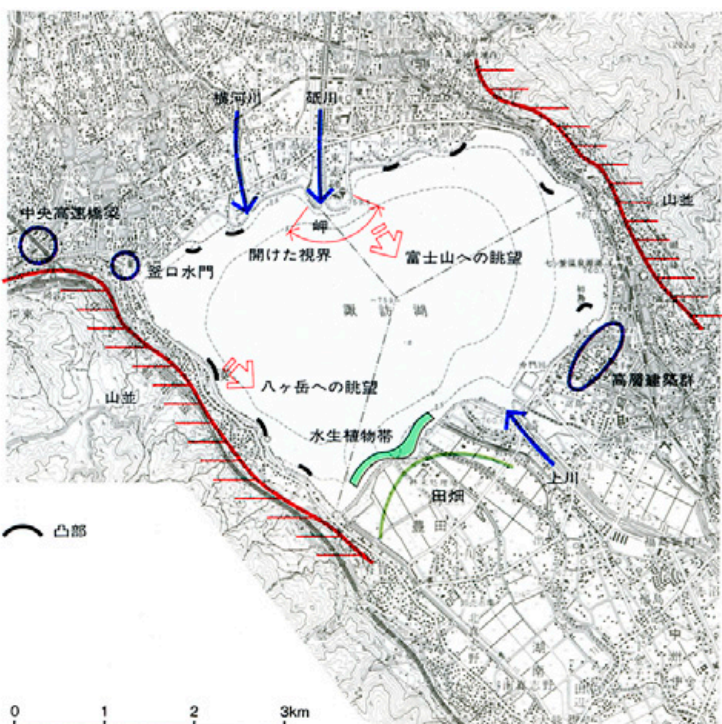


図5・8 景観構成の特性





記しておりますが、この場合にも、離岸堤と前浜との間に水生植物帯が生育することが一番の問題になるわけです。このようなイメージ図を各ゾーンごとに何点かつくり、それらの検討にもとづいて、湖周全域についての詳細設計に取り掛かり、水辺整備のマスタープランを作成していったわけです。

水辺整備基本計画は、平成7年度に、諏訪湖再生事業として国の補助事業に採択されました。これにより湖周全体の本格的な整備が始まることになりました。

《植栽計画》

この水辺整備計画では、特に植栽が重要な要素になってきますが、これについても最初に全体的な計画をたて基本方針をきめました。まず基調になる樹種としては、諏訪湖の原風景を構成するヤナギ類と、この地域の代表的な樹種であるケヤキ類を選定し、湖畔全体の統一したイメージを創り出します。

次に、水辺整備マスタープランにもとづいて湖畔林の充実、魚付林の形成、並木帯・ボリューム感のある緑地帯の設置、湖岸景観の整備の4つの基本方針をまとめました。

この場合、比較的湿潤な湖岸堤下部と比較的乾燥しやすい湖岸堤上部とでは状況が違いますから、それぞれに樹種の候補を選定しました。図5・11には、このようにしてまとめた各ゾーンごとの植栽計画の特徴をおおまかに示してあります。植栽については、平成8年度から取り掛かることになっております。湖岸の再生計画のあらまは、だいたい以上のようなことになるかと思えます。

《ヨシ浄化実験場》

編集 泳げる湖は、下水道が完全に普及すれば実現するのでしょうか。

荻原 その辺の話は沖野先生でないと……。沖野 農耕地からの栄養塩の負荷もありますし、何ともいえませんね。以前に一度シミュレーションしたときには、下水道が完成しても、集水域からの栄養塩負荷を減らさなければ、環境基準は達成できないという結果がでています。それと諏訪湖の場合には、水生植物帯を復元しないことには浄化能力も備わってこないし、生態系も回復してこないのです。いまは特にそれを急いでほしいのです。

編集 さきほどのヨシの浄化実験場では、も

う測定結果が出ているんですか。

沖野 荻原さんの方から依頼されて私どもで測定していますが、ヨシの浄化効果ははっきりとでています(図5・12)。またこの小さなヨシ原でも、春から秋にかけて36科以上の昆虫が採取され、それを餌にする鳥類や両性類などの動物も数多く見られました。ですから水生植物が回復してくると、だいぶ様子が違ってくるわけです。

編集 この辺で終わりたいと思います。本日は、長時間にわたりありがとうございました。

図5・9 観光・レクリエーション利用の特性

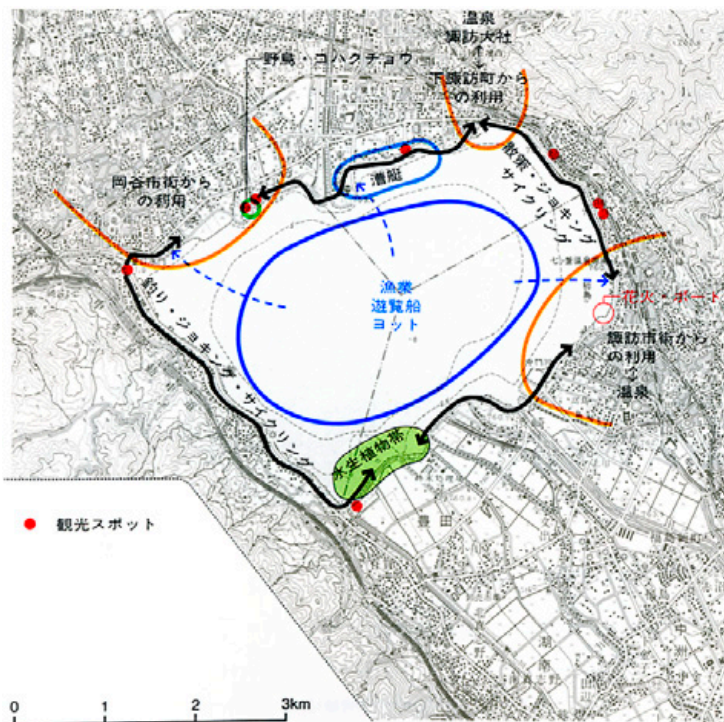


図5・10 自然環境の特性

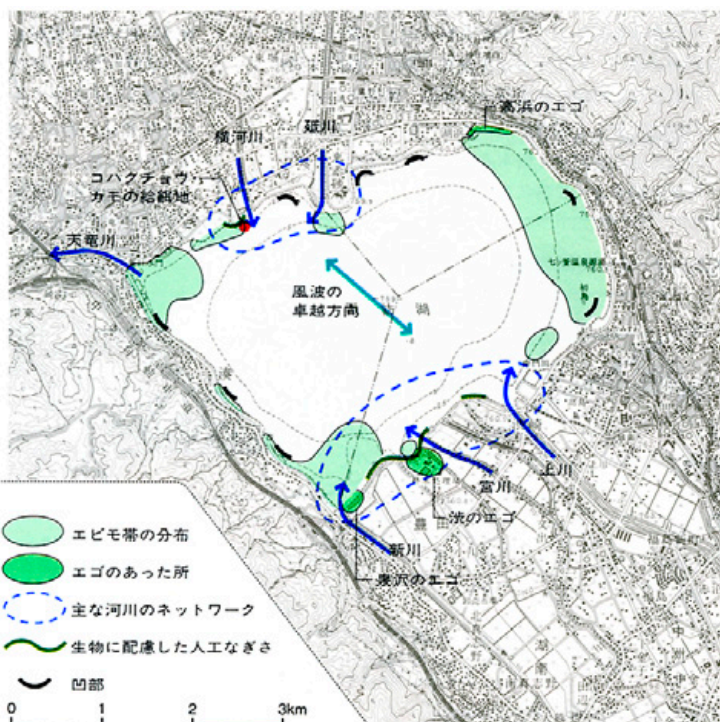




図5-11 ゾーニング図

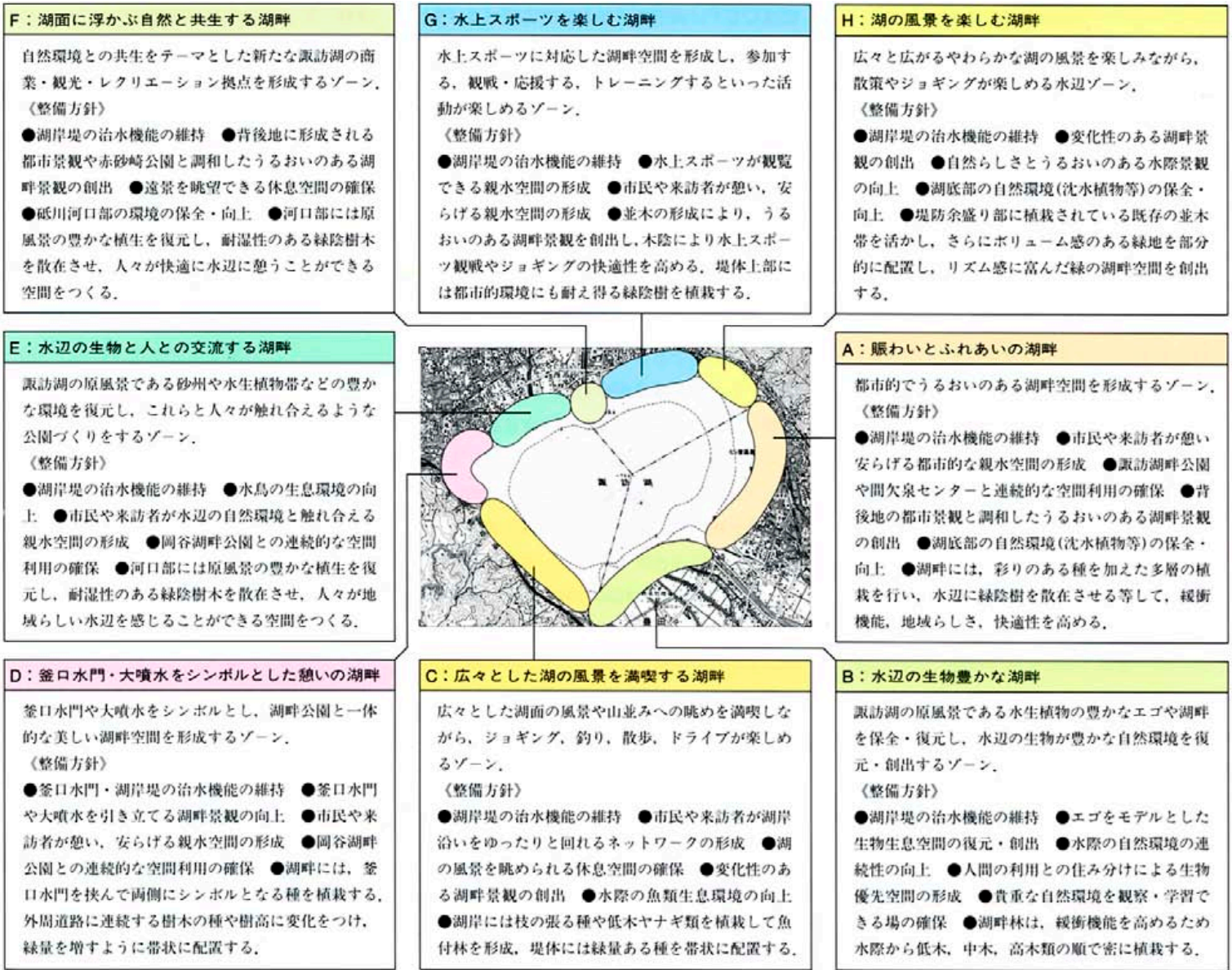


図5-12 ヨシ実験圃場における汚濁物質の除去状況

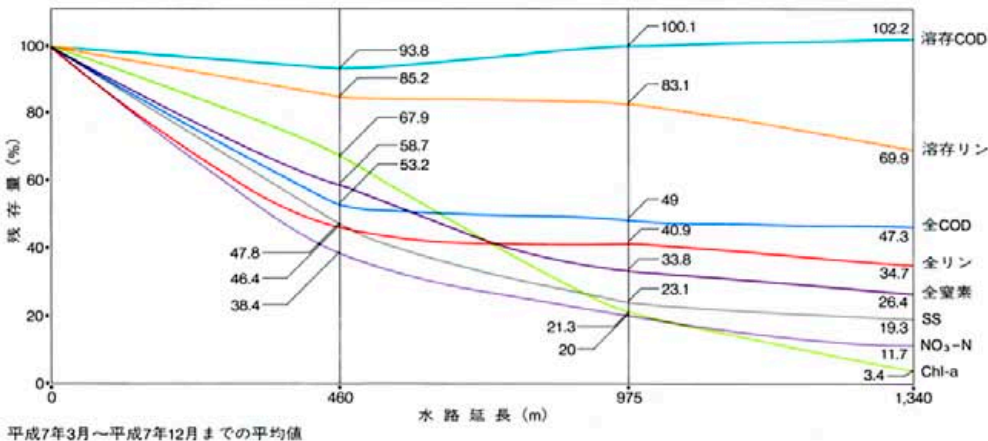




図5-13 Aゾーン「ふれあいなぎさやコンクリート護岸の修景を図った案」のイメージ

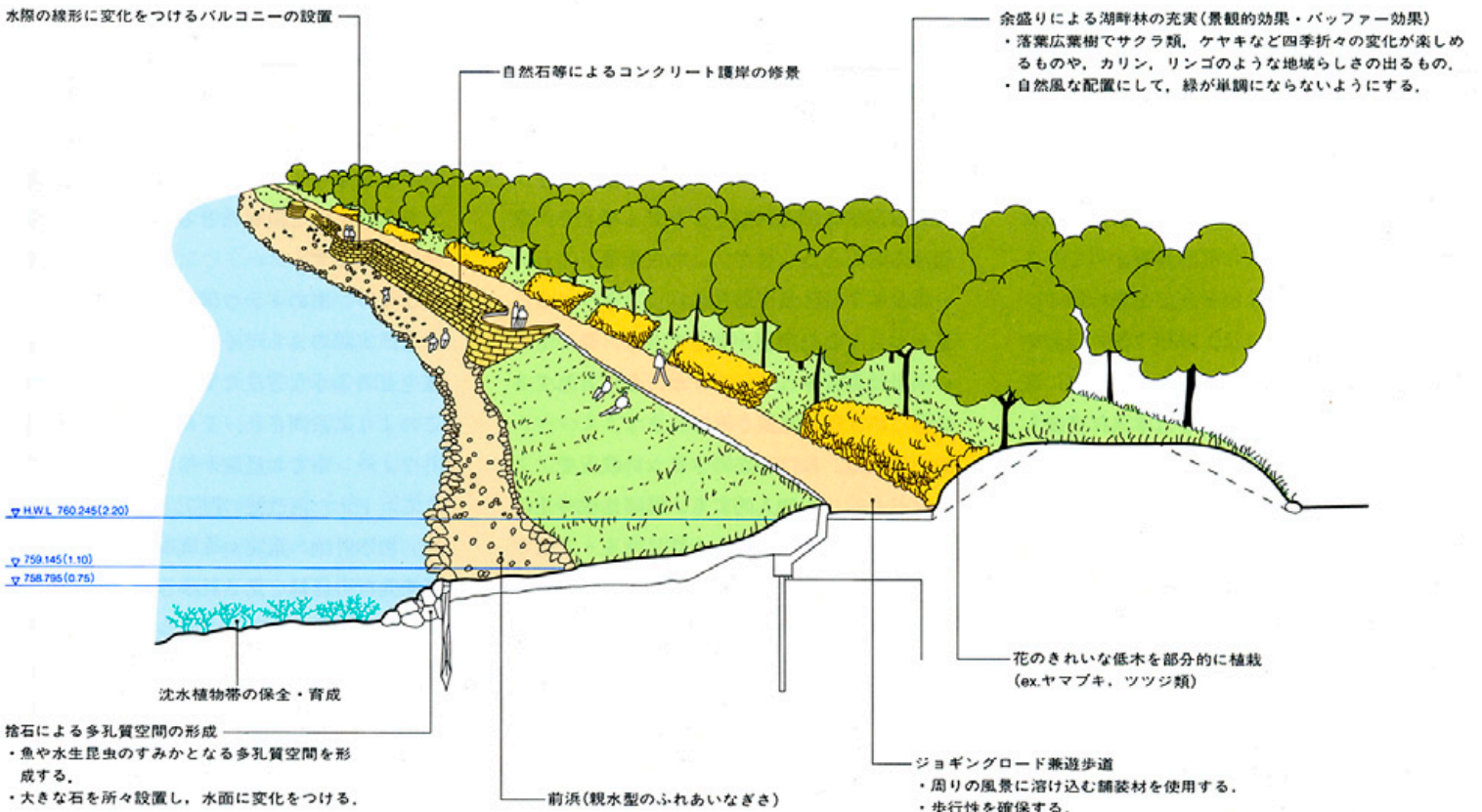
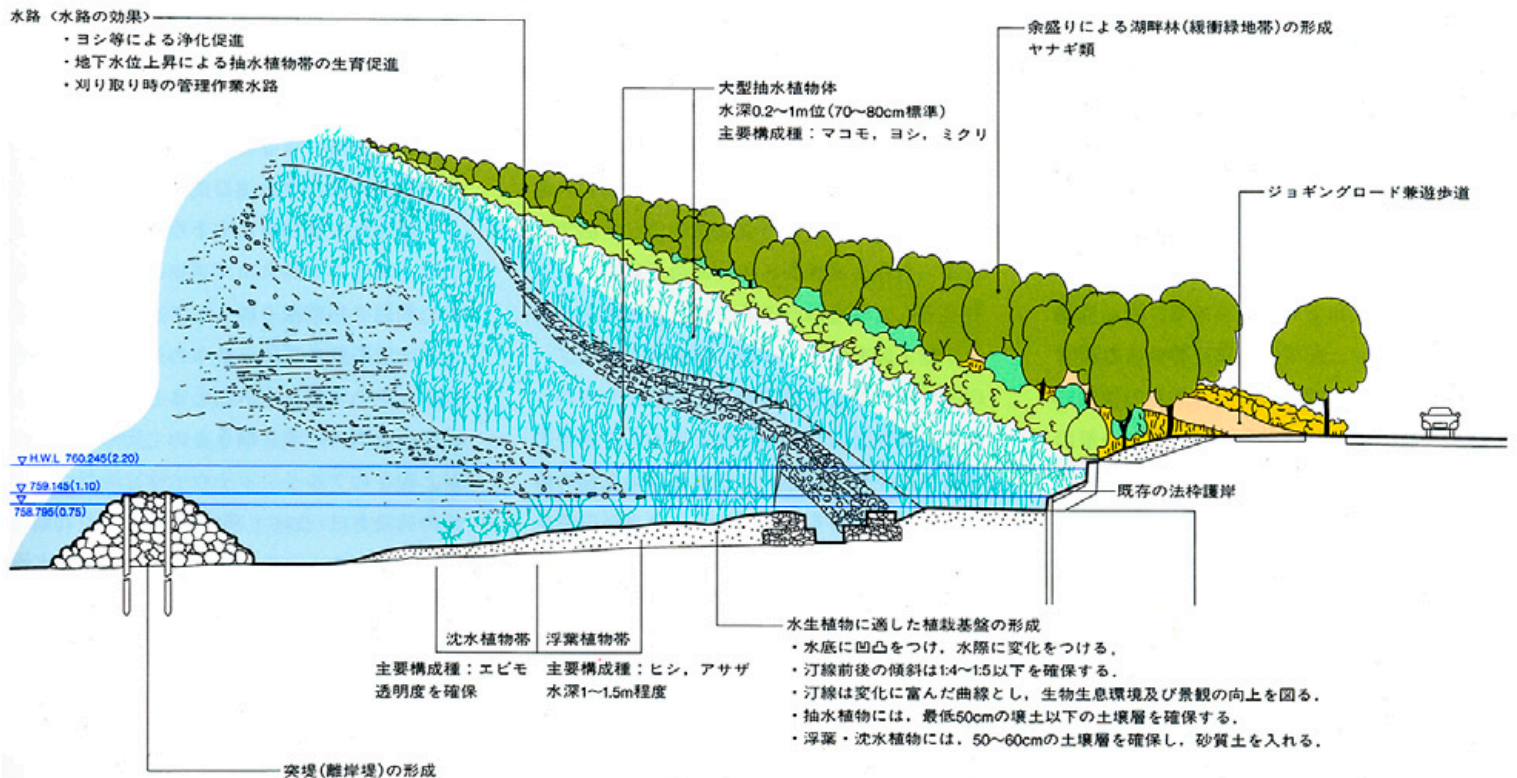


図5-14 Bゾーン「洪のエゴをモデルとした人工エゴ形成案」の断面スケッチ



# 都市景観計画と湖沼浄化

日独セミナーから

語り手 / 飯田 実 = 信州大学人文学部教授

ドイツ・オーストリアにおける都市景観計画  
《はじめに》

編集 日独環境まちづくりセミナーは、いろいろな面で大きな成功を収め、非常に意義のあるものだったと聞いております。じつは藤原さんからは、第1回の日独セミナーでは、講師のジーヴェルト先生が諏訪市の将来像について講演されたと伺っておりますので、その辺のことからお話し頂ければと思います。飯田 日独セミナーでは、ドイツ側の講師や関係者のみなさんが、熱心に諏訪の問題に取り組んでくままして、私どもは本当に感謝しております。藤原さんのお話しにあるように第1回日独セミナーの最終日に、ジーヴェルト教授は、「ドイツ・オーストリアにおける都市景観計画」というテーマで講演されたのですが、この講演の後半部で、諏訪での現状観察と昔の諏訪の地図を手掛かりにして、ご自身で描かれた諏訪の1つの将来像を示し、都市計画の基本となる考え方やその実現の方法などについて、諏訪の人々に、具体的に話してくれました。そのあたりの話を要約して紹介することにします。

《ドイツにおける環境問題と都市景観計画》  
教授は、まずドイツにおける環境問題の取り組みの状況と、それを土台にした美しいまちづくりについて、次のように述べます。

ドイツの産業化は、日本に比べて100年ほど早く始まったので、環境汚染の問題が起きたのも日本より早く、ドイツではこの問題についてはすでに30年以上の経験をもち、長い間重要な政治的課題として取り組んできました。というも、環境問題は、部分的には技術的な問題ですが、これは、さまざまな社会層の間での利害の葛藤により生じるので、その大部分は政治的な問題であるからです。

この過程で、ドイツでは環境政党(緑の党)ができました。現在では、この政党の地方議会での議席占有率はすでに20%を超える地域もあって、それぞれの地域での環境主義者の発言力が非常に強力になっています。連邦議会でもこの政党が第3党になっており、他の有

力な大政党でも環境問題は重要な政策の1つになっています。

次に、ドイツでは環境問題への取り組みには3つの段階があったとしています。

第1段階は、すでに受けているダメージを修復し、できるだけ元に戻すという段階です。例えば河川や湖の汚染を少しでも緩和し、修復するといったことで、この段階は、今日の日本にみられる状況でしょう。ドイツでも、過去にこうした事態が起きており、今でもこの活動は継続されていますが、全体としてみればこの状況は克服されています。

次の段階は、ほぼ現在のドイツの状況で、これは社会的にも個人的にも、経済活動や生活面で、環境破壊や汚染を未然に防止・予防する態度です。例えば、水を汚染しない洗剤を使用する。廃棄物を減らしリサイクルして使用するというなどで、こうした予防的方法が今ドイツでは非常に強化されています。

第3段階は、さまざまな社会層の間でこの問題が互いに討議され、これが自然と人間の結びつきに関わる文化的な問題、人間のモラルの問題として扱われ、環境をただ経済的・営利的にみるのではなく、それは我々の自然的生存基盤であるという政治的な合意が形成される段階です。

これらの各段階に一貫する原則を平易に言えば、我々はグループとしてみんな一緒に、きれいな水と空気の中で健康に生活し、破壊されない自然と共にあって、その景観をみんなでも共有しようということです。我々の社会は、日本でも同じでしょうが、歴史的にいて、いまだかつてないほど豊かになりましたが、その豊かさと共に環境問題も広がってきたのです。ですから、この豊かさを環境問題の解決のために投資し、子孫のために良い環境を残さなければならない。これは、人間のモラルの問題であるということです。

したがって将来のまちづくりは、以上に述べた原則が土台になります。つまり経済や営利を中心とはせず、きれいな水と空気の中で人々が暮らしやすく、生き生きとした自然と

共に、そこに美しいまちをつくるのが基本となり、目標となります。

まちの美しさは、その地域の競争力の大きな要素の一つで、ドイツでは、その地域がどれだけ魅力的で、美しい都市景観をもっているかが常に重視されています。教授は、おそらく日本でも同じ道をたどるでしょう、と付け加えています。

《ウィーン市のドナウ河改修(1870年)》  
では、実際のまちづくりでは、このような目標をどのような方法で実現するのか。教授はこのように設問され、それについては、自らのウィーン市での経験が参考になるだろうとして、ドナウ河改修の歴史と、「ノイエ・ドナウ」治水計画の策定から実現にいたるまでの紆余曲折の経緯を話されました。

前世紀の中頃、ヨハン・シュトラウスがワルツの名曲「美しき青きドナウ」を世に出した頃のドナウ河は、ウィーン市北東の広大な低地帯に入ると、網の目のように広がって大小の河川に分かれ、蛇行する川の間には緑の生い茂る島々(中洲)が無数にあって、市民のすばらしい保養地となっていました。ところがその一方、美しき青きドナウは、いったん増水し始めると凶暴なあばれ川となって人々の命を奪い、建物にも大きな被害をもたらす危険な河でもありました。

そのため、その頃急速な成長過程にあったウィーン市は、1870年にドナウ河の改修工事に着手します。当時スエズ運河の開削を成功させた新鋭の掘削機を導入して、大小の河川を1本の直線的な本流と数本の運河にまとめ、同時に広い土地を生み出しました(このときに一番北側の支流を堰き止めてつくった水域が、現在のアルテ・ドナウです)。

この解決方法(改修工事)は、完成した初期の頃は、当時の人々にとっては非常に良いものに見えました。しかし時が経つにつれて、これが、人々にとっても生態系にとっても、大きなダメージを与えていることが明らかになってきたのです。河の流れが速くなって川底が削られて深くなり、それに伴って周囲の土



地が乾燥し、枯れ地になってきます。しかも洪水時には氾濫し、治水工事としても不十分なことが分かってきました。

#### 《「ノイエ・ドナウ」治水計画とその挫折》

このダメージを克服するために、ウィーン市議会は、1969年に「ノイエ・ドナウ」治水計画を策定します。この計画は、洪水を予防するために、1870年につくったドナウ河本流のすぐ北側に、本流に沿ってもう1つの新しい川(ノイエ・ドナウ)を掘削し、本流と新しい川の間には、幅200m、長さ約20kmの細長い島(ドナウ島)をつくるというものです。

この計画は直ちに着手されますが、新しい川の工事が100mほど出来上がったとき、市民たちから大きな抗議運動が起こったのです。というのも、この計画は、もっぱら洪水の予防だけを目的としたために技術一辺倒の工事となり、川の岸辺を急角度のコンクリート護岸で固めてしまったからです。

この護岸では、人々は安全に川に近づくこともできず、また川の岸辺は、冷たく無表情なコンクリートの壁が続くので、景観が大きく損なわれてしまいます。このために市民から強い反対の声が上がり、市議会は、工事が始まったにもかかわらず、この計画を根本的に考え直すことを余儀なくされました。

#### 《自然と人間の共存する新しい計画へ》

そこでウィーン市では、土木技術者だけでなく、それ以外のさまざまな分野の専門家をも対象とした大きなコンペを開くことにしました。このコンペでは、河川工学、生態学、景観、造園などいろいろな分野の専門家が集まって1つのチームをつくり、そのチームの作成した計画案、つまり各分野の専門知識を総合した計画案が、コンペに応募できるようにしたのです。その結果、コンペに参加した計画案のいずれもが、洪水を防ぐという単一の目標だけでなく、広い視点から多面的な目標を盛り込んだすぐれた計画案となり、多くの新しいアイデアが生まれました。

そしてコンペに入賞したチームの専門家たちは、ウィーン市当局の専門家や市が外部から

招聘した専門家たち(教授もその一人)と一緒に審議委員会をつくり、ここで最終的な計画をまとめることになりました。

ところがこの作業は非常に難しく、最初は少しも進まなかったのです。というのも、それぞれの専門家が、自分の専門分野の主張だけを通そうとしたからです。河川の専門家は、自分の主張から少しでも外れたら洪水が起きるといいます。自然景観を大切にしたい人は、川辺を緑にせよと主張します。市当局は、新しい島には商店街をつくり、官舎を建てようといっています。それに対して市民の方は、新しくできる島は、昔の保養地のような素敵な島にしたいと頑張ります。

このように最初は、いろいろな分野の主張が結びつくことが容易ではなかったのですが、しかし時間をかけて、それぞれの異なった関心事を互いに理解しあい、協力し合おうと努めていけば、それは必ずより高い構想へと統合されていくものです。結局、審議委員会は4年という歳月を費やしましたが、自然と人間との結びつきを基礎とした、全く新しい総合的な計画を作ることに成功したのです。

この計画では、川の堤は、もちろんコンクリートでは固めません。傾斜を緩やかにし、水性植物も含めいろいろな草や木を植えて、自然に近い岸辺にし、部分的には日光浴をするための芝地もつくります。ただ船着き場は例外で、コンクリートや石を用います。

新しくできる島には建物は建てません。島になる地域には、1870年の改修以前から生き残っている古い樹木があり、川の支流も残っているので、それらのものは手をつけずにそのまま残します。こうして元の自然の植生を自然のままに成長させ、同時に生物の生息地も自然に増えるようにしていきます。したがって、この島には車はいっさい入れません。新しい島は、休養地として市民に利用されることとなります。

現在(1989年)、工事はほぼ完成に近づいており、いまでは樹木も成長し、休養地として景観を楽しめるまでになっているので、晴れた

日曜日などには50万人のウィーン市民がここに来て休日を過ごしています。こうして、自然と人間の共存という新しい倫理にもとづいた「ノイエ・ドナウ」計画が、いま漸く実現しようとしています。

この状態は、前述の環境問題の3段階にあわせていえば、第3番目の段階に相当します。このような環境問題の高次の解決を含む計画は、最初はとても不可能なように見えますが、ウィーン市の経験で分かるように、これは決して実現できないものではないのです。

そのためには、環境を修復し、美しいまちをつくらうとする市民の積極的な意思が何よりも重要です。そして市民と行政当局を中心にいろいろな分野の専門家たちが一緒になり、異なった学問を結びつけ、総合的な1つの将来構想をたてる必要があります。

それぞれの専門家の人たちの間の協力は、最初はいろいろな反対や抵抗がありますが、それは時が経つにつれて次第に解消します。なぜならば、すべての分野の人たち、すべての参加者たちが、そのプロジェクトの素晴らしさから共通の関心事が生まれ、これに参加するのを楽しむようになるからです。

この将来構想は、もちろん短期間には実現できません。ウィーン市の場合でも、1969年に最初の「ノイエ・ドナウ」計画が発案されて以後、それが新しい構想に総合化され、ほぼ完成するまでに約20年もかかっています。将来構想は、時間をかけて粘り強く、目標の達成を目指さなければなりません。

#### 諏訪市の都市景観計画案

##### 《諏訪の自然条件と理想的な景観》

以上のように、ドイツの環境問題とウィーンでの経験を述べた後、教授は、諏訪の問題に話を移し、まず諏訪の自然条件とそこに想定されるまちの景観について述べます。

諏訪のように、近くを2,000m級の山々に囲まれて自然景観にすぐれ、湖があって、そのうえ温泉まで湧いているような地域は、ドイツでは、即座に最高級の保養地にランクされます。このようなまちは、ドイツではおそらく

次のような景観をもつでしょう。

湖は、きれいな状態に修復され、モーターボートは禁止されます。湖畔は市民たちの憩いの場所となり、そこには遊歩道がつけられます。この遊歩道は公園につながっており、そこには寝そべることのできる芝生があり、また音楽堂もあるでしょう。

この公園からは、商店街まで歩いて行くことができ、商店街近くには余り交通量の多くない通りや遊歩道がつけられます。そこを散歩する多くの市民の姿が見られるでしょう。

工業地帯は清潔に保たれ、それは郊外のバイパス道路沿いにつくられます。交通渋滞は、郊外で生じることはあっても、市街地には持ち込まれません。住宅地は、公園の近くか山沿いにつくられるでしょう。

これらが諏訪の理想的な景観です。諏訪のようすばらしい自然の条件をもっている都市があれば、ドイツでならば必ず以上のようなまちをつくるように心がけます。実際、バイエルン州南部には、温泉こそありませんが、諏訪と同じように湖を抱え、アルプスを望むまちがいくつもありますが、これらのまちでは、いま述べたような美しい景観のまちづくりをおこなっています。

#### 《昔の上諏訪の状況》

諏訪に来たのは今回が初めてですが、実をいいますと、日本のまちを見るといつも当惑し、

分からないことが多いのです。これは日本のまちが、ヨーロッパのまちとは違った形で発達し、違った構造をもっているからです。

諏訪のまちについても、最初は当惑し、理解しようと努めました。そのうちに、昔の上諏訪の地図を見る機会があって、湖周辺の地形の特徴と、まちの骨格が分かり、現在の諏訪市の構造が理解できるようになりました。

以前は、湖の南側には多くの川の流れる低地帯が広がり、そこには町の中心から離れて高島城があります。湖は、その辺りまで広がっており、もともとこの城は、湖の中の中洲につくられたと聞きました。城の南側には武家屋敷が見られます。

一方、山沿いには主要な街道が走り、この街道を中心にして、山にくっつくような形で町が広がり、一部は低地側にも下りてきています。神社仏閣は山側に並び、その中には、高島城よりもはるか以前から建てられている神社もあると聞いております。

この地図を見て、諏訪のまちが、約120年前の状況からどう変化してきたかを知り、さらにこの数日間のセミナーの討論で、みなさんの関心事が確かめられたとき、私なりに諏訪市の将来イメージが浮かび上がってきました。

#### 《湖周辺地域の道路・交通問題》

ただ、諏訪のまちには道路・交通問題という難題があります。将来イメージは、これと深

く関係しますから、まずこの問題についての私の提案から話していきます。

諏訪地域では、湖の東側の山の迫っている狭隘な地帯に、国道20号線が鉄道と並びながら、一部ではそれと交差して走ります。1970年頃までは、電車やバスなどの公共交通機関の利用が主体であったため、交通問題は起きていなかったようですが、その後、マイカーが急激に増え、同時に大型化した観光バスや貨物自動車なども増加して、それらがみなこの道路を走るので、国道20号線は交通渋滞に悩まされ、騒音もひどく、大きな問題になっています。

ドイツでも、約30年ほど前から車の量が増えたのですが、それに対して最初にとられた対策は道路を拡張することでした。まちの中に広い道路を設け、交通を整備したのです。ところがその結果は、逆に車の量を増やすことになってしまいました。道路の幅が広くなればなるほど、数多くの車がそこに集中してくるからです。以前は電車を利用していただけの人たちも車に乗り換えてしまいます。

それで現在では、道路の拡張ということは止めまして、その代わりに車が入らないようにする対策をとっています。例えば車のスピードを落とし制限するといった方法で、これは効果的な対策の1つです。こうして、なるべく公の交通機関を使えるように、また自転車などが利用できるようにしています。

この場合、まちの中をただ通過していただく車が利用する道路があります。例えば国道20号線もそうですが、この道路は、諏訪に降りないで、ここを通り抜けていくだけの車がたくさん利用しています。こうした場合には通過していき車の量、その割合を正確につかんで、それによって対策をたてます。

諏訪の場合、これを調べてもらいましたところ60%が通過車で、まちに用事のある車は40%だということです。そうしますと、この通過するだけの交通量を迂回させ、国道20号線に入らないようにすることができれば、まちの中はぐんと楽になるはずで

図6-1 ジーベルツ教授による湖周地域の道路交通網概念図

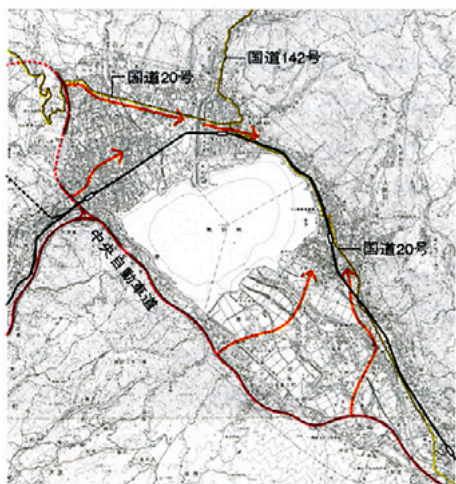


図6-2 ジーベルツ教授による諏訪市の未来図





一方、湖の西側には中央自動車道という新しい高速道路がすでにできています。ただし、この道路は全区間が有料なので、あまり効果が上がっていないように思います(ドイツの高速道路はすべて無料)。とくに近くの往復には、これが有料なため利用したくない人が多いと聞きました。

しかし、この高速道路をベースにすれば非常に適切な湖の迂回コースができます。そこで私は、図6・1に示すように、諏訪市・下諏訪町・岡谷市を直接この高速道路に接続し、湖の北側の通過交通量を、この迂回コースにまわすことを提案したいと思います。そしてこの迂回コースを利用しやすくするために、この3つのまちが、例えば、市民に証明書のようなものを定期的に発行して、この高速道路を安い料金、あるいは無料で利用できるようにするのです。料金が下がれば利用する人が増えますから、こうした方法はたいへん効果があると思います。

#### 《諏訪市の将来イメージ》

一方、湖や河川では水をきれいにし、水辺には草木や木々を植えて植生を回復させ、元の自然景観を復元します。こうした自然景観と共にある諏訪市の将来イメージは、私の構想では、図6・2のようになります。

私はまず、湖岸については、お年寄りも子供も、誰でもが気持ちよく近づけるように、これを車の交通から守らなければならないと思います。ですから、現在の湖周線と呼ばれる自動車道は廃止したいと思います。湖畔には、市民や観光客のための広々として景観にすぐれたゾーン(湖岸地区)をつくり、自動車道はその外側を走らせます。このゾーンは、北は商店街地区に、東は高島城・歴史的街並み地区に連なります。

商店街地区には遊歩道がつくられており、それは、東京からの鉄道の駅につながっています。観光客は商店街の散策を楽しみますが、そこを抜ければ、空気も水も澄み、緑に囲まれ、広々とした湖畔の休養地に達します。

商店街は、単に物を売る場所ではなく、市民

のいろいろな楽しみや日常生活を取り入れた生活街で、買物以外の目的でも人々の集まる魅力的な場所になっています。この商店街地区は、鉄道と国道の間に、それに沿って東に延びていき、その南側は高島城・歴史的街並み地区や水郷地区になります。

昔の諏訪の絵を見ますと、諏訪の人々が、いかに愛情を込めて湖や河川を扱い、水と親しみながら諏訪のまちを育ててきたかが分かります。高島城は湖の中につくられ、湖や河川では自分たちの食料をとり、また多くの水路をつくって運搬に利用していました。この景観は今では失われましたが、私は、これを新しい形で再生させたいと思います。

きれいな水路は、まちの景観を良くする重要な要素の1つで、ドイツでも多くの例が見られます。諏訪の低地帯には、多くの川があり今でも小さな運河や溝が残っています。これらを利用し修復して、舟が行き交い、水遊びもできるきれいな水路をつくります。岸边には自然の要素を取り入れて、まちの中に特別な魅力をもった景観をつくりだします。江戸時代の情緒豊かな河川利用の方法も、新しい形でとりいれる可能性があるようにも思います。ちょっと大げさですが新しいベニスといったイメージで、それが図の水郷地区に代表されるゾーンです。

私は、諏訪のまちで一番美しい場所は、山の麓の地域だと思います。美しい山の景観もこの部分から始まっており、ここには神社仏閣があり、学校もあります。下諏訪町には、由緒ある諏訪大社もこの山の麓にあります。この地域の自然景観は、湖と共に諏訪の生命線ともいうべきもので、決して損傷したりしてはなりません。

この地域には、緑の多い、歩きやすい歩行者道をつくって山につなげ、山に行きやすくします。美しい山々に抱かれ、透明な湖を前にしたこの地域には、東から西へ神社仏閣・文教地区と住宅地区が連なります。

市街地の街並みは、湖と山のつくる豊かな自然景観に溶け込むように整備されていき、こ

の自然景観に独自の趣を添え、美しい諏訪の景観を特徴づけることになりましょう。住宅地区と湖岸の間には、公共・サービス地区を設けます。湖岸に一番近いところはホテル・旅館地区で、これは現在とほぼ同じ地域です。だいたい以上が、私が諏訪市について、将来こうあればいいと思った構想です。

諏訪市には、湖があって温泉があり、しかも近くに美しい山があります。もし、ドイツにこのようなコンビネーションをもつ恵まれた場所があれば、直ちに景観保護地域に指定され、自然景観を生かした美しい保養地、湯治用のまちがつけられるでしょう。

これからの時代は、高齢化社会が始まり、余暇時間も増えて、レジャーや休養が現在以上にずっと重要な意味をもつようになってきます。こうした情勢からおこってくるいろいろな要求は、どこでも満たせるというものではなく、諏訪のように恵まれた自然をもち、それを生かした環境でないと満たすことができないでしょう。このことは、私の経験からもういえることです。私は、諏訪のまちの将来は、こうした時代の流れ、社会の要求という点からも、保養地・観光地としての性格を徹底させていくのがよいと考えます。

まちづくりでは、ウィーンの例でも、ドイツの場合も同じですが、市民のイニシアティブが何よりも重要です。これにより、いろいろな問題がはっきりと見えてきます。そしていろいろな分野の人たちが集まって1つの構想を練ることです。一人ですべての問題を熟知しているというような専門家はおりません。私の構想した諏訪市の将来イメージは、もとよりナイーブなもので、この土地の所有関係や法律関係も知らず、この地域での障害や制約を知らない外部の者がつくったものです。ただ逆に、そうしたことを知らないからこそ将来イメージをつくることができました。

私は、夢というものは持つべきものと思いません。一步一步の歩幅は小さくても、歩いていく先の目標、ビジョンがはっきりと見えているのが大切です。さらに重要なのは、その小

さな一歩であろうと思います。

ジーヴェルト教授のお話は、省略した部分もありますが、大要は以上のような内容です。

#### 《ドイツの都市計画制度》

編集 ドイツの場合、都市計画は法的な面ではどのようになっているんですか。

飯田 ドイツでは、基本法(憲法)が保証する地方自治権によって、それぞれの市町村が独自に都市計画を実施します。その場合、連邦建設法典が設けられており、これに基づいて市町村は都市計画を進めます。その連邦建設法の第1編第1章第1節は「住民参加」で、計画は、事前に住民に公開され、住民の理解が得られるまで討議され、決定されます。

また連邦建設法には、市町村が「土地利用計画」(Fプラン=Flachennutzungsplan)及び「地区詳細計画」(Bプラン=Bebauungsplan)を拘束力のある条例として策定することを明記し、各市町村が独自のまちづくりを実現できるようにしています。

Fプランは、都市のビジョン、いわゆるマスタープランに相当するもので、ジーヴェルト教授の諏訪市の将来構想もこの範疇に入でしょう。Bプランは、ドイツの都市計画制度の特徴としてよく知られているもので、美しい景観の街並みを創っていくには欠かせないきめ細かな計画で、建ぺい率や容積率などを定めます。ドイツの市町村では、Bプランに抵触するような建築は一切許可されません。またBプランがないところでは、住宅建設などの開発はできません。

ですから、ドイツの法的制度のもとではジーヴェルト教授の将来ビジョンも、夢のような話ではないんです。都市のビジョンをつくり、それに基づいてBプランを決定し、それを実現していくわけで、またそれ以外の方法では都市計画を実現できないのです。その意味では、非常に現実的な話なのです。それに対して、日本の都市計画の法的制度は、先進国の中ではひどく遅れています。住民参加はもちろん、自治体には強制力さえ与えられていないのです。

ガルミッシュ・パルテンキルヒェン地方の都市景観計画

編集 諏訪と同じように湖と森を抱えているといわれるバイエルン州南部では、観光や自然保護、あるいはまちの再開発などは、どのように進められているのでしょうか。またバイエルン州では、どのようにして湖沼の浄化に成功したのでしょうか。

飯田 第2回目独セミナー(1991年)では、バイエルン州水利局管理部長のクラウス・ブックシュテーク氏と、同じくバイエルン州のガルミッシュ・パルテンキルヒェン郡の郡長代理であるグイドー・カンブ氏がお見えになって、諏訪地方を視察していただきながらグループ討論会や公開セミナーを行いました。また第3回目独セミナー(1993年)は、ドイツ側の好意によって、諏訪の人々がバイエルン州を訪れ、実際の現場を見ながらセミナーを行うことができました。

これらのセミナーで学んだこと、知り得たことは非常に多く、とても一口ではいいつくせません。幸い第2回セミナーの最終日には、クラウス・ブックシュテークさんからは「バイエルン州の湖沼浄化」、グイドー・カンブさんからは「ガルミッシュ・パルテンキルヒェン地方の都市景観計画」というテーマでそれぞれ講演していただいております。それここでは、これらの講演を中心に、その一部の事例を紹介することにいたしましょう。まずカンブさんの講演から始めます。

#### 《ガルミッシュ・パルテンキルヒェン郡》

ガルミッシュ・パルテンキルヒェン郡は、バイエルン州にある9つの郡の1つで、州の最も南西に位置します(図6・3)。ドイツの山岳では最高峰のツークシュピッツ(2,963m)の麓に広がるドイツ有数の観光地で、面積はおおよそ1,000km<sup>2</sup>、人口は約8万人、22の自治体に分かれます。郡庁はガルミッシュ・パルテンキルヒェン市におかれています。

郡のほとんどが山地ですが、この山地は3つの谷で隔てられ、それぞれの谷には、イザール川、ロイザッハ川、アマー川が流れます。

ガルミッシュ・パルテンキルヒェン市はロイザッハ渓谷にあります。郡の北部は、アルプスの麓に広がる丘陵地帯、「アルプス前地」の一部で、このなだらかな丘陵地帯はドナウ河の手前まで続きます。

郡の47%は森林に覆われますが、その3分の2は保護林に指定されています。これは、土石流や雪崩が起きないように非常に厳しい規定を設けて保護・育成する森林で、伐採は認められません。山あいには荒地があり、その面積は郡全体の25%にもなります。

農地として利用されている土地の面積は21%で、1,216軒の農家があります。ただ高山性の気候で、天気が変わりやすく、気温差も激しいので、農地というのもほとんど放牧に限られ、畑は農地の1%にしかすぎません。以上を除いた残りの地域が居住地で、これは郡全体からみるとわずか4%です。

この郡の最も重要な産業は観光です。就業人口の34%がサービス部門に従事し、製造業で働く人々は24%しかおりません。さらに細かくみると、殆どの職場が直接的あるいは間接的に観光と関係します。1990年には115万人の観光客が当地を訪れました。宿泊の平均が5.5泊ですから宿泊客数は延べ620万人になります。

#### 《自然環境保護と観光》

アルプス地方には、毎年延べ4,000万人がこの地域で長期滞在しています。それと同時に近くの大都市から来る観光客、それと短期滞在の観光客が近年になって非常に増えております。この場合、観光地としては2つの異なる観光対策がみられました。

例えばある地域では、リゾート地への需要が高まったので、それに素早く対応して観光施設をつくりました。セカンドハウスやスポーツ施設、またスキー場やゴルフ場を無計画に開発したのです。その結果は、経済成長優先の悪循環の始まりで、観光施設への需要がさらに高まって、それに応じて建物がどんどんつくられることになり、景色がすっかり変わってしまいました。



こうなりますと観光客にとっては、自分が想像している素晴らしい自然景観とは全く違うリゾート地の景色に変わってしまったわけですから、わざわざその地に赴く理由がなくなります。こうしてアルプス地方では、バイエルン州のいくつかの郡、またオーストリアやイタリアのいくつかの郡では、観光客が減ってしまいました。

これに対して、ガルミッシュ・パルテンキルヒェン郡では、美しい自然の存在こそが観光業の推進力になるという考えでした。美しい自然というのは、都市とは対照的なものであり、これを地元をもっていればいつまでも観光客に愛していただけです。一時的な需要に目が眩んで、この美しい自然を決して損なってはならないと考えたわけです。

そのために、まず広範な地域を自然保護地域および景観保護地域に指定しました。1970年代に入るとヨーロッパでは、環境問題に対する意識の変換があり、バイエルン州でも自然保護法を改正しました。それ以前は、自然の一部を保全するというものだったのですが、改正法では、自然環境を全体として保護するものになりました。また自然を、改変される以前の元の状態に戻す再自然化の方針も明記されました。

こうして当郡では、22の自然保護地域と景観保護地域を指定しています。自然保護地域は人間が手を加えてはならない地域で、これに指定されると、その土地の所有者であっても建物をつくったり、肥料を施すようなことは許可されません。景観保護地域は、それほど規制が厳しくなく、適正な条件下では土地の利用が許可されます。現在、自然保護地域は郡全体の34%の面積を占め、景観保護地域とあわせると50%以上にもなります。

このような保護地域の指定とは別に、自然環境を保全するもう一つの方法があります。農業というのは、人間が自然に介入するものですから、一般には自然の生態系を破壊していきます。ところがもう一方では、人間の介入によって生物の種が増え、自然をより豊かに

する農業形態もあります。

当地の農業は、そのほとんどが放牧に限られますが、この牧草地帯では、伝統的な農法として、年に1回、秋にしか牧草を刈らないという方法が行われてきました。この刈り取りのとき以外は、誰も人が入らず、もちろん肥料なども一切使われません。その結果としてこれらの牧草地帯では、植物や昆虫の種類が非常に多くなって豊かな生態系が保存され、それがまた魅力的な独自の自然景観をつくり出すことになりました。

このように自然を保護し、環境にやさしい農業形態が昔からありますので、これを育成することも自然保護の有力な方法です。ただこうした伝統農法では、農業としては採算がとれません。それで郡としては、こうした農家には助成金を与えて援助し、環境保全と農家の育成に役立てています。

こうしたいろいろな方法により、当地方は非常に特徴的な美しい自然をもつ地域としてよく知られるようになり、観光客も増えております。ただこの数年来、短期滞在の観光客の数が非常に増えてきました。こうなりますと人数が増えてきたことから、人々が動植物の聖域に入り込み、自然の生態系を壊す心配も出てきました。そのために当郡では、必要な条例を改正し、立入り禁止区域と人間の通ってもよい道の両方を設け、動植物の聖域を保全するようにしております。

#### 《ムルナウ湿原の保護》

ロイザッハ渓谷を出たところには、広大なムルナウ湿原が広がります。その面積は約32km<sup>2</sup>、自然保護地域に指定されています。今世紀の始め頃までは、ヨーロッパには同じような湿原地帯がたくさんあったのですが、今はそのほとんどが消失し、この湿原は、中部ヨーロッパでは最大規模の湿原になっています。少なくとも5,000年以上の長い年月をかけて、ある一定の条件下で徐々に形成されてきたもので、各時期の形態が順に層をなして保たれています。こうした湿原は、一度壊してしまえば再び復元することは不可能です。

湿原に生育する植物の種類は800種、確認されている動物の種類は約4,000~5,000種類にものぼります。自然保護の場合、このように豊かで多様な種が生息している地域の保護は非常に重要で、責任も重くなります。これらの多様な種を守っていくには、まとまった規模で自然の生態系を残しておくことが不可欠で、それには土地を取得したり、補償費を払うために多大の資金を必要とします。

連邦政府では、この湿原の保護がドイツ人はもちろんヨーロッパの人々にとっても大きな意味をもっているとして、この湿原を保護するために3,400万マルク(約30億)を投入することを決めました。これらの資金を中心に、この湿原を保護するのが私どもの大きな仕事の1つになっています。

#### 《ゴルフ場の問題》

数年前に、このムルナウ湿原近くの、自然保護地域に隣接する村からゴルフ場をつくる計画が出されました。その計画は50~70ヘクタールを使うもので、こうした大きな土地利用計画になると、郡よりも上のレベルの行政で決定されます。その場合、州政府は関連する市町村だけでなく、関連する自然保護団体からも意見をきかなければなりません。

このときには、いろいろと対立する議論の中で、一番重みをもった意見は自然保護側から

図6.3 ドイツ連邦共和国地図



のものでした。すなわちゴルフ場をつくった場合には、ゴルフ場の関連施設をつくり、また幹線道路からその施設に行くまでの道路を新しくつくらなくてはならない。そうなりますと、湿原周辺の緩衝地帯に大きな影響がでてきます。こうした意見が重みを持ち、ゴルフ場の計画は認められませんでした。

なお郡庁の一般的な方針としては、森林を伐採してゴルフ場を造成するというような非常識なことは一切認められませんが、ゴルフ場の造成は制限つきでこれ以上、自然破壊を進めないという条件が達成された場合にのみ認められます。これ以上というのは、例えば、かつて農地に使われていた土地では農薬や肥料が使われていたわけで、そういう場合には、農地であった場所をゴルフ場として造成してもよいということです。

ただその場合にも、さらに条件がありまして下水道もしくは終末処理場が完備していること、必要な建物と駐車場、それにゴルフ場に行くまでの道路がすでに存在するか、あるいは改良や増築がほんの僅かで済む場合にのみ認められます。

こうした条件をすべて満たし、ゴルフ場の造成が認められたケースとしては、オーバーアマーガウ近くのゴルフ場があります。ただし

そのゴルフ場でも、農薬の使用が許されるのはグリーンとティーグラウンドだけで、フェアウェイなど、そのほかのコースでの使用は禁止されています。

#### 《「土地固有モデル」による乱開発防止》

最初に述べましたように、当郡で居住地になる場所は狭い谷間の底にしかなく、非常に限られています。その周辺には農地がありますが、1970年代の初めまでは、建築計画などをかなり杜撰に許可しておりました。

そのため近隣の大都市に住むお金持ちの人々が、ここにはセカンドハウスや別荘を建てられるということで農地にたいする需要が非常に高まり、短期間に土地の値段が急激に高騰してしまいました。セカンドハウスや別荘をもつ人々は、年に2～3回ほどしかガルミッシュユに來ないのですが、こうした人々によってガルミッシュユの土地がかなり買われたために、土地が高騰してしまったわけです。当時建てられたセカンドハウスの割合は、全住宅地の5%から10%、別荘の割合はもっと大きいかと思います。

一方、この土地で生まれた若い世代は、この土地の高騰のためにガルミッシュユでは家を建てられなくなりました。こうして1970年代から80年代にかけて多くの若い人々、特に若い

家族がこの土地を離れ、安い土地を求めて他の地域へと移っていきました。その結果、当郡では高齢化が進み、現在では人口の18%以上が65歳以上、ガルミッシュユ・バルテンキルヒェン市では人口の25%以上が65歳以上という状態になってしまいました。こうした事態から私どもは、建築計画と高齢化社会との間には深い関連があること、土地政策を慎重に配慮し、乱開発を防がなければならないことを学びました。

セカンドハウスや別荘のデメリットは、これだけに止まりません。道路などインフラストラクチャーを整備するために非常にお金がかかります。それに加えて、建物そのものが都市郊外に頻りにみられる味気ない建物で、この地方の伝統的建築様式とは何の関係もありません。この地方の特色ある景観は、これらの建物によって損なわれ、観光地としての魅力が薄れてしまうのです。

では、こうしたセカンドハウスの開発ブームや農地の高騰に対してどのような対策をとったかといいますと、当郡では、「土地固有モデル」という方式を設けて対処しました。

この方式では、まず新しい建築計画は、その地域に住んでいる住民が建築する場合にのみ許可されます。そして住民が自分の土地を売る場合には、市町村がこれを監督すること、土地を売る相手はその地域の住民に限られること、売る土地の値段は相場の半額に近い価格にする、というものです。土地の所有者がこの指示に背きますと、その土地には建築許可がありません。したがってその土地は、もう草原になるしかありません。

この「土地固有モデル」は、当郡ではかなり以前に設けたのですが、これにより、若い家族がこの土地に止まるようになり、また土地投機に対する熱も冷めました。こうして当郡では、農地の宅地化を防いで農地を確保し、危険にさらされている小規模農家を保護・育成し、あわせて当地方独自の美しい自然景観の保持に努めているわけです。

#### 再開発されたガルミッシュユ・バルテンキルヒェン市の中心商店街



車を一方通行にし歩道が広げられたので、散歩を楽しむ人々が増えている。車と同一方向へ行く自転車は車道を通るが、反対方向へ行く自転車には自転車専用道路がつけられている。花壇もいろいろと工夫され、彩りを添えている。



## 《再開発 交通政策の転換の時代》

近年では、どの都市でも自動車交通量が大幅に増加し、それが重要な問題になっておりますが、当郡では、特にガルミッシュ・パルテンキルヒェン市で、これが大きな問題になりました。ここは、ドイツからオーストリアおよびイタリアに通じる交通の要衝で、市の中心部を国道が通っているのですが、交通量がどんどん増えるにつれて、住民や観光客にとっては非常に歩きにくい道路になってしまいました。そのため、国道沿いにある中心商店街通りには、こんなに交通の激しいところで買物をするのは少しも楽しくないということで、人々が来なくなりました。

そこで、住民がイニシアティブをとり、買物通りを以前のように楽しく歩けるように、その対策をたてよという運動を起こしました。行政側も問題の重要性に気付き、中心商店街通り(全長400m)を再開発することになり、これは、1年ほど前に実施されました。その概略は以下の通りです。

国道は、従来は2車線の対面通行であったのを1車線に減らして一方通行とし、反対方向の車は、すでにできているバイパスに迂回させます。ここは、以前から交通量が多かったので騒音上の問題はおきません。

1車線に減らすことにより生じた道路のスペースは、歩道および自転車専用道のゾーンに変え、歩道の幅は車道よりも広くします。歩道には、花壇をつくったり、樹を植えたり、ベンチをおくことができます。

1車線の車は商店街を通り抜けるので、そのスピードを制限します。ただし、交通標識だけではドライバーがこの制限を守らないことが経験上わかっていますので、この道路の表面に波型の凹凸をつけ、ドライバーにゆっくり走ることを強制します。これは、非常に効果的な方法であることが分かりました。

この再開発により、中心商店街は面目を一新しました。以前よりはるかに静かで安全になり、店舗のデザインも改善されて景観的にも美しい通りになったので、ショッピングや散

策を楽しむ観光客や住民が増えてきました。商店の売上げも順調に上昇し始め、衰退方向にあった商店街がよみがえりました。

このように自動車の交通を制限し、道路を歩行者のために取り戻す再開発は、ガルミッシュ・パルテンキルヒェン市だけが唯一の例ではなく、ドイツでは今かなりの数の市や町で行っています。それは連邦政府が、こうした再開発を奨励してもいるからで、いまお話しした中心商店街の再開発の場会にも、その資金の70%が連邦共和国とバイエルン州から支出されました。

この数年の間にドイツでは、交通政策に大きな方向転換が行われました。以前は、交通量が増加したときには道路を拡張していったのですが、その結果、町は車で溢れ、空気も汚れて、人間に適した環境ではなくなりました。公共の道路や広場は、人間の生活にとって重要な場所で、もともと車のためにつくられたものではありません。ですから都市中心部では、個人の自動車交通に対してはこれを制限し、歩行者に適した環境に直そうという方向に転換したのです。

そうした観点から、さきの中央商店街の再開発計画においても、ここの交通を全面的に遮断する案も検討いたしました。ただここの場合には、自動車の進入を禁止すると、それにかわる別の交通手段がないために、この案は残念ながら退けられました。

当郡のすぐそばにオーベルストドルフ市がありますが、ここでは、旧市街地の中では、特定のメダルのついたごく少数の車を除き、すべての車の通行を禁止しています。この市では、市街地の端に駐車場を用意し、車で来た観光客はそこに車を入れます。この後は、公共の交通機関 環境にやさしい、電気で動くエコバスに乗って市内に来ます。市内の移動もエコバスを利用します。ガルミッシュ・パルテンキルヒェン市では、公共交通機関の整備が充分でないのでこの方法は採用できませんが、将来の手本にはしております。

以上が、カンブさんの講演の要旨です。

## バイエルン州の湖沼浄化

湖沼の浄化については、バイエルン州水利管理局部長のクラウス・ブックシュテーク氏が講演されました。バイエルン州の面積は約7万km<sup>2</sup>、人口は約1,100万人で、ドイツの中でも水質管理が非常によく整備されていることで知られています。その水質管理を担当する部門の責任者がブックシュテークさんで、講演の要点をまとめますと以下のようになります。

《バイエルン州の湖沼と浄化の基本方針》  
バイエルン州の南部には、氷河の浸食などでできた多くの湖があり、その殆どが富栄養湖です。代表的な湖は表6・1のとおりで、表面積の最も大きいのはキーム湖で80km<sup>2</sup>、容量の最大なのはシュタルンベルグ湖で3km<sup>3</sup>、水深の深いのはヴァルヒェン湖で189.5mです。図6・4はこれらの湖の分布図です。湖は州の首都であるミュンヘン市を囲むように、その南方約20~70kmほどの近くにあるので、これらの湖には、ミュンヘン市からの日帰りの観光客がたくさん訪れます。短期滞在や長期滞在する観光客も非常に多く、この地方の経済は観光に大きく依存しています。そうした意味からも、これらの湖の水質を良く保ち、長期的にいつまでも湖水の利用を保証することが非常に重要な課題になっているのです。

1950年代になると、多くの湖で富栄養化が進行し、ある湖では水浴ができなくなる寸前にまで汚れました。水利管理局(この時には私の前任者がイニシアティブをとりました)では、早速に湖沼の浄化対策を検討し、短期目標としては水浴可能な水質の確保(大腸菌の減少)、中期目標としては富栄養化の抑止(窒素、リンの減少)をかけた、湖をもとの状態に近づけることを目指しました。

この間、1950年代の後半には、湖の浄化対策としてリング状の下水道の考え方が生まれていました。湖の周囲をリング状の下水道で囲み、湖の周辺から出る排水はすべてこの下水道に集めて処理し、湖の流出先の河川に処理水を放流するというものです。この案は、実際に適用してみますと非常に有効なことが分

かり、以後、湖沼の浄化は、リング状下水道の敷設により、湖への排水の流入を徹底的に防ぐという基本方針が決まりました。

短期目標は速やかに達成され、現在すべての湖で水泳が可能です。また富栄養化は抑止され、すべての湖が中栄養～貧栄養の状態に改善されています。ただこの間には、目標達成のための方針に転換がありました。当初は、個々の湖沼に対する処理技術を中心に浄化対策が進められましたが、次第に、湖沼の集水域や流出域に対する総合的な計画を重視する方向へと、方針の転換が行われています。

こうして現在、20以上の湖沼(全湖沼の表面積250km<sup>2</sup>)に対して300kmのリング状下水道が敷設され、40万人分の排水(年間2,500万m<sup>3</sup>)が処理されています。これらの浄化に要した費用は10億マルク以上になります。

湖というのは、それぞれに特有の湖盆形態があり、集水域の状態も1つとして同じものはありません。ですから、浄化の基本方針は同じではあっても、個々の湖ごとにさまざまな課題が生まれ、浄化のプロセスも違ってきます。それで次には、個々の湖ごとに、どのようにして問題を解決してきたかをお話します。《テーゲルン湖》

1950年代に、観光施設からの排水が原因で富栄養化し、水泳禁止間際まで汚染が進みました。水泳禁止はこの地域の観光業にとって致命的な打撃になりますから、湖周辺の5つの市町村が集まって協議し、その結果、個々に処理場をつくるのではなく、1つの処理場をつくって流域の排水をまとめて処理すること、湖岸には湖をとりまくリング状の下水管を敷設し、流域の排水はすべてこの下水管に接続することが決まりました(図6・5)。この解決策は、水利管理局のイニシアチブによって行われました。

計画は1955年に決定し、1957年に建設を開始、1965年に稼働し始めました。これは世界で初めてのリング状の下水処理施設で、この時期、アメリカのワシントン湖でも同様の施設がつけられており、同じく成功しています。処理

場は湖の下流に設けられ、ドイツでは初めての活性汚泥法を採用しています。また処理水は、処理場の一部につくった自然状態の緩衝池の中をゆっくりと流れた後、河川に放流されます。

この施設の完成後、湖のリンの濃度は、当初の0.027mg/lから、1978年以降は0.010mg/l以下に減り(図6・6)、湖は完全に貧栄養の状態に戻りました。1980年代半ばにはリンの除去施設を設け、現在、流入水のリンの濃度は7～10mg/l、処理水の濃度は0.5～0.7mg/lです。この湖は湖沼改善の模範例になっています。表6・2がこのプロジェクトの概要です。この表で処理能力は人口6万人としてありますが、その内訳は、住民が2万5,000人、観光客として一時的に滞在する人が2万5,000人、残りは工場からの排水分やほかの住民の分です。

#### シュタルンベルグ湖

ミュンヘン市近くにあり、1950年代末に、生活排水と産業廃水が原因となって汚染が進み、さらに新興住宅地が増えて富栄養化が進行しました。この湖は、容量が3km<sup>3</sup>と大きいので湖水の滞留時間が約21年と長く、一度汚染された場合、長期的汚染の危険が心配されました。

こうした事情から、バイエルン州閣僚理事会は1959年、この湖の流域では、新しい住宅の建設は下水処理施設ができるまでは許可しないことを決め、汚染の進行に歯止めをかけました。この湖でも、テーゲルン湖と同じシステムでリング状の下水道施設をつくりました(図6・7)。経費の関係上、ポンプ場の上部構造は省略し、地下構造だけにしています。1971年に10万8,000人分の最初の処理場(標準活性汚泥法)が運転し始め、1976年に全体の処理場が稼働しました。処理場から放流する河川は、ミュンヘン市郊外の住宅街を流れ、さらにミュンヘン市内に入ると公園の池などに利用されます。そのため処理水の水質を高いレベルに保つことが要求され、70年代末には処理場にもう1つの大きな自然浄化槽をつくり、処理水がこの自然の池を1～2日かけ

て流れることによってさらに浄化され、自然の水に近い状態に戻っていくシステムにしています。なお、流域での新たな工場の建設は認められていません。現在では、中栄養～貧栄養の状態にまで改善されています。

#### 《アマー湖と2つの小さな湖》

1950年代に富栄養化が進み、3つの湖を囲むリング状の下水道施設をつくりました(図6・8)。この地域は、流域内に小さな自治体が多く、当初は、アマー湖西部処理組合とアマー湖東部処理組合とができ、それぞれが協定を結んで建設を進めましたが、後には東部処理組合が一括して責任をもつことになりました。この流域には住宅密集地域があり、そうした場所では、雨水も一緒に入れる合流式にしています。1959年に建設にかかり、1960年代前半には稼働し始めました。

アマー湖に流入する主要河川としてアマー川があります。この川の源流はオーストリア国境近くにあつて、そこから流れてきますが、3つの湖を囲むリング状下水道がカバーする範囲は、図6・9の黄色の都分だけです。アマー湖の集水域は、それより南方に長く延びていて、アマー川の流域には5,000人～2万5,000人の人口をもつ市町村がいくつもあります。したがって、こういった市町村にはすべて下水処理施設が設置されました。とくに80年代に入ると、リンの除去装置が付設されるようになり、各市町村では、それぞれの汚水の状態に応じて1次処理、2次処理、3次処理まで行えるようになっていました。この結果、リンの排水規制とあいまって80年代の後半には、アマー川のリン濃度は急速に良くなりました(図6・10)。

アマー湖と2つの小さな湖は、富栄養から中栄養の湖へと改善されました。図6・11はアマー湖のリン濃度の変遷です。今世紀の初め頃にはリン濃度は0.020mg/l以下であったとされていますが、60年代には0.060mg/lまで上がりました。それがリング状下水道施設の稼働や、アマー川の水質の向上と共にリン濃度は低下する一方となり、現在では0.020～0.030



表6-1 バイエルン州の主な湖沼

湖名	表面積 (km <sup>2</sup> )	最大水深 (m)	容積 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	湖水の滞留時間(年)
キーム湖	80	73.4	2,050	1.3
シュタルンベルグ湖	56	127.8	3,000	20.9
アマー湖	47	82.5	1,700	2.7
ヴァルヒェン湖	16	189.5	1,300	1.6
テーゲルン湖	8.9	72.2	324	1.3
シュタッフエル湖	7.7	38.1	75	0.9
ジムス湖	6.5	22.5	87	1.5
コッヘル湖	6.0	65.9	185	0.12
参考資料				
諏訪湖	13.3	6.3	65	0.11
琵琶湖	676	103.8	27,500	5.3

図6-4 バイエルン州南部の主な湖沼の分布

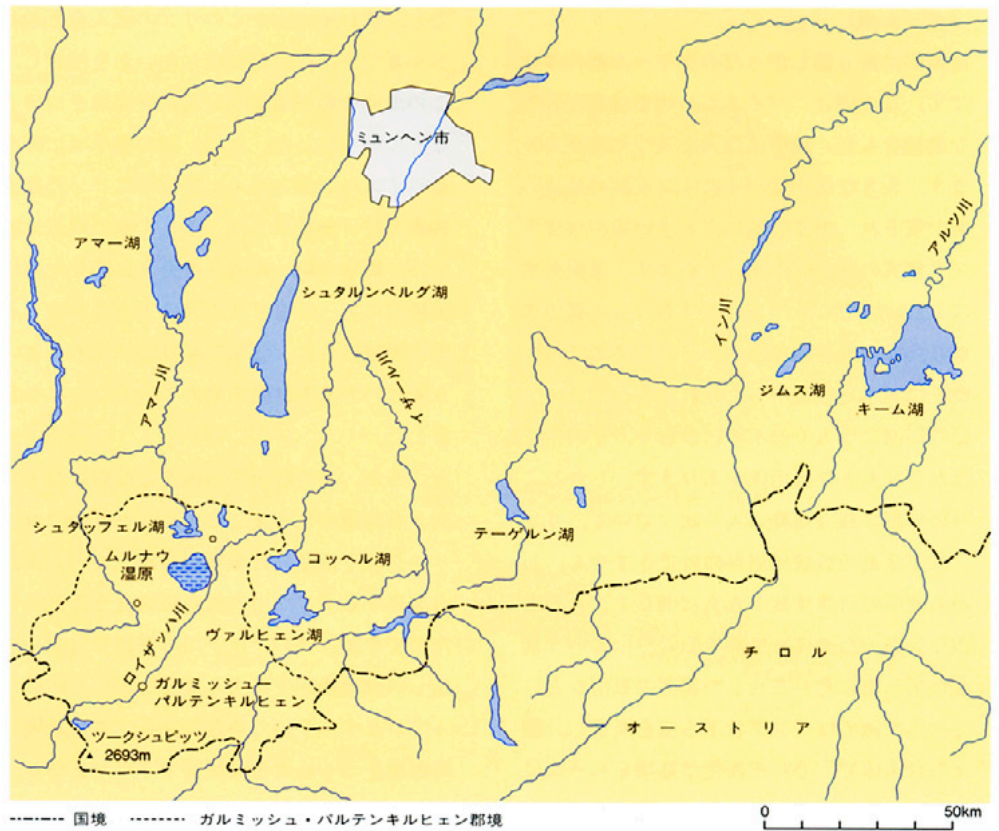


図6-4 テーゲルン湖のリング状下水道



図6-6 テーゲルン湖のリン濃度の推移

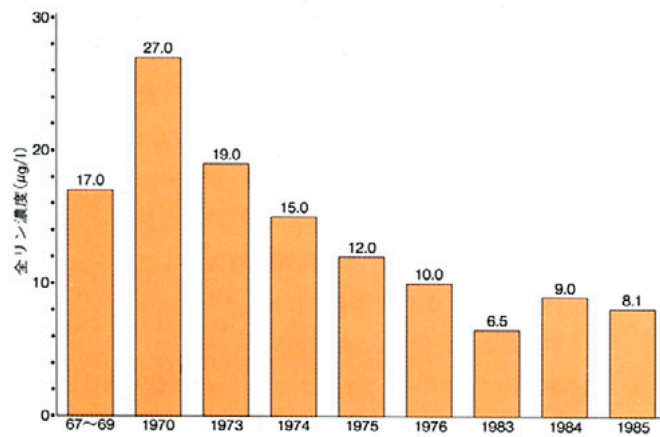
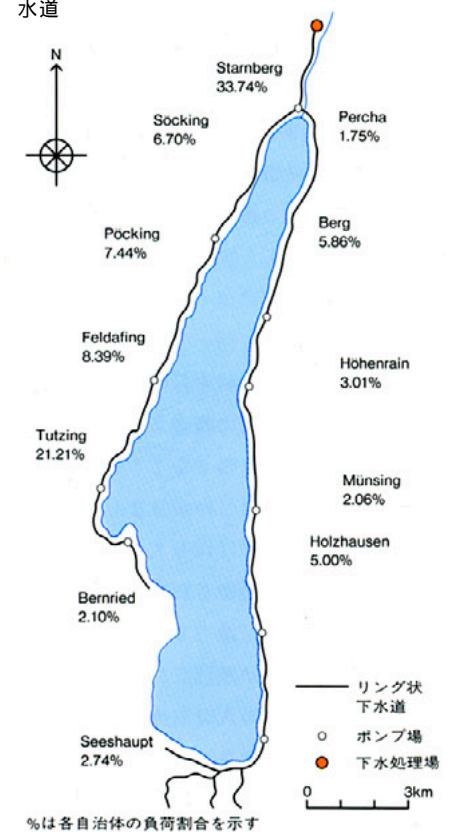


図6-2 テーゲルン湖とシュタルンベルグ湖の浄化プロジェクト

	テーゲルン湖	シュタルンベルグ湖
リング状下水道の延長(km)	22	46
ポンプ場(箇所)	13	10
処理人口	60,000人	108,000~143,000人
総事業費(マルク)	5,000万	13,000万
加入人口(接続率)	95%以上	95%以上
加入企業	ビール工場=1 製紙工場=2	織物工場=1 製薬会社=1 ソーセージ工場=1 屠殺場=1 大クリーニング工場=1

図6-7 シュタルンベルグ湖のリング状下水道



mg/lまで下がっています。

#### 《キーム湖》

技術的に最も難しかったのがキーム湖の浄化です。この湖は、バイエルン州では最も大きな面積をもち、湖中には大小2つの島があります。大きな島にはバイエルン王国の最後の城が残され、小さな島には8世紀頃のロマネスク様式の修道院が建っています。景観もすばらしいので好天の日には2万人もの観光客がこれらの島を訪れます。そのため島には、地下に下水処理場がつくられました。

湖の周囲には多くの市町村があり、その中にはかなり大きな自治体があります。しかしこの湖の湖岸線は複雑に入り組んでいて、リング状下水道の敷設は簡単にはできません。しかも湖岸の自然景観が非常に美しく、それを損なわないためにも工事をしにくいという状況がありました。こうした諸種の事情から、当初この湖ではリング状下水道を断念し、個々の自治体で、それぞれ化学処理をベースにした下水処理場を建設することになりました。これは、1960～1970年代初頭に出来上がりました。

一方、湖の集水域は、国境をこえ遠くオーストリアのチロール地方に伸びています(図6・12)。この地域には、キッツビュールをはじめ有名なスキー場がいくつもあって、夏・冬ともにたくさんの観光客が訪れます。ですから、この地方からも大量のリンが湖に流入します。結局、湖の周辺につくった個々の処理場では富栄養化の進行を抑止できず、1972年、バイエルン州議会は水利監督局に対して、集水域全体について詳細に調査し、キーム湖の富栄養化を防ぐ計画をつくるよう委託しました。この調査は2年ほどかかりましたが、その結果、チロール地方では12万人分の排水があり、そのうち15%が処理されていること、湖周辺以外のバイエルン地方では6万人分の排水があり、その50%が処理されていること、また湖の周辺では6万人分の排水があり、建設された処理場で浄化されているのはその3分の2であることが明らかになりました。

そのため、まずオーストリアの行政当局と協力し、チロール地方からのリンの流入をどのレベルまで下げなければならないかを検討し、この地域の処理場にリンの除去施設をつけることになりました。また、湖の集水域にあたるバイエルン地方でも、処理場にリンの除去装置を付け加えました。そして湖の周辺地域では、排水の湖への流入を完全に防ぐために、困難ではあってもリング状の下水道をつくる案が再検討され、下水管を湖底に沈めるといった新しい方法で計画を進めていくことになりました。

ところが、この計画を実施する段階になって大きな問題が生じました。新しい計画では、リング状下水道の終末処理場は、キーム湖から流出するアルツ川の傍らに設けることにしたのですが、このアルツ川の周辺には多くの珍しい動植物が生息する貴重な湿地帯が広がっています。そのため住民から、この地域に処理場をつくることに反対する声があがり、これが大きな反響を呼ぶことになりました。計画は中断し、賛否の論議が繰り返され、いろいろな代替案が検討されました。水利局は、湖とイン川との間に処理場を設け、湖から16kmも離れた西のイン川に処理水を放流する計画を提案し、これが議会で承認されました。イン川との間には70mの標高差がありますが、一部はトンネルを掘り、一部は山を越える長い放水路をつくって、この問題を解決しました(図6・13)。このため新たに約4,000万マルクが支出され、キーム湖のプロジェクトは、総額で約3億マルクになりました。操業開始は1989年で、バイエルン州の湖沼浄化では、このキーム湖のプロジェクトが技術的な難度が最も高く、また最も経費を要したものになりました。

#### 《予防にまさる治療なし》

以上、バイエルン州での湖沼の浄化プロジェクトをいくつか紹介しました。これら以外にも多くの湖沼の浄化に取り組んできましたが、それらの経験から分かったことは「予防にまさる治療なし」ということです。つまり、汚

染された湖を改善するよりは、あらかじめ、栄養物質が外部から湖に流入するのを防ぎ、湖をきれいに保っておく方が、結局は、費用は安く、簡単であるということです。

またある湖を治療する場合、その湖だけを単独にとりあげて浄化を考えるのではなく、同時に流域の浄化とあわせて考えるのであれば、その湖の浄化は成功しません。この2つの点は、最後に強調しておきたいと思います。《日本の湖沼との大きな違い》

ブックシュテークさんの講演の要点は、だいたい以上になります。ただ私としては、この話を受け取る場合、日本の湖との違いについて、一言述べておく必要を感じます。

バイエルンの湖は、どの湖でも湖辺の風景が非常に美しいのが特徴です。湖岸一帯は、だいたい公園化されていて、丈の高い樹木や草花におおわれています。そこには遊歩道や自転車専用道はありますが、自動車はほぼ完全に締め出され、車の走る姿は見られません。水辺には水生植物が生い茂り、自然の景観がよく保たれており、また人間が手を加えた場所でも自然に近い状態が残されています。

一方、日本の多くの湖沼では、湖岸をとりまく樹木や草花もなく、そこには湖周道路や湖岸道路が設けられ、車の往来が途絶えることがあります。水辺は改変され、コンクリート護岸が一般的となって、水生植物の多くが消えてなくなっています。じつはセミナーのグループ討論会では、温厚なブックシュテークさんが「諏訪湖のように、周囲をコンクリートの壁で固めた湖は、自分の人生で初めて目にした」と驚きの言葉を述べているのです。おそらく想像外の事態であったのでしょうか。バイエルンの湖の場合には、いってみれば、元の自然の姿が保たれている状態で、水質を改善する語です。それに対して、日本の湖沼では、まず水生植物を復元することから始めなければなりません。つまり、傷ついた湖沼の再生という課題とあわせて水質の改善が問題になっているということです。この違いは決して小さいものではないと思います。



図6・8 アマー湖と2つの湖のリング状下水道



図6・9 アマー湖の集水域と3次処理下水処理場



図6・10 アマー川のリン濃度の推移

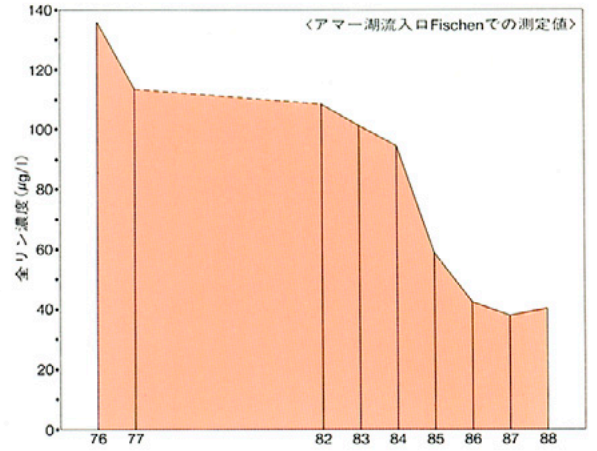


図6・11 アマー湖のリン濃度の推移

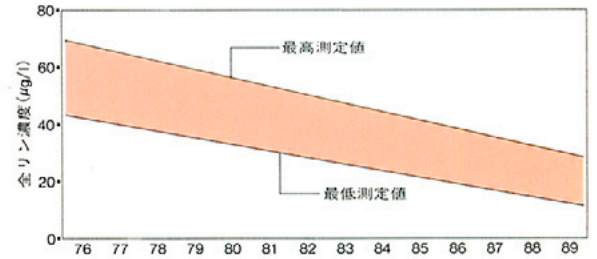


図6・12 キーム湖とその集水域



図6・13 キーム湖のリング状下水道と放水路

