湖沼の物質循環と環境汚染物質の調査法

宮原 裕一*¹

Methods for investigation of material cycle and environmental pollutants in the lake

Yuichi MIYABARA

Abstract

The fate of chemicals in a lake environment has a close relationship with hydraulic events. Animate and inanimate as water quality affect one another in the lake. Accordingly, water movement is an important issue for understanding the material cycle and effects of environmental pollutants in the lake.

In this paper, three methods for investigation in Lake Suwa were introduced. First is the continuous observation of water temperature by using temperature logger. And its results showed that the formation and destruction of thermal stratification were repeated in summer season. Second is our routine water quality observation data as Secchi disk transparency. Recently, transparency has improved in summer season, as a result of decrease of phosphorus amount in the lake water. Third is the analysis of dioxins in the sediment. The major source was impurities of chemical herbicides (PCP and CNP). And large amounts of dioxins flowed into the lake in flood stage compared to normal stage.

Key words: Lake Suwa, temperature logger, routine observation, dioxins

キーワード：諏訪湖, 温度ロガー, 定期観測, ダイオキシン

1. はじめに

湖沼における化学物質の輸送, 拡散, 沈殿, 堆積といった動態は, セイシュ (静振), 湖流, 洪水といった水文現象である「水の動き」と密接な関係にある。また, 湖沼では, 水質と生物活動が相互に作用しあっている。従って, 湖沼での物質循環や化学物質汚染の生物への影響を考える上で, 「水の動き」を理解することは, 化学物質濃度の把握, 汚染源の解明とともに重要な課題である。

本報では, 「水の動き」と化学物質の動態や生

物活動との関わりについて, 長野県諏訪湖での各種観測例を用い, 各調査法の特徴と得られた結果を解説する。まず, 湖水の動きを把握するためには, 時間分解能を上げ水質分布の変化を詳細に観測する必要があるが, ここでは, その1例として温度ロガーを用いた「水温観測」を取り上げる。また, 湖内での栄養塩の動態と生物活動の関係について, 生物活動の指標の1つである「透明度」と湖水の鉛直混合の観測結果を取り上げる。さらに, 水域の有害汚染物質については, その対策上, 汚染源の解明が重要な課題と言えるが, ここではダイオキシン類のコンジェナー組成に基づく汚染

* 1 信州大学山岳科学総合研究科 Institute of Mountain Science, Shinshu University

源の推定方法を紹介する。あわせて、堆積物柱状試料の分析結果から、洪水時の湖へのダイオキシン類負荷についても紹介する。

Ⅱ. 諏訪湖の概要

諏訪湖は、糸魚川 - 静岡線上に位置する長野県内最大の湖沼である。断層湖のため、本来その水深はかなり深かったはずであるが、山地に位置し、集水域が広く、多量の土砂が流入し続けたため、現在では、最大水深約 6m、平均水深約 4m と、浅い湖となっている。この諏訪湖では、「御神渡し」に関し、八剣神社に過去数百年分の記録が残されている。また、明治初期に田中阿歌麿により観測が行われるなど、長期間にわたる水文現象が記録されているわが国でも数少ない湖の 1 つである。

諏訪湖の集水域は、長野県諏訪地域の 6 市町村（岡谷市・諏訪市・茅野市・下諏訪町・富士見町・原村）とほぼ重なり、約 20 万人の生活の場となっている。そこで発生する生活排水と工場排水は、諏訪湖湖畔の終末処理場 1 箇所に集められ処理され、湖内をバイパスし、湖水の流出口である釜口水門直上で放流されている。現在、諏訪地域の水洗化率は 94% となっており、生活排水はほとんど諏訪湖に流入せず、また、その処理水は湖水と混合することなく、天竜川へと流出してい

る。一方、可燃ごみは各市町村で焼却処理されており、ごみ焼却場が民間のものも含め、湖周辺の山間部に点在している。また、土地利用は集水域の南北で異なり、比較的傾斜地の多い集水域北部には、農耕地が少なく市街地や工業地が分布している。一方、南部の上川、宮川流域には水田が広がり、標高の高いところではセルリーなどの高原野菜も栽培されている。

国立天文台（2006）によると、諏訪湖の平均滞留時間は、0.12 年（約 40 日）とされているが、降水量の多い夏期と降水の少ない冬期では、滞留時間が大きく変動する。また、湖への流入水のほとんどは河川水に由来すると考えられており、流入河川は 31 もあるが、北側から流入する砥川、横河川、南側から流入する上川、宮川で、流入水の大部分を説明することができる（沖野・花里、2005）。

筆者らは諏訪湖湖心にブイを設置し、各種測定 of 定点としている（Fig. 1）。水深別の水温変化、30 年余にわたる定期観測の成果はここで得られたものである。また、湖心では、浚渫が行われておらず、堆積物に時間的な欠損や攪乱がないため、堆積物コアの採取もここで行った。このほか、諏訪湖北部沿岸に位置するイケス用のブイに温度ロガーを固定し、水温の連続観測を行った。一方、気象庁ホームページより、諏訪湖東岸にある諏訪

Fig. 1 Study area and sampling points of Lake Suwa.

地域時別気象観測所の気象データを収集し、解析を試みた。

Ⅲ. 温度ロガーを用いた「水温観測」

1. 水温観測の意義

湖沼の表層水は太陽光により暖められ水温が上昇し、下層との水温差が生じ、夏期には温度成層が生じる。この温度成層において、水温が高く、日周的に水温が変化（上昇と低下）し、頻繁に鉛直混合が生じている部分は「表水層」、水温が低く水温変化がほとんど生じない部分は「深水層」、その中間で、大きく水温が変化する部分は「変水層（季節的水温躍層）」と呼ばれる。秋に表水温が低下し、水温差が解消されると鉛直混合が生じ、湖は循環期に入る。循環期である春と秋には、栄養塩の循環もスムーズに行われ、植物プランクトンの増殖が見られる。このように、湖水の鉛直混合を知ることができれば、湖内での物質循環を把握することも可能となる。

諏訪湖は平均水深約 4m と浅い湖であるため、夏期には下層の水温も上昇し、深水層のない、表水層と変水層のみからなる弱い水温成層が生じる。しかし、数度の水温差といった弱い水温成層であっても、循環期とは湖水あるいは湖水中の栄養塩の循環が異なり、水温成層が生物生産に影響を及ぼしているものと考えられる。定期観測から（沖野・花里，1997；花里・小河原・宮原，2003；宮原，2007），この弱い水温成層の存在が確認さ

れていたが（Fig. 2），その消長に関しては十分なデータを持ち合わせていなかった。水質浄化が進んだ諏訪湖において、湖水の鉛直混合の観測は、その生態系の変化を理解する上で重要であり、水温の連続観測により、その把握を試みた。

2. 温度ロガーの特性

温度ロガーとは、温度センサーと記憶媒体を内蔵した機器で、任意の時間間隔で温度を記録することができる。様々な価格帯、精度のものがあるが、5,000 円程度のもので、0.1 度単位で、数ヶ月間連続して水温データを得ることができる。筆者らは米国 Onset 社の HOBO Water Temp Pro v2 を用い、10 分間隔で観測を行った。これらロガーの欠点は、機器を回収するまで、水温の変動が分からず、事故等により機器を紛失すると、手元には何も残らないことである。従って、機器設置に際して、関係者への周知はもとより、事故を防ぐため、ライトブイ等の設置も必要と言える。

また、あくまでも温度ロガーから得られるのは、水温であり、水質の差や変化を知ることにはできない。水質用のロガーとして、濁度、電気伝導度、溶存酸素等を計測するものもあるが、原理的にセンサーのメンテナンスが必要な上、温度ロガーと比べ高価なため、湖水質の水平、鉛直分布を知るためには、多くの手間と多額の費用が必要となる。湖水の鉛直混合の状態を知るだけであれば、温度ロガーで充分である。

Fig. 2 Difference of surface (1m) and bottom (5m) water temperature of Lake Suwa from 1977 to 2007.

3. 諏訪湖における水温連続観測

諏訪湖湖心における 2007 年夏期の水温変動を Fig. 3 に示す。諏訪湖は浅い湖であるため、下層でも水温の日周変動が見られるが、7 月から 8 月末まで、表層と下層の水温は異なり、全層循環していないことが分かる。この間、10 分間から 8 時間程度、短期的な表層と下層の水温差の解消が何回も生じているが、その後、再び水温成層が生じ、決して水温分布は均一にならない。また、2007 年夏期に湖下層の水温は上昇するだけでなく、7 月中旬には一旦低下していた。

まず、短期的に生じた湖水の鉛直混合であるが、この上下層の水温差が解消されたときには、風力 5 に相当する風が吹いており、これが原因と考えられた。その後の水温成層の再形成には、太陽光による表層水の加熱と、底泥による下層水の冷却

が関与しているものと思われる。一方、7 月中旬の下層水の水温低下は、降雨後に湖水よりも水温が低く、懸濁物質濃度が高い河川水が湖下層へ大量に流入したためと考えられた。このことは、降雨後に河川水のイオン濃度が低下し (Fig. 4)、それに対応し、湖水、特に下層水のイオン濃度が低下していたこと (Fig. 5) から支持される。懸濁物質の沈降に伴う水塊の密度差の解消とイオンの拡散により、この上下層のイオン濃度差が解消したのは、約 2 週間後であった。不均一化の要因が異なるため、諏訪湖における水温とイオン濃度の鉛直分布は必ずしも対応しないが、イオン濃度の均一化に、温度成層の形成や崩壊が関わっていることが確認された。

次いで、各水深の水温日較差を見ると、水深 2m までは水深とともに減少していたが、水深

Fig. 3 Water temperature of each depth in Lake Suwa (2007).

Fig. 4 Sodium concentration of each inflow river and precipitation in 2007 summer.

4m や 5m ではかえって大きくなっていた。下層の水温変動も、およそ 24 時間周期で生じていたが、上述の通り、中層では水温の日変動がほとんど見られないことから、これは湖面からの熱拡散により生じたものではない。また、底泥まで日光が到達するほど透明度が高くないことから、底泥の加熱によるものでもない。おそらく、この底層の水温変動は、風に伴う吹送流、もしくは、湖水の内部セイシュによる水塊の移動、あるいは、湖水よりも水温の低い河川水の日周期的な流入（潜り込み）が原因と思われる。

諏訪湖では北西または南東の風が卓越し、風向

Fig. 5 Sodium concentration of each depth of Lake Suwa in 2007 summer.

により沿岸部での吹送距離が変化する。すなわち、北西風の下では、北部沿岸付近の吹送距離は短い、南東風の下では長くなる。吹送距離は波高に関わるため、北部沿岸では、北西風よりも南東風で波が高くなりやすく、鉛直混合しやすくなる。北部沿岸付近と湖心における、水温変動を Fig. 6 に示した。左軸には水深 1m と 4m の水温差を示したが、湖水の鉛直混合によりこの水温差は減少する。南東風の下（16 日、18 日、19 日、20 日、21 日）では、湖心よりも北部沿岸での水温差が先に解消していた。また、西北西の風の下（15 日、17 日深夜、22 日、23 日）では、湖心の方が北部沿岸よりも水温差が小さく、また水温差の解消も早かった。これらは、いずれも波による湖水の鉛直混合の結果と考えられた。また、沿岸部の 7 月 15 日午前および 7 月 18 日午前の水温差の拡大は、下層水の水温低下によるものであり、前日の降雨に伴い（Fig. 4）、河川流量が増大し下層へ潜り込んだものと考えられた。しかし、湖心の観測点では、同様な急激な水温低下は見られず、湖流等により、水温の低い水塊が下層部を移動した可能性も高い。温度ロガーによる水温連続観測により湖水の鉛直方向の混合状態を把握することはできた

Fig. 6 Difference of surface (1m) and bottom (4m) water temperature, and wind speed and direction at Lake Suwa in July 14-24 2007.

が、水平方向の動きを把握することは観測点が少なく不可能であった。

以上より、温度ロガーを用いた湖水温度の連続観測によって、2007年夏期の諏訪湖では、強風により温度成層が崩壊し、その後、再形成されていることが明らかになった。また、水温成層の形成に際し、冷たい河川水の流入も一役買っていることも示され、諏訪湖における湖水の鉛直混合には、風や雨といった気象現象が大きく関わっていた。

Ⅳ. 諏訪湖の「定期観測（透明度の測定）」

1. 透明度観測の意義

筆者らは、1977年より、富栄養化が進行した諏訪湖において、その浄化過程を把握するため、水質の定期観測を継続している。湖水の富栄養化に関わる水中での生物生産と栄養塩の物質循環を理解するため、水温、溶存酸素、光量子、pH、懸濁物質、クロロフィル、栄養塩（窒素・リン）とあわせ、透明度の観測を行っている（沖野・花里、1997；花里・小河原・宮原，2003；宮原，2007）。ここでは、透明度を中心に解説する。

透明度は、測定原理が単純なため、個人差が少なく、観測に要する時間も短い。また、透明度盤を自作することも可能で、誰もが容易に観測することができる水質項目である。通常、センチメートル単位まで計測するが、数センチメートルの透明度の違いに大きな意味はない（新井，2003）。

底が見える池や水深の浅い河川では、透明度を観測することはできない。その場合は、採取した水の透視度を測定することとなる。

透明度は、上述の通り水の濁りの指標であり、湖沼においては、融雪等に伴う出水を除けば水の濁りが植物プランクトンに依存することが多く、それらの指標となる懸濁物質、クロロフィルあるいは化学的酸素要求量を測定しなくても、透明度から、植物プランクトンの現存量の変化の概要を知ることができる。また、補償深度は透明度の約2倍程度とされ、照度計を用いなくても水中の光環境を推定することもできる。さらに、植物プランクトンの増殖には、光だけでなく、湖への栄養塩の負荷とその循環が大きく関わっている。従って、継続して透明度を観測することで、間接的にはあるが、湖内の生物生産と物質循環の変化も知ることができる。このように、透明度は、単純ではあるが、湖の生態系を理解する上で、有用な水質項目である。しかし、透明度は、植物プランクトンの増殖などによって、日変化や季節変化するため、水質の比較や評価には、長期にわたり繰り返し観測する必要がある。

2. 諏訪湖における透明度観測

諏訪湖の透明度の観測結果をFig. 7に示した。観測値の季節変動が大きいため、定期観測開始直後の5年間（1977年～1981年）の透明度の季節変化をFig. 8に、最近の5年間（2002年～2006

Fig. 7 Secchi disk transparency of Lake Suwa from 1977 to 2007.

Fig. 8 Secchi disk transparency of Lake Suwa from 1977 to 1981.

Fig. 9 Secchi disk transparency of Lake Suwa from 2002 to 2006.

年)を Fig. 9 に拡大して示した。定期観測開始直後は、夏期にアオコが発生し、6月あたりから透明度の低下が見られたが (Fig. 8), 最近では秋に透明度の低下が見られるものの、定期観測開始直後と比べ、夏および秋の透明度が改善してきている (Fig. 9)。特に、1999 年以降、夏期でも透明度が 1m 程度に保たれ、それまで見られた夏期の透明度の低下が見られなくなった。このように、一旦、富栄養化が進んだ諏訪湖の水質が改善してきたことを、透明度の観測から知ることができた。

諏訪湖の透明度は、湖水表層付近の植物プランクトン量を反映しており、その指標であるクロロフィル a 濃度と強い相関があることが定期観測の結果からも示されている (Fig. 10)。すなわち、近年、諏訪湖では夏期の植物プランクトンの減少が著しいと言える。これは、下水道の整備により、窒素やリンといった栄養塩の負荷が減少してきたためと考えられる。諏訪湖のリン酸態リン濃度は、

Fig. 10 Correlation of Secchi disk transparency, suspended solid and chlorophyll-a.

1998 年までは夏期に上昇していたが、1999 年以降、リン濃度の季節変化は見られなくなっている (Fig. 11)。一般に、成層する富栄養湖では、夏期に微生物活動によって酸素濃度が低下する底泥が

らリン酸態リンが溶出し（内部負荷が増大し）、植物プランクトンの増殖を促すことが知られているが、諏訪湖では低酸素が解消されていないにも関わらず（Fig. 12）、リン酸態リン濃度の上昇は見られなくなった。すなわち、浄化の結果、底泥中のリン濃度が減少し、植物プランクトンが減少したと言える。流域下水道の普及により、栄養塩の外部負荷は、近年、ほぼ一定に保たれるように

なり、夏期の内部負荷が減少したことが、諏訪湖の透明度に反映していると言える。

上述の通り、近年、栄養塩濃度の季節変化は見られなくなっているが、春や秋に比べ、夏期の透明度が高くなっている。これは、栄養塩負荷量の減少だけでなく、湖水中での栄養塩の物質循環が大きく関与していると考えられる。諏訪湖は浅いながらも、夏期には弱い水温成層が生じ、湖水の

Fig. 11 Concentration of reactive phosphorus in Lake Suwa from 1977 to 2007.

Fig. 12 Dissolved oxygen of each depth in Lake Suwa from 1977 to 2007.

鉛直混合が抑制される。すなわち、表層付近の生産層と下層の分解層との混合が抑制され、表層への無機化された栄養塩の供給が滞りがちになるため、植物プランクトンの現存量が夏期に減少したものと考えられた。このように、湖内での物質循環の結果である、植物プランクトンの現存量の変化も、透明度の変化から推測することができた。

また、湖内 60 地点における調査から、透明度の分布は均一ではないことも示されている（柳町ほか，2008）。透明度と水温との相関が見られることから、湖水の混合状態が場所によって異なることが、その原因かもしれない。このような湖内での水質不均一性を作り出す要因を、湖水の動きと合わせて解明することが、今後の課題と言える。

V. 堆積物中の「ダイオキシン類分析」

1. ダイオキシン類汚染

湖沼または海洋堆積物中に含まれる難分解性有機化合物の組成や量を明らかにすることで、古環境を復元することができる。そのような生物由来の有機化合物をバイオマーカーと言う。一方、人工的に作り出された化合物にも、難分解性のものが多く知られている。有機塩素系化合物の DDT など、残留性有機汚染物質（POPs）と呼ばれる一連の化合物は、長距離移動性と生物蓄積性を併

せ持ち、発生源から遠く離れた地域の生物に蓄積し、影響を及ぼす。ダイオキシン類もその 1 つである。これらも堆積物中に長期にわたり残存し、汚染状況の変遷、すなわち人間活動の変遷を知る指標となる。

ダイオキシン類は、多塩素化 dibenzo-*p*-dioxin (PCDDs), 多塩素化 dibenzofuran (PCDFs), ダイオキシン様多塩素化 biphenyl (PCBs) の総称であり、いずれも、同一平面上に塩素が結合した 2 つのベンゼン環が位置する、難分解性の化合物群である (Fig. 13)。その量は、最も毒性の強い 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin に換算した毒性当量として表される。このダイオキシン類の発生源としては、①塩素を含む化合物の燃焼、②農薬や PCBs 製品の不純物、③塩素漂白に伴う生成が知られている。過去に使用された農薬 (除草剤: PCP, CNP) に不純物として含まれていたダイオキシン類は、近年問題となった燃焼由来のダイオキシン類とは区別し対処する必要がある。

ダイオキシン類は、発生源、すなわち生成過程により、3 つの基本構造だけでなく、結合する塩素の数と位置の異なる多数の同属体、異性体（コンジェナー）の組成が異なることが知られている（安原，1999; 宮田，1999）。除草剤の合成では、塩素化フェノールが主原料となるため、塩素化フェノールが重合した特定の PCDDs が生じやす

Fig. 13 Structures of Dioxin

い。一方、燃焼時にはデノボ合成と呼ばれるラジカル反応によってダイオキシン類が生成するが、燃焼時の塩素含有量と水蒸気含有量によって生成物が異なり、多様なダイオキシン類が生じることが知られている。燃焼由来のダイオキシン類には、PCDFsの割合が比較的高いことが多い。他のPOPsと異なり、ダイオキシン類は、いくつかの反応経路で生成される化合物群であるため、そのコンジェナー組成から発生源を推定することができる。

すなわち、発生源ごとに化学物質の組成が異なれば、混合物である堆積物中の化学物質がどのような発生源の影響を強く受けているかを明らかにすることができる。これをケミカルマスバランス法と言う。この前提として、時間経過とともに組成が変化しないこと、また、発生源試料の化学物質組成と、その変動幅を予め知ることが必要となる。ダイオキシン類は難分解性の化学物質であること、多くの発生源試料についてコンジェナー組成が明らかになっていることから、ケミカルマスバランス法に適した化学物質群と言える。

一方、山火事によってもダイオキシン類は生じるため、ダイオキシン類は完全に人工的な化合物とは言えない。事実、100年以上前の湖沼堆積物からも燃焼由来と思われるダイオキシン類が検出されている。実際問題として、上述のケミカルマスバランス法で各発生源の寄与を評価できるのは、人類が農薬やPCBsを大量生産し始めた1950年代以降の堆積物だけとなる。

この堆積物中のダイオキシン類の分析操作はそれほど難しいものではないが、ダイオキシン類が有害な化学物質であるため、特別な空調・排水処理設備などを備えた施設でないとダイオキシン類を扱うことはできない。また、上述のコンジェナー組成を明らかにするためには、高額な分析機器(高分解能GC-MS)を用いる必要があり、200種近い個々のコンジェナーの濃度を知ることは容易でない。全てのコンジェナーの値が分からなくても、公表される限られたコンジェナー組成からでも、試料中のダイオキシン類の発生源を推定すること

はできる。毒性を有するPCDDsとPCDFs計17種のコンジェナーの濃度は公表されることが多く、それだけでも発生源の推定には充分である。

一方、古環境の復元において、堆積物の年代推定や堆積速度を明らかにする必要がある。年代推定には、放射性同位体や火山活動が重要な手がかりとなることは周知の事実であるが、近年に限れば、洪水情報も年代推定に役立つ。以下、諏訪湖の堆積物の分析結果を例にわが国のダイオキシン類汚染について述べる。

2. 諏訪湖底質中ダイオキシン類の発生源

Ikenaka et al. (2005 a) により分析された、諏訪湖表層底質、水田土壌、土地利用の異なる河川の底質、大気粉塵のダイオキシン類(PCDDs, PCDFs) 17種の組成(毒性値に占める割合)をFig. 14に示した。大気粉塵(e)では、2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofuranの毒性値に占める割合が高く、市街地を貫流する河川の底質(d)では1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo-*p*-dioxinと2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofuranの占める割合が高かった。一方、水田土壌(b)、農耕地を流れる河川底質(c)と諏訪湖底質(a)とはコンジェナー組成が極めて良く似ており、1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo-*p*-dioxinと1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo-*p*-dioxinの毒性値に占める割合が高かった。前述の通り、大気粉塵では、PCDFsの割合が高いことから、これらは主に燃焼由来のダイオキシン類と考えられた。また、水田土壌ではPCDDsの割合が高く、過去に除草剤が使用されたことも踏まえ、水田土壌のダイオキシン類は農薬由来と考えられた。さらに、諏訪湖底質については、水田土壌と極めてよく似たコンジェナー組成を示しており、これらのダイオキシン類は水田から河川を通じ諏訪湖へ流入したものと考えられた。既にダイオキシン類を含む除草剤の使用は禁止されているため、過去に使用された農薬の不純物のダイオキシン類が水田土壌に残留し、現在も諏訪湖に流入し続けていると言える。しかし、その濃度は、最大の湖心底質でも乾土1gあたり37 pg-TEQ(毒性当量)であり、底質の環境基準値

Fig. 14 Congener profile of each sample.

150pg-TEQ には及ばない。

3. 諏訪湖底質柱状試料中のダイオキシン類

次いで、Ikenaka et al. (2005 b) により分析された、諏訪湖堆積物柱状試料の「みかけ密度」を Fig. 15 に示す。「みかけ密度」とは、堆積物単位体積中の固形物の重さのことである。洪水時には相対的に粒径の大きな土砂が流入するため、み

かけ密度は大きくなる。すなわち、みかけ密度の上昇は過去の洪水の痕跡の可能性が高い。堆積物の「みかけ密度」は、圧密されるため表層から下層にかけ上昇するが、諏訪湖の堆積物では、表層から 25cm, 45cm, 60cm 付近にみかけ密度の極大が存在する。これらは、過去の洪水の記録と、洪水以前の堆積物柱状試料の分析結果から、1983 年、1961 年および 1950 年の洪水時の土砂の流入

Fig. 15 Apparent density of the sediment core from Lake Suwa.

Fig. 16 Vertical change of dioxins concentration in the sediment core from Lake Suwa.

と考えられた。これら年代推定は、別途行われた放射性元素の分析結果と矛盾しない。次いで、堆積物中のダイオキシン類濃度を Fig. 16 に示した。ダイオキシン類濃度の極大値は 1961 年と 1983 年の洪水の間にあり、その後、濃度は低下傾向を示している。洪水時には、大量の土砂が流入するため、わずか数日で 10cm 近く堆積していたことも明らかになった。柱状試料中の全ダイオキシン類量に対し、洪水時（主に 1983 年）のものは約 50% も占め、平時でなく出水時の流入の寄与が著しく大きいことが明らかとなった。また、ダイオキシン類濃度の極大値が見られた時期は、不純物としてダイオキシン類を含む農薬 PCP（1955 年登録 1996 年失効）、CNP（1965 年登録 1990 年失効）が盛んに使用された時期であり、先のコンジェナー組成だけでなく、歴史的な観点からも、諏訪湖堆積物中のダイオキシン類は農薬由来であると考えられた。

近年、燃烧由来のダイオキシン類による環境汚染が問題となったが、諏訪湖だけではなく、わが国の湖沼や内湾の堆積物から検出されるダイオキシン類の多くは、過去に使用された農薬由来と考えられている。燃烧由来のダイオキシン類は、その規制とあいまって急激に減少し、環境省（2008）の推計では、未規制の 1998 年には全国で 8kg（毒

性当量）であったものが 2007 年には 300g 程度となっている。このように大気中に放出されるダイオキシン類は減少したものの、ダイオキシン類は分解しにくい材料、土壌等に残留しているものが、いまだ流入し続けていると言えよう。一旦、環境を汚染してしまうと元に戻すのには非常に長い時間が必要である。

Ⅵ. おわりに

長野県諏訪湖を例に、湖沼における「水の動き」と化学物質の動態や生物活動との関わりについて、様々な観測法の特徴とその成果について述べた。湖沼の水質や底質は、気象や人間活動の影響を強く受けており、それを映す良い鏡である。また、湖沼では、専門家や高価な機器に頼らなくても、一般市民が日々観察し続けることで、容易にその水質や生態系を理解することができる。湖沼は、自然環境と人間活動との関係を理解するための身近な教室と言えよう。

謝 辞

諏訪湖における水温観測に際し、藤森康平氏のご厚意により、同氏所有のイネス用のブイに温度

ロガーを設置させていただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 新井 正 (2003) : 「水環境調査の基礎改訂版」, 古今書院, 79-81.
- 沖野外輝夫・花里孝幸編 (2005) : アオコが消えた諏訪湖, 山岳科学叢書 3, 信濃毎日新聞社, 44-50.
- 沖野外輝夫・花里孝幸 (1997) : 諏訪湖定期調査 : 20 年間の記録, 信州大学理学部臨湖実験所報告, **10**, 7-249.
- 国立天文台編 (2006) : 「理科年表 環境編 第 2 版」, 丸善, 117.
- 花里孝幸・小河原誠・宮原裕一 (2003) : 諏訪湖定期調査 (1997 ~ 2001) の結果, 信州大学山地水環境教育研究センター報告, **1**, 109-174.
- 宮田秀明 (1999) : 「ダイオキシン」, 岩波新書, 64-106.
- 宮原裕一 (2007) : 諏訪湖定期調査 (2002 ~ 2006) の結果, 信州大学山地水環境教育研究センター報告, **5**, 47-94.
- 安原昭夫 (1999) : 「しのびよる化学物質汚染」, 合同出版, 185-225.

柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2008) : 2007 年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布, 信州大学環境科学年報, **30**, 21-39.

Ikenaka, Y., Eun, H., Watanabe, E., Kumon, F. and Miyabara, Y. (2005 a): Estimation of sources and inflow of dioxins and polycyclic aromatic hydrocarbons from the sediment core of Lake Suwa, Japan, *Environmental Pollution*, **138**, 530-538.

Ikenaka, Y., Eun, H., Watanabe, E. and Miyabara, Y. (2005 b): Sources, distribution, and inflow pattern of dioxins in the bottom sediment of Lake Suwa, Japan, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **75**, 915-921.

環境省 (2008) : ダイオキシン類の排出量の目録 (排出インベントリー), 2-3. <http://www.env.go.jp/air/report/h19-09/full.pdf>

気象庁ホームページ, 気象統計情報 <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>

(受付 : 2009 年 5 月 29 日)

(受理 : 2009 年 10 月 1 日)

この論文に対する「討論」を 2010 年 8 月 15 日まで受け付けます。