

諏訪湖の集水域の概要

An outline on the watershed of Lake Suwa

沖野外輝夫・細田耕司
信州大学理学部物質循環学科 〒390-0802 松本市旭 3-1-1

Tokio OKINO and Kouji HOSODA
Faculty of Science, Shinshu University,
Asahi 3-1-1, Matsumoto, Nagano 390-0802, Japan

1. はじめに

諏訪湖はわが国でもっとも早くに富栄養化が進行した湖として知られていると同時に、研究資料の集積が多い湖でもある。1891年から1980年までの間の陸水学、生物学、地質学に関する報文の数は、諏訪湖に関しては608編、その集水域に関しては468編であり(倉沢ら, 1982)、1980年以降も多く報告が行われている。

これらの資料からは諏訪湖が1900年初頭、すでに中栄養から富栄養に移行しつつあり、その原因が集水域の人間活動にあったことが知られる。中でも明治期の蚕糸産業の発展は、産業活動そのものから発生する排水による水質汚染ばかりでなく、人口の集中による生活排水の増加、エネルギー供給源としての森林伐採による土砂流出など、水収支への影響を通して諏訪湖の生態系変化に大きく関わったはずである。

さらに、1960年代からのわが国の高度経済成長期には、わが国唯一の内陸新産業都市として指定されたことから明らかなように、諏訪湖集水域での産業活動は活発化し、人口の集中、生活水準の高度化が諏訪地域にも押し寄せた。結果として、産業系、農業系、観光系、生活系など、各種の人間活動から排出される汚染物は極度に増加し、諏訪湖はわが国の中でもっとも早い時期に水質汚濁現象と富栄養化現象を引き起こし、諏訪湖の水質、生物相に大きな影響を与える原因になった。

信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所で実施してきた諏訪湖湖心部での定期観測も、このような湖の変化を長期間モニターすることによって、湖沼生態系と人間活動の関係を明らかにし、湖沼生態系を著しく変えない方策を社会に提起する基礎的な資料の蓄積のために開始された、という経緯をもっている。そのきっかけは1977年度から実施された文部省科学研究費「環境科学特別研究」(代表者: 倉沢秀夫信大教授, 1977~1982)である。

2. 諏訪湖集水域の自然的概要

集水域の自然的概要を倉沢ら(1987)をもとにして以下に示す。

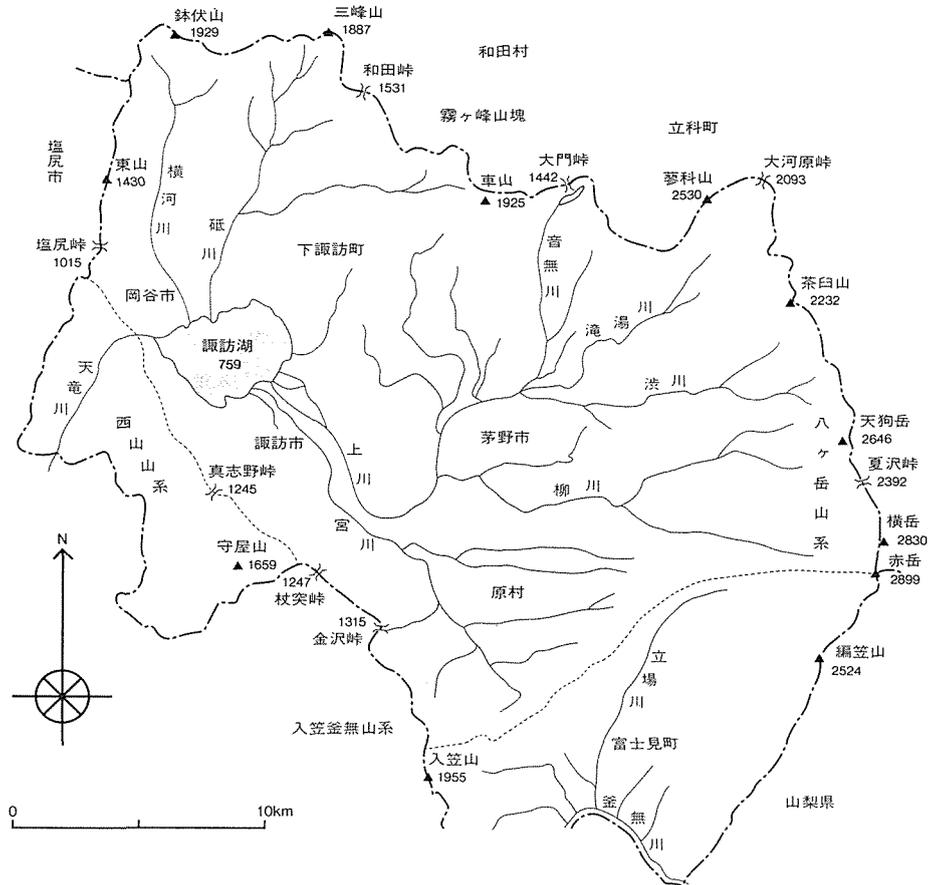


図 1. 諏訪湖の集水域と水系

Fig. 1. Catchment area of Lake Suwa and its river system

諏訪湖集水域の位置は東西を東経 138 度 03 分から 138 度 23 分、南北を北緯 36 度 07 分から 35 度 55 分に囲まれる地域にある(図 1)。分水嶺で囲まれる集水域の面積は 531km²、標高差は諏訪湖水面の 759m を最低として、八ヶ岳、赤岳の 2,893m を最高とする、高度差 2,134m である。集水域の約 75 %は針葉樹や夏緑広葉樹の森林で占められ、標高 1,000m を限界として水田、(6.2 %)と畑地(4.9 %)合わせて、58km² の農耕地があり、八ヶ岳山麓ではキャベツ、レタス等の高原野菜の栽培が盛んである。

集水域の代表的な河川は、霧ヶ峰、蓼科、八ヶ岳を水源とする上川、八ヶ岳の南麓と南アルプス前衛の入笠山を水源とする宮川、霧ヶ峰、三峰山を水源とする碓氷川、鉢伏山を水源とする横河川の 4 河川である。中でも、もっとも流域の広いのは東側から流入する上川で、全集水域面積のおよそ二分の一を占めている(261km²)。流域の広さでは第 2 位の宮川(120km²)は八ヶ岳南麓に展開する農耕地を貫流することで、農業排水の影響のもっとも大きい河川であるが、入笠山側からの河川の水質は人為的な影響は少ない。碓氷川(72km²)と横河川(45km²)は北側から流下する河川で、流域面積は横河川が 4 河川のうちではもっと

も小さく、流程も短い。

集水域の斜面勾配としての特徴は、 5° 以下の平坦地が全面積のおよそ 20 % に過ぎず、逆に 50° 以上の急勾配の地域が 5km^2 存在し、 $20 \sim 25^{\circ}$ の地域がおよそ 20 % ともっとも多くを占めていることである。これは、この地域が平坦地を欠き、急峻な山岳地を擁すると共に、中間部は緩・急の傾斜地で構成されていることを示すものであり、河川勾配もこの地形特性により急勾配の区間が多いことを物語っている。

各河川の比流量を 1975 年と 1976 年の日河川流量資料から計算した結果では、河川勾配が $1/20 \sim 1/30$ 程度の急勾配の河川、横河川と上川上流部（滝の湯川）では、前者が $4.4 \sim 5.5\text{m}^3/\text{sec}/100\text{km}^2$ 、後者は $3.9 \sim 5.6\text{m}^3/\text{sec}/100\text{km}^2$ となっている。比較的勾配の緩い上川下流部と宮川では $1.8 \sim 2.7\text{m}^3/\text{sec}/100\text{km}^2$ であり、急勾配の河川のほぼ半分程度の比流量となっている。

1945 年から 1970 年の諏訪湖測候所記録から計算された年間平均降雨量は $1,383\text{mm}$ である。しかし、標高 $1,250\text{m}$ の蓼の海で 1960 年から 1970 年まで測定された結果によると、年間平均降雨量は $1,676\text{mm}$ となり、前記平地部の降雨量よりも 300mm 程度多い量となっている。文部省科学研究費環境科学特別研究「諏訪湖集水域生態系研究」の一環として 1978 ~ 1979 年にかけて測定された蓼科高原（標高 $1,600\text{m}$ ）でも年間降雨量は $1,505\text{mm}$ を観測し、標高 $2,170\text{m}$ の麦草峠付近では 5 月 2 日から 11 月 20 日までのおよそ 7 か月間で、降雨量はすでに $1,430\text{mm}$ に達していた。以上のことから山間部では $1,600\text{mm}$ 程度の降雨があるものと推定される。

諏訪湖へ流入する河川水の総量は直接測られてはいないが、諏訪湖からの流出部、釜口水門での毎日の流出量をもとにして算出されている。その量は 1976 年から 1980 年までの 5 年間平均で 5.5 億トン ($4.4 \sim 6.4$ 億トン) である。これに集水域全域からの年間の蒸発散量を加え、降雨量に換算すると $1,773\text{mm}$ となり、平地部の実測値を 400mm 程度上回る（沖野, 1984）。これをもとにして集水域内での降雨の流出率を計算すると 58.7% となるので、平地部で観測された年間降雨量 $1,365\text{mm}$ をもとにして算出された流出率 76% は過少評価であろう。

流入河川の間活動の影響の少ない上流部での水質は、酸性河川を除くと、 $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)$ と SiO_2 の当量比は 0.2 で一定となり、その当量比の大小で集水域内の河川は大きくは三つのグループに類型化することができる。当量比のもっとも高いのは砥川で、 Ca/Mg 比 (4.4) も Na/Cl 比 (9.7) ももっとも高い。前記当量比が中間の河川は上川上流部と霧ヶ峰を水源とする砥川の支流、東俣川であり、 Ca/Mg 比 ($1.8 \sim 2.9$)、 Na/Cl 比 ($4.2 \sim 7.3$) も中間的な値となる。もっとも当量比が低いのは横河川と宮川上流の入笠山側から流出する河川で Ca/Mg 比 ($0.5 \sim 0.7$)、 Na/Cl 比 ($2.0 \sim 2.2$) は共にもっとも低くなっている。上流域河川の水質は小林 (1960) による日本の河川の平均水質と比較すると、 K^+ 、 Mg^{++} 、 SiO_2 、 HCO_3^- はほぼ同様であり、 Na^+ 、 Ca^{++} 、 Cl^- 、 SO_4^{--} は日本の河川の平均値よりかなり低くなっている。

代表的な河川水の夏期の化学組成は以下のようになっている。横河川では、 pH が $7.30 \sim 8.23$ 、 $\text{EC}(25^{\circ}\text{C})$ が $39.8 \sim 98.5 \mu\text{s}/\text{L}$ 、 SiO_2 が $7.78 \sim 20.9\text{mg}/\text{L}$ 、2 箇所 $38\text{mg}/\text{L}$ が得られている。アルカリ度は HCO_3^- にして $15.6 \sim 34.0 \mu\text{eq}/\text{L}$ 、 Na は $1.89 \sim 3.37\text{mg}/\text{L}$ 、 K は $0.09 \sim 0.58\text{mg}/\text{L}$ 、シリケートが高い地点では $1.57 \sim 1.84\text{mg}/\text{L}$ 、 Ca は $4.72 \sim 12.2\text{mg}/\text{L}$ 、 Mg は $0.44 \sim 1.60\text{mg}/\text{L}$ 、 Cl は $0.37 \sim 1.01\text{mg}/\text{L}$ 、 SO_4 は $1.36 \sim 18.1\text{mg}/\text{L}$ であった。

もっとも流域の大きい上川は、大部分が pH6.88 ～ 8.36 であるが、支流には 3.78 ～ 5.12 の酸性河川もある。EC(25 °C)は 19.3 ～ 61.0 μ s, 酸性河川では 100 ～ 310 μ s と高い。アルカリ度は高く 100 ～ 300 μ eq/L, シリケートも 10 ～ 50mg/L と横河川流域より一般に高いのが特徴である。Na は 0.87 ～ 5.50mg/L, 酸性河川では 6.73 ～ 19.5mg/L, K は 0.16 ～ 2.04mg/L, 酸性河川で 2.49 ～ 5.63mg/L, Ca は 1.54 ～ 5.86mg/L, 酸性河川で 11.9 ～ 20.1mg/L, Mg は 0.27 ～ 2.17mg/L, 酸性河川で 3.11 ～ 3.88mg/L, Cl は 0.13 ～ 7.84mg/L, 酸性河川で 11.7 ～ 22.1mg/L, SO₄ は 0.07 ～ 5.16mg/L, 酸性河川で 70 ～ 100 mg/L となっている。

これらの水質の違いは温泉水の影響を除けば、堆積岩, 安山岩, 変成岩といった地質条件の差によるものである (細田, 1996)。

3. 集水域からの窒素, リンの負荷量

諏訪湖集水域の人口は 1997 年 3 月 31 日現在で、諏訪湖に近接する岡谷市, 諏訪市, 下諏訪町がそれぞれ 43,272 人, 51,678 人, 24,371 人, 上流域の茅野市, 富士見町, 原村がそれぞれ 52,315 人, 2,813 人, 7,176 人であり、およそ 182,000 人が集水域に生活している。富士見町が少ないのは、町の人口の大部分が富士川水系に属しているためである。

諏訪湖へ流入する河川は大小合わせて 31 である。1977 年に流入河川のうち上川を除いて、負荷量の多い 14 河川について 24 時間, 2 時間間隔での水質調査が行われた。その結果によると、COD の日平均濃度が環境基準 AA 類型 (2ppm 以下) を下回る河川は横河川と砥川の 2 河川, A 類型 (2 ～ 4ppm) は武井田川, 半ノ木川, 舟渡川の 3 河川で、調査した 14 河川中 9 河川は環境基準類型 B を越える汚染度であった。もっとも汚染度の高かった河川は塚間川, 柳並川, 衣ノ渡川の 3 河川で、COD の日平均濃度は 20ppm 以上という極度の汚染を示していた。

しかし、1997 年の水質簡易テストによる同様の調査の結果によると、現在では各河川

表 1. 諏訪湖への集水域からの窒素, リン負荷量の変遷
Table 1. Changes in the loading amounts of nitrogen and phosphorus
from the catchment area of Lake Suwa

沖野他 (1981)		年間平均	5 ～ 10 月 (養殖含む)
	N (kg/day)	4,226	4,776
	P (kg/day)	312.2	432.2
長野県 (1993)	年度		年間平均
	(1991)	N (kg/day)	1,635
		P (kg/day)	224.9
	(1996)	N (kg/day)	1,319
P (kg/day)		111.0	

共に 10ppm を上回る濃度は出現せず、日平均値も 5ppm 以下の状態となっている。その原因は 1979 年に稼働を開始した流域下水道の建設が進捗し、諏訪湖集水域での下水道整備率が 81 % に達したところによる大きい。特に、諏訪湖に接している都市部の岡谷市、下諏訪町では下水道の整備率が 98.1 %、99.6 % となり、1997 年度には下諏訪町下水道は接続率を向上する以外はほぼ整備を終了している。

下水道の終末処理場は諏訪湖の南東岸、流出河川、天竜川の対岸に建設されている。しかし、その処理水は処理場から湖底に沈められた放流管により天竜川への流出口、釜口水門の直上 200m の地点から水門に向けて湖内に放流されている。処理場への流入下水量は 1995 年で約 88,000ton/day、放流水の水質は BOD:11mg/l、COD:8.8mg/l、SS:2mg/l、全窒素:13mg/l、全リン:1.6mg/l と報告されている。

諏訪湖への負荷量、下水道の完成による諏訪湖水質と植物プランクトンの発生への効果についてはすでに報告されてきた（田中哲次郎ら、1978；平塚茂雄ら、1981a, 1981b；沖野外輝夫ら、1982）。当時の発生原単位から計算された窒素、リンの日負荷量は年間平均で窒素が 4,226kg/day、リンは 312kg/day である。しかし、当時は湖内での網いけすによる鯉の養殖が盛んに行われていたため、その養殖期間における負荷量はそれぞれ 4,776kg/day、432kg/day と推定されていた。

その後、下水道の稼働が諏訪湖への負荷量の低減の対策として効果をあらわし、集水域からの窒素、リンの負荷量も年々減少しつつある。表 1 にはその経年的変化を比較したが、それぞれに原単位をもとにした推定量であり、実測値ではない。下水道の稼働直後の 1981 年の流入負荷量に比較すると、1991 年には窒素で 38.7 %、リンで 72.1 % まで低減し、1996 年にはそれぞれに 31.2 %、35.6 % へと減少している。

その発生源別の内容は表 2 に示す通りであるが、この 5 年間でもっとも負荷が減少したのは窒素、リン共に生活系と産業系の負荷であり、そのほとんどが下水道の整備によるものである。このように人為的な負荷源への対策が進行すると共に農地系および自然系からの負荷比率が相対的に大きくなり、特に、農地系からの負荷に対する対策が大きな課題としてとりあげられている。また、自然系の中には市街地からの負荷も加わっていることが

表 2. 1991 年と 1996 年の諏訪湖への窒素とリンの負荷減別負荷量の比較

Table 2. Comparison of the loading amounts of nitrogen and phosphorus from each sources of the watershed of Lake Suwa in 1991 and 1996

長野県 (1993) 湖沼法 第二期計画 (1993) 第三期計画 (1997) 実績値	1991 年				1996 年			
	N		P		N		P	
	kg/day	%	kg/day	%	kg/day	%	kg/day	%
自然系	613	37.5	48.1	21.4	660	50.0	53.1	47.8
生活系	355	21.7	41.6	18.5	247	18.7	27.8	25.0
産業系	340	20.8	112.5	50.0	112	8.5	12.3	11.1
農地系	262	16.0	9.4	4.2	254	19.3	8.5	7.7
水産系	65	4.0	13.3	5.9	46	3.5	9.3	8.4
	1,635	100	224.9	100	1,319	100	111.0	100

ら、現在作成中の湖沼法による第三期計画では市街地からの負荷削減対策が今後の諏訪湖浄化の課題として検討されている。

引用文献

- 平塚茂雄他 (1981a). 諏訪湖における物質循環のモデル化 諏訪湖集水域生態系研究, 7: 63-85.
- 平塚茂雄他 (1981b). 湖の物質循環モデルと水質の予測 (諏訪湖) 国立公害研究所調査報告, 18: 92-113.
- 細田耕司 (1996). 諏訪湖流入河川上流部における基本水質の研究 1995年度信州大学理学部地質学科卒業研究 72pp.
- 小林 純 (1960). 日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究 農学研究, 48: 63-106.
- 倉沢秀夫他 (1982). 諏訪湖とその集水域における陸水学, 生物学および地質学の文献目録 (1891-1980)の研究小史 信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所報告, 4: 28-84.
- 倉沢秀夫他 (1987). 諏訪湖集水域生態系研究 信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所報告, 6: 1-129.
- 沖野外輝夫他 (1982). 諏訪湖における炭素, 窒素および磷の収支と湖内での循環の現状 国立公害研究所調査報告, 22: 35-42.
- 沖野外輝夫 (1984). 諏訪湖集水域生態系における水収支 『環境科学』研究報告書 B211-R15-3 (都市生態系の統合化—水をつなぎ手として—Ⅱ) 71-78。
- 田中哲次郎他 (1978). 諏訪湖における物質循環のモデル化・諏訪湖集水域生態系研究, 1: 73-90.