

平成 21 年 6 月 5 日現在

研究種目：基盤研究（A）  
 研究期間：2005 ～ 2008  
 課題番号：17201012  
 研究課題名（和文）水質浄化対策が引き起こす富栄養湖の生態系構造の変化とそのメカニズムの解明  
 研究課題名（英文） Changes in ecosystem structure associated with the restoration of lake water and analysis of their mechanisms.  
 研究代表者  
 花里 孝幸（HANAZATO Takayuki）  
 信州大学・山岳科学総合研究所・教授  
 研究者番号：60142105

研究成果の概要：水質汚濁問題を抱えていた諏訪湖の水質が近年になって改善されはじめ、それに伴って生態系が大きく変化し始めた。本研究では、その生態系変化の様子とメカニズムの解明を試みた。諏訪湖では、アオコ減少、不快昆虫ユスリカの減少、水草の増加、大型ミジンコの増加がほぼ同時期に起きた。生態系のレジームシフトが起きたといえる。植物プランクトンの生産力低下が生物間相互作用を介して生態系全体に波及したと考えられた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	20,800,000	6,240,000	27,040,000
2006 年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2007 年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2008 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
年度			
総計	37,300,000	11,190,000	48,490,000

研究分野：陸水学、水界生態学、水産学、社会学、環境工学、環境化学

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：水質汚濁、富栄養湖、水質浄化、湖沼生態系、生態系構造変化

## 1. 研究開始当初の背景

1960 年代に国内の多くの湖沼が富栄養化し、水質汚濁が大きな環境問題になった。そこで、水質浄化対策が講じられてきたが、浄化はなかなか進んでいない。その状況の中で、長野県諏訪湖では、近年アオコの発生量が大きく減少し、水質浄化が顕著に進み始めた。それと共に生態系全体が変化し始め、それが、人間社会に複雑な影響を与えるようになった。その影響には、好ましいものと、好ましくない

いこと（例えば漁獲量の減少）がある。そこで、水質浄化対策が富栄養湖の生態系をどのように変えるのか、を明らかにする必要があると考えた。それは、今後、諏訪湖に遅れて水質浄化が進み始めるであろう、多くの湖沼で、今後の対策を考える際に大きな意義を持つものと考えた。

## 2. 研究の目的

諏訪湖で生じた現象に対して次の疑問を持

ち、その疑問に答えることを目的とした。

(1) 諏訪湖ではなぜ最近になって水質浄化効果が現れたのか。

(2) アオコ形成藻類はなぜ減少したのか。

(3) 動物プランクトン群集には大きな変化が起きなかったように見られるが、本当に変化していないのか。それはなぜか。

(4) アオコ発生量の減少とほぼ同時にユスリカの発生量が減ったが、それはなぜか。

(5) アオコの発生量の減少とほぼ同時に水草が増え始めたが、なぜか。

(6) 漁獲量が減っているが、それはなぜか。

(7) 住民は水質浄化をどのように感じているのか、浄化に伴う生態系変化をどのように感じているのか。

### 3. 研究の方法

生態系の変化とそのメカニズムの解明については、それぞれの生物群毎に、各分担者が定期的な諏訪湖調査を行い、また、実験的な解析も行った。水質や湖流の影響についても、現場調査を行うと共に、機器を用いて分析した。諏訪圏域の住民の意識調査は、地元の市町村の協力を得て2回行った。毎年、分担者全員が集まり、それぞれの成果を報告し、生物群同士の相互関係やその後の研究計画について検討した。

### 4. 研究成果

まず、当初設定した課題毎に報告する。

(1) 諏訪湖の水質浄化進展で最も重要な役割を果たしたのが下水処理システムと考えられた。諏訪地域では住民の水質浄化の意識が高く、それがほぼ100%という下水道の普及率と接続率を達成させた。また、処理場からの排水を、流出河川の直上で放水し、ほぼ系外放流としたことの意義が大きかったと考えられた。このように、流入負荷(外部負荷)を抑えたため、湖底へのリンや窒素の蓄積量が減り内部負荷も減った。また、滞留時間が比較的短い(約40日)諏訪湖では、台風による増水が栄養塩を多く含む堆積物を除去する効果もあったと評価された。

(2) アオコ形成藻類の減少には、次の要因が関わったものと考えられた。

①下水道普及によるリンの流入負荷量の減

少(諏訪湖の全リン濃度は、2001年に環境基準値を下回った)。

②植物プランクトン量の減少によって有機物の沈降量が減った結果、リンの内部負荷量が減少した。

③湖内の溶存態リン濃度の減少による窒素/リン比の増加(この比が高くなると、ラン藻は増えにくくなると考えられる)。

(3) 長期的な動物プランクトン群集の解析から、アオコが減った1999年以後、年々大型ミジンコ、ノロが増えていることが明らかになった。また、諏訪湖の主要魚種であるワカサギの胃内容物調査から、ワカサギがノロを選択的に食べていることがわかった。このことから、ノロの増加は、魚が減少したことにより、捕食圧が低下したことが大きな要因と考えられた。このことは、諏訪湖の動物プランクトン群集を制御する大きな要因は、餌である植物プランクトンの減少というより、魚による捕食であったと考えられた。

(4) 諏訪湖で大発生し不快昆虫とされていたユスリカ(オオユスリカ、アカムシユスリカ)の現存量が、1999年頃に、それ以前の数百分の1にまで減ったことがわかった。この減少には餌量の不足が大きかったものと考えられた。水質浄化(流入栄養塩量の減少に伴う湖内栄養塩濃度の低下)によって、餌となる植物プランクトンの生産量の低下が原因したと考えられた。

(5) 水草の現存量の変化と様々な環境要因との相関を解析したところ、透明度との相関が最も高かった。そこで、アオコが減ったことで透明度が上昇したことが水草を増やす主要因になったと考えられた。また、昔優占していた沈水植物よりも、昔は少なかったヒシが大量に増えた。これは、アオコが大発生していた時期に、湖底に多くの有機物が沈降し、有機汚泥が作られたため、そのような底質を好むヒシが繁茂するようになったという結論を出した。

(6) 漁獲量や漁獲努力量等のデータから魚の現存量の変化を解析したところ、近年魚の量が減少していることが示された。この減少には、湖の水質浄化が大きく原因したと考えられた。すなわち、湖内の栄養塩濃度の低下で、植物プランクトンの生産量が低下し、それが、食物連鎖の上位にいる魚の生産量の低下につながったというものである。ただし、諏訪湖に侵入したオオクチバスやカワウなどの、魚食魚や魚食性の鳥の影響も考慮する必要がある。

(7) 湖の水質の評価には COD が用いられるが、その意味を住民はよく理解していない。住民は湖の透明度とアオコの発生量で水質の善し悪しを判断していることがわかった。また、水質浄化や生物多様性維持のために水草帯が発達することが、多くの湖で望まれているが、住民の多くは、多すぎる水草は好ましくないと感じている。住民にとっては水草が適度にあり、湖面が見えることが景観として重要であることがわかった。これは、長野県が行っている諏訪湖湖岸の再自然化工事の計画策定に大きく貢献すると思われる。

全体の研究成果から、以下のことを学んだ。

(1) 水質浄化を効果的に進めるには、下水処理場の排水を系外に放出することが肝要である。

(2) 水質浄化は生態系構造を変えることになる。これは、アオコによるカビ臭の発生が抑えられること、透明度が上昇して景観が良くなること、不快昆虫ユスリカの発生が減ることなど、人間社会にとって良い状況をつくるが、それだけでなく、漁獲量の減少、水草の大繁茂による船の航行の障害、景観の悪化など、人間にとって好ましくないことも生じさせる。

(3) 水質浄化が進むと、昔の水草（沈水植物）が回復するが、その水草でも、大量に繁茂すると船の航行の障害になり、また秋になって枯れた水草が湖岸に打ち上げられて腐り、問題を起こす。昔は水草は田畑の肥料として利用していたが、今はそれをしなくなったために増えた水草が問題を起こすようになった。したがって、水質浄化対策を進める際には、それによって変化する生態系と人間の社会システムのマッチ・ミスマッチを考える必要がある。

研究成果は、本研究プロジェクトの最終年度の平成 20 年 10 月に北海道大学で行われた日本陸水学会で課題講演として、一連の講演を行って報告した。多くの聴衆が詰めかけ、会議は盛況であった。

また、水環境学会誌 2009 年 5 月号特集記事「水質浄化対策が引き起こす富栄養湖の生態系構造の変化と人の生活との関わり」に本プロジェクトのメンバーが寄稿し、研究成果を報告した。

その他、講演や出版物によっても、本研究成果を広く一般に伝える努力をした。その結果、諏訪湖で生じている生態系変化については、全国の湖沼管理者、研究者の関心を集めるようになった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 27 件)

(1) 宮原裕一 (2009) 諏訪湖における水質浄化対策と水質変動. 水環境学会誌, 32(5), 2-5. (査読なし).

(2) 朴虎東 (2009) 諏訪湖で起きたアオコの激減とラン藻組成の変化. 水環境学会誌, 32(5), 9-11. (査読なし).

(3) 豊田政史 (2009) 湖水の動きと湖内環境. 水環境学会誌, 32(5), 12-14. (査読なし).

(4) 武居 薫 (2009) 諏訪湖における水草の増加及び漁獲量の減少とその要因、水環境学会誌、Vol. 32 No. 5、15-17. (査読なし).

(5) 永田貴丸・平林公男 (2009) 水質変化に伴う動物相の変化. 水環境学会誌 32(5) 18-21. (査読なし).

(6) 柳町晴美 (2009) 水質浄化に伴う水環境変化に対する住民の意識. 水環境学会誌, 32(5), 25-27. (査読なし).

(7) 花里孝幸 (2009) 諏訪湖の生態系変化から学んだこと. 水環境学会誌, 32(5), 28-29. (査読なし).

(8) 豊田政史, 宮原一道, 宮原裕一 (2009) : 諏訪湖において非一様風によって生じる水平循環流に関する時系列的検討; 水工学論文集, 53, 1273-1278. (査読あり).

(9) Hanazato, T., T. Nagata, M. Sakuma, H-D. Park, K. Hirabayashi, K. Takei (2009). Changes in ecosystem structure associated with the restoration of water quality in the shallow eutrophic Lake Suwa, Japan. Verh. Internat. ver. Limnol., (in press) (査読あり).

(10) Chang, K. H., T. Nagata, M. Sakamoto and T. Hanazato (2008). Day and night vertical distribution of rotiferan and crustacean zooplankton in Lake Suwa, Japan. J. Freshwat. Ecol., 23 : 165-168. (査読あり).

(11) Kimura, G., Hirabayashi, K. (2008) Distribution of adult *Cheumatopsyche brevilineata* (Trichoptera: Hydropsychidae) along the shore of Lake Suwa, Japan. Jpn. J. Environ. Entomol. Zool. 19:133-140. (査読あり).

(12) 豊田政史, 宮原一道, 疋田真, 宮原裕一 (2008): 超音波ドップラー流速計を用いた湖内懸濁物質濃度分布の推定; 応用測量論文集, 19, 55-60. (査読あり).

(13) Sakamoto, M., K.-H. Chang and T. Hanazato (2007). Plastic phenotypes of antennule shape in *Bosmina longirostris* controlled by the physical stimuli from predators. *Limnol. Oceanogr.*, 52: 2072-2078. (査読あり).

(14) 宮原裕一・池中良徳 (2007). 諏訪湖における多環芳香族炭化水素類の年間収支の推定. *環境化学*, 17: 649-648. (査読あり).

(15) 柳町晴美, 沼尾史久 (2007) 「諏訪湖環境に関する住民意識調査」全域集計結果の分析. 信州大学山地水環境教育研究センター研究報告, 第5号, 1-21. (査読なし).

(16) Liqiang Xie, Atsushi Yokoyama, Koya Nakamura and Park Ho-Dong (2007) Accumulation of microcystins in freshwater snail and fish in the eutrophic Lake Suwa, Japan. *Toxicon* 49: 646-652. (査読あり).

(17) Wai Sum Chan, Friedrich Recknagel, Hongging Cao and Park Ho-Dong (2007) Elucidation and short-term forecasting of microcystin concentrations in Lake Suwa (Japan) by means of artificial neural networks and evolutionary algorithms. *Water Research* 41: 2247-2255. (査読あり).

(18) 武居 薫, (2007) 諏訪湖魚類目録を検証する、陸水学会甲信越支部会報、No. 33、67-81. (査読なし).

(19) Nagata, T. and T. Hanazato (2006). Different predation impacts of two cyclopoid species on a small-sized zooplankton community: an experimental analysis with mesocosms. *Hydrobiologia*, 556: 233-242. (査読あり).

(20) 豊田政史, 宮原一道, 萩庭康光, 寺沢和晃, 疋田真, 降矢利勝, 宮原裕一, 富所五郎 (2006): 諏訪湖における湖上風の非一様性とそれが湖流形成に与える影響; 水工学論文集, 50, 1303-1308. (査読あり).

(21) 豊田政史, 宮原一道, 北村聡, 宮原裕二, 富所五郎 (2006): 諏訪湖における底質の性状および懸濁物質の挙動に関する現地観測; 水工学論文集, 50, 1309-1314. (査読

あり).

(22) Masashi Toyota, Satoshi Kitamura, Kazumichi Miyahara and Goro Tomidokoro (2006): Simulation of Suspended Solid Transportation in Lake Suwa, Japan, *Proceedings of the 15th Congress of APD-IAHR*, 227-232. (査読なし).

(23) Chang, K.-H., T. Hanazato, G. Ueshima and H. Tahara (2005). Feeding habit of pond smelts (*Hypomesus transpacificus nipponensis*) and its impact on the zooplankton community in Lake Suwa, Japan. *J. Freshwat. Ecol.*, 20: 129-138. (査読あり).

(24) Chang, K.-H. and T. Hanazato (2005). The predacious cladoceran *Leptodora kindtii* as a prey for the cyclopoid copepod *Mesocyclops* sp.: laboratory observations of predator-prey interaction. *J. Freshwat. Ecol.*, 20: 655-660. (査読あり).

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

(26) 本間隆満・朴虎東 (2005) 諏訪湖における *Microcystis* 種組成および藍藻毒素 microcystin 濃度に及ぼす硝酸態窒素・リン酸態リン濃度の影響. *水環境学会誌* 28 (6): 373-378. (査読あり).

(27) 本間隆満・朴虎東 (2005) 諏訪湖に窒素・リン濃度が *Microcystis* 種組成と細胞あたりの microcystin 含有量への影響. *日本陸水学会誌* 66 (3): 191-195. (査読あり).

[学会発表] (計 32 件)

(1) 中村 剛也・朴虎東 (2008) 諏訪湖の夏季植物プランクトン優占種はなぜ変わったか? 日本陸水学会甲信越支部会第 34 回大会 (安曇野) 2008 年 11 月 23 日.

(2) 加藤宏章, 豊田政史 (2008): 諏訪湖ヒン帯の流動観測; 日本陸水学会甲信越支部会第 34 回大会 (安曇野) 2008 年 11 月 23 日.

(3) 花里孝幸 (2008) 諏訪湖の生態系と水環境のこれからの変化. 日本陸水学会第 73 回大会 (札幌). 2008 年 10 月 12 日.

(4) 宮原裕一 (2008) 諏訪湖水質の長期的変動と近年の動向. 日本陸水学会第 73 回大会 (札幌). 2008 年 10 月 12 日.

(5) 朴 虎東・中村 剛也・渡邊 琴文・本間 隆満 (2008) 諏訪湖のアオコを形成する植物プランクトンの経年変化. 日本陸水学会第 73 回大会 (札幌). 2008 年 10 月 12 日.

(6) 永田貴丸・張光玄・花里孝幸 (2008) 水質浄化に伴う動物プランクトンの群集遷移: 諏訪湖における 10 年間のモニタリングの結果. 日本陸水学会第 73 回大会 (札幌). 2008 年 10 月 12 日.

(7) 豊田政史 (2008) : 諏訪湖における水の動きについて; 日本陸水学会第 73 回大会 (札幌). 2008 年 10 月 12 日.

(8) 柳町晴美 (2008) 諏訪湖景観に関する住民意識調査, 日本陸水学会第 73 回大会 (札幌) 2008 年 10 月 12 日.

(9) 平林公男・木村悟朗・坂井規浩・西川健一・遠藤美那子・井上栄壮・宮原裕一・花里孝幸 (2008) 諏訪湖におけるユスリカ相の変遷. 日本陸水学会第 73 回大会 (札幌) 2008 年 10 月 12 日.

(10) 武居 薫 (2008) 諏訪湖のエビモ帯—20 年間(1989~2008 年)の推移—. 日本陸水学会第 73 回大会 (札幌). 2008 年 10 月 12 日.

(11) 武居 薫 (2008) 漁業資源としての諏訪湖魚類群集の変化. 日本陸水学会第 73 回大会 (札幌). 2008 年 10 月 12 日.

(12) 木村悟朗・花里孝幸・平林公男 (2008) 諏訪湖沿岸域におけるコガタシマトビケラ成虫の分布. 応用生態工学会(福岡)2008 年 9 月 20 日.

(13) 平良綾子, 豊田政史, 富所五郎 (2007) : 諏訪湖流入河川の流量観測; 日本陸水学会甲信越支部会第 33 回大会 (寺泊) 2007 年 12 月 2 日.

(14) 西川健一・坂井規浩・宮原裕一・花里孝幸・福原晴夫・平林公男 (2007) 諏訪湖湖心部における水生線虫類の動態 日本陸水学会甲信越支部会(寺泊) 2007 年 12 月 2 日.

(15) 花里孝幸 (2007) 湖における水質と生態系構造の相互関係. 第 1 回上海河湖水環境治理と生態修復国際研討会 (上海, 中国). 2007 年 11 月 10 日.

(16) Ha, J.-Y., Hanazato, T. (2007) Changes in zooplankton community structure induced by competition with Daphnia/predation of cyclopoid copepoda: a mesocosm experiment. The 13<sup>th</sup> International Symposium on River and Lake Environment, (Jeju, Korea). 17-19, October, 2007.

(17) Hirabayashi, K., Nishikawa, K., kimura, G and Hanazato, T. (2007) Seasonal trend of chironomid midges (Diptera) in shallow eutrophic lake Suwa, Central Japan. ISRLE(Jeju, Korea). 17-19, October, 2007.

(18) 平林公男・西川健一・木村悟朗・花里孝幸 (2007) 近年諏訪湖で増加しているユスリカ類、減少しているユスリカ類. 日本環境動物昆虫学会第 19 回年次大会 (京都). 2007 年 10 月 13 日.

(19) 木村悟朗・西川健一・花里孝幸・平林公男 (2007) 諏訪湖沿岸におけるトビケラ成虫の発生動態. 日本環境動物昆虫学会第 19 回年次大会 (京都). 2007 年 10 月 13 日.

(20) 中村剛也・宮原裕一・花里孝幸・朴虎東 (2007) 諏訪湖におけるラン藻ブルームの種組成変化とその原因について. 日本陸水学会第 72 回大会 (水戸) 2007 年 9 月 11 日.

(21) 宮原裕一・池中良徳・犬塚良平・館野覚俊・内山隆文 (2006) 7 月豪雨の諏訪湖水質への影響. 日本陸水学会甲信越支部会第 32 回大会(富士見) 2006 年 12 月 3 日.

(22) 武居 薫 (2006) 諏訪湖の低酸素水塊—2005 年の出現状況と近年の動向—. 日本陸水学会甲信越支部会第 32 回大会(富士見) 2006 年 12 月 3 日.

(23) 福島麻奈美, 豊田政史, 富所五郎 (2006) : 諏訪湖における湖上風分布の再計算; 日本陸水学会甲信越支部会第 32 回大会. (富士見). 2006 年 12 月 3 日.

(24) 北島(柳町)晴美・沼尾史久 (2006) 諏訪湖環境に関する住民意識, 日本地理学会秋季学術大会 (静岡). 2006 年 9 月 23 日.

(25) 佐久間昌孝・花里孝幸・沖野外輝夫 (2006) 諏訪湖における水草の現状. 日本陸水学会第 71 回大会 (松山). 2006 年 9 月 16 日.

(26) 中村剛也・宮原裕一・花里孝幸・朴虎東

(2006) 諏訪湖における糸状藍藻の優占機構について. 日本陸水学会第 71 会大会(松山)2006 年 9 月 16 日.

(27) 花里孝幸 (2006) 魚が水質汚濁を助長する: 湖沼の水質に及ぼす魚の影響. 第 9 回日本水環境学会シンポジウム (東京). 2006 年 9 月 6 日.

(28) 鈴木雄介, 豊田政史, 富所五郎 (2006): 諏訪湖におけるアオコ発生要因の検討, 平成 17 年度土木学会中部支部研究発表会 (岐阜) 2006 年 3 月 3 日.

(29) 福島麻奈美, 豊田政史, 富所五郎 (2005): 諏訪湖における ADCP を用いた流動観測; 日本陸水学会甲信越支部会第 31 回大会 (精進湖) 2005 年 12 月 4 日.

(30) 花里孝幸 (2005) 水質浄化に伴う生態系変化を追い続けた諏訪湖モニタリング. 日本陸水学会第 70 回大会 (大阪). 2005 年 9 月 19 日.

(31) 永田貴丸・花里孝幸 (2005) 諏訪湖におけるワムシ類の日周期鉛直移動: ワムシ種の分布と無脊椎捕食者の関係. 日本陸水学会第 70 回大会 (大阪). 2005 年 9 月 19 日.

(32) Nagata T., Chang K.-H., Kasai A., Hanazato T. (2005) Impact of increased temperature on a zooplankton community: an experimental analysis using mesocosms, VIII International Symposium on Cladocera (Herzberg, Switzerland) 8, September, 2005.

[図書] (計 1 件)

花里孝幸・宮原裕一・朴虎東・平林公男・武居薫ほか。

アオコが消えた諏訪湖: 人と生き物のドラマ (沖野外輝夫・花里孝幸編) (2005) 信濃毎日新聞社, 319pp.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

花里 孝幸 (HANAZATO Takayuki)  
信州大学・山岳科学総合研究所・教授  
研究者番号: 60142105

### (2) 研究分担者

柳町 晴美 (YANAGIMCHI Harumi)  
信州大学・山岳科学総合研究所・教授  
研究者番号: 60174554

平林 公男 (HIRABAYASHI Kimio)  
信州大学・繊維学部・教授  
研究者番号: 20222250

宮原 裕一 (MIYABARA Yuichi)  
信州大学・山岳科学総合研究所・准教授  
研究者番号: 80311330

朴 虎東 (PARK Ho-Dong)  
信州大学・理学部・准教授  
研究者番号: 20262686

豊田 政史 (TOYOTA Masashi)  
信州大学・工学部・助教  
研究者番号: 60324232

山本 雅道 (YAMAMOTO Masamichi)  
信州大学・山岳科学総合研究所・助教  
研究者番号: 40143995

(3) 連携研究者  
なし

(4) 研究協力者

武居 薫 (TAKEI Kaoru)  
長野県水産試験場諏訪支場・場長  
研究者番号: なし