

湖水の動きと湖内環境*

豊田 政史

1. はじめに

湖水の動き（湖流）は、湖内環境に大きな影響を及ぼす。そのため、これまでに数多くの湖水流動に関する研究が行われており、湖流形成要因（風、河川流量、水深、内部波、水温など）ごとにさまざまな検討^{1~3)}がなされてきている。その中でも、霞ヶ浦や諏訪湖のような浅い湖においては、風が湖流形成の大きな支配要因となる。そこで、本稿では、諏訪湖を対象として、風による湖水の動きに関する知見を中心に述べたのちに、湖内環境との関連について簡単に言及する。

2. 諏訪湖における風による湖水の動きの特徴

まず、諏訪地方の風の特徴について述べる。

図1は、2000年から2004年までの5年間における諏訪特別地域気象観測所での風向頻度図である。この図から北西—南東方向の風が年間を通じて多くみられ、その中でも西北西からの風が卓越風になっていることがわかる。

これまでの諏訪湖における流速・流向観測例として、富所らによる1975年7月における浮子漂流調査⁴⁾があげられる。この観測時（西北西からの風 $2\sim 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ）においては、全般的に浮子は風向に対し、時計回り方向にずれる傾向を示している。この浮子の風向に対する右旋はコリオリ力によるものと推測されている。このことを確認するために、浮子漂流観測結果と数値解析による風成流（表層）の定常解との定性的比較が行われており、それらの一致が示されている。ただし、風速が $1.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度と小さい場合は、湖の南西部分で両者の傾向が異なっており、その原因として風向の非一様性があげられている。

豊田らは、上記の観測以来約30年ぶりに諏訪湖の湖流観測を行った⁵⁾。この研究では、船に風向風速計と超音波ドップラー流速計（ADCP）を取り付け、風と湖流の同時観測を行い、湖上風の空間的な非一様性が湖流形成に与える影響について検討し、その結果を数値実験により確認した。以下にその概要を示す。

図2に諏訪湖の概要および風・流速の測線と測点、そ

して風速・風向の連続観測点である諏訪特別地域気象観測所の位置を示す。また、図中には等深線も示してある。測点については、諏訪湖全体を面的にとらえられるように、A、B、C測線上の計26点とし、B 9~B 1, C 7~C 1, A 1~A10の順に1回ずつ、各測点において2分間以上船を停止させた状態でを行った。観測の詳細については、参考文献5)を参照されたい。

図3に諏訪特別地域気象観測所において西北西からの風 $5\sim 9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ のときの、湖上風観測結果を示す。A、B測線（図2参照）の大半で、諏訪特別地域気象観測所の観測値と同様の西北西からの強風となっている。一方、C測線（図2参照）では北風が吹いている傾向にある。また、湖北東部での風速が他の測点に比べてかなり小さくなっており、その差は約 $3\sim 5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ である。

このときの湖流観測結果を図4に示す。ここで、(a)表層（水面下0.55m）、(b)底層（水面下4.05m）である。なお、図中の流速は各測点で計測したものの時間平均値を示し

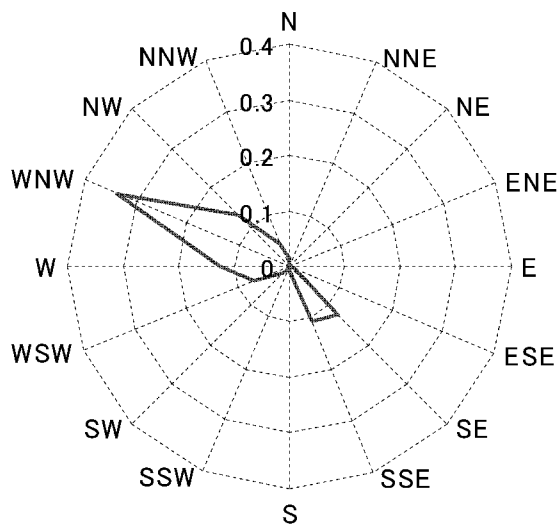


図1 諏訪地方の風向頻度図

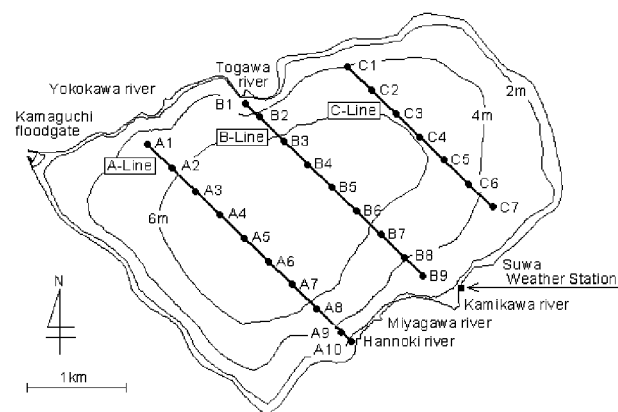


図2 諏訪湖の概要と観測点の場所



Masashi Toyota
平成7年 京都大学工学部卒業
9年 同大学院工学研究科修士課程修了
同年 運輸省港湾技術研究所研究官
12年 信州大学工学部助手
19年 同助教
博士（工学）

* Current and Environment in a Lake

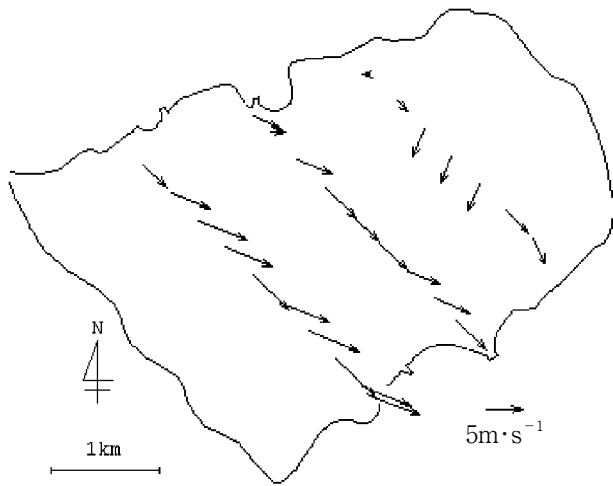
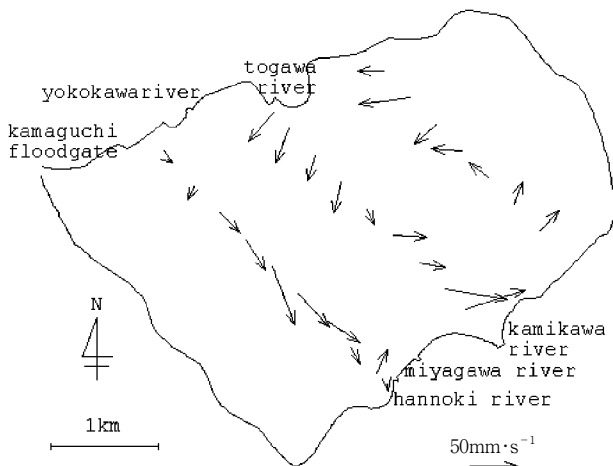
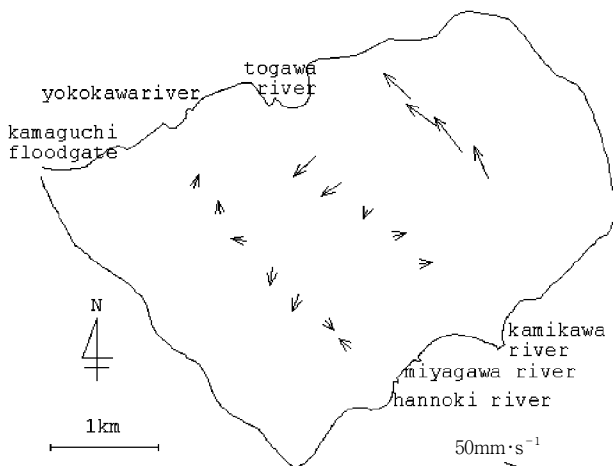


図3 西北西の強風時における湖上風観測結果



(a) 表層 (水面下0.55m)



(b) 底層 (水面下4.05m)

図4 西北西の強風時における湖流観測結果

ている。表層の流速分布をみると、湖全体で反時計回りの水平循環流が形成されていることがわかる。この水平循環流は、図3に示した湖中央～西側における西北西の強風により、南東方向の吹送流が形成され、それを補うように相対的に風が弱い湖の北東側で北から西向きの流れが形成されたものと考えられる。底層においても、流

速は小さくなるが、表層と同じように反時計回りの水平循環流が形成されており、強風によるせん断応力の影響が水底まで及んでいることがわかる。

この水平循環流が湖上風の空間的な非一様性によるものであるという仮説を検証するために、西北西の風を湖上に一様に吹かせた場合と、上述の観測結果の特徴に基づいた非一様風を吹かせた場合の比較を行う。図5に一樣風、図6に非一様風作用時の水平方向流速計算結果を示す。ここで、(a)表層(水面下0.55m)、(b)底層(水面下4.05m)である。図5(a)では、湖の西部で一樣風に呼応して南東方向、湖の東部では湖岸地形に沿った南～東方向の流れが形成されている。図5(b)では、湖全域で表層とは逆向きの西方向の流れがみられる。これは、一樣風によって生じた鉛直循環流と思われる。一方、図6では、表層・底層ともに、湖の東部で大きな水平循環流がおおむね確認できる。これは、観測結果の傾向と一致しており、湖上風の空間的な非一様性が湖流形成に大きな影響を与えることが検証された。

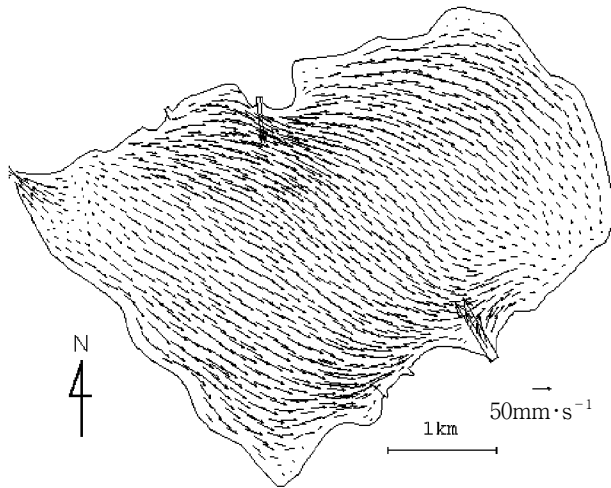
湖上風の空間的な非一様性が湖流形成に影響を与えることは、琵琶湖において Endoh et. al⁶⁾ や小川原湖において鶴田・石川⁷⁾ も述べており、その重要性は大きいといえる。現在、諏訪湖周辺の複数地点において、本観測で得られた西北西の風作用時以外を含めた風の時空間特性を明らかにするための長期観測を行っている。

3. 諏訪湖における底質巻き上げの状況

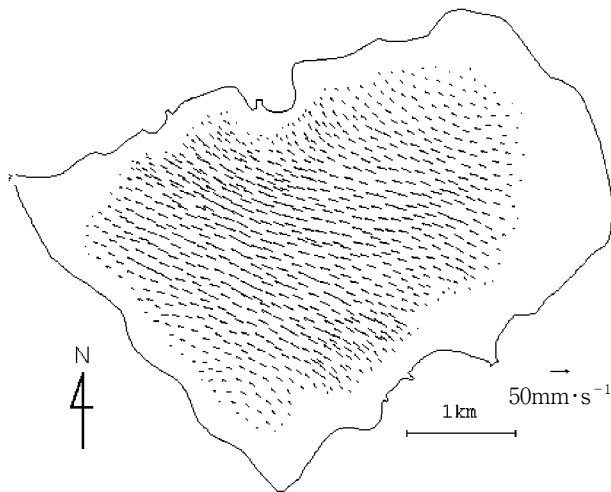
霞ヶ浦では、湖心(水深5.5m)においても底質の巻き上げが報告されている⁸⁾が、諏訪湖における底質の巻き上げに関する知見はなかった。そこで、豊田ら⁹⁾は、諏訪湖において底質巻き上げに関する現地観測を行った。観測は、諏訪湖南東岸の水深1.7m地点で行い、水底から0.3mのところ、メモリー式濁度計とメモリー式流速計を設置した。紙面の都合上、観測結果の図面は割愛するが、洪水時における河川流および強風作用時における風波の影響によって、観測地点において底質の巻き上げりが起きていると推測された。また、別の観測(未発表)によると、湖心(水深6.5m)における底質の巻き上げりはなかった。この理由としては、諏訪地方においては、霞ヶ浦周辺ほどの強風が吹かないことが考えられる。

4. おわりに

本稿では、諏訪湖における水の動きについて、近年の知見を中心に述べてきた。近年、湖の生態系の変化に対して、物理的な検討を含めた広い視点でとらえるような研究が多くなされるようになってきている。たとえば、奥宮ら¹⁰⁾は、ヤマトシジミが優占する宍道湖において、夜間の水面冷却により発生する自然対流の発生機構とそれにとりまう水質浄化機構について検討した。その結果、沿岸部に生息するヤマトシジミは直上水のみならず、熱対流によって沖合の水が供給されることによって植物プランクトンの供給を受け、湖沼全体の物質収支に関与していることを明らかにした。また、鶴田ら¹¹⁾は、小川原湖におけるヤマトシジミが多く生息する理由を、水理学的な観点から検討した。非定常で一樣な風の場と定常で非一樣な風の場のもとの湖流を計算し、ヤマトシジ

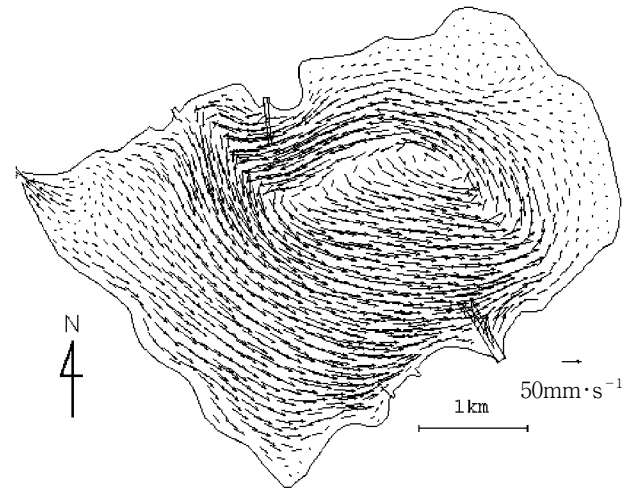


(a) 表層 (水面下0.55m)

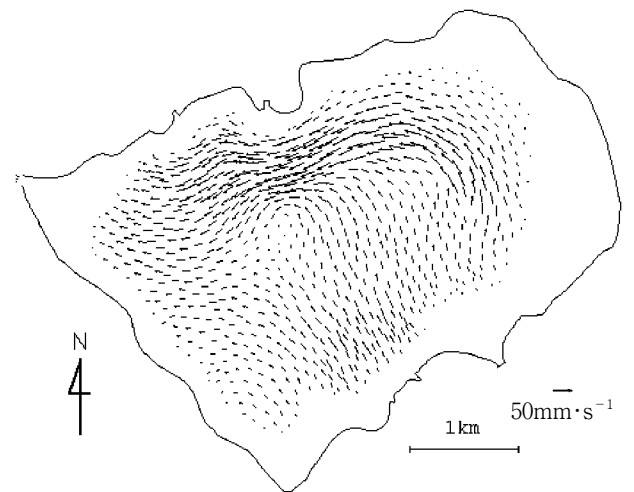


(b) 底層 (水面下4.05m)

図5 西北西の一様風作用時における湖流解析結果



(a) 表層 (水面下0.55m)



(b) 底層 (水面下4.05m)

図6 西北西の非一様風作用時における湖流解析結果

ミの浮遊幼生が湖奥まで拡散される可能性を調べた結果、湖北東部で発生した幼生が湖内全域に拡散する可能性を示した。現在、諏訪湖では水草帯が増大しており、その今後の行方が注目されている。昨年、繁茂している水草の一部刈り取りを行い、水草の刈り取りが水流動にどのような影響を及ぼすかについて、流動・水温・濁度等の調査を行った結果を現在検討中である。湖水流動・底質の巻き上げ・水草の影響などをさまざまな時空間スケールで検討し、これらを統合した湖沼の特性、および生態系の変化要因を探るとともに、湖沼の望ましい「すがた」を模索していくことが永遠の課題であろう。

参考文献

- Emery, K. O. and Csanady, G.T. (1973) Surface Circulation of Lakes and Nearly land-Locked Seas, Proc. Nat. Acad. Sci. **70**(1), 93-97.
- 大本照憲, 矢北孝一, 福島博文 (2001) 湧水を伴う湖沼の水平対流と水質特性, 水工学論文集, **45**, 1183-1188.
- Akitomo, K., Kurogi, M. and Kumagai, M. (2004) Numerical study of a thermally induced gyre system in lake Biwa, Limnology, **5**(2), 103-114.
- 富所五郎 (1984) 閉鎖水域における風成流の水理に関する基礎的研究, 京都大学学位論文, p.164.
- 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.
- Endoh, S., Watanabe, M., Nagata, H., Maruo, F., Kawae, T., Iguchi, C. and Okumura, Y. (1995) Wind Fields over Lake Biwa and Their Effect on Water Circulation, Jpn. J. Limnol., **56**-4, 269-278.
- 鶴田泰士, 石川忠晴 (1999) 小川原湖における風速分布の現地観測, 水工学論文集, **43**, 1043-1048.
- 梅田信, 長峯知徳, 長広遙, 石川忠晴, 宇多高明 (2001) 霞ヶ浦湖心部における底泥の巻き上げ過程に関する研究, 水工学論文集, **45**, 1171-1176.
- 豊田政史, 宮原一道, 北村聡, 宮原裕一, 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.
- 奥宮英治, 中村由行, 中山恵介, 井上徹教, 石飛裕 (2001) 湖沼の物質循環に及ぼす夜間の水面冷却の影響, 水工学論文集, **45**, 1147-1152.
- 鶴田泰士, 石川忠晴, 西田修三, 成田舞, 藤原広和 (2002) 小川原湖におけるヤマトシジミの繁殖環境について, 土木学会論文集, **705/II**-59, 175-187.