

十三湖における出水後の水質の時・空間 変動特性に関する現地観測

Field Observation on the Periodic and the Spatial Characteristics
of Water Quality after the flood in Lake Jyusan

高橋迪夫*・藤田 豊**・佐々木幹夫***・池田道政****・川名慶紀*****

By Michio TAKAHASHI, Yutaka FUJITA, Mikio SASAKI, Michimasa IKEDA
and Keiki KAWANA

In this paper, a field observation on how the characteristics of water quality after the flood in Lake Jyusan change as time progresses and locations in the lake are different is investigated. The period of the field observation is from July to August in 1993.

The processes of the change of water quality with the degree of influence of the flood are studied. Also the relationships between the change of sea level and the characteristics of water quality or flow velocity at the lake mouth near the sea are discussed.

Keywords : water quality, field observation, blackish lake

1. ま え が き

近年、我々の生活様式の高度化、多様化に伴い、湖沼水域は、水資源あるいは自然環境の面から益々その重要性を増してきている。このような湖沼等の閉鎖性の水域における水資源の開発・利用あるいは水環境保全対策に対しては、まず、湖水における混合・循環等の流動特性および流入負荷物質の時・空間的挙動を把握し、湖水の流動特性が水域の水質浄化作用に及ぼす関係諸因子の基礎的な知見を得ることが重要であろう。とくに、河口部に形成された汽水湖における水環境の問題は、流入河川の水理・水質特性、潮汐・波あるいは海浜流の特性、さらには河口部の地形等の条件に複雑に影響されるために^{1)～5)}、その特性を明らかにするためには、多面的な調査によって基礎的な知見を集積することが必要であろう。

本論文は、岩木川の河口部に位置する十三湖を対象として、河川出水直後から経日的に調査された湖の5つの地点の流速および水質の観測結果を基に、出水の影響が徐々に減衰していく過程における湖の水温、濁度、電気伝導率、pH等の水質諸量の時・空間的な変動特性を考察したものである。さらにまた、外海に近い湖口における観測結果から、上げ潮時から下げ潮時にわたる潮位変化に伴う水質諸量の経時的な変動特性に関して検討を試みている。

* 正会員 工博 日本大学助教授 工学部土木工学科 (〒963 福島県郡山市田村町徳定中河原1)
** 正会員 工修 日本大学専任講師 工学部土木工学科 (〒963 福島県郡山市田村町徳定中河原1)
*** 正会員 工博 八戸工業大学 土木工学科 (〒031 青森県八戸市大字妙字大開88-1)
**** 建設省青森工事事務所所長 (〒030 青森県青森市中央三丁目20-38)
***** 建設省青森工事事務所調査第一課課長 (〒030 青森県青森市中央三丁目20-38)

2. 十三湖の概要

十三湖は、津軽半島西部の岩木川河口部に位置し、砂丘によって日本海と隔てられた海跡湖である。湖水面積は約18km²、周囲は約25km、総貯水量は1050万m³であり、水面標高0mで日本海につながっている。また、最大水深は1.5m、平均水深は約1.0mと浅い。流入河川は、岩木川を初めとして大小7河川あり、湖口の水戸口で直接日本海に接している。なお、水戸口は古くから日本海の冬期波浪を受け、閉塞を繰り返していたが、昭和初期の突堤の完成により安定し、現在に至っている。

十三湖では年間漁獲高 550トン以上のシジミの他、白魚、チカ等年間6トン程度の漁獲高がある。また、湖は遠浅であるため水泳場として適していると共に、春から秋にかけては10万人を超えるシジミ採りの人で賑わうレクリエーション基地として利用されている。

3. 使用機器および観測方法

観測に使用した水質計は、水深方向の各深さにおける水温(℃)、ならびに水質特性量に関する溶存酸素: DO (mg/ℓ)、濁度 (mg/ℓ)、pH値、電気伝導率: EC (μS/cm)、酸化還元電位 (mV) および 665吸光率 (Abs) の7項目が計測出来る多項目水質計(島津理化器械製CTIS-P1008N)である。また、流速計は、湖口の水戸口内面における交番流速を求めるために超音波式流向流速計(横河ナビテック製EMC-300)が、各観測点における流速を求めるために電磁流向流速計(アレック電子製ACM-200PC)がそれぞれ用いられた。

観測は、1993年7月30日から8月4日まで実施された。観測点は、図-1に示すように、水戸口内面(ST.1)、湖中央(ST.2)、岩木川前

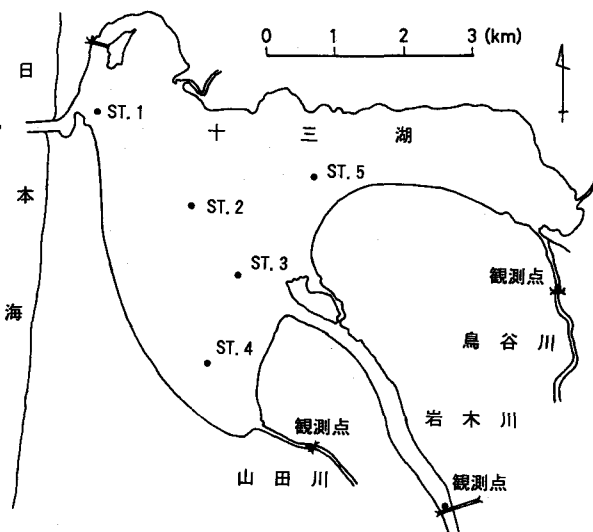


図-1 十三湖の概要および観測点

面(ST.3)、山田川前面(ST.4)および鳥谷川沖(ST.5)の5点とした。一方、流入河川の水質を調べるために、岩木川、山田川および鳥谷川の図-1に示す各地点において8月4日に観測を実施した。

また、現地観測と並行して、8月1日と4日(流入河川については4日のみ)の水質に対しては、各観測点における表層水を採水して、室内で水質分析試験を行った。

4. 観測結果および考察

図-2は、観測期間中の十三湖観測所における十三湖水位および深浦検潮所における潮位を示したものである。ただし、潮位は深浦検潮所における基準面を基準とした値で示されている。十三湖における平水位は0.3mであるが、観測期間直前の7月28日からの台風5号から変わった停滞性の温帯低気圧による降雨のために、十三湖は、8月1日7時から9時の0.88mをピークとする0.8m以上の高水位の状態が、7月29日から30日にかけてと31日から8月1日にかけて続いた。その結果、後述されるように、十三湖の高水位時における海水の流入と湖水の水質との経時的な変動特性、あるいは出水の影響が徐々に減衰していく過程における湖水の水質諸量の時・空間的な変動特性に関して幾つかの特徴的な観測結果が得ら

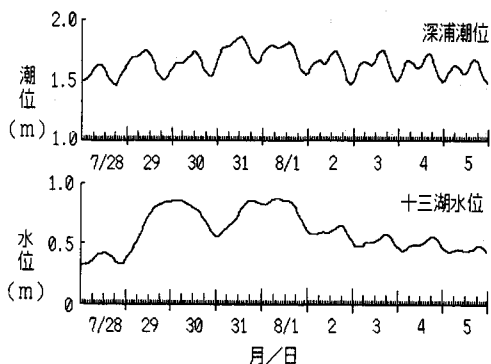


図-2 十三湖水位および深浦潮位

れた。

図-3(a),(b)は、水戸口内面の ST. 1 の水深2.5mの位置に設置された超音波式流向流速計により得られた、東西および南北方向の各流速ならびに水温の観測結果である。ただし図(a)では、東向き、すなわち外海から十三湖に流入する方向の流速 u_E をプラスに、その逆向きの流速 u_W をマイナスに、また図(b)では、北向きの流速 u_N をプラスに、南向きの流速 u_S をマイナスとして、それぞれ表している。図より、ST. 1 においては南北方向に比べ東西方向の流速が大きく卓越していることがわかる。また、とくに8月1日においては、図-2で見たように、十三湖が高水位のために満潮時においても流れは西向き、すなわち湖から外海方向であり、海水の湖内への流入が阻止されていることが推察される。一方、湖の水位の減少に伴い、8月2～3日以降は満潮時には徐々に東向きの流れが生じ、海水が湖内に流入していることがうかがわれる。

4. 1 水質諸量の経日的・場所的な変動特性

図-4は、ST. 2から5の各観測点における濁度の経日的な変化を示したものである。湖の水深が浅く、また出水による湖水の混合あるいは底質の巻き上げのために、観測結果では、いずれの観測点においても濁度は水深方向にほぼ同一の値を示しており、図では、水深方向の平均の濁度の値を用いて表現している。ただし、ST. 1 においては、8月2日以降、徐々に海水の流入によって濁度が水深方向に変化してくるが、これについては次項でさらに考察する。図より、出水直後の8月1日には、とくに ST. 2, 3, 5 において高い濁度を示していることが見られる。その後、濁質の外海への流出と湖底への沈降によって、8月3日を除き、全体の傾向としては、出水の影響が徐々に減衰していくのに伴って、各観測点共、濁度が低減していくことが認められる。なお、3日に各点で濁度が一時的に高くなっているのは、7.5～11 m/s のかなり強い風による湖水全域の混合と湖底の濁質の巻き上げに拠るものと考えられる。また ST. 4 の濁度が低めで推移しているのは、とくに出水直後の濁質は主に岩木川から流入しており、

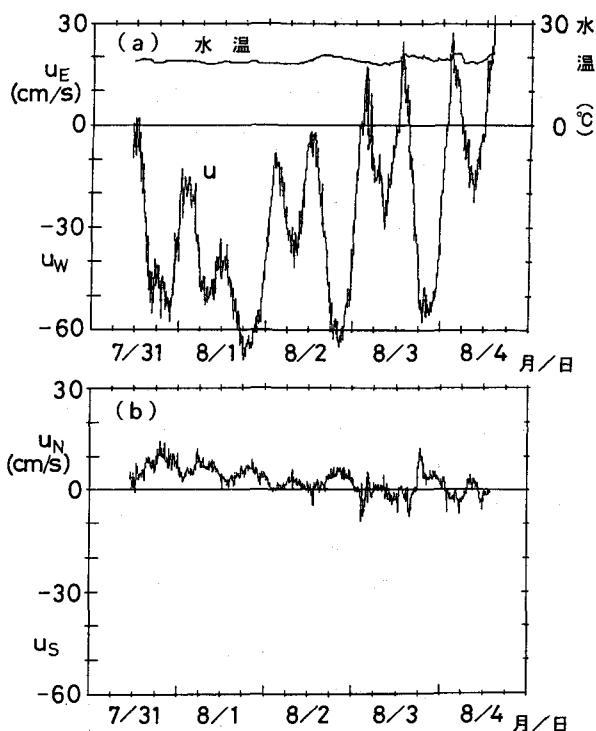


図-3 ST. 1 における流速および水温

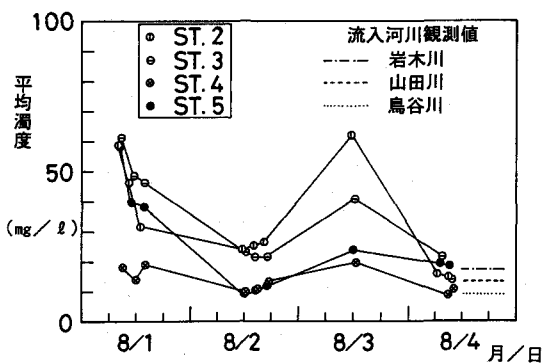


図-4 濁度の経日的変化

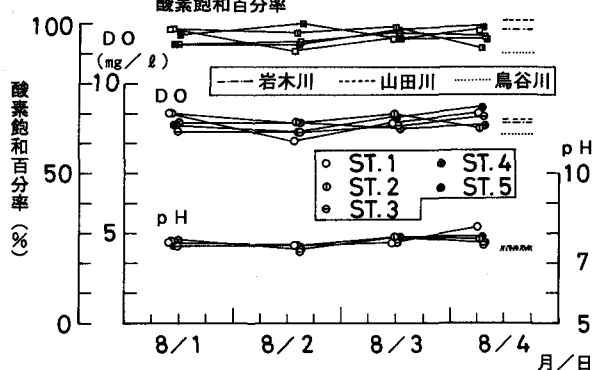


図-5 DO, 酸素飽和百分率, pHの経日的変化

さらに流入河川あるいは風による湖底の濁質の巻き上げの影響の比較的小さい地点のためであると考えられる。このことは、計測時の目視観察によっても地点による湖水の色の差異として確認されている。

図-5は、各観測点におけるDO、酸素飽和百分率およびpH値の経日的変化の一例として水深0.5mの位置の観測結果を示したものである。図より、酸素飽和百分率は、いずれの観測点においても水深方向全域にわたりほぼ90%以上の高い値を示していることが認められる。また、観測期間中はほぼこの値が保たれており、水深が浅く、しかも風がかなり強いために、湖水内への酸素の供給が十分になされていることが推察される。つぎに、pH値は、海水の流入がなく、しかも出水による湖水の混合が十分行われている期間および地点においては、水深方向にほぼ7.4~7.7の一定値を示していることが見られる。一方、海水の流入に伴ってpH値は幾分増大し、8月4日のST.1においては、pHが8.2の値を示していることが図から読み取ることができる。なお、海水の流入によるpH値の変化については、さらに次項で検討される。

図-6は、各観測点におけるECの値を観測日を追って示したものである。図より、出水直後の8月1日には、湖水の水位が高いために河川流の影響が強く、外海に近いST.1あるいはST.2の観測点においても、ECの値は数千($\mu\text{S}/\text{cm}$)のオーダーに止まっていることが見られる。なお、ST.5の湖底付近でやや大きい値を示しているのは、この地点の西側、すなわち外海側が若干の浅瀬を形成しており、その結果、幾分かの海水がこの部分に滞留していたものと推測される。一方、出水の影響が徐々に減衰して湖水の水位が下がりつつある8月2日あるいは3日になると、外海に一番近いST.1の湖底側のECが、前日より1オーダー大きな50,000程度の値を示し、海水の流入が認められる。なお、ST.5のECの値は8月3日には減少しており、滞留域の塩分がかなり流下していることが推察される。さらに湖水の水位が低下した8月4日には、湖中央部のST.2の湖底近傍のECの値も数万のオーダーを示すようになり、海水がこの領域にまで流入してきていることがうかがわれる。

表-1は、現地観測と並行して、8月1日と4日(流入河川については4日のみ)の水質に対して各観測点における表層水を採水して、室内で水質分析試験を行った結果である。なお、透明度は現地での観測結果である。また、大腸菌群数はデソキシコール酸塩寒天培地法を用いて求めた。表より、上述の現地観測による水質諸量の変動特性と同様に、出水直後の8月1日においては、汚濁物質の諸河川からの流入および湖底

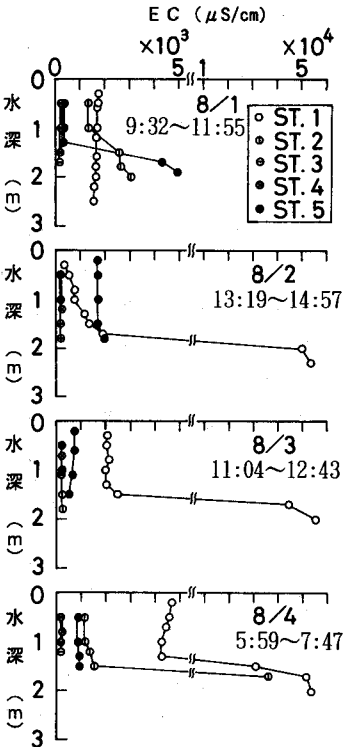


図-6 各観測点のECの変化

表-1 各観測点における水質分析試験結果

月 日 (時)		8 月 1 日 (7~9時)					8 月 4 日 (8~10時)					8月4日 (13~14時)	
観 測 点		ST. 1	ST. 2	ST. 3	ST. 4	ST. 5	ST. 1	ST. 2	ST. 3	ST. 4	ST. 5	山田川	鳥谷川
水 質 分 析 項 目	BOD (mg/ℓ)	1.3	2.5	1.9	2.7	1.9	0.2	1.0	0.8	1.9	0.5	1.1	1.0
	COD (mg/ℓ)	7.3	8.5	7.9	6.3	6.7	11.3	5.9	4.3	6.7	5.0	6.2	3.7
	SS (mg/ℓ)	62	62	77	25	70	22	11	13	(1)	6	6	4
	塩素イオン(mg/ℓ)	410	679	116	128	359	1425	479	452	336	493	228	385
	NH ₄ ⁺ -N(mg/ℓ)	0.14	0.23	0.18	0.17	0.14	0.04	0.17	0.16	0.08	0.17	0.07	0.13
	NO ₂ ⁻ -N(mg/ℓ)	0.027	0.032	0.032	0.049	0.025	0.032	0.036	0.026	0.035	0.029	0.033	0.028
	NO ₃ ⁻ -N(mg/ℓ)	1.06	1.33	1.41	1.13	1.27	0.78	0.88	1.03	0.84	0.98	0.82	0.16
	T-N (mg/ℓ)	2.18	1.80	2.07	1.93	1.84	1.19	1.34	1.17	1.32	3.16	1.23	0.80
	T-P (mg/ℓ)	0.25	0.23	0.29	0.16	0.28	0.12	0.11	0.11	0.12	0.11	0.10	0.10
	大腸菌群 (個/mℓ)	40	105	37	2	32	95	135	88	34	6	53	72
透明度 (m)		0.5	0.5	0.5	0.8	0.5	0.5	0.8	0.6	0.7	0.7	—	—

からの巻き上げによって、COD、T-N、T-Pを初め各水質項目で高い値を示している。これに対して、出水の影響がかなり減衰したと思われる8月4日には、ほとんどの水質項目の値が1日に比べて低くなっていることが認められる。ただし、4日の水質値の中でも、T-NおよびT-Pは依然としてやや高めの値を示しており、出水の影響がまだ残っていることに起因しているものかどうか今後確認する必要がある。

4. 2 上げ潮時から下げ潮時にわたる潮位変化に伴う水質諸量の経時的な変動特性

図-6で検討したように、湖の水位の低下に伴って、上げ潮時には海水の流入が見られるようになる。ここでは、上げ潮時から下げ潮時にわたる流れと、それに対応した水質の経時的な変動特性を出来るだけ細かく見ていくことにする。

図-7は、外海に最も近いST. 1における8月3日の上げ潮時から下げ潮時にわたる潮位変化に伴う水質諸量の経時的な変動特性を示したものである。なお、流速は電磁流向流速計によって計測されたものであり、東向き（すなわち、外海から十三湖に流入する方向）および北向きの流速をプラスの流速として表してある。図より、上げ潮時初期の11時過ぎには、水面側に外海に向かう流れがある一方、底面側にはかなり速い湖内に向かう流れが生じており、この底面側の流れに乗って底層に海水が流入してきていることがEC値の急激な増大によって推測される。この海水の流入に伴い、底層のpH値が幾分増大し、ほぼ8.3の値を示している。また、この時の海水は湖水に比べて水温が若干高く、一方、濁度はかなり低いために、とくに濁度においては海水と湖水との境界で明瞭な変異が認められる。なお、DOの値が海水層内で幾分減少していることが見られるが、これは、海水の溶存酸素飽和量が真水の溶存酸素飽和量よりも若干少ないことに主因があるものと思われる。上げ潮が進行してきた14時頃には、水面近くを除き、ほぼ全層にわたって湖内に向かう流れとなり、これに対応して海水がかなり上層にまで流入してきていることが見られる。その後、湖内に向かう流れが徐々に弱くなり、海水の流入層も徐々に減少していることが14時46分の結果よりうかがわれる。一方、下げ潮時の15時過ぎからは、全水深にわたり外海に向かう流れが時間の経過と共に強くなり、海水層の減少、湖水の流出による濁度の増大が進行していくことが、15時20分あるいは15時40分の結果から理解される。

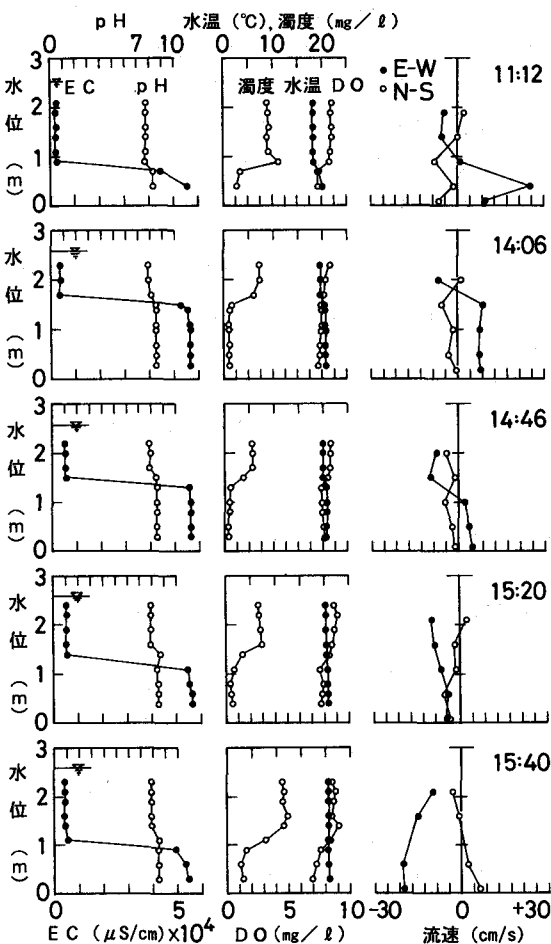


図-7 ST. 1における流速および水質の経時変化

5. む す び

岩木川の河口部に位置する十三湖を対象として、河川出水直後から経日的に調査された湖の5つの地点の流速および水質の観測結果を基に、出水の影響が徐々に減衰していく過程における湖の水質諸量の時・空間的な変動特性を考察し、さらにまた、外海に近い湖口における観測結果から、上げ潮時から下げ潮時にわたる潮位変化に伴う流れと、それに対応した水質諸量の経時的な変動特性に関して検討を試みたが、これを要

約すると次のようである。

(1) 外海に近い湖口において計測された流速値から、8月1日には湖が高水位のために満潮時においても流れは湖から外海方向であり、海水の湖内への流入が阻止されていることが推察された。一方、湖の水位の減少に伴って8月2～3日以降は満潮時には海水が湖内に流入していることがうかがわれた。

(2) 各観測点の濁度の経日的な変化から、出水直後の8月1日には、とくに ST. 2, 3, 5 で水深方向に同一の高濁度値を示した。その後、3日に強風によって一時的な濁度の増大はあるものの、全体の傾向としては、出水の影響の減衰に伴い、各観測点共に濁度が低減していくことが認められた。

(3) 海水の流入がなく、しかも出水による湖水の混合が十分に行われている期間および地点においては、水深方向全域にわたり、酸素飽和百分率はほぼ90%以上の高い値を示した。また、pH値は7.4～7.7の一定値を示した。

(4) EC値の経日的な変化から、出水直後の8月1日には外海に近い観測点においても、ECの値は、数千のオーダーに止まり、海水の流入は認められなかった。湖水の水位が下がりつつある8月2日には外海に一番近い地点で、また、4日には湖中央部の湖底側で数万のオーダーを示すようになり、海水がこの領域にまで流入してきていることがうかがわれた。

(5) 室内での水質分析試験より、8月1日においては各水質項目で高い値を示した。一方、8月4日にはほとんどの水質項目の値が1日に比べて低くなった。ただし、T-NとT-Pは依然としてやや高めめの値であった。

(6) 流速およびEC, pH, 濁度等の水質諸量の観測結果から、外海に最も近い観測点における上げ潮時から下げ潮時にわたる潮位変化に伴う流れと、それに対応した水質諸量の経時的な変動特性を説明することができた。

今後さらに、平水位における観測等、系統的な観測データを蓄積して、十三湖の水質の変動特性を明らかにしていきたい。

終わりに、本研究を遂行するに当たり、水質分析試験をお願いし、また種々御教授をいただいた日本大学工学部 中村玄正教授に深く感謝の意を表する。また、本研究の資料を提供いただいた関係諸機関ならびに現地観測に尽力いただいた卒業研究生諸君に厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 菅 和利・玉井信行：第31回水理講演会論文集，pp.533～538，1987.
- 2) 石川忠晴・田中昌宏・小関昌信：第32回水理講演会論文集，pp.305～310，1988.
- 3) 石川忠晴・板井雅之・小沢康彦：水工学論文集，第35巻，pp.191～196，1991.
- 4) 平野道夫・山田 正・井出康郎：水工学論文集，第35巻，pp.609～614，1991.
- 5) 吉田静男・大谷守正・田城徹雄・西田修三・八木史郎：水工学論文集，第37巻，pp.299～304，1993.