サロマ湖第二湖口周辺の漂砂特性への気象変化の影響

Influence of the Climate Change on Sediment Transport around the Second Inlet of Saloma Lake

山下俊彦¹・押田亮祐²・富沢進一³・佐藤 誠⁴・時沢武史⁵・山上佳範⁶

Toshihiko YAMASHITA, Ryosuke OSHIDA, Shinichi TOMISAWA, Makoto SATO
Takeshi TOKISAWA and Yoshinori YAMAGAMI

The second inlet of Saloma Lake was made in 1979, and was closed by sand transport at first time at January 2012. The characteristics of topography change from 2001 to 2012 around the Inlet were understood. Primary factors of this closing phenomenon are the increase of long shore sediment transport towards left caused by waves, and the increase of discharged sediment from Tokoro River. The increase of discharged sediment was caused by increasing rain fall because of the global warming, and this phenomenon is happening in a long term. The change of ocean wave direction can be estimated by the change of sun spot number with about ten years period.

1. はじめに

サロマ湖はオホーツク海沿岸に位置する国内最大の感潮湖であり、湖内はホタテや牡蠣の養殖が盛んである。サロマ湖とオホーツク海は、図-1の様に第一湖口と第二湖口の二つの湖口により繋がっている。この二つの湖口は海水交換による湖内の豊かな生態系維持や船舶の航行に重要である。

第一湖口（防砂堤幅570m）については安定した湖口維持や浅瀬の形成の抑制を検討するため楠山ら（2007）や山上ら（2012）により現地観測や数値解析モデルの開発が行われ、第一湖口周辺の地形変化特性の把握と、地形変化予測がかなりの精度で可能となっている。

一方第二湖口は、図-1の様に第一湖口と比べて水路幅50m、防砂堤幅75mと狭く、防砂堤の長さも100mと短いにも関わらず、1979年の開削以来最近まで33年間一度も閉塞等の土砂堆積の問題は発生しなかった。しかし、2012年1月に初めて閉塞が発生した。

そこで本研究では、まず現地観測データを基に、第二湖口周辺の漂砂特性と閉塞要因を明らかにする。次に、漂砂外力としての波浪特性、漂砂境界条件としての常呂川（図-1参照）の河川流出土砂量への気象変化の影響を検討し、今後の第二湖口周辺の漂砂特性の予測を試みる。

2. 現地データの概要

サロマ湖第二湖口周辺の深浅測量は2000年11月より現在まで年一回10月あるいは11月に実施されている。波浪観測データは、第二湖口から比較的近く正確な波向き

常呂川河口部

第二湖口

第一湖口

図-1 サロマ湖周辺の地形

1 正会員	工博	北海道大学大学院工学研究院
2 学生会員		北海道大学大学院工学院
3		北海道開発局網走開発建設部網走港湾事務所
4 正会員	工修	(株)アルファ水工コンサルタンツ
5	理修	(一社)寒地港湾技術研究センター
6 正会員	工博	(一社)寒地港湾技術研究センター

図-2 第二湖口周辺の深浅図

(1°単位) データのあるナウファスの紋別南(第二湖口から西北西約30kmの水深52.6m)の2001年から2012年を使用した。常呂川の流出土砂量の推定には、1979年(第二湖口開削時)～2012年の最下流の上川観測点での日平均流量とこの期間の大洪水である1992年、2001年、2006年洪水時の時間流量データを用いた。第二湖口周辺の底質粒径は約0.3mm程度である。

3. 地形変化特性と波向き別波浪エネルギー

図-2に第二湖口周辺の深線図を示す。上側がオホーツク海側である。図-2(a)は最初の2000年11月、図-2(b)は閉塞が発生する直前の2011年10月である。水路部(図-5参照)のみ浸食防止のため水深4.5mになるようにコンクリートブロックが敷かれている。図-2(a)2000年では、水路部からオホーツク海側(防砂堤間)とサロマ湖側は強い潮流による土砂のフラッシュのため水深15m程度の深掘れが形成されている。汀線(オホーツク海側)は防砂堤の左右岸とも防砂堤先端から100m程度の位置にある。図-2(b)2011年10月では、湖内側は深掘れ部もあり2000年とほぼ同じであるが、外海側は防砂堤右側汀線が防砂堤先端付近まで前進し、防砂堤間の深掘れ部も土砂堆積で水深3m以下となっている。水路部はまだ水深4.5m

図-3 地形変化と波向別波浪エネルギー

をほぼ維持している。

以上より、2011年10月の地形は左向きの沿岸漂砂によ

り右側汀線が防砂堤先端付近まで前進し、沿岸漂砂が防砂堤間の深掘れ部に流入し、水深が浅くなった状況と推定される。

図-3(a)～(d)に代表的な年の1年間の地形変化と波向き別波エネルギーを示す。深浅測量は1年に一回10月あるいは11月に実施されているので、その差を地形変化とした。波浪エネルギーは深浅測量時期を考慮して波向き別に集計している。波向き別波浪エネルギーは紋別南で計測された波浪が第二湖口沖合でも同じ波が押し寄せるとし、波向き正面は湖口周辺の汀線と水深20m等深線の方を考慮して決定した。

図-3(a) 2003年(2002年11月～2003年10月)は、波向きが正面より少し左向きの波が卓越した1年間であり、湖口左側の汀線付近に主に土砂堆積が発生している。図-3(b) 2006年は、図-3(a)とは逆に波向きが正面より少し右向きの波が卓越した1年間であり、湖口右側の汀線付近は主に堆積が、湖口左側の汀線付近は浸食が発生している。図-3(c) 2008年は、平均すると右向き左向きの波が同程度であり、汀線付近には大きな堆積、浸食は発生していない。以上から、サロマ湖第二湖口周辺の沿岸漂砂は、平均的な波向きが正面から左右に少し変化すると、沿岸漂砂の方向まで変化するので、精度の良い波向き、沿岸漂砂の把握が必要な海域である。第二湖口は防砂堤の長さが100mと短いにもかかわらず約30年間一度も閉塞が発生しなかったのは、卓越した波向きが正面から左右に時々変化した、長期的には沿岸漂砂量がほぼゼロの地点にうまく建設されたことが大きな要因と推定される。図-3(d) 2011年は、図-3(b) 2006年と同様正面より右向きの波が卓越する年で、右側汀線付近での堆積と左側汀線付近での浸食が発生している。すべての図は示していないが2009年以降は毎年防砂堤間に土砂堆積が発生し、その結果2012年1月に第二湖口の閉塞が発生した。図-3(b) 2006年も防砂堤間に土砂堆積が発生したが2007年には潮流によるフラッシュにより防砂堤間は浸食が発生している(図-5参照)。

4. 閉塞特性と要因

図-3の地形変化量と波向き別波浪エネルギーの関係をより定量的に表したのが図-4である。地形変化量は図-5の左岸汀線部の堆積量から右岸汀線部の堆積量を差し引いた量(右向き沿岸漂砂量に相当する量)である。正味の左入射波は、正面から左よりの入射波エネルギーの和から右よりの入射波エネルギーの和を差し引いて求めた。図-3の説明と同様に、沿岸漂砂量に相当する地形変化量と正味の入射波エネルギーが方向も含めてほぼ一致していることがわかる。

図-5に地形変化の大きい4区域について、2000年を基準

とした場合の単位面積当たりの地形変化量を示す。図-6に第二湖口左右岸の汀線位置の変化を示す。図-4、図-5、図-6より、2012年1月に湖口閉塞に至った周辺の地形変化特性及び波浪特性は、次の様に推定される。まず、2006年から2012年の7年間に右入射波の波が多く来襲し(図-4参照)、左向きの沿岸漂砂により右岸汀線部に継続的な土砂堆積が発生し(図-5参照)、右岸汀線が前進し防砂堤先端に近づいている(図-6参照)。次に防砂堤間の深掘れ部では、左向きの沿岸漂砂が防砂堤先端を超えて、2009

図-4 地形変化量と正味の波浪エネルギー

図-5 単位面積当たりの地形変化量

図-6 第二湖口における両岸の汀線位置の変化

図-7 水路部流入土砂量と右岸汀線位置

図-8 常呂川の流出土砂量

図-9 地形変化と黒点相対数

年以降継続的な土砂堆積が発生している（図-5参照）。水路部でも2009年以降ゆっくりと土砂堆積が発生しているが、2011年10月以降急激に土砂堆積が起これ（図-5参照）、2012年1月に閉塞が発生した。2011年10月には防砂堤間の平均水深は2000年から約5m減少し（図-5参照）、図-2によると平均水深が3m以下の浅瀬部が形成され、防砂堤間の通水断面は水路部断面より小さくなっている。防砂堤の浅瀬部は、外海からの波により水路部への土砂堆積を促進し、さらに潮流を阻外することから潮流による土砂の外海側へのフラッシュ力を弱め、結果として急激な水路部への土砂堆積が発生したと推定される。以上のように、湖口閉塞の一つの要因は右向き入射の波浪による左向き沿岸漂砂の増加と推定される。

図-7に水路部土砂流入量と右岸汀線位置の関係を示す。右岸汀線位置が防砂堤先端位置から60m以下になると、水路部土砂流入量が増加し、30m以下になると急激に土砂流入量が増加することがわかる。このことから湖口の閉塞を防止するためには汀線位置を防砂堤先端位置から60m以上に維持することが必要と推定される。

図-8に第二湖口が開削された1979年以降の常呂川の土砂流出量の推定結果を示す。まず常呂川の既往1位洪水を含む1992年、2001年、2006年の洪水時の時間流量を対象として、河床変動計算を実施し、河口流出土砂量（ L ）と流量（ Q ）の関係を $L=4.8 \times 10^{-10} \times Q^{3.2}$ （ L 、 Q の単位は m^3/s ）を求めた。次に、日流量から L - Q 式より年間流出土砂量の暫定値を求め、洪水時の時間流量から算出した土砂流出量と日流量から算出した土砂流出量の比で補正して、1年毎の流出土砂量を推定した。常呂川の年毎の流出土砂量は年変化が非常に大きいことがわかる。これは数年に一回程度、豪雨による大洪水が発生するためである。長期的に見てみると、1998年以降の河口流出土砂量は増加傾向にあることがわかる。2006年にピーク流量約 $1430 m^3/s$ の既往1位の洪水があり、年間の河口流出土砂量は約 16.5 万 m^3 になっている。図-1の様に、常呂川の右岸汀線部は海側にせり出した岩礁部で、常呂川の流出土砂の多くが河口から左側すなわち第二湖口側へ移動すると考えられる。以上から、1998年以降の常呂川流出土砂の増加が、第二湖口閉塞のもう1つの要因と考えられる。

5. 土砂動態への気象変化の影響

(1) 黒点相対数と地形変化量

漂砂外力としての波向きの変化に、影響を与えると推定される気象要因を種々検討した結果、黒点相対数と、波向き変化あるいは地形変化との相関が高いことが分かった。

図-9に黒点相対数と図-4と同様の地形変化量の経年変化を示す。地形変化量は年ごとの変動が大きいと全体的傾向をみると黒点相対数が減少すると湖口右岸側の堆積が増加することがわかる。地形変化量の年変動が大きいと、この時の相関係数は0.363となり、地形変化と黒点相対数の相関はあまり強くない。

黒点相対数は太陽の黒点の数を表し、太陽の活発度（電磁波の量）に比例する。黒点相対数が減少（電磁波が減少）すると、地球上に雲が発生しやすくなることが知られており、気象の変化、波向きの変化、地形変化に影響を与えていると推定される。黒点相対数と沿岸での気象、海象についての研究として、尾崎（1980）は、北海道太平洋側の浦河の冬期の西風が弱い年と太陽黒点相対数の極小年がほぼ一致し、約10年の周期で繰り返していることを報告している。

図-9からもわかる様に、黒点相対数は約11年の周期で増減を繰り返す特徴があるため、今後の地形変化傾向を予測できる可能性がある。また、第二湖口から比較的近い網走(東約30km)では1985年～2003年の約20年間の紋別南より長期の波高観測が実施されている。1998年以前は波向きの直接観測が実施されておらず、波向きは天気図から約20°単位で決定されている。波向きの精度が悪いため、5年毎の波向き別波浪エネルギーの年平均値を図-10に示す。図-10(a)の期間は左入射波が強い傾向にあり、図-10(b)で右入射波、図-10(c)で左入射波、図-10(d)で右入射波が強くなるように変化することがわかる。以上より、網走では波向きの精度がよくないが、20年間

のデータより約10年周期で波向きが変化していることが認められた。

(2) 温暖化に伴う雨量増加の影響

漂砂の境界条件としての河川流出土砂量の変化への気象要因影響については、図-8に常呂川の流出土砂量の経年変化を示した。図-8より、温暖化の影響でオホーツク海側に強い降雨の発生が増加傾向で、常呂川の流出土砂量の増加は今後も継続すると推定される。

6. おわりに

本研究で得られた主な結果は以下の通りである。

- ①第二湖口が30年間も閉塞しなかった理由は長期的には沿岸漂砂量がほぼゼロの波向きの変化によって沿岸漂砂量方向の変わる位置にうまく建設されたからである。
- ②長期的に見ると、河川流出土砂量の増加によって、第二湖口に向かう左向きの沿岸漂砂量が増加し、第二湖口右側の土砂堆積が徐々に進行することが推定される。
- ③2012年の閉塞は、②の長期的に右側の土砂堆積が増加をする傾向に、短期的な11年周期の黒点の減少に伴う右側の土砂堆積が加わり発生したと推定される。2013年以降は黒点の数は増加傾向であるので、短期的には左入射の波が増加する可能性があり右側の土砂堆積は減少すると推定される。

謝辞：本研究の一部は、平成25年度に開催された「サロマ湖漁港漂砂対策技術検討委員会」の成果の一部である。ここに記し、本検討会の各委員の方々に謝意を表する。

参 考 文 献

- 尾崎 晃 (1980)：地形、気象関係資料に基づく海浜変形の長期予測，自然災害資料解析，7，pp.139-150。
 楠山哲弘・今 宗紀・本間明宏・橋本孝治・佐々木崇之・菊池 考 (2007)：サロマ湖第1湖口における地形変化特性と数値解析，海岸工学論文集，第54巻，pp.571-575。
 山上佳範・坂本洋一・河合 淳・藤井良昭・橋本孝治・山下俊彦 (2012)：サロマ湖第1湖口における地形変化特性と長期予測 モデルの構築，土木学会論文集B2 (海岸工学)，Vol.68, No.2, pp.556-560。

図-10 網走の5年毎の年平均波向き別波浪エネルギー