

LCA十三湖汽水環境調査研究*

八戸工業大学大学院 佐々木幹夫 東北大学大学院 田中 仁 東北大学大学院 梅田 信

1. 緒言

本研究でいう LCA は life cycle assessment のことであり、本研究ではライフサイクル的な思考を十三湖の汽水環境研究に適用している。十三湖への適度な塩水の遡上によりここでの汽水環境は維持されており、この環境の下で湖内ではシジミが繁殖し、生育しており、地域住民はこのシジミを採り生活を続けており、汽水環境はシジミをつくり、地域社会を支えている。十三湖は岩木川の河口に位置し、岩木川下流域の産物は十三湖のシジミに代表される。したがって、岩木川下流域における持続型社会の構築には十三湖の汽水環境を持続させることであり、塩水の遡上の大小は汽水環境への環境負荷となっており、塩水遡上の特性を明らかにすることは環境負荷を評価するうえで重要となる。これを LCA の手法で十三湖汽水環境をみると 4つのステージは次のようになる。①目標、評価範囲の設定；対象範囲は十三湖であり、湖への塩水遡上と汽水環境の現状を把握することである。②イベントリ分析；塩水遡上の規模および年・季節・日の変動を把握すること。③影響評価；河口地形、降水量、融雪量、洪水流量は塩水遡上に関係しており、これらの塩水遡上への影響を明らかにすること。④解釈；地元漁協、河川管理者、地元住民の連携をはかり汽水環境を保全していくシステムの確立。本研究では、上記①および②を中心にして検討する。

2. 調査対象地の概要

図1に岩木川流域概要図を示す。岩木川は、青森県西目屋村にある白神山地の雁森岳を源とし、支川浅瀬石川を集めながら東に流れ、弘前市付近で流れを変えて平川を合流し、津軽平野の平坦な低地を北上し、十三湖を経て日本海へ注ぐ一級河川である。幹線流路延長は 102km、流域面積は 2,504km²、流域内人口は約 48 万人である。河口部の十三湖は汽水湖であり、ヤマトシジミの産地となっている。シジミの漁獲量は全国で2位となっている(年によっては3位になることもある)。したがって、十三湖のシジミはこの地域にとってなくてはならない水産物であり、この地域を支えている。



図1 岩木川の概要

図2に十三湖の全体図を示す。一級水系岩木川の河口に十三湖がある。湖沼面積20.06km²、水面標高0m、日本海につながっている汽水湖である。

過去に水戸口では西北西の強風、激浪時、漂砂でふさがり、岩木川の流れを止め大水害となって地元被害を与え続けていた。この湛水被害を防止するために、水戸口の突堤導流堤改修

*Study on aquatic environment of Lake Jusan in investigating LCA by M. Sasaki, H. Tanaka and M. Umeda

工事が1925年に始まった。22年間この工事が続き、1946年に現在の突堤導流堤が完成した。完成以来、約60年経過した今日まで水戸口導流堤はその機能を持続している。したがって、この水戸口により十三湖には塩水が適度に入り淡水と混合し、シジミの生息可能な汽水環境が作られている。この水戸口が完成しなければ現在の豊富なシジミはなかったといえる。

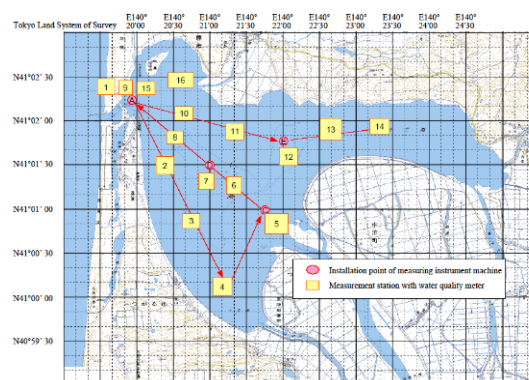


図2 十三湖の概要と測定地点

3. 調査方法

(1) 計測器による測定

現地観測により湖内における塩水の動きを把握するため流向流速（自記式電磁流向流速計(AEM-USB)）と塩分濃度（自記式水温塩分計(ACTW-USB)）を用いて測定した。これらの自記式計測器は図2に示す湖口近くや湖央における測定地点に設置している。その他の測定地点においては船を測定点に沿って曳航し、船上より計測器を下し測定している。

(2) 海水遡上量の推算

十三湖への遡上塩水量は国土交通省青森河川国道事務所による観測値（五所川原地点河川流量および湖水位）より算出した。十三湖への流入河川は岩木川の他に山田川、鳥谷川があるがこれらの河川は小さく無視出来るものとした。したがって、十三湖への流入は岩木川河口と湖口だけからであり、湖口からは流入（海水流入）と流出があり、流出が多ければ湖の水位は下がり、流入が多ければ湖水位は上がり、それらは水位データに表れており、河川流入量と水位上昇量より海水流入量を算定できる。

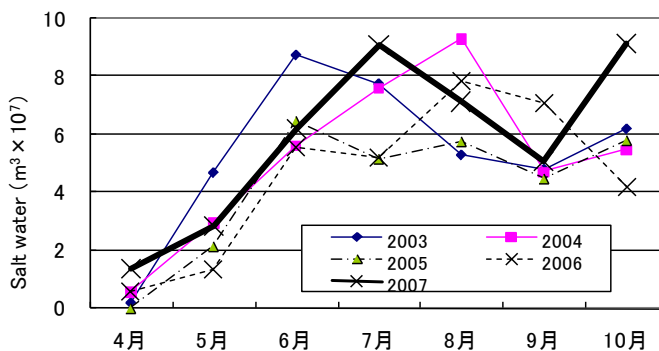


図3 十三湖への海水遡上量（夏季）

4. 塩水遡上量

図3および4は前述3（2）に記した計算方法により湖水位および岩木川河川流量（五所川原地点）より求めた夏季および冬季における各月の遡上海水量を示したものである。図4に示した年は11月および12月の年であり、1月から4月は実際

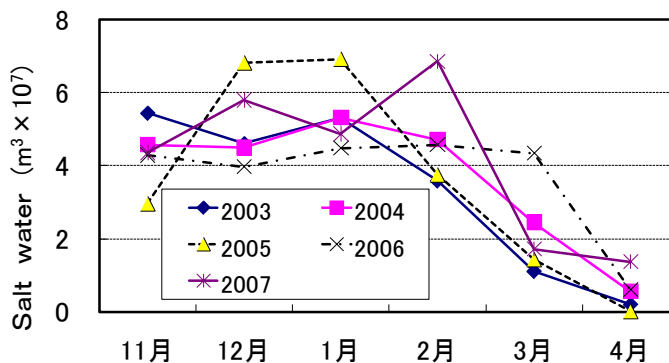


図4 十三湖への海水遡上（冬季）

には図に示した次の年に相当している。これらの図より次のことが言える。4月は海水遡上量が最も少ないが

これは上流山地における融雪の影響で岩木川の河川水が増大し、そのため湖水位があがり水戸口では逆流が生じないからである。5月から遡上海水量は上昇し7月にはピークに達している。年によっては6月がピークになっている場合もある。湖の体積 V_o は $V_o = 2 \times 10^7 \text{ m}^3$ なので十三湖へ遡上する海水は湖体積の5月に1~2.5倍、6および7月には3~4.5倍となっている。8月から10月にかけては横ばいかやや減少傾向にあるがそれでも遡上海水量は湖体積の2.5倍から4.5倍の量となっている。冬季においては(図4)、11月から2月までは遡上海水量は湖体積の2.5倍($5 \times 10^7 \text{ m}^3$)となっている。3月から4月にかけて海水遡上量は減少しているがこれは融雪の影響であり、融雪により河川水が増大し、そのため湖水位が上昇するためである。

図5および6に十三湖へ流入する河川流量を示した、図6に示した年は11月および12月の年であり、図4と同様に1月から4月は実際には次の年に相当している。図より以下のことが言える。夏季においては(図5)、4月が最も多く、 $40 \sim 90 \times 10^7 \text{ m}^3$ となっており、これは湖体積の20~45倍の量となっている。5月、6月、7月と徐々に減少し、7月には $10 \sim 20 \times 10^7 \text{ m}^3$ となっており、湖体積の5倍から10倍の量となっている。8月から10月にはやや増大し、おおよそ $10V_o$ となっている(V_o :湖体積)。冬季においては(図6)、11月から2月にかけて徐々に減少しているがそれでも $10V_o$ の量となってい

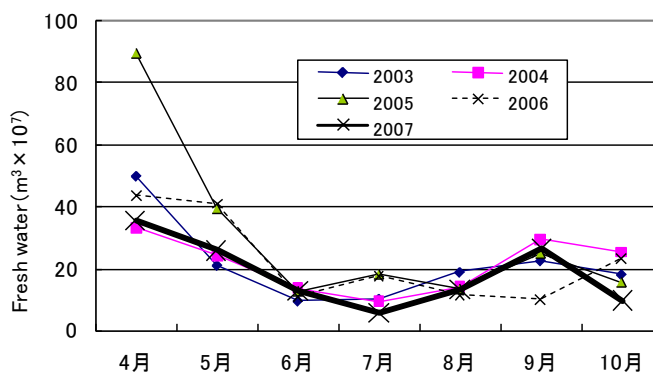


図5 十三湖への流入河川流量 (夏季)

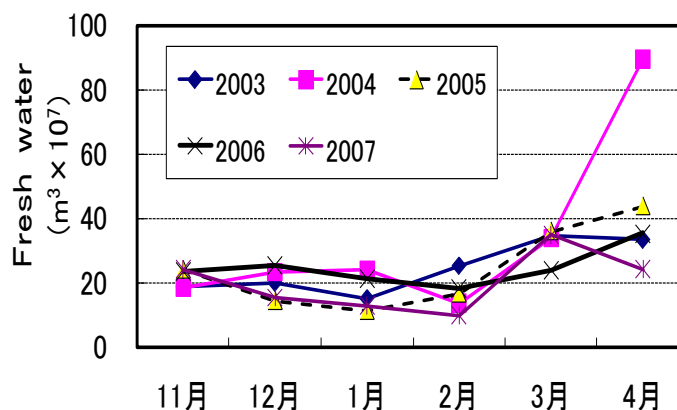


図6 十三湖への流入河川流量 (冬季)

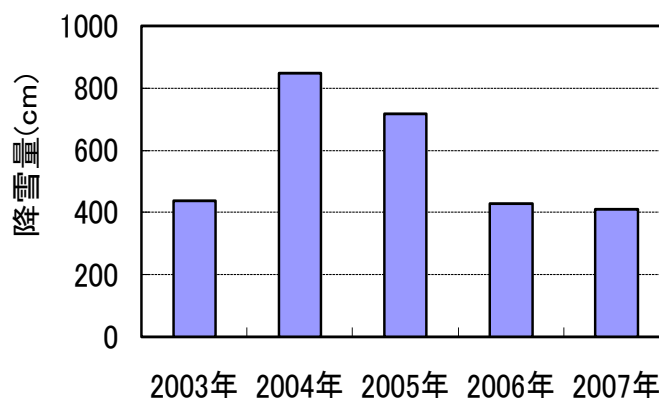


図7 降雪量

る。3月になると多くなり、4月にはさらに増大し、30～45V_oの量となっている。11月の流入河川量は年変動が小さくほぼ一定値 $20 \times 10^7 \text{m}^3$ 強となっている。図7は降雪量を示したもので図に示した年は11月および12月の年である。図より2004年～2005年冬季は雪の多い年であり、4月の融雪量が多い年と一致している。図3に示した7月の遡上塩水量より、多雪年には7月の塩水遡上量が少ない。

これは地下水を融雪量が涵養し、7月の河川流量に影響を及ぼし、塩水遡上を少なくしているものと考えられる。

図7および8は遡上海水量が最も多い6月と7月の割合を示したもので5年間の平均値で示しており、6月は35%、7月は36%に達し、その量はおよそ湖体積の3.5倍に及んでいる。

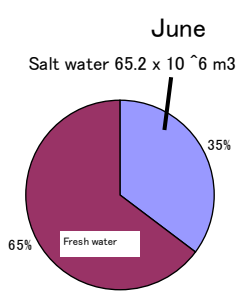


図8 遡上海水量の割合 35% (6月、2003年～2007年における5年平均値)

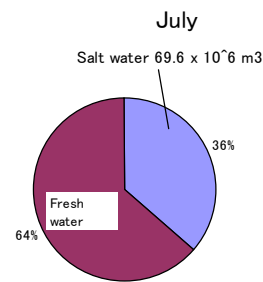


図9 遡上海水量の割合 36% (7月、2003年～2007年における5年平均値)

5. 海水の遡上と退出

水戸口では順流と逆流が交互に繰り返され、海水は逆流によって湖内に進入し、湖に広がっている。湖内に入った海水は順流時に水戸口から海へ流出しており、湖内に長く留まることはない。塩分は塩水と淡水の混合が境界面を通して生じた分淡水中に残り、規模の大きい順流時に湖内から流出している(自記式電磁流向流速計(AEM-USB)と自記式水温塩分計(ACTW-USB)による測定結果の図示省略)。

6. 湖内における塩淡混合

図10に塩分の測定結果の1例を示したもので、図の横軸は塩分濃度を取っており、単位はpsuである。図より下層の塩分濃度は20以上となっており海水に近く、上層は4psuの塩分濃度となっており、進入した塩水からは塩分が少し抜け、淡水は下層の塩水から塩分を受け取り、混合が生じているが塩水と淡水の境界面は明確に表れており、弱い混合が生じている。

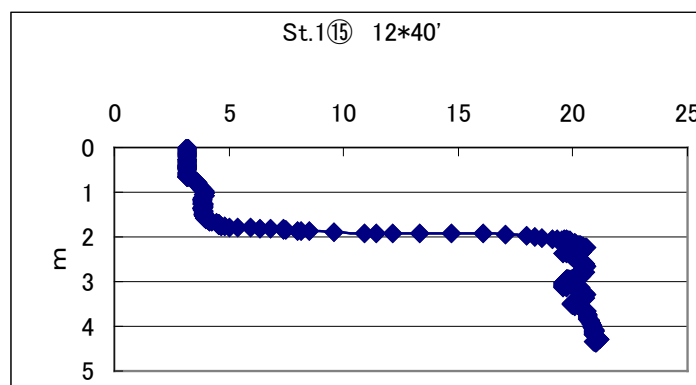


図10 湖口近くの進入海水退出時の塩分分布

図11、12および13は塩分の測定結果から塩水塊の分布を推定したもので、それぞれ湖口から湖の東奥

部、西奥部、中央奥部の線上の縦断分布を示したものである。図より、以下のことが言える。図11より、湖口ー湖東奥部は中央部が浅く、奥に進入した塩水は深みに溜まりがちである。上層は淡水であるが塩分が拡散しており弱い混合が生じている。深部に溜まった塩水は湖中央部を迂回し、湖口へ流出する。

図12より、湖口ー湖西奥部間は湖口方向に深くなる湖底勾配となっているために順調に海水が退出している。境界面が下流に向かって逆勾配になっているのは上層の淡水と下層塩水との速度差のため摩擦力と塩水塊重力成分がつりあっているからである。

図13より、湖口ー湖中央奥部間は湖口と岩木川河口を結ぶ線上でもあり、順流時には淡水の流れは速く、そのため塩水と淡水の境界面に働く摩擦力も大きく、界面の勾配も大きくなっている。それでも混合は弱混合であり、塩水楔形状は崩れておらず、緩混合の状態で海水が湖外へ掃き出されている。

7. 総合考察

2003年から2007年までの5年間の冬季塩水遡上量を比較した結果、2004年度冬季の3月と4月は他の月に比べ、塩水遡上回数が少ない。これは、雪解け水などの流入により主流の岩木川河川流量が増し、河口にある十三湖水位が上がったことが要因である。つまり、3月と4月は他の月に比べ、十三湖水位が潮位よりも高い傾向にあるため、塩水遡上量が少ないことを示す。いずれの年も11月から1月にかけて順流の量は比較的安定している。2007年度冬季の水戸口逆流量も、2004年度冬季と同様に3月と4月は他の月に比べ、塩水遡上回数が少ない。2004年度の降水量は889mmだったのに対し、2007年度は498mmと少なかったが暖冬が影響していると考えられる。降水量が多いと岩木川流量が増し、塩水遡上は発生しにくく、少ないと塩水遡上は発生しやすい。岩木川河川流量は降雨、降雪、融雪等天候に左右される。岩木川流量が減少すると、水戸口では塩水遡上が頻発する。湖水位が低いほど塩水遡上量が多くなる。降雪量と塩水遡上の関係は次のようになる。2004年の3月、4月は例年と比べ岩木川河川流量が多くなっている。2004年の降雪量は例年と比べ多かったことより、塩水遡上はその年の降水量や降雪量が少ないと発生しやすく、多い場合は発生しにくいことがわかった。また、3月と4月は雪解け水である融雪水の影響から岩木川河川流量を多くする傾向にある。

8. 結言

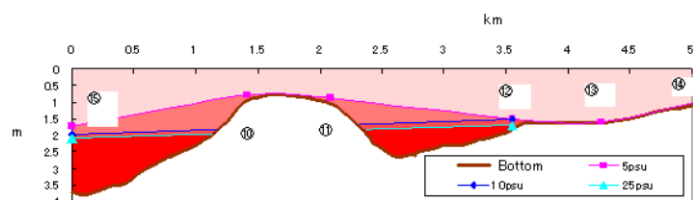


図 11 順流時の塩水退出状況 (湖口ー湖東奥部)

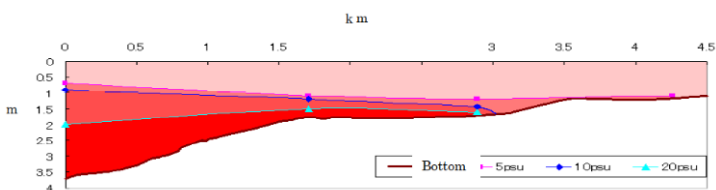


図 12 順流時の塩水退出状況 (湖口ー湖西奥部)

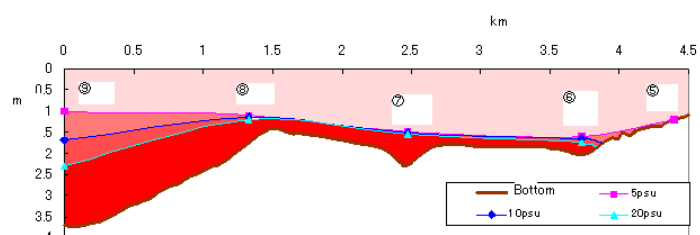


図 13 順流時の塩水退出状況 (湖口ー湖中央奥部)

十三湖への適度な塩水の遡上によりここでの汽水環境は維持されている。この汽水環境の下で湖内ではシジミが繁殖し、生育しており、地域住民はこのシジミを採り生活を続けている。汽水環境はシジミをつくり、地域社会を支えている。十三湖は岩木川の河口に位置し、岩木川下流域の産物は十三湖のシジミに代表される。岩木川下流域における持続型社会の構築には十三湖の汽水環境の持続が必要不可欠となっている。塩水の遡上の大小は汽水環境への環境負荷となっており、塩水遡上の特性を明らかにすることは環境負荷を評価するうえで重要となる。

本研究ではライフサイクル的な思考を十三湖の汽水環境研究に適用してみた。本研究により以下の点が明らかになった。

(1) LCA研究の視点より十三湖汽水環境を調査した結果塩水遡上による環境負荷は蜆の自然繁殖・生育に悪影響を及ぼしているわけではない。過去に水戸口は幾度となく閉塞している。水戸口の閉塞が生じれば塩水は進入せず、汽水環境は崩れ、蜆の産卵や繁殖に大きな影響を及ぼす。現在の水戸口導流堤が建設されて以来河口閉塞は生じていない。水戸口導流堤の果たしている役割は極めて大きい。LCA視点から評価すると水戸口導流堤の果たしている役割は計り知れないほど大きいといえる。

(2) 2003年から2007年までの5年間の冬季塩水遡上量を比較した結果、2004年度冬季の3月と4月は融雪水が多かったため他の月に比べ、塩水遡上量が少ない。

(3) 11月から1月にかけて順流および逆流流量は比較的安定している。

(4) 2007年度冬季3月と4月は暖冬のため融雪水が多く塩水遡上量が少なかった(2004年度の冬季降水量は889mmに対し、2007年度は498mmと少なかったが暖冬であった)

(5) 塩水遡上はその年の降水量や降雪量が少ないと発生しやすく、多い場合は発生しにくい傾向にある。

(6) 塩水は緩混合か弱混合で遡上している。淡水と遡上海水の混合は生じているが強混合とはなっておらず弱い混合となって塩分が淡水中に拡散している。

謝辞 この研究における流向流速測定および塩分水温測定は「LCAを考慮した北東北における地域防災と維持管理に関する研究(研究代表:熊谷浩二)」により実施した。また、本研究における塩水遡上量推定研究は科学研究費補助金基盤研究(B)課題番号21360230「地球温暖化に伴う河口感潮域の水理・地形環境の変化と対応策に関する研究」(代表東北大学教授田中仁)により実施した。本研究の湖内におけるDO等の水質測定は岩木川河川生態学術調査研究により実施した。ここに深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) Atas Pracoyo・梅田信・田中仁・佐々木幹夫;汽水環境解析のための十三湖水戸口流量の推定方法に関する検討、土木学会論文集(海岸工学) Vol. 66, No. 1, 2010, pp.931-934.
- 2) Sasaki M., K. Muraoka, M. Atsumi and Y. Komatsu (1990): History of *Mitoguchi* channel blockage and stability of *Mitoguchi* channel, Proceedings of Coastal Engineering in Japan, pp.344-348. (In Japanese)
- 3) Sasaki M., Y. Tamura and Y. Fujita (1997): Characteristics of salt water movement in Lake Jusan, Proceedings of Hydraulics Engineering in Japan, pp.501-507. (In Japanese)
- 4) Sasaki M. and T. Takeuchi (2003): History of river blockage and stability of the Iwaki River mouth, Proceedings of 15th IAHR Congress, Thessaloniki, Greece, CD-ROM, A3, 24-29, August 2003.