

サロベツ川水系の流れと潮汐

吉 田 静 男*

1. 序 文

サロベツ川は天塩川の河口部に連結しており、その流れは洪水時を除き潮汐の影響を受けて往復流となる。水系の地形は鹿島灘に河口を有する那珂川に連絡する濁沼川水系のものと似ており、上流部に感潮沼を有している。しかし、両者の水面変動現象にはかなりの相異が見出せる。本報告では、サロベツ川水系の流れや水位変動の特徴を述べるとともに振動特性に関する若干の理論考察も行なう。

2. 観測方法及びその結果

2.1 観 測 方 法

図-1 はサロベツ川水系の地形を示したものである。図には観測ステーションが記入されているが、それらの天塩川河口からの距離は以下のとおりである。

St. 1) 1.6km (河口水位観測所), St. 2) 11.6km (サロベツ川河口), St. 3) 14.6km (浜里), St. 4) 18.3km (音類橋), St. 5) 21.9km (河道分岐点より 70m 上流), St. 6) 22.2km (パンケ沼下流 150m), St. 7) 22.3km, St. 8) 22.6km (パンケ沼内, 沼口と St. 9 を結ぶ線上沼口から 200m), St. 9) 24.6km (パンケ沼奥)

水位は St. 1, 3, 4, 9 において常設水位計により、又、観測期間の 1983 年 8 月 9 日, 10 日には St. 5 と 7 にリチャード型水位計を設置して記録した。流向及び流速は St. 4, 6 においてアンデラー流速計を用いて記録した。その他の地点では、CMII 型流速計や塩分計 (EST-3 型東邦電探)、超音波測深機を用い補助データを得ている。

天塩川は人工堀さくにより河口部水深は概略 5m 程度に維持されており、サロベツ川においても上流遠方まで 5m 水深が続いている (図-2)。又、河幅は天塩川で約 200m, サロベツ川で約 30m であって流路面積の極端な狭窄部はない。ただ、サロベツ川には湾曲部が多くその少なからぬ影響があると思われる。サロベツ川上流の St. 5 の少し下流部では、さらに上流に続く河川と、それよりはやや流路の狭い、しかもパンケ沼 (3.38×10^6

m²) に連結する河道に分岐している。パンケ沼へは平水時沼口以外からの淡水流入がほとんどない。又、その水深は一樣で浅いが水底と平均水面レベルとの差は 1.7m 程あって、沼全域に潮汐の影響が及ぶ。ただ沼口付近の水深が図-3 に示すとおり不連続的で、濃度の高い下層部塩水の侵入はその段差の存在のために制御されている。潮汐波の侵入にはあまり影響はないが上記の様に塩分侵入に関係する地形としてはサロベツ川河口における若干高くなった河床を挙げることができる。その様子は

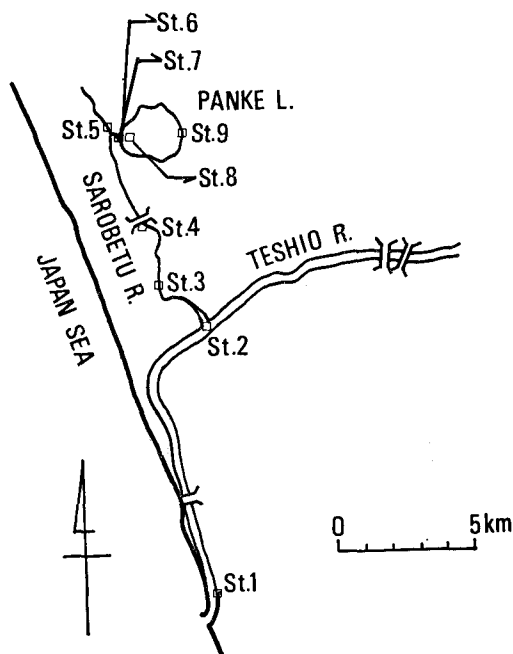


図-1 サロベツ川水系及び観測地点

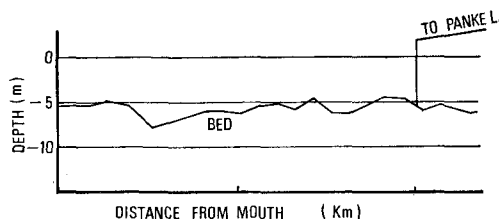


図-2 サロベツ川最深河床高分布

* 正会員 工博 北海道大学助教授 工学部 数物系共通

図-4 に示すとおりで、その部分的に高い河床の存在より落潮時の界面がサロベツ川と天塩川とで不連続となる。

2.2 観測結果

各地点における観測期間中の水位記録を示すと 図-5 となる。縦軸の0は各地点の時間平均レベルであり0の海拔高度は St. 1 と他の地点とでは河川が異なり若干相異していると思われる。しかし、St. 3~9 の0レベルは、サロベツ川の基本流量がきわめて少ないため、ほぼ同一高度にあるといえる。

St. 4, 6 におけるアンデラー流速計の記録からは 図-6 を得る。同図には水位もあわせて示してある。その他、水質や流路断面、河川流量に関するデータもあるが、紙面の関係で今後の議論に必要なものだけに注目してゆく。

3. 観測結果の解析

3.1 水位変動状況及びその振幅減衰傾向

図-5 には各地点の水位記録の他、St. 9 における水位記録も破線で示されている。同図から分かる重要な事実はパンケ沼の入口と沼奥とで水位に特別の差異が無いことである。この状況は、やはり海洋と河道を介して連結する潟湖の場合²⁾と大いに相異している(後者の場合、沼奥では潮汐の影響がほとんど無視し得る)。従って、パンケ沼の場合、沼奥の水位が分かれば刻々沼に流入する流量が明かになる。実際に St. 9 の水位から流入量を算定すると 図-7 を得る。同図には独立に測定され

た St. 4 の水位と St. 9 の水位から分かる水面勾配と、アンデラー流速計による流向の記録(矢印上向きが流入時を表わす)も同時に示してあるが、それぞれが示す転流時刻は(当然とはいえ)完全に一致している。

図-5 からは、さらに、水系全域にわたる刻々の水面形状を求めることも可能である。図-8 はその2時間おきの水面形状を示したものである。又、上流に向かうにつれ減衰する振幅は 図-9 となる。なお、この振幅のデータについては先に記した観測日以外のものも採用して

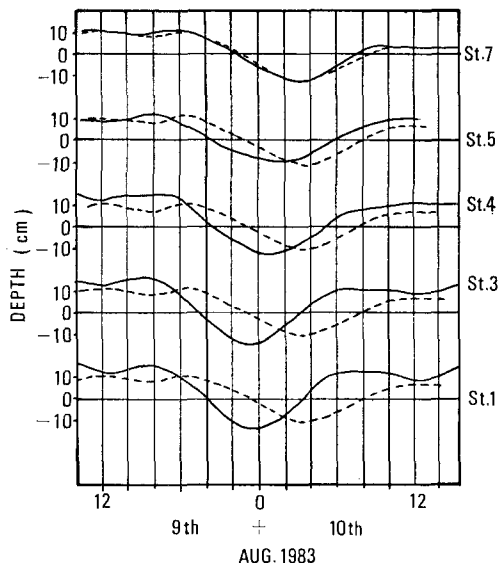


図-5 各地点における水位変動記録。破線は St. 9 における水位変動記録

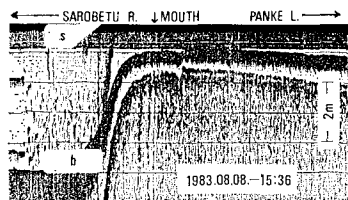


図-3 パンケ沼口付近の水深分布。s: 表面, b: 河床

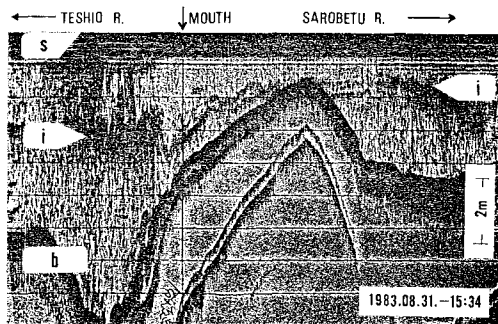


図-4 サロベツ川河口部の水深と界面形状。s: 表面, i: 界面, b: 河床

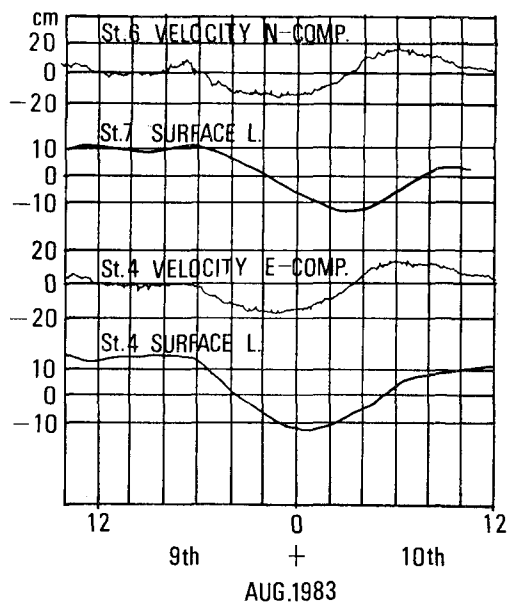


図-6 St. 4, 6 における流速及び水位変動

おり、図にはその1回潮、2回潮の区別(1回潮の振幅が2回潮より大きい例)、さらに、比較のための濁沼川のデータの記載も行っている。図-9からまず分かることはサロベツ川の振幅減衰率が濁沼川のものに比べて非常に小さいことである。この最大の理由は、濁沼川の場合、河口と上流の濁沼における時間平均の水位差(30cm濁沼の水位が高い)にあると思われる。又、濁沼川では水深に比べ潮汐振幅がけって小さくないことも、多少、影響しているであろう。

3.2 モデル水系を用いた振幅減衰傾向の考察

本節では水系を図-10の様にモデル化し、サロベツ川の水位変動振幅の傾向を説明する手だてとなる理論考察を行なう。同図において a は水路(一次元一様流路)の断面積、 A は沼の水面積、 l は水路長、 x はサロベツ川河口に原点0を有し l に沿って図の様にとられた座標である。今、 y, z 方向の流速を0とみなし、水路の流速 u を潮汐による変動成分 u' と基本流速 $-u_0$ の和と考えると、簡略化のため線型近似された運動方程式と連続式から u' 、又は、平均水面からの上昇量 ζ に関する2階の微分方程式を得る³⁾。ここでは ζ に関する次式について考察を加えてゆく。

$$\frac{d^2\zeta}{dx^2} + \left(\frac{\sigma^2 - if\sigma}{gh} \right) \zeta = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに g は重力加速度、 h は水深、 σ は潮汐の基本波の角周波数、 f は摩擦係数 k を用いて

$$f = (k/h)|u| \quad \dots\dots\dots(2)$$

と表わされる。 f は k と u の関数であり場所的、時間的に一様ではないが、線型近似段階の考察にとどめるためにはこれを定数化する必要がある。最も直接的な f の決定法は、現実の振幅減衰を説明しそうな値を選ぶことである。しかし、ここではやや一般化をもたせる意味で従来知られている次式

$$k = \frac{g}{\left(\frac{1}{n} R^{1/6} \right)^2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

から k を得ることとする。なお(3)において n は次式から決定し得るマンニングの粗度係数である

$$h_i = \frac{n^2 Q(t) |Q(t)|}{B^2 R^{10/3}} L \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに h_i は水路沿いの適当な2点間(距離 L)の水位差、 $Q(t)$ は時刻 t の流量、 B は水路幅、 R は径深である。さてこれで k が求まるが未だ $|u|$ の処理が残っている。これに関しては事柄がエネルギー損失にかかわることに注目し、一周期(T)間のエネルギー損失が f を使用して(2)も

右辺を使用しても同じになる様、すなわち、次式を成立させ得る様な代表的な $|u|$ を求めることにする⁴⁾。

$$\int_0^T \frac{k}{h} |u| u^2 dt = \int_0^T f u^2 dt \quad \dots\dots\dots(5)$$

さて u としては St. 4 におけるアンデラー流速計による結果を用いるのが適当であろう。8月10日の上げ潮を $T=12.5$ 時間の2回潮とみなすと実測結果として $u = (0.045 + 0.317 \cos(\sigma t + \epsilon))$ m/sec を得る。これを(5)に代入し計算を進めると、 $|u|$ を0.285とすれば目的が達せられることを知る。さらに10日3時の実測値から $L=3700$ m で $h_i=0.057$ m、 $Q=41.9$ m³/sec、 $R=3.9$ mを得、(4)より $h \approx R$ とみなせば $n=0.027$ 、さらに(2)、(3)より $f=0.000324$ を得る。

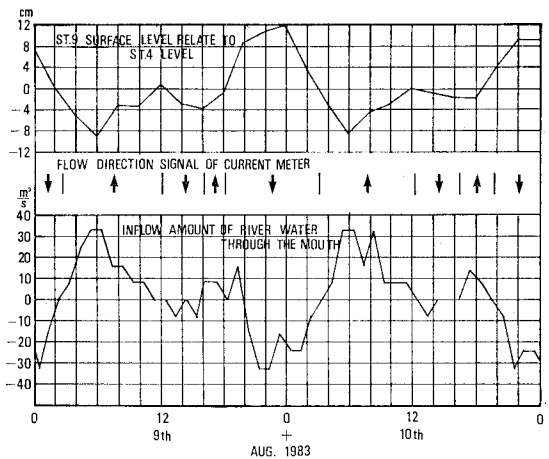


図-7 パンケ沼への流入水量、アンデラー流速計による流向及び St. 9 の水位マイナス St. 4 の水位

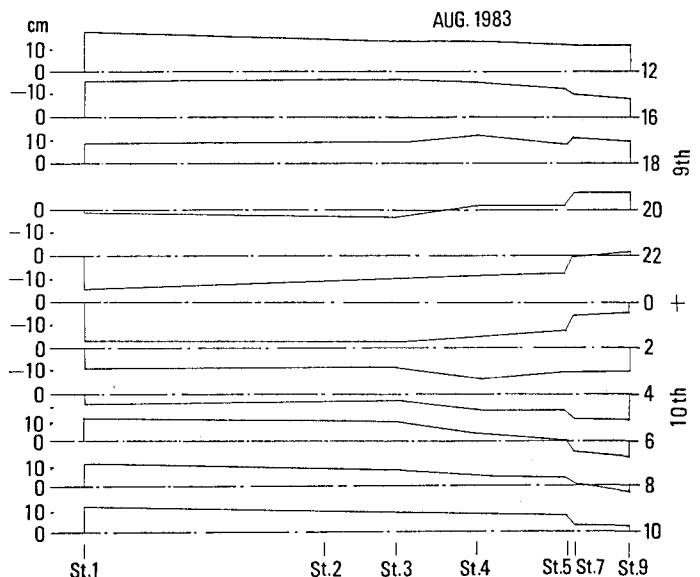


図-8 サロベツ川水系の水面形状変化

この f を (1) 式に代入し、水路両端での水位条件

$$\zeta = \zeta_0 \cos at \quad (x=0) \dots\dots\dots (6)$$

$$au = A(\partial \zeta_i / \partial t) \quad (x=l) \dots\dots\dots (7)$$

を用いると次の解を得る

$$\zeta = \zeta_0 \frac{r \cosh \{ \alpha(l-x) \} + \alpha \sinh \{ \alpha(l-x) \}}{r \cosh(\alpha l) + \alpha \sinh(\alpha l)} \dots\dots (8)$$

ここに ζ_0 は河口での ζ を表わし、 $\alpha = P + iq$, $r = a/Ah$ とした。(8) は複素数となるから、その絶対値から振幅が、又、実部と虚部の比から位相が計算できる。ここでは主として振幅に注目する。

振幅の計算結果は 図-9 S_1 の曲線で示される。 S_1 と実測値の結果の一致度は x の増大につれ悪くなっている。ただ位相に関しては比較的良い一致を示している。図-9 のサロベツ川のデータは片対数紙上で完全に直線とならず沼口付近ほど減衰率が著しい特性を有している。しかし、本来、その減衰率自体があまり大きくなく、実測結果はパンケ沼の存在の影響を受けない無限長型の河川の特性を有している可能性も否定できない。そこで次に、図-10 において l を無限に長くとり (7) のかわりに

$$\zeta = 0 \quad (x=\infty) \dots\dots\dots (9)$$

を採用すれば簡単に振幅が計算でき、図-9, S_0 を得る。この結果及び位相は、ともに 2 回潮データよりかなり小さい。従って無限長河川と見なすことにも問題有とせざるを得ない。以上の結果を総合すると、サロベツ川における水面形状や振幅の議論は、分岐点における分流と合流を含めた、かなり詳細な考察が必要といえる。

ここで、濁沼川の場合について若干の考察を加えておく。濁沼はパンケ沼の 4 倍の水面積を有している。しかし、河道部の面積が約 3.5 倍で水深はほぼ同じであることから (8) 式における r は約 28% 増大するのみである。一方、 f はシリベツ川の例より約 38% 小さく、結局振幅減衰曲線としては S_1 と大差のないものを得る。濁沼川の場合は分岐河道がなく、図-10 のモデル化が当てはまる様に見えるが上記の結果が示すとおり、まったく一致しない。この相異の説明は、やはり先に述べた平均水面の著しい差の要因を考えると、はじめて可能となる様に思われる。

以上の理論結果は、サロベツ川や濁沼川では、沼の水面積が水位の変動振幅に与える影響が、比較的小さいことを示している。では水面積の広さが大きな意味を有してくる場合の水位変動振幅はどうなるのであろうか。本節の最後にこの点についてふれておく。水面積が増すと、必ずしも水路における f を現在のサロベツ川での値とはできないと思われるが、ここでは A のみが、従って r のみが 5, 10 倍となったときの振幅減衰曲線を求めてみる。結果は 図-9, S_2 (5 倍の場合), S_3 (10 倍の

場合) となる。これらの曲線が示す様に、実質の r のわずかな増加は沼口近くで著しい振幅減衰をもたらすことが分かる。

3.3 パンケ沼への塩分侵入状況

サロベツ川は 図-4 に示した様にその河口部の川床が高く、天塩川からの塩分侵入が制御されている⁵⁾。ただ、一度塩水が河道内に侵入すると、落潮時の塩分後退も制御され、結局全潮時にわたって塩分が保たれる構造を有している。この理由のため、サロベツ川は長時間にわたり希釈塩水が存在する河道になっているが、その塩分環境はヤマトシジミの生息に非常に適している。ヤマトシジミの生息の北限はパンケ沼であるが、パンケ沼は河口から侵入した塩水の北限でもある。シジミの生息に最も適している塩分値 (S 値) は 1~7‰ であるが、パンケ沼の塩分は平水時 1~5‰ である。このため、サロベツ川水系の中ではパンケ沼においてヤマトシジミの漁獲量が最も多くなっているが、そのわずかな塩分を有する水塊は少し増水すれば簡単に沼から流出してしまうことになり、沼の塩分値予測はきわめて重要な課題となっている。本節では潮汐によって流入流出がくりかえされる沼への侵入塩分量の時間変化を概略見積ってみる。

図-11 は St. 8 の水深 0.4m において記録した水質の時系列である。この図からはパンケ沼特有の塩分の時間変化を見出せる。この様な現象は、上げ潮時には分岐点より上流に続く河川水がまず流入し、次いで強混合型式となった水塊が流入するために生じる。勿論、流入水塊の量は、沼の水量に比べかなり小さいので、沼の平均塩分値は即座に変化することはない。しかし、何潮時か後にはその塩分値は定常化する。

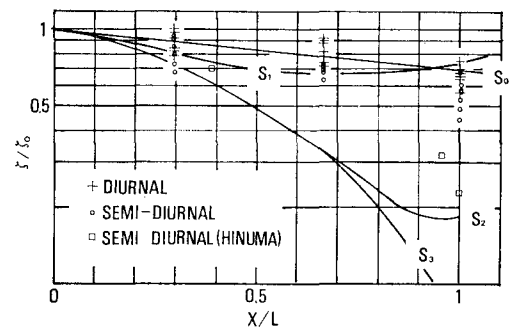


図-9 振幅減衰傾向。 ζ_0 : 河口における振幅, ζ : 位置 x における振幅, L : St. 2-5 間距離, x : 河口から上流にとった距離

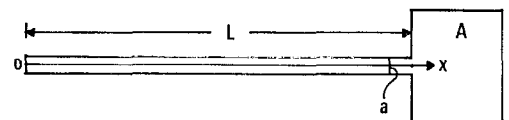


図-10 水系のモデル及び記号の説明

今一例として、増水により沼が淡水化し、その後サロベツ川に塩水侵入が可能なまでに河川水量が減少したとしよう。塩水の北限が沼口に達してから何潮時後に沼の塩分が定常化するであろうか。

この計算は次式によって、次の潮時の沼の塩分を求めることにより可能となる。

$$k_n = k_{n-1} \Delta V_1 \gamma_1 - \Delta V_2 \gamma_2 \dots\dots\dots(10)$$

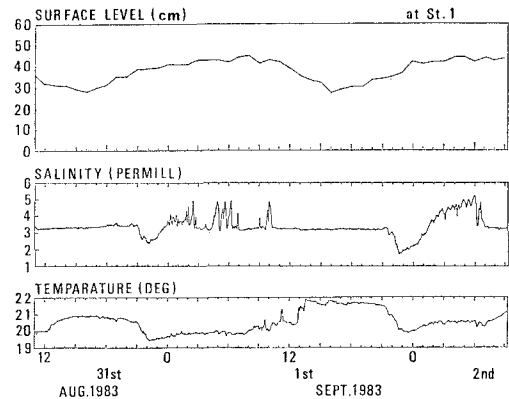
ここで k_{n-1} は今回の潮時における沼に含まれる塩分量 (kg), k_n は求めるべき次の潮時における塩分量 (kg), ΔV_1 , γ_1 は沼に流入する水量とその適当な時刻における塩分濃度 (‰), ΔV_2 , γ_2 は沼から流出する水量とその適当な時刻における塩分濃度 (‰) である。一般性を持たせるために沼口以外の小川からの流入も考慮するのであればその半潮時にわたる総流入量 ΔV_3 を用い

$$\Delta V_2 = \Delta V_1 + 2\Delta V_3 \dots\dots\dots(11)$$

とすればよい。具体的に 8 月 9 日, 10 日のデータと $\Delta V_3 = 4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ という仮想流入水を考えたと $\Delta V_1 = 5.81 \times 10^3 \text{ m}^3$, $\Delta V_2 = 9.77 \times 10^3 \text{ m}^3$ を得, $\gamma_1 = 1.65\text{‰}$ とおくと, $\gamma_2 = 0$ の状態から定常値の 50% に達するには 3 潮時, 90% には 10 潮時, 99% には 19 潮時を要することがわかる。

4. 結 語

本研究により、サロベツ川の流れは上流分岐河道とパンケ沼の存在により単純とはならないこと、及び、水系地形は似ていても平均水面勾配の著しく相異なる潤沼川に比べサロベツ川の上流域での水位変動振幅はかなり小さいことが明らかになった。又、パンケ沼への侵入塩分量の予測に関してもある程度可能なことを示した。今後



図—11 パンケ沼の水質の時間変化

は、本報告では示し得なかった分岐河道を有する水系の振動特性に関し検討を進めてゆきたい。

本研究を終えるにあたり留萌開発建設部から資料の提供をいただいた。又、北海道栽培漁業振興公社主任技師谷藤康造氏には筆者とともに貴重なデータを採取する労を賜わった。記して感謝したい。

文 献

- 1) 吉田静男：パンケ沼の水理現象について、パンケ沼漁場環境調査報告書, pp. 1~71, 北海道栽培漁業振興公社, 1983.
- 2) 吉田静男・柏村正和：浅い感潮湖々水の流れ状況, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp. 550~554, 1981.
- 3) 楠 宗道：感潮水路の水理について, 土木学会誌, Vol. 17, No. 3, pp. 1~36, 1931.
- 4) 柏村正和：湧沸湖開発調査報告書, p. 57, 北海道水産資源技術開発協会 (現北海道栽培漁業振興公社), p. 57, 1980.
- 5) 吉田静男・谷藤康造：天塩川河口二層流と潮汐, 第 28 回水理講演会論文集, pp. 51~57, 1984.