

サロベツ川における日周期流量変動について

On Daily Discharge Change in Sarobetsu River with Mire

北海道大学大学院
北海道大学大学院

○学生員 杉本 光 (Hikaru SUGIMOTO)
正会員 長谷川和義 (Kazuyoshi HASEGAWA)

1. はじめに

現在、天塩川流域における泥炭地は農地化され牧草地として利用されている。これらの土地利用に際しては、泥炭地の乾燥化をはかるために地下水位の低下すなわち排水がなされている。しかし、こうした開発利用に対して、近年泥炭地の自然環境・景観上などの評価から、その保全利用の要望も高まってきており、その対応も必要となりつつある。泥炭地は保水量も非常に多く、水分保持機構として難可逆性であり、一旦排水乾燥化すると湿潤化し難いなどの特性を有し、その水文条件が泥炭地の環境特性を大きく支配しているものと見られる。そのためにも、泥炭地の流出特性を明らかにすることが要求されている。

泥炭地を流れる河川は、降雨後の河川流量（水位）変動が一般の河川とは大きく異なるところがある。サロベツ川の音類橋地点における流量変化図（図-1）では、日単位の規則的な増減の繰返しが認められ、その日変化量は $10\text{ [m}^3/\text{s]}$ ほどにもなっている。流量変化のパターンとしては、日中に上昇し夜間に下降するものとなり、特に、夏期の蒸発散の大きいときに顕著で、蒸発散量の小さい春や秋また気象条件の悪い日には不明確である。

地下水位については、過去の多くの研究から、蒸発散量の影響が大きい日中に急激な低下を示し、夜間は蒸発散がほぼゼロになるために重力排水による緩やかな水位低下しか示さなくなり、降雨後は階段状に減少していくことが知られている¹⁾。また、坪谷²⁾は大間隙と小間隙との水分ポテンシャルの差のために両間隙間での水分移動が起こり、その結果大間隙で測定される地下水位は振動現象を起すことを報告している。しかし、河川流量に関する日周期変動についてはあまり研究されていないため、本研究ではこれに着目することにした。今回用いたサロベツ川音類橋地点での流量データではこれら地下水位の現象と昼夜が逆の変化パターンを示しているが、これは地下水が河道に集まるまでの時間遅れが原因であると考えて研究を進めた。

本研究は、河川流量の1日単位の増減の原因を蒸発散に伴う小間隙部水位の毛管上昇によるものと考え、単純なモデルによって、貯留量への影響を表す式を導いて定性的な理解を進めようとするものである。今後、より定量的な流出解析に繋げたいと考える。

2. 対象地域の概要と日周期流量変化の例

(1) 対象地域の概要

本研究で対象河川としたサロベツ川は北海道の中央高地に源を発する天塩川に流入する水系であり、延長 81 [km] 、流域面積 $648\text{ [km}^2\text{]}$ で、その勾配は極めてゆるい河川である。また、サロベツ原野は東西 $5\sim 8\text{ [km]}$ 、南北約 27 [km] （天塩

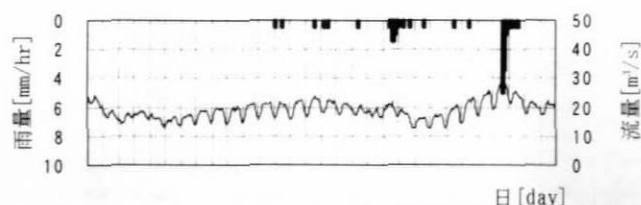


図-1 音類橋流量・雨量変化図（1998年6月）

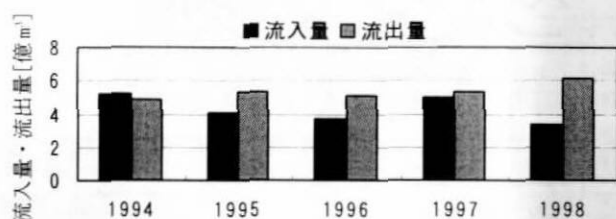


図-2 音類橋における年間水収支

川から兜沼川まで)の南北に長い長方形で、その70%の 14000 [ha] あまりが泥炭地である。本研究に用いたデータは、流量については、サロベツ橋・豊富橋・開運橋・音類橋の4つの観測所、また雨量については、エベコロベツ・有明・音類橋の3つの観測所で北海道開発局によって測定されたものである。

(2) 日周期流量変化の例

図-1は1998年6月に測定されたサロベツ川下流の音類橋地点での水位から計算された流量変化図であり、雨量変化と共に表してある。この図の横軸は日にちであり、午前0時から始まる1日単位の日盛線を引いている。図から、日中に流量が上昇し、夜間に下降する現象が読み取れる。また降雨後でも目立った流量の上昇がなく、降雨に対しては比較的流量変化が分散されていることが分かる。

3. 流量データの信憑性

流量データの変動が計測ミス等によるものではなく、信頼できるものであるかどうかを確認するために、4月から11月までの音類橋地点での水収支を計算した。豊富橋流量・開運橋流量・音類橋雨量に対応面積を乗じた値の合計値を流入量、そして音類橋流量を流出量として図-2を表す。これにより流入量と流出量の比の平均値を求めると 0.81 となり、残流域からの流入があることを考慮すれば一応信頼できるデータとして扱うことができると言える。

4. 蒸発散に伴う毛管圧力のモデル

坪谷の指摘を参考に、湿原が小間隙の構成要素と大間隙のそれとから成り立っているものと考え、前者における毛

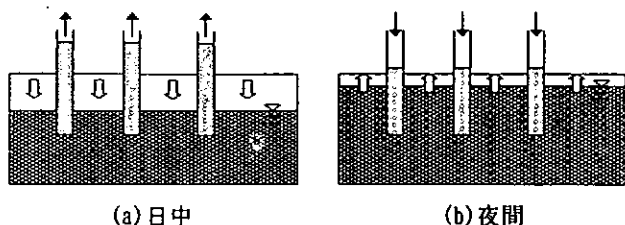


図-3 毛管圧力のモデル

管圧力のモデルとして図-3を考える。(a)は日中、蒸発散量が大きく、その蒸発散によって地中の空隙が大きくなり毛管圧力が働いて、地中の水分が毛管中に吸い上げられ、その結果、地下水面が下がる状態を示している。また(b)は夜間、蒸発散が収まり毛管圧力の働きがなくなること、日中吸い上げられていた水分が地中に戻り、その結果地下水面が上昇する状態を示している。このモデルによれば、地下水位が階段状に下降するだけでなく、夜間に上昇するという現象が説明できる。具体的な式による表示は5に示す。

5. 近似式による流量変動の説明

一定勾配斜面上の流出現象を物理モデルによって表現する方法としてKinematic wave法がある。宮原・星³⁾は斜面流出系のKinematic wave法の貯留関数法への変換法を示し、流出が地下浸透によって起こる場合には、基本方程式が次式になることを示している。

$$s = k_1 q + k_2 \frac{dq}{dt} \quad \dots (1)$$

$$\frac{ds}{dt} = I + r - q \quad \dots (2)$$

$$k_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{10^{-3}}{3.6} \cdot \frac{\lambda}{ki} L \quad \dots (3)$$

$$k_2 = 0.4 k_1^2 \quad \dots (4)$$

ここで、s:貯留高(mm)であり、ここでは大間隙部の水位を想定する。q:流出量(mm/hr)、I:流入量(mm/hr)、r:雨量(mm/hr)であり、 k_1 と k_2 は、 λ :有効間隙率、 i :斜面勾配、 k :透水係数、 L :斜面長によって決定されるモデル定数である。ここで、定性的理解のために、蒸発散による損失量と毛管圧力による貯留高変動を表す項が日周期関数によって近似できるものと考え、それらはそれぞれ(5)(6)のように表される。これらを式(2)の右辺に加えて、Iが一定でrがないという条件のもとで式(1)と共にまとめると、式(7)のようにqに関する振動方程式を得る。これを解くと式(8)が得られる。

$$-B \left\{ 1 - \sin \frac{2\pi}{T} (t + t_0) \right\} \quad \dots (5)$$

$$N \cdot \sin \frac{2\pi}{T} (t + t_0) \quad \dots (6)$$

ただし、B:蒸発散の大きさにかかわる係数、N:小間隙の毛管水位上昇高にかかわる係数、T:24[hr]、 t_0 :位相遅れ時間を表す。また、式(8)における E_1 と E_2 は初期条件によって決定されるべき未知定数を表す。

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{k_1}{k_2} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{k_2} q = \frac{I-B}{k_2} + \frac{N+B}{k_2} \cdot \sin \frac{2\pi}{T} (t + t_0) \quad \dots (7)$$

$$q = I - B + \frac{1}{\beta} \frac{N+B}{2k_2} \left\{ \frac{\alpha}{\alpha^2 + \left(\beta + \frac{2\pi}{T}\right)^2} - \frac{\alpha}{\alpha^2 + \left(\beta - \frac{2\pi}{T}\right)^2} \right\} \cos \frac{2\pi}{T} (t + t_0) + \left\{ \frac{\beta + \frac{2\pi}{T}}{\alpha^2 + \left(\beta + \frac{2\pi}{T}\right)^2} - \frac{\beta - \frac{2\pi}{T}}{\alpha^2 + \left(\beta - \frac{2\pi}{T}\right)^2} \right\} \sin \frac{2\pi}{T} (t + t_0) + E_1 e^{-\alpha t} \cdot \cos \beta t + E_2 e^{-\alpha t} \cdot \sin \beta t \quad \dots (8)$$

$$\alpha = \frac{k_1}{2k_2} \quad \dots (9)$$

$$\beta = \frac{\sqrt{4k_2 - k_1^2}}{2k_2} \quad \dots (10)$$

6. 考察

5で求めた式(8)により、この流量変動が日周期であることが説明できる。式(8)に対して、 $\lambda = 93.4[\%]$ 、 $i = 1/148$ 、 $k = 6.2 \times 10^{-5}[\text{m/s}]$ 、 $L = 2000[\text{m}]$ として式(3)(4)(9)(10)から求めた α と β の値を代入すると、位相遅れ時間は $t_0 = 6[\text{hr}]$ と求まる。これは流量変動の周期が地下水位変動の周期から6時間遅れで繰り返されていることを表している。最初の半日遅れという想定には一致しなかったが、これは斜面勾配 i 、斜面長 L 、透水係数 k の与え方によって大きく異なってくるため、これらの数値については検討する必要があると言える。また、毛管圧力のモデルを精密にするなどして、今後はより定量的な流出解析を行いたいと考える。

7. おわりに

- (1) 音類橋での流量変動曲線は、日中増加し夜間減少するというパターンの1日周期で増減を繰り返すことが認められた。
- (2) 音類橋流量データについて年間の水収支を計算したところ、流入量合計値と流出量の比の平均値は0.81となったことから、これらのデータがおおむね信頼できるものであると判断された。
- (3) 地下水位の変動を蒸発散による毛管圧力の影響と考えることで、地下水位が階段状に下降していくだけでなく、夜間に上昇するという現象が説明できる。
- (4) 蒸発散による損失量と毛管圧力による貯留高変動を、日周期関数で表現できるものとし、また浸透流に関する貯留関数モデルを用いることによって流出が振動解として得られることを示した。
- (5) 貯留関数モデルから求めた流出量qに対し、代表的なパラメータ値をあてはめると、地下水位変動に対する位相遅れ時間が6時間程度となり実態に合わない。今後の検討が必要である。

参考文献

- (1) 梅田安治: 泥炭地の水文特性に関する研究, 1985.
- (2) Taro TSUBOYA: Effect of pore structure on redistribution of subsurface water in Sarobetsu Mire, northern Japan, Journal of Hydrology, Vol. 252(1-4) pp. 100-115, 2001
- (3) 宮原雅幸・星清: 河道系におけるKinematic Wave Modelの貯留関数法への集中化, 開発土木研究所月報, No. 552, pp. 10-21, 1999.