

日高山系中ノ川における遭難事故時の急激出水について

Flush runoff at the time of mountain accident at the Nakanokawa valley in Hidaka Mountains

(株)北開水工コンサルタント 先端技術開発センター フェロー会員 長谷川和義 Hasegawa Kazuyoshi
 同最高顧問 正会員 山口 甲 Yamaguchi Hajime
 同札幌支店 正会員 伊賀 久晃 Iga Hisaaki

1. はじめに

本年8月15日、東京理科大学ワンダーフォーゲル部の学生4人が日高山脈の縦走途中で歴舟川上流中ノ川支六ノ沢上二股付近に野営中、急激な出水（いわゆる鉄砲水）に遭遇して3人が死亡するという事故が起こった。この付近は日高山脈の中でもとりわけ地形が急峻で、登山ルートとしては上級者向けと言われている。また、急な天候変化を伴って激しい山中豪雨が発生することでも知られている。豪雨発生に関して十勝地方南西大樹町あたりでは、「ヒカタ（西北）の強風が吹くと大雨になる」というアイヌ伝承が伝わっている¹⁾。明治14年、田内捨六らは道路選定のために日高・十勝地方に立ち寄り、札内川などを調査して翌年報告書を著している。その中で、「西北（ヒカタという）の強風が吹き起こる時は天気晴朗な日といえども河水が俄かに増水する。これは札内川の水源に大湖があり、西北の風で水面が動揺し湖水がこぼれて水量を増すためである。（以下略）」というアイヌの伝説を紹介している。田内は確認のためにポロシリ岳に登り、実際には大湖は見当たらなかったが、「西北の風によって出水するというのはい理がないわけではない。この地方は高山が直立し深林が鬱蒼としているので、風が生じたときにはたちまち雲を起し雨を醸し雨水が懸崖絶壁に触れ流れて溪流に入り合流して急流となる（以下略）」ものと推量している。田内は夏から秋にかけて札内近傍に滞在し、「しばしば西北の風烈しく雲が起ることがあったが、このために水量が増加したということは一回もなかった。たとえ風が吹き雲が起ることがあっても雲脚が低く雨が下ることがなければ水量を増すことはない。（以下略）」と考察している。同様な出水特徴をもつ歴舟川の駅遞に住んでいる者から聞いたところでも、「どれほど西北の風が吹いても雲が西山をおおうことがなければ決して水を増すことはない」ということであり、低雲下雨で増水するという理が確認されたとしている。

2. 流域地形の概要

図-1は、国土地理院電子国土データから事故発生地点の周辺を取り出して示したものであり、図中×印がおおよその野営箇所である。当該地点は、歴舟川支川中ノ川



図-1 中ノ川水系支六ノ沢上二股沢流域の概要
 (国土地理院電子国土データをもとに加工)

水系支六ノ沢上流にある上二股沢合流部であり、図中に上二股沢の流域形状を示す。野営の場所から、事故は右岸側支沢の影響を受けて起こったものと見られる。この支沢は、中ノ岳の山頂から直接下る急流であり、兩岸の山腹斜面もきわめて急で河道は函状になっているものと推定される。表-1にこれらの地形量を示す。表中の斜面長は、斜面を長方形とみなした場合の平均長であり、斜面面積を河道長で割ったものである。

歴舟川上流域は片状ホルンフェルスや片麻岩が分布するほか、大半が中生代から第三紀の頁岩質粘板岩と砂岩によって占められている。地表は植生に覆われているが、山頂に向かうにしたがって岩盤が表面化する。

表-1 中ノ川水系支六ノ沢上二股沢右支沢の地形量

	長さ (m)	面積 (km ²)	勾配	推定 n 値 (m ^{-1/3} ・s)
右岸斜面	645	1.67	0.390	0.1
左岸斜面	614	1.59	0.641	0.1
河道 (右支沢)	2591		0.355	0.05

3. 気象状況

8月11日から12日にかけて北海道地方を前線が通過し、台風4号が秋田上陸後太平洋に抜けた。このため、11日朝から雨が降り出し、12日にかけて100mm近くの大雨となった。13日から15日朝にかけては晴天とな

ったが、15 日午後から留萌沖に中心を持つ低気圧より伸びる前線の影響で、日高山脈の東西いずれの側でも雨が降り始めた。雨足が強くなった 18 時から 23 時の時間帯では、西側平地部で 12 観測所のうち旭の 13mm/h (19 時) が最強の雨であり、風はほとんどの場所で 8m/s 以下の南ないし東の風であった。東側平地部では、13 観測所のうち更別の 8mm/h (21 時) が最強の雨で、風はほとんどの場所で 3m/s 以下の南ないし東の風であった。

山中の降雨データは、気象庁によるもののほか北海道によるものなどがあり、かなりの地点数になる。しかし、中ノ岳観測所データは欠測しており、最も近い観測所はペテガリ(中ノ岳北西側隣接峰の西斜面)であった。図-2 は、ペテガリにおける 8 月 10 日から 25 日にかけての降雨時系列であり、15 日 14 時から 16 日 8 時の部分を拡大した時間降雨量も併示している。また、歴舟川尾田(事故現場から 10km ほど下流、河口から 22 km 上流)における水位ハイドログラフもあわせて描いている。

問題の 15 日 19 時からの雨は、先行する 11 日から 12 日の台風 4 号関連の雨に比べると強度も総量も弱く小さめである。19 時台で 7mm/h、20 時台で 8mm/h であり決して強い雨ではないが、生存者の証言では 20 時 30 分ころにテントの下に水が浸水し一気に増水して流されたとのことである。雨はむしろこの後に 16mm/h と強まり、いったん中断して 16 日 8 時まで続き総雨量 61mm となっている。また、歴舟川尾田の水位は、15 日 23 時から 16 日 0 時の 1 時間で 14cm、15 日 22 時から 16 日 10 時までの 12 時間で約 40cm 上昇した。これらの事実から問題となることは、ペテガリの雨をそのまま上二股沢流域に対応させることが可能か否かということである。降雨の時間経過はペテガリと上二股沢流域とでそれほど違わないと考えられるが、強度については地形高度の高い後方で強めであった可能性が高い。しかし、日高、十勝の全域で風向が南ないし東向きであったこと、雨の強さが豪雨とまではいえない規模であったことなどから、遭難時の雨は、伝承されているヒカタ風に関連した事象ではなかったものと判断される。

4. 流出解析による検討

上二股沢流域の雨がペテガリでの観測値に等しかったものとして増水時の流出解析を試みた。

はじめに、Rziha 式から上二股沢右支沢の降雨到達時間を計算すると、表-1 の河道のデータを用いて 242 秒となる。急勾配のせいで、ほとんど時間がかからずに到達することが分かる。続いて、遭難時刻の 15 日 20 時台の雨 8mm/h を使って Rational 式から流量を求めると $6.52\text{m}^3/\text{s}$ ほどになる。ただし、流域面積は表-1 に示した左右岸斜面面積の合計 3.26km^2 とし、 f 値は流域が岩盤からなること、先行降雨によって十分に湿っていたと考えられることから 0.9 をあたえた。生存者によると雨の前には幅 5m 水深 20cm ほどの流れがあり、そこから数 m はなれた場所にテントを張ったとのことである。この水深値と河道勾配を用い、Manning 式から初期流量を推

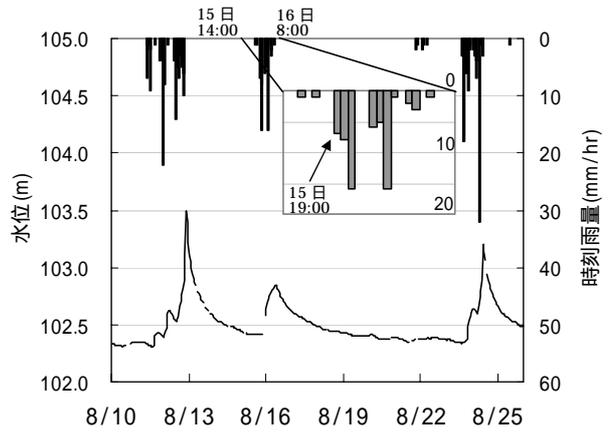


図-2 ペテガリ観測雨時系列と歴舟川尾田の水位変化

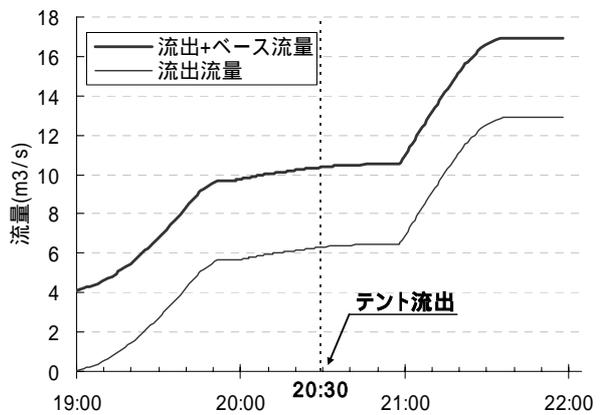


図-3 Kinematic Wave 法による河道末端流量の推定値 (15 日 19 時から 22 時まで)

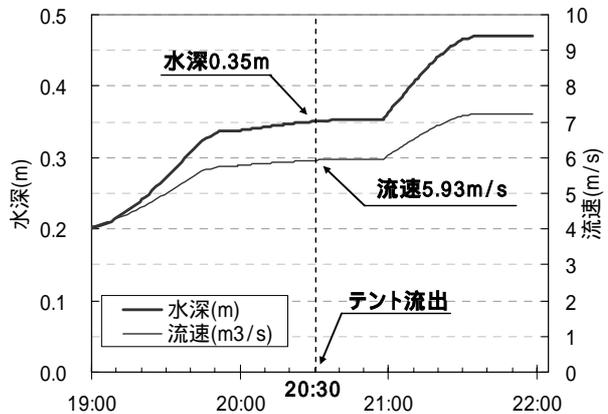


図-4 同法による水深および流速の推定値 (15 日 19 時から 22 時まで)

定すると $4.07\text{m}^3/\text{s}$ ほどになる。両者の合計は $10.6\text{m}^3/\text{s}$ である。

続いて、この流域にオープンブック型流域モデルをあてはめ、斜面流を Manning 式で表現して Kinematic Wave 法の適用を試みる。長方形近似した 1 斜面の上端から河道に向かって y 軸をとり、単位幅流量を q 、水深を h 、斜面勾配を i (斜面傾斜角 θ)、粗度係数を n 、降雨強度を r 、時間を t とすれば、斜面流の基礎式は以下に

なる。

$$q = \frac{\sqrt{i}}{n} h^{\frac{5}{3}} \quad (1) \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial y} = r(t) \cos \theta \quad (2)$$

上式の解はよく知られているように、

$$y = \frac{5}{3} \frac{\sqrt{i}}{n} \int_{\tau}^t \left\{ \int_{\tau}^s r \cos \theta dt' \right\}^{\frac{2}{3}} ds \quad (3)$$

$$h = \int_{\tau}^t r(t') \cos \theta dt' \quad (4)$$

にて表される²⁾³⁾。式(3)は特性曲線であり、 τ は斜面上流端における雨の流下開始時刻、 t はそれが距離 y にまで至る時刻である。この上で式(4)が成り立つ。

いま、雨の分布が1時間ごとに変化し、 r_1 、 r_2 、 r_3 ・・・のように表されるものとすれば、最初の雨による斜面末端における水深、流量の変化は、

$$h_L(t) = r_1 \cos \theta \cdot t \quad (t < t_{L1}) \quad (5)$$

$$q_L(t) = \frac{\sqrt{i}}{n} (r_1 \cos \theta)^{\frac{5}{3}} t^{\frac{5}{3}} \quad (t < t_{L1}) \quad (6)$$

ただし、 $h_L(t)$ 、 $q_L(t)$ は、それぞれ斜面末端における水深、流量である。 t_{L1} は斜面上流端の雨が末端に至るまでの時間で、式(3)において $y=L$ (斜面長)をあたえることから次のように得られる。

$$t_{L1} = \left(\frac{Ln}{\sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{5}} (r_1 \cos \theta)^{-\frac{2}{5}} \quad (7)$$

この時刻以降は、雨が r_2 に変化するまで水深、流量は一定で、

$$h_L = \left(\frac{Ln}{\sqrt{i}} r_1 \cos \theta \right)^{\frac{3}{5}} \quad (t_{L1} < t < t_1) \quad (8)$$

$$q_L = L r_1 \cos \theta \quad (t_{L1} < t < t_1) \quad (9)$$

となる。 t_1 は r_1 の雨の終了時刻(r_2 の雨の開始時刻)である。

興味深いのは特性曲線が t_1 を越えて変化する場合であり、この場合には r_2 の雨の流下に r_1 の雨の影響が含まれることになる。結果は、水深、流量のいずれも時間の陰関数になり、以下になる。

$$t = (r_2 \cos \theta)^{-1} \left[h_L - \left(\frac{r_1}{r_2 - r_1} \right)^{\frac{3}{5}} \left\{ \frac{Ln}{\sqrt{i}} r_2 \cos \theta - h_L^{\frac{5}{3}} \right\}^{\frac{3}{5}} \right] + t_1$$

$$t = \left(\frac{n}{\sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{5}} (r_2 \cos \theta)^{-1} \left[q_L^{\frac{3}{5}} - \left(\frac{r_1}{r_2 - r_1} \right)^{\frac{3}{5}} \left\{ L r_2 \cos \theta - q_L \right\}^{\frac{3}{5}} \right] + t_1$$

$(t_1 < t < t_{L2}) \quad (10), (11)$

t_{L2} は、 r_1 の影響がおよばなくなる時刻で、

$$t_{L2} = \left(\frac{Ln}{\sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{5}} (r_2 \cos \theta)^{-\frac{2}{5}} + t_1 \quad (12)$$

にて求められる。この時刻以降は、雨が r_3 に変化するまで水深、流量が再び一定になり、式(8)(9)の r_1 を r_2 に換えたものとなる。以後、順次雨を換えて式(10)(11)(12)などを適用することになる。

左右岸斜面のそれぞれにつき末端流量を求め和をとると、河道への単位長さ流入量が得られる。本来は、河道についても Kinematic Wave 法を適用すべきであるが、前述のように河道の到達時間が非常に短く、また、河道貯留効果も大きくないと考えられるので、河道の末端流量 $Q(t)$ を以下によって求めることにする。

$$Q(t) = L_s \{ q_{La}(t) + q_{Lb}(t) \} \quad (13)$$

ただし、 L_s =河道長、 $q_{La}(t)$ =右岸斜面末端流量、 $q_{Lb}(t)$ =左岸斜面末端流量。

図-3は、 $n=0.1$ と仮定して19時から22時の増水時間帯($r_1=7\text{mm/h}$ 、 $r_2=8\text{mm/h}$ 、 $r_3=16\text{mm/h}$)について解いた河道末端流量である。細線は斜面流出のみから求めたものであり、太線はそれに初期流量を加えたものである。また、図-4は、後者の流量に対応する水深と流速を求めたものであり、河道の粗度係数を $n_s=0.05$ 、河道幅を $B=5\text{m}$ として Manning 式から計算している。

事故発生時の20時30分ころにつき評価すると、総流量は $10.4\text{m}^3/\text{s}$ ほどで Rational 式の結果にほぼ等しくなる。これは式(9)のように斜面上流端の雨が末端に達した後では、流量が(斜面水平投影面積×雨量強度)として評価されるので当然のことである。水深や流速を求めるには河道幅や粗度係数を仮定せざるを得ないが、野営地がほとんど見つからない函状断面であることなどを考慮して上記の値を一定値として用いた。それによる事故時の水深は 0.35m ほど、流速は 5.9m/s ほどである。テントがこの流れに直接さらされた場合、抵抗するのは難しいであろう。今回は、 7mm/h や 8mm/h という比較的弱い雨であっても地形条件のために厳しい結果になったものと判断される。

しかし、これらの図で疑問なことは、「20時30分ころに一気に増水して流された」という生存者の証言との矛盾である。図では、この時間前後の水理量変化はわずかである。これは、 r_1 の雨と r_2 の雨の差が 1mm/h と小さいことによるものである。もし r_2 が r_3 程度の大きさをもっていたならば、水理量は図-3、4の21時以降のような急激な立ち上がりを示すことになる。雨の降り始めでは、式(6)に見られるように、初めにゆっくりで後に急になる時間を横軸にとった図で下凸の変化を見せるが、事前の雨の影響を受ける時間帯での変化(式(11)(12))は、同じ図で上凸になり、「一気に増水」する形になりやすい。これらを助案すると、上二股沢流域の20時台の雨がベテガリの20時台の雨よりも強いものであった可能性がある。

5. まとめ

(1) 本年8月15日におこった日高山系中ノ川上二股

沢における遭難事故は、伝承のあるヒカタ（西北）風に関連した山中豪雨の発生によるものではない。

（２）事故は比較的弱い雨のもとで起こっており、急激な出水は非常に急峻な地形が関与している。

（３）Kinematic Wave 法に基づく流出解析の結果では、事前の雨の影響を受ける時間帯での流量、水深、流速の時間変化は時間的に上凸の変化を示し、「一気に増水」する形になりやすい。

（４）これらを勘案すると、上二股沢流域の 20 時台の雨が観測結果のあるペテガリの 20 時台の雨よりも強いものであった可能性がある。

6. おわりに

新聞報道などによると、今回のワンダーフォーゲル部登山グループは、計画書を準備し予備日を 3 日間設け、荒天などの緊急時に途中下山する「エスケープルート」も設定していたとのことである。慎重な計画のもとに行動していたにもかかわらず、安全な野営地を確保できず突然の出水に遭遇してしまったことは不運なことであった。このほか、本年北海道では、トムラウシ山での遭難（7月24日、男性1名行方不明）、ヌカピラ岳での増水立ち往生（8月2日、ツアー客8名救助）、幌尻岳での遭難（8月3日、女性1名川に流され死亡、3名救助）など夏山遭難事故が目立った。これらには、突然の増水が直接要因になっているものが多い。山岳地域における降雨流出特性をより正確に知ってもらうことが大切である。

本論では、初期の雨があって、その後に雨足が強くなった場合に急激な増水が起こりやすいことを示した。

参考文献

- 1) 山口 甲(2009)：十勝川に恐竜が棲むという話、北開水工コンサルタント河川紀要(5) 調査研究報告会論文集、報告 05、83-95
- 2) 石原藤次郎・高棹琢馬(1959)：単位図法とその適用に関する基礎的研究、土木学会論文集、第 60 号、別冊 3-3、土木学会
- 3) 椿 東一郎(1974)：水理学 2、森北出版