

II-22

小流域における濁度物質の流出機構

北海道大学大学院 学生員 水戸 聡
 専修大学北海道短期大学 正 員 山梨 光訓
 北海道大学工学部 正 員 藤田 睦博
 北海道大学工学部 正 員 清水 康行

1. はじめに

現在、河川中下流域における浮遊砂、掃流砂に関する観測、定量化がすすんでいるが、源流域となる河川上流域における観測例は少ない。年間を通して河川の濁りが融雪出水時に顕著であることが知られている。この原因としては、微細な浮遊砂の供給源としての斜面堆積物、河床・河岸堆積物などが挙げられるが、はっきりとはわからないのが現状である。著者らは融雪出水、降雨出水によって増加する濁度物質の流出機構を解明するために丘陵性小流域において濁度計による観測等を行った。融雪出水時において、小林(1986)による川水温による流出成分分離で得られる表層(表面)流出と測定された濁度とが良い対応を示していることから、濁度増加の要因は表層(表面)流出であると考え、二次元不飽和浸透流モデルを斜面鉛直方向に平均化した一次元不飽和浸透流モデルを用いて流出計算を行い、表面流出と濁度との対応について検討した。

2. 観測流域の概要及び観測方法

対象流域は図-1に示すような小流域で丘陵性の山地にある。流域面積は 0.138km^2 で流路延長は約 1km 、重粘土性の洪積丘陵で雑木林地となっており、冬季は $1\sim 1.5\text{m}$ 以上の積雪がある。流域は主として2斜面で構成されているので、計算を行うために図-2のような河道長を 1000m 、斜面長を 69m の矩形流域に近似する。観測地点は図-1のA、B地点である。各地点では流量、水温、気温、濁度の連続測定が行われた。また集中観測時には採水も行い、フミン質の指標であるE260を測定した。

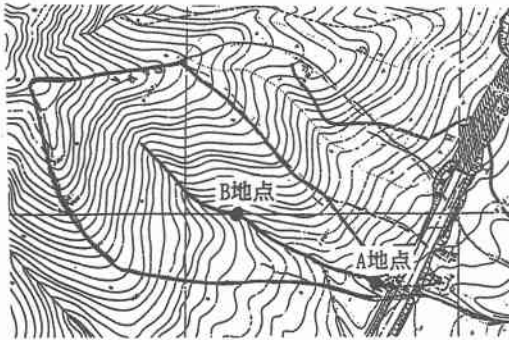


図-1 対象流域

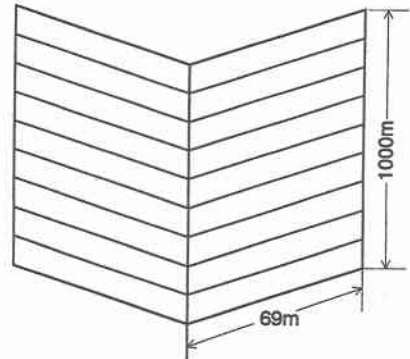


図-2 矩形流域

3. 流量、濁度の変化

3-1. 融雪出水時

1994年4月15日から4月17日にかけてB地点で測定された流量、濁度、水温の時間変化を図-3に示す。この図より流量のピークよりも先に濁度のピークが出現していることがわかる。倉茂(1985)によって盤溪川流域で観測された融雪期初期における流量と懸濁物濃度の時間変化からも懸濁物濃度のピークが流量のピークよりも先行する結果と符合している。図-3より流量が増加しているのに対し、水温は低下している。こ

Turbidity Characteristics in Small Catchment Area
 by Akira MITO, Mitsunori YAMANASHI, Mitsuhiro FUJITA and Yasuyuki SHIMIZU

の原因として小林(1986)は0℃の融雪水が表層流出水として混入して増水時における水温の低下をもたらすと示している。また、濁度と水温は逆比例的に変化していることから、融雪期における濁度の増加は表層（表面）流出によってもたらされると考えられる。小林(1986)による川水温による流出成分分離を行った結果と表層（表面）流出と濁度との対応を図-4に示す。この図より表層（表面）流出と濁度とが良好な対応を示していることがわかる。1994年4月22日における濁度とE260の時間変化を図-5に示す。両者とも良好な対応を示しているが、濁度が急激に増加している部分では対応が悪い。E260は表層土壌中のフミン質のような有機物に由来するのに対し、濁度は有機物と懸濁物に由来すると考えられ、急激な濁度の増加は懸濁物によるものと考えられる。

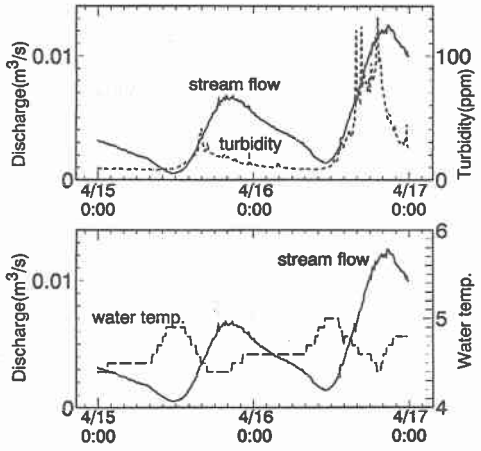


図-3 流量、濁度、水温の時間変化（B地点）

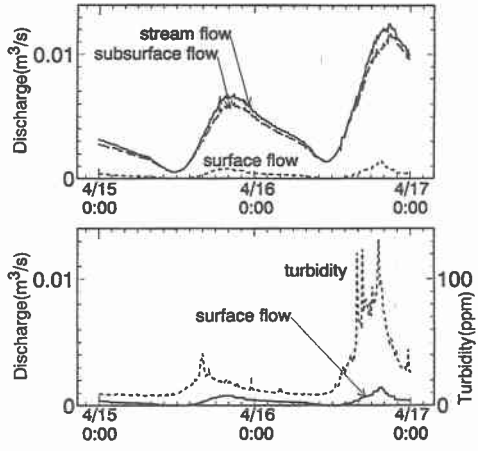


図-4 流出成分分離結果

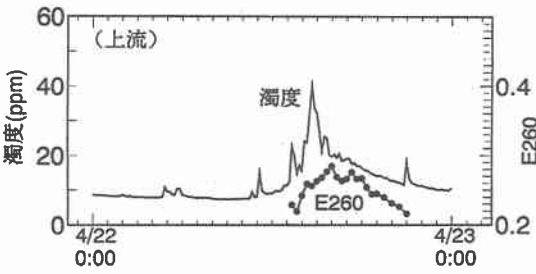


図-5 濁度、E260の時間変化（B地点）

3-2. 降雨出水時

1994年9月のB地点でのハイドロ・ハイトグラフを図-6に示す。流量と濁度の時間変化の一例を図-7に示す。降雨出水時には流量のピークと濁度のピークは一致している場合が多いが一致しない場合もある。図-3と図-7を比較すると、融雪出水時のほうが降雨出水時よりも少ない流量に対し高い濁度を示す。このことは融雪出水時と降雨出水時の濁度物質の流出形態の違いによるものと考えられる。この時期は融雪期と違い、表層ほど地温は高い。小林(1994)は増水時における水温の上昇は深層よりも水温の高い表層流出水によるもの示している。そこで、水温と流量、水温と濁度のヒステリシスを図-8に示す。両者のヒステリシスが良く対応していることがこの図よりわかる。次に濁度の流出負荷量と水温の流出負荷量の関係を図-9に示す。流出負荷量を $C=aQ^b$ で表すと濁度の場合は $b=1.47$ 、水温の場合は $b=0.93$ となり、図-9からもわかるように両者とも良好な対応を示している。融雪出水の場合 $b=2.2$ となることから、融雪出水と降雨出水とでは濁度物質の流出形態が異なると考えられる。以上より、降雨出水時のE260のデータはないが、この時期の濁度物質の大部分は有機物に由来するものと考えられる。

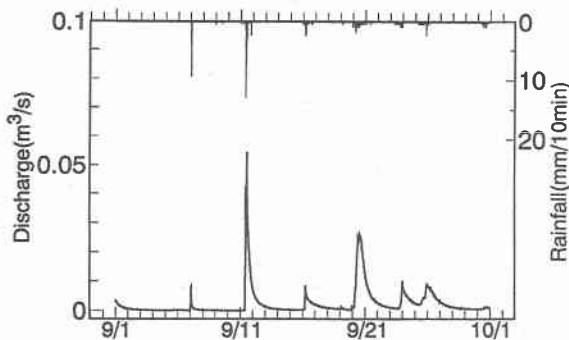


図-6 ハイドロ・ハイトグラフ (B地点)

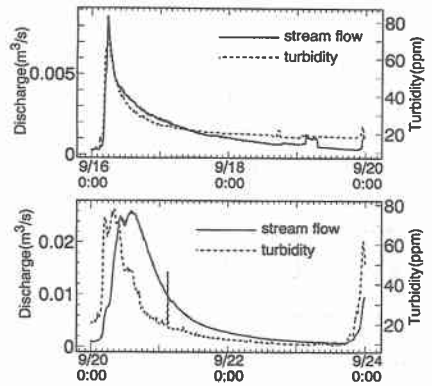


図-7 流量、濁度の時間変化 (B地点)

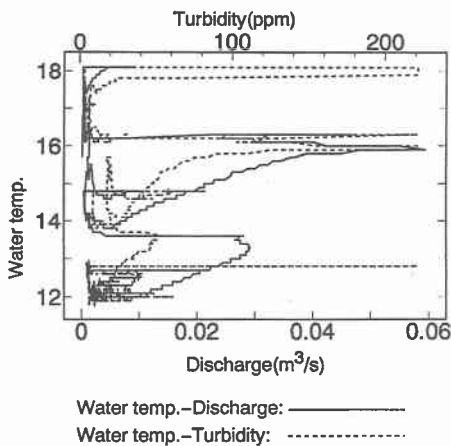


図-8 水温と流量、水温と濁度のヒステリシス

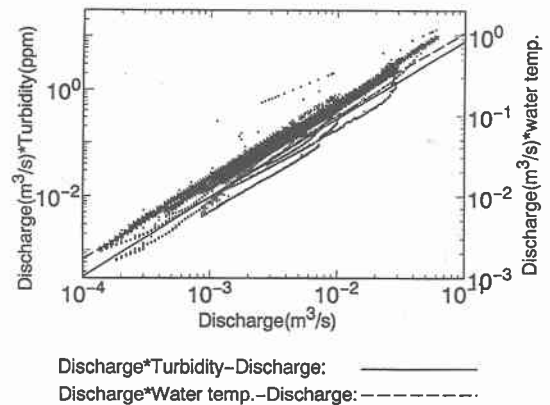


図-9 濁度、水温の流出負荷量

4. 一次元不飽和浸透流モデルによる再現計算

再現計算を行うために二次元不飽和浸透流モデルを斜面鉛直方向に積分して平均化した一次元不飽和浸透流モデル (Bodaghpourら(1995)) を用いる。

$$d \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \cos(\alpha) \quad \theta = \frac{a^2}{a^2 + \phi^2} (\theta_s - \theta_r) + \theta_r$$

$$k = k_s \left(\frac{a^2}{a^2 + \phi^2} \right)^\beta \quad q = k d \left(s \sin(\alpha) - d \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)$$

初期条件:

$$\phi = 0, \quad \phi = -0.5 d \cos(\alpha) \quad (\text{斜面下流端}) \quad (\text{融雪出水})$$

$$\phi = (x-L) \sin(\alpha) - 0.5 d \cos(\alpha) \quad (\text{降雨出水})$$

境界条件:

$$q = 0 \quad (\text{斜面上流端}), \quad \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (\text{斜面下流端})$$

(ただし、 d : 土層厚、 θ : 斜面鉛直方向に平均化した体積含水率、 q : 斜面流下方向フラックス、 α : 斜面傾斜角、 ϕ : 斜面鉛直方向に平均化したサクション、 k_s : 飽和透水系数) 融雪量は気温から換算し、4月13日から4月17日の気温データを入力して4月13日から4月15日のデータをダミーとした。融雪出水と降雨出水の再現計算結果をそれぞれ図-10、図-11に示す。図-10より表面流出量と濁度が良い対応を示して

いることがわかる。降雨出水の再現計算では表面流は発生しなかった。

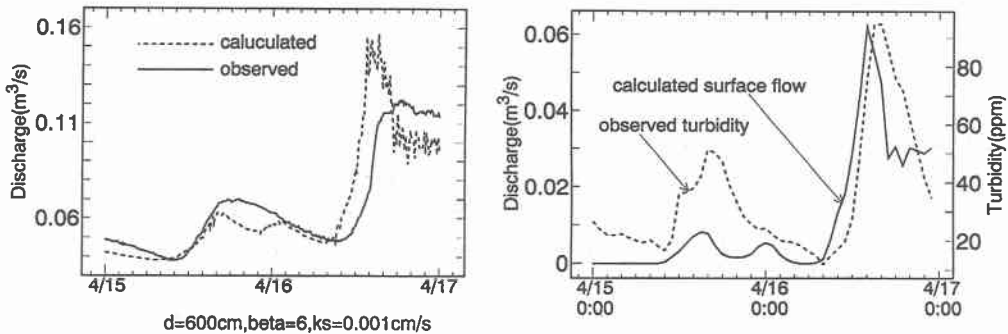


図-10 融雪出水の再現計算結果 (A地点)

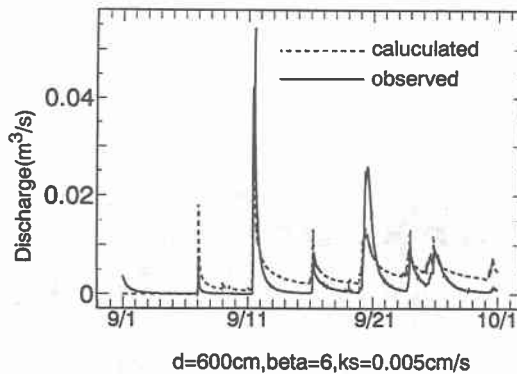


図-11 降雨出水の再現計算結果 (B地点)

5. おわりに

以上の検討により、融雪出水時における濁度増加の原因として表面流出水による土壌浸食の影響が強いことがわかった。これに対し、降雨出水時には土壌浸食の影響よりも有機物の流出の影響が強いと考えられる。しかし、再現計算において融雪出水時と降雨出水時の場合、飽和透水係数 k_s の値をそれぞれ $0.001(\text{cm/s})$ 、 $0.005(\text{cm/s})$ と違う値を用いた。初期条件の設定が問題であると思われる。

(謝辞) 水の分析に関して北海道大学工学部衛生工学科上水工学講座額野孝義氏に多大な協力を得ました。ここに記して深く感謝いたします。

(参考文献)

- 1) 倉茂好匡(1985)：北海道盤溪川流域の土砂供給機構、地形、6(1)、pp.45-64
- 2) 小林大二(1986)：川の水温及び比電導度による融雪流出成分の分離、水資源研究センター研究報告第6号、pp.3-11
- 3) 小林大二・石井吉之・野村 睦：融雪及び降雨出水時における川水温の対比と流出成分の分離、水文・水資源学会誌第7巻6号、pp.512-519
- 4) 知北和久(1994)：積雪流域における土砂流出機構、水文・水資源学会誌第7巻5号、pp460-464
- 5) Bodaghpour, S., Fujita, M. and Shimizu, Y. (1995) : Lumping Process Based on Unsaturated Infiltration Theory, Proceeding of Hydraulic Engineering, JSCE, vol. 39 (投稿中)