

4. 斜面崩落面積率による厚真地域の流出特性の違いについての検討

谷口 陽子¹・八田 茂実²・明石 透和³

Yoko TANIGUCHI, Shigemi HATTA and Tohwa AKASHI

¹ 苫小牧工業高等専門学校 助教

² 苫小牧工業高等専門学校 教授

³ 苫小牧工業高等専門学校 学生

要 旨

2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震によって、厚真町周辺では広範囲にわたる斜面崩壊が発生し、表層土が露出した。表層土は洪水流出に大きな影響を与えると考えられており、地震によって多数の斜面崩壊が発生した地域では、地震後で流出特性が変化した可能性がある。しかし、斜面崩壊前後の資料が十分ではなく、流出特性の変化を直接検討することは困難である。そこで、本研究では近接する流域の地形特性が類似している流域で斜面崩壊の度合いの異なる2つの試験流域を設定し、両者の流出特性の比較を行い、斜面崩壊が流出に与える影響を検討した。この結果、対象とした流域では、降雨直後の直接流出成分と降雨後しばらくして流量の増加する基底流出成分による2つもピークを持つヒドログラフが観測されることがわかった。この内、直接流出成分は河道周辺数メートルに降った雨が直接流入したもので説明でき、河道付近の集水範囲は崩壊面積率の大きい流域が若干大きな値となる。また、総雨量が大きい場合、二つの流域で大きく形状の異なるヒドログラフが得られ、崩落面積の大きい流域では、直接流出と基底流出が一体化した大きな出水が確認された。

《キーワード：厚真川；崩落面積率；降雨流出特性；基底流出特性；流出寄与域》

4. 1. はじめに

2018年9月6日、北海道胆振地方中東部を震源とした最大震度7の地震が発生し、43名が亡くなった。胆振東部地震によって厚真町周辺では、広範囲にわたる斜面崩壊が発生した。図4-1は、日高幌内川上流で発生した大規模な斜面崩落の様子を示している。これは一部の例だが、厚真川上流部で多くの斜面崩壊が発生し、表層土が露出した。

表層土は洪水流出に大きな影響を与えていると考えられている。地震によって多数の斜面崩壊が発生した地域では、地震後で流出特性が変化した可能性がある。しかし、斜面崩落前後の資料が十分ではなく、流出特性の変化を直接検討することは困難である。

一方、洪水流出は表層地質や土地利用、流域地形に大きく依存することが知られている。たとえば、Randrianasolo et al.¹⁾は隣接する集水域で求めたモデルパラメータを使用して、フランスの計測されていない流域でのアンサンブル予測を行い、それらの流域でかなり良い予測を提供できることを示している。また、横尾ら²⁾は長期流出を対象に地質と土地利用、流域面積と平均勾配からタンクモデルのモデルパラメータの設定を行っている。このように、近接する流域では表層地質の分布が類似していることが期待でき、さらに流出に影響を与える土地利用や地形特性が類似している場合には洪水流出は類似することが期待できる。

本研究ではこのような観点から、近接する流域の地形特性が類似している流域で斜面崩壊の度合いの異なる2つの流域を設定し、両者の流出特性の比較を行い、斜面崩壊が流出に与える影響を検討した。



図4-1 胆振東部地震による日高幌内川上流の崩落の様子（左：2016年9月30日，右：2018年9月11日）

4. 2. 対象流域と現地観測の概要

4. 2. 1. 対象地域と試験流域の設定

先に示したように、胆振東部地震によって厚真川水系では広範囲に渡って斜面崩壊が発生した。しかし詳細に見てみると、厚真川の右岸側の支川であるウクル川では、斜面崩壊の発生した地域とほとんど斜面崩壊の発生していない地域が混在している（図4-2の左の赤枠）。

本研究ではこの地域の中から集水面積・河川長・標高の分布等が同程度で、かつ、近接していることを条件に対象流域を選定することとした。現地踏査を重ねた結果、アクセス性の比較的良いウクル川に流入するオハウス沢川の右岸側（保科の沢）と左岸側（セキタモ沢）を試験流域として設定した。これら2つの小流域の概要を図4-2の右及び表4-1に示す。表4-1より、保科の沢とセキタモ沢は、崩落面積率だけが異なる、似たような大きさの流域であることが分かる。

廣瀬ら³⁾によれば、この地域の表層土壌は層厚10~15cmのTa-d（樽前火山噴出物）、層厚80cm程度のTa-bに層厚50~70cmの黒色土（腐植土）が狭在しており、Ta-d火山灰直下の粘土層がすべり面となっている。対象流域の崩落面もすべり面となった粘土層が露出しており、降雨時には地表面流が生じ、みずみちを通して下流の河川に流入する。

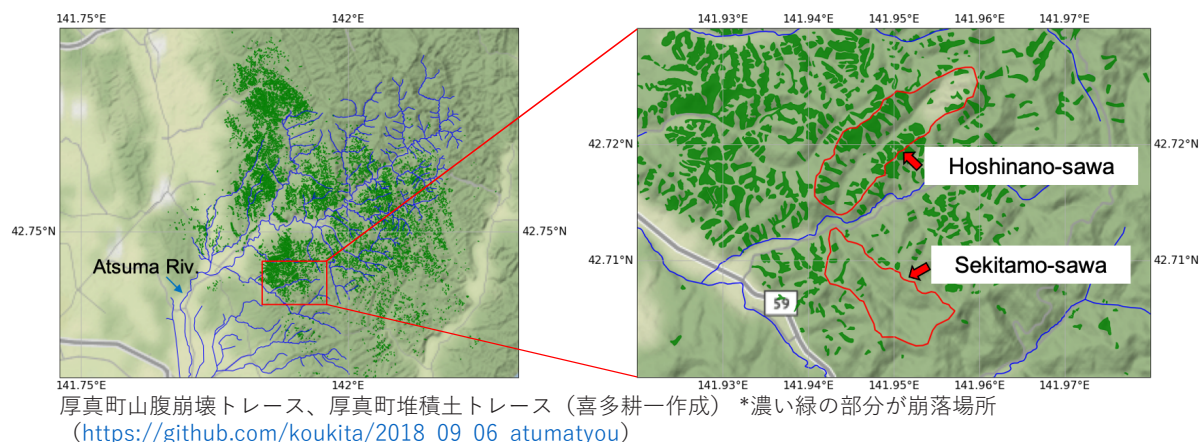


図4-2 対象河川流域の概要図（崩落面積が多い保科の沢と崩落面積が少ないセキタモ沢）

表4-1 崩落面積率が大きい保科の沢と崩落面積率が小さいセキタモ沢の基本情報

	セキタモ沢 (崩落面積小)	保科の沢 (崩落面積大)
流域面積(km ²)	0.595	0.807
崩落面積(km ²)	0.018	0.272
崩落面積率(%)	3.020	33.740
河川長(km)	1.517	1.626

4.2.2. 水位計の設置と水位流量曲線の作成

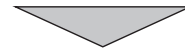
対象とした2つの流域には、いずれもコンクリート製の砂防ダムが設置されている。斜面崩壊の少ないセキタモ沢では砂防ダム上流側に土砂が堆積することなく、堤体の水抜き穴を通じて下流側に河川水が流出している（図4-3の上）。この砂防ダムでは洪水時も上流部に湛水が発生することなく、水抜き穴から下流側に流出していることを確認したため、下流部に水位計を設置することとした。

一方、斜面崩壊が多く発生した保科の沢では、流域上流の谷部に大量の土砂が堆積し、この土砂を河川水が侵食し続けている。この砂防ダムでは、上流側にも土砂が流入し、水抜き穴より高い位置まで土砂が堆積し、低水時にはこの水抜き穴から下流側に流出している。洪水時になると、ダム上流部に湛水が生じ、ある一定以上の水位に到達するとダム天端の水通しを越流し、下流側の流量を増加させるようになっている（図4-4）。ダムの湛水の影響を避けるため、砂防ダム上流での観測を試みたが、洪水の度に河道断面が大きく変化すること、降雨時には周囲の土砂の崩落の危険があることため、上流側での観測は断念した。このため、砂防ダム下流に水位計を設置するとともに、砂防ダム越流部付近にも水位計を設置し、この水位計で越流を確認した上で、砂防ダム越流時のみの下流側の水位を利用することとした。この他に、1カウント0.1インチの雨量計を設置し、雨量、水位ともに10分間隔で測定した。

崩落面積率小：セキタモ沢の砂防ダムの様子



砂防ダムによる湛水なし

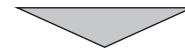


砂防ダム下流に水位計を設置

崩落面積率大：保科の沢の砂防ダムの様子



砂防ダムにより湛水発生



水位計は砂防ダム下流と越流部に設置し
越流時のデータのみ使用

図4-3 セキタモ沢と保科の沢の水位計の設置場所



図4-4 保科の沢の流下状況（左：低水時（2021/1/5），右：越流時（2021/4/18））

降雨時には両方の流域で流量観測を行い、測定した水位を水位流量曲線（H-Q曲線）で流量に変換している。それぞれの流域で得られた水位流量曲線を図4-5に示す。セキタモ沢では、4月から観測をスタートしているが、9月以降に河道断面が大きく変化したため、9月以前とH-Q曲線を使い分けることとした。

いずれの流域の観測値もH-Q曲線で概ね近似できるが、セキタモ沢ではH-Qの観測値が水深20cm程度まで、保科の沢では水深30cm程度までで、これ以上の水深の流量は外挿値となることに注意が必要である。なお、保科の沢については、越流感知用の水位計の測定値を利用し、越流時の水深が限界水深になると仮定し、このときの越流水深 h と堰幅 B を用いて式（1）によって算定した。

$$Q = cBh\sqrt{gh} \quad (1)$$

ここで、 c は補正係数で、流量観測によって決定する。

図4-6は、保科の沢の越流状態が続いた9月1日以降のデータを用いて、H-Q曲線による推定値と式（1）によって推定した流量の関係を示したものである。H-Q曲線から求めた流量はハイドログラフの減水部

で式 (1) による推定値を上まわる傾向があるが、全体として概ね一致しており、保科の沢で設定した H-Q 曲線は外挿部を含めた広い範囲で利用可能である。

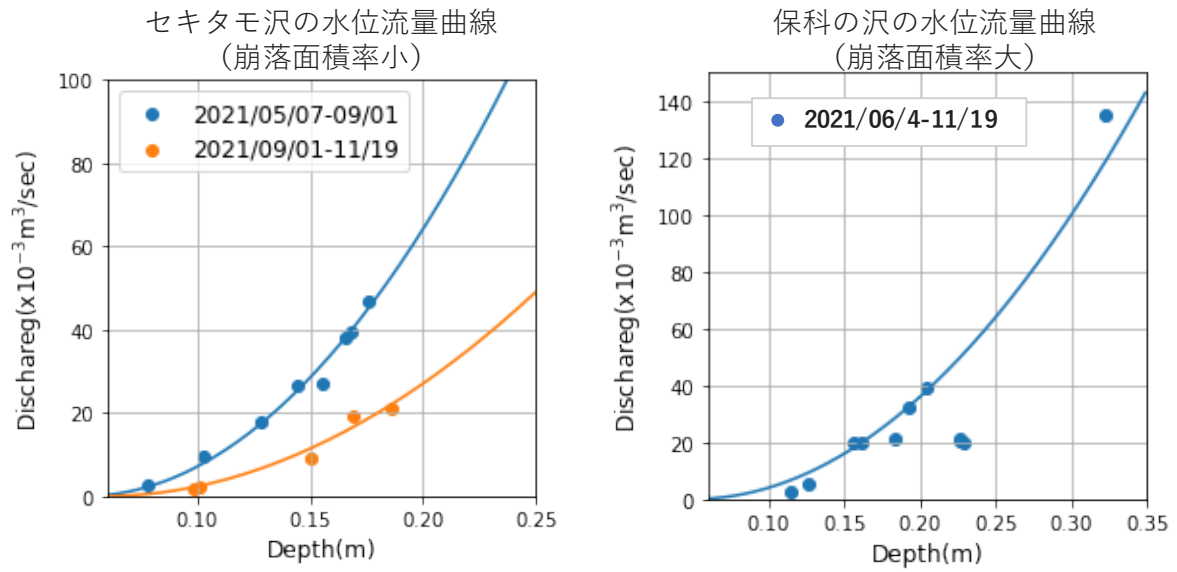


図4-5 流量観測により得られたセキタモ沢と保科の沢の水位流量曲線

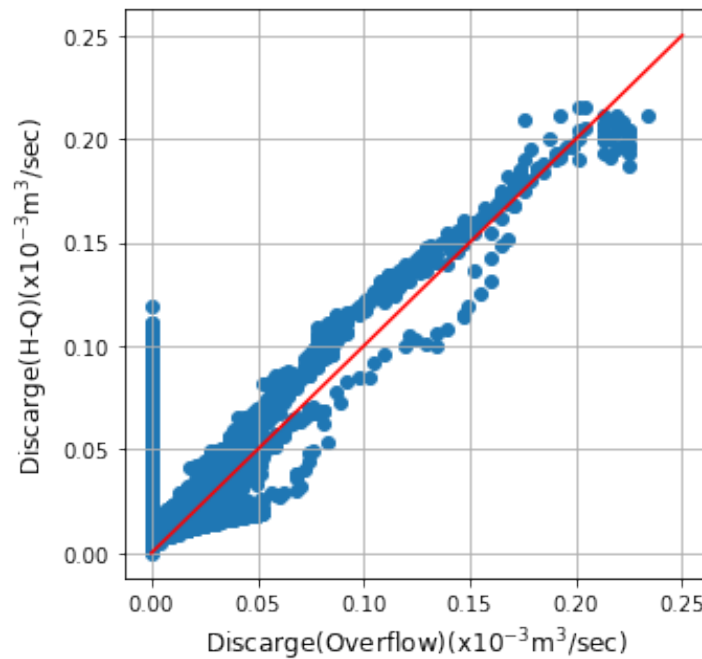


図4-6 保科の沢における水位流量曲線による推定値と式(1)により推定した流量の関係

4.3. 二流域間の洪水流出特性の比較

4.3.1. ハイドログラフの特徴と表面流出成分の分離

2021年の観測では、表4-2に示す6つの洪水イベントを取得することができた。図4-7はNo20210604洪水の両流域のハイドログラフと、同時に観測している水温と気温を示したものである。保科の沢では、降雨直後から河川流量が増加し6月4日14時にダム天端を越流したのち、降雨終了数時間後には流量が減少している。ただし、6月6日12時以降は越流状態となっていない可能性があるため、注意が必要である。

一方、セキタモ沢では、降雨時に小さなピークを観測した後、降雨終了後も徐々に流量は増加し、降雨終了のおよそ40時間に最大流量を観測している。2つの流域で形状が大きく異なるハイドログラフは総雨量の大きかったNo20211109（図4-8）でも観測されている。

セキタモ沢の特徴的な洪水波形は他の洪水でも観測されており、総雨量の小さいNo20211011、No20211016、No21211020では、保科の沢も同様の洪水波形が得られている（図4-9はNo20211016の例）。さらに、このようなハイドログラフは苫小牧地域の河川でも観測されている。八田ら⁴⁾は、苫小牧地域の河川を調査し、樽前火山噴出物の堆積した河川流域では、

1. 降雨直後に発生する直接流出成分と、降雨終了後に遅れて発生する基底流出成分の大きく2成分から構成される2つのピークを持つハイドログラフとなること
2. 基底流出成分出現時には水温の低下が見られること
3. 基底流出成分の大きさと出現の速さは、流域の湿潤度に依存し、湿潤度が大きい場合には基底流出成分が早く現れるため直接流出成分が一体化するが、それ以外では2つのピークを持つハイドログラフになること
4. 直接流出成分は、河道周辺数メートルの範囲の降水が流入したもので説明できること

などを明らかにしている。図4-7によれば、セキタモ沢の基底流量成分がピークとなる6月6日12:00付近を見ると、気温は前日よりも高くなっているが、セキタモ沢・保科の沢のいずれとも水温は前日よりも低下している。2つのピークを持つハイドログラフの形状や、2つ目のピーク出現時の水温の低下など、今回観測した2流域は苫小牧地域で観測された流域の特性と類似している。

表4-2 観測された洪水イベント

洪水No.	期間	総雨量 (mm)	最大雨量 (mm/10min)
20210604	2021/06/04-06/07	72.39	2.28
20210814*	2021/08/09-08/13	86.11	4.83
20211011	2021/10/11-10/12	31.50	4.83
20211016	2021/10/16-10/19	41.91	4.83
20211020	2021/10/20-10/23	37.85	1.78
20211109	2021/11/09-11/14	125.73	3.30

*No20210814はセキタモ沢のみ。

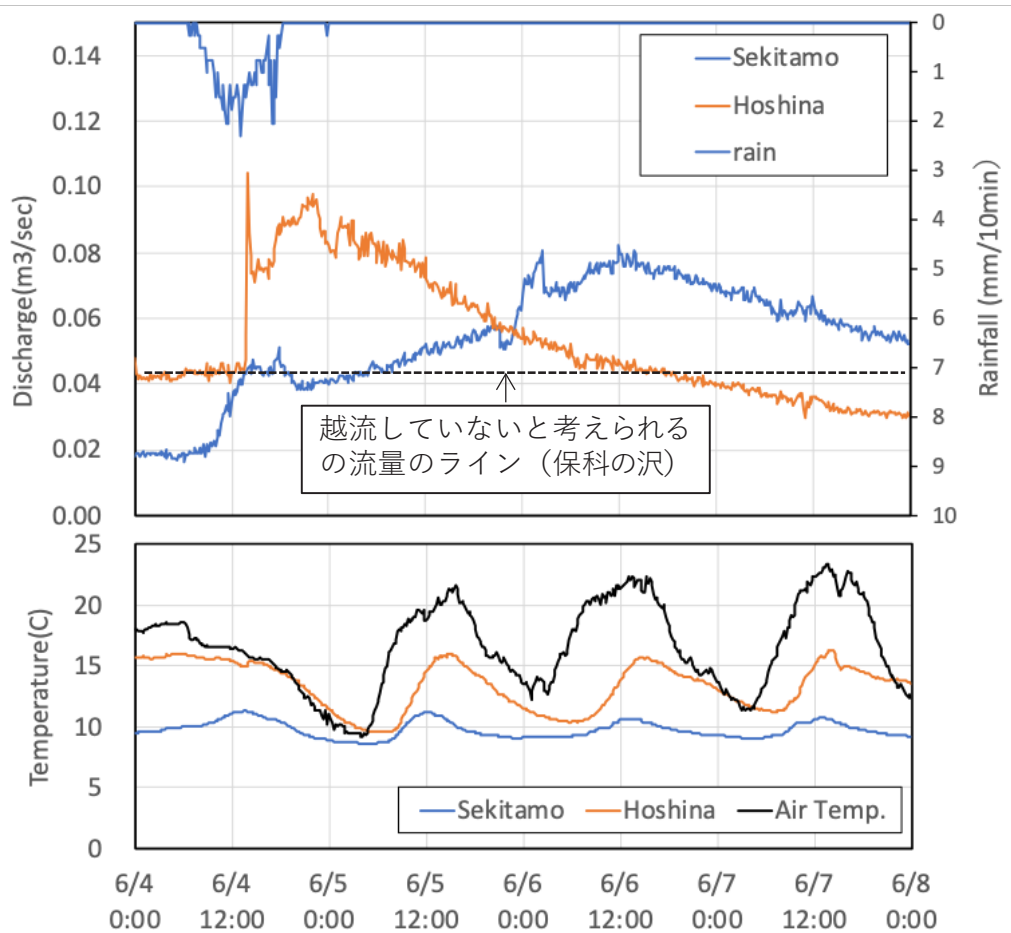


図4-7 総雨量が大きいイベント (No20210604) のハイドログラフと水温の変化

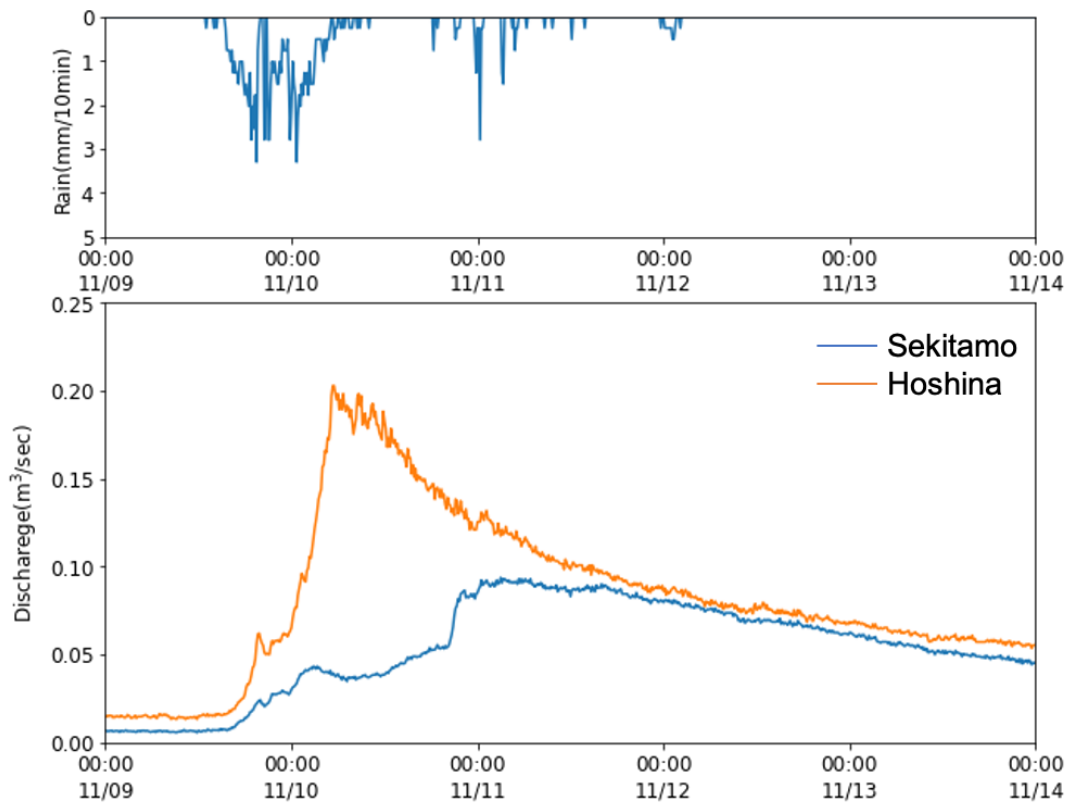


図4-8 総雨量が大きいイベント (No20211109) のハイドログラフ

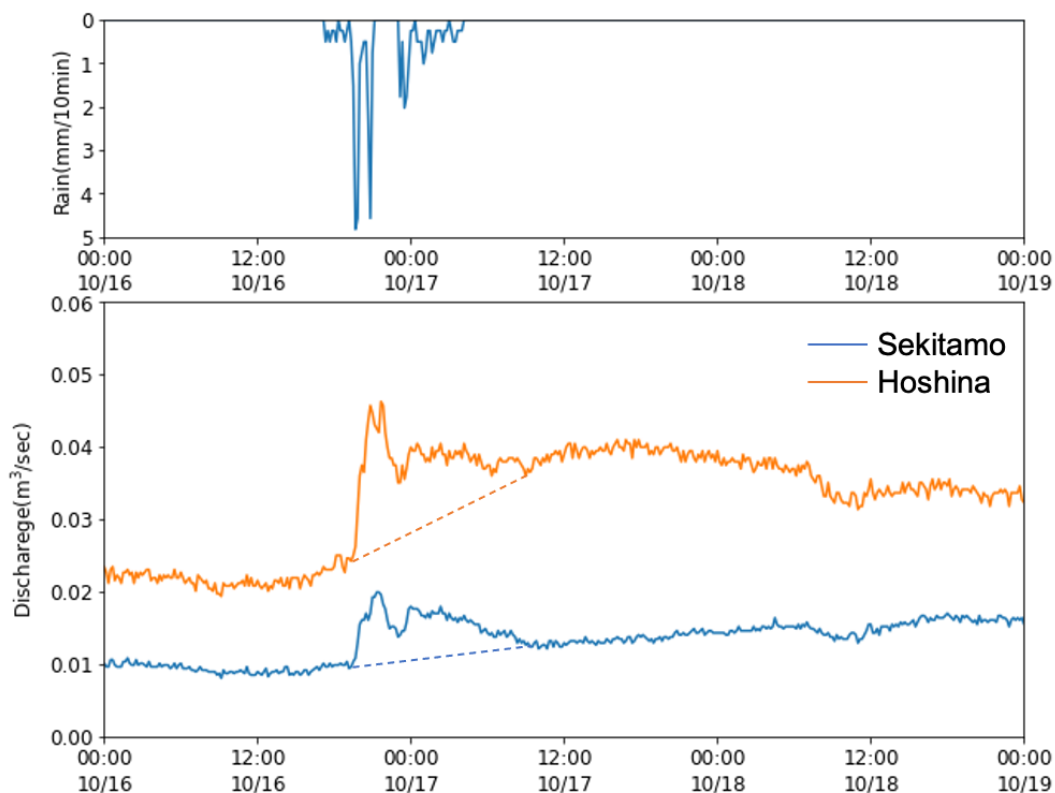


図4-9 総雨量が小さいイベント (No20211016) のハイドログラフ

4.3.2. 直接流出成分の特性

降雨直後の流量増加を直接流出とみなし、この成分を図4-9中の破線のように直線的に分離してその特性を考える。ただし、保科の沢では越流時には砂防ダム上流側に湛水部があるため、セキタモ沢との比較には湛水面に降った降雨を直接流出成分から差し引いて考えることとした。また、No20210604, No20211109の保科の沢については、直接流出成分と基底流出成分の切り分けが困難であったため、対象とはしていない。図4-10はこのようにして分離した直接流出成分の流出率 f_d と総雨量の関係を示したものである。なお、 f_d は式(2)で求める。

$$f_d = \frac{\sum Q_d}{\sum R} \quad (2)$$

ここで Q_d は直接流出高、 R は雨量で、合計を取る範囲は直接流出出現期間(図4-9中の破線の期間)とした。全体の雨量が大きく、基底流出成分が大きく変動するNo20210604, No20211109洪水では直接流出率 f_d が小さく現れているが、それ以外では総雨量の増加に対して、直接流出率は直線的に大きくなる傾向が見られる。

また、直線の増加傾向はセキタモ沢も保科の沢もよく一致していることがわかる。この直接流出成分が河道周辺の流出寄与域からのものであると考えると、流出寄与域の面積 A_d は流域面積に直接流出率を乗じたものに相当し、この A_d を流域の総河川長で除すと、河道から直接流出を集水する平均的な範囲となる。流出寄与域の考え方を図4-11に示す。

このようにして河道付近の集水範囲を求めると、総雨量の大きくないNo20211011, No20211016, No20211020ではセキタモ沢では2.6~3.6m, 保科の沢では2.8~4.7mの範囲となり、崩壊面積率の大きい保科の沢のほうが若干大きくなっている。

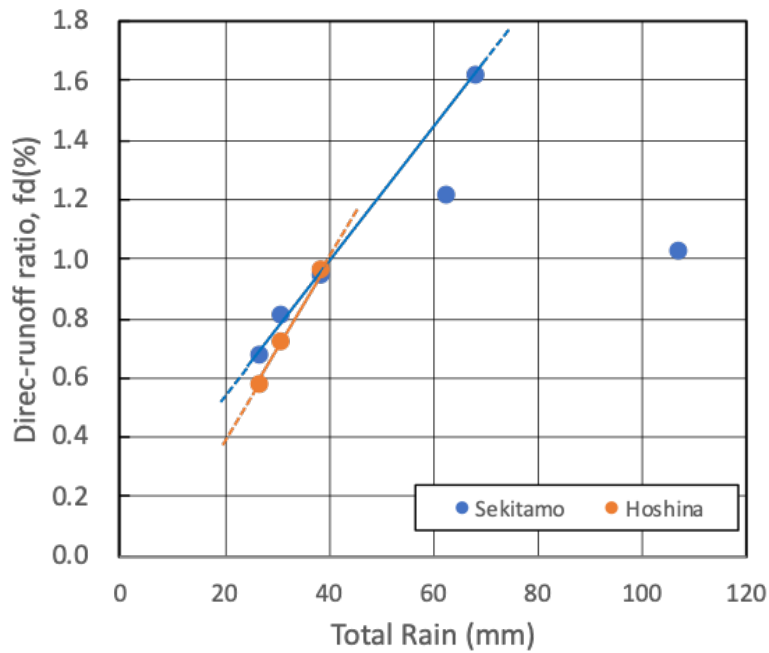
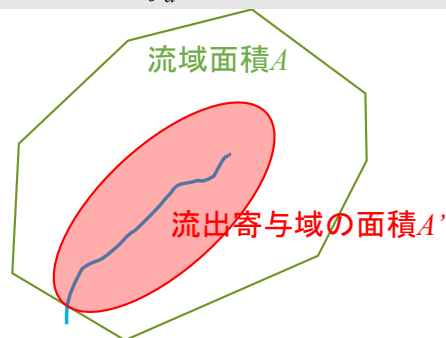


図4-10 総雨量と直接流出率の関係

直接流出率 f_d を流域内の流出寄与域の割合と考える

$$\text{流域面積}A \times \text{直接流出率}f_d = \text{流出寄与域の面積}A'$$



また、 A' を河川長 L で除すことで河川の平均的な集水範囲となる

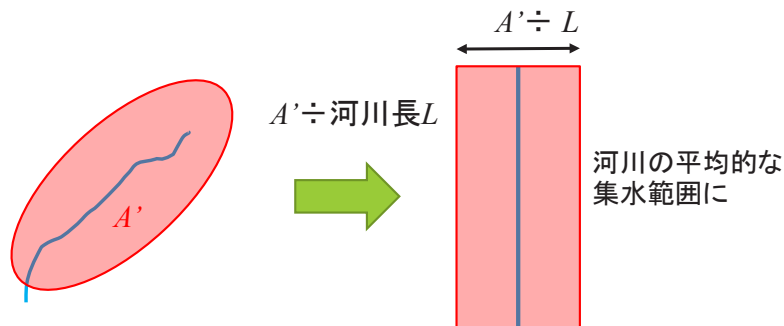


図 4-11 流出寄与域の考え方

4. 3. 3. 総雨量が大きいイベントでの崩落面積率が小さい流域と大きい流域の流出特性の違い

総雨量が小さいイベントでは、図4-9に示すように、崩落面積率が小さいセキタモ沢と崩落面積率が大きい保科の沢で流出特性の違いは見られなかった。この流出の特性としては、降雨直後による直接流出成分が第一ピーク流量として現れ、その後しばらくして基底流出成分による第二ピーク流量が現れる

形である。この流出特性の模式図を図4-12に示す。

一方、総雨量が大きいイベントでは、図4-8に示すように、崩落面積率が小さいセクタモ沢と崩落面積率が大きい保科の沢で流出特性の違いが見られた。崩落面積率が大きい保科の沢では、二山のピーク流量ではなく、直接流出成分と基底流出成分が合わさった一山のピーク流量が見られた。この流出特性の模式図を図4-13に示す。これは、河道付近の集水範囲が、崩落面積率が大きい保科の沢の方が若干大きくなっており、これによって基底流出成分の流出を速めているためと考えられる。

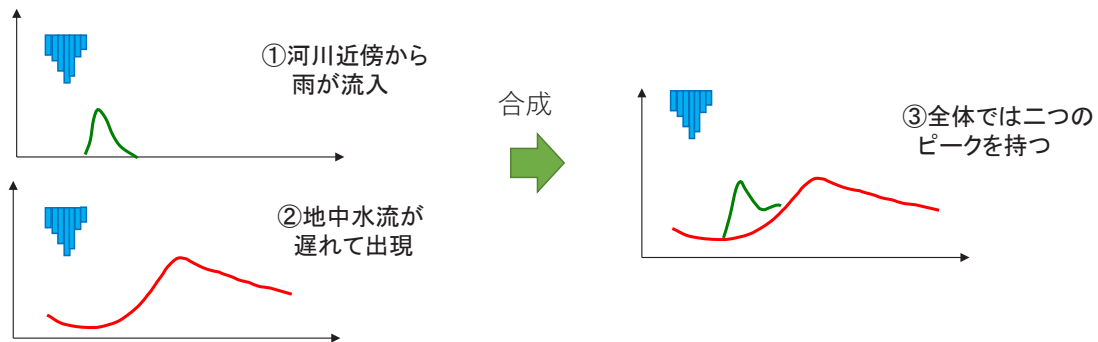


図4-12 総雨量が小さいときの流出特性

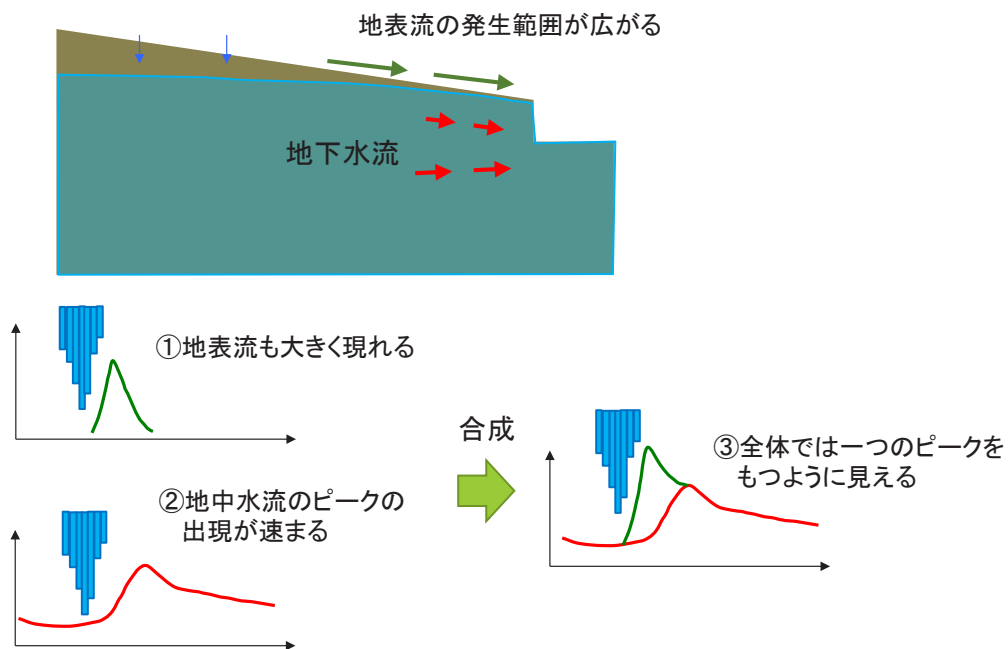


図4-13 総雨量が大きいときの崩落面積率が大きい保科の沢の流出特性

4.4. おわりに

本研究では近接する流域の地形特性が類似している流域で斜面崩壊の度合いの異なる2つの試験流域を設定し、両者の流出特性の比較を行い、斜面崩壊が流出に与える影響を検討した。この結果対象とした流域では、降雨直後の直接流出成分と降雨後しばらくして流量の増加する基底流出成分による2つもピークを持つハイドログラフが観測されることがわかった。この内、直接流出成分は河道周辺数メートルに降った雨が直接流入したもので説明でき、河道付近の集水範囲は崩壊面積率の大きい保科の沢が若干大きな値となる。また、総雨量が大きい場合、二つの流域で大きく形状の異なるハイドログラフが得られ、崩落面積の大きい保科の沢では、直接流出と基底流出が一体化した大きな出水が確認された。

今回の結果は、斜面崩壊の度合いが異なる近接した2つの流域の洪水流出特性が異なることを示したものであって、これが斜面崩壊の度合いの影響であるかまでは不明である。この点も踏まえて、今後は近隣の斜面崩壊が少ない流域と斜面崩壊が多く発生している流域を観測の対象に追加して観測を継続し、それぞれの洪水流出特性が類似していることを検証するとともに、第2ピークを構成する基底流出成分の流出特性を明らかにする必要がある。

参考文献

1. Randrianasolo, A., Ramos, M. H., and Andressian, V.: Hydrological ensemble forecasting at ungauged basins: using neighbour catchments for model setup and updating, *Adv. Geosci.*, 29, 1-11, doi:10.5194/adgeo-29-1-2011, 2011.
2. 横尾善之, 風間聡, 西村仁嗣, 沢本正樹: 国土数値情報に基づくタンクモデル定数の推定, *水文水資源学会誌*, 12 (6), 481-491, 1999.
3. 廣瀬 亘・川上源太郎・加瀬善洋・石丸 聡・輿水健一・小安浩理・高橋 良: 平成 30年北海道胆振東部地震に伴う厚真町およびその周辺地域での斜面崩壊調査 (速報), *北海道地質研究所報告*, 90, 33-44, 2018.
4. 八田茂実・秋野隆英・藤井清志: 樽前火山流域の流出特性について, *水工学論文集*, 48, 349--354, 2004.