

トレーサー水文地形学 - 山体の崩壊メカニズムを診断する

Tracer Hydro-geomorphology: Diagnosis of Hillslope Processes using Multi-tracer Approach

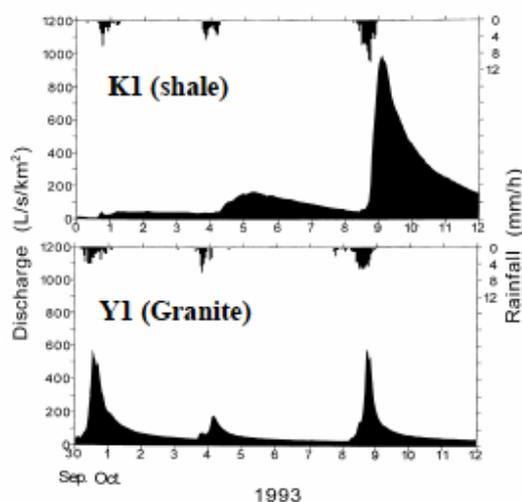
辻村真貴*

Maki Tsujimura

はじめに

山地流域において、斜面地形プロセスが地中水の挙動と密接な関係があることが、従来指摘されている(田中,1996)。また、降雨条件や地形条件が同じであっても、地質が異なることにより流出特性や地形プロセスが異なることも指摘されている(恩田,1989)。1970年代以降、我が国を含めた温帯湿潤域の各地において、小流域を対象とした降雨流出プロセス観測研究が精力的に行われてきた(Anderson and Burt,1990)。これらは、「代表的な試験流域において、降雨流出メカニズムに関する一般則を導き出す」ことを志向し(田中,1989)結果として、流出に寄与するいくつかの流動プロセスや、概念モデルが提唱された(たとえば、Pearce et al.,1986)。一方で、降雨流出プロセスは流域の場の条件に強く影響を受けるため、単一の流域において求められた経験則は、多くの流域に簡単には適用できないという問題点が挙げられてきた(田中,1996)。

筆者はこれまでに、流域の地質条件と、水文 - 地形プロセスの相互作用との関係性に関する流域比較観測事例を蓄積することにより、山地流域における降雨流出プロセスに関する一般解を求めようとしてきた。本稿では、トレーサーによる水文地形プロセス研究の概要を紹介し、山体崩壊メカニズム診断の可能性を検討する。

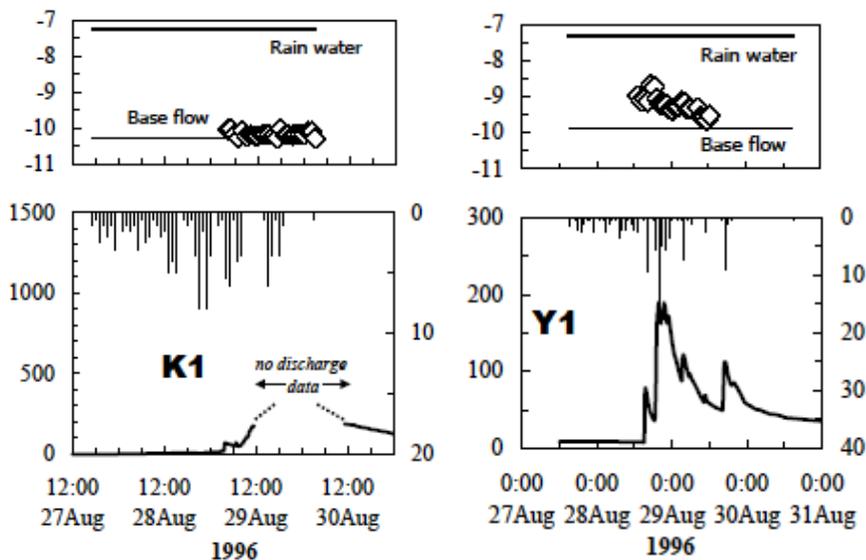


第1図 小渋川(上)と与田切川(下)上流域の洪水ハイドログラフ (Onda and Tsujimura, submitted)

堆積岩流域と花崗岩流域の比較

長野県伊那地方の天竜川源流の小渋川(堆積岩)と与田切川(花崗岩)上流域では、斜面崩壊のパターンが顕著に異なることが従来から指摘されていた。小渋川上流では、1963年に大規模な岩盤崩壊が記録されているのに対し、与田切川上流では、表層崩壊が頻繁に発生している(恩田ほか,1999)。こうした斜面プロセスの違いを水文 - 地形プロセス学的視点から検討するために、水文観測を行った。

その結果、小渋川上流では降雨に対し流出の応答が半日程度遅れ、また降雨の累積とともに流出ピー

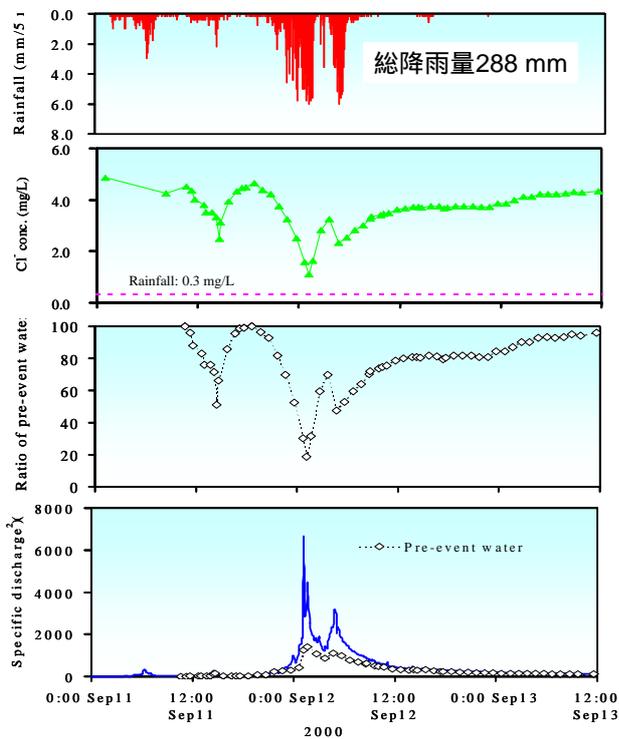


第 2 図小渋川(左)と与田切川(右)上流域の洪水時における安定同位体比変動プロセス (Onda and Tsujimura, submitted)

クが顕著に高くなることが認められた(第1図)。与田切川上流では降雨に対し流出は迅速に応答した。さらに、降雨イベント時における流出水の安定同位体比をみると、与田切川上流においては降雨の影響が明瞭に見られるのに対し、小渋川上流ではまったくなかった(第2図)。以上のデータから、小渋川上流では、降雨に伴い岩盤浸透が卓越し、与田切川上流では降雨に伴い飽和側方流が卓越するため、両流域における斜面地形プロセスの違いが生じるものと推測された(恩田ほか,1999; Tsujimura et al., 2000)

丘陵地源流域の流出における飽和地表流と地中水の役割

愛知県豊田市の矢作川支流の丘陵地源流域(花崗岩)は、比較的平坦な谷底飽和帯と急峻な側壁斜面とからなり、谷底は小規模な湿地帯の様相を呈する。この谷底土層厚は2~4mと比較的厚く、ここに存在する飽和帯は、いわゆる riparian zone として降雨流出や水質形成プロセスにおいて重要な役割を果たす。



第 3 図 丘陵地源流域における降雨流出時のハイドログラフと流出成分 (浅井,2001)

また、飽和地表流の生起場としても機能する。こうした場の条件下においては、土層中の地中水貯留能

山地流域の流出に及ぼす岩盤地下水の影響

源流域スケールの湧水や溪流においても、降雨時における流出に岩盤地下水が寄与している可能性が近年示唆されてきた。とくに堆積岩の流域においてその傾向が顕著であるが、流紋岩の流域においても、降雨規模によって岩盤地下水の流出に対する寄与が大きくなることが示唆されている。

栃木県日光北部市街の流紋岩からなる山地流域を対象に、水文観測、トレーサー解析を行った(川上,2003;浦野,2005)。その結果、総降雨量数 10 mm の比較的小規模な降雨イベントにおいては、流出ピークは降雨に対し速やかに出現し、それに伴う流出水の溶存イオン濃度は顕著に低下した。

一方総降雨量 100 mm を超える大規模降雨イベントにおいては、流出ピークはやや降雨に対し遅れ、また減衰がきわめて緩やかであり、さらに流量減衰時の溶存イオン濃度は基底流量時よりも高くなる傾向がみられた(第 5 図)。

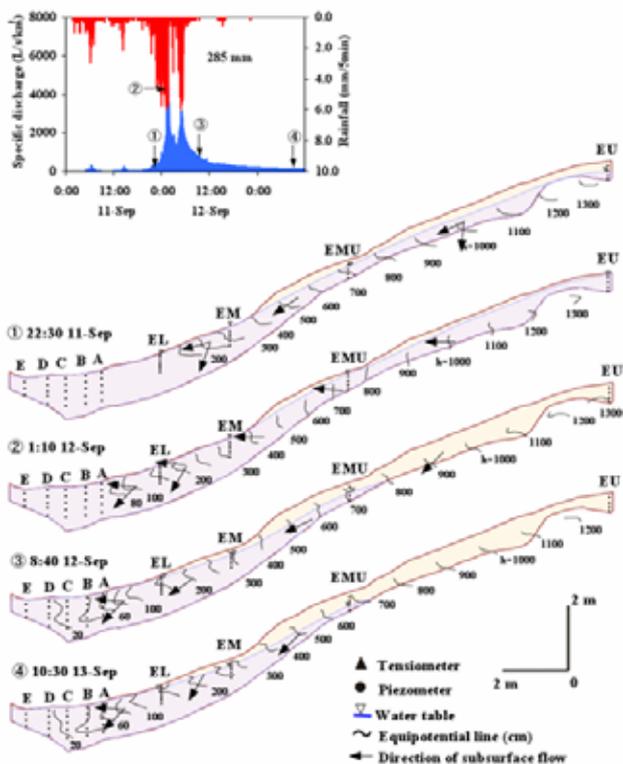
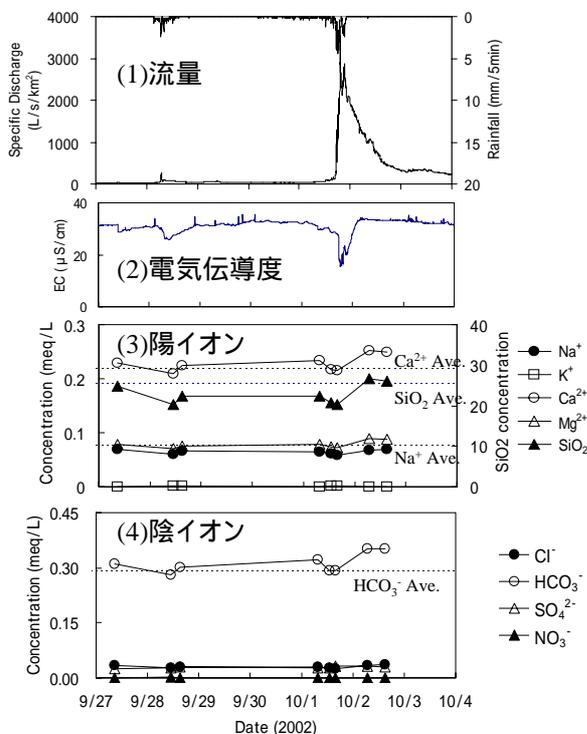


Fig.0 Temporal change of hydraulic head distribution in the hillslope during a rainstorm.

第 4 図 丘陵地源流域における降雨流出時の地中水の流動プロセス(浅井, 2001)

が比較的高いため、大規模な斜面崩壊は発生しにくく、地中水の湧出点において斜面勾配の変換点がれ、全体として谷底はより平坦にまた斜面はより急峻になっていく傾向がある(恩田,1996)。

当流域において、1998 年から 2001 年にかけて水文観測およびトレーサー解析を実施した(浅井,2001)。その結果、総降雨量 288 mm の大規模な降雨イベントにおいては、流出水に占める降水成分の役割が顕著に高く、これは飽和地表流の寄与によるものであることが示唆された。また洪水流出における地中水成分の流出量は、 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ cm/s オーダーであり、大勝流域の飽和透水係数相当であることが示された。



第 5 図 流紋岩流域における降雨流出ハイドログラフと溶存成分の変化(川上,2003)

Rainfall total (A-1)	$R < 40$	$40 < R < 100$	$100 < R$
Runoff model			
Hydrograph			
EC	回復せず	回復	上昇
Bedrock water	極少量	少量	多量

A-1における降雨流出過程の概念モデル

第6図 流紋岩流域における降雨規模による岩盤地下水の役割の比較 (浦野,2005)

このことから、大規模降雨時には、山体内部の岩盤地下水ネットワークが水理的に連続し、山体地下水の動水勾配が大きくなるために流出に対する岩盤地下水の寄与が顕著になることが推測された(第6図)

地形・地質条件による山体水文地形プロセスの分類

第7図に、流域の起伏と基盤岩の物理特性をパラメーターに、降雨流出イベント時とその後において卓越する地中水流動、および水文地形プロセスを整理した。きわめて大起伏かつ亀裂系に富む堆積岩や流紋岩などからなる流域においては、基盤岩地下水流動が卓越しその結果、大規模な深層崩壊が生じやすいものと考えられる。一方、花崗岩など比較的亀裂等が生じにくい基盤岩の流域においては、起伏が大きい与田切川流域などの場合土層内の地中水流動が卓越し、その結果表層崩壊が頻発する。しかし、豊田源流域にみられるように、谷底飽和帯が存在するような丘陵地源流域では、崩壊よりはむしろ地中水の湧出による浸食地形が主な水文地形プロセスになる。

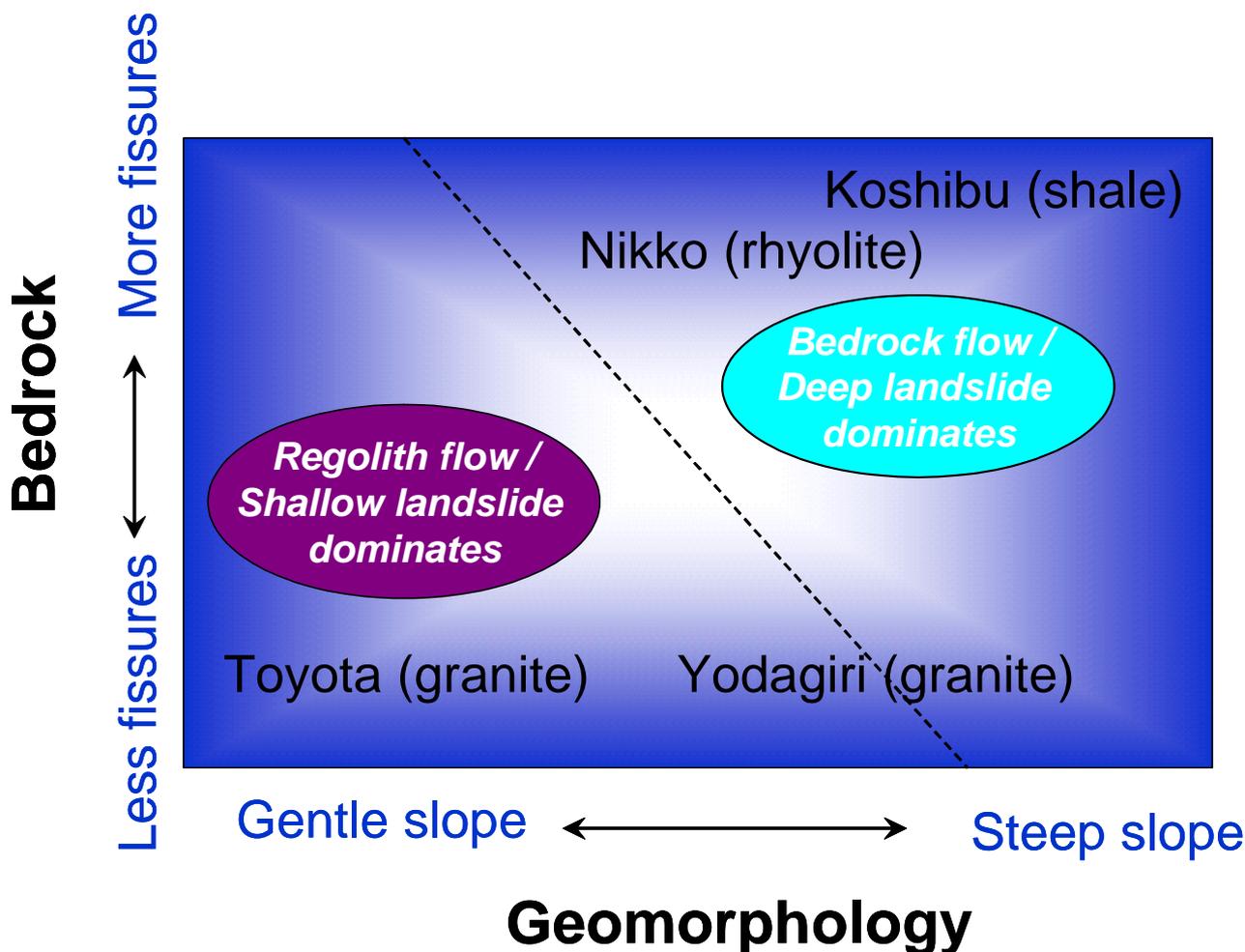
以上のように、岩盤地下水の寄与というキーワードに注目し、基盤地質と水文地形プロセスの関係を明らかにしていくことにより、山地流域の降雨流出に関する経験則がより精度の高いものになることが期待される。しかし、こうしたフィールド観測を継続することは、人的かつ物質的パワーを常に維持しなければならないことでもある。地道な努力と、データに対する謙虚な姿勢がより一層求められる。

引用文献

Anderson, G. and Burt, T.P. (1990): Process Studies in Hillslope Hydrology. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp.539.

浅井和由 (2001): 丘陵地源流域における降雨流出過程にともなう水素・酸素同位体比の変化に関する研究. 愛知教育大学大学院教育学研究科理科教育専攻修士論文, 13p.

川上貴宏 (2003): 流紋岩からなる山地源流域における水質形成プロセス. 筑波大学第一学群自然科学類地球科学主専攻卒業論文, 2p.



第7図 地質条件、地形条件による山地源流域の地中水流動プロセスと水文地形プロセスの分類

恩田裕一(1989): 土層の水貯留機能の水文特性および崩壊発生に及ぼす影響. 地形, ol. 10, 13-26.

恩田裕一(1996): 地中水の湧出に伴う侵食と船底型の谷の形成. 恩田裕一・奥西一夫・飯田智之・辻村真貴編「水文地形学」古今書院、208-216.

恩田裕一・小松陽介・辻村真貴・藤原淳一(1999): 降雨流出ピークの遅れ時間の違いからみた崩壊発生時刻予知の可能性. 砂防学会誌, ol.1.No.5, 48-52.

Onda, Y. and Tsujimura, M.: Runoff generation mechanisms in high-relief mountainous watersheds with different underlying geology. Journal of Hydrology. (submitted)

Pearce, A.J., Stewart, M.K. and Sklash, M.G.

(1986) Storm runoff generation in humid headwater catchments 1. Where does the water come from?: Water Resources Research, Vol.22, 1263-1272.

田中 正(1989): 流出. 気象研究ノート、No. 167、67-89.

田中 正(1996): 降雨流出過程. 恩田裕一・奥西一夫・飯田智之・辻村真貴編「水文地形学」古今書院、56-66.

Tsujimura, M., Onda, Y., Fujiwara, and Ito, J. (1999): Hydrometric and tracer approaches to investigate rainfall-runoff processes in mountainous basins with different geologies. International Association of Hydrological

Sciences Publication, No. 258, 59-166.

浦野弘規(2005): 流紋岩からなる山地源流域における降雨流出プロセスに果たす基盤岩地下水の役割. 筑波大学大学院修士課程教育研究科教科教育専攻修士論文, 6p.