

降雨特性による土砂災害発生要因の研究 -熊野川流域と沙流川流域の豪雨事例より-

Research of Cause of Sediment Disaster Occurrence Based on Rainfall Characteristics
-Case Study of Heavy Rains in Kumano and Saru River Basins-

室蘭工業大学 ○学生員 高宮 直人 (Naoto Takamiya)
室蘭工業大学 正員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)

1. はじめに

紀伊半島では毎年台風が通過しており、豪雨の発生、そして、土砂災害が多発している。かつて、明治 22 年 (1889 年) 8 月 19 日から 20 日にかけて十津川大水害¹⁾が発生し、十津川村や大塔村など、その周辺で大規模な崩壊が多数発生し、崩壊、河道閉塞による湛水、および、天然ダムの決壊にともなう洪水により甚大な災害が発生した。この際の降雨量は約 1000mm 程度であったと推定されている。近年ではこのような大水害が発生していなかったが 2011 年 9 月に台風 12 号が発生し、死者・行方不明者合計 100 人超という平成以降最悪の被害を引き起こした。紀伊半島では記録的な降水量が観測され、多くの土砂災害が発生し、被害が甚大であった。図-1(Google Earth²⁾より転載)に紀伊半島と熊野川流域そして熊野川流域の観測所、図-2(気象庁³⁾より転載)に 8 月 30 日 17 時から 9 月 4 日 24 時までの総雨量を示す。また、図-3に崩壊地の分布を示す。図-2と図-3から熊野川流域で総雨量が大きく、土砂災害が多発したことがわかる。

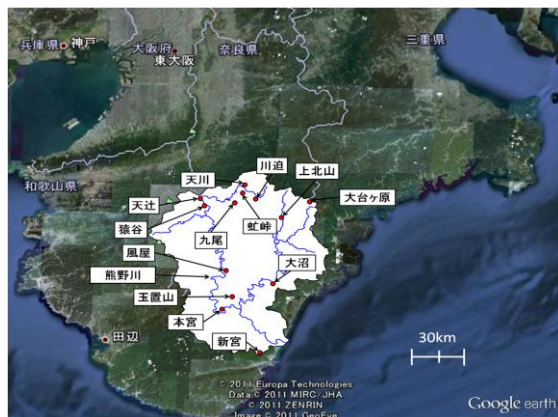


図-1 紀伊半島全体、熊野川流域と観測所
(Google Earth より転載²⁾)

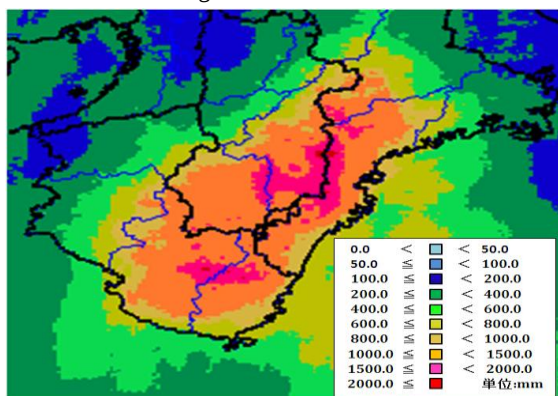


図-2 紀伊半島の総雨量(気象庁より転載³⁾)
(期間: 8/30/17:00~9/4/24:00)

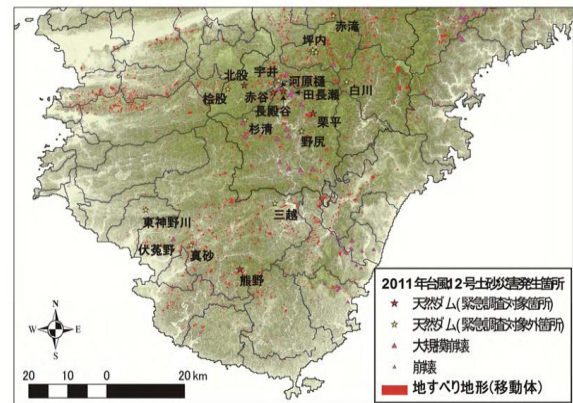


図-3 台風 12 号による崩壊地(気象庁より転載³⁾)

一方、村上ら⁴⁾や芳賀ら⁵⁾の研究によると、北海道沙流川流域で発生した 2003 年 8 月と 2006 年 8 月の豪雨において、植生、地質、雨量など様々な要因のうち、時間雨量といった降雨特性が斜面崩壊に最も影響していることが指摘されている。

そこで本研究では、紀伊半島熊野川流域を対象に降雨特性による土砂災害の発生に着目し、2009 年 10 月の台風 18 号と 2011 年 7 月の台風 6 号、直近の 2011 年 9 月の台風 12 号、北海道で土砂災害が多発した沙流川流域の 2003 年 8 月、2006 年 8 月の豪雨の事例を比較しながら土砂災害発生の特徴を分析した。

2. 熊野川流域の豪雨について

本研究では、熊野川流域を対象とした 2009 年 10 月の台風 18 号と 2011 年 7 月の台風 6 号、2011 年 9 月の台風 12 号の事例を取り上げ比較・検討を行う。

2.1. 熊野川流域と沙流川流域について

熊野川は図-1に示すように、流域面積 2,360km²、幹川流路延長 182km の奈良県、和歌山県および三重県を流れる新宮川水系の本流で一級河川である。また、流域内では山地が約 98%を占め、急峻な山地で構成され、平地は河口付近にわずかに広がっている。

2.2. 豪雨事例について

1) 2009 年 10 月台風 18 号について

2009 年 10 月の豪雨をもたらした台風 18 号は、9 月 30 日 9 時にマーシャル諸島で発生し、4 日には中心気圧が 910hPa という猛烈な勢力となった。この台風は、非常に強い勢力を保ったまま、西南諸島から西日本に接近し、強い勢力で上陸したため全国にかけて広い範囲で大雨となり、紀伊半島では 15 件の土砂災害の報告があった⁶⁾。熊野川流域では、2009 年 10 月 5 日から 10 月 10 日にかけて大雨に見舞われた。図-4と図-5に大沼と上北山観測所の時間雨量と積算雨量を示す。これらの図から、さほ

ど長期的に継続する降雨ではなかったが、10月8日の夜中から朝にかけて強い雨が降っていることがわかる。

2) 2011 年 7 月台風 6 号について

2011 年 7 月に発生した台風 6 号は, 15 日に大型で非常に強い勢力となり, 16 日には 935hPa という超大型の台風となった. 超大型であったため台風から離れた地域でも波が高く, 水の事故が相次いだ. 紀伊半島では 5 件の土砂災害が発生し⁶⁾, 局地激甚災害にも指定された. 熊野川流域では 2011 年 7 月 17 日から 22 日にかけて大雨に見舞われた. 図-6 と 図-7 に大沼と上北山観測所の時間雨量と積算雨量を示す. これらの図から, 最大で 60mm 近くの時間雨量が降り, 台風 18 号と比べて強く継続時間の長い降雨であったことがわかる.

3) 2011 年 9 月台風 12 号について

2011 年 9 月に発生した台風 12 号は、中心気圧 965hPa という大型の台風で、進行速度が遅かったことや、長時間にわたって台風周辺の暖かく湿った空気が流れ込んだことで、山沿いを中心に西日本から北日本までの広範囲で大雨に見舞われた。紀伊半島では 101 件の土砂災害が発生した⁶⁾。熊野川流域では 2011 年 8 月 30 日から 9 月 4 日に雨が集中した。図-8 と 図-9 に大沼と上北山観測所の時間雨量と積算雨量を示す。これらの図から、最大で 80mm を超える時間雨量があり、長期的に強い雨が継続していることがわかる。他の事例と比べても降雨継続時間や降雨量の違いが顕著にわかる。

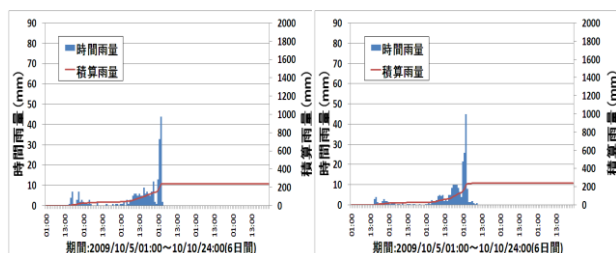


図-4 大沼観測所の
降雨量(台風18号)

図-5 上北山観測所の
降雨量(台風18号)

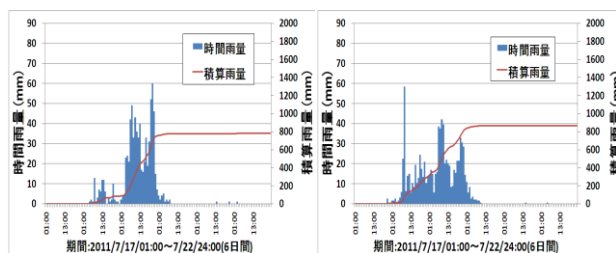


図-6 大沼観測所の
降雨量(台風6号)

図-7 上北山観測所の
降雨量(台風6号)

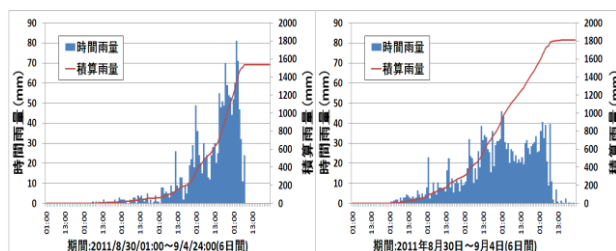


図-8 大沼観測所の
降雨量(台風12号)

図-9 上北山観測所の
降雨量(台風12号)

3. 沙流川流域の豪雨について

沙流川は北海道の日高山脈を源流とし、千呂露川などを合わせ、日高市街部に出てさらに溪谷を流下して平取町に入り、額平川などを合わせ、門別町において太平洋に注ぐ流域面積 1,350km²、幹川流路延長 104km の一級河川である。図-10 に沙流川流域と各観測所を示す。

1) 2003 年豪雨について

2003 年 8 月には台風 10 号の影響により北海道全域で大雨があった。沙流川流域では 8/8～8/10 にかけて既往最大の雨量が観測された。図-11 と図-12 に 2003 年 8/6～8/11 で雨量が多く斜面崩壊が多かった宿主別観測所と斜面崩壊が少なかった上貫気別観測所の雨量を示す。この時の大雨が崩壊地を多発させたと考えられる。



図-10 沙流川流域と各観測所

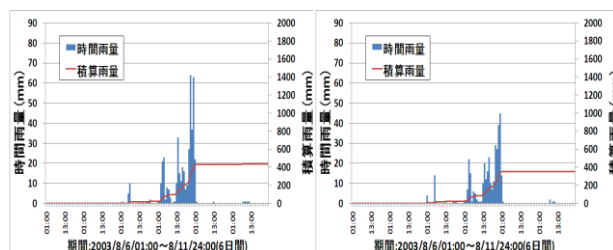


図-11 宿主別観測所の
降雨量(2003年)

図-12 上貫気別観測所の
降雨量(2003年)

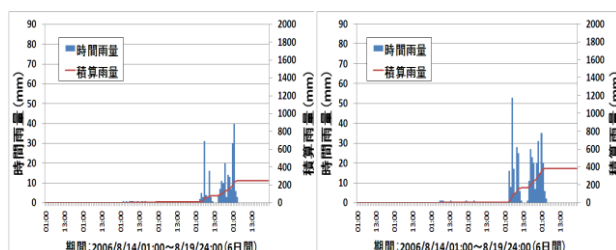


図-13 宿主別観測所の
降雨量(2006年)

図-14 上貫気別観測所の
降雨量(2006年)

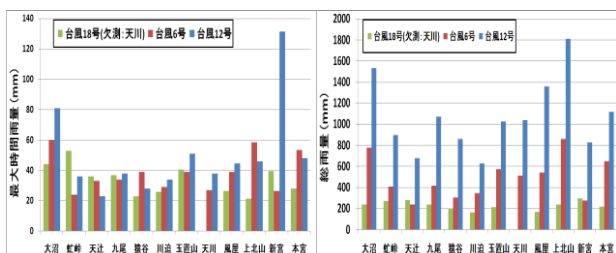


図-15 熊野川流域の
観測所の最大時間雨量

図-16 熊野川流域の
観測所の総雨量

2) 2006 年豪雨について

2006 年 8 月には停滞前線の影響により北海道全域が大雨に見舞われた。図-13 と図-14 に 8/14～8/19 で宿主別観測所と雨量が多かった上貫気別観測所の雨量を示す。なお、事後の現地確認より 2003 年と 2006 年の総雨量は同程度であったが 2006 年は斜面崩壊の発生は少なかったとみられる。

4. 降雨特性による崩壊地発生要因の解析

熊野川や沙流川の豪雨の事例を基に、降雨特性を比較しながら土砂災害発生要因を検証してみる。

4.1. 時間雨量及び総雨量による崩壊地発生要因の解析

土砂災害発生には、時間雨量と総雨量が重要な要因の 1 つであることから、図-15 と図-16 に熊野川流域の観測所における最大時間雨量と、各台風の大雨期間（台風 18 号：2009/10/5～10/10（6 日間）、台風 6 号：2011/7/17～7/22（6 日間）、台風 12 号：2011/8/30～9/4（6 日間））の総雨量を示す。これらの図から、新宮観測所では台風 12 号によって 130mm 以上の非常に強い時間雨量が観測されているが、他の観測所では比較的差は少ない。しかし、総雨量でみると、台風 12 号が他の事例の 2～3 倍となっていたことがわかる。このことから、台風 12 号では、他の台風と比べて土壌水分が飽和し、斜面崩壊が起りやすくなっていたと想像される。また、総雨量が大きかった熊野川流域の山地に位置する上北山、大沼、九尾観測所と、沙流川流域で斜面崩壊があった宿主別、上貫気別、仁世宇観測所の最大時間雨量と総雨量を比較した結果を図-17 と図-18 に示す。これらの図から、熊野川の台風 12 号で最大時間雨量が 80mm 以上の強い雨が降っていることや総雨量は台風 12 号が他の 2～3 倍となっていたことがわかる。

4.2. 実効雨量からみた崩壊地発生要因の解析

実効雨量とは、土壌中に貯まった水分量を意味し、これが大きくなると斜面崩壊が起りやすくなるという指標である。そこで、実効雨量を用いて大雨時の土壌湿潤度を推定した。実効雨量の式を以下に示す。

$$R_w = \sum \alpha_{1i} \times R_{1i}$$

ここで、 R_w ：実効雨量、 R_{1i} ： i 時間前の 1 時間雨量、 α_{1i} ： i 時間前の減少係数、 $\alpha_{1i} = 0.5^{i/T}$ 、 T ：半減期（時間）である。減少係数は長期間の降雨履歴を考慮できるように本研究では半減期 T を 720 時間（30 日）とした。

図-19 に、熊野川流域の各観測所の実効雨量の比較を示した。表示期間は降雨のあった時間前後（台風 18 号：2009/10/5～10/10（6 日間）、台風 6 号：2011/7/17～7/22（6 日間）台風 12 号：2011/8/30～9/4（6 日間））である。この図から、台風 12 号の実効雨量が飛び抜けて大きく、斜面崩壊が起りやすい条件にあったことがわかる。また、台風 12 号は台風 6 号の 2 倍ほどの実効雨量があったことから土壌中の水分量が飽和状態に近く、それが表層崩壊のみならず大規模崩壊（深層崩壊）の発生をもたらしたことが示唆される。

次に、図-20 に図-1 の熊野川流域の全観測所を平均した実効雨量、図-10 の沙流川流域の全観測所を平均した実効雨量を示す。この図からも、台風 12 号の実効雨量が他と比べて大きいことが明確である。一方、沙流川流域

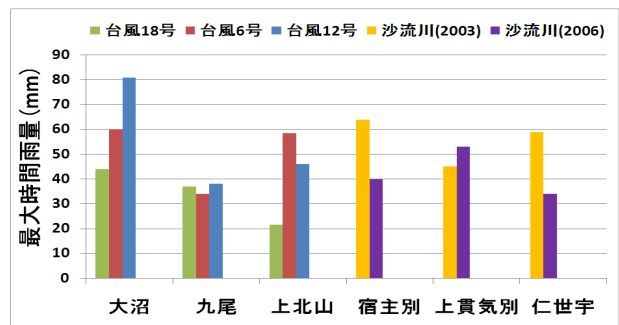


図-17 熊野川、沙流川流域の各観測所の最大時間雨量

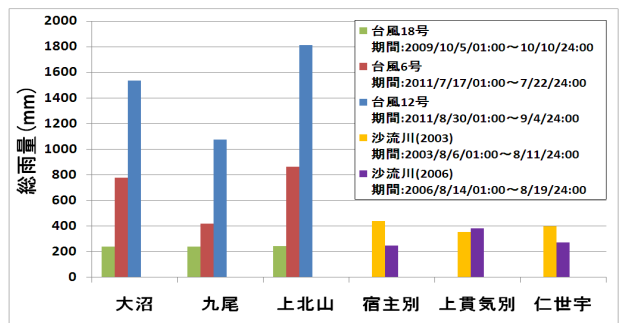
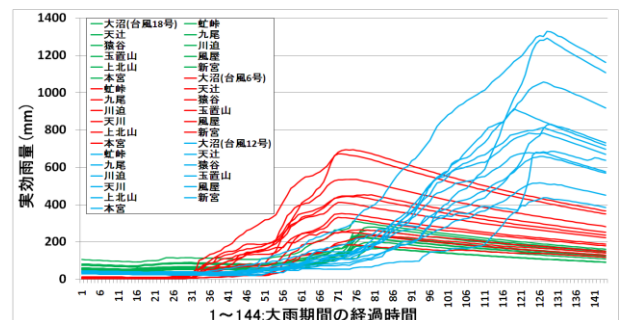
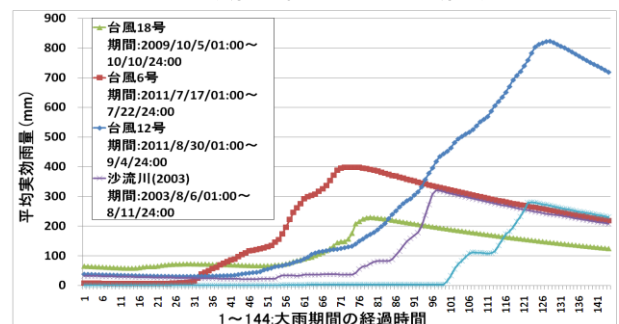
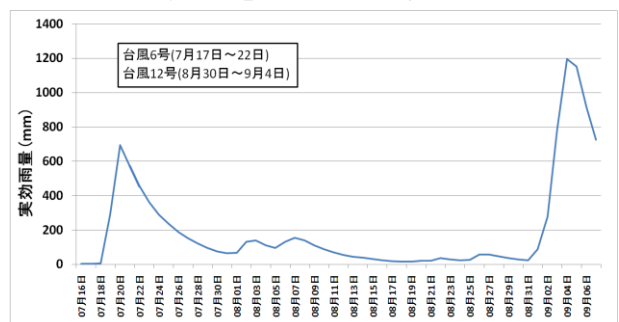


図-18 熊野川、沙流川流域の各観測所の総雨量

図-19 熊野川流域の観測所の実効雨量
(期間:各台風の大雨期間)図-20 熊野川、沙流川流域の
全観測所を平均した平均実効雨量図-21 上北山観測所の実効雨量
(期間:2011/7/16/01:00～9/7/24:00)

では既往の研究⁵⁾から実効雨量が 300mm 以上で斜面崩壊が多発したと指摘されており、同じ雨に対して熊野川流域より土砂災害の発生リスクが大きいことが明確にわかる。熊野川流域の実効雨量は、本年7月の台風6号では、流域平均的には 400mm にも達していたが、大きな土砂災害は起きず、台風12号の際はそれを上回る雨が降ったことがわかる。ここで、長期的な土壌の水分量を把握するため、台風12号で総雨量が一番多かった上北山観測所の2011年7月16日から9月7日までの実効雨量の経過を図-21に示した。この図から台風6号と台風12号を比べると、実効雨量が前者で700mm、後者で1200mmとなっており、違いが明瞭にわかる。

5. 土砂災害発生の解析手法について

土砂災害発生の可能性について、実用的にも多く用いられているスネーク曲線を用いて解析を行った。スネーク曲線とは、縦軸に短期降雨指標(時間雨量など)をとり横軸に長期降雨指標(実効雨量)をとって、求めた値を逐次プロットして土砂災害発生リスクを判定する線図である。一般的に、短期降雨指標は地表面の流量を表し、長期降雨指標が土中の水分量を表しており、土砂災害は短期降雨指標と長期降雨指標の両方またはどちらかが大きくなると斜面崩壊が発生しやすくなるといわれる。

5.1. 土砂災害発生の解析

図-22に、熊野川流域の各観測所のスネーク曲線を示した。この図から、熊野川流域を比較すると台風12号の大雨期間後半で時間雨量、実効雨量ともに大きいことがわかる。このことから、他の台風と比較して台風12号で土砂災害が発生しやすかったことが明確に判定できる。

次に、熊野川流域の大雨期間(台風18号:2009/10/5～10/10(6日間)、台風6号:2011/7/17～7/22(6日間)、台風12号:2011/8/30～9/4(6日間))の大沼観測所、上北山観測所と、沙流川流域における大雨期間の宿主別、上貫気別観測所による比較を図-23に示した。この図から、台風12号は、降雨の長期化で実効雨量が増大し、加えて降雨期間後半に強い雨があって、土砂災害のリスクが高まったことが読みとれる。

さらに、図-24に図-1の熊野川流域の全観測所の時間雨量と実効雨量を平均したスネーク曲線と、図-10の沙流川流域の全観測所を同様に平均したスネーク曲線を用いて比較した。この図からも、熊野川流域では大雨の継続時間が長い為、実効雨量が飛躍的に大きくなっていたという特徴が明らかになった。土砂災害発生を予測するには、短時間に集中する雨だけでなく、降雨が継続してどの程度実効雨量が増大するかを見極め、災害発生の閾値を設定することが重要である。

6. まとめ

本研究で得られたことを以下に示す。

- 1) 台風12号は、他の豪雨の事例と比べて未曾有の豪雨だったことが明らかであった。特に、降雨が長時間続いたことで、土壌中の水分が飽和状態になり、斜面崩壊が起こりやすくなったと考えられる。
- 2) 熊野川流域に比べ、北海道沙流川流域は少ない実効雨量で斜面崩壊が多発しており、同じ雨に対して土砂災害発生リスクが大きいことが明確に示された。

- 3) 各流域において過去の豪雨や災害発生事例を蓄積しスネーク曲線などで判定しうる土砂災害発生の閾値を得ることが、今後の土砂災害の予測に有効である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、データを提供していただいた気象庁、(財)気象協会、室蘭開発建設部の関係各位の方々にここに記し深く感謝する。

参考文献

- 1) 蒲田文雄・小林芳正著:十津川水害と北海道移住〈シリーズ日本の歴史災害〉,古今学院,2006.1.
- 2) Google Earth:
<http://www.google.co.jp/intl/ja/earth/index.html>
- 3) 気象庁:
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 4) 村上泰啓,中津川誠,高田賢一:平成15年8月出水における額平川の崩壊地とその要因について,河川技術論文集,第10巻,pp.249-254,2004.6.
- 5) 芳賀一斗:降雨特性による土砂災害発生要因の解析平成21年度土木学会北海道支部論文,2010.2.
- 6) 国土交通省:
<http://www.mlit.go.jp/>

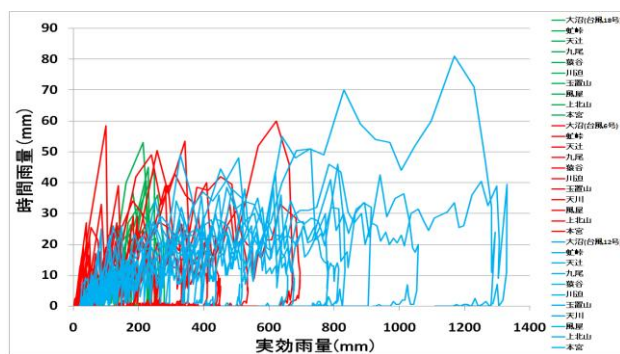


図-22 熊野川流域の観測所のスネーク曲線

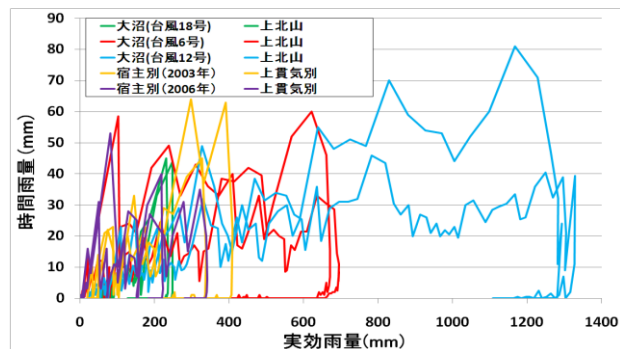


図-23 熊野川の大沼、上北山観測所と沙流川の宿主別、上貫気別観測所のスネーク曲線

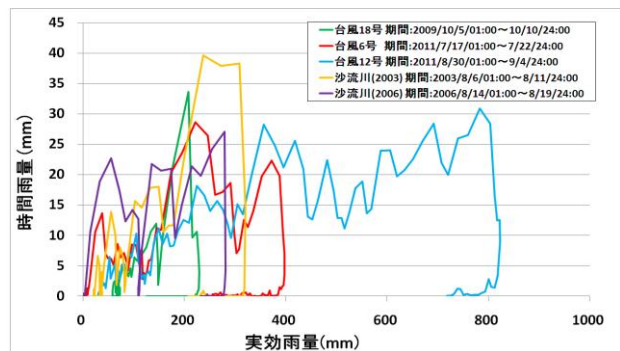


図-24 熊野川、沙流川流域の全観測所の雨量を平均したスネーク曲線