

天塩川流域の局地豪雨における 流域平均雨量の特性評価

旭川開発建設部治水課 ○田中 雅基
高柳 和己
田中 康寛

本論文では、天塩川流域で大雨に見舞われた2010年を対象に、同流域の気象状況を整理し、降雨時の流域平均雨量の特性を評価した。その結果、2010年は記録的な大雨の生起と融雪期の遅れがみられ、洪水リスクの高い年であったと考察された。また、11の降雨事例についてティーセン法で算出した流域平均雨量とレーダ雨量を比較した結果、ティーセン法で計算される流域平均雨量は概ね妥当な値であると考えられた。しかしながら、わずか1例ではあるが、細い線状の雨域が発生した事例において、ティーセン法では適切な流域平均雨量が得られないケースのあることがわかった。

キーワード：流域平均雨量、ティーセン法、レーダ雨量、天塩川流域

1. はじめに

平成22年夏の道北地方は、狭い範囲で激しい雨に見舞われることが多く、7月28日、8月14日の天塩川流域に降った雨においては、中小河川のはん濫、JRの運休、国道の冠水及び家屋の床上浸水などの災害が発生した。今後増えることが予想¹⁾されている局地的豪雨は、地上雨量計で捉えられない可能性がある。

当課で実施している洪水予測では、ティーセン法による流域平均雨量を採用している。ティーセン法は、地上雨量データから簡便に流域平均雨量が算出できるものの、雨域に雨量計が無ければ流域平均雨量を正確に把握することは難しい。このように算出した流域平均雨量が、洪水予測の精度を維持する上で障害になることが懸念される。一方、流域平均雨量を算出する方法として、レーダ雨量の活用が考えられる。レーダ雨量は、降雨分布を面的に捉えられ、雨量計の無い地域についても把握できるという特徴があるが、システムの導入には過大な費用が必要となる。

そこで報告では、道北地方の天塩川流域を対象に2010年の降雨事例を採り上げ、ティーセン法とレーダ雨量から面積雨量を算出し、両者の比較をとおして、ティーセン法で得られる面積雨量の妥当性や特徴を考察した。

具体的には、次のような作業を行った。

- 1) 2010年の降雨の特徴を見るため、アメダス地点における雨量データを整理した。その結果、2010年は、これまでにない記録的な大雨が観測されていたことがわかった。また、大雨が発生していた範囲は、流域の下流部に限定的であることがわかった。

- 2) 2010年の融雪状況の特徴を、過去の気温、積雪深の比較を通して検討した。その結果、2010年は大規模な融雪洪水や災害の報告はなかったものの、春先の低温で積雪が多く残り、融雪洪水の発生しやすい条件にあったものと推察された。
- 3) 2010年の降雨事例について、ティーセン法から得られる流域平均雨量（以下、ティーセン面積雨量と呼ぶ）と、レーダ雨量から算定される流域平均雨量（以下、レーダ面積雨量と呼ぶ）を比較した。その結果、両者は良い対応関係にあった。しかしながら、音威子府で既往最大の時間雨量が観測された8月13日の大雨では、ティーセン面積雨量とレーダ面積雨量には、大きな差がみられた。



図-1 対象流域（図中、丸印は水位観測所）

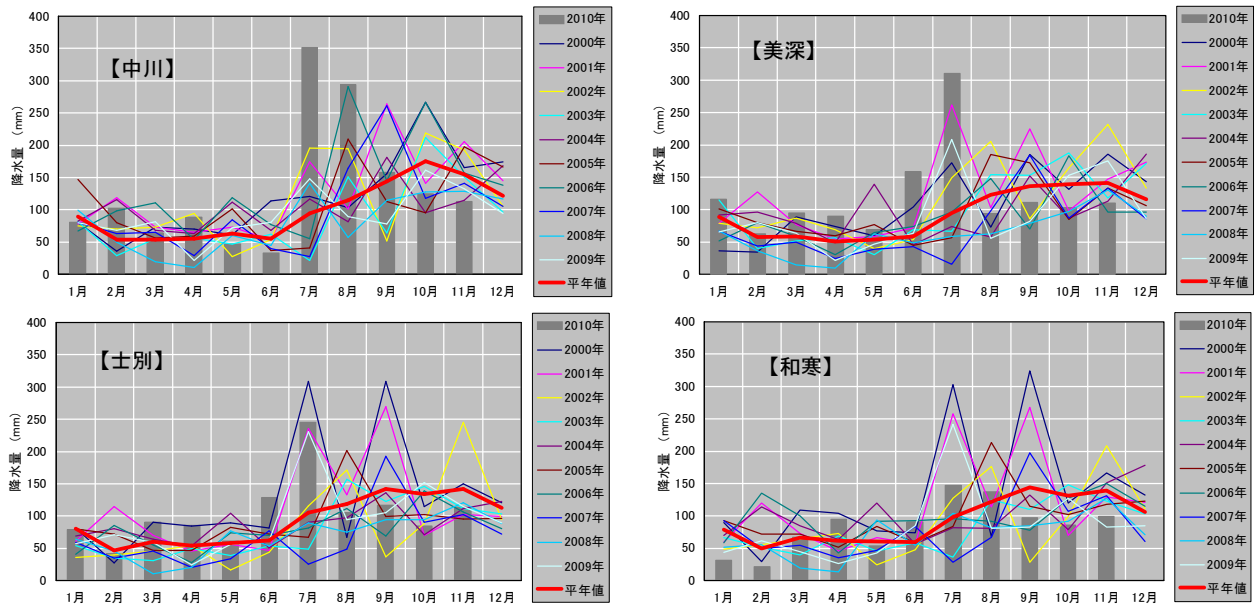


図-3 月降水量の過去との比較 (左上：中川、右上：美深、左下：士別、右下：和寒)



図-2 2010年における降水量の順位状況

以上の結果、2010年は記録的な大雨と融雪の遅れのため、洪水の発生しやすい状況にあったものと考察された。また、ティーセン面積雨量は、ほとんどの降雨事例の流域平均雨量を適切に算出していた。しかし、1例ではあるが、局所的降雨に対するティーセン法の課題を示す例があった。以下、対象流域、2010年の気象状況、流域平均雨量の特性の順に詳述する。

2. 対象流域

対象とした流域は、天塩川水系の菅平水位観測所の流域である。集水面積は4,029 km²、流域内には、河川管理用として24箇所の雨量テレメータ、また、気象庁所管のアメダスが10箇所配置されている(図-1)。本解析では、これらの地点で取得された気象データを用いた。

表-1 雨量の順位表

地点	項目	雨量(発生日もしくは発生日)		
		第1位	第2位	第3位
中川	日降水量	111(2010/8/14)	111(2001/9/10)	110(2000/10/8)
	日最大1時間雨量	41(2007/9/21)	39.5(2010/7/28)	39(2010/9/21)
	月降水量	351(2010/7)	303(1998/11)	294(2010/8)
音威子府	日最大1時間雨量	52.5(2010/8/13)	43(2005/5/31)	37(2007/8/11)
	月降水量	343(1988/11)	342.5(2010/7)	332(1981/8)
美深	日降水量	392(1981/8)	311(2010/7)	262(2001/7)
	月降水量	117(2010/7/29)	117(2001/9/10)	102(1981/8/4)
名寄	日降水量	334(1981/8)	299.5(2010/7)	288(2001/7)
	月降水量			

※雨量の単位:mm
※全地点、統計期間は30年以上

なお、中川アメダスは、流域の外に位置する。しかしながら、洪水予測を実施する際には、この地点も含めて流域平均雨量を算出している。このような理由から、本報告では、この地点も含めて検討することにした。

3. 2010(平成22)年の降雨、融雪状況

降雨と融雪は、洪水を引き起こす要因である。そこで本章では、降雨、および、融雪に関わる春先の気温と積雪深に着目して、2010年の気象の特徴を整理した。

(1) 降雨

表-1は、観測開始以降の日降水量、日最大1時間雨量、月降水量の第1位～第3位までの、雨量と起時を示したものである²⁾。ここには、2010年の観測値が上位3位以内にランクされた場合のみ記載し、2010年に該当する箇所には灰色のハッチを入れた。なお、ここに記載した地点は、いずれも30年以上の統計期間を有する。

表によると、2010年7月および8月の降雨は、中川と名寄の日降水量が第1位、日最大1時間雨量は音威子府、月降水量では中川が第1位となっており、これまで観測

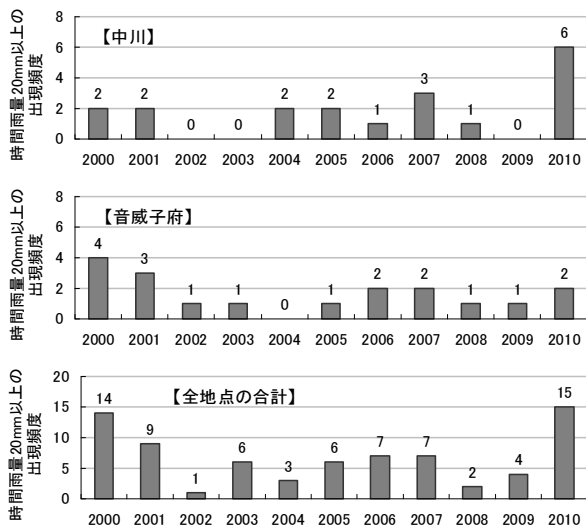


図-4 時間雨量 20 mm 以上が観測された回数（上段：中川、中段：音威子府、下段：全地点の合計）

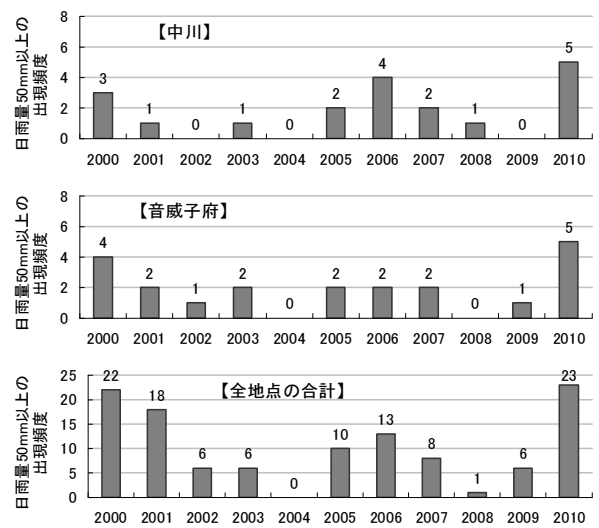


図-5 日雨量 50 mm 以上が観測された回数（上段：中川、中段：音威子府、下段：全地点の合計）

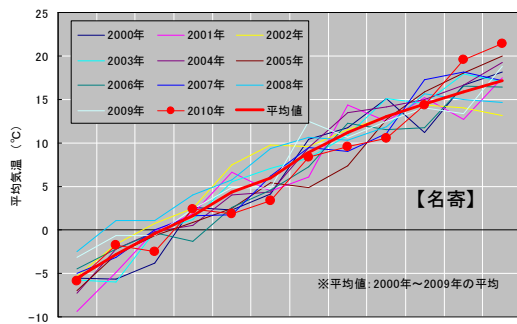


図-6 2010年の旬平均気温の推移 (名寄アメダス)

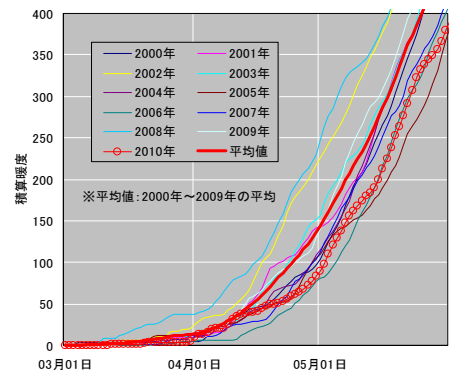


図-7 積算暖度 (名寄アメダス)

されたことのない記録的な降雨であったといえる。この記録更新箇所を図に示すと（図-2）、記録が更新された箇所は対象流域の下流部に集中している。

図-3は、流域内4箇所（中川、美深、士別、和寒）の月合計降水量である。この図では、2010年の月合計降水量と過去10年、ならびに、平年値を示した。図中、灰色の棒グラフは2010年の月降水量、赤色の太い実線は平年値、細い実線は2000年～2009年を表す。図によると、2010年7月の降水量は、全地点とも平均値を大きく超え、7月の月降水量が多かった様子が伺える。また、2010年7月の降水量を過去10年と比較すると、流域の下流に位置する中川が特に多く、流域の上流側の地点ほど平年値に近い。以上のように、2010年は、7月の降水量が多く、その傾向は流域の下流ほど顕著であったといえる。

以上では、総量の観点から雨量データを整理したが、次に、強雨の出現回数について調べてみる。

図-4と図-5は、それぞれ、時間雨量が20mmを越えた回数、日雨量が50mmを超えた回数を示したものである。ここでは、表-1において2010年の時間雨量が上位にランクしている中川と音威子府、また、流域全体の

回数を示した。図中、上段は中川、中段は音威子府、下段は流域全体の出現頻度である。

時間雨量20mm以上の頻度についてみると（図-4）、中川では、2009年までの10年間は3回以下であったのに対し2010年は6回出現している。時間最大雨量の記録が更新された音威子府では、2010年の頻度は例年と同程度であった。流域全体としては、2010年の出現頻度は2000年以降で最多となった。

日雨量50mm以上の頻度（図-5）は、中川、音威子府、全地点の合計とも、2010年の出現回数が最多となっていた。

以上の結果、2010年の誉平水位観測所の流域における降雨は、7月の降水量は例年にないほど多く、また、強雨の出現回数もここ10年で最多であることがわかった。その傾向は、流域全体にみられるのではなく、流域の下流部に限定的あることがわかった。

(2) 気温、積雪

図-6は名寄アメダスの旬平均気温の経過である。図の●印の付いた赤色の線は2010年、太い赤色の実線は2000年～2009年の過去10年の平均（以下、平均）、そ

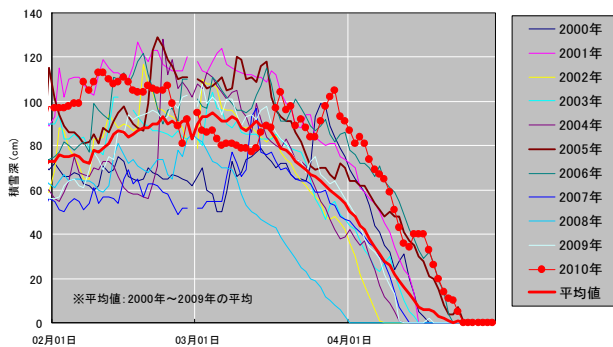


図-8 積雪深の経過 (名寄アメダス)

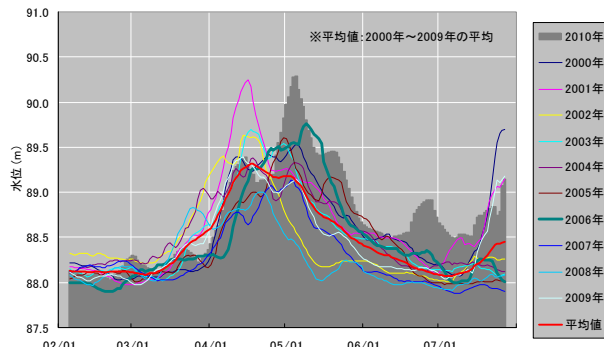


図-9 水位の経過 (名寄大橋、前後4日間の移動平均)

表-2 流域平均雨量の分析期間

No	雨量分析期間	総雨量50mm以上、もしくは、時間雨量20mm/hを越えた事例における降雨期間										
		中川 アメダス	音威子府 アメダス	小車 アメダス	美深 アメダス	名寄 アメダス	西風連 アメダス	下川 アメダス	士別 アメダス	剣淵 アメダス	和寒 アメダス	朝日 アメダス
1	06月20日 ~ 06月22日									6/20~6/22		
2	06月23日 ~ 06月24日				6/23~6/24					6/24	6/24	6/24
3	06月30日 ~ 07月01日				6/30~7/1	6/30~7/1						
4	07月03日 ~ 07月04日						7/3~7/4					
5	07月08日				7/8							
6	07月17日 ~ 07月20日	7/17~7/19	7/17~7/19	7/17~7/19	7/17~7/19	7/17~7/19	7/17~7/20	7/17~7/19	7/17~7/19			7/17~7/19
7	07月27日 ~ 07月30日	7/27~7/30	7/27~7/29	7/27~7/29	7/27~7/29	7/27~7/30	7/27~7/30	7/29~7/30	7/28~7/30	7/27~7/30	7/27~7/30	7/27~7/30
8	08月11日 ~ 08月14日	8/11~8/14	8/11~8/14	8/11~8/14	8/11~8/14			8/9~8/12			8/11~8/13	8/11~8/12
9	09月05日 ~ 09月08日	9/5~9/7	9/5~9/7	9/5~9/8			9/5~9/8	9/5~9/8	9/5~9/8		9/5~9/8	
10	09月20日 ~ 09月21日	9/20~9/21										
11	10月24日 ~ 10月27日	10/24~10/27	10/24~10/27									

の他の細かい実線は 2000 年~2009 年の各年であり、3 月~6 月までを明示した。これらの図によると、2010 年の気温は、4 月中旬~5 月下旬の期間が平均より低い。特に、4 月中旬~下旬は、2000 年以降で最も低かった。

図-7 は、名寄アメダスの積算暖度の経過である。積算暖度は、プラス気温を累積した値であり、融雪を促進する熱量に対応する。したがって、春の早い時期に積算暖度が大きい年は、融雪も早いと考えられる。図の○印の付いた赤色の実線は 2010 年、太い赤色の実線は平均、その他の細い線は 2000 年~2009 年の各年を表している。なお、ここでの積算暖度は日平均気温から算出した。

図によると、2010 年の積算暖度は、4 月中旬頃まで平均と同程度で経過し、その後、平均を下回っている。過去 10 年の各年と比較すると、4 月下旬から 2006 年に次いで小さいことがわかる。

図-8 は名寄アメダスの積雪深の経過である。図中、●印の付いた赤色の実線が 2010 年 2 月~4 月の積雪深である。名寄アメダスの消雪日は、2008 年の消雪がここ 10 年で最も早く 4 月 1 日、2010 年は 4 月 23 日であった。2010 年の消雪は 2000 年以降で最も遅い。

以上の結果、4 月中旬~下旬の低温、それによる消雪の遅れが見られたが、次に、河川の流出状況との対応をみた。図-9 は、対象流域のほぼ中央に位置する名寄大橋の水位である。この図には、日平均水位の前後 4 日間の移動平均値 (計 9 個のデータの平均値) を示した。図中、灰色の棒グラフは 2010 年の水位、その他の実線は 2000 年~2009 年の各年の水位である。

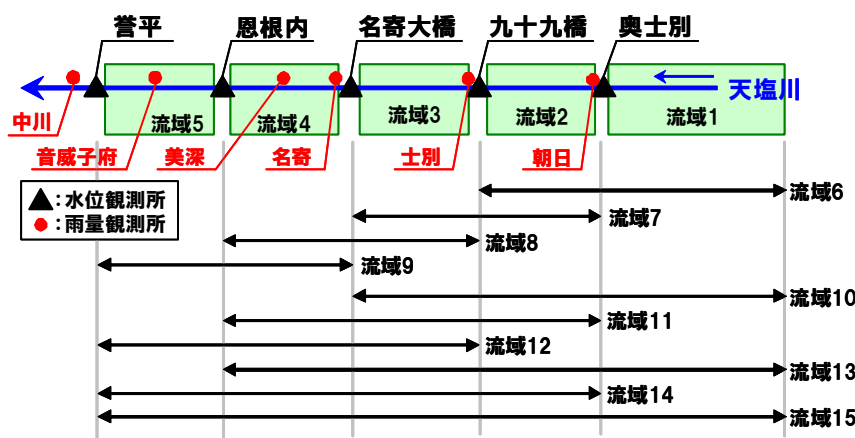
図によると、例年の経過は、3 月中旬~下旬に融雪が

始まり、4 月中旬にピークを迎え、6 月に入り融雪が終了している。しかしながら、2010 年の融雪最盛期は 5 月上旬にまで遅れている。

このような融雪の遅れは図-9 の 2006 年にも見られる。この 2006 年の融雪期には、気温の上昇と降雨によって、5 月 10 日~11 日に大規模な融雪洪水が発生している。この 2 日間の降水量は 40 mm 程度と量的には多くはないが、60 mm 程度の融雪水が加わっていたことで大きな出水に至った³⁾。この洪水によって天塩川本川の菅平水位観測所や恩根内水位観測所、また、名寄川 真勲別水位観測所においてははん濫注意水位を超え、畑の冠水被害が発生していた。

流域が積雪状態にある場合、日々、融雪水が土壌に供給され、流域は湿潤な状態 (流出率の高い状態) が続く。すなわち、融雪の遅れは、湿潤状態を長期化させ、少ない降雨であっても大きな出水に至る危険性を増大させる。加えて、季節の進行とともに、急激な気温の上昇や大雨の機会が増えることも、洪水発生危険性を高める。したがって、融雪の進行が遅い状況は、融雪洪水の危険性の高い状況であり、河川管理上、注意を要するといえよう。消雪の遅かった 2010 年は、大規模な融雪洪水や災害の報告はなかったものの、洪水リスクの高い条件にあったものと考察される。

4. 流域平均雨量の特性



流域番号	流域面積 (km ²)
1	399.3
2	317.4
3	1002.5
4	1501.0
5	808.9
6	1116.0
7	1319.9
8	2503.5
9	3312.4
10	1719.2
11	2820.9
12	3312.4
13	3220.2
14	3629.8
15	4029.1

図-10 流域平均雨量の算出パターンの模式図と各流域の面積

(1) 降雨事例と対象流域

解析に用いる事例は、アメダスにおいて総雨量が 50 mm 以上、もしくは、時間雨量強度が 20 mm/h 以上の降雨とした。このように決めた降雨事例と解析期間を表-2 に示す。表には、アメダス地点で上記の条件を満たした降雨の降雨期間も合わせて示してある。なお、解析事例には前章で述べた記録的な大雨である 7 月 28 日～29 日、8 月 13 日～14 日を含んでいる。

流域平均雨量を算出する流域は、天塩川本川に位置する 6 箇所の水位観測所（誉平、恩根内、名寄大橋、九十九橋、奥士別）の流域を基準地点として、図-10 に示す 15 種類の領域とした。例えば、図の“流域 2”は、奥士別～九十九橋の区間流域、“流域 8”であれば流域 3 と流域 4 をあわせた範囲を意味する。このような組み合わせによって、集水面積の異なる 15 種類の流域平均雨量が得られる。

(2) 流域平均雨量の算出方法

流域平均雨量は、ティーセン比を用いた方法とレーダ雨量を用いた方法の 2 種類を算出した。レーダ雨量は空間的な雨量が捉えられることから、本報告では、レーダ雨量から求めた流域平均雨量を真値として扱った。

ティーセン比を用いた流域平均雨量（以下、ティーセン面積雨量と呼ぶ）は、次式で求めた。

$$\bar{R}_T = \frac{\sum_{i=1}^N T_i r_i}{\sum_{i=1}^N T_i}, \quad T_i \equiv \frac{a_i}{A} \quad (1)$$

ここで、 \bar{R}_T : ティーセン比による流域平均雨量、 T_i : 地点 i のティーセン比、 r_i : 地点 i の雨量、 N : 対象流域の分割数、 a_i : 各雨量観測地点の支配面積、 A : 流域面積。

レーダ雨量を用いた方法では、流域に該当するメッシュのレーダ雨量を抽出し、それらの平均値を流域平均雨量とした（以下、レーダ面積雨量と呼ぶ）。

(3) 流域平均雨量の比較

以上で作成した 15 流域、11 の降雨事例についてティ

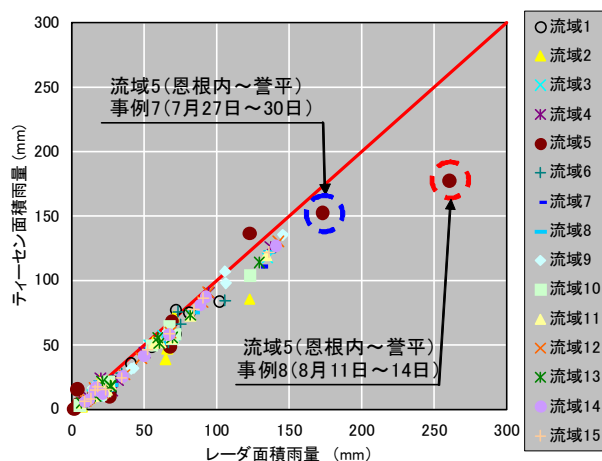


図-11 レーダ面積雨量及びティーセン面積雨量の比較

ーセン面積雨量とレーダ面積雨量とを比較した結果が図-11 である。図中、横軸はレーダ面積雨量、縦軸はティーセン面積雨量である。凡例は図-10 に示した流域番号である。また、図の赤色の実線は傾き 45 度の直線である。

この図によると、点は傾き 45 度の直線に集まっており、ティーセン面積雨量とレーダ面積雨量がよく対応している。ただし、プロットされた点は傾き 45 度の直線の下側に多く、ティーセン面積雨量はレーダ面積雨量よりやや小さいことが読み取れる。

図において赤色の破線で囲んだ事例（流域 5 : 恩根内～誉平、事例 8 : 8 月 11 日～14 日）で、レーダ面積雨量とティーセン面積雨量に大きな差が見られた（レーダ面積雨量 : 260 mm、ティーセン面積雨量 : 178 mm）。この流域では 7 月 27 日～30 日の降雨（事例 7）にも、ティーセン面積雨量で約 150 mm を超える降雨が観測されたが、レーダ面積雨量とほぼ同量であった。これら 2 事例のレーダ画像と雨量分布図（事例 7 : 図-12、事例 8 : 図-13）によると、事例 8 は狭い範囲に限られた降雨、事例 7 は事例 8 より広い範囲の降雨であることがわかる。以上、事例数は少ないが、ティーセン法では、雨域の狭い降雨事例において、適切な流域平均雨量を算出するのが難しい場面のあることがわかった。

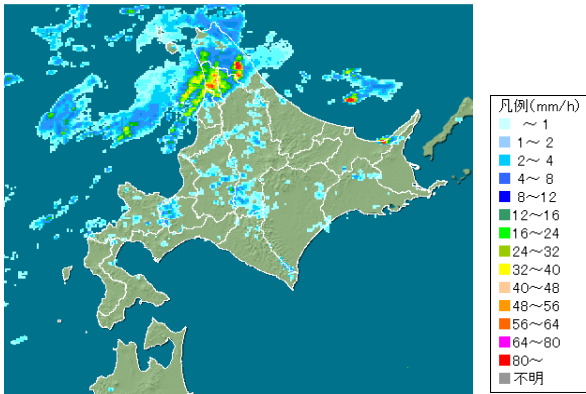


図-12 事例7におけるレーダ画像（2010年7月28日15時）と、7月28日～30日の雨量分布

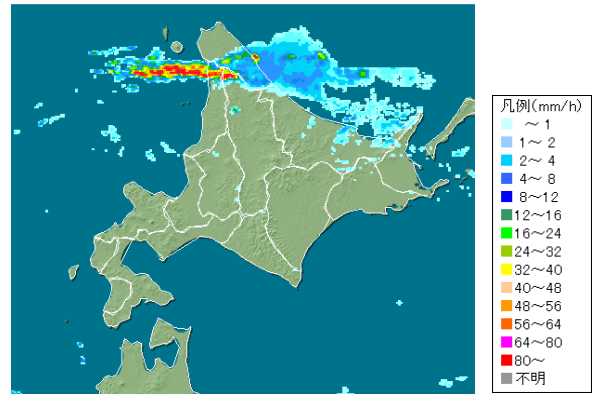


図-13 事例8におけるレーダ画像（2010年8月14日3時）と、8月13日～14日の雨量分布

5. まとめ

本論文では、天塩川流域を対象に、洪水に関連のある大雨と融雪に関わる気象状況の整理、ならびに、大雨時における流域平均雨量の特性を検討した。結果をまとめる次のとおりである。

- 1) 2010年は、これまでにない記録的な大雨が生じていたことがわかった。記録的な大雨は流域全体ではなく、流域の下流部に限定的であった。
- 2) 2010年は大規模な融雪洪水や災害報告はなかったものの、春先の低温で長い期間積雪が残り、融雪洪水発生の危険性が高い条件にあったものと推察された。
- 3) 降雨事例を対象に、ティーセン面積雨量とレーダ面積雨量を比較した。その結果、両者は良い対応にあった。しかしながら、音威子府で既往最大の時間雨量が記録された8月中旬の大雨では、両者に大きな差が生じていた。差の原因は、雨域が極端に細い線状であったためと考えられた。

多くの降雨事例に対し、ティーセン法は妥当な流域平均雨量を与える。しかしながら、8月14日の例に見られたように、極端に細い線状の雨域を有する場合、ティーセン法では適切な面積雨量が得られない場合がある。このような局地豪雨は、現状では発生回数は少ないものの、

増加することが予想されている。

正確な流域平均雨量は、水位予測の精度を維持する上で不可欠である。洪水予測モデルのパラメータは、入力値の流域平均雨量と出力値である流量で決まる。すなわち、適切な流域平均雨量なしに適切な洪水予測モデルは得られない。また、洪水予測の運用で行われるカルマンフィルターによる逐次補正においても、正確な流域平均雨量が必要となる。以上から、水位予測の精度を維持する上で、流域平均雨量を正確に把握することが重要といえる。

今後、洪水予測モデルの動向を考慮しつつ、レーダ雨量の利用も含めて、局地豪雨の把握方法、ならびに、局地豪雨に対応し得る洪水予測に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.) (2007) *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 2) 札幌管区气象台ホームページ < <http://www.jma-net.go.jp/sapporo/> > (アクセス日：2010/12/5)
- 3) 伊藤貴寛、佐々木猛、長尾鉄彦：積雪寒冷地の河川における融雪予測の有効性の検討、北海道開発局ホームページ < <http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/gijyutu/index.htm> > (アクセス日：2010/12/21)