平成28年8月北海道豪雨の降雨特性と降雨流出の予測可能性

Characteristics of rainfall patterns of the 2016 August heavy rainfall over Hokkaido and its predictability

北海道大学大学院工学院 ○学生会員 小林彩佳 (Ayaka Kobayashi) 北海道大学大学院工学院 学生会員 岡地寛季 (Hiroki Okachi) 北海道大学大学院工学院研究院 正会員 グエンレズン (Dzungl LE NYUYEN) 北海道大学大学院工学院研究院 正会員 山田朋人 (Tomohito Yamada)

1. はじめに

2016年8月17日~23日の1週間に台風7,11,9号が北 海道に上陸した.また,台風10号は,8月30日9時 (以降,日本時間)に東北沖に接近し,台風を取り巻く アウターバンドによって長時間に渡り北海道に暖湿な空 気を供給した.この暖湿気が日高山脈にぶつかり,地形 性降雨を発達させた.これら4つの台風の豪雨によって, 北海道内各地は,河川氾濫や堤防の決壊,土砂災害及び 道路や橋の崩落など甚大な被害となった¹⁾²⁾.本研究で は,台風10号がもたらした大雨によって2箇所の堤防 決壊,それに伴う河川氾濫が発生した南富良野町を含む 空知川上流部を中心に着目して,降雨分布及び降雨流出 の予測可能性について述べる.

2. 使用データ

2.1 降雨データ

本研究で使用した降雨データは以下の通りである.

- 気象庁が保有する C-Band 気象レーダによって推定 された 1km メッシュ降雨データ(以下,気象庁 C-Band)
- ② 国土交通省が保有する C-Band 気象レーダによる降
 雨データ (以下,国交省 C-Band)
- ③ 国土交通省(河川)及び気象庁が保有する地上雨量計 によって観測された降雨データ
- ④ 地上雨量と気象庁 C-Band レーダ雨量を組み合わせ た解析雨量データ

2.2 気象データ

後述の領域気候モデルに与える境界値及び初期値とし

て, NCEP (米国国立環境予測センター)の the GFS Global ENSemble (GENS)を用いた.

3. 降雨の時空間分布

3.1 空間分布

図-1 は、気象庁 C-Band、国交省 C-Band、解析雨量の 3 種類の降雨データによる 8 月 29 日 00 時から 9 月 4 日 00 時までの累積雨量を示す.図より、日高山脈に沿う ように 500mm 前後の総降雨量が分布していることがわ かる.図-2 は、空知川上流域に存在する雨量計ならびに、 同流域内のシーソラプチ川とルーオマンソラプチ川を示 す.本研究では、シーソラプチ川流域(以下、流域 1)、 空知川流域(以下、流域 2)、ルーオマンソラプチ川 (以下、流域 3)の3 つの小流域に分けて議論する.

図-3 は気象庁 C-Band,国交省 C-Band,解析雨量,及 びティーセン法によって求めた地上雨量計の降雨デー タを用いた空知川上流域及びその近傍の 8 月 29 日 00 時から 9 月 2 日 00 時までの累積雨量を示す.地上雨量 計は,流域内及びその近傍にある国交省及び気象庁の 2 種類の合計 10 地点によって観測された雨量を用いた. ティーセン法は各雨量観測所で垂直 2 等分線を引き, 支配面積を幾何学的に求める手法である.支配面積で 各観測所の雨量を重み付け平均することによって,流 域平均雨量を求めている.図-3(a),(b),(c)から,流域 3 において累積雨量は 480mm を超えていた.一方で,図 -3(d)によると,累積雨量が 480mm を超えた狩勝観測所 の支配面積は狩勝峠の以北にも及んだ.レーダで観測 した降雨と,ティーセン法を用いた場合の地上雨量の 分布に違いがある.



図-1: (a)気象庁 C-Band, (b)国交省 C-Band 及び(c)解析雨量による 8 月 29 日 00 時から 9 月 4 日 00 時までの累積雨量 [mm]



図-2: 空知川流域(左上図)と,図中の赤破線内を 拡大した上流域(中央図).赤点は国土交通省,気 象庁の地上雨量計の場所を示す.

表-1: 空知川上流域における台風 7,11,9,10 号のあった 8 月 16 日 1 時から 9 月 2 日 00 時, 8 月 29 日 1 時から 9 月 2 日 00 時の累積雨量[mm]

	8/16~9/1	8/29~9/2
気象庁 C-Band	534	183
国交省 C-Band	625	200
地上雨量計	676	302
解析雨量	603	232

3.2 時間分布

図-4 は、一連の 4 つの台風の影響期間である 8 月 16 日 00 時から 9 月 2 日 00 時における空知川上流域の流域 平均時間降雨強度及び累積雨量を 4 つの各観測雨量につ いて示す.表-1 は、空知川上流域における 8 月 16 日 01 時から 9 月 2 日 00 時及び台風 10 号に起因する 8 月 29 日 1 時から 9 月 2 日 00 時の累積雨量を示す.8月 16 日 00 時から 9 月 2 日 00 時では、観測手法によって累積雨 量は最大で 142mm の差が存在していた.一方、台風 10 号に起因する豪雨期間では、最大 119mm であった.す なわち、前述の最大 142mm の差のうち 119mm は台風 10 号によるものであり、これは地形性降雨では観測手法に よる特徴が反映されやすいことを意味するものであろう.

3.3 地上雨量観測所数と流域平均雨量の関係

河川整備計画や防災対策は主に地上雨量観測値を用い て行われている.雨量計とは、地上に到達した雨滴を直 径 20cm の転倒ますで計測するものである.空知川上流 域内には国土交通省(河川)と気象庁アメダス雨量計は 6 個分布しており、68km²に1個の密度である.しかし、 豪雨をもたらす積乱雲の空間スケールが数 km であり、



図-3: 空知川上流域の8月29日00時から9月2日00時ま での累積雨量[mm]. (a)気象庁 C-Band, (b)国交省 C-Band, (c)解析雨量, (d)地上雨量計(ティーセン法)



図-4: 空知川上流域における各観測手法による流域平均降雨 強度[mm/h]と累積雨量[mm].期間は8月16日から9月2日.

山間部は地形による降雨強度の時空間的なばらつきが大 きい特徴を有することを考慮すると、雨量計の空間分布 の有する流域代表性に関して不確実性が存在する.ここ では地上雨量の観測所数が流域平均雨量に与える影響を 明らかにするために、雨量観測所数を変化した場合の流 域平均雨量の算出を行う.ただし、流域平均雨量に欠損 が含まれないもののみ分布図に採用した.雨量観測所数 及び手法については、前述した通りである.推定された 累積雨量と観測所数の関係を図-5に示す.観測所数が増 えるごとに分布の幅が狭くなり、平均値は上昇する.例 えば、計 10 個のうち 9 個の雨量計の選択によって最大 で 50mm 程度の累積雨量に相違が生じることになる.

4. 降雨流出特性

4.1 流出率

図-6に幾寅観測所の水位及び空知川上流域の流域平均時間降雨強度を示す.なお,幾寅観測所の水位計は8月30日18~21時の間は欠測,8月31日00時以降より閉局となった.8月16,17日の降雨の影響により水位が上がった後,8月16日01時の水位には戻らず,続いて襲来した台風11,9号による大雨によってピーク水位は上昇し続けた.また,流出率は,累積流出高と累積雨量の比で表され,1に近いほど降雨が損失せずにそのまま流出していることを意味する.幾寅水位観測所から12km下流に堰のある金山ダム流域において,8月16日00時から8月28日18時までの流出率は1.06であった.水位が下がりきる前に,連続して大雨が降ったことによりで土壌の湿潤状態が飽和に近づき,降雨に対し流出が増加しやすい条件となったと考えられる.

4.2 流出解析の概要

(1) 入力データに用いる降雨データ

降雨流出モデルへの入力データとして,地上雨量計お よび気象庁 C-Band により観測された降雨を図-2の3つ のサブ流域ごとに与えて流出計算を行なった.

(2) 降雨流出計算に用いる流出モデル



図-5 幾寅地区上流域での累積雨量と観測所数の関係



図-6 幾寅観測所の水位及び幾寅地区上流の気象庁 C-band レーダが観測した流域平均時間降雨強度[mm/h] 流出計算では、鉛直浸透機構と斜面計算を分離した降 雨流出の基礎式³⁾を用いた. 斜面における降雨流出経 路としては表面流、飽和側方流、不飽和側方流、地下流 出等があり、大規模出水もしくは斜面深層の流れを考慮 した流出計算を行なうためには、斜面内流れを多層構造 として扱う必要がある.そこで、山腹斜面が複数の層で 構成されていると考えた鉛直浸透機構が提案された.

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{s}_{\mathrm{n}}}{\mathrm{d}t} = V_{\mathrm{n-1}} - \gamma_{\mathrm{nm}} - V_{\mathrm{n}} \tag{1}$$

$$\frac{\mathrm{d}q_{\mathrm{nm}}}{\mathrm{d}t} = \alpha_{nm} q_{\mathrm{nm}}^{\beta_{nm}} (r_{nm} - q_{nm}) \tag{2}$$

$$\begin{cases} r_{nm} = 0 & (S_n \le h_{nm}) \\ r_{nm} = a_{nm}(s_n - h_{nm}) & (S_n \ge h_{nm}) \end{cases}$$
(3)

$$v_{ss} = V_n = b_n s_n$$

(4)

ここに、n:層数、m:各層における側方成分の数である.また、 S_n :各層の土壤内水位、 a_n, b_n :各側方成分浸透成分の比例定数[1/h]、 h_{nm} :流出成分発生の閾値、 r_{nm} :雨量の斜面流出成分[mm/h]、 V_n :鉛直浸透量[mm/h]である.この流出計算手法は、降雨が流出に寄与する遅れ時間や損失雨量を表現することができる.本研究では、2段3層のモデルを用いて解析を行った.

(3) 降雨流出計算に用いる流出パラメータの決定

qLo

降雨流出モデルのパラメータの推定は、空知川上流域 の地上雨量計及び気象庁 C-Band それぞれで観測された 降雨の流域平均降雨強度、及び幾寅水位観測所の 12km 下流にある金山ダムの流入量データを入力値とした.幾 寅観測所の水位計は、3.1 節で述べた期間が欠損及び閉 局であったためである.降雨イベントは8月29日から 9月3日の台風10号による大雨を用いた.

4.3 領域気候モデル及び降雨流出モデルを用いた検討

領域気候モデルを用いた台風 10 号時のアンサンブル 予報計算結果を入力値として,幾寅地区上流域において 降雨流出計算を行った.

(1)領域気候モデルの計算概要

本研究で用いた領域気候モデルは、米国のNCAR(米 国大気環境センター)が中心となって開発した ver3.6.1 of the Advanced Research core of the Weather Research and Forecast(WRF-ARF)である. 図-7 は、3 つの計算領域を 示す. 台風の発達過程を考慮できることから、domain1 及び domain2 を図-7 のように設定した. Domain3 は北海 道及び東北地域の降雨を捉えられる領域として設定した. 境界値及び初期値として、NCEP(米国国立環境予測 センター)の the GFS Global ENSemble (GENS)を用い、 21 アンサンブルメンバーの計算を行なった. また、領 域気候モデルの計算期間は8月29日3時から9月1日9 時までとした.



図-7 WRF-ARF の計算領域





図-9 領域気候モデルの再現・予測結果を用いた空知川上流域の流 域平均降雨強度[mm/h]



図-10 アンサンブル予報結果を用いた流出計算

は台風10号によるものだった.

- 流域内にある地上雨量計の数を変化させると、分布の幅は狭くなり平均値は上昇する.
- 3. 領域気象モデルによる降雨のアンサンブル計算結果 を用いた流出計算のピーク流量の結果は、標準偏差 として 756~1106[m³/s]を予測した.

空知川上流域は、台風 10 号がもたらした地形性降雨 の影響をうけた山間部である. 今後、台風 7,11,9 号の影 響を受けた道東の河川も同様の解析を行い流域特性につ いて明らかにする.

参考文献

- 平成28年8月20日からの大雨及び台風10号による出水の概要(平成28年9月10日),国土交通省 北海道開発局建設部河川管理課水害予報センター, 2016
- 2) 土木学会北海道支部:2016年8月北海道豪雨災害調 査団速報版第1報,2016年9月12日 ver.,2016
- 吉見和紘、山田正:鉛直浸透機構を考慮した流出計 算手法の長短期流出解析への適用、土木学会論文集 B1(水工学) Vol.70, No.4, I_367-I_372, 2014.
- 4) 平成27年9月関東・東北豪雨による関東地方災害 調査報告書,2015年関東・東北豪雨災害 土木学 会・地盤工学会合同調査関東グループ

(2) 結果

図-8は台風経路の再現および予測結果を示す. 図中の 緑線は台風ベストトラックを意味する. 黒線で表される アンサンブルメンバーの台風経路は、時間と共に、ばら つきが増加する.予報結果の日本へ上陸した際のコース は, 宮城及び山形を通過するコースと道南を通過する道 南を通過するコースの間にある. 図-9 に WRF-ARF モデ ルの計算結果による空知川上流域の流域平均降水強度を 示す. アンサンブル予報結果の降水強度は時間の経過と 共に標準偏差が増加する.図-10は、アンサンブル予報 結果を用いた流出計算の結果である.パラメータは気象 庁 C-Band を入力値としたものを使用した. アンサンブ ル予報の平均値がピークに達した時、標準偏差として 756~1106[m³/s]を予測した.一方で、観測雨量による再 現計算結果のピーク流量は気象庁 C-Band は 1160[m³/s], 地上雨量計は 1208[m³/s],金山ダムで計測された流入量 では 1542[m³/s]だった. なお, 幾寅観測所は閉局したた め、観測値としての幾寅地点のピーク流量は不明である.

5. まとめ

本論文では,平成28年8月北海道豪雨を事例として, 空知川上流域に着目して降雨の特性及び予測値を用いた 流出計算を行った.以下にまとめを記す.

 一連の台風の影響を受けた期間の観測手法による累 積雨量の差は最大 142mm あった. そのうち 119mm