洪水予測における予測降雨の推定誤差指標の総合化

(株)シン技術コンサル 正員 東海林 勉
 (財)北海道河川防災研究センター フェロー 星 清
 北海道工業大学土木工学科 フェロー 橋本 識秀

1. はじめに

平成15年8月の北海道・日高豪雨災害や昨年7月の新潟・福井豪雨災害のように近年集中豪雨による水害が多発している。このため、国土交通省は豪雨災害緊急アクションプランの施策の一つとして「中小河川における洪水予測等の高度化」を策定し、平成17年度以降5年間で一級河川の主要な中小河川約900河川について洪水予測システム整備を行う計画である。この洪水予測システムは洪水時にオンラインで降雨予測のデータを取り込み、河川水位や流量を実時間で計算するものであり、予測雨量、流出モデル、モデル定数の総合化が必要条件となる。この3要素が洪水予測精度向上の重要な鍵となる。流出モデルや定数の総合化は既に種々の研究成果がある。しかしながら、降雨予測情報が持つ不確定性については、あまり定量的な認識が持たれずに利用されている場合が多い。

本報告では、北海道における近年の主要洪水時の降雨データの蓄積を図り、実測雨量と予測雨量の誤差分布を統計処理し、予測誤差を定量的に評価することを試みる。降雨予測の推定誤差の評価手法については、江藤らのレーダ雨量の誤差評価法¹⁾に準拠するものである。

2. 解析対象

本報告での解析対象予測雨量は、表-1に示すとおり2ケースとする。1ケース目は、日本気象協会の1～3時間先の予測雨量を用いた場合(以下、気象協会予測雨量法と記す)の解析を行う。その予測雨量は、表-1に示すとおり、現状ではデータの蓄積が少なく、水系毎の解析精度は低下すると考えられる。このため、北海道全域に分布するデータを用いて解析する。

2ケース目は、多数の洪水事例を対象として、旧建設省の洪水予報業務においてよく用いられていた実測雨量の過去3時間移動平均雨量を1～3時間先予測雨量の代用とする場合(以下、移動平均予測雨量法と記す)について解析を行う。北海道を～地域に分割したものと、それら地域を1つにまとめた北海道全域についても解析を実施する。なお、この～地域の分割は、大泉等²⁾が既往洪水資料を用いて各地域の流出モデル定数の総合化を行った区分と同一である。

3. 予測雨量の誤差評価

1～3時間先の予測値をリードタイム($\ell=1,2,3$)毎に

分類し、予測値のまわりの実測値に基づき、標本統計量を計算する。表-2にはリードタイム毎の標本数、平均値及びRMSEの値が示されている。

なお、各階級の予測降雨に対応する実測雨量の標本平均値 $\bar{r}_\ell$ と平均二乗誤差の平方根(RMSE: Root Mean Squares Error) S_ℓ はそれぞれ、式(1)で求められる。

$$\bar{r}_\ell = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_{\ell,i}, \quad S_\ell^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{r}_{\ell,i} - r_{\ell,i})^2 \quad (1)$$

ここに、 $\bar{r}_\ell$: 平均値、 S_ℓ^2 : 予測値と実測値の平均二乗誤差、 N : 標本数、 $r_{\ell,i}$: 実測値、 $\hat{r}_{\ell,i}$: 予測値

表-2に示される階級別統計量を見ると実測雨量の平均値 $\bar{r}_\ell$ は、予測雨量階級区分の範囲内にほぼ収まっている。しかしながら、雨量が大きくなるにつれて、そ

表-1 解析対象水系及び洪水数

区分地域	水系	地点数	洪水
気象協会予測雨量法			
北海道全域	12	43	14
移動平均予測雨量法			
I地域	4	70	466
地域	4	27	193
地域	3	16	81
地域	3	41	192
北海道全域	14	154	932

表-2 階級別統計量

気象協会雨量法 北海道全域		予測雨量					
予測時間		0 ~ 2 mm	2 ~ 4 mm	4 ~ 6 mm	6 ~ 8 mm	8 ~ 10 mm	10 ~ 15 mm
実測雨量	標本数	108	132	120	67	37	15
	2	115	137	105	76	37	14
	3	104	154	103	83	40	7
	平均値	0.5708	1.8955	4.0322	5.0198	6.2966	9.0180
	2	0.4900	2.4387	3.4839	5.0043	7.2568	9.2929
	3	0.4337	2.1669	4.3583	4.5998	6.2525	5.9100
	RMSE	1.0493	2.0491	2.7047	2.6121	4.1107	6.4579
	2	1.3523	2.3477	2.4951	2.9260	5.1428	4.5070
	3	1.0632	2.3240	4.3367	3.6416	4.1765	6.3595
移動平均予測雨量法 北海道全域		予測雨量					
予測時間		0 ~ 2 mm	2 ~ 4 mm	4 ~ 6 mm	6 ~ 8 mm	8 ~ 10 mm	10 ~ 15 mm
実測雨量	標本数	40,013	8,052	4,781	2,823	1,722	1,776
	2	39,835	8,036	4,780	2,822	1,722	1,774
	3	39,665	8,027	4,777	2,821	1,721	1,774
	平均値	0.7025	3.1480	4.7906	6.2746	7.6424	9.3018
	2	0.8523	3.2094	4.6682	5.7099	6.6864	7.6824
	3	0.9650	3.2454	4.5297	5.2226	5.9372	6.4023
	RMSE	1.4690	3.0543	3.5731	4.6318	5.3962	6.7721
	2	1.9785	3.8152	4.1254	4.8714	5.4806	7.5813
	3	2.3302	3.8405	4.7988	5.0383	5.8209	8.2672

キーワード：予測雨量精度、洪水予報、洪水予測システム、流出モデル

連絡先：〒003-0021 札幌市白石区栄通2丁目8-30 TEL 011-859-2600 FAX 011-859-2616

の値は小さくなる傾向にある。すなわち、予測雨量は実測雨量よりも過大に算定される傾向にある。

そこで、表-2の統計量より予測値の周りに実際に生起する実測雨量の分布を用いて誤差分散式(2)を算定する。予測値と実測値の平均二乗誤差の平方根 S_ℓ は、リードタイム $\sqrt{\ell}$ に比例することが確認された¹⁾。

$$S_\ell = a\sqrt{\ell}(\bar{r}_\ell)^b \quad (2)$$

ここに、 a, b : 定数、 S_ℓ : 平均二乗誤差の平方根、 ℓ : リードタイム、 $\bar{r}_\ell$: 実測雨量の平均値

表-3に誤差分散式の定数 a と b を各地域別に示す。2つの定数は気象協会予測雨量法と移動平均予測雨量法ともに同程度の値を示している。

しかしながら、移動平均予測雨量法における 地域(網走川・標津川・釧路川)の定数は、他の地域のそれと差異が見られる。その理由として表-1に示されるように、この地域の資料数が少ないことが挙げられる。

表-3 誤差分散式の係数

地 域	誤差分散式 $S_\ell/\sqrt{\ell} = a\bar{r}_\ell^b$	
	a	b
気象協会予測雨量法		
北海道全域(7水系)	1.156	0.54
移動平均予測雨量法		
地域(留萌川・石狩川・尻別川・後志利別川)	1.210	0.85
地域(天塩川・清滑川・湧別川・常呂川)	1.160	0.77
地域(網走川・標津川・釧路川)	1.514	0.61
地域(鶴川・沙流川・十勝川)	1.202	0.78
北海道全域(14水系)	1.135	0.88

表-4 地域・リードタイム別の補正式係数

地 域	リード タイム ℓ (h)	補正式 $\bar{r}_\ell = a_m \hat{r}_\ell^{b_m}$		
		a_m	b_m	決定係数 R^2
気象協会予測雨量法				
北海道全域(14水系)	1	0.588	1.099	0.9939
	2	0.550	1.156	0.9869
	3	0.549	1.082	0.9363
移動平均予測雨量法				
地域(留萌川・石狩川・尻別川・後志利別川)	1	1.115	0.793	0.937
	2	1.279	0.676	0.931
	3	1.302	0.645	0.934
地域(天塩川・清滑川・湧別川・常呂川)	1	0.866	0.928	0.960
	2	1.068	0.743	0.920
	3	1.225	0.603	0.857
地域(網走川・標津川・釧路川)	1	0.841	1.026	0.966
	2	1.087	0.839	0.912
	3	1.407	0.627	0.774
地域(鶴川・沙流川・十勝川)	1	0.950	0.918	0.976
	2	1.294	0.695	0.925
	3	1.794	0.440	0.640
北海道全域(14水系)	1	1.021	0.851	0.956
	2	1.252	0.686	0.921
	3	1.394	0.585	0.879

4. 予測雨量の補正

洪水予測精度は降雨予測のそれに強く依存する。表-2に示したように、実測雨量と予測雨量の誤差が大きく、またリードタイムの長さに比例して、誤差はさらに増大する。すなわち、予測雨量は実測雨量に比べて過大に算定されていることになる。

そこで、予測値を実測値に近づける方策があれば洪水予測の精度がより向上すると考えられる。予測値を実測値に近づける手段として、予測雨量と実測雨量の関係より、式(3)の補正式を提案する。

$$\bar{r}_\ell = a_m \hat{r}_\ell^{b_m} \quad (3)$$

ここに、 $\bar{r}_\ell$: 実測値、 $\hat{r}_\ell$: 予測値、 a_m, b_m : 補正係数

表-4に気象協会予測雨量法と移動平均予測雨量法における地域別及びリードタイム別の補正式係数と決定係数を示す。それぞれの補正式は決定係数から見て、リードタイムが短いほど相関が高いと言えるが、3時間先でも、実用上十分な精度を持っていると考えられる。

5. まとめ

(1)本報告では北海道における近年の主要洪水時の降雨データの蓄積を図り、実測雨量と予測雨量の誤差分布に関して統計解析を行い、予測誤差を定量的に評価することを試みた。その結果、気象協会予測雨量法および移動平均予測雨量法ともに、～ 地域及び北海道全域でそれぞれ、信頼性が高い誤差分散式を算定することができた。

(2)洪水予測を行う場合、比較的精度の高い数時間先の予測雨量が必要となる。しかし、統計結果より予測値はリードタイムが長くなるほど、実測値との差が大きくなる。そこで、予測値をより実測値に近づける方策として、補正式をリードタイムごとに求めた。その結果、補正式は、3時間先までは決定係数からみても、実用上十分な精度を持っていると考えられる。また、地域別にみても補正式の決定係数は、ほぼ同程度の値を示している。従って、北海道全域の補正式を用いても、適用性が高いと考えられる。

(3)以上の考察により、気象協会予測雨量法と移動平均予測雨量法における誤差分散算定式や補正式を用いて、1～3時間先までの予測雨量の推定誤差を定量的に評価することが可能になった。今後は、予測雨量誤差分散式を用いた洪水予測システムへの導入が望まれる。

参考文献

- 1) Etoh, T., Kamibayashi, Y., Nakanishi, M. and Yoshida, M.: A study on prediction error in rainfall forecasting and its application to on-line operation of detention storage, Proc. of International Conference on Water Resources & Environment Research : Towards the 21st Century, Vol. I, pp. 531-538, 1996.
- 2) 大泉卓也, 星 清, 橋本識秀: 2003年台風10号による中小河川のハイドログラフ推定、土木学会第59回年次学術講演会概要集, II-042, pp.83-84, 2004.