

利根川流域における可能最大降水量の推定に関する研究

鳥取大学大学院工学研究科 学生会員 ○細川達也
鳥取大学大学院工学研究科 正会員 矢島 啓
パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 橋本 健

1. はじめに

2011年7月のタイでの洪水にみられたように、世界各地で洪水の被害が多発している。我が国でも、河川の最大流量記録が頻繁に更新されている。過去に生じた豪雨から算出した確率雨量を基に立てられた河川計画は必ずしも安全とは言えず、いつ洪水による被害が発生してもおかしくない。したがって、確率雨量とは別に各地域の最大降水量を示す新たな指標が必要になってきている。そのような指標として、米国で古くから研究されている可能最大流量 PMF (Probable Maximum Flood) を決定するために使用される可能最大降水量 PMP (Probable Maximum Precipitation) がある。PMP とは、「ある流域内で物理的に発生しうる降雨のうち、最も大きな降水量」のことである。WMO (世界気象機関) のマニュアル¹⁾に記載されている PMP を求める時に最も影響を与えるパラメータである可降水量は、地上の露点温度から偽湿潤断熱過程を仮定して求められるが、過去の研究において、この値は実際の値とは差があることが示されている²⁾。また、従来は限られた観測所のデータのみを用いており、局所的集中豪雨を捉えることが難しかったが、現在は、国土全土で 1~10km の空間スケールでカバーするレーダー・アメダス解析雨量やメソ客観解析雨量を用いることで気象観測の精度が向上している。そこで、本研究では、それらのデータを使用し、実際の観測値に近いと考えられるメッシュ毎の可降水量の値を使用することにより、従来の方法を改善した PMP 推定を試みた。

2. 従来の PMP 推定方法とその問題点

まず、PMP 推定方法の「湿度の最大化」「転置」「包絡」の3ステップについて簡単に説明する。

● 湿度の最大化

湿度の最大化とは、既往豪雨時における降雨量を豪雨発生時の大気湿度条件よりも高湿度の条件を与えることにより、その降雨量を増大させること。具体的には、地表面から 200hPa 面までの気層における過去最大の可降水量と、実際に発生した豪雨時の地表面から 200hPa 面までのきそうにおける可降水量の比率を観測雨量に掛け合わせるにより降雨量を増大させる操作であり次式のように表される。

$$P_{max} = P \times \frac{W_p \text{ max}}{W_p \text{ stm}} = P \times r \quad (1)$$

ここで、 P_{max} : 湿度の最大化雨量(mm), P : 観測雨量(mm), $W_p \text{ max}$: 過去に生じた最大可降水量(mm), $W_p \text{ stm}$: 豪雨発生時間内最大可降水量(mm), r : 湿度の最大化率である。可降水量とは単位底面積あたりの鉛直気柱に含まれる水蒸気量のことであり、次式により求める。

$$W_p = -\frac{1}{g} \int_{P_0}^{200} q \, dp \quad (2)$$

ここで、 W_p : 可降水量 (mm) , g : 重力加速度 (m/s^2) , P_0 : 地表面の大気圧 (hPa) , q : ある気圧面での比湿 (もしくは水蒸気の混合比) である。これは、12 時間は最低持続している露点温度の最大値から偽湿潤断熱過程より求められる。また、この値は、マニュアルには、露点温度に対応した可降水量として表に示されている¹⁾。

● 転置

転置とはある流域において PMP を推定するのに十分な数の豪雨データが入手できない時に、地形的かつ気象的性質が同様な地域に生じた豪雨の DAD (Duration-Area-Depth ; 降雨時間-降雨面積-降雨量の関係) 値を取

り入れ、豪雨データを増加させること。

● 包絡

過去の豪雨データを用いて湿度の最大化や転置を行って得られた地域毎の PMP 値が周辺地域とその値がスムーズな等値線を描くことができるように、特定面積に対する地域ごとの過去最大雨量や 100 年確率の地点観測降雨量や雷雨の生起頻度といった指標をもって修正を行うことである。

以上、3 ステップを踏むことにより PMP 値が求まる。ただし、(1) 式を求める際、持ち上げ凝結高度以上において大気が飽和していると仮定する偽湿潤断熱過程を用いているが、実際には、下層はかなり湿潤であっても、中層は乾燥している、また、その逆もあり得るため、水蒸気の気層毎の分布を考慮する必要がある。

さらに、PMP 推定マニュアルでは 12 時間持続していた可降水量から PMP を求めている。しかし、この 12 時間という根拠は明確には示されていないため、12 時間よりも短い時間、あるいは長い時間持続した可降水量から PMP を求めた場合の検討も必要である。

3. 本研究の解析方法

湿度の最大化雨量を求める際に次のようなデータを使用した。観測雨量はレーダー・アメダス解析雨量を使用し、気温、湿度、気圧にメソ客観解析データを使用し、 $W_{p\max}$ には地上気象観測データを使用した。

レーダー・アメダス解析雨量は、1998 年からの降水量分布を 1~5km 四方、1 時間または 30 分毎に前 1 時間分の積算雨量データとして整理されている。メソ客観解析データは、地上気象観測、高層観測、気象衛星の観測データなどから 3 次的に規則正しく分布する格子点上の気象要素を物理モデルを介して内挿して求めたデータであり、2001 年 3 月から 3 時間または 6 時間毎に気象データが 10km 四方、20 気層に分けて整理されている。そして、地上気象観測データは、1961 年 1 月以降の全国 60ヶ所の気象台、測候所で観測された気象データが整理されている。

対象流域は、より大きな流域のほうが PMP 推定ステップの転置を行いやすいと考え、**図-1** に示す日本最大の流域面積を誇る利根川流域(16,840km²)とした。また、対象豪雨は、メソ客観解析データが存在する期間で利根川流域内の八斗島流量観測所で 2,000m³/s を超えた 8 豪雨とした (**表-1**)。

本研究では、八斗島流量観測所より上流部の八斗島上流域と利根川の全流域を対象に湿度の最大化雨量を求めた。以下に本研究の解析方法を示す。

1. 各豪雨で、ピーク流量が発生した時間の前後で利根川流域面積平均 72 時間累積雨量が最大となる 72 時間をレーダー・アメダス解析雨量から求め、豪雨の発生した時間とする。
2. 豪雨の発生時間内 1 時間ごとにメソ客観解析データの流域内の各格子点上で可降水量を求める。この可降水量は地上の露点温度からマニュアルの表を利用し求める「従来の方法」と、各気層 (1000~300hPa 面) の比湿を鉛直積分して求める「本研究の方法」で求める。

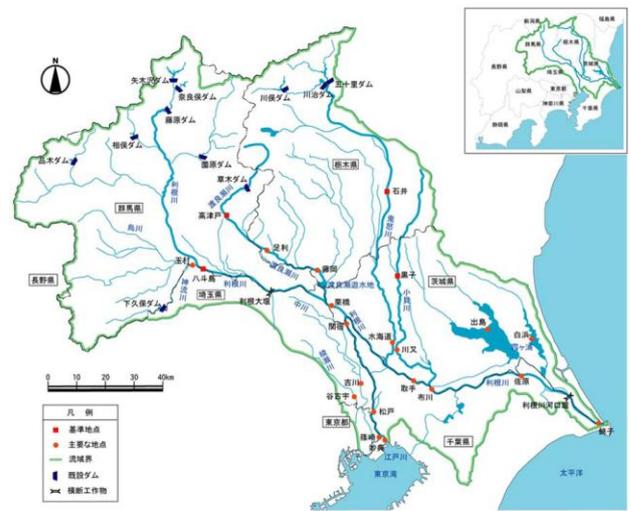


図-1 利根川流域図

表-1 対象豪雨

豪雨番号	洪水発生年月日	要因
1	2001/8/22	台風第 11 号
2	2001/9/10	台風第 15 号
3	2002/7/11	台風第 6 号、梅雨前線
4	2002/10/2	台風第 21 号
5	2004/10/9	台風第 22 号、前線
6	2004/10/21	台風第 23 号、前線
7	2006/7/19	平成 18 年 7 月豪雨
8	2007/9/7	台風第 9 号

3. 2.で求めた可降水量の豪雨の発生時間内1時間毎の各流域面積平均可降水量を求め、これらが1,3,6,12,24,36,48,60,72時間持続した最大可降水量を求め、 $W_{p\ sm}$ とする。
4. 前橋、千葉、宇都宮、水戸、熊谷、軽井沢、銚子の利根川流域周辺7観測所のそれぞれで1,3,6,12,24,36,48,60,72時間持続した過去最大露点温度を求め、マニュアルに記載されている表から時間持続別に過去最大可降水量を求める。
5. 各観測所で同じ時間持続した4.で求めた過去最大可降水量の値をティーセン法で利根川流域面積平均過去最大可降水量を求め $W_{p\ max}$ とする。これは、八斗島上流域でも同様の方法を用いる。
6. 各流域で同じ時間持続した豪雨時間内最大可降水量 $W_{p\ sm}$ と過去最大可降水量 $W_{p\ max}$ 同士から求めた湿度の最大化率 r を観測雨量 P に掛けて湿度の最大化雨量 P_{max} を求める。

ただし、豪雨番号1,4に関しては、欠測値が生じたので、残り6豪雨で解析を行った。

4. 可降水量に関する考察

八斗島上流域、利根川流域別に横軸に従来の方法で求めた豪雨毎の持続時間別可降水量、縦軸に本研究の方法で求めた豪雨毎の持続時間別の可降水量をプロットしたものを図-2に示した。

図-2より、45°線より下に位置する点が多いことから従来の方法で求めた可降水量のほうが全体的に大きな値をとっていることが分かる。しかし、本研究の方法で求めた可降水量のほうが大きくなっている点がみられる。これは、従来の方法は、偽湿潤断熱過程を仮定し、1000hPa面の露点温度から300hPa面までに凝結した水蒸気がすべて降雨になるとしているが、1000hPa面での露点温度とは関係なく、各気層に水蒸気が存在しているために、本研究で求めた可降水量のほうが大きくなった。

次に、先に挙げた1~72時間の各時間累積観測雨量と各時間持続可降水量の相関を調べたところ、利根川流域、八斗島上流域のどちらについても、従来の方法、本研究の方法で求めた1時間持続可降水量が各時間累積雨量と相関が高かった。その決定係数として、従来の方法で求めた可降水量の場合、平均0.564、本研究の方法で求めた場合平均0.674という高い値を示した。

5. 湿度の最大化雨量の評価

過去最大の雨量をもたらしたカスリーン台風と比較可能な八斗島上流域で、従来の方法と本研究の方法で湿度の最大化率が各豪雨で最大となるもので湿度の最大化を行ったものを図-3に示し、図中に過去最大72時間雨量、318mmのラインも併せて示した。また、観測雨量と可降水量の相関性の強い1時間持続可降水量を用いた湿度の最大化率で湿度の最大化を行ったものを図-4に示した。図-3、図-4から、過去最大の雨量を超えるような湿度の最大化となった豪雨は、最大の湿度の最大化率を使用した場合で豪雨番号6,7,8、1時間持続可降水量から求めた湿度の最大化率を使用した場合では豪雨番号7,8であった。これらの図を比較す

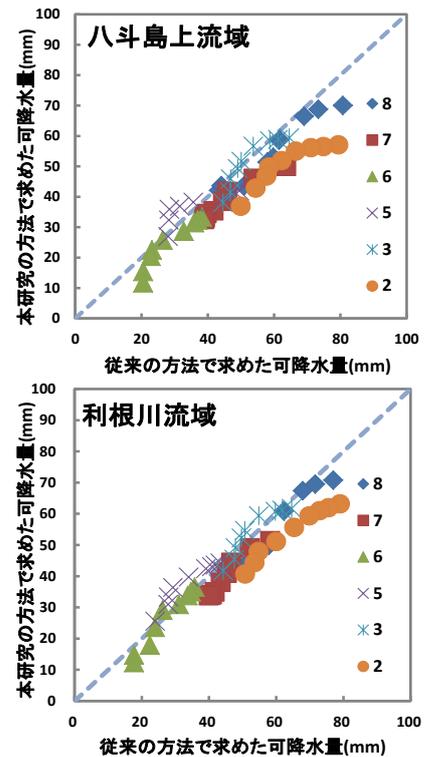


図-2 可降水量比較図

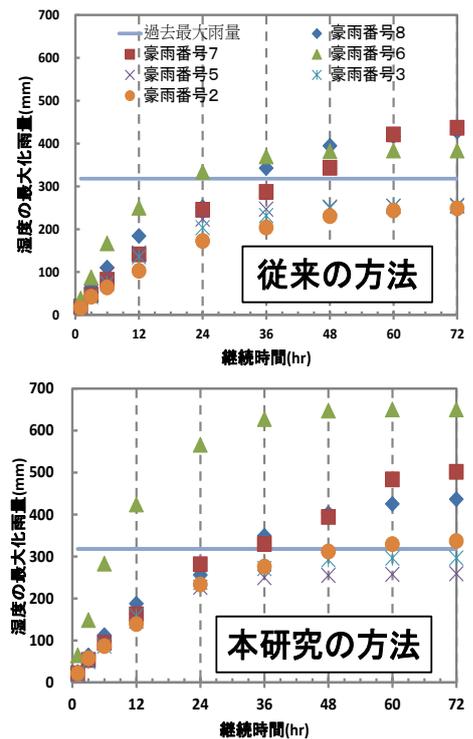


図-3 最大となる湿度の最大化雨量

ると、1時間持続した可降水量から求めた湿度の最大化率を使用した方が最大の湿度の最大化率を使用した湿度の最大化雨量よりも小さい値を示している。しかし、1時間持続可降水量と各継続時間の雨量の相関性が高いことから各継続時間別に最大化された雨量のバラつきが少ないことがみてとれる。

これらの図から、最大となる湿度の最大化率を使用して観測雨量を増加した場合(図-3)、過去最大の72時間雨量と比べて0.78~2.04倍の値を示していることがわかり、1時間持続可降水量と各継続時間の雨量から求めた湿度の最大化雨量を使用し観測雨量を増加した場合(図-4)、過去最大72時間雨量の0.59~1.35倍の値を示すことがわかった。

また、図-3の本研究の方法の湿度の最大化雨量の豪雨番号6は、他の豪雨と比べて湿度の最大化雨量が大きいことが分かる。これは、豪雨番号6は発生時期が10月と遅く、気温が低かった。また、豪雨時間も短かったため、降雨の生じていない時間の相対湿度が低かった。そのため、降雨の生じていない時間を含む、各時間持続した豪雨時間内最大可降水量 $W_{p,stm}$ が小さくなり、湿度の最大化率 r が大きくなったために、湿度の最大化雨量が大きくなった。

6. まとめ

本研究で得られた成果をまとめると次のようになる。従来の方法で求めた可降水量は、本研究の方法で求めた可降水量よりも大きくなるが、1000hPa面の気温、相対湿度が低い場合には、本研究の方法の可降水量が大きくなることがある。また、雨量と可降水量の決定係数が高い値を示した1時間持続可降水量から求めた湿度の最大化率を使用することによって得られた湿度の最大化雨量は、過去最大の八斗島上流域の72時間雨量と比べて0.59~1.35倍の値を示すことが分かった。

今後の課題として、本研究では、標高を考慮せずにメソ客観解析データの1000hPa面を地上として各気層の気象要素を使用し、可降水量を求めているため、図-5のように標高を考慮する必要がある。また、豪雨が発生している時間が短い場合、降雨の発生していない時間の可降水量の値を使った湿度の最大化率は過度に観測雨量を増加してしまうことになるため、可降水量の取り扱いに工夫が必要である。さらに本研究で対象とした豪雨データ数は少なく、PMP推定過程の転置、包絡というステップを踏んでいないため、これらを考慮することにより、より信頼性の高いPMP推定が可能になると考えられる。

参考文献

- 1) World Meteorological Organization (WMO):Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP),2009
- 2) 矢島啓・辻基宏・池淵周一・中北英一：短時間降雨の可能最大降水量 (PMP) 推定手法に関する基礎的研究, 京都大学防災研究所年報, 第38号, B-2, 1995, pp.333-348

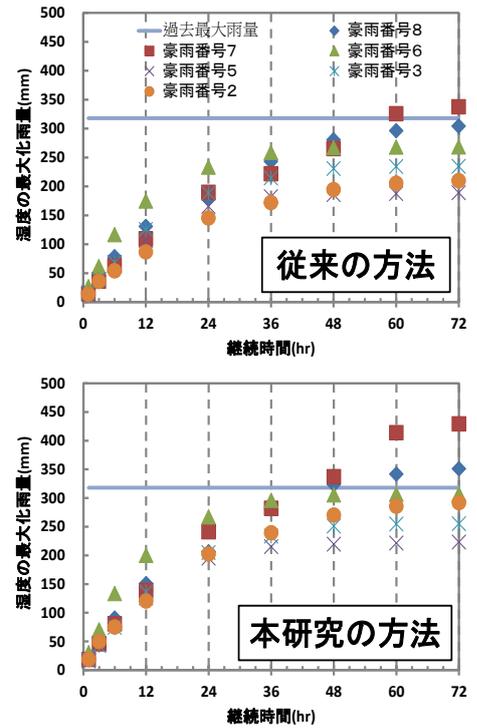


図-4 相関性の高い湿度の最大化率を使用した湿度の最大化雨量

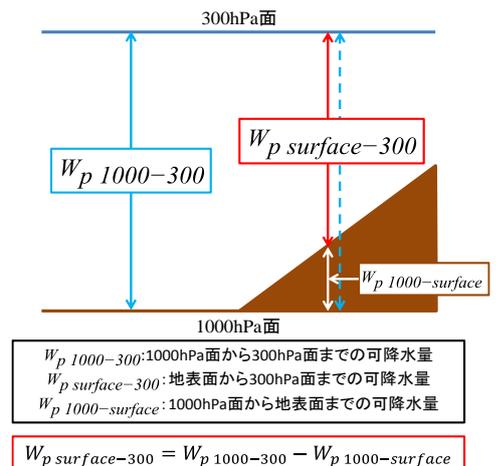


図-5 標高別の可降水量の求め方