



貯留関数法の魔術〈その後〉

富永靖徳 とみなが やすのり
お茶の水女子大学名誉教授

前回の記事の要約

本誌3月号に「貯留関数法の魔術——ダム事業を根拠づけるデータの非科学性」という記事を寄稿した。記事の内容を簡単に要約すると、

(1)貯留関数法の基本式である運動の式 $[s = Kq^P]$ (式(1))には重大な問題がある(s [mm]:流域内の貯留高, q [mm/h]:流域内の流出高, K, P :定数)。ここで、 P はべき乗数なので無次元量であるが、 K と P を両方ともに無次元のパラメータだとすると式(1)の両辺は異なる次元になる。左辺は[mm]で長さの単位であるが、右辺は[mm/h]の P 乗なので速さの P 乗になる。これは、関係式として最低限の約束事を満足していないので、完全に意味をなさなくなる。国土交通省関東地方整備局のウェブサイト¹に公開されている貯留関数法の説明¹にも、「 K :定数【無次元】、 P :定数【無次元】」とはっきり書かれていた。これについては、国土交通省は3月8日以降訂正をした。この件については後述する。

(2)「貯留関数法」における運動の式を次元が一致するように運用するためには、パラメータである K と P を独立に決めてはいけない。1個しか決まらないパラメータを独立に動かすと、現実にはありえないまったくナンセンスな結果が出てくる。

(3)解析に従事している方々が、自分が魔術師ではなく科学者であると自認するならば、いかに慣用とはいえ、両辺の次元が異なる状態で解析することだけは止めてほしい。また、両辺の次元を合わせても、実験式のパラメータを適用範囲外まで変化させることはルール違反である。

(4)貯留関数法による解析には、本質的な欠陥が内在することを認識して、流量計算には貯留関数法以外の他の方法も併用して、複数の解析でクロスチェックするのが妥当だと思われる。

国土交通省による資料訂正

この記事は、特定のダム事業を名指ししたのではなく、一般的に、「貯留関数法」という方法のもつ非科学性と、その運用に対する警鐘を述べたものである。

しかし、過日、国土交通省関東地方整備局が招集した、「利根川水系利根川・江戸川河川整備計画(原案)」に関する「利根川・江戸川有識者会議」で、この記事で指摘された内容が話題になった。貯留関数法の問題は、基本的には河川水文学の専門的な事柄だが、この問題は利根川・江戸川河川整備計画(原案)の治水目標流量1万7000 m³/秒に、科学的な根拠があるかどうかに関結することなので、日本学術会議の河川流出モデル・基本高水評価検討分科会(以下、学術会議分科会)の委員長をしていた小池俊雄東京大学大学院教授が委員として出席しコメントした。このコメントを受けて、国土交通省関東地方整備局の小島優・河川調査官は、公開資料¹における貯留関数法の「運動の式」の物理量 K と P について、公開資料への記載ミスを認め、資料を「 K :定数【無次元】、 P :定

数【無次元】」から、「 K : 定数, P : 定数」に変更する, という趣旨を発言し, 実際に該当の資料は, このように訂正された。

ところが, この訂正では, K , P は双方ともに次元が不明になるので, かえって訳がわからなくなった。特に, P が無次元であることすらわからなくなった。運動の式の両辺の次元を合わせるためには, K , P の次元は, それぞれ, K : 定数【 mm^{1-h} 】, P : 定数【無次元】としなければならない。小池委員は, 貯留関数法についてのコメントの中で, 次元の問題はマンシングの公式にもとづいて解消済であるという趣旨の発言をされた。たしかに, マンシングの公式から貯留関数というものを理論的に導くことは可能だが, マンシングの公式から構築した運動の式なら, 貯留関数のベキ指数 P は0.6で一定になる。ところが, 国土交通省が実際に運用している貯留関数法では, P は0.6という一定の値ではなく, 小流域ごとにまちまちの値になっている(0.300~0.680)。つまり, K の次元が小流域ごとにそれぞれ異なり, 一定の次元を示すことができない。そのため, 国土交通省の従来の資料では, K , P は「無次元」のような扱いをしてきた。今回の国土交通省の訂正は, K の次元を【 mm^{1-h} 】にするということを意味するが, このようにすると, K の次元がパラメータ P に依存することが明示されることになり, パラメータの値によって次元の変化する量を, 「定数」と言っているのかどうかという基本的な疑問が残る。 K の次元をはっきりさせると, K と P が互いに独立なパラメータではないことも, あらためてよくわかる。

再計算の結果

3月号の記事では, 国土交通省が洪水時の河川の流量解析に対して, 「新モデル」を導入して解析したデータと「現行モデル」で解析したデータの表を引用し, 貯留関数法の運用に対する「非科学性」を指摘した。この検討には, 3月号の記事に記載した文献6に加えて, 国土交通省の開示

文書(「流域分割図」及び「流出モデル図」)の6ページ目を参照することが必要である。この開示文書は, 貯留関数法の検証計算に必要な不可欠な資料であるにもかかわらず, 国土交通省はその公開を頑に拒否していた。情報公開裁判の結果, 国側が敗訴となり, ようやく開示された資料である。

ところが, 開示された資料の「流域分割図」は, 小流域番号の表示が極めて不鮮明でわかりにくく, 3月号の出版時点では, 「新モデル」と「現行モデル」との対応づけが容易ではなかった。出版後, 再度これらの資料を検討した結果, 3月号記事表2を一部修正することにした。

第一点は, 「新モデル」と「現行モデル」で小流域の分割が異なっているので, その中で, できるだけ流域の一致するものを, 流域分割図からピックアップして対応づけたが, 資料の小流域番号の印字が判読困難なので, 対応関係に疑問のある小領域のデータは解析結果から削除した。

第二点は, 「新モデル」と「現行モデル」での K と P の数値の対応関係について, 1カ所取り違えて収録した部分を発見したので, それを訂正した。訂正して解析した結果は, さらに, ありえない数値になった。以下に3月号記事表2の修正版と, 解析結果の修正版を記載する。

この K と P の修正にともなう, 計算数値(3月号記事のp.272左段最下部の数式)の修正は, 以下の通りである。

3月号の記事

$$\begin{aligned} s_0 &= 0.226 \text{ [mm]} \\ q_0 &= 4.87 \times 10^{-8} \text{ [mm/h]} \\ s_0/q_0 &= 4.64 \times 10^6 \text{ [h]} \end{aligned}$$

修正後

$$\begin{aligned} s_0 &= 6.28 \times 10^{-4} \text{ [mm]} \\ q_0 &= 1.48 \times 10^{-16} \text{ [mm/h]} \\ s_0/q_0 &= 4.25 \times 10^{12} \text{ [h]} \end{aligned}$$

ここで, s_0 と q_0 は, それぞれ, 貯留高と流出高を表す。つまり, ある小流域での貯留高が s_0

表—3月号記事表2の修正版

新モデルの 小流域番号	現行モデルの 小流域番号	新モデル K	新モデル P	現行モデル K	現行モデル P	s_0 [mm]	q_0 [mm/h]	s_0/q_0 [h]
2	3	6.252	0.656	42.3	0.337	319	401	0.795
3	4	9.48	0.592	42.3	0.337	305	353	0.866
4	5	9.48	0.592	57.4	0.31	416	593	0.700
5	6	9.48	0.592	57.4	0.31	416	593	0.700
7	9	9.48	0.592	55.1	0.32	437	646	0.677
13	21	35.239	0.3	56.6	0.313	6.28E-04	1.48E-16	4.25E+12
16	24	29.321	0.305	39.2	0.419	13.5	0.0783	172
18	25	35.239	0.3	46.1	0.37	11.1	0.0215	517
26	28	18.623	0.572	56.4	0.314	217	73.3	2.96
28	34	18.623	0.572	44.21	0.38	245	90.3	2.71
29	44-4	18.623	0.572	40.23	0.409	278	113	2.46
33	43	18.623	0.572	46.39	0.366	235	84.0	2.80
34	44-3	35.239	0.3	40.23	0.409	24.5	0.297	82.5
37	47	29.976	0.476	39.3	0.463	607000	1.12E+09	0.000544

*3月号の記事の表2のうち、「新モデル」の小流域番号17, 19, 20, 21, 22, 23, 24は、「現行モデル」の流域と面積が一致していないと考えられるので、表から削除した。

*「現行モデル」の小流域番号21のKとPの数値を修正した。修正した数値をイタリックで記載。Eは10のべき乗を表す。

[mm]のときの流出高を q_0 [mm/h]としている。この値は、小流域が決まれば、ある程度の不確かさの範囲で決まっているはずの物理量で、いわば、その小流域での流域貯留定数とでもいうべきものである。また、 s_0/q_0 [h]という量は、仮想的にその時点で降雨がなくなれば、その流域での貯留が空になる時間の目安を示すものである。3月号の記事でも、該当の小流域での s_0 [mm], q_0 [mm/h], s_0/q_0 [h]の数値は現実にはありえない、まったくナンセンスな数値になっていたが、修正後の数値は、さらにナンセンスな数値になっている。モデルを変更しても、これらの流域貯留定数は、一定の不確かさの範囲で「常識的な値」におさまるはずである。この非現実的な数値が出る原因は、 s_0 [mm]と q_0 [mm/h]が実際には測定できないという理由で、これらの数値をまったく無視して、パラメータKとPを独立に決めたことによる。この操作は s_0 [mm]と q_0 [mm/h]を、モデルにかかわらず勝手に動かして決めることと同等である。つまり、この操作をするとKとPを一定の範囲で恣意的に決めることができる。たとえば、基本高水のピーク流量をできるだけ大きくなるようにKとPを操作することも可能になる。これでは、科学としての信頼性がまったくない。

浮彫りになった貯留関数法の欠陥

今年になって、国土交通省関東地方整備局は「利根川・江戸川有識者会議」を4回開催した。この会議で、小池委員は前述のように、「貯留関数法」について発言をした。3月8日の会議の発言の趣旨をメモから抜粋すると、「……中小洪水で決めたK, Pと、大洪水で決めたK, Pは異なります。というのは、今申し上げましたように、雨の規模によって斜面を流れる、流れのパターンが異なるからです。……残念ながらカスリーン台風のときには、先ほども議論がありました、正確な流量がわかっておりませんので、できるだけ大きな雨の係数を使って、KとPを定めて、それを援用するというやり方が工学的なやり方になります。そういうことを私どもといたしますか、学術会議の分科会のメンバーはバックグラウンドとしてこういうものを備えた上で議論をしておりますので、……そういうさまざまな現象を、こういう簡単なモデルで表現するというには確かに無理があつて、そういうことで分科会の最後の報告では、こういう分野はいろいろ進んでいるので、新しい方法も今後は使ってほしいという言い方をしております。……」

この発言からは、学術会議分科会も、「貯留関数法」によって、「正確な流量がわかっていない想定外の大洪水の基本高水」を推定することは疑問であり、恣意的にできるだけ大きくなるように、 K と P を見積もることもできる、と言っていると理解できる。

さらに、大熊孝委員(新潟大学名誉教授)の「貯留関数法新モデルは昭和22年カスリーン台風洪水を再現できていない」、つまり、「昭和22年9月のカスリーン台風における八斗島地点の実績最大洪水流量は、第9回有識者会議で配布された「治水調査会利根川小委員会議事録」(昭和22年11月25日～昭和23年9月24日)によれば、おおむね1万5000 m³/sと明らかになっていたにもかかわらず、今回の国土交通省の新モデルによるカスリーン台風洪水の再現ピーク流量は、約2万1100 m³/s(八斗島地点)であり、この約6000 m³/sの乖離はどのようにしても説明できないことが問題である」という意見について、再び小池委員のコメントの内容をメモから抜粋すると、「……まずひとつは、一番目のところに乖離を検証することはできていませんということでございまして、これはちょうど大熊先生に引用していただいておりますが、……そのとおりでございまして、私どもといいますか日本学術会議の分科会で行ったのは、この乖離を説明するひとつの計算事例を示しただけでございまして、乖離を検証することはできておりません。これは何度も申し上げているとおりでございませぬ。」と発言された。

つまり、貯留関数法での流量計算は、運用に十分な検討をしないと、非現実的な量を「計算結果」として出すことができることを意味している。しかし、小池委員は日本学術会議の分科会報告書で国土交通省の新モデルは「妥当である」とお墨付きを与えているのである。これを「工学的」なやり方といって許容することには反対である。工学といえども、もとを正せば科学を基礎にして成り立っているはずだから、何らかの方法で説明できなければならない。

3月号の記事の繰り返しになるが、本来は、い

ろいろな洪水のケースについて、同じ小流域のパラメータ K と P を決めて、それらのすべてのケースで、「無次元化した運動の式」の関係を整合性よく保つような s_0 と q_0 を推定することによって、パラメータ K と P の妥当性を検算するのが、科学的な運用のはずである。あるいは、何らかの方法や実測から s_0 と q_0 を推定できるなら、その値をもとにして、パラメータ K と P を決めるのが妥当である。それができないのなら、河川の流量解析に「貯留関数法」を適用するのは止めるべきだと考えている。

学術会議分科会からの答申においても、学術会議分科会は国土交通省のやり方に全面的に同意しているのではなく、微妙な言い方をしている。つまり、小池委員の発言の通り、学術会議分科会は貯留関数法の限界を認めているのだから、答申の表面だけをとりあげて責任回避をするのではなく、国土交通省自身の責任で、説得力のある根拠を示すべきだと考えている。

* *

自然現象には、必ずしも、すべての要因が解明されているわけではないものがたくさん存在する。そのような自然現象を理解するために、しばしば、「現象論」という手法が適用される。とりあえず、「モデル」と、「パラメータをもった現象論的な式」を設定して、実測データを「一定の不確かさの範囲」の中で再現するように、パラメータを決めるという手法である。「貯留関数法」もこの分類に属するが、この方法には大きな落とし穴がある。

この方法では、得られたパラメータで、実測データを再現することは可能であるが、パラメータが複数ある場合、しばしば、「一定の不確かさの範囲」の中で、「パラメータの組」が一通りには決まらない場合がある。このような場合には、似たような条件の多くの解析と比較して、全体が整合性のあるように決める。

問題は、この現象論的なパラメータの手法を、実測データのないところまで外挿する場合に、大きな危険が伴うことである。複数のパラメータの

(2013年5月27日公開)

組を、実測データのないところまで適用すると、パラメータの組み合わせによっては、非現実的な予測をする。つまり、実測データ内の「不確かさ」を、実測データのないところまで拡張すると、現実とはまったく乖離した計算結果を出すという危険を常に抱えている。なんらかの方法で、得られた「パラメータの組」の妥当性を「検証、検算」する方法を確立することが必須である。

「科学」の基本にはいろいろな言い方があるが、私は以下の三つの事柄が大切だと思っている。(1)「整合性」：論理が矛盾してはいけない。(2)「再現性」：同じ事を再現できるか、あるいは、再現できることを、十分な根拠の基で確信できる。(3)「公開性」：すべてのデータが公開されていて、誰でも一定の知識があれば追試をして確認ができる。

これらの事柄に該当しないものは、「魔術」と言われても仕方がない。(1)については、言うまでもないことで、論理の整合性がなければ「科学」とは言えない。もし、どこかで矛盾した事柄が発見された場合は、整合性のある「新しい概念」に発展する。(2)の再現性は、分野によっては微妙な事柄もある。たとえば、宇宙の事柄を再現するのは現実には不可能に近い。しかし、多くの人が十分な根拠のもとで「かっこ付き」であっても、「確信できる」ということが必要になる。このことに関連して(3)の「公開性」は重要な要素になる。「整合性」や「再現性」を担保するためには、すべてのデータや解析の経緯が公開されていることが必須になる。一定の知識をもつ多くの人が、公開されたデータをもとにして、それぞれ独自に「整合性」と「再現性」をチェックすることができる環境があることが、「科学」としての大切な要件である。これまでの国土交通省のやり方のように、裁判を行わなければ、データを見ることができないというのでは、「科学」の大切な要件を満たしているとは言えない。

文献

1—国土交通省水管理・国土保全局「利根川八斗島地点基本高水