2013 年 3 月 18 日

利根川・江戸川有識者会議
委員　各位

新潟大学名誉教授　大熊　孝
拓殖大学准教授　　関　良基

貯留関数法の次元問題に関する意見書
—国土交通省の貯留関数法の新モデルでは 運動式の両辺の次元が異なるという基本的問題が解消されていない—

前回、3 月 8 日の本有識者会議で、冨永靖徳・お茶の水女子大学名誉教授の論考「貯留関数法の魔術」（科学 2013 年 3 月号　岩波書店）を配布しました。この論考は国土交通省の貯留関数法モデルの運動式は両辺の次元が合っておらず、科学的にナンセンスな式で洪水流量の計算が行われていることを指摘したものです。この論考に対して小池俊雄委員から反論がありましたので、この問題に関する意見書をあらためて提出します。

貯留関数法の問題は河川水文学の専門的な事柄ではありますが、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 17,000 ㎥/秒に科学的な根拠があるかどうかに直結することですので、本有識者会議の委員の皆様におかれましては、本意見書をお読みいただき、治水目標流量 17,000 ㎥/秒の是非を一緒にお考えくださるよう、お願いいたします。

１　冨永靖徳・お茶の水女子大学名誉教授の論考「貯留関数法の魔術」の要旨

①　貯留関数法の基本式である運動式「$s = Kq^{P}$　(1)」には重大な問題がある。

ｓ（㎜）：流域内の貯留高、ｑ（㎜/h）：流域内の流出高、Ｋ ，Ｐ：定数

Ｐはベキ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であるとすると、 (1)の両辺は異なる次元になる。左辺は[㎜]で長さの単位であるが、右辺は[㎜/h]のＰ乗なので速さのＰ乗になる。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。国交省関東地方整備局のウエブサイトに公開されている貯留関数法の説明にも、Ｋ定数【無次元】、Ｐ定数【無次元】とはっきり書かれている〔注〕。

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、独立に動かすことによって、現実にはあり得ない全くナンセンスな結果になっている。

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、

いかに慣用とはいえ、両辺の次元が異なる関係式で解析することだけは止めてほしい。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。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。

〔注〕Ｋ定数【無次元】、Ｐ定数【無次元】は例えば、国土交通省 水管理・国土保全局「利根川八斗島地点 基本高水ピーク流量の検討に関する資料」（平成２３年９月）
http://www.mlit.go.jp/common/000165577.pdf の 16～17 ページに書かれている（**別紙１**参照）

２　小池俊雄委員の反論

３月８日の会議で小池委員はこの問題に関しては 10 月８日の第６回会議ですでに述べてあるとして、「貯留関数法の新モデルでは、左辺と右辺の次元が異なる問題は解消されている。星清氏等の研究で、マニングの公式を組み込むことにより、Ｐが 0.6 になり、右辺と左辺の次元は合うようになる。」という主旨の発言をされました。第６回会議で小池委員は次のように述べています（議事録より）。

「この研究は、1970 年代から 80 年代に大変精力的に行われます。こういう水の流れを解析するときには、二つの式を用います。一つは連続の式、ここでいいます貯留量と入ってくる量と出ていく量の差の式です。もう一つは、運動方程式という方程式を使います。・・・・この運動方程式に等流の関係を用い、時間的に水位が変化するような連続方程式を組み合わせた方法を、雨水流法（キネマティックウェーブ法）といい、1970 年代に開発されました。そこで、この物理的に水を追跡する雨水流法と貯留関数がどのような関係になっているのかということが、当時、神戸大学、北海道大学、京都大学で精力的に研究され、論文として出ております。それはどういうことかといいますと、その中の一つの方程式で斜面と水面勾配が同じ水の流れである等流を仮定しますと、マニングの式という流速と水深の関係が３分の５乗になるという関係式を用いることができます。この式は、左辺、右辺で次元があっているという形ですが、それを使ってこの貯留関数というのを理論的に導き出すことができます。貯留関数の指数のＰは、そのマニングの式の指数の逆数、つまり５分の３乗となりまして、０．６という数字になるのです。水の流れが斜面をこう駆け下りるような流れの場合には、貯留関数の指数のＰという値がだんだん０．６に近づいていくというような理論的研究もございます。このように運動方程式として貯留関数を理論的に展開して得る方法についての論文は５～６編出ておりますのでぜひご参照ください。また、最近では星清先生がおつくりになった比較的初心者向けのテキストも出ておりますので、そういうものをごらんいただければよろしいかと思います。」

以上のように、小池委員は貯留関数法の次元の問題はすでに解消されていることであるとして、冨永氏が指摘した問題を否定しました。

３　国土交通省の貯留関数法モデルは理論的に構築した貯留関数法モデルではない

しかし、小池委員は、マニングの公式を使って理論的に構築した貯留関数法モデルと、国土交通省が実際に使った貯留関数法モデルを混同しています。

小池委員の発言にあった星清氏らの論文を読むと（たとえば「河道系におけるKinematic Wave Model の貯留関数法への集中化」（宮原雅幸、星清　開発土木研究所月報第552号　1999)、斜面流出系の Kinematic Wave 法を貯留関数法に変換することにより、Ｐを0.6とし、Ｋを斜面勾配、斜面上の等価粗度、流域面積の関数とする貯留関数法の運動式が示されています。この場合はマニングの公式から理論的に構築した運動式ですから、両辺の次元は合います。

しかし、国土交通省が実際に使っている貯留関数法のＫ，Ｐはまったく別の方法で求めたものですから、その値は上記の数字とは違っています。

国土交通省の貯留関数法の新モデルの定数は**別紙２**のとおりです。Ｐは0.300から0.656の範囲にあり、0.6の小流域はありません。Ｋも星清氏らの論文の式から求められる値とは大きく異なっています。

国土交通省の貯留関数法のＫ，Ｐはまったく別の方法（**５**で詳述）で求めたものですから、当然のことです。

貯留関数法の運動式の両辺の次元が合うのはあくまで、マニングの公式から理論的に構築した運動式の場合であって、国土交通省の貯留関数法の運動式には、両辺の次元が合うという話は全く当てはまりません。

したがって、冨永氏が今回の論考で指摘した「国土交通省の貯留関数法モデルの運動式は両辺の次元が合っておらず、科学的にナンセンスな式で洪水流量の計算が行われている」という問題は何ら解消されていないのです。

４　貯留関数法のＫは「次元あり」でよいのか

小池委員は貯留関数法の次元の問題はすでに解消されていることであるとし、さらに、冨永氏の論考に記述されている「Ｋ定数【無次元】」は誤りであり、「Ｋは次元がある」と発言しました。

この冨永氏の記述は国土交通省の資料から引用したものですので、小池委員の発言を受けて、関東地方整備局の小島優・河川調査官は、本有機者会議の国土交通省資料にあるＫ定数「無次元」を「次元あり」に訂正するとしました。

しかし、貯留関数法のＫは「次元あり」としてよいのでしょうか。$s = Kq^{\mathrm{P}}$ において（s（mm）：流域内の貯留高、q（mm/h）：流域内の流出高、Ｋ，Ｐ：定数）、マニングの公式から構築した運動式ならば、Ｐは0.6で一定ですから、Ｋは mm/(mm/h)$^{0.6}$という次元を持ちます。

ところが、実際の貯留関数法では**別紙２**で示した通り、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るのですから、Ｋの次元は小流域ごとにそれぞれ異なり、次元を示すことができません。そのため、国土交通省の従来の資料では、Ｋ，Ｐについては「無次元」またはそのような扱いをしてきました。

次元を示すことができないのに、「次元あり」とするのはいかがなものでしょうか。むしろ、従前どおり、Ｋは「無次元」のような扱いにせざるを得ないのではないでしょうか。

貯留関数法のＫを「次元あり」とする関東地方整備局の資料訂正でよいかどうか、議論が必要です。

さらに、**別紙１**の例に示すとおり、国土交通省の従来の資料はＫ定数【無次元】と書かれており、「次元あり」とするならば、これらをすべて訂正することが必要となります。国土交通省はＫ定数【無次元】と記した資料を今後、どのように扱うつもりなのでしょうか。

５　新モデルの定数は手抜きの設定

国土交通省は、利根川の基本高水計算で使用した新モデルは定数の設定を合理的に行ったかのような説明をしています。しかし、その定数の設定の手順を追っていくと、手抜きの方法で行われており、定数そのものがアバウトなものであることがわかります。

国土交通省が日本学術会議に提出した「河川流出モデル・基本高水評価検討等分科会（第９回）資料11『新たな流出計算モデルの構築（案）について』（平成２３年６月８日））を見ると、利根川・八斗島地点上流の３９流域のうち、定数のキャリブレーションを行ったのは一部の流域だけです。３９流域のうち、所定の手順で、Ｋ，Ｐ，T1（遅滞時間）の定数を定めたのは１１流域だけであり、その他の２８流域は１１流域の定数等を使って推測で数字を設定したにすぎません。定数のキャリブレーションを行ったのは１１/３９だけなのです。

国土交通省の貯留関数法モデルは冨永氏が論考で指摘した貯留関数法の根本的欠陥があるだけでなく、定数Ｋ，Ｐの設定方法も不確かなのですから、この貯留関数法モデルで算出した治水目標流量案17,000㎥／秒も信頼性が低いと判断せざるを得ません。

以上

別紙１

国土交通省　水管理・国土保全局

「利根川八斗島地点　基本高水ピーク流量の検討に関する資料」（平成２３年９月）

http://www.mlit.go.jp/common/000165577.pdf の 16～17 ページ

③ 流出計算モデルの設定

降雨をハイドログラフに変換するための流出計算モデルとして、新たな流出計算モデルを用いた。

貯留関数法の基礎式は次のとおりである（流出計算モデルの構築等については、「利根川の基本高水の検証について」参照）。

・流域の基礎式

$$\frac{ds}{dt} = f_{(t)} \bullet r_{(t)} - q_{(t+T_l)}$$

$$s_{(t)} = K \bullet q_{(t+T_l)}^{P}$$

$$q_{(t)} = \frac{3.6 \bullet Q_{(t)}}{}$$

ただし、

$\sum r_{(t)} < R_0$ **の場合** $f_{(t)} = 0.0$

$R_0 \leqq \sum r_{(t)} < R_0 + R_{sa}$ **の場合** $f_{(t)} = f_1$

$\sum r_{(t)} \geqq R_0 + R_{sa}$ **の場合** $f_{(t)} = 1.0$

ここで、

$$R_{sa} = \frac{\left(R_{sum} - \frac{Q_{sum}}{1000 \bullet A}\right)}{\left(1 - f_1\right)}$$

また、流域からの流出量$Q_{ca(t)}$は、基底流量$Q_{b(t)}$を含めて次の式で与える。

$$Q_{ca(t)} = \frac{q_{(t)} \bullet A}{3.6} + Q_{b(t)}$$

$s_{(t)}$ **：貯留高【mm/hr】、** $f_{(t)}$ **：流入係数【無次元】、**

$r_{(t)}$ **：流域平均降雨強度【mm/hr】*1、** $q_{(t)}$ **：直接流出高【mm/hr】、**

T_l **：遅滞時間【hr】、** K **：定数【無次元】、** P **：定数【無次元】、**

$Q_{(t)}$ **：直接流出強度【m^3/s】、** A **：流域面積【km^2】、**

$\sum r_{(t)}$ **：降雨の降り始めから当該時刻までの流域平均降雨強度の和【mm】、**

R_0 **：初期損失雨量【mm】、** R_{sa} **：飽和雨量【mm】、** R_{sum} **：総降雨量【mm】*2、**

Q_{sum} **：総直接流出量【m^3】、** f_1 **：一次流出率【無次元】、**

$Q_{ca(t)}$ **：流域からの流出量【m^3/s】、** $Q_{b(t)}$ **：基底流量【m^3/s】**

***1　地点観測雨量からティーセン分割を用いて計算された流域平均時間雨量。初期損失雨量分も含む。**

***2　降り始めからの雨量より初期損失雨量を控除したもの。**

・河道の基礎式

$$S_{l(t)} = K \bullet Q_{l(t)}^{P} - T_l \bullet Q_{l(t)}$$

$$\frac{dS_{l(t)}}{dt} = I_{(t)} - Q_{l(t)}$$

$$Q_{l(t)} = Q_{(t+T_l)}$$

$S_{l(t)}$ **：みかけの貯留量【（m^3/s）・hr】、**

$Q_{l(t)}$ **：遅れ時間T_lを考慮した流出量【m3/s】、**

$Q_{(t)}$ **：流出量【m^3/s】、** $I_{(t)}$ **：流入量【m^3/s】、** T_l **：遅滞時間【hr】、**

K **：定数【無次元】、** P **：定数【無次元】**

別紙２　国土交通省の利根川・基本高水計算の新モデルの流域定数表

S22　　（国土交通省の資料より作成）

流域定数

流域 No	初期損失雨量	流域面積	係数		遅滞時間	一次流出率	流入係数	飽和雨量	開始基底流量
	Ｒ0 (mm)	A (km2)	K	P	ＴＩ (時間)	f1	fsa	Rsa (ｍｍ)	Qb1 (m3/S)
1	12.0	165.48	7.587	0.528	0.50	0.4	1.0	150	7.3
2	12.0	60.59	6.252	0.656	0.83	0.4	1.0	150	2.7
3	12.0	165.77	9.480	0.592	0.83	0.4	1.0	150	7.3
4	12.0	103.07	9.480	0.592	0.83	0.4	1.0	150	4.6
5	12.0	81.80	9.480	0.592	0.83	0.4	1.0	150	3.6
6	12.0	110.19	10.591	0.655	0.67	0.4	1.0	150	4.9
7	12.0	79.19	9.480	0.592	0.83	0.4	1.0	150	3.5
8	12.0	226.00	9.480	0.592	0.83	0.4	1.0	150	10.0
9	12.0	252.05	13.487	0.530	1.50	0.4	1.0	150	11.1
10	12.0	161.64	13.487	0.530	1.50	0.4	1.0	150	7.1
11	12.0	78.78	13.487	0.530	1.50	0.4	1.0	150	3.5
12	12.0	182.31	9.480	0.592	0.83	0.4	1.0	150	8.0
13	14.0	144.49	35.239	0.300	0.83	0.4	0.4	∞	6.4
14	14.0	269.24	29.321	0.305	1.67	0.4	0.4	∞	11.9
15	14.0	289.00	29.321	0.305	1.67	0.4	0.4	∞	12.8
16	14.0	153.20	29.321	0.305	1.67	0.4	0.4	∞	6.8
17	14.0	38.30	29.321	0.305	1.67	0.4	0.4	∞	1.7
18	14.0	164.22	35.239	0.300	0.83	0.4	0.4	∞	7.2
19	14.0	157.01	35.239	0.300	0.83	0.4	0.4	∞	6.9
20	14.0	188.37	35.239	0.300	0.83	0.4	0.4	∞	8.3
21	14.0	97.12	35.239	0.300	0.83	0.4	0.4	∞	4.3
22	14.0	93.33	35.239	0.300	0.83	0.4	0.4	∞	4.1
23	14.0	24.68	35.239	0.300	0.83	0.4	0.4	∞	1.1
24	14.0	23.88	35.239	0.300	0.83	0.4	0.4	∞	1.1
25	14.0	155.13	29.519	0.428	0.50	0.6	1.0	200	6.8
26	14.0	110.02	18.623	0.572	0.67	0.6	1.0	200	4.9
27	14.0	121.39	10.765	0.680	1.00	0.6	1.0	200	5.4
28	14.0	165.39	18.623	0.572	0.67	0.6	1.0	200	7.3
29	14.0	43.27	18.623	0.572	0.67	0.6	1.0	200	1.9
30	14.0	190.64	18.623	0.572	0.67	0.6	1.0	200	8.4
31	14.0	158.74	18.623	0.572	0.67	0.6	1.0	200	7.0
32	14.0	201.63	18.623	0.572	0.67	0.6	1.0	200	8.9
33	14.0	75.00	18.623	0.572	0.67	0.6	1.0	200	3.3
34	14.0	94.85	35.239	0.300	0.83	0.4	0.4	∞	4.2
35	14.0	70.05	18.623	0.572	0.67	0.6	1.0	200	3.1
36	22.0	269.56	29.976	0.476	1.33	0.6	1.0	130	11.9
37	22.0	53.25	29.976	0.476	1.33	0.6	1.0	130	2.4
38	22.0	51.68	29.976	0.476	1.33	0.6	1.0	130	2.3
39	22.0	37.50	29.976	0.476	1.33	0.6	1.0	130	1.7