

自己相似水系網上で 異なるユニット hidro グラフが分布する場合の洪水流出

防災科学技術研究所	正会員	小松陽介
防災科学技術研究所	正会員	葛葉泰久
防災科学技術研究所	フェロー	岸井徳雄
京都大学防災研究所	正会員	友杉邦雄

1. 問題の所在と目的

1次流域からの流出特性を知ることは、より大きな流域での洪水流量を計算するためにも重要である。多くの水文学者による1次流域での流出観測の結果、山地流域における降雨流出機構が明らかにされつつあるが、斜面での水の挙動は非常に複雑であり流出予測の一般化は難しいのが現状である。一連の研究の中で、地質条件が同じであれば類似した降雨流出特性を示すことは経験的に知られている。たとえばパルスの降雨に対し、花崗岩流域の流量は鋭く短い反応を、古生界堆積岩流域では長く継続する反応を示す（小松，1997）。このような1次流域の降雨流出 hidro グラフの違いが、高次流域の洪水流出に与える影響を調べるために、自己相似水系網を用いネットワークからの洪水流出ピークの scaling 特性を計算した。

一方、破碎帯の多い地質が分布する流域では、隣接する流域の基底流量に空間的ばらつきが大きいことが知られている（Komatsu and Onda, 1996）。これは同一地質内であっても流出プロセスが異なる場合があることを示唆しており、洪水流出にも影響を与える可能性がある。そこで1次流域からの流出 hidro グラフを2種類用意し、それらの組み合わせによる大流域での洪水流量への影響を考察した。

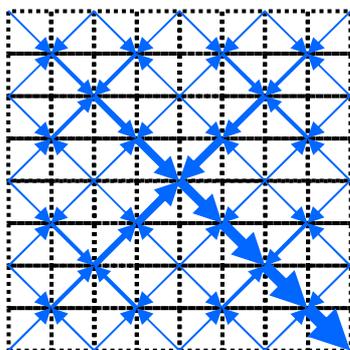


図1 Peano Network ($\Omega=3$)

2. Peano Basin と計算方法

洪水流量は、自己相似図形の一種で3分木構造を持つ Peano 水系網を用い単位図法で計算した。Peano Basin には多くの研究例がある（Marani et al., 1991; Gupta et al., 1996; Gupta and Waymire, 1998 など）。図1は第3世代 ($\Omega=3$) の流域である。あらゆる世代の単位流域はすべて等しい単位面積を持つと考え、単位流域の数 N_Ω は流域面積 A_Ω と言い換えることができ、 $N_\Omega=A_\Omega=4^\Omega$ と表すことができる。

単位流域にパルスの単位降水量を与えた時の流出反応を矩形の単位流出 hidro グラフとして定義すると、流域全体の水文学的レスポンスは、空間的に一様に降った水が流域出口まで到達するのに必要な時間の関数で表現される。この中で第 Ω 世代の流域で最大流域数は $W=3^\Omega$ と表現される。研究に用いたユニット hidro グラフのタイプは流量と流出継続時間の積が1になる（表1）。A と F はそれぞれ前述した古生層、花崗岩の流出特性に近いことになる。一方、流域内では link を流下する水の流速 V は一定で、単位流域の対角線長を単位時間で流下する速度を V_0 とした。貯留条件は無視した。

表1 ユニット hidro グラフの型

	A	B	C	D	E	F
Runoff	0.025	0.05	0.1	0.2	0.5	1
Duration	40	20	10	5	2	1

3. 結果・考察1：均一の流出特性を持つ空間場

流域面積と最大洪水流量における近似曲線の scale 指数 θ は、小流域では1、大流域では0.7925 に近似され2本に区別される（図2）。前者の値は流域面積に比例することを示し、後者

キーワード スケーリング、自己相似流域、洪水流量、空間変動、降雨流出 hidro グラフ、PUBs
 連絡先 〒305-0006 つくば市天王台3-1 独立行政法人防災科学技術研究所 電話 029-863-7680

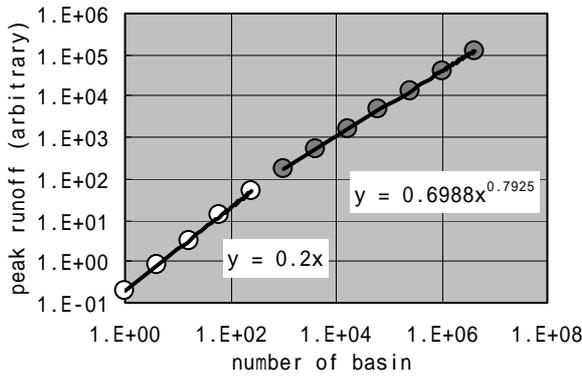


図2 流域面積とピーク流量の関係
($V=4V_0$, D-type)

の値は Peano 水系網の幾何学的特性に支配されている。ユニットハイドログラフの型とスケール指数の関係を表2にまとめた。ユニットハイドログラフのタイプ別に見ると、長く継続的な流出特性を示す場合（ここでは A-type のような場合）、スケール指数の遷移区間は大流域で現れる。反対に流域内の降雨を短時間に排水させるような場合（同じく F-type）、遷移区間はより小流域で現れ、もしくはすべてのスケール指数が 0.7925 となる。

水路での流速 V が速いほど、またユニットハイドログラフの流出継続時間 T_d が長いほど、遷移区間は小流域の側へ移動する。本研究では降雨条件はパルス的なものを与えているが、この現象は Gupta and Waymire (1998) が rainfall duration を長くした時の結果と本質的には同じ意味を持つことを示唆している。

表2 ユニットハイドログラフの型とスケール指数
($V=4V_0$ の時, X: $\theta=1$, Y: $0.7925<\theta<1$, Z: $\theta=0.7925$)

Ω	A	B	C	D	E	F
1	X	X	X	X	X	Y
2	X	X	X	X	X	Y
3	X	X	X	X	Y	Z
4	X	X	X	X	Z	Z
5	X	X	X	Y	Z	Z
6	X	X	Y	Z	Z	Z
7	X	Y	Z	Z	Z	Z
8	Y	Z	Z	Z	Z	Z
9	Z	Z	Z	Z	Z	Z
10	Z	Z	Z	Z	Z	Z
11	Z	Z	Z	Z	Z	Z

4. 結果・考察2：2種類の流出特性を持つ空間場

1 番目の計算で用いたユニットハイドログラフの中から 2 種類を選んで流域内に配置して洪水流量を計算した。その配置はモンテカルロ的に決めた。 V や T_d に対する傾向は、実験 1 の結果に類似していたが、いずれも 3 つのべき関数で近似されることがわかった。スケール指数 θ が、1 と 0.7925 そしてそれらの遷移区間 (1 ~ 0.7925) である。遷移部分の範囲は結果 1 に比べて拡大した。

5. 実際の流域との比較

単位流域面積を 1ha と仮定すると、スケール指数が遷移する流域面積は C-type で約 4km²、E-type で約 0.064 km² となる ($V=4V_0$ の場合)。すなわちスケール指数の折れ曲がり、基盤地質に基づいた流出ハイドログラフにより変化する可能性がある。Goodrich et al. (1997) は実際の観測データから遷移区間 (0.01 ~ 0.1km²) の存在を指摘しているが、1 次流域での流出ハイドログラフのタイプ別に観測結果を示した例は見当たらない。今後は類似した流出プロセスを持つ流域間でのスケールリングができるよう、観測データを整備していく必要がある。

引用文献

Goodrich et al.(1997) Linearity of basin response as a function of scale in a semiarid watershed. *Water Resources Research*, **33**, 2951-2965.

Gupta, V. K., Castro, S. and Over, T. M. (1996) On scaling exponents of spatial peak flows from rainfall and river network geometry. *J. Hydrol.*, **187**, 81-104.

Gupta, V. K. and Waymire, E. C. (1998) Spatial variability and scale invariance in hydrologic regionalization.

Komatsu, Y. and Onda, Y. (1996) Spatial variation in specific discharge of base flow in a small catchments, in Oe-yama region, western Japan. *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources*, **9**, 489-497.

小松陽介(1997) 蛇紋岩山地の地形と水文特性・斜面プロセス。平成 7 年度深田地質研究助成研究報告, 119-136。

Marani, A. Rigon, R. and Rinaldo, A. (1991) A note on fractal channel networks. *Water Resources Research*, **27**, 3041-3049.