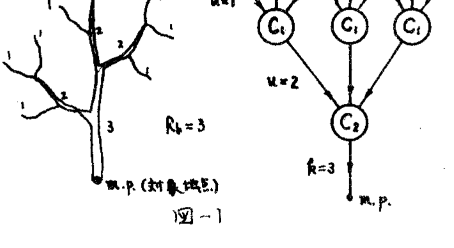
## Ⅱ－26　河域地形の形成とその出水ピークに及ぼす影響に関する考察

京都大学工学部　正員　高棹琢馬
京都大学大学院　学生員　○瀬能邦雄

本研究は前年度の研究に引きつづき，量的地形学(quantitative geomorphology)の成果を基礎として，河道配列の多次元トポロジーモデルを構成し，出水ピークとの関係を考察したものである。

1．河域地形の地形法則；　1)　HortonからStrahlerにいたる量的地形学の分野は，河域の地形について量的な知識を与えてくれる。その基本は，河道区分の位数であって，流域最上流端の河道を位数1とし，同一位数$u$の二つの河道区分が合流した河道区分を位数$u+1$とする。また，河道区分の最大位数を$k$とするが，これは流水がすべて集まる流域最下流端部の河道区分である。2)　このように流域内の河道区分の位数づけを行なうと，i)　河道数の法則；$N_u = R_b^{k-u}$　ii)　河道長の法則；$\overline{L}_u = \overline{L}_1 R_L^{u-1}$　iii)　集水面積の法則；$\overline{A}_u = \overline{A}_1 \cdot R_a^{u-1}$　iv)　河道こう配の法則；$\overline{S}_u = \overline{S}_1 \cdot R_s^{k-u}$　の四つ地形法則が成りたつことが知られている。ここに，$N_u$, $L_u$, $A_u$, $S_u$はそれぞれ位数$u$の河道数，河道長，集水面積，こう配で，$^{-}$は位数$u$についての平均である。また，$R_b$, $R_L$, $R_a$, $R_s$はそれぞれ$R_b = N_u / N_{u+1}$, $R_L = \overline{L}_{u+1} / \overline{L}_u$, $R_a = \overline{A}_{u+1} / \overline{A}_u$, $R_s = \overline{S}_u / \overline{S}_{u+1}$であって，これらは一流域においてはすべての位数について一定値をとる。3)　これらの関係を，由良川水系のいくつかの支川流域について検討したところ十分成りたつことがわかった。

2．河道配列のトポロジーモデル；　1)　上述の地形法則を出水問題に適用するには，出水の過程を表現するモデルを組みたてねばならない。それには，ある量の伝達方向と節点だけによって構成される信号流れ図の考え方がもっとも適切であろう。図－1には，$R_b = 3$, $k = 3$の実際の河道配列をトポロジーモデル化した例を示す。矢印をつけた線は，各位数の河道数と出水の伝達方向を示すもので一方向分枝とよばれ，また$C_u$は節点とよばれ，位数$u$の$R_b$コの河道が位数$u+1$の河道に入ることを意味し，$R_b - 1$コの合流点をもつ。このように構成されたモデルでは，節点$C_1$の数$n(C_1)$ $(= N_1/R_b)$が重要であり，このとき$n(C_1)$リンク系とよぶ。また，河道内の流下機構を線型とすると各リンクでの出水過程は独立であるから，$n(C_1)$は力学的な次元数と考えることができる。2)　節点は足し合わせ点と取りだし点の二つの機能をもつが，河道数の法則によれば一つの節点$C_u$には平均として$R_b$コの流入量と一つの流出量がある。この場合，流入量の加算機構が問題となるが，ここで"同一位数の河道での合流点間隔は等しい"という仮定をおくことにする。3)　もう一つの問題は，$C_u$を出る河道の集水面積$\overline{A}_{u+1}$と入る集水面積$\overline{A}_u$の差すなわち残流域であるが，これを$\overline{A}_u$に均等に配分すると，配分後の$\overline{A}_u'$は，集水面積の法則から$\overline{A}_u' = R_{ab} \overline{A}_u$となり，$\overline{A}_u$を$R_{ab}$ $(= R_a/R_b)$倍すれば，残流域の影響を消すことができる。



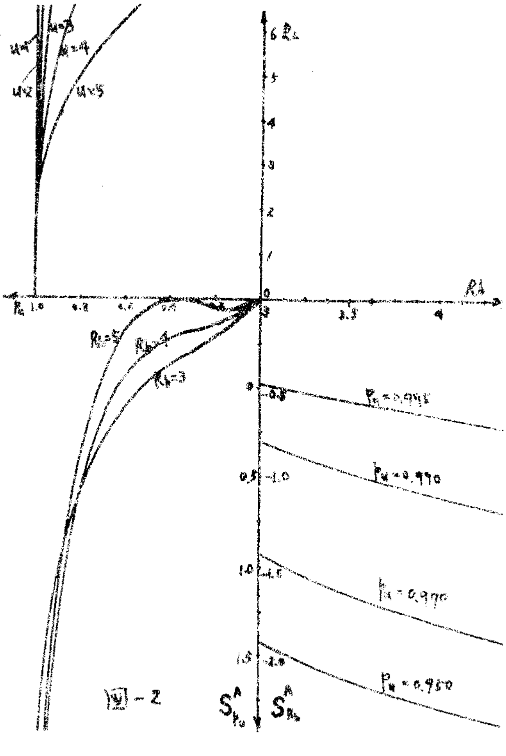
図－1

3．河域地形と出水ピーク；　つぎに，出水ピークの流下合流過程を考察しよう。1)　まず，任意の節点$C_u$に入る$R_b$コの流入ピーク$g_{p,u}$がどのような変換をうけて一つの流出ピーク$g_{p,u+1}$になるかを考える。節点内には$R_b - 1 = R_b'$コの合流点があること，トポロジーモデ

ルにおける合流点間隔均等の仮定を考慮し，また合流点でピーク合致・非合致の二事象を対象とした確率過程を考えると $E(q_{p,u+1}) = R_{ab} \cdot M_u \cdot \overline{W}_u \cdot E(q_{pu})$ ……(1) の関係が成りたつ。ここに，E は期待値を表わし，$M_u = R_b' p_u + 1$，$\overline{W}_u = \binom{R_b'}{R_b' p_u} p_u^{R_b' p_u} \cdot q_u^{R_b' q_u}$ であって，$M_u$は流入パルス数の期待値，$\overline{W}_u$は$R_b'$この合致事象を最大にする測度である。また，$p_u$は節点内の隣り合った流入パルスの合致測度，$q_u$は非合致測度で $p_u + q_u = 1$であり，かつ$p_u$は $p_u = \exp(-\alpha_u T_i R_i^u / R_b^u)$ で与えられる。$\alpha_u$は流入ピークの近傍の形状と流下速度の関数で，$u$について減少関数である。2）河道内流下機構を線型とすると，上の一段出水ピーク合流理論から，位数1のピーク平均$\overline{q}_{p1}$と最大位数$k$すなわち対象地点のピーク期待値 $E(q_{pk})$の間には，$E(q_{pk}) = R_{ab}^{k-1} M_1 M_2 \cdots M_{k-1} \cdot \overline{W}_1 \overline{W}_2 \cdots \overline{W}_{k-1} \cdot \overline{q}_{p1}$ ……(2) の関係が成立する。3）つぎに，河道配列構造の出水ピークに及ぼす影響，とくに合流効果について検討する。まず，ピークがすべての合流点で一致する場合には，節点 $C_u$における合成ピークは最大値 $\max E(q_{pu})$ となり，それは(2)式から，$\max E(q_{pu}) = R_{ab}^{u-1} R_b^{u-1} \overline{q}_{p1}$ ……(3) で与えられる。そこで，$E(q_{pu})$ と $\max E(q_{pu})$ の比を$\Lambda$とおくと，$\Lambda$はピークの合致効果を表わすものである。位数1から$u$までの$\Lambda$を，$\Lambda_{12\cdots(u-1)}$ とおくと，$\Lambda_{12\cdots(u-1)} = M_1 M_2 \cdots M_{u-1} \cdot \overline{W}_1 \overline{W}_2 \cdots \overline{W}_{u-1} / R_b^{u-1}$ ……(4) で表わされる。4）流域面積が等しく，かつ$N_1$が等しい場合の$\Lambda$を，理論的に考えられる $\min R_b = 2$，$\max R_b = N_1$ の両極端な二つの流域について表わすと，$\lim_{R_b \to 2} \Lambda_{12\cdots(k-1)} = 1$，$\lim_{R_b \to N_1} \Lambda_{12\cdots(k-1)} = ((N_1-1)p_1+1)\binom{N_1-1}{(N_1-1)p_1} p_1^{(N_1-1)p_1} \cdot q_1^{(N_1-1)q_1} / N_1$ であって，前者は最大次元の河道配列効果を示し最急出水條件となり，後者は1次元の河道配列効果を示し最緩出水條件となる。$\Lambda$は$R_b$の減少関数であって，$R_b$が大きいほど河道配列の影響が大きく出水がゆるやかとなる。5）さらに，$\Lambda$に及ぼす$R_b$と$p_u$の効果について考える。それにはつぎの関数 $S_x^{\Lambda} = \partial \log \Lambda / \partial \log X = (\Lambda の\%変動)/(X の\%変動)$ ……(5) を考えればよい。X は$R_b$または$p_u$とする。河道内流下機構の線型仮定から $S_x^{\Lambda_{12\cdots(u-1)}} = \sum_{i=1}^{u-1} S_{X_i}^{\Lambda_i}$ ……(6) が成りたつ。また，$S_{R_b'}^{\Lambda} = -R_b'/R_b + p_i R_b' / (R_b' p_i + 1) + q_i R_b' \log q_i R_b'$，$S_{p_i}^{\Lambda_i} = -1/2 - \log\{R_b'(1-p_i)\}^{R_b' p_i}$ である。

図－2は，$S_{R_b'}^{\Lambda_i}$と$S_{p_u}^{\Lambda_u}$を$u$をパラメーターとして計算し，$R_b$，$R_L$との関係を示したものである。これから，$S_{R_b'}^{\Lambda}$は常に㊀であって$R_b$とともに$\Lambda$が減少すること，かつ$R_b$が増加するにつれて$\Lambda$の％変動が小さくなることがわかる。また，$S_{p_u}^{\Lambda}$は常に㊉であって，$p_u$の増加とともに急激に大きくなることがわかる。

本研究は，河道配列と出水ピークとの関係を量的に把握しようとしたもので，今後は降雨の場所的変動の影響，あるいは出水の予知やコントロールへの具体的な適用などについて検討を進めていきたいと考えている。



図－2