

P6 インドネシア・メラピ火山南西山麓における流出特性

東京大学農学部 芝野博文

1. はじめに

火山体の山麓は、表流水が通常ほとんどみられない部分とある標高から下は多数の湧水点が分布しこれが集合して河川水を形成する部分とにわかれた形態をとる。山麓に測水所が設定されるとその測水所が対象とする地形的な流域は、主要な溪流の場合、山頂まで到達する細長い形状となり、そのなかに涵養域・流動域・湧水域を含むことになり、水は地下水として移動する形態が支配的である。地下水の流出特性に深く関与する流域特性は滞水層の分布とその水理学的特性である。地下水に関する詳細な情報によって河川水の流出特性が記述されるであろうし、逆に河川水の流出特性を整理することによって地下水の流動機構についてなんらかの知識をうることができる。

解析に供した資料はインドネシア国公共事業省火山砂防技術センター(VSTC)管理下の水文資料である。とくに、河川水水位は水収支を知ることを目的とした測定施設を使用して測定された資料ではないため、流量精度は低く、また、雨域が狭く、流域平均雨量に関する雨量観測点の代表性の問題もある。このため、精密な分析には至っていない。

2. 水文観測資料

2-1. 観測施設の位置

対象地であるメラピ南西山麓に配置された水文観測施設の配置状況を図1に示す。VSTCの観測の主力はテレメタリングシステムによりリアルタイムに送信・記録されている観測所であり、図中に黒丸(雨量)と黒三角(水位)で示している。測水所は標高600m付近と400m付近にPUTIH川とBEBENG川のそれぞれに4箇所設けられている。400m付近には観測点TEGALSARI(K. PUTIH)とKOPEN(K. KRASAK K. KRASAKとK. BEBENGの合流点直下)があり、対応する流域の形状は図に示したとおりである。勾配の急変点より少し下がったあたりが流域の最大幅がある。さらに標高が下がるにつれ流域幅は細くなりほとんど河道に沿う形である。標高600m付近はMRANGGEN(K. PUTIH)とPUNTUK(K. BEBENG)があり、対応する流域の形状は前2者と同じであるといえる。本節で参照した降雨観測資料は各流域の重心位置に最も近いG. MARONでの値である。また、MRANGGENの水位は一年を通じてほとんど0 [cm]であった。

2-2. 原資料と流量換算法

原資料は10min刻みの水位[cm]と降雨[mm/10min]である。無降雨が続くと1hr刻みで水位が読取られている。1990年を対象に全期間において水位を10min刻みで読取り(1hr刻みの場合は10min毎に補間して)これを流量レートに換算した。流量は流積×流速により求める。水位-流積関係式および水位-径深関係は測水所の横断面形状(PUNTUK, KOPENは砂防ダムの横断形状、TEGALSARIは自然河川断面)から求め、流速はMANNING式を用いた。以下、具体的には次のように示される。

①水位-流積関係

$$\text{PUNTUK} : A = 0.5h^2 + 40.0h \quad (0.0 \leq h < 4.6)$$

$$\text{KOPEN} : A = 0.5h^2 + 41.0h \quad (0.0 \leq h < 3.2)$$

$$\begin{aligned} \text{TEGALSARI: } A &= -h^2 + 5.8h & (0.0 \leq h < 0.4) \\ & h^2 + 4.2h + 0.32 & (0.4 \leq h < 2.0) \\ & 2.5h^2 - 1.8h + 6.32 & (2.0 \leq h < \quad) \end{aligned}$$

(ただし、A [m²] : 流積 h [m] : 水位)

② 水位-径深関係

$$\begin{aligned} \text{PUNTUK} & : R = h & (0.0 \leq h < 4.6) \\ \text{KOPEN} & : R = h & (0.0 \leq h < 3.2) \\ \text{TEGALSARI: } R &= \frac{-h^2 + 5.8h}{(3.24h + 5.80)} & (0.0 \leq h < 0.4) \\ & \frac{h^2 + 4.2h + 0.32}{(3.24h + 5.80)} & (0.4 \leq h < 2.0) \\ & \frac{2.5h^2 - 1.8h + 6.32}{(6.10h + 0.08)} & (2.0 \leq h < \quad) \end{aligned}$$

(ただし、R [m] : 径深)

③ 流域面積・溪床勾配・粗度係数

$$\begin{aligned} \text{PUNTUK} & : a = 7.7 & I = 0.028 & n = 0.045 \\ \text{KOPEN} & : a = 23.0 & I = 0.015 & n = 0.045 \\ \text{TEGALSARI: } & a = 11.2 & I = 0.035 & n = 0.045 \end{aligned}$$

(ただし、a [km²] : 流域面積 I : 溪床勾配 n [sec·m^{-1/3}] : 粗度)

MANNING式は次のとおりである。

$$V = n^{-1} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (\text{ただし、} V [\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}] : \text{流速})$$

なお、TEGALSARIにおける水深と川幅の関係は図2に示したとおりである。単純化して横断面形状はこの図と同じで右岸がY軸、左岸が折れ線で近似した部分、溪床がX軸と考え直し、水深と流積や潤辺長の関係を求めて上記の関係式を求めた。粗度係数nは3観測点において等しいとし、文献¹⁾に掲載の値を採用した。

溪床勾配はTEGALSARIにおいては観測点付近の測量成果から、PUNTUKおよびKOPENは地形図から求めた溪床勾配の1/2の値を使用している。

3. 流出特性

3.1. 長期流出

図3に1990年に観測された日単位のハイドログラフとハイトグラフを示している。これは10min単位の水文資料から1日当たり144個ずつ集計することによってえられる。図から次のことが明らかである。

(1)各観測点において河川水流量の乾期と雨期の大きなうねりが認められ、降水の季節変化と対応している。

(2)平常時の日流量はPUNTUKで8-50mm/day, KOPENで1-10mm/day, TEGALSARIで0.1-1mm/day程度になっている。数値はPUNTUKが異常に大きいことを示している。数値として降雨との対比で収支関係を考えてTEGALSARIの値のみが合理的である。KOPENでさえも大きすぎる値である。PUNTUKでは水位-流量関係に問題があると考えられるので流量の絶対値に関する考察は控えねばならないが、流量が予想される値よりは極めて過大にでているということで考察をすすめたい。

3.2短期流出

(1) 2月のハイドログラフを図4に示す。TEGALSARI, KOPENに日周変化が認められTEGALSARIでは1日のうちに流量が途絶える時間帯がある。センサの温度変化による誤差も考えられるのでここでは考察を控える。

(2) TEGALSARIの流量は降雨に対して極めて鋭い応答を示す。これと対比的にPUNTUK, KOPENは流量が安定している。

4. 考察

地形的な流域をもとに流量 [m³/sec]を流域面積で割って水高を求めたが、KOPEN, PUNTUKは予想されるより過剰な流量を示している。これは地下水の経路が地形的な流域とは対応しておらず、火山体特有の現象である。特に、PUNTUK (K. BEBENG)は山体の中腹部で過大、MRANGGEN (K. PUTIH)は河川水流量がほとんど観測されないというようにきわめて両河川の流出特性は対照的である。両河川の極端な流出特性は水利上からみても特殊なものとなっているらしく、図5に示した水利施設(取水口)の分布状況によるとK. PUTIH, K. BEBENGでは取水が全くなされていない。これは、K. PUTIHは平常時の流量が全くないか極めてすくないためであり、K. BEBENGは説明が難しく、さらに調査が必要であろう。

この図は流出特性に応じて溪流を2種類に分類することが可能であることを示している。後出の図6とあわせて考察すると、これらは河川断面が大きく地形的に明瞭な河川 K. Pabelan, K. Lamat, K. Blonkeng, K. Putih, K. Bebung, K. Krasakと、河川断面が小さいものの乾期の流量も豊富な(irrigation intakeが数多く分布していることから推察される)河川 K. Senowo, K. Sunut, K. Jegong, K. Druju, K. Bangkong, K. Mandang, K. Batang K. Cangkringの2群に分けることができる。前者は流域面積が広く、出水時に大きな流量を生成しかつ河床の変動が激しく、後者は湧水起源の安定した流量を維持できる河川であると考えられる。

K. PUTIHでは標高600m付近のMRANGGENでは河川水がなく、標高400m付近のTEGALSARIでかなり河川水があらわれていることも興味深く、このことは換言すれば、標高差200m、水平距離にして6-7kmで湧出した地下水によってハイドログラフが形成されたことになる。しかしながら、降雨に対する応答がTEGALSARIにおいて鋭く、地下水起源の水がこのような挙動を示すことに疑問が残る。

標高600mの等高線に沿って地下水位を測定しプロットしたものが図6である。この図から標高600m付近ではK. Blonkengの左岸近くからK. BatanとK. Bebungの中間点あたりまで広がる地下水盆の存在がうかがわれる。乾期の水位はK. Putihの河床よりはるかに低く、雨期には水位線が上昇するものK. Putihの流れを涵養するには至っていないようである。下流に向うにつれてK. Putihは周囲から地下水の涵養を受けて流水を形成しTEGALSARIでのハイドログラフ形成にまで至ると思われる。これと対照的にK. Putih以外の主要溪流は雨期・乾期にかかわらず周囲から地下水の涵養を受けていると考えられる。

謝辞 本研究は科学技術庁からの砂防学会への受託研究「火山地域における土砂災害の予測手法の開発に関する国際共同研究」のうち「火山体の水収支に関する研究」の一部として行なった。

文献

1) JICA: Master Plan for Land Erosion and Volcanic Debris Control in the Area of Mt. Merapi

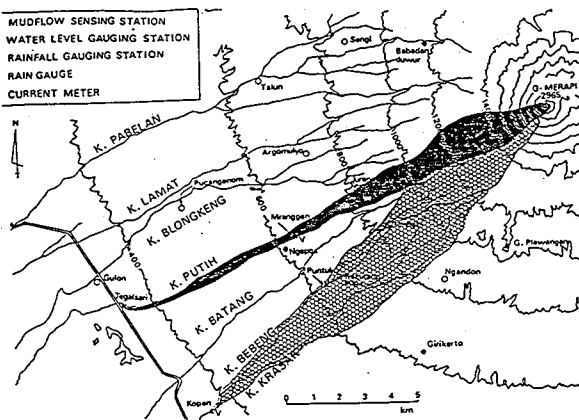


図1 G. MERAPI 南西山麓の地形と流域形状
[K. PUTIH K. KRASAKの両河川を対象とする]

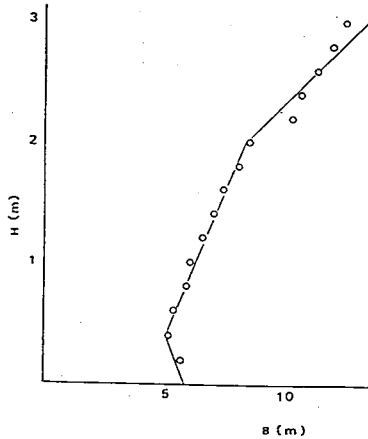


図2 K. PUTIH 水位観測点TEGALSARIの水位と川幅
[川幅を3本の直線で近似している]

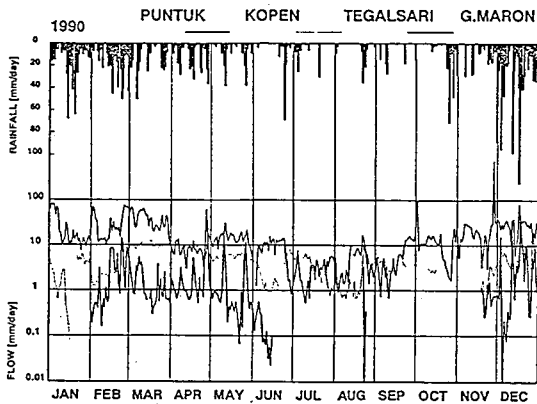


図3 日単位のHYDROGRAPHとHYETOGRAPH(1990)
[KOPEN PUNTIKの2観測点での流量がかなり大きい]

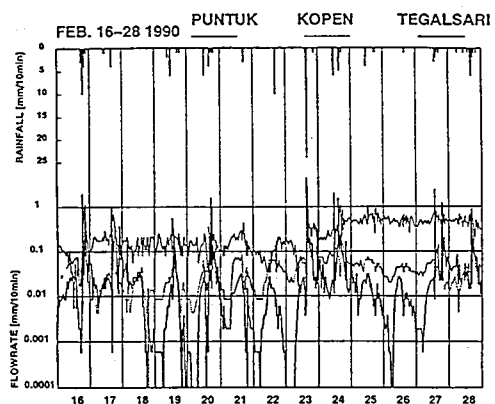


図4 10min単位のHYDROGRAPHとHYETOGRAPH(1990 FEB.)
[TEGALSARIの流量の降雨に対する応答は鋭い]

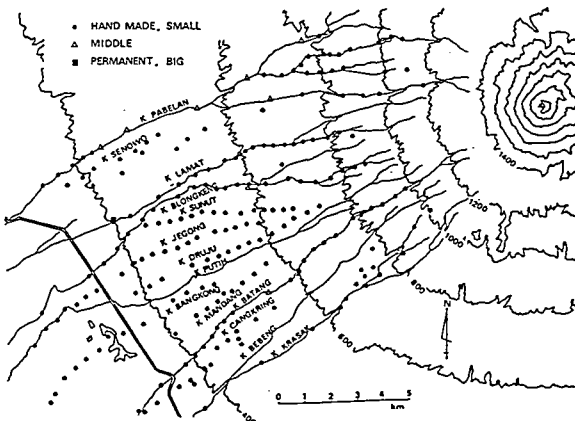


図5 IRRIGATION INTAKEの分布
[K. PUTIH K. BEBENGにIRRIGATION INTAKEが分布していない]

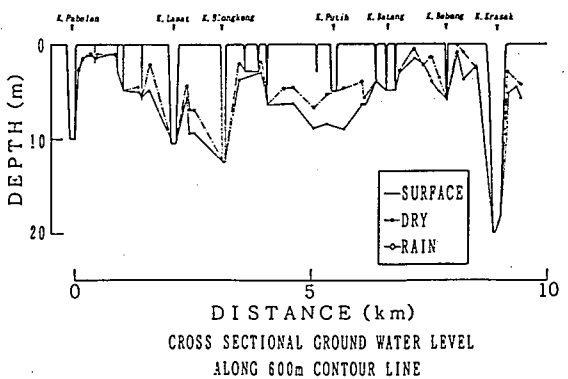


図6 標高600mの等高線沿いの地下水位
[K. PUTIH 両岸に広い地下水盆が存在するらしい]