

# インドネシア・メラピ火山における水循環と地下水・地表水の水質特性

九州大学農学部 井倉 洋二

九州大学理学部 吉村 和久

東京大学農学部 沼本 晋也

## 1. はじめに

現在、世界で最も活動的な火山として知られる、インドネシアジャワ島のメラピ火山において、土砂災害とそれに関連する水循環機構の解明を目的として、南西斜面を中心とした集中的な調査・研究がおこなわれている。水循環機構の解明では、南西面5河川における400mおよび600mラインでの観測による水収支の算定が進められているが、地下水流動のメカニズムを探るうえで、河川の縦断方向における流出の変化を把握することは重要である。そこで本報告は、南西面の2河川においておこなった縦断方向の流量および水質調査から、メラピ火山南西面における地下水の流出形態の標高による変化について考察する。

本研究は、科学技術庁から砂防学会への受託研究「火山地域における土砂災害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」の一部としておこなった。

## 2. 方法および調査地

図1は、メラピ火山南西面の地形および河川を示している。今回調査した河川は、ブロンケン川(K. Blongkeng)とブブン川(K. Bebeng)で、図には2つの河川の地形図上の流域界と調査地点を表した。K. Bebengは、クラサ川(K. Krasak)の支流であるので、K. Krasakと合流した地点よりやや下流のKopenまでを対象とした。図1で、ハッチングの部分は、1984年の火砕流堆積物の分布域である。K. Bebengは、上流域が火砕流堆積物で覆われ、ガリーの発達が著しい。河道は幅100m、深さ30m程度のガリー内にあり、土石流が多発する。一方K. Blongkengの流域には、近年の火砕流堆積物が分布せず、ガリーも小規模で、河道周辺は森林に覆われている。

調査は、乾季である1993年8月におこなった。それぞれの河川が国道と交わる地点から源頭部の湧水点まで遡上しながら、流量と水温、pH、電導度の観測および採水をおこなった。水は日本に持ち帰って主要溶存成分を分析した。

## 3. 結果と考察

### 3. 1. 標高による流量と比流量の変化

図2は、標高による流量の変化である。両河川とも、900mを少し越えた地点が湧水点となっており、それより上流部は乾季には流水が見られない。このことは、沼本(1993)が当地域の浅層地下水の分布について、浅井戸の分布限界が標高800m付近で、湧水点の分布上限が700~1100mであるという調査結果を報告しているように、両河川の源頭部湧水が、周辺の浅層地下水面によって規定されており、しかもK. BlongkengとK. Bebengでは、乾季には浅層地下水面がほぼ同標高に分布しているものと考えられる。

湧水点から下流部にいたる流量の変化は、両河川ともほぼ似たようなパターンを示している。すなわち、800m前後の地点で流量が大きくなり、それより下流部では小さくなって、400m付近で再び増加する傾向が見られる。1991年のメラピ火山南面および西面河川での同様の調査でも、中流部で流量が大きく、下流部で小さくなるという同様の結果が得られており、浅層地下水の堆積層からの湧出と堆積層への浸入によって流量が増減するものと考えられる(丸谷ら, 1993)。

流量をそれぞれの調査地点の流域面積で除して、比流量で表したのが図3である。さらに傾向は明瞭になり、両河川とも標高700~900mの間に比流量の大きい区間があり、それより下流部にいくにしたがって、K. Blongkengでは減少傾向が、K. Bebengでは横ばいの傾向が見られる。火山体での一般的な流出の傾向として、山岳部では地下水面が深いため、河川水は周辺の帯水層を涵養する失水河川となり、山麓部では周囲の浅層地下水から涵養を受ける得水河川となることが考えられる(芝野, 1993)が、本調査結果はこの傾向とは合致しない。すなわち、河川の流出は、火山体の噴出物の堆積構造と、それに起因する地下水分布により規定されるので、堆積構造の違いにより、流出形態もきわめて局所的な傾向を示すことになる。2つの河川にはさまれるメラピ火山の南西面では、標高700~900mの間で比流量が最大となるような堆積構造を持つものと考えられる。これより下流部にいくにしたがって、K. Blongkengの比流量が減少するのは、堆積物中に河川水が浸入するか、あるいは河川周辺の地下水面の分布形態により、失水河川となっていること等が考えられる。

また、2つの河川の比流量を比べると、上流部から中流部にかけてK. Blongkengの方が大きい。このことは、現在の地形による流域が必ずしも浅層地下水の流域と一致していないことを示唆しており、1934年における地形図から流域界を求めると、K. Blongkengでは現在よりも大きく、K. Bebengでは小さい流域となっている。その後の堆積物により現在の流域界が形成されたことを考えれば、浅層地下水の流域はむしろ過去の流域の影響が大きいと考えられる(沼本, 1993)が、本調査結果による2河川の比流量の違いは、その点を裏づけるものといえよう。



図1 調査地域

### 3. 2. 標高による水質の変化

次に、標高による水質の変化から、前述の堆積構造と流出形態の関係について考察する。ここでは、水質データの中から、主要溶存成分である $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ および $\text{SiO}_2$ 濃度を取り上げる。図4～6は、それぞれ $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SiO}_2$ 濃度の標高による変化を表しているが、いずれも比流量と類似した傾向が見られる。すなわち、湧水点では濃度は低く、700～900mの間で最高になり、それより下流部では減少するというパターンである。

$\text{SiO}_2$ 濃度は、造岩鉱物の化学的風化反応として、滞留時間の十分に長い地下水では反応の化学平衡により濃度が決まる（井倉・吉村，1992）が、それほど滞留時間が長くない浅層地下水の場合は、その濃度が滞留時間を指標するものと考えられることは可能である。図6に示すように、2つの河川の $\text{SiO}_2$ 濃度はほぼ同様の値であり、この点から、それぞれの河川水を涵養する地下水の滞留時間に違いがあるとは認められない。

一方、図4・5に示すように、 $\text{Na}^+$ と $\text{Ca}^{2+}$ については、変化の傾向は同じであるが、K. Bebungの方がK. Blongkengよりも濃度が高い。これは、比流量の大きさと逆の傾向であり、また、ここでは示していないが、南西面における標高600m以下の井戸水の濃度と比較しても、K. Bebungの標高700～900mの間の値は明らかに高い。この原因として、K. Bebungの流域に火砕流堆積物が分布することが考えられるが、ここでは当地域の火砕流堆積物の組成に関するデータがないので、明かではない。

いずれにしても、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SiO}_2$ の3成分とも、比流量の大きい区間で濃度が高くなっており、比流量の大きい区間では、これらの成分が高濃度の地下水が流出していることになる。このような高い濃度の地下水の起源が火砕流堆積物によるものか、あるいは深層地下水からくるものであるかという点を明らかにすることが必要であろう。

### 4. おわりに

メラピ火山南西面における、2つの河川の縦断方向での流量および水質の変化について考察した。火山体における河川の流出形態は、火山噴出物の堆積状況によって規定される面が大きく、縦断方向であれ横断方向であれ、きわめて局所的な傾向を示すと考えられる。本報告では、堆積物の具体的な分布形態に関する知見を考慮せずに考察した。したがって今後は、河川流出の量的・質的なデータに加えて、火山噴出物の量的・質的分布、堆積構造等の知見を総合したうえでの水循環の解釈が課題である。

#### 引用文献

- 井倉洋二・吉村和久（1992）：山地小流域における渇水期の流出特性と水質特性。九大演習林報告66：31～44
- 丸谷知己・ムハマド ヌルディン・執行さや香（1993）：メラピ火山におけるガリー侵食の発達プロセス。九大演習林報告68：61-72
- 沼本晋也（1993）：インドネシア・メラピ火山南西山麓における浅層地下水(Ⅱ)。平成5年度砂防学会研究発表会概要集：285-288
- 芝野博文（1993）：火山体における水循環機構のモデル化。平成5年度砂防学会研究発表会概要集：281-284

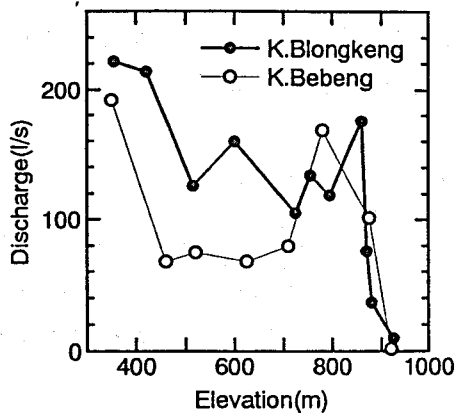


図2 河川の標高による流量の変化

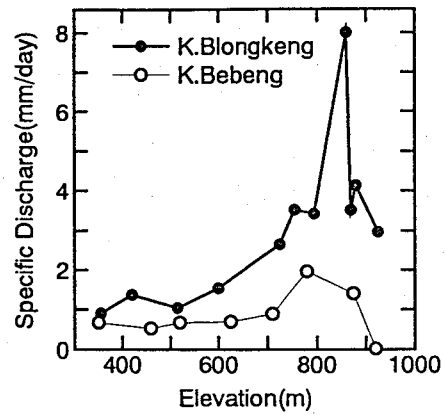


図3 河川の標高による比流量の変化

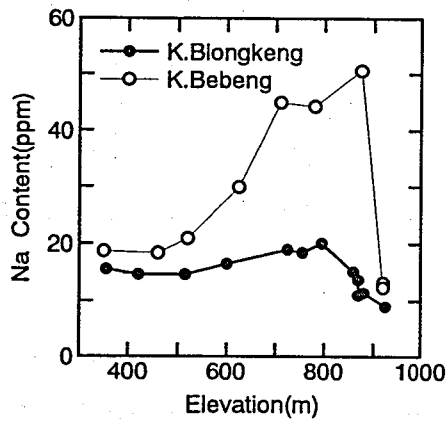


図4 河川の標高によるNa濃度の変化

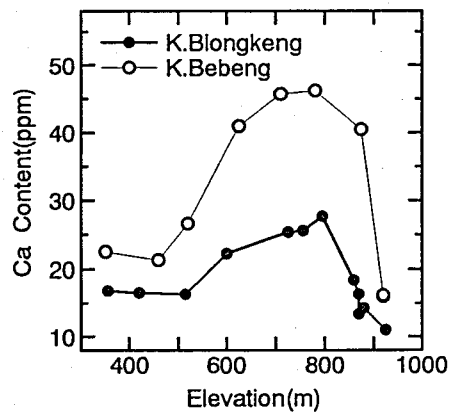


図5 河川の標高によるCa濃度の変化

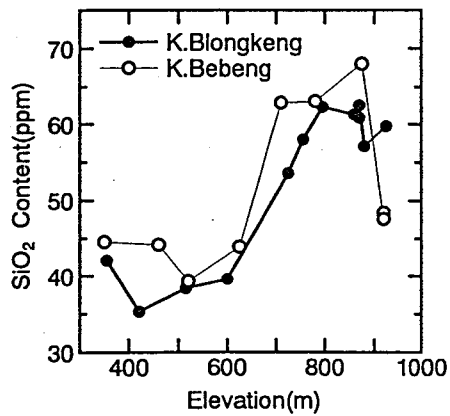


図6 河川の標高によるSiO<sub>2</sub>濃度の変化