

P7 インドネシア・メラピ火山南西山麓における浅層地下水

東京大学農学部 ○沼本晋也・芝野博文

1 はじめに

1. 1 試験地の概要

試験地は、インドネシア国ジャワ島中央の古都、ジョグジャカルタの北約25kmに位置するメラピ火山山麓である。メラピ火山は、その溶岩ドーム形成と火砕流発生の特殊性からメラピ型火山として名を知られる、世界で最も活発な火山のひとつである。火山体の地質は、溶岩舌や溶岩ドームを形成して山頂部を占める高粘性の安山岩と、火山の裾野を占める火砕流堆積物・ラハール堆積物からなっている。また、地形の特徴からみて、おおよそ Woro R. と Apu R. を結ぶラインを境にして、北東部を占める古い火山体と南西部を占める新しい火山体のふたつに分けられる¹⁾。また、南西麓ではその地域の水分状態によって約600m-800mの上限をもって水田が分布している。

1. 2 地下水流動系について

地下水流動系の収支式は $R = F = D$ で表される (R: 地下水涵養量、F: 地下水流動量、D: 地下水流出量)。各項は、降雨・蒸発散(・灌溉)の影響を受け、その変化は地下水水位に現れてくる。メラピ南西麓のような広域の対象地域を考える場合、地下水も大きくいくつかの地下水流動系に分けられ、地表水と同様に上述の収支式を保ちつつ流下しているものとも考えることもできる。

1. 3 本研究のねらい

本研究では、火山体一特に火山性の火砕流堆積物や溶岩流堆積物により占められる新しい火山体一における地下水流動系の解明を目標としている。具体的には河川及び灌溉排水システムを含む地表水と地下水、そして両者の接点である湧水を対象として、これらの平面的分布・流量・水質を調査することによって、短期・浅層の地下水流動系を明らかにする。本調査は、メラピ南西山麓の Pabelan R. ~ Krasak R. を含む標高約300m-1000mの地域で、乾期にあたる1991年7月~9月及び雨期にあたる1991年12月~1992年1月に行なった。

2. 調査方法について

2. 1 地下水調査と解析の概要

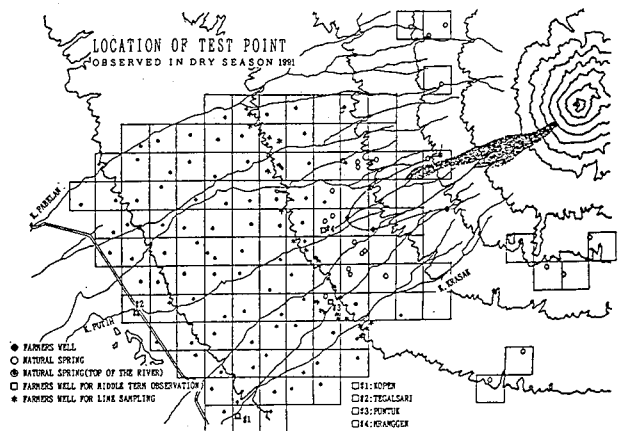
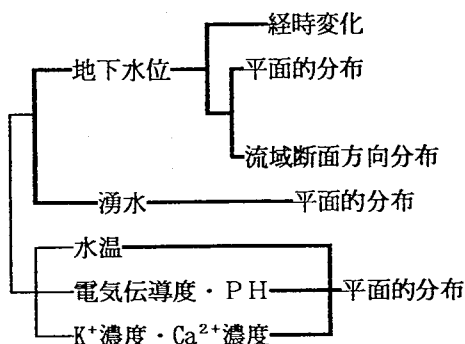


図1 調査地全図

2. 2 1991年乾期に行なった調査

①地下水流動系の大略の区分けをするために、流域内の1 kmメッシュあたり最低1点のサンプリングポイント（農家の井戸・湧水点；図1、●・○）をを設け、計123メッシュの区域で水位・水質調査を行なった。水質調査の項目は、水温・電気伝導度・PH・K⁺濃度・Ca²⁺濃度である。井戸水は桶で表層水を採取、水温・電気伝導度・PH・K⁺濃度・Ca²⁺濃度を測定した。②乾期における対象地（Pabelan R.～Krasak R.）内の地下水面の傾きを知るため、600m等高線付近において地下水位のラインサンプリングを行なった（図1、*）。③乾期における対象地内での自由地下水面の経時変化を知るため、Krasak R.とPutih R.の近傍の中流（標高600m）と下流（標高350m）付近にそれぞれ1点ずつ計4点、地下水位の定点観測を行なった（図1、□）。

2. 3 1991年雨期に行なった調査

1991年乾期に行なった調査項目を再び行い、加えて水の起源やその経路の区分けをより明らかにするために、雨水の場所による水質の特徴を知る必要があると考え、メラピ山南西麓を中心に計8点で雨水水質測定を行なった。

3. 調査結果と考察

3. 1 広域調査

水位及び水質の各データのメッシュマップから Pabelan R., Blongkeng R. 及びBebeng R., Krasak R. 流域に対してPutih R. 流域が示す特殊な性質が読み取れた。中でも水位, E.C., PHの項目では乾期・雨期を通して、以下の特徴が指摘できる。水位は乾期6-8m・雨期0-4mと、ともに両隣の流域に比べてPutih R. 付近でまとまっている。さらにPutih R. 近辺でE.C.は低い値を示し、PHは6.0~6.5と酸性よりの値を示した。またPHについては、乾期の時に雨期よりも酸性が強い区域が多くあった。一例として乾期の水位, E.C., PHを図2に示す。

3. 2 雨水水質調査

メラピ山域での雨水のE.C.は地下水や河川水のそれよりも1~2オーダー低く、PHは5.5~6.5の酸性雨であった。また、K⁺, Ca²⁺濃度はごく低い値であるということが認識された（図3）。標高ごとに見てゆくと、標高の高い地点ほど若干E.C., PHが低くなるようである。また、斜面方向によつての違いは見いだせなかった。

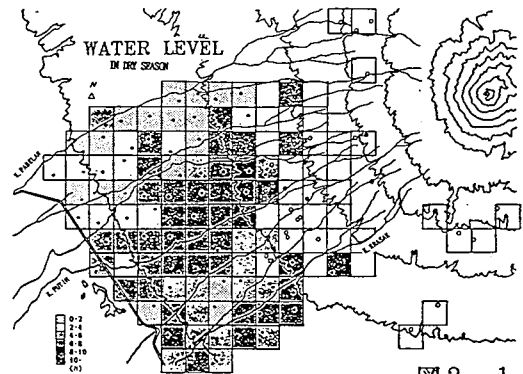


図2. 1

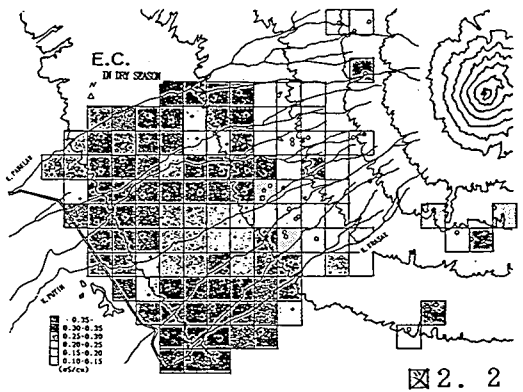


図2. 2

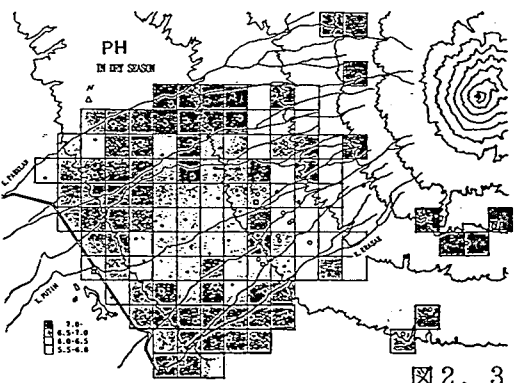


図2. 3

3. 3 浅層地下水水位の等高線沿い分布、及び観測井水位の経時変化

標高600mの等高線付近での地下水位の分布を乾期雨期の両時期に調査した結果(図4)、帯水層の等高線方向断面として乾期におけるプロット(DRY)をみるとPutih R.及びBlongkeng R.へと流れこむ傾向にある区域の存在がうかがえる。Blongkeng R.からKrasak R.にかけて一つの大きな尾根部を形成しており、Blongkeng R.からKrasak R.の間には、Putih R.にむかう窪みが見られる。また、雨期には特にPutih R.流域付近の水位が上昇傾向にあることから、この区域に早い流出部分が存在することが示唆される。さらに4点のうち標高600m付近の2点(#3 PUNTUK、#4 MRANGGEN)の観測井水位の経時変化(図5)から減水期の平均水位低下を計算したところ、灌漑の影響の少ない標高600m付近の観測井においてPutih R.流域では2.03cm/dayと、Krasak R.流域の0.49cm/dayのおよそ4倍の水位低下を示した。また#4 MRANGGENでは雨期に約5mもの水位上昇があり、Putih R.流域の浅層地下水流動系は、降雨により素早く涵養され、その貯留量は大きいことがわかる。

3. 4 考察

本研究における広域調査の結果から、特に上流部分を火砕流堆積物に覆われたPutih R.流域の地下水が、他の流域のそれに対して特殊な性質を示し、しかも早い流出成分を形成していることが推測された。この性質はごく浅層の地下水流動系の存在を示唆していると考えられ、本調査で併せて行なった雨水水質・井戸水の深度毎の水質測定の結果とも比較しさらに解析してゆけものと思われる。

以下、地下水流動系について仮説を交え大胆に論旨を展開する。調査地中央の5河川の地表面での流域(図6)をみていくと、どれも細長い形状をしているが、新しい火砕流堆積物で占められているPutih R.、Bebeng R.流域と、これらよりも古い年代に形成されていたと見られるBlongkeng R.、Batang R.、Krasak R.流域の2種類に大別できる。これらをTYPE-I、IIとする(図7中)。TYPE-Iは無降雨期にはほとんど地表流を発生しないが、雨期には降雨に対応して流域下部で素早く地表流が形成される。ここで、火砕流堆積層はきわめて透水性が良いという性質を確認できる。TYPE-IIは通年安定した流量を維持している。雨期には大降雨に対応して増水し、その変化は緩やかであることが観察により確認された。この流域の

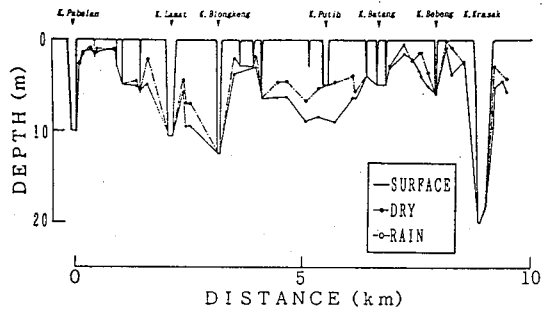
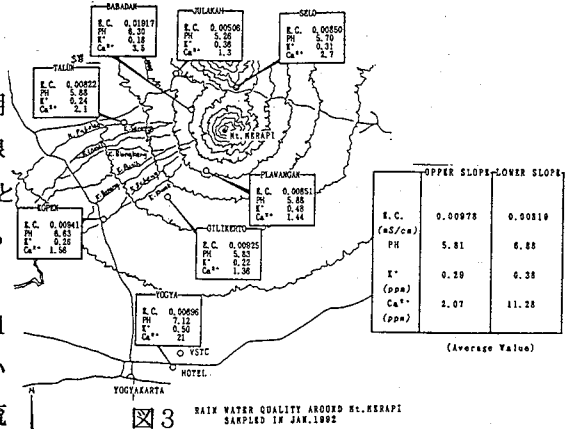


図4 CROSS SECTIONAL GROUND WATER LEVEL ALONG 600m CONTOUR LINE

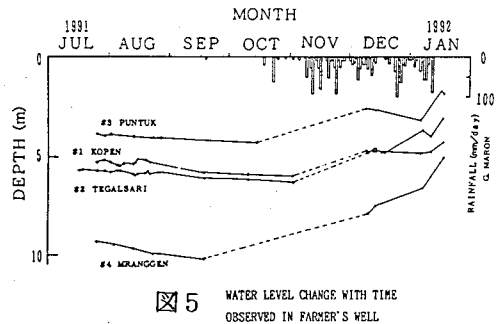


図5 WATER LEVEL CHANGE WITH TIME OBSERVED IN FARMER'S WELL

流量は、安定した地下水起源のもので、ある程度豊かな涵養量があると考えられる。これはおそらくTYPE-IIの流域の上流部に重なり新たに形成されたTYPE-Iの流域の堆積物の層を透下した水が涵養源であり、過去に形成されたTYPE-IIの集水域（現在はTYPE-Iの下）内のもと考えられる。これは火砕流堆積物が現在のTYPE-Iの流域を形成する以前の地形図において、TYPE-IIの河川名が記入されているのに対しTYPE-Iの記名は無くごく小さな河川として扱われていることから裏付けられる。

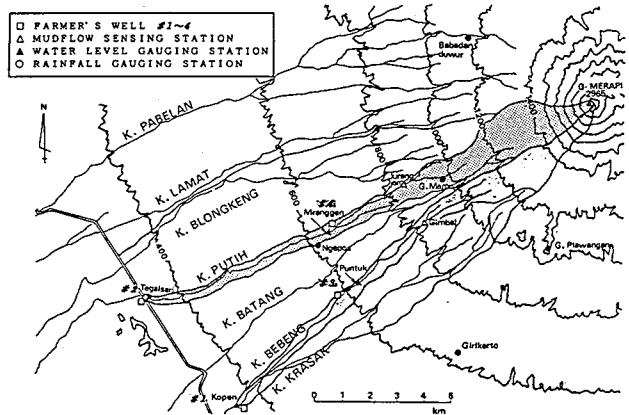


図6 流域区分図

これら5河川についてそれぞれの流動系間での地下水受け渡しの関係を表した火山体上部斜面タンクモデルを、図7右に示す。記入されている水位は無降雨期のものである。雨期にPが増大するとTYPE-Iの流域(1, 2)からの大きな流出量が流域下部で地表流として発生する。ただしこのモデルはあくまで上部斜面のもので標高800m付近から下流では前述したような広がり断面を持つ浅層地下水流動系が存在することを考慮しな

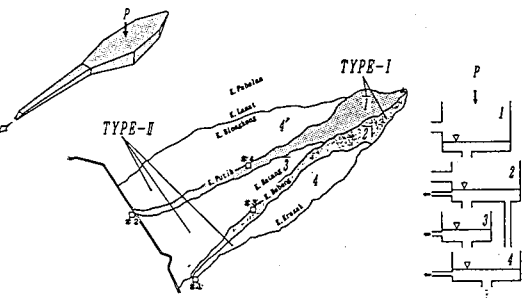


図7 流域と流動系の概念図

ければなるまい。また図7左は新しい堆積物からなるTYPE-Iの、地表流を形成する流動系の概念図である。典型的な成層火山の排水機構のうち涵養域となる山体上部斜面は、地質構造との関係が密接であると考えられ、このユニットの積み重なった構造で表現できよう。ただし、中下部斜面の排水機構についてはやはり、さきに述べた浅層地下水流動系の存在が考慮されなくてはならない。

4 まとめ

本研究の結果、火山体浅層地下水について①火山体斜面における浅層地下水流動系は、火砕流の堆積物からなる薄く、細長い流動系の重ね合わさった形をとる。②乾期に安定した地表流出を形成している流域では、その上部に重なった浅層地下水流動系が涵養源となっている。③地表面下の浅層地下水流動系の流域は、過去の地形面に起源する形をとっており、必ずしも地表面流域とは一致していない、といった性質が示された。さらに今後、この浅層地下水についてより詳しい構造の把握のため、流動系の貯留能（容量）や滞留時間を明らかにしてゆくことが重要である。

謝辞

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。関係各位に謝意を表す。またE. C. PHに関しては東京農工大、窪田順平助手から測定機器を貸して頂きここにお礼を申し上げる。

参考文献

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