

雲仙火山下の熱水活動シミュレーション

Non-isothermal flow simulation of Unzen Volcano

齋藤 龍郎 [1]; 浅森 浩一 [1]; 梅田 浩司 [1]

Tatsuo Saito[1]; Koichi Asamori[1]; Koji Umeda[1]

[1] 原子力機構

[1] JAEA

1. はじめに

火成活動が地質環境に及ぼす影響としては、マグマや高温岩体などから放出される熱エネルギーによる周辺岩盤の温度上昇のほか、熱水対流系の形成による地下水理の変化、火山ガスや熱水などの混入による水質の変化などが想定されている（原子力安全委員会，2002）。

火成活動に伴う熱水及び地下水理の変化を定量的に把握するため、マグマ溜りの周辺岩盤の熱や地下水理などを計算するための解析コード Magma2002 の開発を行った。このコードは、地熱シミュレータ FIGS3C（Hanano and Seth, 1995）をベースにして、冷却過程で比熱や流動性が変化するなどの特徴を持つマグマ溜まりが周辺に及ぼす影響を計算できるように改良したもので、三次元非定常熱・水連成解析を行うことができる。今回、島原半島の雲仙火山およびその周辺を対象に、このコードを用いた火山下の熱輸送や温度構造の感度解析を実施した。

2. 解析方法

Magma2002 開発のベースとした FIGS3C は主として地熱貯留層の開発以前の状態および開発に対する応答を再現することにより地熱貯留層の数値モデルを作成し、地熱貯留層と地熱流体生産量の将来の挙動を予測するために使われてきた。

FIGS3C は地熱貯留層内の熱と流体の質量に関する保存則を微分形式で解く。一方、Magma2002 は保存則を次式の積分形式で表し差分化（Integral Finite Volume Difference）して、温度や圧力を未知数としてその時間発展を解く。

$$d(\int G^k dV)/dt = \int F^k \cdot n dS + \int q^k dV$$

ここで V は解析領域内の任意の三次元領域、 S はその領域の表面、 n は領域表面における内向き単位法線ベクトル、 t は時間 [s]、 k は質量に関する量か熱に関する量を示すインデックス、 G は単位体積あたりの質量 [kg m^{-3}] または熱量 [J m^{-3}]、 F は質量流束 [$\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$] または熱流束 [W m^{-2}]、 q は単位体積あたりの質量の湧き出し量 [$\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-3}$] または熱の湧き出し量 [W m^{-3}] である。Magma2002 ではグリッドをデカルト座標系格子状、円柱座標系格子状のほか任意の形状にできる。さらに、Magma2002 では解析領域内の任意のグリッドの比熱、熱伝導率、熱の吸い込み量などを温度の関数として考慮できるように改良した。これにより、冷却過程で比熱や流動性が変化するマグマ溜まりが周辺に及ぼす熱と地下水理の影響を計算できる。

解析モデルの作成に当たっては、火山体の直下にマグマ溜りが存在すると仮定して、モデル化を行った。なお、雲仙火山周辺の震源分布や地震波速度構造の結果によると、火山体の直下にマグマ溜りが存在することが示唆されている（浅森・趙，2001）。

解析領域は東西 41 km × 南北 41 km × 深さ 25 km とし、デカルト座標系格子状に分割した。格子幅は水平方向に 1 km、深さ方向に 0.2~1 km で、格子数は東西方向 41 × 南北方向 41 × 深さ方向 33 である。この領域の中心（雲仙火山）の直下に 5 km 四方の立方体と仮定した 1000 のマグマ溜りを設定した。解析は、マグマ溜りの深度（上面深度）と母岩の浸透率を考慮した CASE1~4 の 4 つのケースについて計算を行った。マグマ溜りの温度は一定とし、定常状態とみなせる 50 万年後または 100 万年後まで計算した。なお、上部境界は地表面を固定水頭境界で自由浸出面とし、マグマ溜りは不透水とした。

解析モデルの概要

[CASE1]

マグマ溜まり上面深度：20km

母岩浸透率： 10^{-18}m^2

[CASE2]

マグマ溜まり上面深度：20km

母岩浸透率： 10^{-17}m^2

[CASE3]

マグマ溜まり上面深度：10km

母岩浸透率： 10^{-18}m^2

[CASE4]

マグマ溜まり上面深度：10km

母岩浸透率：深度 3km 以浅で 10^{-15}m^2 マグマ溜まり上面で深度 3km 以深 10^{-16}m^2 その他 10^{-17}m^2

3. 解析結果

解析結果については、既存の坑井データから計算した熱流束との比較を行うことによって、解析の妥当性が検討できる。雲仙火山周辺に存在する坑井4本から得られた温度プロファイルを用いて、Clauser and Villinger(1990)の一次元熱輸送モデルにより熱移流を考慮した熱流束を計算した。坑井4本の熱流束の平均(0.14Wm^{-2})に対して、マグマ溜まりが浅い場合(CASE3)には $0.13\sim 0.17\text{W m}^{-2}$ と計算され、観測結果とほぼ一致する。今回の解析結果(CASE1~CASE3)は、坑井温度プロファイルから求めた熱流束をおおむね再現したものと考えられる。

引用文献

- ・原子力安全委員会(2002):“高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について”, 21p.
- ・Hanano, M. and Seth, M.S. (1995): Proc. World Geothermal Congress 1995, Florence, Italy, 3, pp.1681-1686.
- ・浅森浩一, 趙大鵬(2001): 地球惑星科学関連学会 2001年合同大会予稿集, Jp-033.
- ・Clauser, C. and Villinger, H.(1990): Geophys. J. Int., Vol.100, pp.393-414.