

円筒モデルで近似した貫入マグマの冷却過程

—Excelによる差分法—

兵藤 博信*・澤田 順弘**

*岡山理科大学フロンティア理工学研究所

**島根大学名誉教授

要約

差分法でマグマ貫入後の冷却過程を単純な熱伝導のみを仮定して計算した。マグマの貫入は固結の際に潜熱を放出する複雑な過程である。一方、熱伝導は非常にゆっくりとした過程であるため短時間の変化は結果的に大きな影響を受けない。得られた結果は直径約200mの円柱状の貫入で近似した場合中心部の温度は20数年程度までリキダスの上であり、中心部が溶けた状態のままであることを示す。

円柱状モデル

通常は無限遠円筒の熱拡散方程式は二次元で表されるので

$$\frac{1}{\kappa} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

であるが、円柱座標で表すと解に方位角依存性はないので半径 r のみの式で表現でき

$$\frac{1}{\kappa} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

と書きかえることができる。ここで κ は熱伝導率、 T は温度をあらわす。これにExcelを使った差分法を用いて計算した。

火山噴出口の上部は逆円錐状であるが周囲の岩体に及ぼす最低限の熱的影響を見積もる目的では火口の大きさを最小径とする円柱に近似することができる。火口より広い上部はさらに大きな熱容量を持つため実際の冷却過程の間はより長くなるからである。モデルでは無限遠の円柱であるが熱伝導は非常にゆっくりとした過程なので有限の大きさであっても周りからの冷却の速度は、ある程度の高さ（半径と同等）があれば中心付近では無視できる程度である。

表1に計算に用いた物性定数を示す。マグマは温度の高い玄武岩質を仮定した。1図に半径100 mの溶岩が噴出し、それ以後のマグマの供給がない場合の冷却過程を火口中心からの距離を横軸にした温度分布を示す。100 m程度で中心部の温度は20年程度貫入時の温度に保たれる。実際の噴出過程では、溶岩のが追加的噴出や固化する時の潜熱放出は温度を高く保つ方向に働く。一方周りの岩石の地下水分布等は溶けた状態を短くする方に働く、しかし実質的な流体の体積はそれを含む岩石の数%程度であり、また溶岩は最初に貫入した段階で、周囲の地下水をかなり強く気化・蒸発させるため水中のような流体の供給が連続しない

限り冷却にはあまり寄与しない。溶岩内部の冷却過程をみるのに潜熱の影響を考慮する必要がある。それには結晶化を伴うソリダスーリキダスの温度範囲の複雑な放熱過程をモデル化しなければならない。ここでは最低限の冷却過程をモデル化するため潜熱の放出は無視した。

表1 玄武岩質マグマの冷却過程に用いた物理定数

| | | |
|--------|-----------------------|---|
| 円柱の半径 | d | 100 m |
| 貫入温度 | T _{int} | 1150 °C |
| 母岩温度 | T _{amb} | 20 °C |
| 密度 | ρ | 2600 kg/m ³ |
| 比熱 | c | 1090 J/kg |
| 熱伝導率 | κ | 2.243 W/m/K |
| 潜熱*1 | L | 0 J/kg |
| 熱拡散率 | α=κ/ρc | 7.91×10 ⁻⁷ m ² /sec |
| 時間ステップ | Δt | 15 day |
| 空間ステップ | Δr | 2 m |
| 無次元量 | αΔt/(Δr) ² | 0.260 |

*1 最低限の温度上昇を見積もるため溶岩の潜熱による温度上昇を無視する

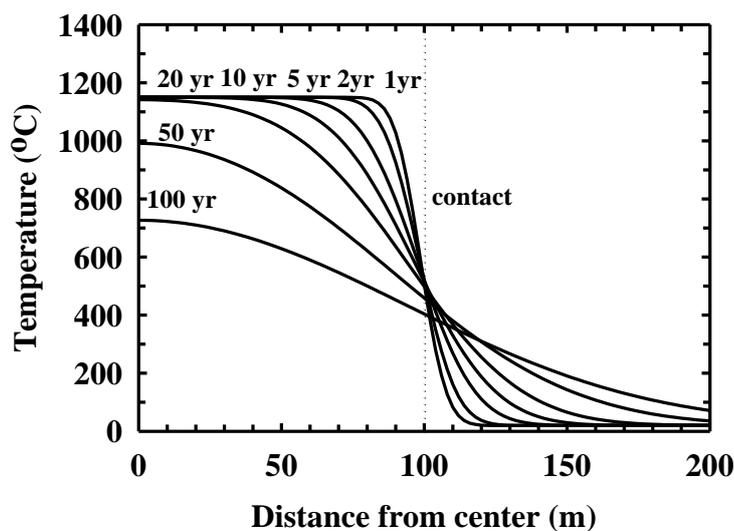


図1 半径100 m の円筒状の玄武岩質溶岩の冷却過程.

まとめ

数か月程度の噴火による溶岩主要部の冷却は熱伝導の時定数が長いために円筒状モデルで十分近似できる。今回は100mで計算を行ったが、時間は円柱の半径の二乗に比例して長くなる。半径が2倍になれば時間は4倍になると言った具合である。また玄武岩質マグマの1150°Cを仮定したが、接触部から数 m の範囲の上昇温度がちょうど古地磁気のキュリー温度にかかる前後であるため、古地磁気のコンタクトテストの判別に用いることができる。