

## 沸騰熱伝達は溶岩の冷却と形態にどのような影響を及ぼすか？

## Effects of boiling heat transfer on the cooling and morphology of lava

# 海野 進[1], 日高 政隆[2]

# Susumu Umino[1], Masataka Hidaka[2]

[1] 静大・理・生地環, [2] 日立電開研

[1] Dept. Bio. and Geosci., Shizuoka Univ., [2] Power &amp; Industrial Systems R&amp;D Laboratory

[www.sci.shizuoka.ac.jp/~geo/Staff/Umino\\_j.html](http://www.sci.shizuoka.ac.jp/~geo/Staff/Umino_j.html)

溶岩流が浅海底で噴火したり、陸上から水中へ流れ込んだ場合、高温の溶岩表面付近では沸騰した水が安定な水蒸気膜を形成する“膜沸騰”現象が起こると期待される。膜沸騰では桁違いに熱伝達率が低い蒸気膜によって溶岩表面が“保護”されるため、沸騰が起こらない臨界圧以上の深海底に比べて溶岩は圧倒的に冷えにくい、とされている。膜沸騰が起きた場合、このような溶岩表面における熱伝達率の違いが冷却にどのような影響を及ぼすかを定量的に評価するために、1気圧における水の沸騰熱伝達の熱流束を溶岩表面の温度の関数として定式化し、溶岩表面付近が冷却する過程を計算した。さらに、Fink and Griffiths (1992)による臨界圧以上の深海底における冷却モデルと比較して、沸騰熱伝達が溶岩の冷却に及ぼす効果を考察した。

熱伝達は、1気圧では沸騰+自然対流+放射、深海底では自然対流+放射によって起こるケースを想定して熱流束を求めた。1気圧における純水の熱物性値は伝熱工学資料(日本機械学会編、改訂第四版)にあるものを用い、水深1000-4000mにおける海水と玄武岩溶岩の熱物性値はFink and Griffiths (1992)のものを用いた。周囲の水温を摂氏5度、溶岩の初期温度を摂氏1150度とし、結晶化の潜熱は考慮していない。溶岩表面における過飽和度が16-220度の核沸騰から遷移沸騰領域を除くと、全温度領域にわたって沸騰を起こさない臨界圧以上の条件下の方が熱流束、熱伝達率ともに2倍から1桁以上大きい。どちらの場合も溶岩の表面温度は冷却開始とともに急速に低下するが、1気圧では30分経過した後も膜沸騰状態が続き、表面温度は自然対流のみに比べて200度以上高い状態が続く。安定した水蒸気膜の存在により、熱伝達率は沸騰を起こさない場合の方が数倍以上大きい。しかしながら、溶岩内部の温度低下が始まる冷却フロントの深さと溶岩表面からの熱流束は、どちらの場合もほとんど変わらない。これは沸騰を伴わずに自然対流+放射によって冷却される場合には、溶岩表面の温度が高く熱流束が非常に大きい初めの数秒間の温度低下が著しく、すぐに温度が下がってしまうために熱流束があまり高くない状態が長時間続く。沸騰熱伝達の場合は、溶岩表面における膜沸騰により熱伝達率は低いながらも表面温度が長時間にわたって高温に保たれるため、表面からの熱流束は沸騰を伴わない場合よりもわずかに低い程度になる。

このような冷却過程の違いは、溶岩表面付近における温度分布の差異を生じる。沸騰を伴わない場合は表面付近の温度勾配が大きいため、低温の脆性クラストが厚く発達する。これに対して、沸騰が起こる場合には小さい温度勾配に応じて粘弾性クラストが比較的厚くなる。溶岩が冷却する過程で、低温の表面付近は脆性を示すクラストで覆われるようになる。脆性クラストには冷却節理が発達するため、強度は低い。このため溶岩クラストの強度は、主に粘弾性クラストによってまかなわれる。深海底の玄武岩溶岩には中空の溶岩ローブや陥没孔をともなうシート溶岩が多く現れるが、これは溶岩ローブが内部に供給される溶岩の圧力増加によって膨張する際、薄い粘弾性クラストは容易に引き延ばされて破砕し、内部の熔融状態の溶岩が流出してしまうためであると考えられる(Umino et al., 2002)。以上のことから、沸騰が起こる条件下では溶岩ローブの破壊が起こりにくく、深海底に比べて中空の溶岩ローブは生じにくいと考えられる。富士火山864年青木ヶ原溶岩やキラウエア火山1990-91年カラバナ溶岩はともに乾陸上から水中に流下した玄武岩溶岩で、膨張したパホイホイ溶岩ローブからなるが、深海底とは異なり中空の溶岩ローブは見られない。これは沸騰を伴う溶岩表面の冷却により、深海底に比べて厚い粘弾性クラストが発達したためと説明できる。