

噴気蒸気及び温泉水の水素と酸素の安定同位体比及びトリチウム濃度から推定される九重硫黄山におけるマグマ性流体の流出過程

Discharge processes of magmatic fluids at Kuju-Iwoyama Volcano inferred from D, O-18 and T of fumarolic steam and hot spring water

北岡 豪一 [1]

Koichi Kitaoka [1]

[1] 京大・理・地球熱学研

[1] Beppu Geothermal Res. Lab., Kyoto Univ.

九重硫黄山から流出する噴気蒸気及び温泉水につき、水蒸気爆発前の5年間にわたり、水素と酸素同位体比及びトリチウム濃度を測定した。高温領域を天水が循環する過程で、天水の一部は蒸発しながら臨界温度付近に達し、上昇して地表付近で沸騰し温泉水として流出する。多くの部分はさらに臨界温度以上まで高温化し、深部からのマグマ性蒸気と混合して噴気として流出する状況が推定される。トリチウム濃度から推定される天水の滞留時間は、蒸気排出系で約5年以下、温泉湧出に関係する液体循環系で100年～200年である。滞留時間の著しい違いは、空隙を満たす二相流体と液体の違いで理解され、蒸気排出系が流動のメインシステムである。

九重硫黄山は、噴気蒸気中の水素と酸素の同位体研究から、同位体比の高いマグマ性流体が放出されていることが明らかにされており、また、マグマ性流体と天水との混合を示唆する直線的な同位体比間の関係も報告されている (Mizutani et al., 1986)。一般に、深部からのマグマ性流体は、表層部における天水の循環系をくぐり抜ける過程で天水の混入の影響を受ける。その過程を明らかにするため、噴気蒸気と噴気地から流出する温泉水について、1995年の水蒸気爆発直前の約5年間にわたり水素と酸素の安定同位体比及びトリチウムの濃度を測定した。その結果、噴気蒸気には、1960年前後に測定されたような同位体比の高い蒸気は見出されず、また、温泉水には天水に比べて同位体比の著しく高い水が含まれていることが知られた。トリチウム濃度は、噴気、温泉水ともに、浅層の循環水と同様のレベルであり、極端に濃度の低い蒸気や水は見出されなかった。これは、山体から流出する蒸気及び温泉水がいずれも循環性の天水の混入を強く受けていることを示唆する。

そこで、山体内部の気液二相系を含む天水の循環系における連続蒸発と沸騰を考え、同位体濃縮の過程を検討した。その結果、天水が蒸発しながら浸透し、水の臨界点まで達した後に上昇し地表近くで沸騰する場合に、その同位体比はローカル天水の取りうる最大値に達することを確認した。こうして求めた最大同位体比の値は、水素、酸素ともに、温泉水の実測同位体比の最大とほぼ一致する。また、温泉水の2,000ppmまでのCl濃度もそのような濃縮過程で合理的に理解される。これは、天水が少なくとも水の臨界温度までは液体として循環していることを示唆するものであり、さらに、臨界温度よりも高温の超臨界蒸気として循環する部分が存在することも示唆する。その一つの裏付けとして、1960年ごろに測定された噴気の同位体比に見られた成分間の直線的な関係は、マグマ性流体と天水（液体）との直接的な混合ではなく、こうして形成された天水の超臨界蒸気との混合を表すとみれば、合理的に理解されることである。また、噴気蒸気のCl濃度と各同位体比との関係においても調和的である。このように、火山体の内部では、マグマ性の流体と天水との混合が、主として、二相系よりも高温の超臨界領域で起こっていることが推定される。従って、同位体比の高い温泉水には、マグマ性流体の混入を必ずしも必要とせず、高温下における天水の循環系の範囲内で理解される。

一方、噴気蒸気のトリチウム濃度には、天水とマグマ性流体の混合の影響が含まれているはずである。Mizutani et al. (1986)のデータを基に、トリチウムを含まないマグマ性流体のCl濃度を8g/kgとして、マグマ性流体と混合する天水のトリチウム濃度を推定すると、浅層の循環系（冷湧水、河川水）とほぼ同じ値が得られる。これは、噴気蒸気中の天水の滞留時間が5年以下であることを示すものである。すなわち、天水が臨界温度以上まで高温化・蒸気化して下からのマグマ性の流体と混合し、さらに地表に達するまでの時間が短いことを示唆する。一方、温泉水のトリチウム濃度は、降水のトリチウム濃度よりも、幾分低い値を示す。そのようなトリチウム濃度は、100年～200年の長い滞留時間に対応する。山体内部には、流動の速い蒸気流出系と、それに比べて著しく遅い液体流出系とが考えられる。実際、水の流動する範囲として、水の臨界圧力程度までの深さ範囲を想定してみると、上記滞留時間の違いは、空隙を満たす水と二相系の密度の違いで理解されるものである。こうして、山体内部の流動系は、蒸気排出系がメインシステムであり、液体流出系がサブシステムになっていることが知られる。

ところで、1960年ころ流出していたような高い同位体比の蒸気が、少なくとも1995年の水蒸気爆発の前に、ほとんど出ていなかったことが注目される。当時は、深部からの蒸気は地表に至る通路の全域にわたり、水の平衡蒸気圧よりも高かったことが考えられる。これは、深部からのマグマ性蒸気の圧力が、少なくとも水の臨界圧力

よりも高圧で、浅層では周囲の二相系よりも圧力の高い状態にあったことを示す。水蒸気爆発の直前では、深部からのマグマ性蒸気は、二相系に入るまでに、すでに天水の混入を受け、水の臨界圧力以下に低下していて、二相系で周囲から天水の侵入を受けうる条件にあることが推定される。この数10年の間に生じたこのような状態の変化には、深部のマグマ性蒸気の貯気層で圧力の低下が起こったか、あるいは、深部貯気層の圧力に変化がないとすれば、上昇途中における透過性の低下が生じたものと推定される。なぜならば、噴気蒸気は、割れ目系通路を粘性支配で上昇していると考えられるからである。