

東北日本の背弧域での突発的火砕流噴火と火山災害評価

研究代表者：長橋 良隆¹⁾

研究分担者：片岡 香子²⁾

研究要旨

2013年度の共同研究では、山形県肘折カルデラの約1.2万年前の火砕流噴火を対象として、1) 火砕流堆積物と降下テフラ層の層相記載、2) 堆積物に含まれる軽石・火山ガラス・鉱物の岩石学的検討、3) 地形調査と地中レーダ（GPR）探査に基づき火砕流堆積物および二次堆積物の内部構造と堆積過程を明らかにした。この噴火は背弧域（日本海側）での突発的な火砕流噴火であり、本研究の成果は多雪地域かつ高流量の河川系への災害予測・対策のための基礎資料となる。

A. 研究目的

第四紀火山の数は一般的に火山フロント付近に集中し、東北日本脊梁部の十和田・岩手・蔵王・吾妻火山などは高頻度の噴火履歴をもつ。しかし、火山フロントより日本海側（背弧側）にも小規模なカルデラ活火山（肘折カルデラ・沼沢カルデラなど）が点在し、過去1万年で突発的に火山噴火を起こしている。このようなカルデラ火山は噴火の発生頻度は低いものの、堆積量が数km³を越える比較的規模の大きい火砕流をもたらす。また、背弧側での突発的噴火は、噴火の直接的影響だけでなく、多雪地域かつ流量の多い河川（例えば最上川水系や阿賀野川水系）への影響を考えると、噴火時・噴火後における火山災害が複合・複雑化することが懸念され、その実態の評価は重要である。本研究では、背弧側で起きた過去の火砕流噴火を、火山地質学と堆積学的手法の融合により読み解き、マグマ組成および火砕流噴火の発生機構や運搬・堆積過程を明らかにし、今後の災害予測・対策において基礎となるデータを構築する。

B. 研究方法

山形県大蔵村肘折カルデラ周辺に分布する火砕流堆積物および降下テフラ層の野外地質記載を行った。また、新潟大学災害・復興科学研究所現有の地中レーダ（GPR）を用いて火砕流堆積物や二次堆積物の地表からの深度と内部構造の検討を行った。

さらに、堆積物の鉱物組成および火山ガラスの主成分元素組成を検討した。分析は福島大学のSEM-EDSを用いた。また、堆積物の粒径分布を明らかにするため乾式篩い分けを行った。

1) 福島大学共生システム理工学類 2) 新潟大学災害・復興科学研究所

C. 研究結果

地質記載：肘折カルデラ周辺は、約1.2万年前に噴出した谷埋め型の火砕流堆積物が火砕流台地を形成する（図1）。肘折火砕流堆積物はカルデラから南に約4km、北に約8km、東西に約7kmの範囲で分布する。堆積物の層厚は100mを越える場所がある。火砕流堆積物は塊状で、砂質火山灰の基質部に軽石が散在する層相を呈する。部分的に軽石濃集層がレンズ状に挟在する。一般に軽石の発泡は悪い。基質部はシルト分に乏しく、含まれる火山ガラスの形状は中間型・多孔質型が多い。カルデラ西方約2.5 kmに位置する湯の台では、層厚9m以上の火砕流堆積物の上位に波長2~10m、波高0.5~1.5m程度のclimbing dunesを示す層厚9m程度の細礫~中礫サイズの軽石礫層が累重する。これは火砕流からサージへと漸移的に変化したことを示す。一方、カルデラから北北東1.5 kmの地点で見られる、層厚4.5m以上の火山碎屑物シークエンスは、層厚数cmから数10cm程度の火山碎屑性の中粒~粗粒砂層、細礫層、細粒砂層が互層状を呈し、平行層理、低角度の斜交層理、outsized clastをともなう。また希に火山灰質シルト薄層を挟む。下位の火砕流堆積物との関係からも、これらは火砕流台地上に発達するラハール堆積相と判断できる。

降下テフラは、層厚が数10cm程度で、主としてカルデラより東側に限定的に分布する。尾花沢市大石田（肘折尾花沢テフラ層）では、全層厚60cmで、大きく4つのユニットに分かれる。最下部は、層厚10cm、細粒砂サイズから極粗粒砂サイズへと逆級化する火山灰からなり、径数mmの軽石を含む。下部は、層厚6cm、径1cm以下の軽石からなり、比較的淘汰が良い。少量の石質岩片を含む。中部は、層厚12cm、粗粒砂サイズの火山灰を主体とし、径数cm（最大径4cm）の黄白色軽石が散在し、石質岩片を含む。上部は、層厚32cm、粗粒砂サイズから極粗粒砂サイズの火山灰を主体とし、径数cmの軽石と石質岩片が散在する。

GPR探査：GPR探査機器はSensors & Software社製Pulse EKKO PRO（1000V）を使用し、アンテナは100MHz（アンシールド型）を用いた。堆積物の横断方向および縦断方向へ50mから500mほどの複数の側線を取り探査を行った。また、CMP法を行い求めた地中での波の伝達速度は0.05~0.08 m/nsであった。

探査では、波の浸透が良いところでは、表層から深度12m程度までの堆積物の内部構造を反映するGPR断面を得た。露頭でサージ堆積物が認められた湯の台周辺では、GPR断面に（見かけの）波長20~40m、波高1~1.5mの起伏を持った反射面が認められた。この波長の長い反射面は側方への連続性が非常に良く、上位・下位の反射面と形状が調和的で、堆積物が上方もしくは側方へ付加した際の構造を示すと考えられる（図2a）。一方、ラハール堆積物が見られた地点でのGPR断面中の反射面は短波長で、低角度または高角度で斜交し、側方への連続性が悪い（図2b）。このことは、浅いチャンネルの埋積や堆積物の側方付加による構造を反映していると解釈できる。いずれの地点でも下位にある火砕流堆積物の深度には、GPR断面では明瞭な反射面が見られない。これは塊状でほぼ無層理の堆積物の特徴を反映するものか、もしくは火砕流堆積物中での波の減衰によるものと考えられる。

火山ガラスの主成分元素組成：肘折火砕流堆積物と肘折尾花沢テフラ層に含まれる軽石と火山灰について、火山ガラスの主成分元素組成分析を行った（図3）。火砕流堆積物および降下テフラ層ともに、SiO₂が76.5-78wt.%の非常に狭い組成範囲にある。FeO*・CaO・MgOについても、それぞれ0.6-1.4wt.%、1.0-1.4wt.%、0.1-0.3wt.%の領域に集中し、火砕流堆積物と降下テフラ層とに違いは認められない。K₂Oは、3.2-3.9wt.%の領域にあるが、火砕流堆積物の方がやや高い領域にプロットされ（図3）、降下テフラ層とはやや異なる。

なお、軽石の鉱物組成は、火山ガラスと斜長石、少量のマフィック鉱物と微量の石英からなる。マフィック鉱物は、緑色の普通角閃石を主体とし、少量の斜方輝石と鉄鉱物からなる。この鉱物組成は、火砕流堆積物も降下テフラ層も同じである。

D. 考察

肘折火砕流堆積物の分布域には、ラハール堆積物の分布が極限られ、多くの地点では、火砕流堆積物、サージ堆積物および降下火砕物が台地の最上部までを占め、その上を数10cmの黒ボク土が直接覆う。このことは、噴火後のラハールの発生が抑制されたことを示す。肘折火砕流堆積物はシルト分に乏しく、一般的な火砕流堆積物よりも砂質で淘汰が良い。また、火砕流台地にはリルやガリー侵食が顕著でない。そのため堆積物の透水性が良いことが予測され、降雨による火砕流台地上での表面流水の発生が抑制された可能性が高い。

火砕流堆積物は含まれる軽石の発泡が悪く、基質部の火山ガラスが中間型・多孔質型である。これは噴火時の破碎作用においてシルト分などの細粒物質があまり生産されないような、均質かつ径の小さい気泡の発達を示しているのかもしれない。

火砕流台地上からのGPR探査では、波の浸透が比較的良好であった。また、GPR断面と実際の露頭でのすり合わせを行った結果、火砕サージ堆積物とラハール堆積物はそれぞれ特徴的で差異がある。一般に、火山地域では、電磁波の浸透深度や画像の質（ノイズ）に影響を与えるような磁鉄鉱・鉄酸化物の高い含有量や、細粒分を含んだ湿潤な火山灰質ローム層の被覆、堆積物中の極細粒火山灰、が存在する。しかしながら、肘折火山噴出物は珪長質で細粒物質の中に含まれる磁鉄鉱などの含有量はそれほど多くはないこと、波を急激に減衰させる要因となる細粒なローム層が発達しないこと、シルトなどの細粒分に乏しいことから、GRP探査に適した条件が揃っていたと考えられる。

E. 結論

火砕流堆積物と降下テフラ層の層相記載、堆積物に含まれる軽石・火山ガラス・鉱物の岩石学的検討から、肘折噴火による火砕物の特徴が明らかとなった。また、GPR探査からは、サージ堆積物やラハール堆積物の区別が可能である。本調査地域には地すべりが多発するが、多雪地帯であることに加えて、火砕流・サージ・ラハール堆積物の分布が関連していると思われる。GPR探査では、この分布が広域に明らかにできるため、火山地域に潜在的に存在する複合災害の素因についてより詳しく検討できる。

F. 研究発表

片岡香子・明野智一・長橋良隆（2014）肘折カルデラ周辺における火砕流・サージ・ラハール堆積物の地中レーダ探査。日本堆積学会2014年山口大会，山口大学2014年3月。



図1. 肘折火砕流堆積物（上半部はclimbing dune構造が発達するサージ相）

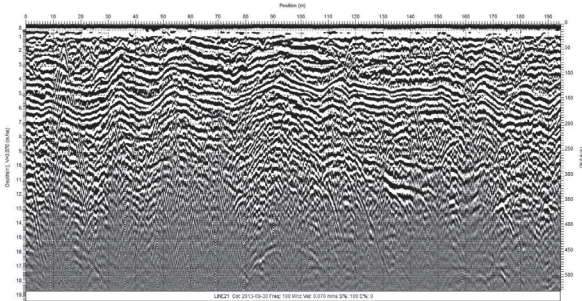


図2a. 火砕サージ堆積物のGPR断面

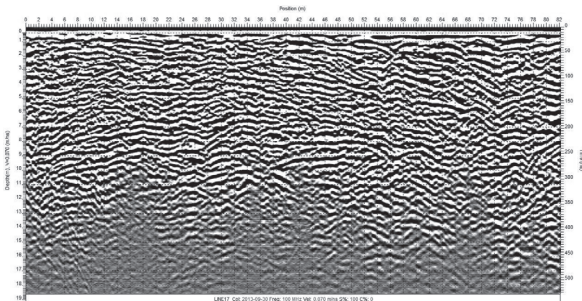
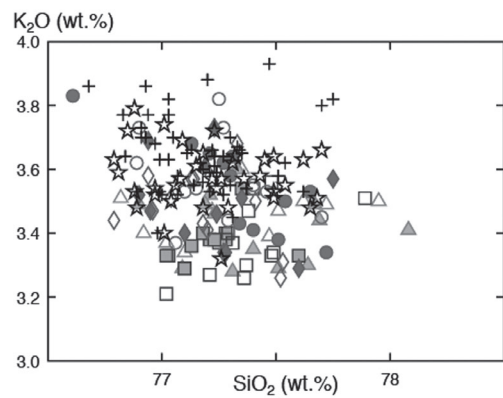
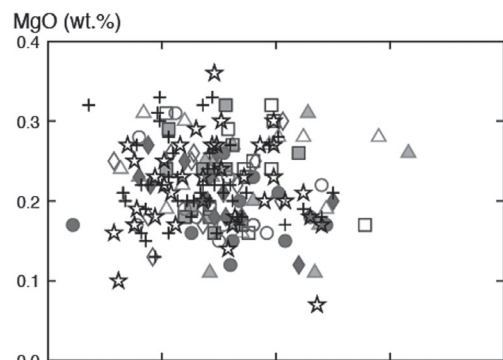
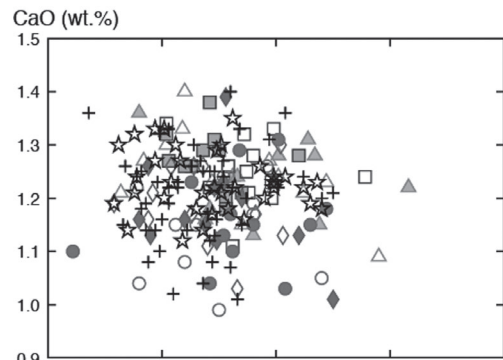
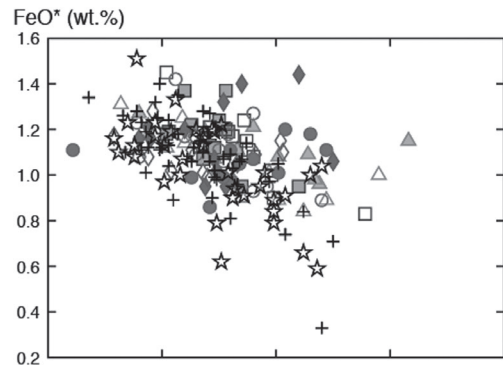


図2b. ラハール堆積物のGPR断面



肘折尾花沢テフラ層			
上部	○ 軽石	● 火山灰	
	◇ 軽石	◆ 火山灰	
中部	□ 軽石	■ 火山灰	
下部	△ 軽石	▲ 火山灰	
☆	肘折火砕流堆積物（軽石）		
+	肘折火砕流堆積物（火山灰）		

図3. 火山ガラスの主成分元素組成