

新潟県魚沼層群SK100に含有するジルコンの  
インクルージョン特性と特異な重鉱物  
村松敏雄\*

Characteristics of Inclusions in zircon from the SK100 volcanic ash  
in the Uonuma Group, Niigata Prefecture  
Toshio Muramatsu\*

\* 新潟大学大学院自然科学研究科, Grad. School of Natural Sci. and Tec., Niigata Univ.

### はじめに

新潟県には新第三紀系～第四系の海成層が厚く堆積している。その中で第四系魚沼層群は中越地域に広く分布し、鮮新世後期～中期後期の厚さ約3000mの海成堆積物よりなり、20数枚の火山灰層を含んでいる。その中で中部累層下部に挟在するSK100は、長野県大田市西方を起源として、男鹿半島から房総半島まで広く分布する特徴的な広域火山灰層堆積物とされている(黒川他, 2001)。この火山灰層は酸性質パミス火山灰層で、火山ガラス、石英、長石などの軽鉱物を多く含み、重鉱物は非常に少ない。また、重鉱物には黒雲母、斜方輝石、角閃石が多く含まれているがザクロ石、ジルコンも微量に含まれている。

ジルコンは物理化学的に安定な鉱物で、風化や変質の影響を受け難く、今まで、年代測定、微量元素同位体量比測定など様々な情報から地殻形成や地球史の解明に役立ってきた。このことから、ジルコンの重要性が指摘されてきた。またジルコン中の包有物(インクルージョン)は、結晶の形成過程でマグマに関する重要な情報を示すことにより、近年多くの研究者の研究対象になっている。魚沼層群に含まれる火山灰層の中でSK100火山灰層は他の火山灰層に見られない特異な重鉱物を含み、さらに、ジ

ルコン内部には特徴的なインクルージョンが観察された。このことにより、SK100に含まれるジルコンのインクルージョンと特異な重鉱物を今回の研究対象とした。

### 試料採取と実験手法

SK100は新潟県内の中越地区の広い範囲で観察される。その中で標準露頭とされている長岡市小国町芝ノ又川から試料を採取した。採取した約20kgの試料を水洗し、ワンカケ法で重鉱物の密集した試料を集め、重液(SPT)を使用してできるだけ多くの重鉱物を取り出した。得られた重鉱物をネオジム磁石でFeを含む鉱物である雲母、輝石、角閃石と非磁性鉱物であるジルコン、コランダム、アパタイトなどに分離した。このようにして得られた重鉱物の中からジルコンを実体顕微鏡下でスライドガラス上に約100粒子を整然と並べ、先ず光学顕微鏡で観察した。その結果、結晶全体が火山ガラスに覆われていることが観察された。次にジルコンをスライドガラスに乗せたまま炭素蒸着を行い走査電顕(SEM,EDS-日本電子6510LA)で形状を観察した。次に残ったジルコンをフッ酸で結晶面に付着した火山ガラスを取り除き、同じ方法でスライドガラス上にジルコンを並べた。次にスライドガラス上にテフロンにのせ加熱してジルコン

をテフロンの中に埋め込んだ。それを1 μmのダイヤモンドペーストで結晶の中心部まで研磨した。これらの試料を光学顕微鏡、及び走査電顕で鉱物の形状、元素の同定を行った。

### ジルコンと火山ガラスの関係

SK100のジルコンは白～淡桃色の色調で長柱状及び短柱状の結晶をしている。光学顕微鏡でそのまま観察すると火山ガラスに覆われているため結晶面が不鮮明になっている。このようなジルコンをSEMで観察すると図1 a,bのような全面多孔質或いはゆるく湾曲した火山ガラスで被覆されている特異な形状が観察された。図1 cのジルコンでは部分的に火山ガラスが付着した状態で観察された。また図1 d,eは、火山灰層に大量に含まれているパミスの画像である。ジルコンに付着した火山ガラスがパミス形成する火山ガラスに類似している。これを確認するため両方の火山ガラスをSEM-EDSで元素組成、エネルギー分布を分析した結果、図2に示された通り化学成分及び構成元素のエネルギー分布がほぼ一致していることより、同じであると考えられる。

### ジルコンのインクルージョン

ジルコン中のインクルージョンは一般的に、初成インクルージョンと二次インクルージョンがある。初成インクルージョンではアパタイトが最も多く含まれており、他に長石も観察される。アパタイトは中心部にはあまり見られないが外側に多く見られる。長石は長柱状や球形に近い形状を示し成分ではアルカリ長石である。光学顕微鏡で観察するとジルコンの結晶内にはアパタイト、長石とは違った不定形のインクルージョンが観察され、ジルコンの中心部に多く見られる。このインクルージョンは自形

を持たず非結晶質になっている。図3にあるような細長いパイプ状、アメーバ状などいろいろな形状が観察される。更にジルコンの中心部まで研磨した試料(図3 e,f)のインクルージョンをSEM-EDSによる化学成分を行った結果、ジルコンに付着した火山ガラス及びパミス形成している火山ガラスとほぼ同じ元素エネルギー分布及び化学組成が

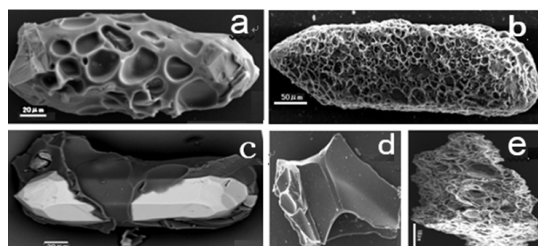


図1. 火山ガラスに全面(a,b)及び一部(c)覆われたジルコンと軽石型火山ガラス(d)及びパブル型火山ガラス(e)のSEM画像。

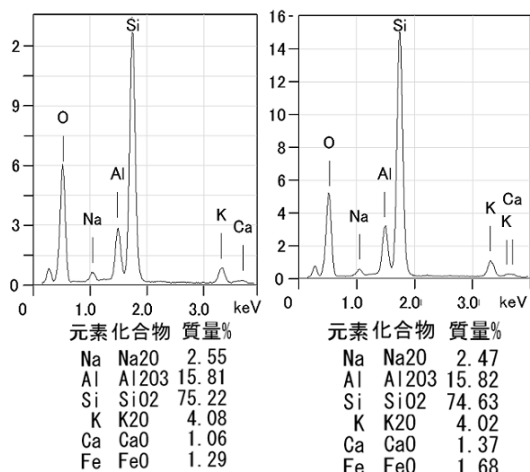


図2. ジルコンに付着した火山ガラスとジルコン研磨面に見られる包有物である火山ガラスの化学成分及びその元素のエネルギー分布を表す。図の縦軸はX線のカウント値(X103)、横軸は各元素のエネルギー値(KeV)を示す。

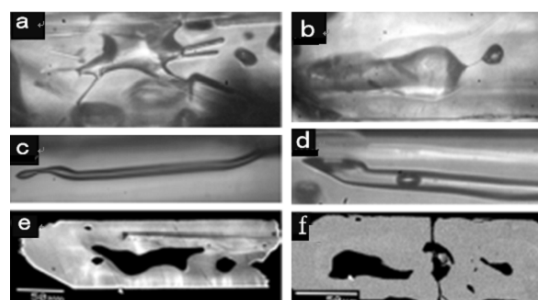


図3. ジルコン内部に観察されるインクルージョン。a-dは光学顕微鏡による画像。e-fは研磨面をSEMによる画像。

類似してことが分かった（図2）．このことはジルコン内部の火山ガラスは、マグマ内部でジルコンが形成される時マグマの急冷したガラス質メルトを取り込む場合とジルコン内部の割れ目や負結晶部に挿入して形成されたと考えられる．また、ジルコンに平行した細長いパイプ状メルトインクルージョンには気泡を含有している事がある（図3d）．この気泡の一部は時間と共に移動していることが観察されたことから現在の存在する気体か液体のいずれかと考えられる．

### ジルコンの異質インクルージョン

ジルコンは独特な化学組成と形態を持っている事が知られている．ジルコンに含まれるZrは化学的性質が類似しているY, Th, Hf, UやREE（希土類元素）などによって置き換えられたりするため、ジルコンは多様な組成変化を示している．これらの元素を含む鉱物であるゼノタイム( $\text{YPO}_3$ )、モナズ石( $\text{CePO}_4$ )、トーライト、( $\text{ThSiO}_4$ ) やウラニナイト ( $\text{UO}_2$ ) などは結晶構造がジルコンに類似するため互いに共生関係として産出することやジルコンの結晶内にインクルージョンとして見つかることがある．SK100に含まれるジルコンには数パーセントの割合で上記に示した特異な鉱物がインクルージョンとして含まれている．これらのインクルージョンは前に述べたものと成因を異にする異質インクルージョンである．ジルコンの中心部に見られる集合体（図4、図6）は周辺部とは明らかに組織と鉱物を異にしている．このことは中心部と周辺部は形成過程を異にしていると考えられる．この異質の集合体を光学顕微鏡で観察すると図4bや図6bに見られるように不透明で周りとは異なった資質からできていることが予想される．これらを構成する物質は白色に輝く

粒子と半円形状の黒色粒子及びそれを取り囲んでいる暗灰色の基質である．これらをSEM-EDSを利用して分析した結果それぞれ火山ガラス、トーライト、ウラニナイト及びジルコンであると考えられる（図5b,c,d）．

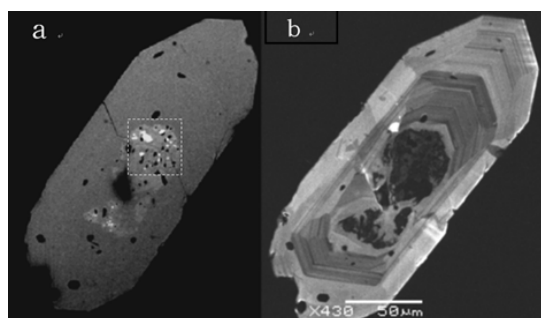


図4．長柱状ジルコンの中心部に見られる異質集合体．図aは研磨面の反射電子画像．図bは同じ面をCLでの画像．中心部では反射電子画像が明るいCLでは黒く写っている．

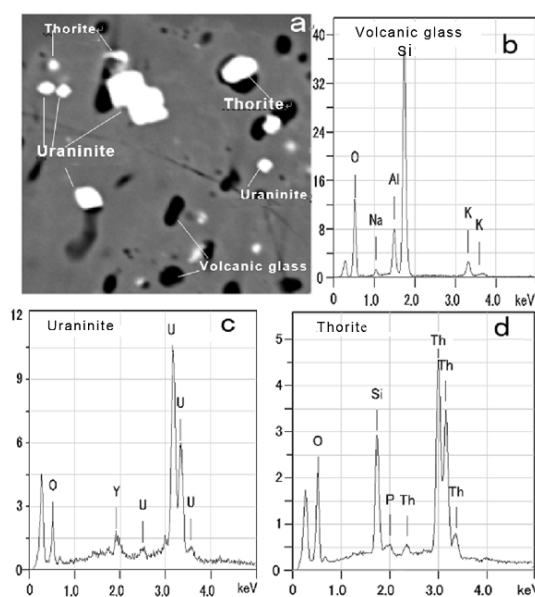


図5．aは 図4 aの囲みの部分を拡大した反射電子画像．b～dは図を構成している鉱物のSEM-EDSによるエネルギー分布の解析図．

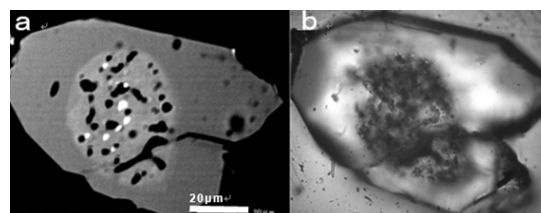


図6．短柱状ジルコンの中心部に見られる異質集合体．aはジルコンの研磨面を反射電子像での画像．bは光学顕微鏡での画像．

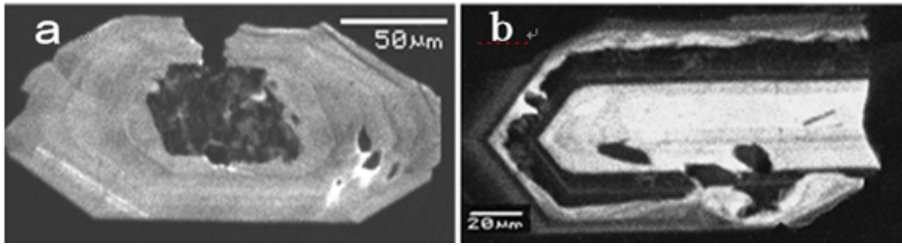


図7. aでは異質集合体がジルコンの中心部に, bでは外殻部に見られる. 両画像はSEM-CLによって観察された.

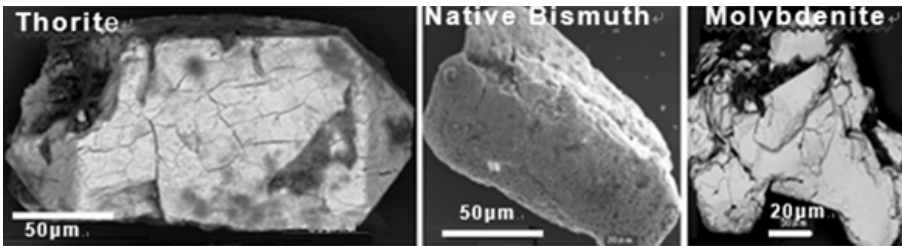


図8. SK100に含まれる代表的な大きい重鉱物. すべてSEM-BEWによる反射電子画像.

トーライト, ウラニナイトには質量の大きいThやU元素を多く含むため明るく白色に見えるのに対して火山ガラスは軽い元素からできているため黒色にみえる(図5a). またトーライト, ウラニナイトは部分的に自形を示すものが観察されている. 図5aは図4の一部を拡大し画像であるが, それを見ると正方形をした白色の鉱物はエネルギー分布図からUを含むウラニナイトであり, また図5の斜め上にある細長い鉱物がトーライトであると考えられる. 他に, 黒色で丸い粒子は火山ガラスで, これらの結晶に付着しているように産出している様子が観察される. ジルコンには一定のTh, Uが含まれているが, EDSの分析によるとUの方がThより数倍多いことが分かった. 他の微量成分ではHf, Yの含有量はそれより多く約1~3%含まれている. Yが多いのはジルコンと共生するゼノタイムに関係があると思われる. 特異な組織を持つ異質集合体ではUの含有量が大きく稀に2%に達することもある. このような異質集合体の多くは, 結晶の中心部で観察されているが, 一部のジルコンでは外郭部で観察される事がある. 図7はジルコンをSEM-CLで観察したものである. 図7bを見ると中心部では累帯構

造によるジルコンの成長が見られ, その外側にトーライトなどを含有した異質集合体が覆いさらにその外側を中心部と同じジルコンで覆われた多層構造をしている. このことは, マグマからジルコンが形成される時, すでにマグマの中にトーライトやメルト状の火山ガラスなどを伴った集合体が形成されて, それをジルコンが取り込んだものと考えられる.

### 特異な重鉱物

SK100には他の火山灰層には見られない特異な鉱物が観察された. 重鉱物のなかで, Feを含む磁性鉱物を取り除き, 残った鉱物を実体顕微鏡やSEM, SEM-EDSなどで鉱物の同定を行なった. その結果, 「褐レン石」「トール石」「コランダム(サファイヤ)」「自然ビスマス(蒼鉛)」「モリブデナイト(輝水鉛鉱)」「自然銅」「方鉛鉱」などが50 μm~200 μmに及ぶ大きな結晶の他に「自然銀」「自然金」「自然白金」などの微小結晶も見つかっている(図8). 特に, トーライトはペグマタイト, 熱水鉱床, 花崗岩などに含まれるのが一般的で, SK100のような火山灰層の中に含まれていることは非常に珍しく, 他の火山灰層では

観察されていない。このことはSK100の形成時に熱水鉱床を一部巻き込んだ特異な火山灰層でないかと考えられる。

#### まとめと問題点

・SK100に含まれるジルコンの中心部には特有の形状をした火山ガラスから成るインクルージョンが見られた。

・SK100ジルコンにはTh, U, 火山ガラスなどを含む鉱物の異質な集合体が見られた。これらはマグマの冷却に伴うジルコン

形成に関係すると考えられる。

・SK100の火山灰層に含まれる重鉱物は普通の火山灰層で見られない特異なもので、その起源については今後の課題である。

#### 文献

黒川勝己・坂井一(2001) 新潟県小国町芝ノ又川ルート of 魚沼層群の火山灰層.新潟大学教育学部紀要3,73-119

村松敏雄(2013)新潟県魚沼層群火山灰層のジルコン双晶-形態,累帯構造,内部構造.岩石鉱物科学42,174-2013