

# カルデラ火山の地質： 5万分の1地質図幅「宮下」地域の紹介

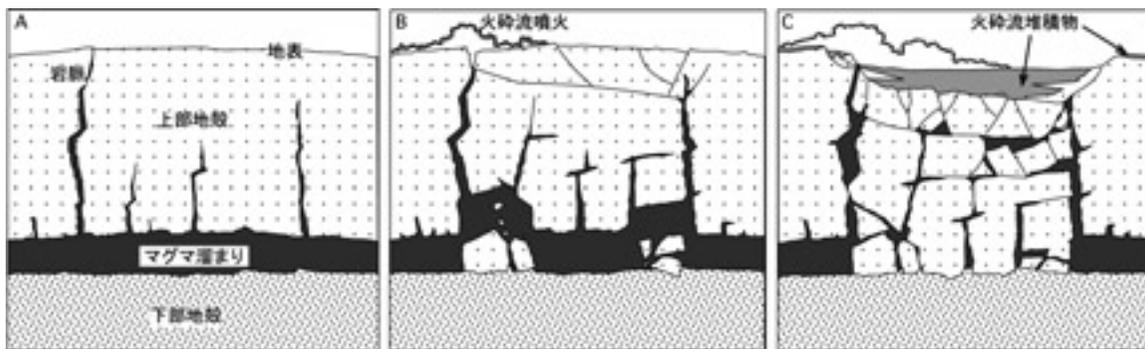
山元孝広<sup>1)</sup>

## 1. カルデラとは

カルデラは、通常、急壁で取り囲まれた、噴火口に比較してはるかに大きい直径を有する凹んだ火山地形です。おおよそ直径2km以上のものがカルデラと呼ばれますが、地球上にはインドネシアのトバカルデラのように最大径は100kmを超えるものもあります。日本では阿蘇、箱根、十和田、洞爺、阿寒カルデラなど国立公園に指定され観光地となっているものが多く、カルデラという言葉自体は地学に興味をお持ちの方なら知らない用語ではありません。ただし、カルデラという言葉はもともと地形用語であるため、カルデラには様々な成因のものがあり得ます。ここでは大規模な地すべりや浸食で出来たカルデラではなく、火山活動によって地表が陥没して出来る陥没カルデラについて話を進めます。2000年の三宅島噴火では、玄武岩質成層火山の山頂がマグマの後退にともない陥没してカルデラが形成されるという非常に珍しい現象が

ありましたが、前述の日本を代表する陥没カルデラはより激しい火砕流噴火に伴って形成されています。火砕流という現象は1991年の雲仙普賢岳噴火で一般社会にも知られるようになりましたが、普賢岳の噴火では個々の火砕流の規模(体積)は大きくても0.001km<sup>3</sup>程度と地質学的には非常に小さなものです。一方、陥没カルデラを作るような火砕流噴火はその体積が数km<sup>3</sup>以上、大きなものだと100km<sup>3</sup>を超えます。もし仮に100km<sup>3</sup>のマグマが火砕流として一度に吹き出たとすると、地下では水平10×10km、厚さ1kmのマグマ溜まりが空になってしまいます。しかも地下のマグマ溜まりと噴火口のある地表とは複数の開口割れ目で連結しているため、マグマ溜まりの天井は空になった空間を埋めるべく噴火中につぶれ始め、結果として地表が陥没してカルデラが形成されます(第1図)。

陥没カルデラ形成を伴う火砕流噴火は破局的である一方で、それほど頻度の大きな現象ではありません。1815年には歴史噴火で最大規模の火砕流噴



第1図 カルデラ陥没の概念. A) マグマ溜まりからのマグマの上昇(岩脈の貫入). B) 火砕流噴火の開始. C) カルデラ陥没と火砕流堆積物の形成. Whitney and Stormer (1986)を簡略化.

1) 産総研 深部地質環境研究センター

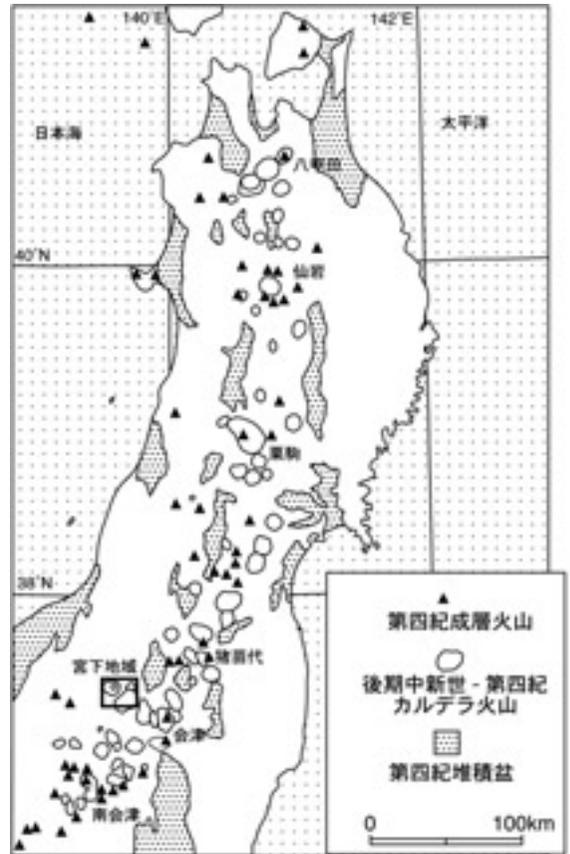
キーワード: 5万分の1地質図幅, 宮下, カルデラ, 火砕流, 新生代

火がインドネシアのタンボラ火山で起き、長径6kmのカルデラが形成されました。噴出したマグマの総量は約50km<sup>3</sup>で、成層圏まで達した火山灰は日光を遮り、翌年の北半球では記録的な冷夏となり、アメリカ合衆国の北東部で7月に降雪が記録されています。また紀元前に起きたエーゲ海のサントリニ火山の火砕流噴火では径約10kmのカルデラが形成され、当時のミノア文化が壊滅し、プラトンのアトランティス伝説の元になったとも言われています。幸い日本では縄文時代の南九州鬼界カルデラの形成を最後に、噴出マグマ体積が100km<sup>3</sup>を超えるような大規模火砕流噴火と陥没カルデラ形成は起きてはいません。日本を代表する阿蘇カルデラの最後の大規模火砕流の噴出は約9万年前、洞爺カルデラも約11万年前に形成されたものです。一般常識からすれば大昔なのですが、地質学的にみればこれらの噴火が起きたのは第四紀後期更新世と呼ばれる地球誕生から比べれば非常に新しい時代に起きた現象なのです。そのため、専門家の目から見るとこれらのカルデラ地形は新鮮で、噴火直後の形態を良く保っています。

## 2. 古い時代の陥没カルデラ

地形的に明瞭なカルデラも、数十万年、数百万年と地質学的な時間が経過するにつれカルデラ壁は浸食されてしまいその存在が不明瞭になってしまいます。しかし、カルデラ壁は消失しても陥没地形を埋め立てたカルデラ埋積堆積物が削剥されない限りは、そこに陥没カルデラが存在したという証拠は残ります。しかし、以前はどのようなものがカルデラ埋積堆積物であるのかが理解されなかったため、古い時代の陥没カルデラはほとんど認知されていませんでした。今では堆積物の岩相をもとに数百万年前に形成されたものだけではなく1億年前前後の恐竜が繁栄していた白亜紀のものまで日本列島から古い時代の陥没カルデラが見つかっています。

第2図は、この話で紹介する福島県の会津地域を含む東北地方にある最近約1千万年間に形成された陥没カルデラの分布図です。このような古い時代のカルデラ分布図が、正しく作成できるようになったのも1990年代になってからのことです。会

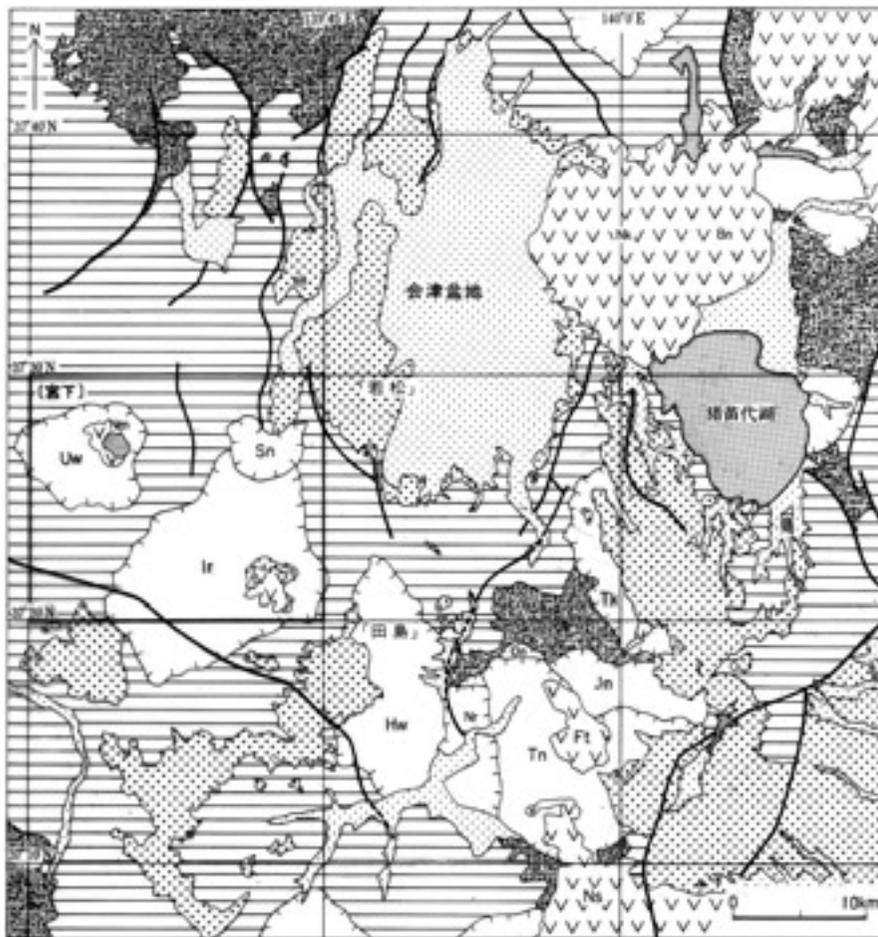


第2図 東北地方の後期中新世-第四紀陥没カルデラの分布。

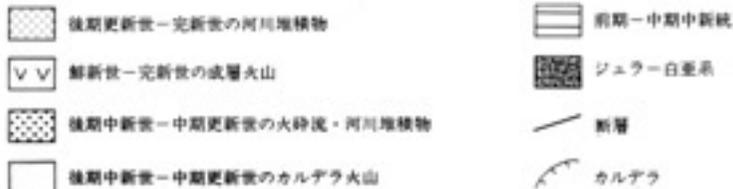
津地域のカルデラ火山群の形成史解明は筆者が1987年から調査に取りかかり、基本となる地質データを当所から5万分の1地質図幅「若松」地域(山元・吉岡, 1992), 「田島」地域(山元, 1999), そして最近「宮下」地域(山元・駒澤, 2004)として出版し(第3図), その全体像をようやく示すことができました。

## 3. 会津地域の地質概略

日本のような海洋プレートの沈み込み帯に位置する島弧では、火山の分布に規則性があり、沈み込み境界にほぼ平行なある線を境に沈み込み側(前弧域)には火山が分布しません。この線のことを火山フロントとよび、沈み込み側から見て反対側を背弧域と呼びます。第2図では第四紀火山(成層火山は黒三角)の分布限界である火山フロ



第3図  
会津地域の地質概略図。  
 Bn = 磐梯火山  
 Ft = 二岐山火山  
 Hw = 桧和田カルデラ  
 Ir = 入山沢カルデラ  
 Jn = 城ノ入沢カルデラ  
 Nk = 猫魔火山  
 Nm = 沼沢火山  
 Nr = 成岡カルデラ  
 Ns = 那須火山  
 On = 小野カルデラ  
 Sn = 砂子原カルデラ  
 Tk = 高川カルデラ  
 Tn = 塔のへつりカルデラ  
 Uw = 上井草カルデラ



ントも容易にトレースできますが、その位置は最近約1千万年間に形成された陥没カルデラの分布の海溝側への分布限界とそれほど違いません。このことは、最近1千万年間でプレート運動の配置に大きな変化がないことを意味しているのでしょう。また、第四紀火山と陥没カルデラは島弧に沿って一様に分布するのではなく、両者は40～60km間隔で共に集中する複数のゾーンを作って分布しています。また、集中ゾーンは隆起帯となっており、その間には内陸山間盆地が位置する大地形が形成されています。

今回紹介する5万分の1地質図幅「宮下」地域は、東北地方南部の背弧域にあります(第3図)。図幅地域は標高400～1,400mの山地で、地域の北東には内陸山間盆地である会津盆地が位置しています。すなわち本地域は盆地に対して隆起帯となっており、地域内には後期中新世の入山沢カルデラ、鮮新世の上井草カルデラや会津金山火山岩・博士山火山岩、第四紀の砂子原カルデラや沼沢火山が噴出しています。これらは「若松」「田島」図幅地域から続く会津カルデラ火山群の一部です。火山群のうち沼沢火山は過去1万年間に噴火

履歴のある活火山で、最新の活動は西暦紀元前3400年頃に起きました。約30万年前に出現した砂小原カルデラも、活発な熱水活動が現在も継続中で、これを利用して柳津西山地熱発電所が稼働しています。西山温以外にも、赤谷・宮下温泉、沼沢湖温泉、沼沢温泉、川口温泉、八町・玉梨温泉、昭和温泉が当地域にはあり、それぞれ宿泊施設や共同浴場に利用されています。

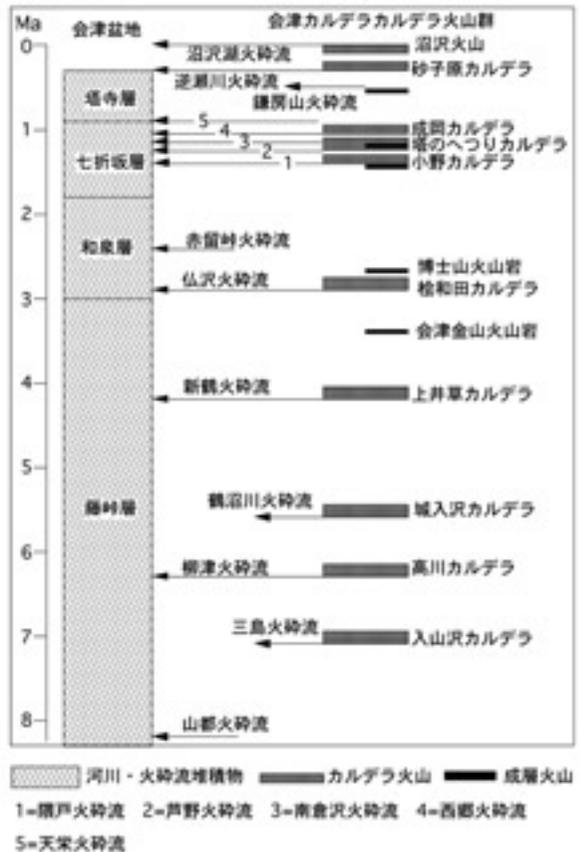
#### 4. 会津カルデラ火山群の噴火史

「宮下」「若松」「田島」地域にある会津カルデラ火山群の形成は約700万年前にまで遡れます(第4図)。この図は縦軸に時間をとりカルデラ形成の時間分布を示したもので、矢印はカルデラ形成噴火で噴出した火砕流を示しています。カルデラ外に流出した火砕流の堆積物は会津盆地内の藤峠・和泉・七折坂・塔寺層中に挟まれています。第4図で重要な点は、直径が10kmを超えるような大型カルデラの形成が数百万年間隔で繰り返し起きていることです。会津地域におけるカルデラ形成巨大噴火は、最近1万年間の噴火で規定される活火山という範疇には入らないものの、将来いつかは起こりえるもので会津カルデラ火山群の活動は停止したわけではありません。

会津カルデラ火山群に関連した火山活動は約900万年前まで遡ることが出来ます。それ以前の会津地域は海域でしたが後期中新世の1,000万年前頃から局所的な隆起と粗粒堆積物の堆積(塩坪層・松阪峠層)が始まり、900万年前頃には完全に陸化し大規模火砕流の噴出が始まりました。「宮下」地域の南に分布する南会津層のオドシマ沢・駒止峠火砕流堆積物がこれに当たります。このような火成活動・構造運動の変化は東北地方全体でほぼ同時に始まっています。

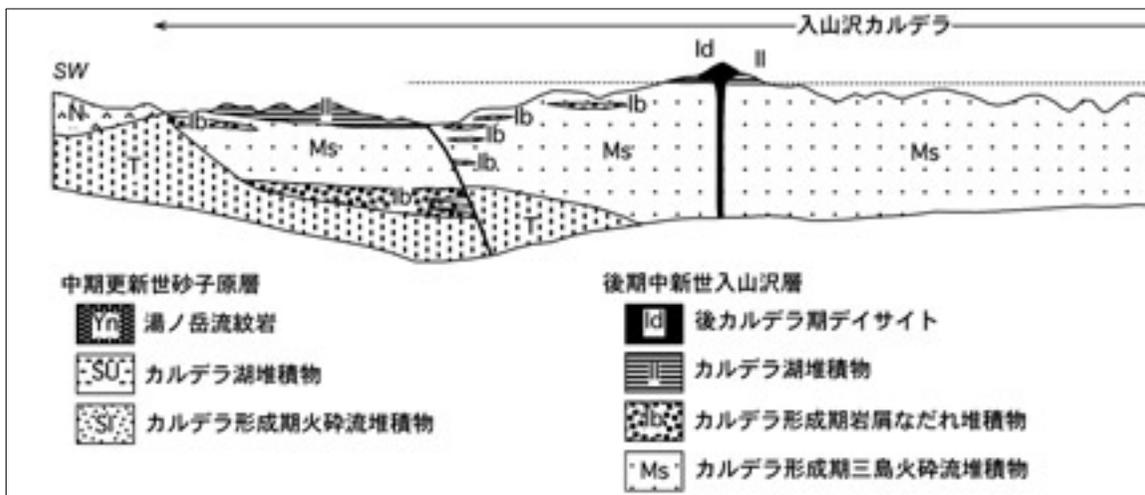
#### 5. カルデラ火山の断面

陥没したカルデラの地下構造は、地表調査だけでは普通なかなか決まりません。しかし、幸いなことに、「宮下」地域では1960年代に鉱物資源探査を目的とした地質調査が、1980年代以降は地熱資源探査を目的とした地質調査が実施され、深さ



第4図 会津盆地の新第三系・第四系と会津カルデラ火山群との対比図。会津盆地では河川堆積物を主とする藤峠・和泉・七折坂・塔寺層が連続して堆積しており、これらの累層中には盆地の南～南西にある会津カルデラ火山群から噴出した火砕流堆積物(矢印)が挟まれている。各カルデラの位置は第3図を参照のこと。

1kmを超えるボーリング調査の結果が公表されています。これらのデータを地質図幅作成のための地表調査結果から再評価することによって第5図の地質断面図が作成できました。この断面では後期中新世約700万年前の入山沢カルデラ(径20×15km)と中期更新世約30万年前の砂子原カルデラ(最大直径約6km)の地下構造が読み取れます。大型の入山沢カルデラでは、カルデラの南西部と北東部で現地表から1,000m前後のところまで基盤岩が見つかっており、カルデラの内側がすっぽり陥没したことが分かります。陥没した基盤岩が中央部でどのような形状をもつのか、バラバラになっているのか、ほとんど変形していないピストン状の

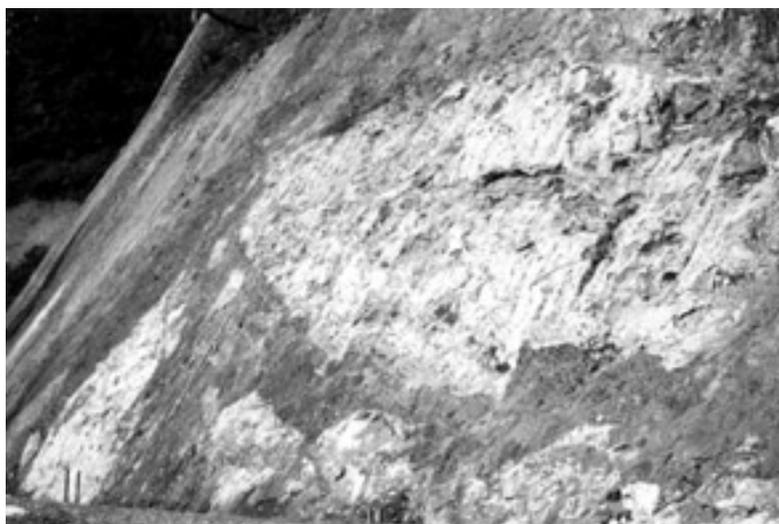


第5図 入山沢カルデラと砂小原カルデラを通る地質断面図。

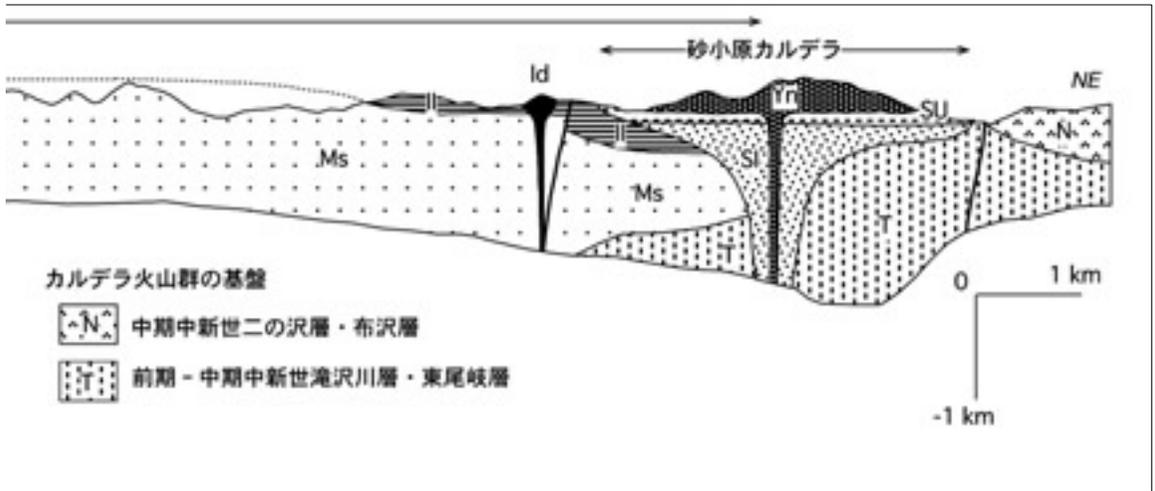
固まりであるのかまでは分かっていません。ボーリングで捕まったカルデラ底の深度とカルデラの面積からすると、入山沢カルデラを埋積する三島火砕流堆積物の体積は200km<sup>3</sup>強もあります。一方、小型の砂小原カルデラは縁辺部で深度300m前後に基盤が見つかり、中央部に幅が狭い(直径2km以下)のじょうご型の火道を持つ地下構造が考えられています(水垣, 1993)。砂小原カルデラの地下浅部で見つかる基盤岩にも開口割れ目が発達しており、このような部分に柳津西山地熱発電所のパワーの源である豊富な熱水が胎胎しています。

### 6. カルデラ埋積堆積物の岩相

陥没カルデラの内側にはカルデラ形成に関与した火砕流堆積物が厚く堆積しています。カルデラ外に流出した火砕流堆積物の層厚は最大でも200m程度であるのに対し、カルデラを埋積した堆積物は1,000m前後の層厚を持ちます。露頭でのカルデラ内火砕流堆積物の見かけは、火山ガラス片・結晶片からなる基質に軽石・石質岩片の火山岩塊～火山礫を含む塊状の岩相をし、カルデラ外に流出したものとそれほど違いはありません。ただ、ほとんど成層構造を示さず厚いことが特徴となります。カルデラ埋積相に特有の火砕流堆積物の岩相

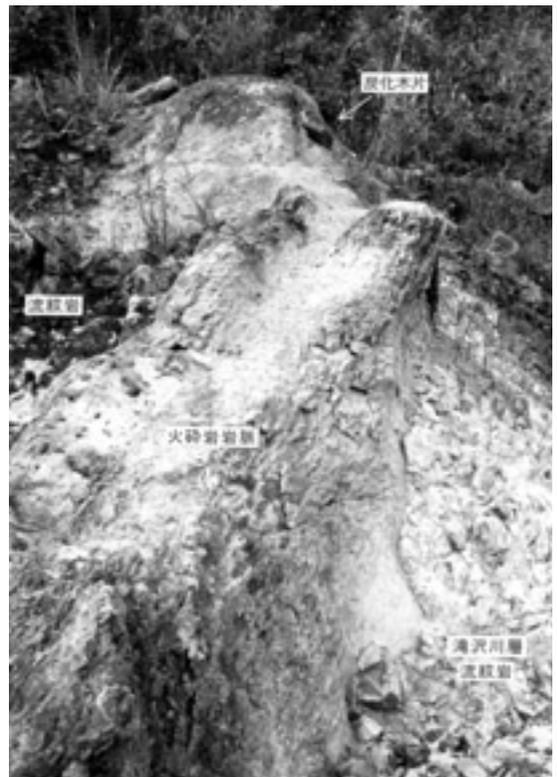


第6図  
上井草カルデラ形成時の岩屑なだれ堆積物。岩屑なだれ堆積物に含まれる径15m以上の布沢層由来の岩塊。この岩塊は流紋岩凝灰岩(白色部)と泥岩(暗色部)からなり、その内部は断層による変位や角礫化を被るものの、全体として元の成層構造を保持している。スケールは2m。金山町本名の風来沢。

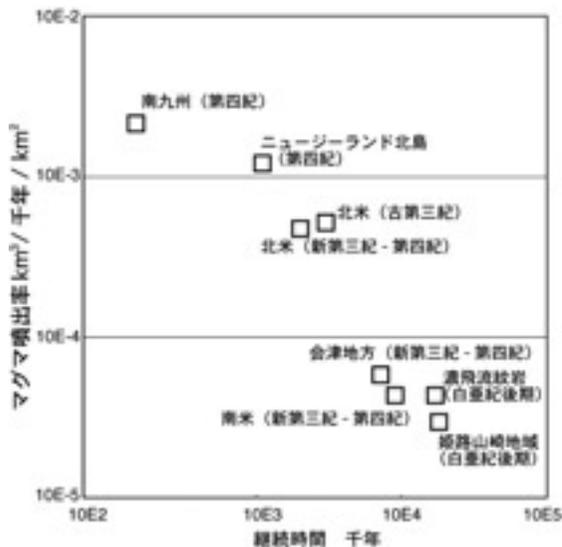


には、直径が数m～数十m以上の基盤岩由来の異質岩塊が含まれること、基盤岩由来の角礫岩シート(岩屑なだれ堆積物)を挟むことがあげられます。「宮下」図幅の岩屑なだれ堆積物を構成するのは下部～中部中新統に由来する流紋岩溶岩や火砕岩、中部中新統の泥岩や流紋岩火砕岩、中部中新統の玄武岩や礫岩・砂岩で、基盤の多様な岩石を全て認めることが出来ます。しかし、露頭規模では特定岩種のみからなる単源で岩片支持の角礫岩として現れることが多く、このような岩相は岩屑なだれ堆積物の岩塊相に相当します。岩塊相を構成する各角礫の面角は、あたかも3次元のジグゾーパズルのように、互いに緩く接しており、破碎岩片相互の変位量がごく小さいことが特徴です。そのため、岩塊相中では初生的な基盤の内部構造が破碎後も保存されています(第6図)。異なる岩塊相の間には、多種の岩片が混在する淘汰の悪い基質支持の角礫岩からなる基質相が認められます。このような堆積物はカルデラ陥没角礫岩とも呼ばれ、火砕流噴火と同時にカルデラ陥没が始まり、噴火の最中に陥没カルデラ壁が大規模な斜面崩壊を起こしていたことを意味します。

火砕流を噴出した噴火口の大部分は、斜面崩壊によりカルデラ内に崩れ落ちほとんど観察することが出来ません。しかし、稀に基盤岩中に火砕岩岩脈が貫入していることがあり、これが火道の一部と考えられます(第7図)。第7図の火砕岩岩脈は鮮新世の上井草カルデラ西縁の基盤岩を貫くも



第7図 上井草カルデラ形成時の火砕岩岩脈、滝沢川層の流紋岩溶岩に貫入する黒雲母流紋岩軽石火山礫凝灰岩。岩脈奥に置かれたハンマーのピック部にある黒色物は火砕岩岩脈に取り込まれた炭化木片。すなわち、この岩脈は噴火時に地表に開口した火道であり、岩脈内の火砕物は噴火終了時に地表から落下してきたものである。金山町本名の只見川左岸。



第8図 大規模火砕流噴火の噴出率比較。縦軸は単位面積あたりの岩石換算マグマ噴出量の千年平均、横軸にはカルデラ火山群の活動継続時間がとってある。Yamamoto (2003)による。

ので岩脈の中央部は弱溶結し、その面構造は岩脈の貫入面とほぼ平行です。岩脈奥に置かれたハンマーのピック部にある黒色物は火砕岩岩脈に取り込まれた炭化木片で、この岩脈は噴火時に地表に開口しており岩脈内の火砕物は噴火終了時に地表から落下してきたものであることを意味します。このような火道が陥没構造の縁に沿って環状のネットワークを作っていたものと推定されます。

## 7. 大規模カルデラの噴出率

会津地域での巨大カルデラ噴火の再来間隔は、数百万年程度です。この噴火頻度がどの程度のものであるのかを比較したのが第8図で、縦軸に単位面積あたりの噴出率がとってあります。世界で最も巨大噴火頻度が高いのは始良カルデラを始めとする南九州地域ですが、他のデータよりも継続期間が短いので最大瞬間量を示すのかもしれませんが、それでもニュージーランド北島のタウポ火山地域と同等の高頻度地域であることに変わりはありません。北米の古第三紀のサンファン火山地域や新第三紀鮮新世-第四紀のイエローストンカルデラがこれに続きますが、これらの火山地域ではいずれも

正断層が発達する伸張応力場となっています。会津地域の噴火頻度は更に低いものですが、南米中央アンデスのカルデラ火山群や白亜紀の西南日本内帯カルデラ火山群とほとんど大差ありません。今の東北日本や中央アンデスでは圧縮応力場が卓越しています。白亜紀の西南日本内帯には御影石で代表される珪長質の深成岩が広く分布しますが、マグマ噴出率から見るとそれほど激しいものであったとは思えません。逆に言うと今の東北日本の地下では白亜紀西南日本内帯と同等の珪長質深成岩形成プロセスが進行しているものと考えられます。

## 8. おわりに

5万分の1地質図幅「宮下」をもとに東北日本のカルデラ火山の地質について紹介しました。数百万年間隔という時間尺度は日常生活とはかけ離れたもので、特に災害として対処しなければならないようなものではありませんが、その活動は決して停止したわけではありません。地質時代のカルデラ火山群の活動履歴を知ることは東北日本の成り立ちを考える上でとても大切で、この地域の超長期の将来を予測するためには必要不可欠です。

### 参考文献

- 水垣桂子(1993): 砂子原カルデラの構造と火山活動史。地質雑、99, 721-737。  
 Whitney, J.A. and Stormer, J.C. Jr. (1986): Model for the intrusion of batholiths associated with the eruption of large-volume ash-flow tuffs. *Science*, 231, 483-485。  
 山元孝広(1999): 田島地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)。地質調査所、85p。  
 山元孝広・駒澤正夫(2004): 宮下地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)。地質調査総合センター、71p。  
 山元孝広・吉岡敏和(1992): 若松地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)。地質調査所、73p。  
 Yamamoto, T. (2003): Lithofacies and eruption ages of Late Cretaceous caldera volcanoes in the Himeji-Yamashiki district, SW Japan: Implications for ancient large-scale felsic volcanism. *Island Arc*, 12, 294-309。

YAMAMOTO Takahiro (2005): Late Cenozoic caldera volcanoes in NE Japan: An introduction for the geology of the Miyashita district.

<受付: 2004年9月6日>