

「解説」

「阿蘇一の宮グリーンロード」沿いに見られる阿蘇火砕流堆積物

熊大・教育学部 田口 清行

1. はじめに

阿蘇カルデラの北東部にある「阿蘇一の宮グリーンロード」は平成8年に林道として整備が完了した。カルデラ床の北東縁、一の宮町手野の国造神社付近を起点とする。そこから北のカルデラ壁に登り、北外輪のカルデラ縁の通称「ミルクロード」(県道45号)に合流する(図-1)。この林道は、幅5m、長さ2.5kmほどの舗装道路であり、谷筋に沿って登る。途中には手野の名水とよばれる湧水もある。ここは道路脇の崖の吹き付けもまだほとんど進んでおらず、露頭条件が非常によい。そのため、阿蘇火砕流堆積物がほぼ連続的に観察可能である(図-2)。このようにすべてが連続的に容易に観察できる場所は多くはない。「阿蘇火山地質図」を見ると阿蘇谷側のカルデラ壁では、阿蘇-1から阿蘇-4

まで重なっている場所が多いが、カルデラ壁は非常に急傾斜な崖であることが多く、壁を上る道路は限られている。そのため、一般には近づくことが極めて困難である。阿蘇谷側のカルデラ壁には滝室坂や大観望、象ヶ鼻の道路などいくつかあるが阿蘇火砕流堆積物が連続的によく見えるところはない。また、カルデラの周縁部では、下位の堆積物は、上位の堆積物に覆われているため、河川や滝といった、深く削り込まれる谷沿いに限って観察できる。

今回はこの「阿蘇一の宮グリーンロード」沿いに見られる阿蘇火砕流のそれぞれの特徴を解説する。阿蘇火山の巡検コースの一つとして、また、理科教育の地質教材の一つとして活用していただきたい。

2. 阿蘇火砕流についての概要

「火砕流」といえば多くの人命を奪った平成3年6月の長崎県雲仙普賢岳の火砕流が思い出される。火砕流とは「高温の本質火砕物質とガスの混合物が、主に重力によって駆動され高速で地表を流下する現象」である。高温であることと高速で地表を流下することで、火山の噴火の様式の中では非常に危険な噴火である。阿蘇カルデラも、巨大な火砕流噴火の結果陥没して生じた。火砕流噴火は、約27万年前に始まり、数万年の休止期を挟んで、約9万年前までの間に4回起きた。この4回の火砕流を総称して「阿蘇火砕流」と呼び、その堆積物を「阿蘇火砕流堆積物」と呼んでいる。4回の火砕流は古いほうから、阿蘇-1、阿蘇-2、阿蘇-3、阿蘇-4火砕流と呼び区分されている。それぞれの火砕流は大規模であり、広範囲に広がっている(図-3)。雲仙普賢岳の火砕流は阿蘇火砕流にくら



図-1 「阿蘇一の宮グリーンロード」の位置(国土地理院発行20万分の1地勢図「大分」を使用)

べれば、非常に小さく、火砕流としては最も小規模なものに属する(表-1)。

ここで、火砕流堆積物の一般的な性質について主に荒牧(1979)を引用して説明する。

火砕流は火山噴火に伴い、乱流として斜面を急速に流下しそのまま堆積するので、分級が悪い。しかも、常に細粒物質を相当量含んでいて幅広い粒度分布を示す。

火砕流では、数多くのフローユニット(1枚のまとまった流れまたは流れによって生じた堆積物)が発生するのが普通である。高温のままのフローユニットからなる火砕流堆積物はその自重で基底部を除いて下部ほど強く

溶結(welding)する。強溶結部では本質岩塊(怪石やスコリア)も圧縮され、黒曜岩の偏平なレンズとなる。基質部も緻密となり、冷却収縮による柱状節理が発達する(溶結凝灰岩, welded tuff)。溶結した大規模火砕流堆積物をイグニンプライト(ignimbrite)とよぶこともある。しかし、強溶結部は上方に向かって徐々に多孔質となり最上部の非溶結部へ変化する。最上部には、流動層が定着するときにガスが噴き出したチャネリングのあとがパイプ状に発達している(2次噴気孔, secondary fumaroleともいう)。強く溶結した部分では高温状態が長時間保たれるため、

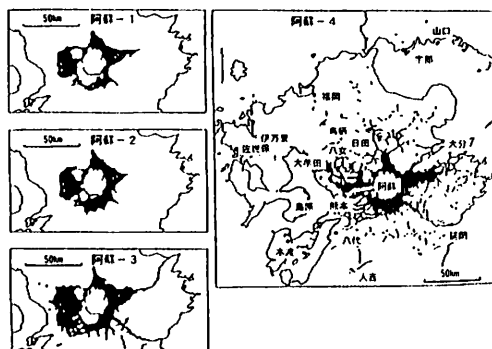


図-3 阿蘇火砕流分布図(渡辺, 2001)

表-1 火砕流の規模階級とその例(渡辺, 2001)

規模階級 (m ³)	火砕流(火山)	時代	到達距離 (km)	同源広域テフラ
10 ¹¹	Aso-4火砕流(阿蘇カルデラ)	90,000年前	140	Aso-4火山灰
10 ¹⁰	入戸火砕流(始良カルデラ)	25,000年前	92	始良Tn火山灰
10 ¹⁰	香置火砕流(鬼界カルデラ)	6,300年前	74	アカホヤ火山灰
10 ⁹	ピナツボ火山の火砕流	1991年6月	16+	
10 ⁸	毛馬内火砕流(十和田カルデラ)	10世紀	40+	
10 ⁶	Ko-a(北海道駒ヶ岳)	1929年	32	
10 ⁷				
10 ⁵	(東京ドーム=1.2×10 ⁶) (福岡ドーム=1.8×10 ⁶)			
10 ⁵	普賢岳の規模の大きい火砕流	1991年6月	5.5	

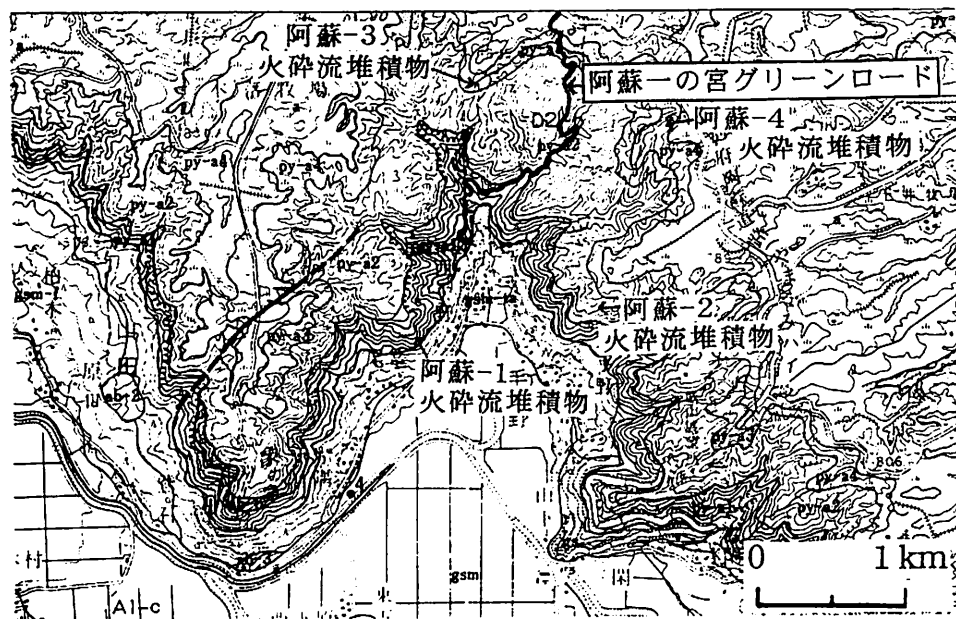


図-2 阿蘇一の宮グリーンロード周辺の地質図(表層地質図「阿蘇山・竹田」を使用)

堆積物の主体である火山ガラスが再結晶して細粒の結晶粒を生じる脱ガラス化作用 (devitrification) が起こる。これとは別に、堆積物中から上方へ抜ける高温のガスの作用で昇華して生じたカリ長石や珪酸鉱物の微結晶が上部に生じる気相晶出作用 (vapor phase crystallization) が起こる。このような変化はすべて高温の火砕流が静止して冷却する過程で生じるが、その結果堆積物の物理的性質の違いが堆積面にほぼ平行にいくつもの縞模様をつくるようになる。このようにして一枚のクーリングユニット (cooling unit) の内部がほぼ平行な、しかも複雑に分かれた累帯構造 (zoning) を示すようになる (図-4)。もしも温度の違うフローユニットが互いに重なり合って堆積すると、冷却過程はさらに複雑になる (複合クーリングユニット, compound cooling unit)。

阿蘇火砕流は4回の噴火サイクルに分けられているが、火砕流堆積物自体は岩相の変化も大きく、異なるサイクルのものでも非常に似通ったものがある。しかし、それぞれのサイクルの間にある降下火砕物は分布状態が規則的である。それらのうちの対比しやすいものを鍵層として追跡し、岩相や時間間隙の存在などの手がかりも合わせて阿蘇-1, 阿蘇-2, 阿蘇-3, 阿蘇-4火砕流は区分されたの

である。

阿蘇-2, 阿蘇-3, 阿蘇-4火砕流は、それぞれいくつかのサブユニットに分けられる (例えば、後述の阿蘇-3火砕流は阿蘇-3A, -3B, -3Cと3つのサブユニットに分けられる)。これらのサブユニットは構成物・溶結度などの違いによって区別され、1サブユニットは1フローユニットの場合も複数のフローユニット群のこともある。したがって、各サイクルの火砕流は、それぞれ複数のフローユニットからなり、またサブユニットごとに溶結度が不連続的に異なるので、1サイクルの火砕流全体は前述の compound cooling unit を形成する。

阿蘇火砕流の岩質は塩基性安山岩質から流紋岩質までの組成範囲にわたる。阿蘇-1火砕流は輝石流紋岩質、阿蘇-2, 阿蘇-3サイクルの噴出物は塩基性-中性の輝石安山岩質と輝石流紋岩質、阿蘇-4火砕流は塩基性の輝石角閃石安山岩質と輝石角閃石流紋岩質である。一般的に1噴火サイクル中では、初期に噴出した岩石ほど酸性で、後期のものが塩基性に変化する傾向がある。

以下に、主に小野ほか (1977) に基づいて、阿蘇-1, 阿蘇-2, 阿蘇-3, 阿蘇-4火砕流のそれぞれについて概要を述べる。4回の火砕流については各噴火サイクルに小規模な

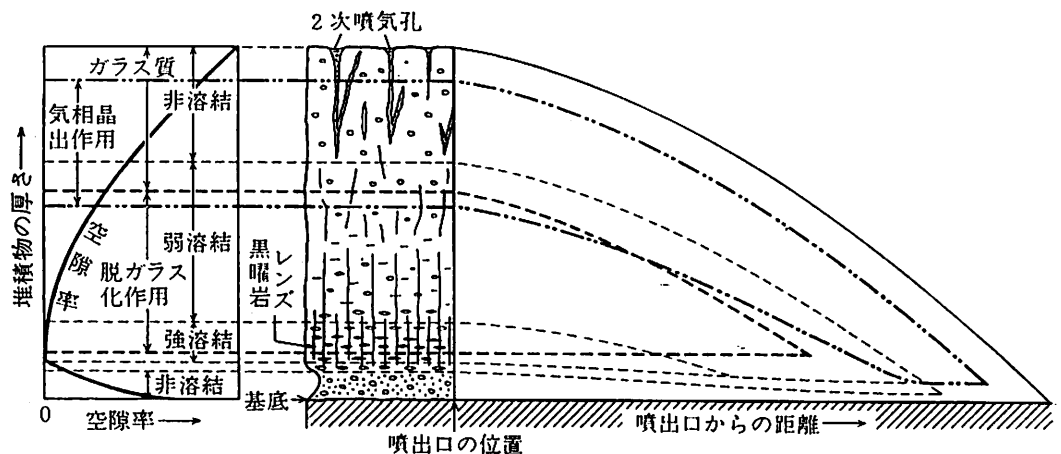


図-4 一部溶結した火砕流堆積物にみられる累帯構造 (荒牧, 1979)

噴火が伴っている。また、岩相の変化も激しいのでこの「阿蘇一の宮グリーンロード」の露頭に見えるものと関連づけて述べる。また、各火砕流間の休止期においても降下火砕物や溶岩があるがここでは説明を省略する。

(1) 阿蘇-1 火砕流

これは、阿蘇火山の初期の噴出物であり、阿蘇火砕流で最も古いものである。軽石噴火から始まり、その層の上に火砕流がのる。下部に若干の非溶結部があるが、その上から急激に溶結し、全体が強く溶結している。溶結凝灰岩表面は多くの場合赤褐色～橙赤色に風化している。阿蘇火砕流の場合、これは、阿蘇-1の上面に特徴的であり、阿蘇-1火砕流の層準を決めるときの手がかりの一つになる。

(2) 阿蘇-2 火砕流

阿蘇-2サイクルの活動は複雑であったらしく不明な点がかなり残されている。阿蘇-2サイクルの噴出物の主体は、下部の阿蘇-2Aと上部の阿蘇-2Bの2つの火砕流である。阿蘇-2A火砕流の下部は強く溶結した黒曜石のレンズの目立つ溶結凝灰岩である。両者の境には角礫の濃集などのユニットの境が見られることがあるが、漸移するように見えるところもある。阿蘇-2Bは一部弱溶結部が見られるが、ほとんどが非溶結のスコリア流である。カルデラ東方地域では2Bの上位には阿蘇-2Tの降下スコリア層が見られる。他にも、地域によっては、阿蘇-2A下位に、二次流動溶結凝灰岩阿蘇-2R（阿蘇カルデラ西壁および西側斜面）、降下スコリア層阿蘇-2V（阿蘇カルデラ東壁）、また、阿蘇-2T直下に白色の降下軽石層阿蘇-2TL（竹田市街地付近）が見られる。

(3) 阿蘇-3 火砕流

このサイクルは、軽石噴火（阿蘇-3W）で始まり、その後火砕流（阿蘇-3A、阿蘇-3B、阿蘇-3C）のサブユニット群が噴出している。火砕流全体は compound cooling unit をつくる。阿蘇-3Aは軽石流である。

阿蘇-3Bは無斑晶の安山岩質スコリア流であり、阿蘇-3サイクル中でもっとも規模が大きい。阿蘇-3Cは多斑晶の安山岩質スコリア流である。阿蘇-3Bと阿蘇-3Cとの間には中間的な岩相が存在する。

(4) 阿蘇-4 火砕流

阿蘇火砕流の中で最も新しいものである。このサイクルの活動の産物は火砕流堆積物のみであり、阿蘇-4火砕流は、大きく阿蘇-4Aと阿蘇-4Bとに2分される。阿蘇-4Aの直下には、風化間隙をはさまずに降下軽石層が存在する可能性があることが明らかにされているが、この降下火砕物が阿蘇-4サイクルに属するか否かについては明らかではない（星住，1990）。阿蘇-4A、Bはともに複数のフローユニットからなり、全体として compound cooling unit をつくる。阿蘇-4A火砕流はこのサイクルの噴出物の大部分を占め多様な岩相の変化を示し、複雑である。阿蘇-4B火砕流は主に溶結凝灰岩からなる。しかし、このような多様な見かけ上の変化にかかわらず、阿蘇-4火砕流の大部分は角閃石と紫蘇輝石とをふくむ流紋岩質であり、角閃石斑晶の存在によって、普通輝石、紫蘇輝石の斑晶組み合わせを持つ阿蘇-1・2・3各火砕流と野外で識別することができる。

3. 各観察ポイントにおける阿蘇火砕流堆積物の産状

「阿蘇一の宮グリーンロード」における阿蘇-1、阿蘇-2、阿蘇-3、阿蘇-4火砕流の観察ポイントについて説明する。ルートにそって観察ポイント（図-5）順に説明する。

① 強溶結の溶結凝灰岩

道路から、川の対岸を良く見ると、柱状節理の発達した溶結凝灰岩（阿蘇-1）の露頭が見える。川底に下りても、阿蘇-1下位の地層は見る事ができない。このルートでは、阿蘇-1以前の地層や阿蘇-1基底の軽石層や火山灰層は崖錐が覆っていて見ることがで

きない。阿蘇-1以前の溶岩については、近くでは象ヶ鼻南の小嵐山や北坂梨豆札で観察できる。

② 強溶結の溶結凝灰岩

全体に灰褐色を呈し、異質岩片が多い(阿蘇-1)。本質レンズ(スコリア)中に大型のチョウ石の斑晶が見られる。酸化して赤色を呈する岩相も見られる。基質・本質レンズともに脱ガラス化し、著しく固い。

③ 気相晶出作用のすすんだ弱溶結の溶結凝灰岩

溶結度が落ちていくにしたがって気相晶出

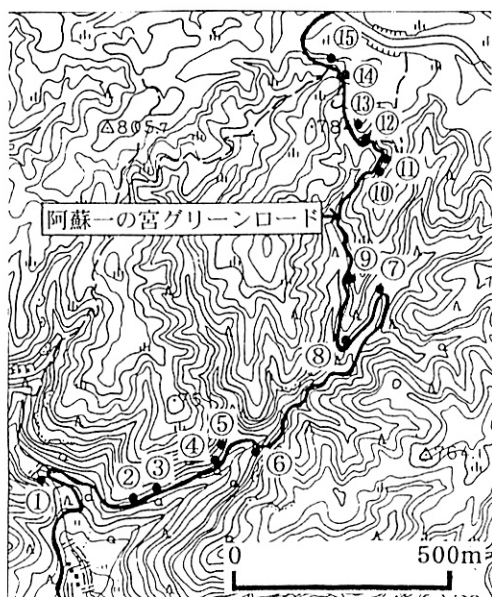


図-5 阿蘇火砕流堆積物観察ポイント位置図
(国上地理院発行2万5千分の1地形図「坂梨」を使用)

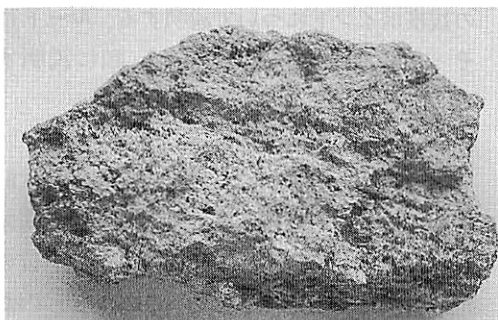


写真-1 ポイント③で見られる阿蘇-1の気相晶出作用の進んだ岩石

作用が進みレンズ全体が灰白色の、空隙の多い結晶集合となっている(阿蘇-1)。そのため、露頭全体の色調が淡色に変わり、空隙が多く、もろい。サンプルの中央から下部部分は本質レンズであるが、周辺のマトリックスと区別がつかなくなっている(写真-1)。

④ 強溶結の溶結凝灰岩

部分的に阿蘇-1の強溶結の部分が見られる。硬く緻密で、一部ガラス質の黒曜石レンズも見られる。これは、阿蘇-1噴火以前の基盤がこの付近だけ高く、部分的に阿蘇-1の下部の強溶結相が見えているものと考えられる。

⑤ 赤～褐色の風化帯(阿蘇-1)

阿蘇-1最上部の赤色風化したローム状の部分が見える。風化部の中には部分的に風化をまぬがれた黒色のレンズが見られる。上方に向かってレンズは小さくなり、やがて、全体が強く粘土化した風化部で終わる。この赤色～赤褐色部は阿蘇-1表層部に特徴的で、阿蘇-1の層準を決める手がかりとなる。赤色風化の原因については、現在の地球上の熱帯、亜熱帯地域に見られるラテライト性土壌のような赤色風化土に対比させて(加藤ほか, 1977)、当時の環境がかなり高温であったのではないかと考えている。

⑥ 強溶結の溶結凝灰岩

小形の本質レンズや岩片を含む阿蘇-2Aの強溶結部である。溶結度が高く、緻密で固い。阿蘇-1より岩片が少なく、均質に見える。冷却による柱状節理とともに、板状節理も発達している(写真-2)。火砕流堆積物の溶結部には柱状節理がよく見られるが、板状節理の見られる例はさほど多くはない。火砕流が谷を埋積したとき、堆積直後の表面はほぼ水平であるが、溶結がおこると圧密による沈下がおき、火砕流以前の谷地形と似た起伏が現われる。このとき、一般に岩体の下側は谷壁に接するため急冷によって剛体化し、流動しにくいので、岩体内部には山腹斜面に沿う方向の「引っ張り」の力が現われる。その

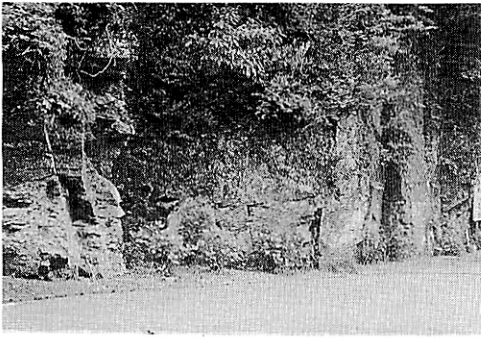


写真-2 ポイント⑥で見られる節理の様子

ため葉理面に沿って上側が谷中心に向かう差動がおこる。そのとき、堆積物内部に差動による面構造が生じる。その後の冷却収縮によって、その面構造を強調するように板状節理が発達したものと考えられる。そして、さらに冷却が進み、やや広い間隔の柱状節理が発達したのであろう。

ここで露頭をよく観察すると、その一部に火砕流堆積物がかなり高温のとき動いた証拠として、プルーパート構造と本質レンズのしぼり出し現象（渡辺ほか，1983）が見られる（写真-3）。このしぼり出し現象は火砕流堆積後、かなり高温のときに火砕流堆積物に引っぱりの力が加わり、亀裂が生じ、その隙間に、基質より低粘性の本質レンズがしぼり出されたものである。ここでは、かなり細かいレンズにもしぼり出しがおよんでいるので、細かいレンズも低粘性を保っていたと考えられる。さらに、大きなものの中にはひきちぎられたような構造（写真-4）も見える。亀裂が生じ、開いていくにつれて、本質レンズも引き伸ばされ、やがてひきちぎられたのであろう。

手野の名水（湧水）もこの場所にある。⑤における阿蘇-1の産状と位置から判断して、阿蘇-1表層または、阿蘇-1・2間の風化土が不透水層となり、上位の火砕流堆積物（阿蘇-2）の節理を通った水が不透水層によって支えられ、この節理の割れ目から流れ出しているのであろう。

道に沿って上部に進むにつれて、溶結度が

落ちる。また、大型のレンズをふくみ、顕著な eutaxitic 組織（平行なレンズ状構造）が目立つようになる。

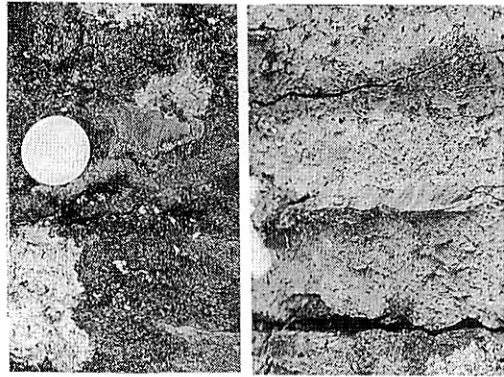


写真-3 本質レンズのしぼり出し現象

写真-4 ひきちぎられた本質レンズ

⑦ 弱溶結の溶結凝灰岩

阿蘇-2Aの中では上部にあたる。弱溶結部である。間隔の広い柱状節理が見られる。

岩相は、顕著な eutaxitic 組織（平行なレンズ状構造）が見られ、典型的な溶結凝灰岩の様子である。レンズは大型で斑晶が少ない。また、あまりつぶれていない黒曜石の塊がふくまれることも多い。

⑧ 阿蘇-2 火砕流堆積物中のサブユニットの境界

弱溶結で間隔の広い柱状節理が見られる阿蘇-2Aの上位に非溶結スコリア流の阿蘇-2Bがのる。露頭では、境は明瞭ではなく漸移する（写真-5）。阿蘇-2Aから阿蘇-2Bへは細粒部をはさまず、時間間隙なしに続いて堆積したことを示している。

ハンマーの位置で小規模な断層により左側が少しずつ落ちている。

⑨ 非溶結のスコリア流堆積物

阿蘇-2Bのスコリアは、発泡がよく、火山弾状スコリアである。

また、スコリア内には、角礫状の安山岩ゼノリス（捕獲岩）が見られる（写真-6）。大型のスコリアではガラス繊維状に引き伸ばされた穴（空隙）が見られることがあり、これは遅延発泡によるものである。噴火後、外側

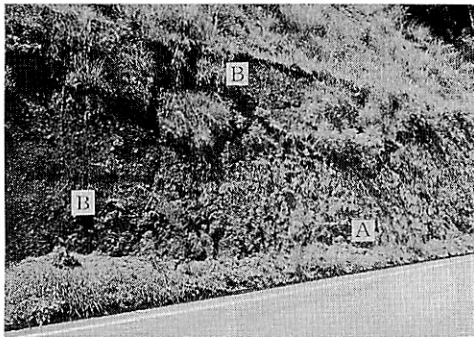


写真-5 ポイント⑩に見られる阿蘇-2A, -2Bの境界部 (Aは阿蘇-2A部分, Bは阿蘇-2B部分, ハンマーの部分は断層)

は空気による急冷で固くなるが、内部は徐々に発泡を続けるため、ひび割れを生じ、内部は多孔質となる。また、外形に平行した内部の気孔の配列や表皮の亀裂など牛糞状火山弾様の構造 (写真-6) を持つものが多い。

ポイント⑩まで連続的に阿蘇-2Bの非-弱溶結部のスコリア流堆積物が観察できる。

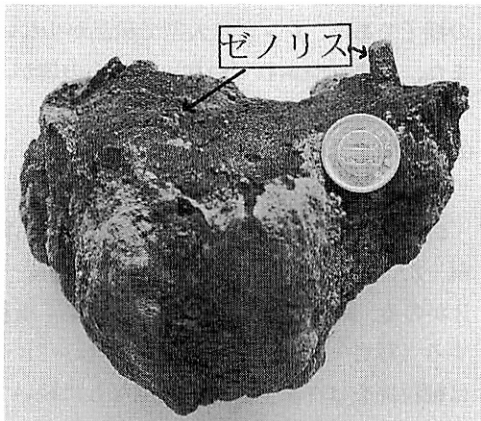


写真-6 阿蘇-2Bに見られる内部に角礫状の安山岩ゼノリスのある牛糞状スコリア

⑩ 白色軽石堆積物

赤褐色の阿蘇-2Bの上位に白色の軽石層が重なっている様子が見られる。

阿蘇-2B上位に砂礫層がある。その上に風化火山灰土層があり、さらにその上位に灰色の火山灰層、灰白～白色軽石を含む粗粒の火砕サージ様堆積物が重なる。サージ状の堆積物は黒曜石の細粒破片や白色の軽石を含み、

上部になるほど粗粒になる。軽石中に角閃石を含むことから阿蘇-4火砕流堆積物である可能性が高い。

⑪ 白色軽石層

⑩の上部の白色の軽石と同様の軽石が堆積している。軽石中に角閃石が含まれることから阿蘇-4火砕流の再堆積物の可能性がある。

なお、渡辺 (2001) は、⑩⑪地点のこれらの堆積物を阿蘇-3と記したが、軽石中に角閃石斑晶が含まれることから少なくとも阿蘇-3ではない。

⑫ 阿蘇-2と阿蘇-3の間の降下火砕物 (写真-7, 図-6)

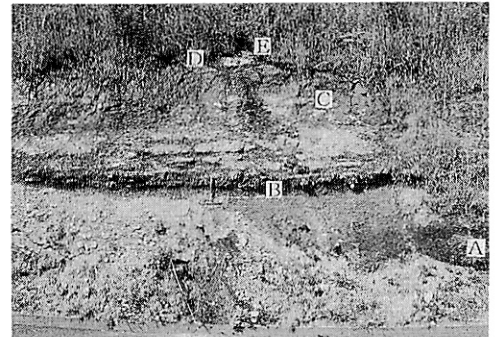


写真-7 ポイント⑫の露頭の様子 (Aは阿蘇-2B, Bは阿蘇-2T, Cは宮城火砕流堆積物, Dは黒灰色の火山灰層, Eは灰白色の軽石混じりの層)

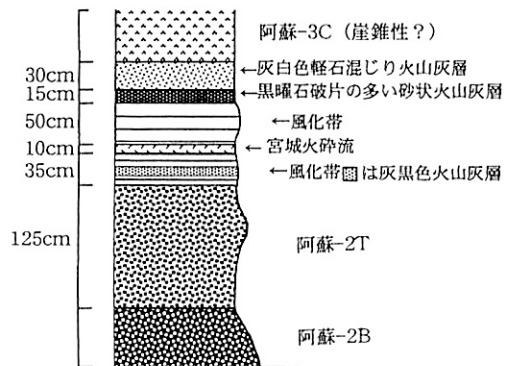


図-6 ポイント⑫の露頭柱状図

ここでは、下位に阿蘇-2Bの黒色のスコリアが見られ、上部はやや灰色になる。

その上位に、赤褐色で、径が1・2cm程のスコリア層からなる阿蘇-2Tの降下スコリア層が見られる。一部硬くしまっている部分

も見られる。その上位にローム層をはさんで灰黒色の火山灰層があり、さらに灰褐色の層がある。この部分を採集して洗浄して見ると、角閃石と黒ウンモが認められる。このことからこの層は九重火山起源の宮城火砕流の末端部ではないかと思われる。その上位に黒曜石の破片を多くふくむ黒灰色の火山灰層さらに灰白色の軽石混じりの層が見られる。この2層の組み合わせは特徴的で小野ほか(1977)のQ層、P層にあたると思われ、阿蘇-2と阿蘇-3との間の降下火砕物の中でも特徴的で層序を決める手がかりになるものである。

⑬ スコリア流堆積物

阿蘇-3Cのスコリア流堆積物である。本質物として阿蘇-3Cのスコリアは黒色で多斑晶質で、スコリアの中には肉眼で多数の大型のチョウ石の結晶が見える。

また、石質岩片として黒ウンモ、角閃石をふくむ花こう岩質岩石が特徴的に見られる(写真-8)。

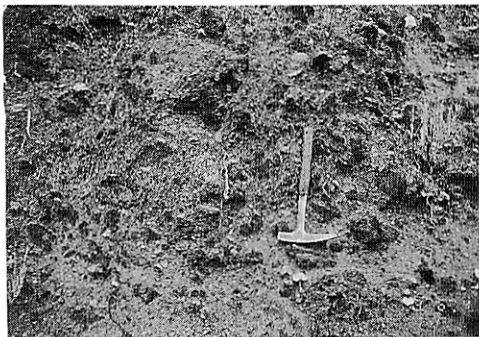


写真-8 花こう岩質岩石を含む阿蘇-3C 火砕流堆積物

⑭ 阿蘇-3と阿蘇-4の関係の見える露頭

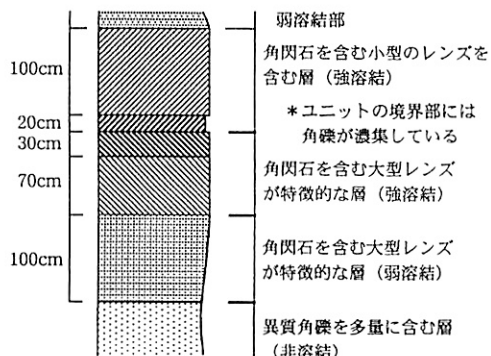
大きな崖の露頭であるが急斜面のため、近づくのは危険である。阿蘇-3の上位に阿蘇-3、-4間のローム層をはさんで阿蘇-4がのことは遠望できる。

⑮ 非溶結軽石流堆積物と溶結凝灰岩(写真-9, 図-7)

阿蘇-3が東側に露頭として見えるが、阿蘇-4との直接の関係を見ることはできない。



写真-9 ポイント⑮の露頭の様子



*溶結部全体が小野ほか(1977)の阿蘇-4Bにあたる

図-7 ポイント⑮の露頭柱状図

しかし、すぐ横の北東側の露頭では、阿蘇-4火砕流堆積物が見える。ここでは最下部に軽石と異質角礫を多量にふくむ層がある。その上位は黄色風化した基質中に扁平な黒色レンズが含まれるようになり、レンズは上にいくほど大型になっていく、やがて強溶結部へ漸移する。強溶結部の上部ではレンズが小型になる。レンズ中には角閃石斑晶が特徴的に含まれる。さらに、上位には黒色レンズをふ

くまず、軽石をふくむユニットがある。強溶結部をよく見ると、横方向に亀裂がみられ、さらに良く観察するとその亀裂部分に礫がはさまっていることがわかる（写真-10）。これはフローユニットの境であり、礫のならばは3層確認できる。このことから溶結部（阿蘇-4）の中にもフローユニットが少なくとも4つはあることがわかる。



写真-10 阿蘇-4Bの強溶結部に見られるフローユニットの境界を示す礫（矢印が礫のはさまったフローユニットの境界）

4. おわりに

これまで述べてきたように、「阿蘇一の宮グリーンロード」においては、阿蘇のカルデラ形成に重要な役割を果たした阿蘇-1、阿蘇-2、阿蘇-3、阿蘇-4火砕流堆積物が、ほぼ順序良く連続的に、容易に観察できる。このように、多くのものが非常に近くに一連に観察できる場所は少ないので、ぜひ活用していただきたい。また、火砕流堆積物に関するさまざまな事象も多く観察できる場所である。さらに、この地には手野の名水とよばれる湧水があり、透水層、不透水層と地下水の関係を理解する上で観察しやすい場所である。地域教材の一つとして、また、理科学習の教材の一つとして貴重な地域である。しかしながら、県内はもとより、中・北部九州に広く分布する阿蘇-1から阿蘇-4までに含まれるサブユニットやそれらの関係が全てここで見られるわけではない。その点には十分注意

して、竹田地域や阿蘇西側地域などの文献等で知識を補ってほしい。そして、教材として活用されるときは、一の宮町が整備した林道であり、有益な露頭とともに豊かな自然もあるので、露頭だけでなく、自然や道路の保護に努めてほしい。

謝辞

本解説をまとめるにあたり、熊本大学の渡辺一徳先生に多くのご教示ならびにご指導をいただいたことに、心より厚く感謝いたします。

引用文献

- 荒牧重雄（1979）火山噴出物。岩波講座地球科学7「火山」，岩波書店，121-155p.
- 星住英夫（1990）阿蘇-4/3 降下火砕物-阿蘇-4 噴火以前の阿蘇火山活動史（演旨）。地球惑星科学関連学会合同大会日本火山学会固有セッション講演予稿集，1990 年度春季大会，92p.
- 加藤芳朗，近堂祐弘，永塚鎮男（1977）古土壌。日本の第四紀研究-その発展と現状，東京大学出版会，189-206p.
- 小野晃司（1965）阿蘇カルデラ東部の地質。地質学雑誌，第71巻，第842号，541-553p.
- 小野晃司，松本徹夫，宮久三千年，寺岡易司，神戸信和（1977）竹田地域の地質。地域地質研究報告（5万分の1図幅），地質調査所，145p.
- 渡辺一徳（2001）阿蘇一の宮町史自然と文化選書7「阿蘇火山の生い立ち・地質が語る大地の鼓動」。一の宮町，242p.
- 渡辺一徳，藤本雅太郎（1995）表層地質図「阿蘇山・竹田」および説明書。熊本県発行，15-28p.
- 渡辺一徳，小野晃司，奥村公男（1983）阿蘇火砕流堆積物中のプルアパート構造と本質レンズのしぼり出し現象。「火山」第2集，第28巻，第2号，87-99p.