

草津白根火山，白根火砕丘周辺地震観測井のボーリングコア記載

宇都浩三¹・栗原 新^{1,2}・平林順一³

1：(独)産業技術総合研究所地質情報研究部門

2：(株)ダイヤコンサルタント防災・新規事業部

3：東京工業大学火山流体研究センター

Core descriptions of seismological observation wells around Shirane cone, Kusatsu Shirane volcano

Kozo Uto¹, Arata Kurihara^{1,2}, Jun-ichi Hirabayashi³

1: Geological Survey of Japan, AIST

2: Dia Consultant Co., Ltd.

3: Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

1．はじめに

若い火山は，侵食による火山体内部の露出が少ないため，過去の噴出物が最近の噴出物に覆われて，過去の噴火履歴が不明なことが多い．そのため，活動的火山の活動履歴を理解する上で，ボーリングを行い，地下に埋没した過去の噴出物を採取し解析することは大変重要で，地表の地質調査では分からなかった過去の噴火の歴史が明らかにされることは多い．活動的火山では，火山観測のためのボーリングがなされることが多く，その際，採取されるコアを解析することでこれまで不明だった過去の噴火について新たに様々な事実が明らかにされる（例えば宇都ほか，2000）．

草津白根火山では，2001年に湯釜，水釜など活動的な火口を持つ白根火砕丘の東および西側の麓に2本の火山観測井が掘削された（第1図）．これらは湯釜北東観測井，湯釜北西観測井と呼ばれ，前者は深度200m，後者は深度230mまでオールコア掘削された．本報告書では，両掘削井のコアの記載を行い，若干の考察を行う．

2．コア記載

両観測井コアについて，肉眼による岩相観察を行い，堆積ユニット，堆積様式の認定を行ない，コアの地質柱状図を作成した（第2，3図）．以下に簡単にその概要を述べる．

2．1 湯釜北東観測井

湯釜北東観測井は，1万年前より最近に噴出したと推定される香草溶岩の上から掘削された．そのため，表土の下の深度5.10mから56.12mまでの約50mは，厚い香草溶岩が分布している．地表の香草溶岩は，かんらん石を含む輝石安山岩マグマと黒雲母を含む輝石デイサイトマグマが不均質に混合した溶岩であり，場所により苦鉄質な部分と珩長質な部分が存在している．コアにおいても同様の特徴が認められる．深度37.55mより上位は，細かく発泡して灰青白色のデイサイト質であり，香草溶岩に特徴的に含まれる黒雲母斑晶が認められる．その下は，緻密で青白色

の安山岩質であるが、41.0～43.5mの範囲では、厚さ数 cm 以下の優白色なデイサイト質の包有物が認められる。

香草溶岩の下の 56.12m から 57.12m は黄土色の風化土壌であり、その下に monolithologic な自破碎溶岩と思われる発泡した普通輝石単斜輝石安山岩が 61.3m 続く。この岩石は全体に硫化変質が激しく黄色に変質しており、産状が不明確である。

61.30～67.80m は崖錐あるいは崩土と呼ぶべき堆積物であり、粒径 1-8cm 程度の亜円れきが不淘汰に含まれその間を泥質なマトリックスが埋めている。そのうち 61.3～64.9m はその上に自破碎溶岩と同様硫化変質しているが、その下は赤褐色から赤黒褐色を呈し、草津白根山北東麓の元山に分布する旧褐鉄鉱山付近の堆積物に類似している。水酸化鉄が沈殿形成していると推定される。

67.80～88.20m は、1～2cm の細粒礫に富み角礫ないし亜角礫（3-10cm）を少量含む火砕流堆積物である。全体に硫化変質を被っており、産状について不明確な点が多いが、4.80～75.90m にガス抜け構造が認められ、82.60～82.80m は細礫主体で成層構造を有する。岩石は、単斜輝石普通輝石安山岩である。

88.20～89.20m の間に黄土色の土壌を挟み、その下 89.20-117.40m は再び不淘汰な角礫ないし亜角礫（3-15cm）を含む火砕流堆積物である。この火砕流堆積物は、含まれる角礫のサイズ、形状、量から複数のフローユニットに分けられると考えられるが、全体に硫化変質が進んでおり境界は不明である。最上部の 89.2～91.5m 付近には鋭角な角を持つ多角形の本質れきが主体であり量も少ないが、約 100m より下の堆積物はやや発泡して丸味を帯びた 3～5cm の本質物質を多く含む。岩石は、いずれも斜輝石普通輝石安山岩である。

117.40～145.20m は斜輝石普通輝石安山岩の溶岩流である。最上部の約 2.5m は溶岩流上部のクリンカーであり、その下にマッシュな溶岩が続く。最下部のクリンカーは、変質作用が激しくよく分からない。

145.20m から坑底の 200m までは、2 枚の溶結火砕流堆積物（145.2～172.00m および 172.00～200m）が存在する。これらは連続整合的な堆積物であり、一連の噴火で堆積したと考えられる。上位の火砕流堆積物は、軽石と石質岩片からなる 10～200mm の亜角礫に富む溶結凝灰岩であり、monolithologic な岩相を示す。マトリックスは、本質礫と同質で細粒物質に富む。下部は軽石と黒色のガラス片が主体である。軽石とガラス片の外形は不定形で、引きちぎれたような構造を示す場合があり、溶結時の圧密により扁平に変形した岩片は見られない。一方、下位の火砕流堆積物は直径 10～200mm の亜角礫を大量に含み、全体に緑灰色を呈し、細粒物質に乏しい。本質礫は、軽石と安山岩の石質岩片と若干の黒色のガラス片からなり、やはり圧密により扁平になったものは見られない。

2.2 湯釜北西観測井

湯釜北西観測井は、白根火砕丘の西側斜面に位置しており、その直ぐ西側には草津白根火山の基盤に当たる著しく変質した新第三紀火山岩類が露出している。地表から 38.85m までは、白根火砕丘の斜面を覆う表土であり、角礫を主体とする転動（崖錐）堆積物である。

38.85～40.00m までは風化土壌であり、その下の 40.00～74.60m は白根火砕丘を構成する噴火堆積物である。この堆積物は、全体に灰色～黒灰色を呈し monolithologic な安山岩角礫ないし亜角

礫を有する凝灰角礫岩である。64.50～68.50m は黒色を呈し角礫をあまり含まず極めて monolithologic である。これらは、ストロンボリ式ないしブルカノ式噴火の堆積物と推定されるが、緑白色の硫化変質を受けている部分が多く、堆積様式の詳細は不明である。岩石は普通輝石斜方輝石安山岩である。

74.60～75.10m は、下位の溶岩流が崩れて再堆積した崩積土 (Colluvium) と推定され、その下の 75.10～134.90m には普通輝石斜方輝石安山岩の溶岩流が分布する。上部 4.7m は火砕岩で上部 クリンカーあるいは溶岩の再堆積物部である。中央部の約 50m は発泡に乏しく緻密な溶岩であるが、不均質でネットワーク状に発達した硫化変質により一部火砕岩様の外観を呈す。下部 5m は溶岩流の下部クリンカーである。

134.90～142.40m は、再度崩積土であり、heterolithologic で赤色を帯びた安山岩片を有する転動堆積物で、岩片に乏しく、硫化変質を受けているが変質が不均質である。

142.40m 以深は、坑底の 230m まで基盤の第三紀火山岩類である。灰色を呈する massive な溶岩を主体とし、部分的に火山角礫岩、凝灰角礫岩、自破碎溶岩が挟まる。全体に風化および変質し角礫岩状の外観を呈する。

3. 薄片記載および化学分析

両観測井から採取した代表的な試料について、薄片を作成し顕微鏡観察 (第 1 表) を行うと共に全岩主成分化学分析 (第 2 表, 第 4 図) を行った。薄片記載をコア試料の多くは、最大長径 2～3mm の斜長石斑晶を 15～35% 含む普通輝石斜方輝石安山岩であり、長径 1～2.5mm の普通輝石、斜方輝石斑晶を 1～5% 含む。香草溶岩は、デイサイト質で斜長石、普通輝石、斜方輝石に加え径 2mm 以下の黒雲母斑晶を 1～3% 含む。黒色ガラスを含む火砕流堆積物の本質ガラスは、隠微晶質で無斑晶質である。

代表的なコアについての化学分析値を地表に分布する噴出物と共に第 4 図に示す。コアの SiO₂ は、58.9～66.0wt.% の範囲に入り、地表の草津白根火山噴出物と良く類似した化学組成を示す。

4. 考察

4.1 湯釜北東観測井コアの対比

湯釜北東観測井の最上部の溶岩流は、当然ながら掘削地点の地表部に分布する香草溶岩であり、岩相の特徴もよく一致している。香草溶岩の厚さは 56m と厚く、その下に分布する 2 枚の溶岩は周辺の地表に露出する白根溶岩、平兵衛池溶岩、青葉溶岩であるとは、溶岩上面の高度を考慮に入れると考えにくい。また、記載岩石学的にも一致しない。従って、これらの溶岩は、地表部には露出しないこれまで知られていなかった噴出物である可能性が高い。また、今回発見された 4 枚の火砕流堆積物は、いずれも地表に分布する既知の火砕流物質とは岩相が大きく異なっている。特に、145.2m から坑底 (200m) まで連続する 2 枚の溶結火砕流堆積物は、通常の火砕流堆積物とは、岩相上様々な点で異なっており、特殊な環境で堆積した噴出物ではないかと推定される。既知の火砕流との対比については、今後の課題であるが、これまで知られていない未知の噴出物である可能性が高い。この火砕流堆積物の異議については後述する。

4.2 湯釜北西観測井コアの対比

湯釜北西観測井の最上部の堆積物(0~38.85m)は、未固結で空隙が多く、多種の角礫ないし亜角礫がルーズに積み重なった堆積物であり、現在の白根火砕丘を構成する堆積物が火砕丘の斜面上を転動して堆積した崖錐堆積物であると推定される。その下40~74.6mに分布するmonolithologicな角礫岩は、白根火砕丘本体を形成するストロンボリ式ないしプルカノ式噴火の噴出物と考えられる。白根火砕丘の湯釜および涸釜の西側の火口壁および外側斜面には、斜行層理の発達するベースサージ堆積物が分布している。これらの堆積物の下につながる火砕丘形成時のマグマ噴火堆積物と判断される。その下の75.10~134.9mに分布する溶岩流は、かんらん石斑晶を含まないから白根火砕丘の周辺に分布する白根溶岩ではない。しかし、山田峠に分布する輝石安山岩(宇都ほか, 1982では白根溶岩に一括してある)に対比される可能性はある。その下、142.40mから坑底の230mまでに分布する強変質した安山岩類は、白根山から万座温泉に下る急斜面に露出する溶岩および火砕岩類に良く類似しており、草津白根火山の基盤を構成する第三紀火山岩類であると判断される。

4.3 溶結火砕流堆積物と低重力異常

牧野ほか(本報告書)は、白根火砕丘および周辺部の精密重力測定を行い、水釜の東側の火砕丘斜面を中心とする低重力異常が存在することを明らかにし、直径2kmの陥没構造が存在することを示した。牧野ほか(本報告書)のFig.5によると、陥没構造下の物質と中を充填する物質の密度差を 0.26g/cm^3 と仮定すると、陥没量は200m程度である。湯釜北東観測井は、まさに陥没構造の中心部を掘削しており、この低重力異常の原因を知る上で重要な情報を与えている。残念ながらコアの密度が不明なため、きちんとした議論は現時点では出来ないが、コア観察によりおおよその密度は判断できるので、それに基づいて考察してみる。

北東観測井は、地表から5mの表土を除き、56mの深度までは香草溶岩が厚く分布する。この溶岩は、発泡した比重の軽い部分が一部あるが緻密な溶岩が15m以上あり、平均的な密度は、牧野ほか(本報告書)が表層部の火山物質として仮定した 2.03g/cm^3 よりは遙かに大きく、少なく見積もっても 2.3g/cm^3 はあるものと思われる。一方、その下145.2mまで続く火砕流堆積物および溶岩流は、硫化変質しており多少密度が低い $2.2\sim 2.3\text{g/cm}^3$ 程度ではないかと推測される。一方、その下145.2mから坑底200mまで連続する2枚の溶結した火砕流堆積物は、細かい火山灰質基質の中に多少失透した黒色ガラス質本質物質および軽石の礫が多く含まれており、緻密な溶岩の岩片はあまり多くない。また、溶結してはいるが加重による圧密は受けていない。従って、全体に密度は軽く、 2.1g/cm^3 以下であると推測される。この物質が低重力の主たる原因であることは、定性的なコア観察からもはっきりと認識できる。

2枚の火砕流は、ほぼ連続的に堆積した一連整合の噴火堆積物であると考えられるが、172mを境に上と下で岩相が異なっており、異なるフローユニットを構成すると考えられる。下部の堆積物は、亜角礫質の異質岩片が多く、また径1~5cm程度の白色の軽石が多く含まれており、両者が体積的に50%程度ある。それらの間を比較的粗粒のマトリックスが埋めている。一方、上位のフローユニットは、ほとんど異質岩片が含まれず、逆に黒色の黒曜石的ガラス質岩片が多数含まれる。また、白色軽石も下部ほど多くないが少量ふくまれる。マトリックスは、下部に比べやや細粒火山灰に富んでいる。また、しばしば、幅数cmの成層した火山灰層が間に挟まる。ここで特徴的なのは、黒曜石岩片が引きちぎられたような不定形をしていること、圧密による扁平化

を受けておらず、縦方向に延びた形状を示すものもあることである。通常溶結した火砕流堆積物に含まれる黒曜石岩片は、一度は発泡して軽石になった本質マグマ物質が、堆積時の圧密で気泡が押しつぶされガラス化することで形成され、堆積面に平行に扁平化した形状を示す。本堆積物に含まれる黒曜石のほとんどは、そのような圧密化を受けておらず、堆積時には既に黒曜石として存在したことを示唆する。一方、少量含まれる軽石は圧密による多少の扁平化を被っている。

以上の観察事項から、これらの火砕流堆積物は、通常の規模の大きな溶結火砕流ではなく、むしろ地形的低所に局所的に厚く堆積した小規模な火砕流堆積物であり、あまり地表を流走したものではないことが推定される。下部の火砕流堆積物は、爆発的噴火時に火道を形成拡大して上昇した、発泡したマグマ物質と火道壁の類質物質が粗い火山灰とともにフォールバックして堆積した物であり、上部の火砕流堆積物は、火道拡大後、火道内に一時的につまったガラス質固結マグマを再度吹き飛ばして噴出した火砕物質が再度フォールバックして窪地に堆積したと推定される。このような岩相を示す火砕流堆積物は、阿蘇カルデラ内の地熱調査井のコアに厚く見られるカルデラ内を充填した阿蘇4火砕流堆積物がある。このことから、草津白根火山の特異な火砕流堆積物も、重力構造から推定される陥没地形内を充填した堆積物であると推察される。草津白根火山の東山麓の地表に分布する火砕流堆積物と岩相が違うことも、このためであると推察される。

以上のことから、低重力異常から推定される陥没構造は、構造内を充填する火砕流堆積物が噴出したときに形成されたと考えられ、その後の噴出物が完全に地形内を埋め尽くし、現在の地表には地形的には全く痕跡を残していない。

5. 結論

草津白根火山、白根火砕丘の東および西側斜面に掘削された2本の観測井のコアの観察を行い、一部試料について全岩化学分析を行った。その結果、以下のような結論が得られた。

1. 湯釜北東観測井の最上部は香草溶岩であるが、その下の火砕流堆積物および溶岩流は地表の既存の噴出物には対比できず、新たに発見された噴出物である。
2. 湯釜北西観測井の最上部は白根火砕丘の形成時のストロンボリ式あるいはブルカノ式噴火によるマグマ噴出物およびその再堆積物である。その下の輝石安山岩の対比は、今後の課題である。基盤の第三紀火山岩類は、地表から142.40mより下に分布する。
3. 白根火砕丘の東側に存在する直径2kmの低重力異常を担っているのは、湯釜北東観測井の145.2m以深に分布する2枚の溶結火砕流堆積物であると推定される。この堆積物の噴火時に陥没構造が形成され、同時に陥没地内をこの堆積物が充填したと考えられる。

謝辞

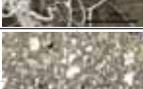
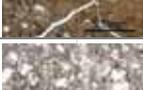
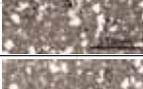
産業技術総合研究所地質情報研究部門の小栗和清氏には、全岩化学分析をお願いした。記してお礼申し上げます。

引用文献

牧野雅彦・渡辺史郎・住田達哉・小川康雄(2004)草津白根山頂域における精密重力探査。(本報告書)

宇都浩三・早川由紀夫・荒牧重雄・小坂丈予（1983）草津白根火山地質図，火山地質図 3，地質調査所．

第1表 観測井コアの顕微鏡観察記載

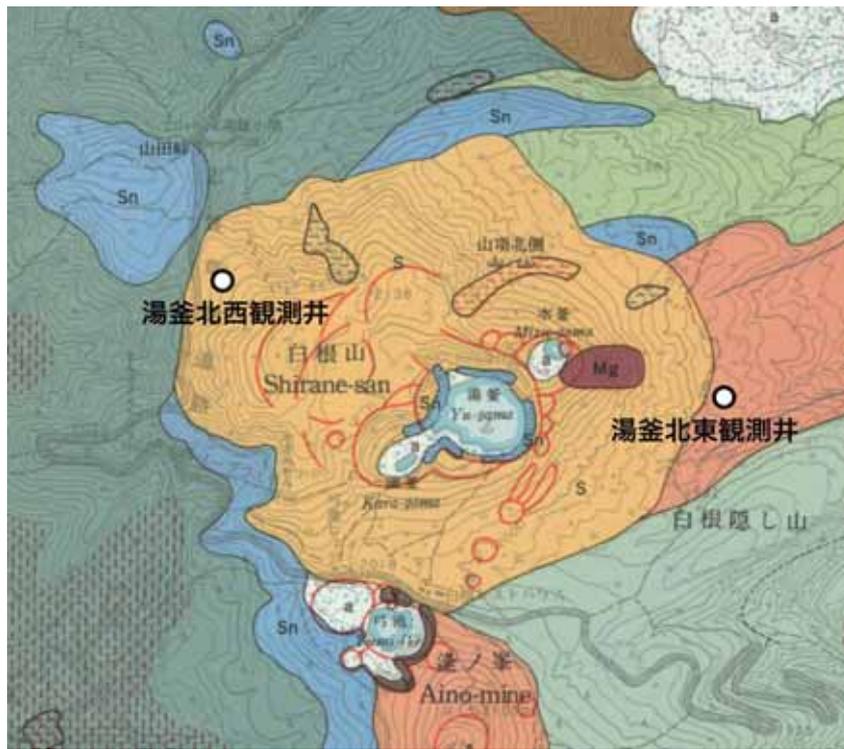
試料番号	採取深度	岩体	岩石名	斑晶				石基 (Texture)	薄片写真	
				単斜輝石	斜方輝石	黒雲母	斜長石			
NE-1	6.0	香草溶岩	Biotite-Cpx-Opx Dacite	量比 (%)	+	++	+	++++	hyalophytic	
				サイズ (mm)	<1.5mm	<1.5mm	<1.7mm	<2.5mm		
NE-2	59.6	溶岩流	Cpx-Opx Andesite	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<1mm	<3mm		<2.4mm		
NE-3	76.6	火砕流堆積物	Cpx-Opx Andesite (Lithic fragment)	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<1mm	<2.5mm		<2mm		
NE-4	89.7	火砕流堆積物	Cpx-Opx Andesite (Essential fragment)	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<1mm	<1mm		<2mm		
NE-5	101.9		Cpx-Opx Andesite (Essential fragment)	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<1mm	<2mm		<2.5mm		
NE-6	113.8		Cpx-Opx Andesite (matrix)	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<1mm	<2mm		<2.5mm		
NE-7	127.9	溶岩流	Cpx-Opx Andesite	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<1mm	<2mm		<2.5mm		
NE-8	164.5	火砕流堆積物 (溶結凝灰岩)	Dacite (Glassy Block)	量比 (%)					Vitrophyric	
NE-9	178.2	火砕流堆積物 (軽石に富む溶結凝灰岩)	Cpx-Opx Andesite (Lithic Block)	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<1mm	<1.5mm		<2mm		
NE-10	178.7		Dacite(Glassy Block & Matrix)	量比 (%)					Vitroclastic	
				サイズ (mm)						
NW-1	41.2	白根火砕丘堆積物	Cpx-Opx Andesite (Block)	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<1.5mm	<1.5mm		<2.5mm		
NW-2	69.6		Cpx-Opx Andesite (Block)	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<2mm	<1.5mm		<2.5mm		
NW-3	84.2	溶岩流	Cpx-Opx Andesite	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<2.5mm	<1.5mm		<2.5mm		
NW-4	134.4		Cpx-Opx Andesite	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<2mm	<1.5mm		<2mm		
NW-5	137.9	崩積土	Cpx-Opx Andesite (Block)	量比 (%)	+	+		++++	Intersertal	
				サイズ (mm)	<1mm	<2mm		<2mm		

量比 +: 1-5%, ++: 5-10%, +++: 10-20%, ++++: >20%

第2表 観測井コアの全岩主成分化学組成

	NE-1	NE-2	NE-7	NE-9	NW-1	NW-3	NW-4	NW-5
SiO ₂	66.06	58.69	63.72	61.83	59.94	62.30	60.06	60.77
TiO ₂	0.54	0.69	0.62	0.68	0.65	0.66	0.69	0.67
Al ₂ O ₃	15.05	16.26	15.56	17.00	16.19	16.49	16.68	16.61
FeO*	5.17	8.10	6.65	5.89	7.14	6.50	7.39	6.61
MnO	0.10	0.15	0.12	0.23	0.13	0.12	0.13	0.13
MgO	2.34	4.20	3.25	2.96	3.91	3.39	3.63	3.57
CaO	4.88	7.56	5.07	6.65	7.28	6.14	7.00	7.01
Na ₂ O	3.01	2.78	2.48	2.79	2.83	2.44	2.45	2.59
K ₂ O	2.76	1.39	2.41	1.81	1.81	1.79	1.82	1.87
P ₂ O ₅	0.10	0.17	0.12	0.15	0.13	0.15	0.15	0.16

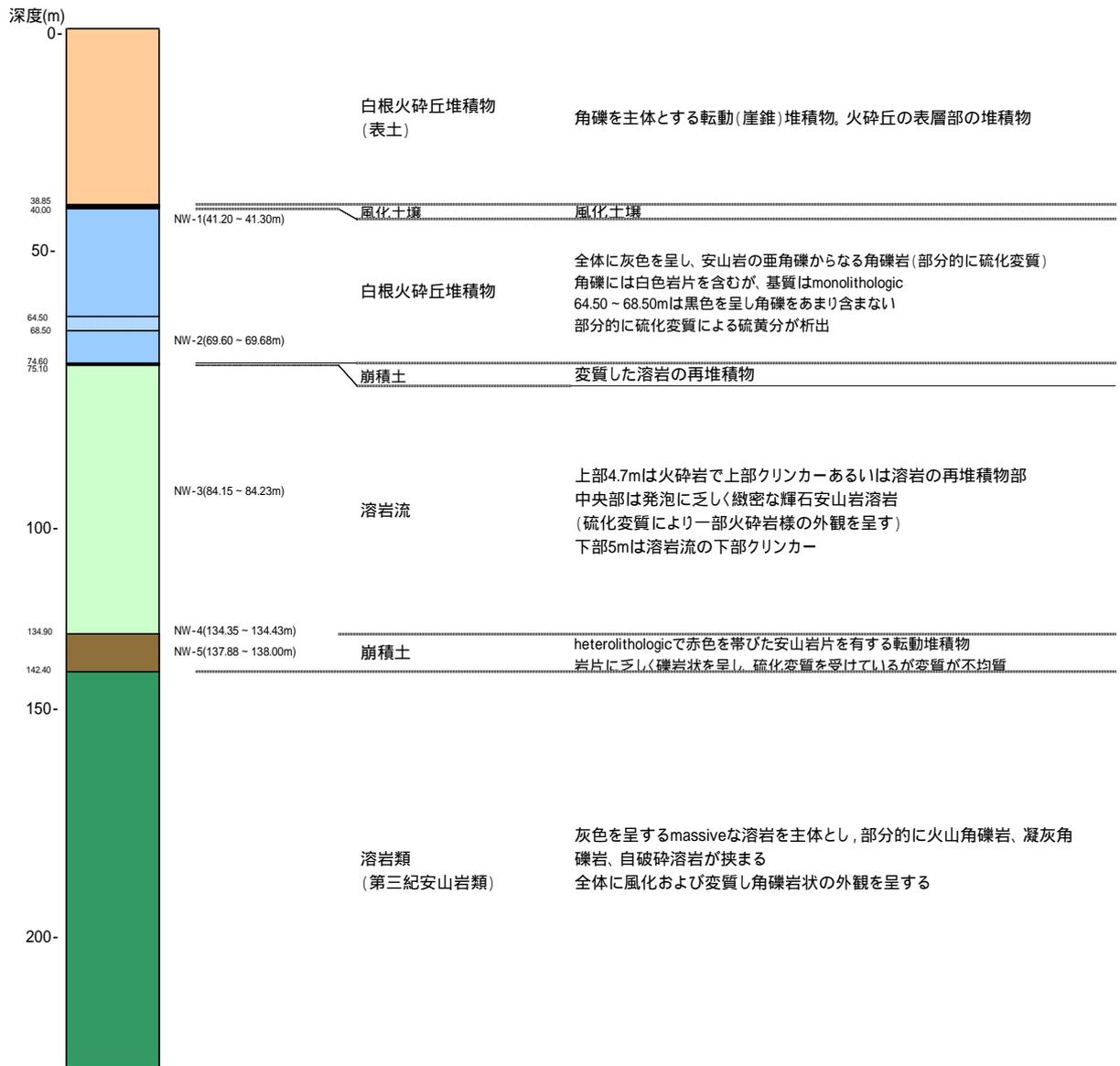
分析値は、無水 100%に再計算してある。FeO*：2価換算した全酸化鉄



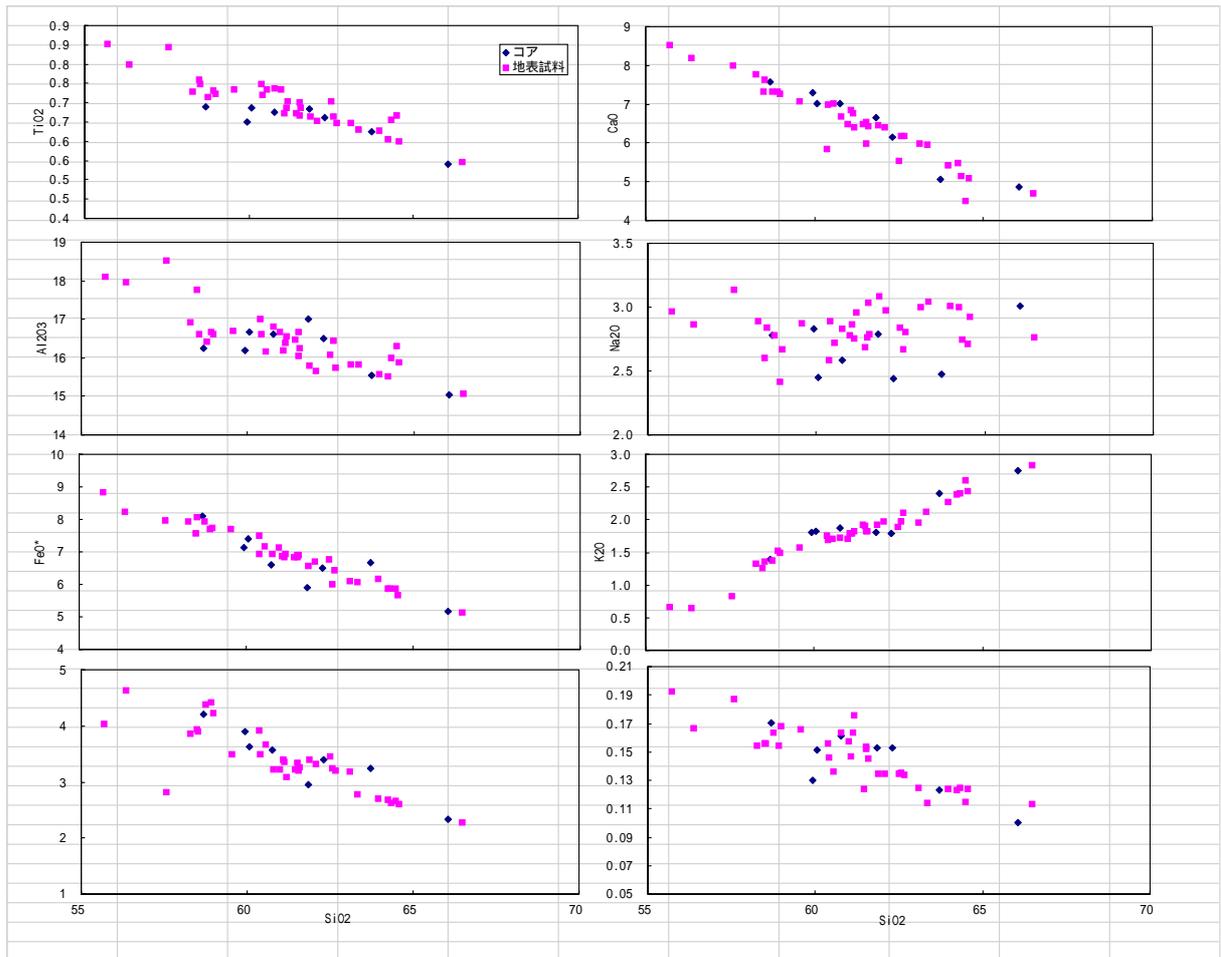
第 1 図 白根火砕丘及び周辺部の地質図および観測井の位置図



第2図 湯釜北東観測井の坑井地質柱状図(全長200m)



第3図 湯釜北西観測井の坑井地質柱状図(全長230m)



第4図 草津白根火山観測井試料の全岩主成分化学組成

