1986年ニアムラギラ火山の側噴火

—キタツングルワ(Kitazungurwa)—

笠原 稔¹・林 信太郎²・瀬戸 正弘³
Zana Ndontoni⁴・田中 和夫⁵

Flank Eruption of Volcano Nyamuragira in 1986, —Kitazungurwa—

Shintaro Hayashi¹, Minoru Kasahara², Masahiro Seto³,
Ndontoni Zana⁴ and Kazuo Tanaka⁵

An eruption occurred on the southern flank of Nyamuragira at 15 hours local time on July 16, 1986, after two years and four months' dormancy. A swarm of earthquakes preceded the eruption by thirteen hours. Much lava poured out from a small lava pond during the first two days of eruption. The eruptive activity became lava fountain type and much scoria and lava were ejected. New scoria cones were formed at craters and were growing up to a cone with diameter of 700 m and height of 80 m until the end of eruption. The new cone was called Kitazungurwa (meant the irreplaceable place) by the local people. Eruptive activity changed to Strombolian eruption on three days before the end of eruption. Simultaneously, seismic activity changed from continuous tremors to isolated ones. A lot of small or micro-earthquakes were observed when the eruptive activity ceased. The sources of tremors were located just beneath the craters and hypocenters of earthquakes were at south of them. Lava flowed about 19 km toward south with mean width of 1 km and mean thickness of 2 m. Total volume of scoria and lava erupted is estimated to be $50 \times 10^6 \text{ m}^3$.

1. 序

ザイール共和国東部国境に連なるモブツ、アミン、キブ、タンガニイカの湖は、東アフリカ地溝帯系のうち西部地溝帯の底部に形成されたものである。プレートテクトニクスの立場から東アフリカ地溝帯系をみれば、この地溝帯はインド洋中央海嶺、紅海・アデン湾とつながる海嶺系のアフリカ大陸塊への延長と考えられ、アイスランドや

アフアー三角地帯などと共に、プレート生産境界の諸現象が陸上において観察しうる世界的に数少ない場所と言える(Holmes, 1965)。本論で述べるニアムラギラ(Nyamuragira)火山は、この西部地溝帯の中央部を占めるビルンガ(Virunga)火山地域の西端に位置し(第1図)、約13km南東のニイラゴンゴ(Nyiragongo)と共に、地球上最も活発な火山活動を呈する火山として知られている。

¹ 北海道大学理学部地震予知観測地域センター² 秋田大学教育学部地学教室³ 東北工業大学工学部通信工学科⁴ ザイール共和国高等教育自然科学研究省自然科学研究所⁵ 弘前大学理学部地球科学科¹ Research Center for Earthquake Prediction, Faculty of Science, Hokkaido University.² Geological Laboratory, Faculty of Education, Akita University.³ Tohoku Technical College.⁴ Centre de Recherche en Sciences Naturelles, Rep. du Zaïre.⁵ Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Hirosaki University.

図1 上) 東アフリカ地溝帯の位置
下) ビルンガ火山地域の火山分布

ニイラゴンゴはその山頂火口内の溶岩湖が著名であり、一方ニアムラギラでは1901年以来16回の噴火が記録され、特に最近の10年間に5回の噴火が発生している(表1)。1938年、1956年を除くニアムラギラの噴火は全てその山腹に発生した(側噴火)。噴火様式は一般に割れ目噴火と称されるもので、噴火活動の初期には長さ数100mの割れ目より低粘性のマグマを噴水状に噴き上げる。噴火は数週間継続し、溶岩流は長さ5~25kmに達する。噴火終了時までには、主たる噴出口に円錐形の高さ100m程度の山体が形成される。この山体にはそれぞれ固有の名前が付けられるため、ニアムラギラの各側噴火はこの名前で呼ばれることが多い。

筆者らは1977年以来、ニアムラギラ、ニイラゴンゴ両火山を含む西部地溝帯において、プレート

表1 ニアムラギラ火山の噴火史とマグマ放出量

Name of New Cone (Abberiviation)	Eruptive Period	Total Volume Erupted
Kitazungurwa(KZ)	Jul. 16, 1986-- Aug.20, 1986	50 x10 ⁶ m ³
Kivandimwe (KV)	Feb.23, 1984-- Mar.14, 1984	69
Rugarambi (RG)	Dec.25, 1981-- Jan.14, 1982	81
Gasenyi(GS)	Jan.30, 1980-- Feb.23, 1980	67
Murara(MR)/ Harakandi(HR)	Dec.23, 1976--mid.Jun. 1977	38
Rugarama(RU)	Mar.24, 1971--mid.May 1971	89
Gakararanga(GK)	Apr.23, 1967-- May 9, 1967	67
Kitsimbanyii(KT)	Aug. 7, 1958-- Nov.21, 1958	92
Mihaga(MH)	Feb. 21, 1954-- May 28, 1954	76
Shabubembe(SB)	Nov.16, 1951--mid.Jan. 1952	14
Gituro(GT)/ Muhuboli(MU)	Mar. 1, 1948-- mid.Jul. 1948	61
Tshambene(TS)	Jan.28, 1938-- Jun. 1940	130
Lava Lake in the Crater(LC)	mid.Oct. 1929-- Jan.28, 1938	200
Rumoka(RM)	Dec. 3, 1912-- Mar. 1913	80
Kanamaharagi(KA)	1905	70
Nahimbi(NA)	1904	31
Singiro(SN)	1901	74

Ref. *Poucllet(1971), #Ueki(1983)

生産境界に特徴的な地殻の分裂・拡大(rifting)に伴う諸現象の地球物理学的観測および調査を実施してきた。これらの結果の一部は浜口(1978)、三品他(1981)、笠原他(1982)、Hamaguchi *et al.*(1982)、Hamaguchi(1983)に報告されている。ニアムラギラの噴火史や筆者らによる過去4回の観測・調査結果は、この地域の火山活動、地震活動が極めて活発であり、地殻変動も大きいことを示している。この事実は西部地溝帯の本調査地域の地殻活動が一つのエポックを迎えていることを意味している。

1986年に実施された5回目の調査開始直前にニアムラギラに再び側噴火が発生したため、この噴火活動を詳細に観察する機会を得た。プレート消費境界に位置する我国の火山活動と異なる様相を呈するニアムラギラの側噴火の過程を述べることは我国の火山の噴火過程を調べる上でも重要であると考え。本論文では噴火地点より450m離れた観測基地からの観察等を基にこの噴火過程について報告する。

2. 噴火の概要

ニアムラギラ火山の南腹に、1986年7月16日噴火が発生した。この噴火は約5週間続いて8月20日に終息したが、この間に長さ19kmにおよぶ溶岩流と、火口近傍に小さな山体、スコリア丘が形成され、キタツングルワ (Kitazungurwa) と命名された。ニアムラギラのこれまでの噴火地点および溶岩流の分布 (第2図) に示されるように、噴火はニアムラギラの北～北西麓と南東～南西麓に多く発生している。溶岩は噴火地点の地勢に従って、北側、南側ないし西側に流れ、新しい溶岩流が古い溶岩流を覆うようになる。

この火山から約100 km南にあるC. R. S. N. のルイロ (Lwiro) 観測点の地震計は今回の噴火の前兆を捕えていた。地震記録 (第3図) によれば、火山性地震や微動の活動は7月16日午前2時頃より

急に活発化した。噴火はその13時間後に始まっている。噴火開始前後の火山性地震の頻度と微動の振幅変化を第4図に示す。噴火に伴う地震活動は18日以降は小規模となり、ルイロ観測点の地震計の記録からは噴火活動の推移は正確には把握できない。これは流動性に富んだマグマが比較的容易に地表に噴出し、大規模な震動を発生しなかったためと考えられる。

この噴火による噴出物は溶岩流を主体とし、スコリアなどの火砕物は少ない。噴火の形式は溶岩噴泉を特徴とするハワイ式噴火であった。また噴火の初期には割れ目噴火を起こしていたと推定される。噴火の末期にはストロンボリ式噴火も行なわれた。この噴火活動の推移は表2に掲げるようなものであるが、噴火地点より450 mの場所からの観察を主として今回の噴火の特徴を次節以下に述べる。

3. 火口近傍で観察した噴火活動

(1) 火口における活動の変遷

1-1 溶岩噴泉

噴火の初期の段階で火口からは激しく溶岩が噴出した。赤熱した高温のマグマが上向きにシャワーのように噴き上がる活動である。溶岩噴泉の高さは、最も活動が激しい時には300 mに達し、最も弱まった時期で十数mであった。活動はほぼ連続的でとぎれることはないが、よく観察すると数秒おきのパルスが認められる。マグマが噴出しスコリアとして落下するまでの間に数回のマグマ噴出があり、全体としては連続して見える。溶岩噴泉の活動度は観察期間中を通じて弱まる傾向にあったが、この間2回の活動度の上昇が認められた。噴火開始後16日目前後の活動では300 mの溶岩噴泉が観測され、大量のスコリアやスパッターが火口周辺に堆積し、新しいスコリア丘ができた。また25日目の活動では再び高さ300 mの溶岩噴泉が出現し、スコリア丘はさらに10 m生長した。赤外放射温度計 (ミノルタ製 I R-630 型) による测温結果によると、火口から噴出した直後のマグマの温度は1000℃～1065℃である。マグマの上昇や

図3 C. R. S. N. のLwiro観測点で記録された噴火開始前後の地震・微動の記録例

表2 1986年ニアムラギラ火山キタツングルワの噴火活動経過

日 時	噴 火 活 動	噴火経過日数
1986年		
7月16日	2時頃より地震群発, 15時頃噴火開始。	1
17日	} 最初のスコリア丘の成長始まる。	2
18日		3
21日		6
22日	} 溶岩流の長さ15kmに到達。	7
23日		8
30日	} 最初のスコリア丘の一部崩壊。	15
31日		16
8月1日		17
2日	溶岩流先端19km地点, 動きは完全に停止。	18
8日	} 新しいスコリア丘さらに10m高くなる。	24
9日		25
17日	ストロンボリ式噴火となる。	33
19日	午後より噴火活動急激に衰退する。	35
20日	朝噴火終了, 夜火映全く見えず。	36

落下の過程で溶岩は冷却し, 地表に堆積する頃には発泡のよいスコリアや火山弾となる。また, 流動性の高いマグマに特有の火山毛 (Pele's hair) や火山涙 (Pele's tear) も形成された。

1-2 ストロンボリ式噴火

噴火開始後21日目以降, 1分間に数回の爆発を伴うストロンボリ式の噴火が一部の火口で始まった。ドンという爆発音と共に少量の火山弾が放出された。火山弾は最大で500 m程飛行し, 筆者らの観測基地に落下した。この活動が行なわれている間にも他の火口からは溶岩噴泉が噴出していた。溶岩噴泉を起こす火口はストロンボリ式噴火を行なう火口よりも常に山麓側に位置する。

1-3 火口の形成

噴火期間中スコリア丘内部では多数の火口の形成・消滅が繰り返された。噴火中には少なくとも8つの火口が確認された。噴火終息後の調査では直径9~32 mの7つの火口が認められた。ストロンボリ式の噴火を行っていた火口は最終的には

図4 Lwiroで観測された噴火開始前後の単位時間当りの地震回数(上)と微動の振幅変化(下)

すり鉢形の火口となり、溶岩噴泉の火口は固結した“溶岩の池”となった。

1-4 噴火割れ目

ニアムラギラ火山の過去の噴火では明瞭な噴火割れ目が観察されている (Ueki, 1983)。今回の噴火では噴火割れ目を直接観察することはできなかった。スコリア丘上には 160 m の長さにわたって噴気の連なりが観察された。この連なりの方向は $N25^{\circ}W$ であり、次節で述べる火口列と調和的である。噴火割れ目はスコリアに埋められた可能性が強い。

(2) 火口周辺の堆積物

2-1 スコリア丘の形成と破壊

溶岩噴泉の活動により火口周辺に短径 300 m、比高 80 m の 2 つのスコリア丘が形成された。最初のスコリア丘は少なくとも噴火開始後 9 日目までには形成されたと推定できる (第 5 a 図)。後に形成されたスコリア丘は最初のスコリア丘の南腹を覆って成長した (第 5 b 図)。このスコリア丘は 15~17 日目の活動により大部分が形成され、25 日目にはさらに 10 m 成長した。この時には高さ 300 m 以上の溶岩噴泉が出現し、スコリア丘の斜面に大量の物質を供給した。この新しいスコリア

図5 スコリア丘の地形変化 a) 噴火開始後13日目(観察開始日)~14日目 b) 15日目~26日目 c) 27日目~36日目(噴火終了日) 砂目の部分は14日目以前に形成された山体。実線の矢印は溶岩の川の流下方向、破線の矢印はその伏流を示し、添数字は溶岩川がその位置に存在した期間を表わす。点線は50mの等高線

丘の堆積物は古いそれに比べて、急速に形成され、かつスパッター/スコリアの比が高いため溶結部がより多く、高温酸化が進行している。

溶岩流 (lava flow) には固結した溶岩流の意味も含まれるので、ここでは流動している溶岩流の意味を強調するため溶岩川 (lava river) を用いることとする。火口から流出する溶岩川が常に存在していたため、下流にあたる南側にはスコリアが堆積しない。また溶岩川はスコリア丘を侵食

するため、南側の開口部が拡大した。この溶岩川の 2 つの効果により、結果的には馬蹄形に開いたスコリア丘が形成された (第 5 c 図)。

侵食されたスコリア丘の破片は溶岩流 (川) によって運搬され、溶岩流中に点在している。また、地割れが発達し、南側にずり落ちたブロックが多い。特に新しい方のスコリア丘は破壊が著しく、最終的には 3 つの大きなブロックに分断された (第 5 c 図)。

2-2 スパッター丘

可塑性をもつ溶岩片であるスパッターの噴出に伴い、スコリア丘の内部では多数の小規模のスパッター丘の形成・消滅の繰り返しが見られた。これらのスパッター丘は噴火の弱まった時期の溶岩噴泉によって形成された他のスパッター丘に覆われたり、新たな火口の形成により破壊され短命である。最終的には高さ6 mと20 mの2個のスパッター丘が残された。

(3) 溶岩流の活動

溶岩流の大半の部分は噴火活動初期に噴出されたものである。火口から噴出した溶岩流は南西方向に1938~40年の溶岩流に沿って流下し、平均の幅1 kmで先端までの長さは19 kmにおよぶ。先端部はゴマ (Goma) とサケ (Sake) を結ぶキブ湖岸の幹線道路から2 kmの地点である (第2図)。溶岩流がこの地点に到達したのは遅くとも噴火開始後10日目である。筆者らが現地に着いた時には流れは既に停止していた。筆者のひとりが12日目にこの溶岩流の先端を訪れた時には、先端部は既に冷却・固結し動きは全く認められなかった。溶岩流の表面温度は40℃~130℃、崩壊し内部の露出したところでも150℃であった。この初期の溶岩流の厚さは最大5 m、表面の形態は、小さいとげが密集していて凹凸に富むアア (aa) 溶岩であり、火口近辺では表面が平滑なパホイホイ (pahoe-hoe) 溶岩が認められた。

筆者らの観察期間中のはとんどにわたって火口から流出する溶岩の川が認められた。この溶岩川は噴火活動終了2日前まで弱いながらも観察することができた。溶岩川の流下方向は大局的には2回変化している。観察開始日 (噴火後13日目) から22日目までの期間には、南下した溶岩川はすぐ西向きとなり、さらに再び南に向きを変えて流下した (第5 a, b 図)。

22日目以降溶岩川はアア溶岩の下を伏流し、火口の南約500 mの地点から流出した (第5 b 図)。27日目以降はスコリア丘南西部の崩壊によってできた割れ目から流出するようになった (第5 c 図)。流路の大きな変化は噴火活動の低下した時期に生

じている。この事はマグマの供給量の減少した時点で、それまでの流路内部の溶岩が固結し、流れを塞止めたため溶岩川の復活の時点で流下方向が変化したことを示唆している。

期間中に噴出した溶岩がどこまで流下したかは定かでない。溶岩の川の温度は1020℃~1030℃である。溶岩はしばしば流路から溢れ出し、火口近辺で固結する溶岩流となった。溶岩川中に岩塊が落下した時や一時的に流れの勢いが増大した時にこのような現象が起こる。溢れ出した溶岩の形態は大部分がアア溶岩で、一部にパホイホイ溶岩が認められる。溶岩川の勢いは噴火終了の1週間前から衰え、噴火終了2日前まで観察できた。

(4) 噴火終了時の地震活動

噴火地点から450 mの場所に設置した観測基地では、地震計による火山性微動と地震の連続観測が実施された。溶岩噴泉の活動が続いている時期には、火山性微動が連続し、大振幅で記録されている (第6図)。噴火開始後34日目の8月18日早朝から噴火はストロンボリ式に移行した。これに伴って、微動は連続型から孤立型に変わった。この時期には微動の振幅はさらに増大している。8月19日以降は孤立型微動の振幅、頻度が共に減少し、20日には微動は観測されなくなる。高倍率の地震計はこの時点から多数の火山性微小地震を記録し始めた (第6図)。

ニアムラギラ火山の1981~1982年の噴火 (ルグランビロ) の場合にも同様の地震活動の推移が認められている (Hamaguchi, 1983)。これら2つの噴火活動に共通している点は、溶岩噴泉 (大振幅の連続微動) —ストロンボリ式噴火 (大振幅の孤立微動) —噴火終了後 (多数の火山性微小地震) という活動経過をたどることである。溶岩噴泉から噴火終了までの中間過程であるストロンボリ式噴火の期間は2~3日の短さである (第7図)。

第8図に示すような三角形の小地震観測網によって求めた火山性微動の震源は山体直下の極浅部に位置する。一方、噴火活動終了後の微小地震の震源は山体の南側3 kmの深さまでにその大多数が発生し、微動の発生していた火口直下には全く地

図6 キタツングルワで観測された微動と微小地震の記録

図7 噴火活動末期の微動の振幅変化

震活動が認められていない(第9図)。これは火山性微動が流動するマグマによって生起されるのに対し、火山性地震は山体ないし地殻浅部の固体部分の破壊に伴って発生することを示している。噴火終了後も火口下にはマグマが静止状態で存在しているため地震が発生し得ないと考えられる。

4. 噴出物の量的評価

噴火終了後、新生のスコリア丘キタツングルワの地形測量を実施した。さらに航空機を使用して溶岩流の分布(第2図)を調査している。これら測量・調査結果に基づき、今回の噴火による噴出物の体積を推定する。

火口周辺のスコリア丘は第8図の地形図から $7.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、溶岩流の分布面積は 19 km^2 で、平均の厚さを 2 m と仮定するとその体積は $38 \times 10^6 \text{ m}^3$ となる。また降下火砕堆積物として遠方に降下したスコリアの量を他の噴火との比較から $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ と推定した。したがって、今回の噴火による噴出物の総量は $50 \times 10^6 \text{ m}^3$ となる。この値はニアムラギラ火山の過去の噴火それぞれによる噴出量と大差がなく、ほぼ平均的な量と言える。

噴火史のわかっている過去の噴火による噴出物の積算曲線(Ueki, 1983)に今回の噴出量を加えたものが第10図である。1901年から1980年までの80年間では、ニアムラギラはほぼ一定の割合でマグマを放出してきた。放出率は年平均で $13.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ の体積になる。しかしながら、1980年に放出率は増加に転じ、1980年～1986年には $35 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{年}$ となっている。この事実は、ニイラゴンゴ火山の溶岩湖の再生と合わせ、両火山の活動が近年極めて活発なことを示している。

5. 結 論

1986年度の海外学術調査出発直前にニアムラギラに側噴火(キタツングルワ)が発生した。噴火地点近くに観測基地を設置することにより、噴火活動の推移を追跡することができた。この噴火の過程および特徴を要約すると次のようなものである。

図8 キタツングルワのスコリア丘の地形図と地震計の配置

図9 火山性微小地震の震央分布

- 1) 噴火開始13時間前から明瞭な前駆的地震活動が認められる。その後、地震活動は100km南のLwiro観測点では捕捉できない程度まで低下して
- 2) 噴火は流動性に富んだマグマを300mの高さまで噴出するハワイ式の溶岩噴泉である。マグマの温度は最高で1065℃に達した。流下する溶岩流（本論では特に溶岩川と呼んでいる）が火口付近では常に観察できた。流速は最大で4m/秒であった。
- 3) 火口付近には長径700m、短径300mの2つのスコリア丘が形成された。スコリア丘は北側から南側に向かって成長し、溶岩流の流下方向に開口した馬蹄形となった。比高は最終的には80mである。7つの火口の列とスコリア丘上の噴気の連なりはN25°W方向にあり、この方向への噴火割れ目の存在が推察できる。
- 4) 溶岩流の大部分は活動の初期に噴出し、その

長さは19kmにおよぶ。

5) 噴火末期の噴火活動は溶岩噴泉からストロンボリ式噴火に移行した後終了した。これに伴って地震活動は連続微動から孤立型微動へと変化した。噴火終了後には多数の火山性微小地震が観測されている。この活動のパターンは1981年～1982年のニアムラギラの側噴火(ルガランビロ)とよく似ている。微動は火口直下に発生しているのに対し、微小地震は火口の南側に発生し、火口直下には全く認められていない。

6) 今回の噴火による噴出物の総量は $50 \times 10^6 \text{ m}^3$ に達する。この量はニアムラギラの過去の噴火と比べて大差がない。しかしながら噴出物の積算曲線は、ニアムラギラからのマグマ放出率が最近の10年間で急増し、それ以前に比べて2倍以上高く、ニイラゴンゴと共に火山活動が活発化していることを明瞭に示している。

図10 ニヤムラギラから放出されたマグマの積算体積

この調査研究は文部省科学研究費補助金(海外学術調査)「1982年6月溶岩湖の出現したニイラゴンゴ火山の地球物理学的調査(第2回)」(代表 弘前大学 田中和夫)の一環として実施された。ここに調査に対し深い理解を示された文部省当局並びにザイール共和国 Centre de Recherche en Sciences Naturelles (C. R. S. N.) 当局に感謝致します。現地調査にあたって種々の御便宜と御援助を賜った在キンシャサ日本大使館、在東京ザイール大使館、並びに高木章雄教授(東北大理)、窪小谷英夫教授(東北工大)、石井紘教授(東大地震研)、北大、弘前大、秋田大、東北大、東北工大の大勢の方々に心から御礼を申し述べたい。なお現地での調査には筆者らの他に浜口博之(東北大理)、K. Sawasawa, M. S. Kamba (C. R. S. N.) の隊員とC. R. S. N. の研究員および職員が参加したことを記して謝意としたい。

参考文献

- 浜口博之「ニイラゴンゴ・ニアムラギラ火山の火山性地震と微動について」『アフリカ研究』17号, 74-85, 1978.
- Hamaguchi, H., N. Zana, K. Tanaka, M. Kasahara, M. Mishina, S. Ueki, K. Sawasawa and K. Tachibana, "Observations of Volcanic Earthquakes and Tremors at Volcanoes Nyiragongo and Nyamuragira in the Western Rift Valley of Africa", *Tohoku Geophys. J.*, Vol. 29, 41-56, 1982.
- Hamaguchi, H. (ed.), *Volcanoes Nyiragongo and Nyamuragira: Geophysical Aspects*, Tohoku Univ., 130 pp, 1983.
- Holmes, A., *Principles of Physical Geology*, Thomas Nelson, N.Y., 1965.
- 笠原稔・植木貞人・N. Zana・河野俊夫・浜口博之「ニイラゴンゴ・ニアムラギラ火山地域の地殻変動観測」『火山』II, 27, 1-13, 1982.
- 三品正明・浜口博之, N. Zana, K. Sawasawa, 「ニイラゴンゴ・ニアムラギラ火山の地磁気異常と火山活動」『火山』II, 26, 293-304, 1981.
- Pouclet, A., "Activités du Volcan Nyamuragira (Rift Ouest de l'Afrique Centrale), Évaluation des Volumes de Matériaux Émis," *Bull. Volcanol.*, Vol. 39, 466-478, 1975.
- Ueki, S., "Recent Volcanism of Nyamuragira and Nyiragongo", *Volcanoes Nyiragongo and Nyamuragira*, 7-18, 1983.