

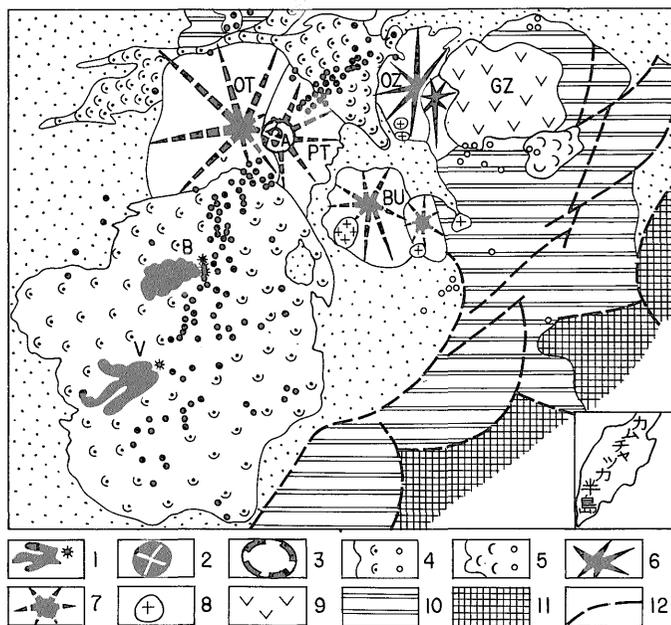
トルバチーク火山1975—76年噴火関係論文 (5編)

岸本文男**訳

551.212 (571.66)

カムチャツカ半島トルバチークの1975年の大割れ目噴火*

S. A. Fedotov, A. P. Khrenov, A. M. Chirkov*



第1図 クリューチ火山群
・噴火地区南部概図
(I.V. Melektsev 編
図)

1. 1975年噴火の熔岩流と岩滓丘 (B—北側割れ目, V—南側割れ目)
2. 1975年噴火によるブ羅斯キートルバチーク火山山頂の崩落カルデラ (A)
3. 完新世前期の崩壊カルデラ
4. 完新世岩滓丘・熔岩流
5. 更新世岩滓丘・熔岩流
6. 完新世成層火山 (OZ—オヴァーリナヤ ジミナ火山)
7. 更新世後期—完新世前期成層火山 (OT—オーストイ トルバチーク火山, PT—ブ羅斯キー トルバチーク火山, Bu—ポリショーイ ウジナ火山)
8. 噴出キューボラ
9. 崩壊したゴールヌイ スープ火山 (GZ)
10. 熔岩台地
11. 先第四系基盤岩
12. 第四紀断層

クリューチ火山群に属するブ羅斯キー トルバチーク火山はカムチャツカ半島唯一のハワイ型玄武岩質活火山である (第1図)。その最高点は 3,085mに達し、頂上には直径 3.7 km のカルデラがある。そのカルデラの中に直径300m、深さ150mの火口があり、火口底には周期的に小さな熔岩湖が生ずる。頂上のカルデラから北東と南西に開口割れ目帯、多数の岩滓丘の列、完新世被覆玄武岩熔岩原が延びている。これらが地殻の全岩層を切る深い断層に由来することはまず間違いない。B. I. Piip (1956) がトルバチーク岩滓丘南帯と名づけた南西玄武岩熔岩原は40 km も延び、約800 km² の面積を占めている。そこでは、完新世に100 km³ 以上の玄武岩が溢流している。

1975年6月の末に、この地区で浅発地震が頻発した。そのとき得られた資料は噴火の時期と場所を確実に予知し得るものであった。噴火およびそれと結びついた現象は上記地震群頻発の数日後に始まったが、それは海洋学研究所の大総合調査隊によって観測された。

以下、1975年の噴火についての主な資料を明らかにする (本報告を執筆しているときにも噴火は続いていた)。

北側割れ目¹⁾ 7月6-9日。噴火はブ羅斯キー トルバチーク南西 18 km、トルバチーク岩滓丘南帯の海拔 880mのところ (第1図のB) で、7月6日に始まった。最初の数時間の噴火の中心はNW方向の割れ目で、それに沿って4個の噴火口がそれぞれ活動したが、24時間後も活動を続けたのはそのうちの1つだけである。7月9日までその噴火は激しく続き、0.5-1.0秒おきに爆発し、火山弾の抛出高

* C. A. Федотов, А. П. Хренов, А. М. Чирков (1976): Большое трещинное Толбачинское извержение 1975 г., Камчатка: Доклады АН СССР, том 228, No. 5, стр. 1193-1196

** 鉱床部

1) セーヴェルヌイ割れ目という個有名詞?.

度は平均して 300-500m, 最大飛散距離は 700m, 噴出火山灰の到達高度は平均 5,000mであった。岩滓丘 (I) は高さ130m, 基底の直径700m, 火口の直径 150mに成長した。

7月9日から23日の間には, ほぼ平均した大量のガス・火砕物・火山弾が抛出され, 火口からのジェット噴気が続き, 灼熱火砕物が高さ 1,000-2,500mまで発光し, ガス-火山灰柱は拡がりながら高さ 5,000-6,000mに達し, 噴煙は8,000-12,000mの高さまで上り, 直径30 cm の火山弾の飛散距離は2,000mに及び, 火山ガスの噴出速度は平均して100-200m/秒, ときには音速を越えることもあった。

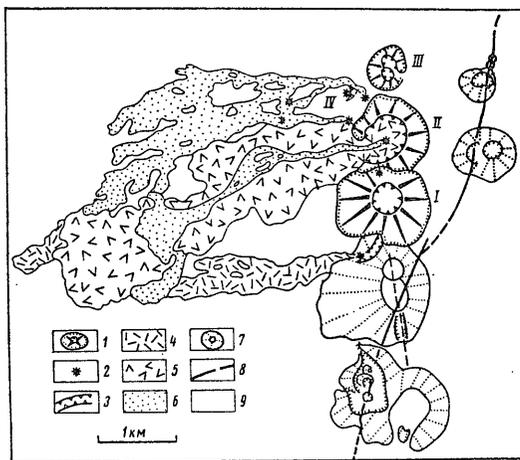
7月23-26日は初めての噴火休止の期間であった。

7月27日-9月9日. 7月27日に噴火活動が強くなり始め, 次第に爆發・噴出の性質を帯びるようになった。岩滓丘 I の西斜面が陥没し, 北斜面と南斜面に割れ目や沈降が現われ, 南側から隣接する古岩滓丘に割れ目網が出現した。このすべての割れ目が南北方向の一つの大きな割れ目に合流し, 岩滓丘 I の西側約 $\frac{1}{3}$ を切り離した。すなわち, 初めにその主割れ目が地表に現われ, それからこの主割れ目上の岩滓丘 I の北に岩滓丘 II と III が生じた (第2図)。7月27日, その主割れ目中に熔岩が現われ, 同28日から29日にかけての夜に岩滓丘 I の割れ目に切り離されたブロックが25m隆起し, 50m再移動し, それから主割れ目の南端に三日月形の谷が生じた。その下部から7月29日10時23分に最初の大量の岩滓-ブロック玄武岩質熔岩流が流れ出した (第2図)。その溢流源から 3,000-4,000mまでの間, 厚さ 6m の熔岩流先端の速度は斜面勾配 5° で40m/時であった。当該熔岩の密度は 2, 粘性は 2×10^7 ポアスであった。

8月2日の16時20分, 岩滓丘 I の北斜面下部 $\frac{1}{3}$ のところにもう一つの熔岩噴出口があき, それから間けつ的に熔岩が高さ 150mまで噴出した。両火口からの熔岩の噴出は8月8日まで続き, 主火口の噴火活動は熔岩の溢流前と同じ程度に残り, 火山灰噴煙の拡がりは800-1,000 kmに達した。8月8日の朝, その熔岩溢流活動の末期に前よりも酸性組成の白色微細火山灰 (SiO_2 が49%から53%に増加) 500万t以上が抛出され, 8月9日の朝になって岩滓丘 I は活発な活動をやめた。

8月9-25日. 8月2日に第2回目の集中地震が始まり, その激化は噴火が再開するに違いないことを示唆していた。そして噴火は8月9日 18時50分に始まったが, そのとき岩滓丘 I の麓から北350mの所に延長約400m, 方向N60Eの割れ目が開口し, 火山灰の抛出が11の移動火口から高さ 50-150mの割れ目型熔岩の噴出に変わっていった。24時間後には岩滓丘 II が50mの高さに成長した (第2図)。割れ目の南端と北端から粘性の大きい熔岩流が流れ出し, 8月11日には2つの火口が独立し, 中央火口からの熔岩と火砕物の噴出高度は 1,500mに達した。8月12日, その火口から厚さ約40mの大ブロック熔岩流が流れ出はじめた。

8月16日, 地震と測地のデータによって岩滓丘 III の生成場所と生成時間が数時間前²⁾に正確に予測できた。その日の夜, 岩滓丘 II の北側に南北方向の割れ目が開き, 8月17日21時13分, その割れ目帯の東



第2図 北側割れ目噴火活動概図

1. 1975年噴火の岩滓丘
2. 噴火の中心と熔岩噴出口
3. 岩滓丘 I の南噴火口の割れ目
4. 7月29日-8月2日の岩滓丘 I の枕状熔岩流
5. 岩滓丘 II の大枕状熔岩流
6. 9月11-12日の流動性熔岩流
7. 完新世岩滓丘
8. 断層
9. 完新世熔岩原

2) 6-7時間前から8-9時間前を意味する表現。

縁から熔岩が再び地表に現われ、数分間火山灰を抛出した後、長さ 250mの割れ目に沿って13カ所から激しく熔岩を噴出し始めた。岩滓丘Ⅲの生成は岩滓丘Ⅱよりも激しく行われ、その噴火活動が弱まって、割れ目の末端から長さ 300mと500m、厚さ 3-5 mの2つの粘性のある熔岩流が溢流した。この噴火活動の程度は岩滓丘Ⅰ・Ⅱの場合とほぼ同じようなものであった。

8月21日から22日にかけての真夜、岩滓丘Ⅲの西方に今度は $1.5 \times 0.7 \text{ km}^2$ の範囲で東西方向の新しい割れ目系が生じた。その主割れ目の幅は地盤中で 1.0-1.5mに達した。8月22日そこに小さな岩滓丘Ⅳができ（第2図）、8月23日にはその西に3群の総延長 500 mの熔岩ポットが現われ、そこから延長 1 kmの熔岩流が流れ出、熔岩は高さ70mまで噴き上った。8月25日、岩滓丘ⅢとⅣと熔岩ポットの活動がほとんど同時に止んだ。

そして噴火は岩滓丘Ⅱの北側割れ目³⁾の中心部に集中し、その活動は高度 2,000-2,500mに火山弾を飛ばす強い爆発、ガスだけの噴出、静止の繰り返しに変わった。風によって火口から 8 kmまで直径 $\leq 5 \text{ cm}$ の噴石塊が降下し、同時に火口から粘性の大きい大型枕状熔岩流が流れ出し続け、その厚さは50-60m、溢流距離は火口から 3-3.5 kmに達した。

9月7日の23時30分、岩滓丘Ⅱの北西麓と南麓に小噴火口が生じ、そこから主として流動性に富んだ熔岩流が溢流し、9月11日15時30分には同じく岩滓丘Ⅱの北西麓と西麓に新しく2つの小噴火口が開いてそれと中央火口から北側割れ目でもっとも流動性に富んだ熔岩の溢流が起った。火口から 2,500mの地点まで厚さ $\leq 1 \text{ m}$ の熔岩流が先端の幅1,000m以上、最大傾斜 5-7°の斜面での速度1,000m/時でもって移動した。その熔岩の粘性は 6×10^4 ポアズに等しく、組成は根本的に変わり、それまでの高マグネシア質中アルカリ玄武岩(SiO_2 40-50%、 MgO 9.5-10.5%、 CaO 11-12%、 Al_2O_3 12.5-13.5%、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 3.2-3.5%)に代って、化学組成が南側割れ目⁴⁾の亜アルカリ玄武岩に近い熔岩が現われた。

9月15日、噴火72日で北側割れ目⁵⁾は静かになった。

北側割れ目の活動の結果として、総体積 0.33 km^3 、高さ330m、300m、150mの新しい大きな岩滓丘が3体形成された。概算結果では、岩滓丘外に火山灰と噴石 0.8 km^3 が抛い出され、熔岩量は 0.2 km^3 に達している。噴火生成物の総重量は $1.7 \times 10^6 \text{ t}$ を越え、平均噴火熱エネルギーは $350 \times 10^6 \text{ kw}$ に相当している。

南側割れ目⁶⁾ 9月18日、新たな地震群の発生の後、南側割れ目が生じた南西 10 kmのところまで噴火が再開された（第1図C）。長さ200mのNW方向の割れ目が開口し、それが1日後には600mに伸びた。初めの数日間でこの割れ目の全長にわたって30以上の熔岩噴柱が最高40mの高さまで湧き上り、西方向への流動性に富んだ熔岩の溢流が始まった。それから、噴火は南の1カ所に集中し、そこに高さ 100mを越える岩滓丘が成長した。噴火は噴出型（effusive type）のもので、火砕物は噴火初期には総生成物量の30%近くであったが、その後ほぼ10%となった。噴火は単調な性質を備え、火口からの火砕物と熔岩の抛出は1分間に20-30回、高度100-200mまでであった。亜アルカリ組成(SiO_2 50-51.5%、 MgO 4.5-6.5%、 CaO 8.5-9.5%、 Al_2O_3 16-17%、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 5.5%)の流動性に富んだ高アルミナ・ユーボーフリック玄武岩質熔岩が噴出し、その熔岩は直径数 cmの多数の斜長石結晶を含んでいる。この熔岩の粘性は 10^4 - 10^5 ポアズ、1日の噴出量は最小の見積りで $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ であった。また、この熔岩は3つの幅広い分流になって流れ出、その長さは1975年12月末に 9 kmに達した。火口から数kmにわたって急速に流れる熔岩流から熔岩原が形成され、形態的には南側割れ目の熔岩流はこの地区の完新世古期熔岩原に酷似しているので、熔岩の流出源の追究は難しい。

1975年の9月18日から12月31日までの間に、南側割れ目では総重量 $0.9 \times 10^6 \text{ t}$ 、 0.1 km^3 の火砕物が抛い出され、約 0.4 km^3 の熔岩が噴出した。その平均熱エネルギーは $120 \times 10^6 \text{ kw}$ に相当した。

ブロースキー トルバチーク火山の山頂火口の崩壊 1975年8月-9月の北側割れ目の活動時に、火砕物を少し抛い出しながら、ブロースキー トルバチーク火山の山頂火口が大規模に崩落した（第1図のA）。

3) 前出

4) ユージュヌイ割れ目という個有名詞？

5), 6) 前出

南側割れ目までの距離は約28 km である。崩落は 1975年10-12月にも少しづつ続いた。生じた崩落域の直径は約1,700m, 深さは400mを越え, 体積は 0.5 km^3 , 崩落した玄武岩質熔岩と氷の重量は $1 \times 10^6 \text{ t}$ である。11-12月には崩落域の底に熱水湖が生じ, その水位は上昇した。崩落は, 疑いもなく, 北側割れ目⁷⁾と南側割れ目⁸⁾の生成と関係がある。崩落部と南側割れ目の熔岩の体積・重量が似ていて, 岩質も類似することに筆者らは注目している。

以上のように, 1975年のトルバチーク火山の割れ目噴火によって4個の新しい大きな火山円錐丘が生じ, 総重量 $2.6 \times 10^6 \text{ t}$ の火山生成物が 1.8 km^3 以上噴出している。活噴火域は30 km 延びている。噴火の進行の中で, カムチャツカ半島では初めての単成岩滓丘と玄武岩熔岩原の生成, 山頂カルデラの崩落・沈下が認められた。これは, 千島=カムチャツカ火山帯の歴史上最大の玄武岩質噴火である。

7), 8) 前出

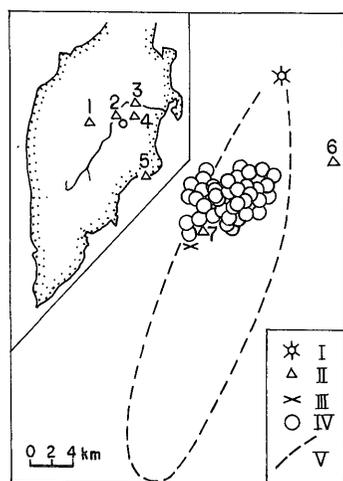
551. 212 (571.66) : 550. 348. 435

1975年7月の大トルバチーク噴火の開始場所と開始時間の予測*

P. I. Tokarev*

プロースキー トルバチーク活火山はカムチャツカ半島で数少ないハワイ型火山の一つである。この火山はクリューチ火山群の一構成体をなし, 高さは海拔 3,085m である。その円錐火山丘の頂部には中央火口がある。噴火はその中央火口でも南西側と北東側の山腹の割れ目や中央火口から最大40 km 離れた山麓でも行われる。

トルバチーク火山の中程度の噴火は数10年の間隔をおいて行われている。火口底の割れ目からの弱い噴火はもっとひんぱんに生じている。中央火口での最近の中程度の噴火としては1939年9月から1941年の夏まで断続したものがある。また, 1941年5月には南側の山腹の海拔 1,950mの所で噴火が起こった。過去の噴火の分析にもとづいて, 1970年に筆者らはクリューチ火山群の火山活動の長期予測を行い, トルバチーク火山の中央火口ないし山麓の割れ目からの次の中程度の噴火は確率0.7をもって1964-1978年の間に起るはずであるとした。



第1図 プロースキー トルバチーク火山 (I), 地震観測所 (II), 新火口 (III), 震央 (IV), 割れ目噴火の古岩滓丘 (保存良効) 地区境界 (V) の分布図

1-5. 定置地震観測所:

1. 「エソ」, 2. 「コズリヨフスク」, 3. 「クリューチ」, 4. 「アパホンチチュ」, 5. 「クロノキ」

6-7. 仮設地震観測所

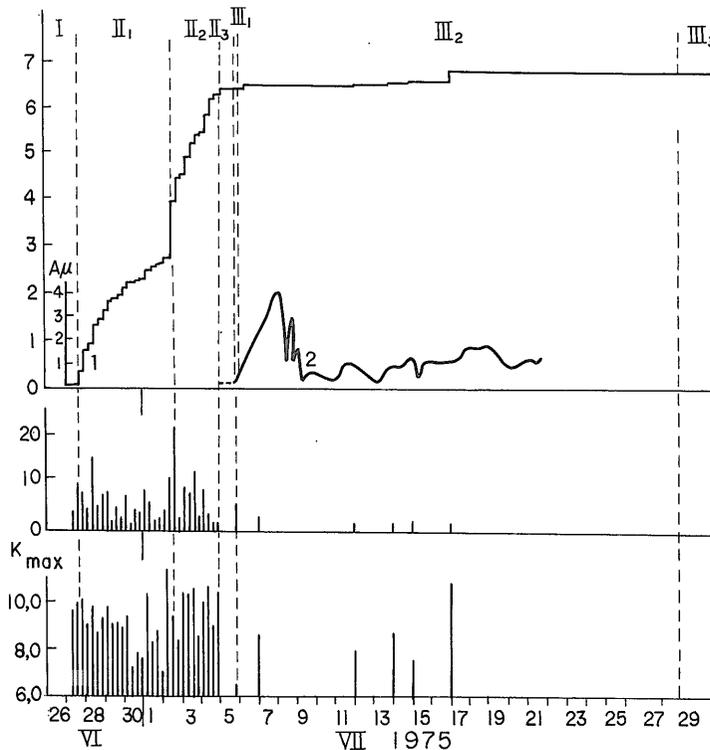
6. 「トルバチーク」, 7. 「プロルイフ」

* П. И. Токарев (1976): Предсказание места и времени начала большого Толбачинского извержения в июле 1975 г.: Доклады Академии Наук СССР, том 229, No. 2, стр 439-442

1975年に1から5の地震観測所(第1図参照)でクリューチ火山群の火山の地震発生条件に関する観測が行われた。1964年、火山学研究所内に噴火予測・噴火機構研究室をセンターにしてカムチャツカ半島の火山地震発生条件に関する検討作業班が組織された。火山地震に関する毎日のすべての資料がセンターに渡され、そこで検討・処理され、火山の状態が解析されている。トルバチークの火山の噴火の確率が增大してきたために、1971-1974年の夏季には臨時地震観測所6(第1図参照)で毎年補足的に地震観測が行われた。

1960-1974年の間、トルバチークの火山の近くではきわめてまれにしか地震は生じなかった。グリニッチ標準時(以下これを用いる)の6月27日9時に火山地区で頻発地震が始まり、数100回もの地震が起こった。残念ながら、火山から地震観測所までの距離が遠かったために最初は震央の位置を正確に決定することができなかった。しかし、6月30日の朝には地震発生条件の特徴にもとづいて筆者らは1975年6月30日から7月5日までの間に中央火口もしくは側方火口が噴火する可能性が強いという結論をひき出した。震央の位置を正確に把握し、かつ噴火の調査のため、V. V. Stepanovを長とするカムチャツカ火山観測所の研究者たちがトルバチーク火山群の近くに2カ所の仮設地震観測所を設置する準備にかけ、噴火を観測するために火山学研究所のA. I. FarberovとV. A. Drozninらの研究者が当該火山地区に出発した。仮設地震観測所6は7月4日、7は7月9日に設置を完了した(第1図参照)。

7月2日、新しいデータが得られてから、震央の位置はより正確に決められるようになった。その震央はブ羅斯キートルバチーク火山の活火口の南西10kmのところ分布していた(第1図参照)。その震源は地表近くに位置していた。震央の分布と地震発生状況の時間的変化の特性にもとづいて、筆者らはごく近日中にブ羅斯キートルバチーク火山の中央火口から方位角220°の方向10kmの地点を中



第2図 コズィリョフスク地震観測所の資料による地震発生状況の特徴

1. $10^8 \text{ j}^{1/2}$ 単位での特定条件下の変形 ($\Sigma \sqrt{E}$) の cumulative グラフ
2. 「トルバチーク」地震観測所での火山性震動の振幅 ($A\mu$, ミクロン)
- n. 6時間当りの地震発生数
- Kmax. 地震の最大エネルギー等級

心とした半径 5 km の円の中に新しい火山が生成するだろうという結論に達した。プロースキー トルパチーク火山の近くに新しい噴火が起こる可能性については、7月3日、ソ連科学アカデミー極東科学センター幹部会などの関係政府機関に報告され、地方新聞にも噴火が住民に恐怖を与えないよう予告させた。7月5日になって地震活動が急激に弱まったことは、いよいよ数時間後に噴火が始まりそうだということを示唆していた。

7月3-4日の間に震央が南西に移動した。そして、新しいトルパチークの噴火は7月5日21時45分にプロースキー トルパチーク火山中央火口から方位角 210° 、17.5 km の地点で始まった。

1975年6月27日-7月31日の間の側方噴火の地震発生状況の特徴は、「コズィリョフスク」地震観測所で得られた観測データによれば、第2図に示した通りである。地震発生頻度のヒストグラム、特定条件下の変形のグラフ、火山性震動の振幅グラフ、それに肉眼観察の結果から、次のような噴火相が分類できる。

静穏相(I)は火山活動のどのような示徴も全く認められないのが特徴である。

噴火前相(II)は1975年6月27日9時に始まり、7月5日21時45分まで続いた。この相ではII型の頻発火山地震〔1〕が記録され、プロースキー トルパチーク火山中央火口が活化し、そしておそらく、潜頭割れ目の形成も行われ、その割れ目に沿ってマグマが新しい火口の開口場所に向かって移動し始めたものと思われる。この噴火前相はさらに3期に分かれる。

II₁期(6月27日9時-7月2日7時)。地表近くに震源を有するII型火山地震の震央がプロースキー トルパチーク火山の中央火口から方位角 220° の方向約10 km のところに集中し、2日目からとくに地震が頻発し始めたが、その最大エネルギー等級と特定条件下の変形は次第に減少した。この期の地震発生状況は側方噴火に先立って観測される例によく似ていた。この期には、おそらく、震央地区で割れ目が生じ、マグマが貫入したに違いないが、そのマグマは地表に出てこなかった。

II₂期(7月2日7時-7月4日21時)は2回の強震で始まった。震央は南西に移動した。地震発生状況はII₁期で観測されたものによく似ていた。II₁期とII₂期での最大の強震は70 km ほど離れた所で2-3パールの強度に感じられた。

II₃期(7月4日21時-7月5日21時45分)は地震が全く発生しなかったことを特徴とする。

噴火相(III)は7月5日21時45分に始まり、7月31日以後まで続いた。7月5日から7月31日までの間の新しい火山の活動は、肉眼観察と地震観測の資料によれば、主として3期に分けることができる。

III₁期(7月5日21時45分-7月6日0時50分)は新火道割れ目の地区で蒸気の噴出が観察され、白い蒸気噴煙が地表上空1.5 km の高さまで上った(A. I. Farberov の観測)ことを特徴としている。地震記象上には、脈動の性質にいかなる変化も現われていない。おそらく、この期には割れ目の所に生じた火道割れ目から火山ガスや水蒸気が静かに(非爆発的に)分離したのであろう。

III₂期(7月6日0時44分-7月28日22時23分)は爆発活動期で、一連の爆発型弱震が始まった。地震観測所2・3・4・6(第1図参照)では連続的な火山性震動が記録され、その平均振幅は次第に大きくなり、7月7日20時には最大値に達した(第2図参照)。連続火山性震動の発生は1分間に数回を下らない、ひんぱんな爆発を伴った、噴火地区での爆発的噴火活動の始まりを示している。震動の振幅の増大は爆発の強さの増大を教えている。III₂期の全期間にわたって連続火山性震動が続き、その振幅は噴火強度の変化に応じて変化した。地震はまれであった。

V. V. Stepanovの観測資料によると、7月6日6時には割れ目地区の小範囲に高さ最大50mの岩滓丘が3体形成され、その火口(複数)中では高さ300-400mまで灼熱した火山弾を抛出しながら2-3秒間隔で爆発が繰り返された。この間に第4の火口が活動し始めた。そして、この第4の火口をとりまいて岩滓丘が急激に成長し、先に生じていた岩滓丘を次第に被覆していった。

7月7日に筆者らはコズィリョフスク地震観測所での6月27-7月7日の地震記象を検討し解析し、7月8-11日の期間に新しい火口から1,700 m 離れたキャンプから噴火を観測した(第1図の7参照)。7月8日の朝8時には1つの火口でだけ噴火が続いていたにすぎない。新たに量を増した岩滓丘の高さは130mに達した。そして、その基底の直径は600mとなった。この岩滓丘の直径約150mの火口から轟音

を発しながら高さ約1 kmまで灼熱の火山弾、岩滓、火山灰、火山ガスを絶え間なく噴き上げ、さらに上空で渦をまきながら高さ6-8 kmまで火山灰熱雲が上昇し、そして長くたなびきながら風で一方に流れ、気象衛星の撮像によればその及ぶ所300 kmに達していた。この火山灰熱雲から絶えず火山砂と火山灰が降り、火口から5-6 kmの間には直径最大5 cmの岩滓も降り注いだ。火口からの噴出現象は脈動的であったが、その強さはあまり変わらなかった。この噴出体は日中でもたいまつのように明るく輝やいていた。噴火が強まった瞬間には、火山ガス・火山灰・火山弾の噴出が高さ2 kmに達した。火口からの噴出物の出発噴出速度は150-200m/秒であった。火山弾は火口から1-1.5 kmの範囲に降下し、灌木林を炎上させた。灼熱物質の大部分は火口付近に降下し、岩滓丘が文字通り目の前で成長していった。その高さは早くも7月11日に180mになり、基底の直径も800mに達した。噴火は一向に弱まることなく7月23日まで続き、それから一端休止した。そして7月28日22時23分に熔岩が溢流し始めた。

筆者らが7月9-11日に実施した岩滓丘の規模の4回にわたる測量によって、その体積、新火口からの噴出量 α 、噴火のエネルギー量が計算された。噴出量体積の計算には、後半2回の比較的信頼できる測量結果の平均値として $\alpha_0=80 \text{ m}^3/\text{秒}$ が採用された。また、噴出物の平均比重が1.5で、その場合の噴火時の噴出物噴出量 α_m は $1.2 \times 10^5 \pm 6 \times 10^4 \text{ kg}/\text{秒}$ であった。噴火のエネルギー量は 2×10^{11} ワットと評価できる。7月9-11日の期間における噴出量は、誤差の範囲をみても、別に変わらない。当該噴出量がこの値でよいとすれば、III₂期の噴出物の量は $2.5 \times 10^{11} \text{ kg}$ となる。以上のような評価からすると、マグマが地表に移動する道となった火道の直径は7 mに等しい。

III₂期（7月28日22時23分-8月）は新しい岩滓丘の火口からの熔岩の溢流と同火口中での爆発的噴火活動の継続を特徴とする。

クリューチ火山の側方噴火およびトルバチークの過去の側方噴火に比べると、トルバチークの1975年の噴火は噴火前の地震が強かったことおよび爆発的な噴火活動相が異常に長かったことが特徴的である。おそらく、これはプロスキー トルバチーク火山中央火口から割れ目生成場所までの距離が遠かったためであろう。1975年のトルバチークの噴火は、噴出量からすると、1941年の側方噴火の場合より1.5倍以上、クリューチ火山の側方噴火の場合よりも3-5倍強かったのである。

Institute of Volcanology
of Far-East Scientific Centre
of Science Academy of USSR
Petropavlovsk-Kamchatskii

文 献

- P. I. Tokarev (1966): Eruptions and seismic condition of volcano of Klyuch group. Moskwa, Nauka Press (in Russian).

カムチャツカ半島の1975年トルバチーク玄武岩質割れ目噴火の
マグマ溜り、機構、発展に関する地震学的資料*

S. A. Fedotov, V. I. Gorel'chik, V. V. Stepanov*

トルバチークの大割れ目噴火は1975年の7月6日に始まった。噴火地区は広域断層とそれに規制された岩滓丘帯の地区、すなわちプロスキートルバチーク火山の山頂カルデラの南西30 km に広がる地区であった。1975年の7月6日から年末までの間に噴出した玄武岩質組成の火砕物、火山灰、熔岩の量はおよそ1.8 km³ に達した。

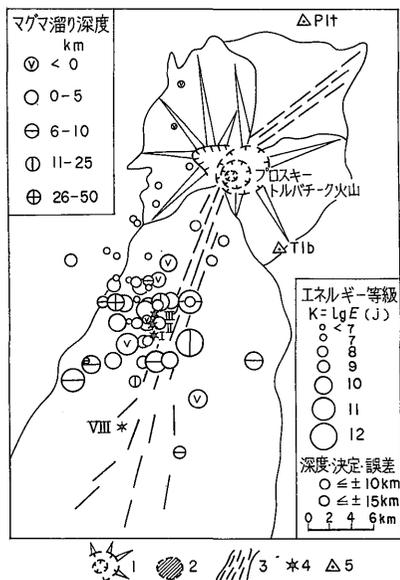
この地域の地震観測は火山学研究所の15のカムチャツカ広域地震観測所で定期的に行われている。そのうち噴火場所にもっとも近いのが「クリューチ」観測所 (Klc), 「コズィリヨフスク」観測所 (Kzr), 「アパホンチーク」観測所 (Apk) である。補足的な噴火観測は4カ所の臨時観測所(トルバチーク)観測所 Tlb, 「プロチーナ」観測所 Plt, 「レーヴィ トルバチーク」観測所 LT, 「プロロイーフ」観測所 PR) で行われた。地震チャンネル (seismic channel) は周期 0.2-0.9秒の範囲でテーブル状の振幅一周波数特性を有し、それを10,000倍から100倍の範囲で増幅した。倍率は火山性震動が強いので小さくされた。

地震の処理には、深部地震検層データを参考にしながらクリューチ火山群地域の地震速度断面用に計算した時間場を使って作製した、等時透明グラフ用紙が用いられた。震源の座標の決定誤差は全体として震央で5-10 km, 深度で10-15 km の範囲にあり、

比較的強い火山性地震と震源にもっとも近い野外観測所でS波-P波が小さい地震の場合には上記誤差よりも小さかった。

1975年の6-9月に噴火地区では3群の火山性地震と強い火山震動が観察された。6月27日から7月5日までの第1群では震度 $K_s \geq 7$ (最大 $K_s = 12$, $M = 5$) の地震が300回, 8月3-17日には1,400回, 9月5-10日には280回発生した (第1図, 第2図)。 $K_{S1,2}^{0.5} = 4.6 + 1.5M$ (M は表面波で測定されるマグニチュード)。

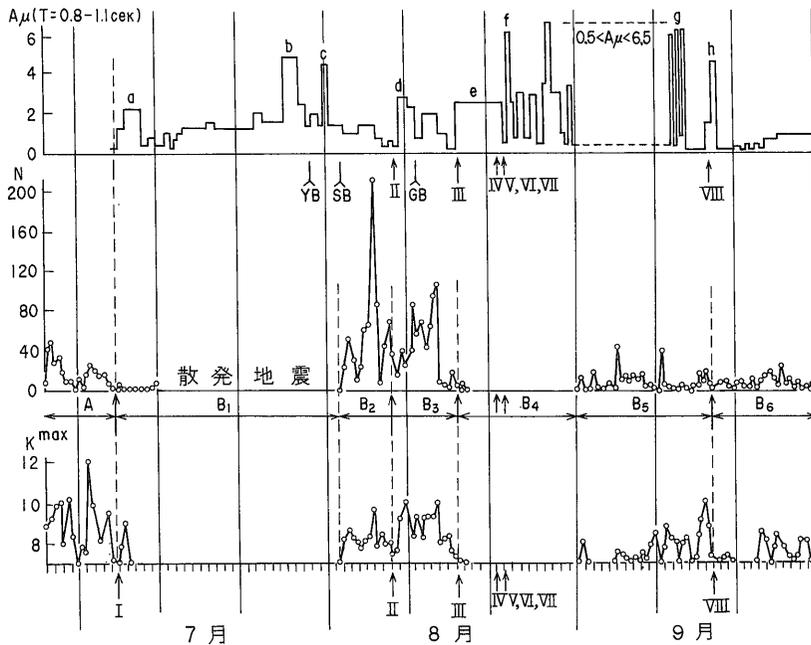
第2図で明らかなように、I, II, III, VIIIの大規模な噴出岩滓丘 (比高はそれぞれ330m, 290m, 140m, 110m) を抛出した割れ目の形成は地震群 (頻発地震) によって予告され、当該地震群はマグマとガスが地表に現れてくる7-10日前に始まったのである。加えて、マグマとガスの出現は火山性地震のN値とエネルギー K^{max} の減少をもたらした。岩滓丘Iの形成 (噴火開始一時期A) に先行したのは放出地震エネルギーレベルの比較的高い、長く続いた前震である。この頻発地震によって、噴火の場所と開始時間が正確に予知できた。その後、特徴の



第1図 噴火を予告した地震の震央図

1. プロスキートルバチーク火山とオストリートルバチーク火山の構成体
2. プロスキートルバチーク火山中央火口の陥没 (第3図参照)
3. 広域火山活動発達帯
4. 1975年噴火の岩滓丘
5. 地震観測所

* S. A. Федотов, В. И. Горельчик, В. В. Степанов (1976): Сейсмологические данные о магматических очагах, механизме и развитии базальтового трещинного Толбачинского извержения в 1975 г. на Камчатке: Доклады Академии Наук СССР, том 228, No. 6, стр. 1407-1410



第2図 新トルバチーク火山噴火時における火山性震動の振幅の時間的変化(「トルバチーク」地震観測所の資料による)

N数，地震の最大エネルギー等級K^{max} (「クリューチ」地震観測所の資料による)
 説明：本文中にある

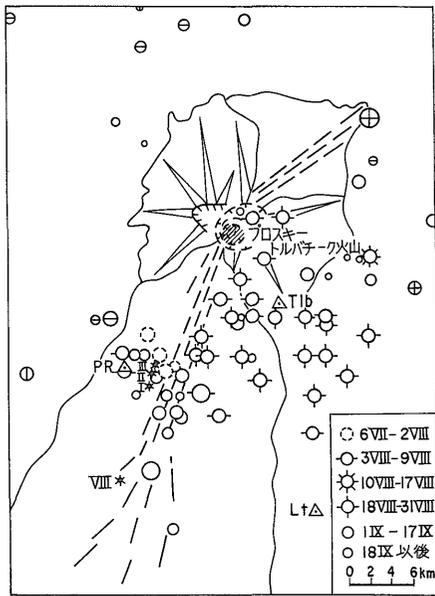
ある地震発生数の減少の仕方から岩滓丘II，III，VIIIの生成開始時間も予知できた。

主要な噴火期は火山震動の平均振幅の変化図の内容とよく対応している(第2図)。新しい火山が激しく爆発する時期には，火山震動が一層激しくなり，最大に達している。aは噴火開始時の高まりであり，bは噴火転換期である。すなわち，7月26-27日に噴火が強まり，激しい爆発が行われ，岩滓丘Iとその南に接する休岩滓丘に割れ目が生じ，7月29日にその割れ目から最初の多量の熔岩流が溢流し(南側噴火口，第2図のYB)，その後は震動が減少した。cは岩滓丘Iとそれに隣接する休岩滓丘の間の鞍部における短期間の噴火活動の反映であり，dとeは岩滓丘IIとIIIの強い爆発活動の結果であり(その爆発によって岩滓丘IIとIIIが形成された)，f-gの期間の震動は岩滓丘IIの噴火の終了段階のもので，その時期には強い爆発が断続した。hは岩滓丘VIIIの生成を伴った震動の高まりである。

熔岩の溢流後，震動は弱まった。岩滓丘Iの南側噴火口と北側噴火口の活動，岩滓丘IIの主な熔岩流の溢流(第2図のYB，SB，GP)の場合がそうであった。火口中で爆発活動が休止したときには，きわめて急激な震動の減少が観測された。

第1群の頻発地震(6月27日-7月5日)の座標は詳細な解析によって決定された(第1図)。噴火前の地震発生状態をあらわした第1図には，震度K_s≥10をはじめとする第1群の全部の地震が示してある。K_s≥10(M≥3.5)の震央は直径約10kmの円形地区に収まり，その中に噴火岩滓丘I，II，IIIが分布する。震源の深さは海面下20-30kmから海面上1-2kmまで(火山地区の海拔高度は300-3,000m)さまざまであった。調査地区内では，G. A. Anosovら(1974)によると，深さ30-40kmのところ在地殻とマントル層の境界面が分布している。

以上のように，地震データによると，ノーヴィートルバチーク火山の噴火前段階は地殻下部岩層，そしておそらく上部マントルもまきこんだ激しい動きを伴っている。かなり深い地震(20-30km)が第1群の始め，6月27日と28日に記録され，しかも7月6日の岩滓丘Iの生成場所のほとんど直下に記録さ



第3図 噴火を伴った地震の震央図
凡例は第1図の場合と同じ

プロースキー トルパチーク火山の山頂火口が大規模に崩落し始め、その結果、9月には直径1,600m、深さ約500m、体積0.5 km³を有するカルデラが生じた。地震学的なデータによると、8月3-17日のプロースキー トルパチーク火山南側の移動を伴った地震群、カルデラの生成、噴火現象の変化(8月9日の岩滓丘Iの活動停止、8月9日と17日のそれと並んだ岩滓丘IとIIの生成開始)は相互に関連した現象であった。

8月22-23日、静止相B₄の中で岩滓丘IIとIIIの西側火口の海拔700-1,500mのところにな小さな岩滓丘IV, V, VI, VIIが生じた。後3者は早期に開口して日々大きくなっていく張力割れ目上に分布する熔岩丘である。地震がなかったことは当該現象が局地性で地表起源のものであることを示している。おそらく、その熔岩丘生成の原因となったのは岩滓丘IIの供給路から分岐した浅いシルの貫入であろう。

岩滓丘VIIIの生成を予告した9月5-17日の第3地震群では、K_s ≥ 9の地震が全部詳しく検討された。当該地震はすべて岩滓丘I, II, III(北側噴火割れ目)と岩滓丘VIII(南側噴火割れ目)の間、深さ0-5 kmのところ分布した。そのうちで最大の地震(K_s = 10)が岩滓丘VIIIの生成場所に、第3地震群発生終了期に発生したことは注目値する。以上のように、南側割れ目噴火は岩滓丘I, II, IIIから南の岩滓丘帯軸部に浅処の運動と割れ目が広がった結果生じたものである。

岩滓丘VIIIの生成後には地震活動が噴火地区からプロースキー トルパチーク火山の火口地区に、そしてさらに火口地区の北方、北西方、東方、南東方に移った。1975年12月には震源深度10-30 kmの地震(複数)が記録された。おそらく、広域火山活動区全域にわたるか、あるいはB. I. Piipによると、ハワイ型大型火山であるプロースキー トルパチーク火山をとりまく広域岩滓丘帯で深部マグマ活動と断層が若返ったのであろう。

地震学的なデータからすると、1975年のトルパチーク割れ目噴火のメカニズムは次のことに尽きるだろう。すなわち、6月27-7月6日、プロースキー トルパチーク火山山頂の南西18 kmで地表下20-30 km、もしかすると40 kmの地殻下部岩層もしくはマントル移過層から速度100-150m/時でもってマグネシアに富んだ玄武岩が上昇し、新しい岩滓丘Iを生成した。これは後のものとはむしろ独立した噴火であった。8月3-17日に玄武岩はプロースキー トルパチーク火山浅所マグマ溜りから下方、南方(高距離差2,000m)に移り、その移動が山頂カルデラの崩落、岩滓丘Iの活動停止、北側割れ目の岩滓丘II

れたことから出発すれば、噴火前段階に玄武岩質マグマが深部マグマ溜りから地表へ上昇した速度を第1近似値で計算可能である。得られた速度値は100-150m/時、すなわちおよそ3-4 cm/秒である。

第1地震群が発生した後、しばらく休止期間が続く、そのとき観測されたのは分散発生する地震だけであった(第2図のB₁相)。このB₁相の終りは岩滓丘Iの北側噴火口での8月2日の溢流と一致する。

8月3日から同17日まで第2地震群が続く、その地震の大部分は海面下0-5 kmの深さのもので、発生初期の幾つかの地震が深さ5-10 kmのものにすぎなかった。この第2地震群はB₂・B₃の2相が重なったものと解され、その発生末期に750m隔たる2つの岩滓丘、IIとIIIが生じた。岩滓丘IIの供給路の形成が深さ5-10 kmのところ、岩滓丘IIIの場合がそれよりもはるかに地表に近いところで始まったことはまず間違いないだろう。

8月3-17日に発生したすべての地震が岩滓丘I, II, IIIとプロースキー トルパチーク火山の山頂ないしその南東部との間に分布した(第3図)。8月にはプ

とⅢの生成をもたらした。9月5-18日には岩滓丘Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの南方、深さ0-5kmのところ運動と割れ目が生じ、南側割れ目に噴火が集中した。その岩滓丘Ⅷはプロースキー トルバチーク火山の山頂噴火に特有の流動性高アルミナ玄武岩質熔岩を溢流している。筆者らの見解では、南側割れ目の噴火は北側割れ目への深部玄武岩の貫入に続く、プロースキー トルバチーク火山の副次的な噴火である。

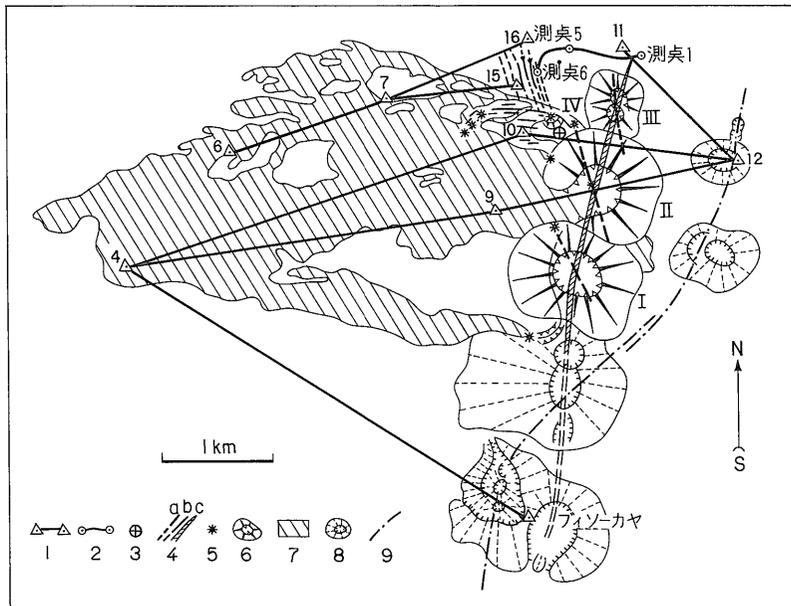
551. 212+551. 22 (571. 66)

測地データによる1975年トルバチーク大噴火の通路割れ目の形成と玄武岩の貫入*

S. A. Fedotov, V. B. Enman, M. A. Magus'kin,
V. Ye. Levin, N. A. Zharinov*

1975年7月6日にカムチャツカ半島のプロースキー トルバチーク火山南方18kmで、千島-カムチャツカ火山帯での有史以来最大の割れ目型玄武岩質噴火が始まった〔1〕。同地での噴火は9月15日まで続いた。そしてその期間にかなり規模の大きい岩滓丘ⅠとⅡとⅢ（第1図）および幾つかの小岩滓丘（北側割れ目）が生じた。9月18日になって、噴火は南西方10km（南側割れ目）で再開された。南側割れ目の流動性に富んだ玄武岩は熔岩原を形作り、活発な噴火帯は広域断層とそれに結びついた岩滓帯に沿って30kmも伸び、噴火生成物の量は1975年末には1.8km³に達した。

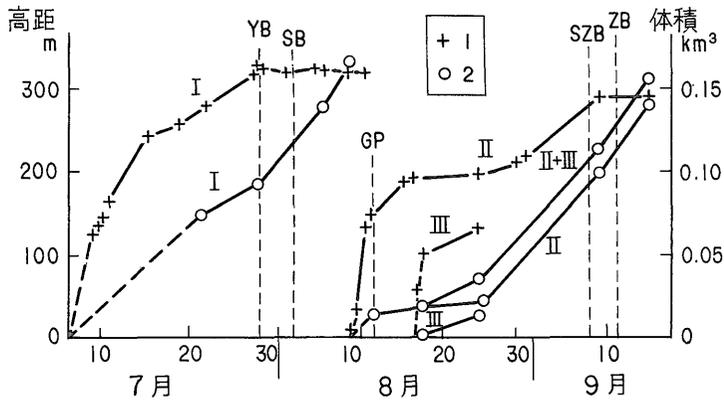
7月13日に北側割れ目の地区で地表の変形の測地的な測定が開始された。その作業内容はレーザー光線測距儀による水平移動量の測定、新しい岩滓丘の成長速度とその形態変化の観測、繰り返し航空写真経緯度撮像、短軸線精密水準測量、傾斜計観測であった。この論文では、北側割れ目に生じた火山群



第1図 割れ目の分布と測地観測点

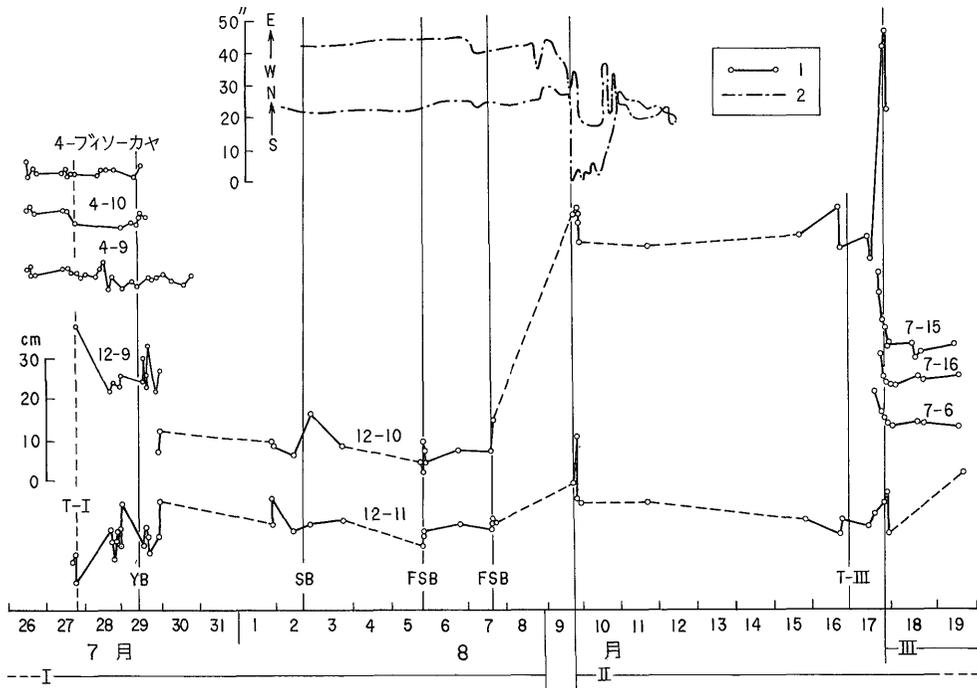
- | | | |
|--|-----------|------------|
| 1. 水平変形測線 | 2. 水準測量 | 3. 傾斜観測点 |
| 4. 噴火時に生成した割れ目 (a-噴火割れ目, b-地表で現認できた割れ目, c-深部火道岩脈の推定位置) | 5. 熔岩流流出源 | 6. 生成した岩滓丘 |
| 7. 古岩滓丘 | 8. 古張力割れ目 | 9. 熔岩流 |

* С. А. Федотов, В. Б. Энман, М. А. Магуськин, В. Е. Левин, Н. А. Жаринов (1976): Внедрение базальтов и образование питающих трещин Большого Толбачинского извержения 1975 г. по геодезическим данным: Доклады АН СССР, том 229, No. 1, стр. 170-173



第2図 岩滓丘の高度増と体積増

1. 高度変化 2. 体積変化 (II+IIIは岩滓丘IIとIIIの合計) 熔岩火口・熔岩流生成の時
 YB—岩滓丘Iの南火口 SB—同北火口 GP—岩滓丘IIの主熔岩流 SZB・ZB—岩滓丘II
 の北西火口と西火口



第3図 噴火と水平変形・傾斜の時間的变化

1. 測線の長さの変化 2. 傾斜
 確定割れ目生成時
 T-I—岩滓丘I活動開始直後 T-III—岩滓丘IIIの噴火直前
 他の凡例は第2図の場合と同じ
 図下方の実線は岩滓丘I, II, IIIの活動時間を示す

の付近 (第1図) で実施した上記作業の幾つかの結果が述べてある。観測・測量を中断したのは (第2・3図) 観測点に激しい降灰があったときや熔岩流が溢流し、あるいは天候が悪かったとき、それに観測点4・9・10と傾斜計ステーションでの測定はこれらの観測点が熔岩に蔽われる直前で終了とした。

北側割れ目の岩滓丘の高度増と体積・多重噴火 第2図に掲げたのが岩滓丘I・II・IIIの高度増大状況と体積増大状況および岩滓丘II・IIIの合計体積増大状況を示すグラフで、この図から熔岩流の出現時がわかる。岩滓丘が主として大型火砕物と火山弾で構成されているので、グラフはなによりもそのような火山岩の部分の増大状況を示している。

多くの重要な一致点に注目してみる。岩滓丘Iは35日間 (7月6日-8月9日)、岩滓丘IIは38日間 (8月9日-9月15日) 活動した。8月25日以後の岩滓丘IとIIは $4.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{日}$ という同じ速度 (構成物の平均比重1.5としてほぼ80 t/秒) で成長した。8月17-25日の岩滓丘IIの体積の漸増は岩滓丘IIIの活動状況と相殺されている。観測精度の中では岩滓丘Iの体積 (0.165 km^3) と岩滓丘II・IIIの体積 (0.165 km^3) は等しい。これらのデータは北側割れ目が本質的には1つの噴火がもう1つの噴火にすぐひき続く同じタイプの2期の玄武岩質噴火を生じたことを示唆している。その両期の噴火でのマグマの溢流量はほぼ一定していた。この両噴火はおそらく1つの共通した深部供給路を有し、その供給路の上部は岩滓丘Iがその最大値に達した後北側に移り、岩滓丘IIが生成し始めた。岩滓丘IIとIIIの供給路となったのは1つの供給路の分岐体である。このデータからすると、北側割れ目の岩滓丘IIIとそれに次ぐ小岩滓丘は大型岩滓丘IIの活動と関係ある、むしろ副成的な現象である。

そのほかの特徴としては次のようなことが認められる。すなわち、岩滓丘IとIIの高度増はこれら岩滓丘からの熔岩の流出時には緩慢であった。330mという比高は当該タイプの単成岩滓丘の場合の限界に近いはずである。噴火は急激におさまり、岩滓丘IとIIの活動最後の週にはマグマの溢流量が幾らか多くなった (1.5倍前後)。

北側割れ目の火道割れ目規模に関する資料 7月27-29日には噴火の進行過程に大きな変化がみられた。すなわち、岩滓丘Iの西寄りところに割れ目が生じ、その割れ目の南端から最初の大量の熔岩流が流れ出た (第1図)。7月26-29日に測点4から測点9、10まで「ヴィソーカーヤ」点 (第1図) でGeodimeter-8型レーザー測距儀による水平移動量が測定された。その測定結果は上記3測線全部に沿った水平変形が同生相 (syn-facies) であり、値も大体同じようなもの (測定精度0.5 cm で0.5-4 cm) であることを示していた (第3図)。以上のように、最初の新しい火山 (岩滓丘I) は延長4 kmを越える南北性方向の深い火道割れ目上に位置していることが明らかになった。その後、割れ目は北に拡がり、ここに8月9日岩滓丘IIが生じ、8月17日岩滓丘IIIが生じた。このとき、水平移動量はYeOK-2,000型レーザー測距儀で岩滓丘を生じた割れ目と交叉する方向 (第3図の12-10測線と12-11測線) に測定し、Geodimeter-8型レーザー測距儀で深い火道割れ目の西側 (第3図の7-6測線、7-15測線、7-16測線) を測定した。水平移動 (および乗直移動) が観測点11ではとまっていたということからすれば、北側割れ目の深い火道割れ目の北端は観測点11に近いところにある。

この北側割れ目の主な火道割れ目の地表部には、岩滓丘I、II、IIIを抛出・形成した雁行状に分布する割れ目が連続的に開口した (第1図)。それらの幅に関するデータは岩滓丘IIとIIIの生成の際に入手できた。

岩滓丘IIIの生成時には、12-10測線が5時間の間に55cm長くなった。しかも、岩石が貫入した岩脈の周りでは圧縮されるので、この55cmは考えられる最小の幅である。同時に、15-7測線と7-6測線の圧縮は $\Delta l \text{ (cm)} = 10^2 r^2$ の関係 (r -岩滓丘IIIの中心からの距離 (km)) にしたがって行われた (第3図)。したがって、観測点10と12の間の岩盤はほぼ2m (これより多くはない) 圧縮されたが、貫入岩脈の厚さが2-2.5mであれば、12-10測線の伸び55cmは可能である。

12-10測線は岩滓丘IIの生成時にほとんど同じだけ (52cm) 伸びた。おそらく、その火道岩脈の厚さも上記の場合と大体同じぐらいであったのであろう。噴火地区での玄武岩質広域火山活動区の岩脈は、多くの場合、厚さが2-5m [2] である。多分、北側割れ目では典型的な玄武岩質岩脈の生成体が観察できるだろう。

北側割れ目の火道割れ目に沿った玄武岩質マグマの貫入の力学的問題 4大噴火岩滓丘の生成はほぼ同じように行われた。すなわち、頻発地震の発生の後、平地に延長約 400mの割れ目が開口した。そして、北側割れ目の場所の近くで一昼夜の間衝撃が感じられ、地下の「金属的な」打撃音が聞かれた。割れ目が開口すると、それに沿って火山ガスと火山灰が抛出され、続いて熔岩噴泉が噴き出し始めた。割れ目が伸びるにしたがって熔岩噴泉口の数は 10-30に達したが、早くも数時間後には 1・2 の噴泉口に噴火が集中し、岩滓丘が成長し始めた。

岩滓丘 II と III の生成に関係した水平変形は同一タイプのものであった。その後火山ガスとマグマが溢出した場所での測線の伸びは 4 日間続き (第 3 図)、当該溢出の前 8 時間の間には伸びが激しくなり、4.5 cm/時 (12-10 測線) に達し、地表に岩脈が近づいたことを示唆していた。その伸びが溢出後も 2-3 時間続き、それからすぐ 1-2 時間で急減したことは注目に値する。変形が逆に進行したことは開口後の割れ目中のガスとマグマの圧力の急減によるものと解される。

割れ目と交叉していない 7-6 測線、7-15 測線、7-16 測線は火山ガスとマグマの溢出開始、岩滓丘 III の割れ目開口後 4 時間の間にも短縮し続けた。この事態も、岩滓丘 II と III の割れ目開口後の 12-10 測線と 12-11 測線の圧縮を伴った 2-3 時間の変形作用の遅滞も新しい岩滓丘の火道上部の形成が当該溢出開始後の約 4 時間の間続いたということを示している。

岩滓丘 II から 200 m の地点でそれが形成されるときまで UN-II 型傾斜計を用いた観測に成功した (第 3 図)。その記象から上述の火道岩脈成長上の特徴もかなり特殊な現象、たとえば新しい火山の活動での休止と活化の示徴もみてとることができる。割れ目の生成に先立って西側で 40° 以上傾斜が増したことが記録された。そして割れ目形成・噴火の場所は割れ目の開口直前まで明らかに隆起していた。

岩滓丘 II と III の割れ目開口時における 12-11 測線と 12-10 測線の変形は急激で、回帰的な性質を備えていた。同じようなことが岩滓丘 I の北側熔岩火口が 10 分間、高さ 100m 以上も熔岩を噴き上げた 8 月 5 日にも観測された (第 3 図)。このことは変形が弾性変形であったことを示し、マグマの圧力がかなり高かったことを示すものと思われる。熔岩層と火砕物層からなる地質断面上部層では、密度 ρ が 2 g/cm^3 、縦波の速度が大体 $1,500 \text{ m/秒}$ である。したがって圧縮係数 E は $2(1+\sigma)\rho V_s^2 = 3.8 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ (σ -ポアソン係数、 V_s -横波の速度) となる。垂直割れ目中の粘性流動体の内圧 P は $\omega_0 E/4(1-\sigma^2) \cdot l$ (ω_0 -割れ目の全幅、 l -割れ目の長さの半分) [4] である。筆者らのこの報告の場合には $\omega_0 = 2-2.5 \text{ m}$ 、 $l = 200 \text{ m}$ である。火道岩脈中のマグマとガスの過剰圧は $100-125 \text{ kg/cm}^2$ で、中程度であったことを示している。熔結凝灰岩の場合と同じように、 $E = 10^5 \text{ kg/cm}^2$ を採用すれば、 P の最大値として 300 kg/cm^2 という値が得られる。

マグマ活動の性質からすると、1975年のトルバチークの噴火はアイスランドの割れ目噴火に似ており、おそらく中央海嶺のリフト=バレーや大陸の玄武岩台地の場合にも似ているものと思われる。これまでに得られたデータは地球力学に、とくにプレートテクトニクスの運動力の研究に利用できるであろう。

Institute of volcanology
Far East Scientific centre of Science Academy of USSR,
Petropavlovsk-Kamchatskii

文 献

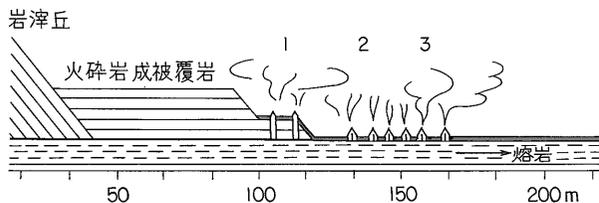
- S. A. Fedotov, A. P. Khrenov, A. M. Chirkov (1976): Doklady of Science Academy of USSR, vol. 228, no. 5 (in Russian).
A. N. Sirin (1968): On the relation of central and areal volcanism. Moskwa, Nauka Press (in Russian).
Yu. S. Dobrokhotoy (1972): in book of "Gradual movements of Earth crust". Moskwa, Nauka Press, p. 229 (in Russian).
Yu. P. Zheltov (1975): Mechanics of the oil-gas-containing bed. Nedra Press (in Russian).

1976年の新トルバチーク火山マグマガスの化学的性質と金属元素含有性*

I. A. Menyailov, L. P. Nikitina,
V. N. Shapar', R. V. Guseva,
A. Z. Miklishanskii, V. P. Kolotov,
B. V. Savel'ev*

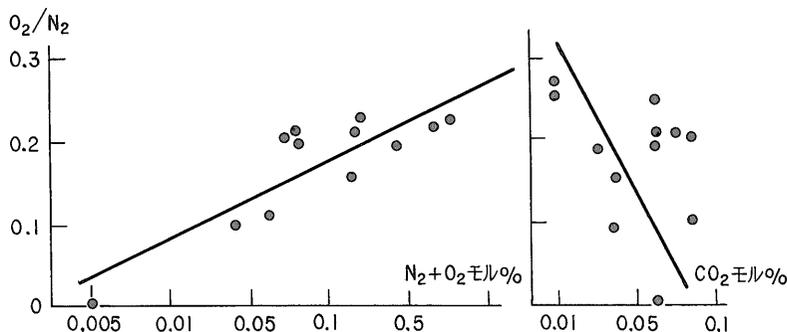
1976年にも新トルバチーク火山の噴火が南割れ目 (第8岩滓丘) のところで続いた。活火口からのマグマメルトの流出は熔岩トンネルを通じて行われ、マグマメルトから分離したガスは毎秒 20-30mの速度で、トンネル被覆体中の割れ目上に生じたスパターコーン (ホーニト) から噴出している (第1図)。そのガスの試料はすでに本誌第 230巻, 第2号で報告済みの筆者らの方法を用い、ホーニト中の隙間から採取された。なお、その試料の採取には石英ガラス管が用いられた。

1976年8月13-14日に第8岩滓丘南割れ目で採取したガスの分析結果は第1表に空気混入に対する修正を加えずに示してある。このガスの成分では H_2O が圧倒的に多く、 HCl , H_2 の含有率が高く、残りは SO_2 , H_2S , CO_2 , NH_3 , N_2 であった。空気の成分によるガス稀釈度はきわめて小さく、No. 27と No. 30の試料が明らかに稀釈されていたにすぎない。採取時期によるガス成分の変化はごくわずかで、主として O_2 と N_2 の含有率に左右されている。 O_2+N_2 の減少は酸化反応による O_2 の消費、主として CO_2 の生成に関係している (第2図)。しかしその酸化反応は、 O_2/N_2 比が大半の試料で空気の場合よりも少



1. 上部ホーニト 2. 中部ホーニト 3. 下部ホーニト

第1図 1976年8月13-14日の第8岩滓丘南割れ目におけるマグマガス採取環境の模式図



第2図 1976年8月13-14日に第8岩滓丘南割れ目で採集したマグマガス中の N_2+O_2 , CO_2 , O_2/N_2 の相関関係

* И. А. Меняйлов, Л. П. Никитина, В. Н. Шапарь, Р. В. Гусева, А. З. Миклишанский, В. П. Колотов, Б. В. Савельев (1977): Химизм и металлоносность магматических газов Новых Толбачинских вулканов в 1976 г.: Доклады АН СССР, том 236, No. 2, стр. 450-453

第 1 表 1976年 8 月 13-14 日に第 8 岩滓丘南割れ目

月 日	採取場所	試料番号	採集時刻	T _測 (°C)	T _{実・平} (°C)	P _{実・平} (気圧)	P _{O₂} (気圧)
8 月 13 日	上部ホーニト	25	13 ^h 05 ^m	990	未 測 定		7×10 ⁻⁵
		26	13 08	990	"		2×10 ⁻⁴
		27	13 11	990	"		9×10 ⁻⁴
	中部ホーニト	28	14 05	1,010	1,018	1.23	6×10 ⁻⁵
		29	14 08	1,010	1,020	1.19	3×10 ⁻⁵
		30	14 11	1,010	未 測 定		8×10 ⁻⁴
8 月 14 日	下部ホーニト	31	15 05	1,010	"		7×10 ⁻⁵
	中部ホーニト	32	13 05	1,020	906	1.24	4×10 ⁻⁴
		33	13 08	1,020	980	1.25	1×10 ⁻⁴
		34	13 11	1,020	1,023	1.18	5×10 ⁻⁶
		35	13 14	1,020	1,031	1.15	2×10 ⁻⁵
		36	13 17	1,020	976	1.24	2×10 ⁻⁴

注 HF, HCl, SO₂, H₂S, NH₃ は F⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, H₂S, NH₄⁺ と同じように、吸収液を用いて分析した。CO₂, H₂, N₂, O₂, (CO,

し小さいことからすると、広範に行われたものではない。

ガス中の成分濃度と 2・3 の反応の平衡恒数 (第 1 表) を用いて、筆者らは南側割れ目のガスの実平衡温度と実平衡圧力を松尾 (1961) の方法で計算した。O₂ と N₂ の含有率をもっとも小さい試料の場合の成分濃度から、3H₂+SO₂⇌2H₂O+H₂S という反応で計算した実平衡温度 (T_{実・平}) は 1 気圧下で 1,020±10°C である。この値はガス試料採取時に測定した温度 (T_測) に近い。いかにえれば、試料の成分組成はマグマメルトの温度 T のときのガスの平衡組成に近い。それと同時に、T_{実・平}=1,020±10°C のときの N₂+3H₂⇌2NH₃ という反応の場合には実平衡圧 (P_{実・平}) の計算結果が 1.15-1.23 気圧、すなわち、地表に近い条件に相当する圧力領域を示した。O₂ と N₂ の含有率が小さい試料での P_{O₂} 計算値 (およそ 10⁻⁶ 気圧) は実験で確認済みの、塩基性組成のマグマメルトでの P_{O₂} 値に近く、T = 1,130°C, P = 1 気圧で直接測定されたマグマメルト上のガスでの P_{O₂} 値 (V. P. Volkov et al., 1974) にも近い。おそらく、1976年 8 月 13-14 日に採取したガスは地表に近い条件下の T = 1,020±10°C のときに平衡状態に達し、南側割れ目の玄武岩質マグマのガス相の組成を現わしているのであろう。

ガスの採取と同時に、マグマガスの凝縮によって生じたマグマ水の試料も採取した。中央ホーニトのマグマガスとマグマ水の分析の結果は第 2 表 (列 I) に代表させてあり、分析データは 1 気圧・室温下でのガスの単位体積当りの化合物・元素重量含有率に換算してある。このようなマグマガス組成表現方法はその金属成分含有度について理解しやすくし、さらに、マグマからガス相の成分として物質が移動した量の規模の説明に便利である。マグマガス中には火成岩中に多く分布している元素 (Na, K, Fe, Al, Ca, Mg, Ti), 2・3 の揮発成分 (Cl, F, S, C, B, Br, As, Sb), 金属成分 (Cu, Zn, Ca, Pb, Gd, Sn), それに超塩基性・塩基性マグマの金属成分 (Pt, Ni, Co, Mn) が多くなっている。「微量元素」群 (含有率-1,000 l 中ミリグラム) としては稀アルカリ元素、稀土類と金・銀がある。このガスの密度は 1 気圧・室温下で約 800 g/m³, 水:ガス:金属成分重量比は 1,000:77:0.3 である。

第 2 表の列 II に掲げたのは南側割れ目で噴火したときのガス相の組成に加った化合物と元素の量 (重量) である。計算には次のようなデータが用いられた。すなわち、活岩滓丘からのガス噴出量 (岩滓丘火口の端, 10月29日測定) は約 1,060 m³/秒, 噴火継続時間は 1975年 9 月-1976年 12 月, T = 1,000°C・P = 735 mmHg でのガス密度は約 200 g/m³, である。全部で約 8×10⁶t の揮発性物質が運び出され、その量は噴出した岩石の重量 (G. N. Kovalev と Yu. B. Slezin の資料によれば 1×10⁸ t, 口述) の 0.7% ないしそれ以上である。

第 2 表の列 III には、マグマからガス相構成成分として化合物・元素が運び出される量 (%) が示して

新トルバチーク火山マグマガスの化学的性質 (岸本文男訳)

上のホーニトから採取したマグマガスの組成

ガスの組成 (モル%)									
H ₂ O	HF	HCl	SO ₂	H ₂ S	CO ₂	H ₂	NH ₃	N ₂	O ₂
98.36	0.13	0.44	0.05	0.00000	0.06	0.49	0.00010	0.060	0.013
98.36	0.13	0.58	0.07	0.00000	0.06	0.49	0.00010	0.200	0.050
98.36	0.13	0.69	0.07	0.00000	0.01	0.49	0.00010	0.620	0.170
97.95	0.20	0.78	0.08	0.10988	0.07	0.74	0.00012	0.058	0.012
97.95	0.20	0.78	0.08	0.10988	0.07	0.75	0.00012	0.054	0.006
97.95	0.20	0.78	0.08	0.10988	0.01	0.14	0.00012	0.580	0.150
97.94	0.25	0.83	0.06	未測定	0.06	0.78	0.00004	0.064	0.013
97.85	0.28	0.90	0.02	0.03495	0.03	0.41	0.00005	0.400	0.075
97.85	0.28	0.90	0.02	0.03495	0.04	0.65	0.00005	0.180	0.030
97.85	0.28	0.90	0.02	0.03495	0.06	0.85	0.00005	0.004	0.001
97.85	0.28	0.90	0.02	0.03495	0.04	0.83	0.00005	0.040	0.004
97.85	0.28	0.90	0.02	0.03495	0.07	0.63	0.00005	0.180	0.040

CH₄ その他の炭化水素も)は KhL-4 型と「島津 GC-5A」型のクロマトグラフで決定した。

第2表 水蒸気凝縮生成体を考慮したマグマ水の組成 (1976年8月14日, 第8岩滓丘南側割れ目) と噴火期間におけるマグマからの揮発性成分の逸出規模*

成分	I			II			III		
	(mg/1,000l)	(t)	(重量%)	(mg/1,000l)	(t)	(重量%)	(mg/1,000l)	(t)	(重量%)
H ₂ O	751 × 10 ³	7.5 × 10 ⁶	90.4**	Ga (na)	1.2	12	6.4 × 10 ⁻²		
HCl (wc)	52 × 10 ³	5.2 × 10 ⁵	88.7***	Pt (aa)	0.61	6.1	3		
HF (wc)	2.5 × 10 ³	2.5 × 10 ⁴	7.0***	Pb (aa, p)	0.45	4.5	6.8 × 10 ⁻²		
				Cd (p)	0.40	4.0	1.6 × 10 ⁻²		
CO ₂ (gc)	800	8,000	0.4***	Ni (aa)	0.26	2.6	1.7 × 10 ⁻³		
H ₂ (gc)	750	未決定	未決定	Mn (wc)	0.24	2.4	1.4 × 10 ⁻⁴		
SO ₂ (gc)	600	6,000	1.3**	Sn (aa, wc)	0.11	1.1	7.0 × 10 ⁻²		
H ₂ S (gc)	600	5,000		Hf (na)	0.11	1.1	4.0 × 10 ⁻²		
N ₂ (gc)	500	5,000	20.0						
Na (wc, na)	160	1,600	8.0 × 10 ⁻³	Rb (na)	62 × 10 ⁻³	620	2.0 × 10 ⁻³		
K (wc, na)	130	1,300	1.4 × 10 ⁻³	Cs (na)	30 × 10 ⁻³	300	2.0 × 10 ⁻²		
O ₂ (gc)	80	800	未決定	La (na)	29 × 10 ⁻³	290	1.7 × 10 ⁻³		
Fe (wc)	47	470	4.9 × 10 ⁻⁴	Cr (na)	20 × 10 ⁻³	200	0.1 × 10 ⁻⁴		
Al (wc)	36	360	4.1 × 10 ⁻⁴	Ag (aa)	16 × 10 ⁻³	160	0.13		
Br (na)	29	290	6.6	Co (aa, na)	14 × 10 ⁻³	140	2.6 × 10 ⁻⁴		
B (wc)	26	260	4.5	Ce (na)	13 × 10 ⁻³	130	2.2 × 10 ⁻⁴		
Ca (wc)	20	200	2.3 × 10 ⁻⁴	Sm (na)	3.6 × 10 ⁻³	36	6.0 × 10 ⁻⁴		
As (aa, na)	19	190	81	Au (aa)	3.5 × 10 ⁻³	35	0.10		
Sb (aa, na)	11	110	33	Se (na)	1.5 × 10 ⁻³	15	3.0 × 10 ⁻²		
Mg (wc)	9	90	1.7 × 10 ⁻⁴	Hg (na)	0.0015 × 10 ⁻³	0.015	1.0 × 10 ⁻⁴		
Zn (na, aa, p)	7.7	77	7.7 × 10 ⁻²	Eu (na)	0.35 × 10 ⁻³	3.5	3.8 × 10 ⁻⁴		
Cu (na, aa)	4.7	47	0.49	Ib (na)	0.072 × 10 ⁻³	0.72	3.0 × 10 ⁻⁵		
Ti (wc)	1.4	14	0.9 × 10 ⁻⁴	Lu (na)	0.060 × 10 ⁻³	0.60	9.0 × 10 ⁻⁵		

マグマからマグマガス成分の移動能系列
 n × 10% : H₂O > HCl > Sb > N₂ > As
 n% : HF > Br > B > Pt > S
 n × 10⁻¹% : Cu > CO₂ > Ag > Au
 n × 10⁻²% : Ga > Sn > Pb > Zn > Hf > Se > Cs > Cd > K
 n × 10⁻³% : Na > La > Rb > Ni
 n × 10⁻⁴% : Sm > Fe > Al > Eu > Co > Ca > Ce > Mg > Mn > Ti > Cr > Hg
 n × 10⁻⁵% : Lu > lb

* 分析は湿式化学分析法 (wc), 原子吸光法 (aa), ニュートロン・アクチベーション法 (na), ホーテログラフ法 (p), ガスクロマトグラフ法 (gc) を用いて行った。成分の移動能は A. P. Vinogradov の主要岩石クラーク数 (1962) にもとづいて計算した。
 ** H₂O は南側割れ目の玄武岩の含有率 0.08 重量% (O. N. Volynets の口述) にもとづく。
 *** Cl, F, S, C として計算。

ある。噴火期間に低い圧力下ではマグマから H_2O と HCl の約90重量%, Sb の $\frac{1}{3}$, As と N_2 の $\frac{1}{2}$ が運び出されることを教えている。メルトからガス相として移動する大きな能力をもっているのは揮発性元素 F , Br , B , S , C , それに Pt , Ag , Au , Cu , Zn , Ga , Sn , Pb である。逆に、移動能力がきわめて小さいのがアルカリ元素, アルカリ土類元素, 鉄属元素の場合である。1975-1976年 の新トルバチーク火山の噴火期間にマグマガスとマグマ水が大量に採取されたことは強調しなくてはならないが、この小論ではそのごく一部を分析した結果が述べられているにすぎない。

筆者らは、新トルバチーク火山のマグマの揮発性成分の地球化学的研究に当たり、変わらぬ御援助をたまわった S. A. Fedotov 博士に対し厚い感謝を捧げるものである。

文 献

- I. A. Menyailov, L. P. Nikitina et al. (1976): «Doklady of USSR Academy of Science», vol. 230, no. 2, p. 440 (in Russian).
S. Matsuo (1961): «J. Earth. Sci., Nagoya Univ.», vol. 9, no. 1, p. 80 (in English).
V. P. Volkov et al. (1974): Mathematical modeling of gas equilibrium in volcanic process: Moskwa, 「Nauka」 Press (in Russian).
A. P. Vinogradov (1962): «Geochemistry», no. 7, p. 551 (in Russian).