

熔岩の分析

堤 靖 景*

Analysis of Lava

Seisuke Tsutsumi*

序

私たちの知らない世界！

いまだ人類未踏の未知の世界があるとしたら、科学者はそこに大きな夢とロマンを抱き、その未知の世界へと飽くなき挑戦と夢をかけた冒険が始まる。それはふとした些細なことから起こるのかも知れない。何かしら興味を引かれる実に小さな事柄に疑問を抱くことから始まることが多い。

例えば星の誕生の謎！あの無に等しく思える広大な大宇宙の中で、一体何が起こって無数の星が誕生して又消え行くのだろうか？膨大なあの大宇宙の中で、ある一点に集中する不思議な作用エネルギーによって、その一点に宇宙のガスやチリが集まり、やがて集積するガスのエネルギーによってエネルギーが蓄積されていく、そこで始まるのが水素の核融合である。これが星の誕生である。新しい星々の誕生、又星の生命を終えて、大爆発を起こして消え行く星々がある。こうした現象が無数に行われている。この星の誕生と共に原子が誕生してゆき、次々と原子の核融合が行われ、H, He, Li 順次原子が誕生していくといわれている。しかし大きな原子を誕生させるとなると数百、数千万度という高い温度が生じなければならぬ。

ではどこからどうやってそのような高温のエネルギーが生じるのだろうか？ 私にはいまだに謎である。地球の内部ですら、いまだにまだまだ確かめられていないことが沢山ある。それを知りたいとするならばあらゆる角度から色々な現象の中で観察研究されなければならないだろう。ほんの些細なことかもしれないが、地球の内部を少しでも知る手がかりがあるとするならば、そこに夢や、ロマンを抱かせてくれることがあるかも知れない。

山登りが好きな私にとって、登山中にふと目を引く他と違った色をした赤い石を見ると、この石はなぜ赤いのだろう この熔岩は地下深く地球の内部を覆う地殻の部分から、長い間時間をかけて地下を旅してマグマだまりから地上へ噴出されたものであろう。そのマグマのその地下の先は地球の内部深くの核（外部コア、内部コア）かも知れない。それならばこの熔岩を調べることに

よって、もしかしてマグマの成分を知ることができるかも知れないし、地球の内部のことを少しでも知ることができるのであれば と夢を弾ませてくれる。手にした熔岩は周りの熔岩よりも人目を引くほど赤い、この赤色をしているのはいったい何なのか？なぜか？どんな成分が含まれていてこのように赤色をしているのだろうか 調べてみることにした。

1. はじめに

日本列島は火山列島と言われる位で環太平洋火山の一つである。北は北海道から南は鹿児島トカラ列島に至るまで、今なお火山活動の盛んな国である。そんな日本列島の山々の中で観光化され登山できる山は少なくない。登山中にふと見る火山岩で目を引く熔岩に出くわすことがある。普通熔岩は黒くごつごつとした火成岩 = 玄武岩が多い。

この度2001年3月24日（土曜日）、ふとした縁で、山口県笠山公園の椿の原生林を観光。連理の椿を求めて頂上まで登ってみた時のことである。椿は熔岩のごつごつした熔岩弾の中に林のように自生して茂ってた。今でも明らかに熔岩が流れて冷えて固まった熔岩地とわかる光景であった。その笠山の山頂まではすぐ近くだったので、頂上まで行き噴火口の中まで降りていった。その時、噴火口のまわりが真っ赤であることに気づいた。まさしく噴火当時、真っ赤に焼けたどろどろになった熔岩の噴出する様子を想像できる熔岩の跡だと解る光景になっていた。それは真っ赤に焼けた熔岩が、どろどろになって噴火の勢いで吹き飛び、噴火口の周りにこびり付いているのに気づく。今なお赤色をしているこの光景は、噴火の勢いの凄まじさを想像させてくれる。この光景は誰しもが同じことを想像できる。それは、でこぼこ熔岩のがさがさしたもので、簡単に手で取れそうな気がするのだが、手で触ってみると意外に硬くて取れるものではなかった。まるでコークスガラが赤い色をしたようなもののように感じられた。この赤色を呈する熔岩の成分は何なのか？

かたや1997年8月1日（金曜日）乗鞍岳の山頂を登山

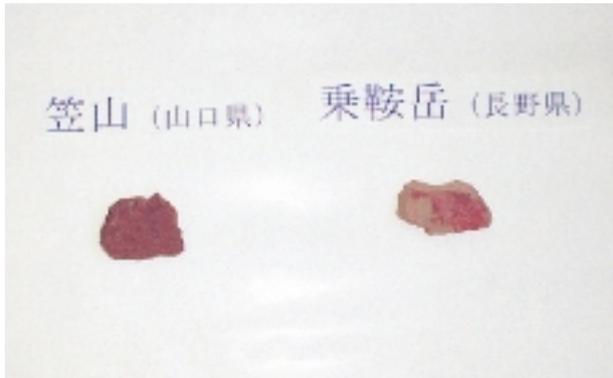


写真1

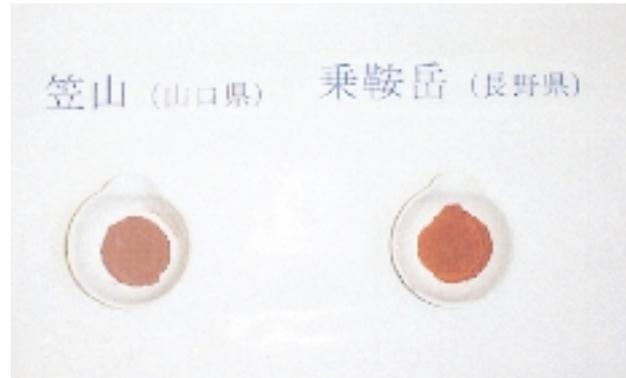


写真2

中にひときわ目を引く赤い熔岩に出くわした。その小石のひとつを手にしてみると、とても重くて色鮮やかな赤色をしていた。この赤色を呈しているのは何んだ、どんな成分を含んでいるのだろうかと興味が沸いてきた。そこで幸いにも試料が2つになったので比較しながら分析してみることにした。

2. 実験方法

笠山の溶岩 A, 乗鞍の溶岩 B, の二つはいずれも大変硬い溶岩で、このままでは分析器 ICAP - 500で分析することはできないので、まず粉末化し、含まれている成分元素を酸に溶解抽出し溶液化する必要があった。

そこでまず粉末化する段階として、コットンシーガルに包みその上からハンマーで叩いて、ある程度細くなるまで砕いた。この細分された小粒をメノー乳鉢に入れて時間をかけて粉末化し、200メッシュ以下の粉黛とした。その粉末1.00gを採取して、これに濃硝酸100ccを入れゆっくりと暖めろ過した。その口液に清水を加えてメスシリンダーで正確に1ℓとした。笠山溶岩を No. 1の試料とした。乗鞍岳の熔岩も全く同様の方法で粉碎してメノー乳鉢で粉末化したもの1.00g採取して、濃硝酸100ccを加えて暖めて、ろ過し清水で薄めて正確に1ℓにした。この試料をサンプル No. 2とした。

さらに硝酸に抽出できる元素と硫酸で硫酸塩とした溶液とで差があるのかを比較するために、硫酸分解も行ってみた。すなわち笠山溶岩の粉末1.00gに濃硫酸10ccを加えて、ゆっくり緩慢に熱し硫酸塩となるまで硫酸分解した。これを精水に溶かし、ろ過してメスシリンダーで精水を加えて正確に1ℓにした試料2A。まったく同様に乗鞍岳の熔岩粉末1.00gに硫酸10ccを加えて硫酸分解を行って精水で正確に1ℓとした試料2B。こうして各試料をそれぞれ硝酸分解したものと、硫酸分解をしたものとの4種類の試料を準備した。

これらをそれぞれの母液として実験に入った。標準溶液はできるだけ多くの元素を測定するためにかなりの時間をかけ24元素分の標準溶液を準備した。ICPA - 500ブ

ラズマ分光分析器はすでにかかなりの年数を経ており、今回の分析にあたっては、分析器の調整、整備にかかなりの時間を要した。手動式であるので特にきめ細かな調整に時間を要した。感度測定も各元素ごとに行なった。従って、各元素ごとのベスト感度を測定し、これに合わせてそれぞれの母液を10~100倍に薄めて測定した。特に鉄の測定の場合には母液を10倍100倍に希釈して測定を行った。

定性分析： まず始めに ICPA - 500分光分析器で定性分析を行ってみた。測定波長は2000nm~3100nmで分光器波長送り speed = 50 /min, 記録計の送り speed = 60/minで波長スキャンさせてみた。まず、笠山溶岩の硝酸溶液で抽出した試料1A(赤色), 続いて乗鞍溶岩の硝酸溶液で抽出した試料1B(緑色), これにバックグラウンドを記録用紙にそれぞれ同じ位置からスタートさせ記録を取った(黒色)。さらに、同様に硫酸分解してえられた笠山溶岩の試料を2A, 乗鞍溶岩の試料を2B, として同一条件で定性分析を行った。

定量分析： 定量分析は各元素ごとの分光分析器におけるベスト感度値を Ar Gas の圧力, 流量などの操作条件を求め、その感度に応じて分析器で測定できる濃度の標準溶液を24元素分つくり測定した。

3. 使用機種

1. 分析機種：アルゴンプラズマ分光分析機 NIPPON Jarrel-Ash 社製 ICPA - 500(Inductively Coupled Argon Plasma Emission Spectrophotometer)

2. 使用薬品：

Nitric Acid (HNO₃) = 1st Grade Assay 50% (片山化学工業)

Hydrochloric Acid (HCl) = 1st Grade Assay 35~37% (関東化学株式会社)

Sulfuric Acid (H₂SO₄) = 1st Grade Assay 96% (関東化学株式会社)

各種標準溶液

Al : 1000ppm 標準溶液より10ppm, 4ppm, 1ppm

As : 1000ppm 標準溶液より10ppm, 4ppm, 1ppm

| | |
|----|---|
| Ag | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| B | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Ba | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Ca | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Co | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Cr | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Cu | : 1000ppm 標準溶液より 1 ppm , 0.5ppm , 0.2ppm |
| Fe | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Ga | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Ge | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| K | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Mg | : 1000ppm 標準溶液より 0.5ppm , 0.2ppm , 0.1ppm |
| Mn | : 1000ppm 標準溶液より 1 ppm , 0.5ppm , 0.1ppm |
| Na | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Ni | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| P | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Pb | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| S | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Si | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Sr | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Ti | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |
| Zn | : 1000ppm 標準溶液より10ppm , 4 ppm , 1 ppm |

4 . ICPA - 500の測定条件

| 測定元素 | Carrier Gas | Coolant Gas | Plasma Gas | Wave-length |
|------|-------------|-------------|------------|-------------------|
| Al | 1.4Kg/min | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 3961.52 |
| Ag | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 3382.89 |
| As | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 1890.42 |
| B | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2497.73 |
| Ba | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2335.27 |
| Ca | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 3179.33 |
| Co | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2378.62 |
| Cr | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2061.49 |
| Cu | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2247.00 |
| Fe | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2599.40 |
| Ga | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2874.24 |
| Ge | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2094.26 |
| Mg | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2795.53 |
| Mn | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2593.73 |
| Na | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 5889.95 |
| Ni | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 3414.70 |
| P | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2136.00 |
| Pb | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2169.00 |
| S | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 1807.23 |
| Si | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2506.90 |
| Sr | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 4077.71 |
| Ti | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 3383.76 |
| Zn | | 0.45 l/min | 15.5 l/min | 0.6 l/min 2138.56 |

5 . 実 験

5 . 1 Operation of ICPA - 500

- ① Main switch ON (3 phase AC 220V/60Hz AC100V/60Hz)
- ② Cooling water pump and Exhausting duct : Switch. ON
- ③ Open : Argon gas Bonbe. second pressure : 5 kg/cm³.
- ④ Main switch ON : Source of electricity.
- ⑤ Amplifier switch ON (Air and water Lamp)
- ⑥ Test- 1 switch ON (Delay Lamp)
- ⑦ Sample Gas cock Open
- ⑧ Coolant Gas and Plasma Gas cock Open
- ⑨ Sample Gas cock Off.
- ⑩ Start switch ON (lighting plasma)
- ⑪ Again sample gas Open.
- ⑫ Power of amplifier ON and H. V switch ON.
- ⑬ Selector switch : DI morde.
- ⑭ Put together 3100 counter by the wavelength of the monochromator.
- ⑮ Close : monochromator and push : Auto Zero.
- ⑯ Open monochromator and put together 10% counter by the H. V. ADJ.
- ⑰ analytical line set with the drive handle of the monochromator.
- ⑱ Out : drive handle.
- ⑲ Recorder switch ON.
- ⑳ Start : Scaninig.

5 . 2 定性分析

分析機の操作運転に入って Plasma を点火 , Plasma torch が安定化するまで待機 (10 ~ 20分) 後に実験に入る。まず笠山硝酸溶液を Scan Wave 2000 ~ 3100 を Scan Speed : 50 /min で測定 , 記録計には赤ペンを使用し , 記録を取った。続いて記録のスタート位置を同一に合わせて , 今度は緑ペンで乗鞍硝酸溶液の試料を同一条件で測定記録を取った。再び記録計のスタート位置に戻してバックグラウンド B・G (試料と同濃度の硝酸を含む溶液 ,) を同一条件の元で同じ記録計の位置にセットしてスキャンさせ記録を取った (Fig - 1) 。次に試料を硝酸塩と硫酸塩とで試料中に含まれる成分の抽出に差があるのを見るために , 硝酸塩と硫酸塩の試料を記録計の色を違えて測定を行なった (Fig - 2) 。

5 . 3 定量分析

定性分析で記録計に得られた分析線のピーク曲線を元に定量する元素を検討 , そのピークが , どの元素の波長線であるかを分析線で探し出し , これと思われる元素を定めて , 次の定量分析に入った。2000 ~ 3100 までの

Table - 1 笠山熔岩 乗鞍熔岩 分析値

| Ele. Wave | 笠山熔岩 | 乗鞍熔岩 | 笠山・乗鞍 |
|-------------|------------|-------------|-------|
| Al: 3961.52 | 1.51 (ppm) | 21.74 (ppm) | << |
| Ag: 3382.89 | 0.0082 | 0.0034 | 0 ≒ |
| Au: 2082.09 | 0.0204 | 0.0069 | >> |
| B: 2497.73 | 1.801 | 2.252 | < |
| Ba: 2335.27 | 0.3013 | 0.3986 | < |
| Ca: 3179.33 | 1.144 | 1.237 | = |
| Co: 2378.62 | 0.0054 | 0.0268 | < |
| Cr: 2061.49 | 0.0187 | 0.0083 | > |
| Cu: 2247.00 | 0.0329 | 0.1280 | > |
| Fe: 2599.40 | 2.813 | 44.59 | << |
| Ga: 2874.24 | 0.0315 | 0.3226 | << |
| Ge: 2094.26 | 0.0028 | 0.0000 | 0 ≒ |
| Mg: 2795.53 | 3.081 | 0.5428 | >> |
| Mn: 2593.73 | 0.0754 | 0.0884 | = |
| Na: 5889.95 | 4.127 | 5.529 | = |
| Ni: 3414.76 | 0.0362 | 0.0033 | > |
| P: 2136.47 | 0.096 | 0.6311 | << |
| Pb: 2169.99 | 0.0268 | 0.0110 | > |
| S: 1807.23 | 25.97 | 124.4 | << |
| Si: 2506.90 | 1.879 | 1.859 | = |
| Sr: 4077.71 | 0.0266 | 0.1760 | < |
| Ti: 3383.76 | 0.2781 | 0.2389 | = |
| Zn: 2138.56 | 0.0273 | 0.0562 | < |

7. 考 察

笠山の熔岩との乗鞍の熔岩の違いは写真1からも解るように、同じ赤色をしていても笠山熔岩の方が、手にしたときに溶岩としては大変軽く感じた。これに反し乗鞍の熔岩は笠山熔岩よりも重く感じられた。まるで鉄の鉱石かと思われるようでもあった。よく見ると笠山の熔岩は、無数の気泡が空いて多くのガスを含んだ熔岩の噴出であったことがよく解る熔岩であった。まるで硬い赤いコークスガラのような感じがする熔岩であった。

これに対して乗鞍の熔岩は、大変密で手にした瞬間、重たさを感じる熔岩であった。いずれも熔岩にしてはめずらしい赤い色をしている。笠山熔岩の赤色はくすんだ赤色で、乗鞍熔岩の赤色は硫化水銀の影響によるものかと想像していたが、水銀は検出されなかったのでHgの検出は行わなかった。この赤色はベンガラのように朱色に近い色をしていた。さらに粉末化した時にその色の違いは、はっきりした(写真-2)。

今回の実験の結果で、これらの色が笠山熔岩の赤色は酸化鉄の成分がその色を呈していることがわかった。これに対して乗鞍の熔岩の赤色は酸化鉄+酸

化銅による赤色であった。粉末を見る限りベンガラそのもの色であると感じた。熔岩の分析は今回が初めてであったが、熔岩の分析を行うにあたっての戸惑いは、やはり熔岩中の成分を抽出するのに、何が一番適しているのかを検討することであった。その結果、熔岩分析でFig-2からも解るように、第一に熔岩に含まれている成分元素を抽出するのに硝酸を使った方が良いのか？硫酸分解が良いのか？を知るための結果なのである。このFig-1を見て解るように実験の結果は大変複雑で硝酸、硫酸、いずれでも抽出はできるのであるが、まず言えることは、硝酸よりも硫酸の方が抽出される量が大変多いことである。このことはそれだけに硫酸分解の方が分析しやすく微量元素でも測定が可能になってくることを意味している。それはFig-1, Fig-2, にその結果がよく現れている。

では硫酸の方がすべていいか、というと測定する元素によっては必ずしもそうではないことが解った。その一つにMg(マグネシウム)がある。このMgは硫酸よりも硝酸の方がより多く抽出されてくることを示している。それだけに分析機に感度よく分析できることを意味している。そして、今回の実験結果からはMgマグネシウムはFig-1, Fig-2で、はっきり示されているように、笠山熔岩に特に多く含まれていることが解った。

それ以外の元素については、Fig-1, Fig-2, から解るように硝酸抽出よりも硫酸分解の方がはるかに多くの量を抽出できることが解った。このことを基に定性分析をして、その中から感度よく得られたピークから測定元素を推測する。Alから定量を行った結果Alについては、その結果をFig-3から見ると、Alは大変感度よく定量できる元素の一つであると言える。その結果は笠山熔岩

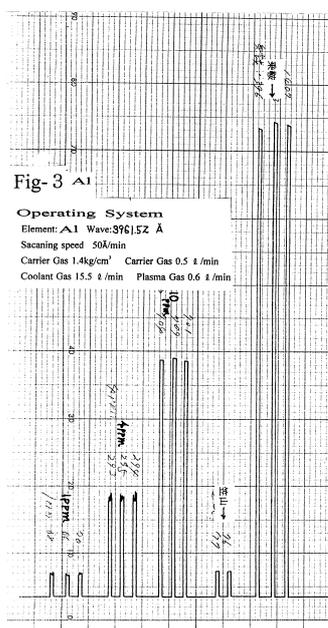


Fig - 3

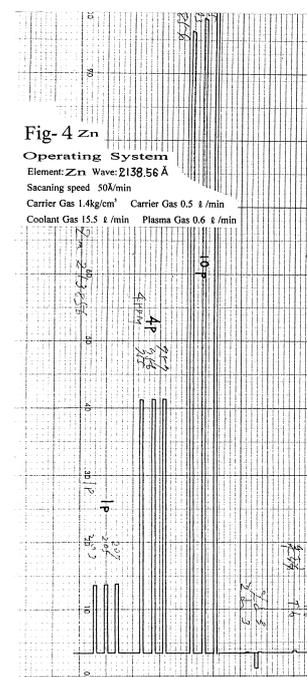


Fig - 4

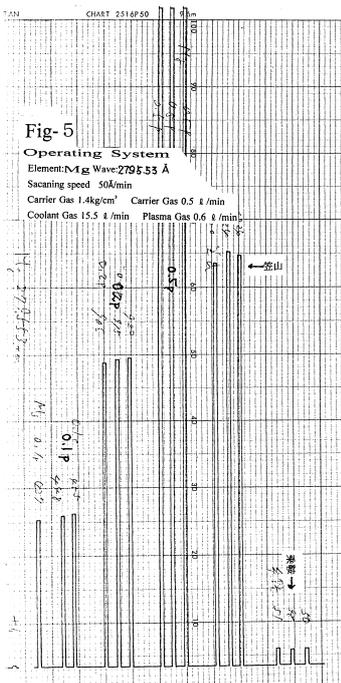


Fig - 5

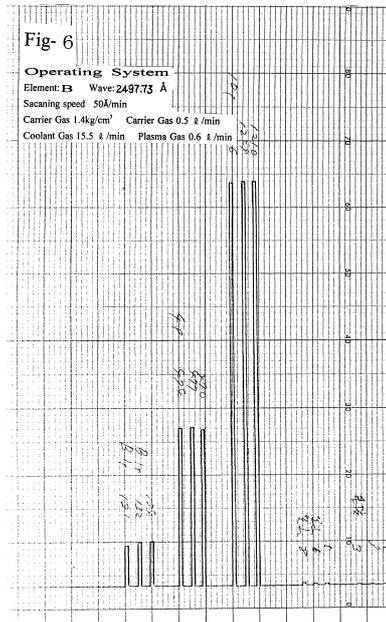


Fig - 6

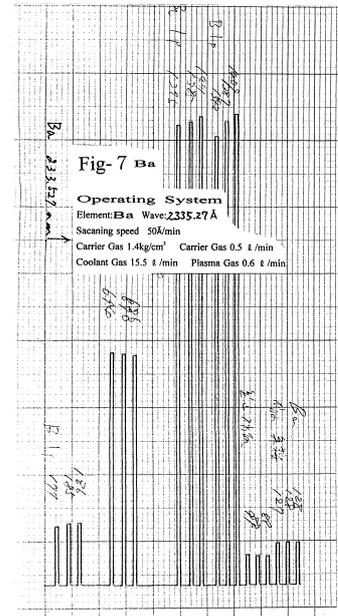


Fig - 7

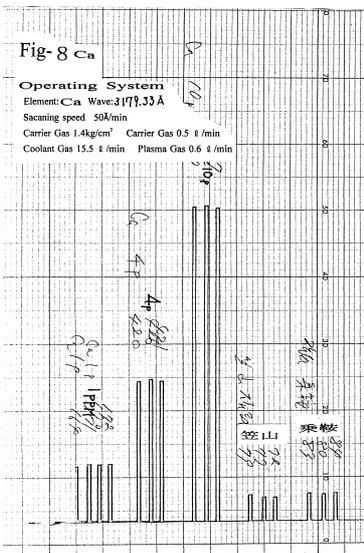


Fig - 8

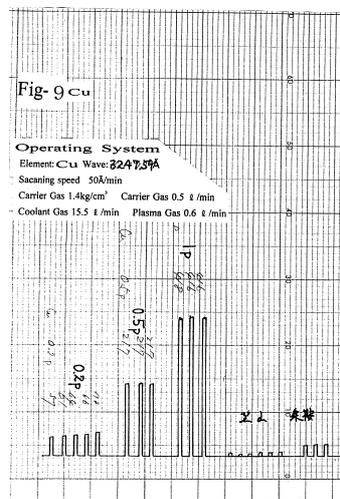


Fig - 9

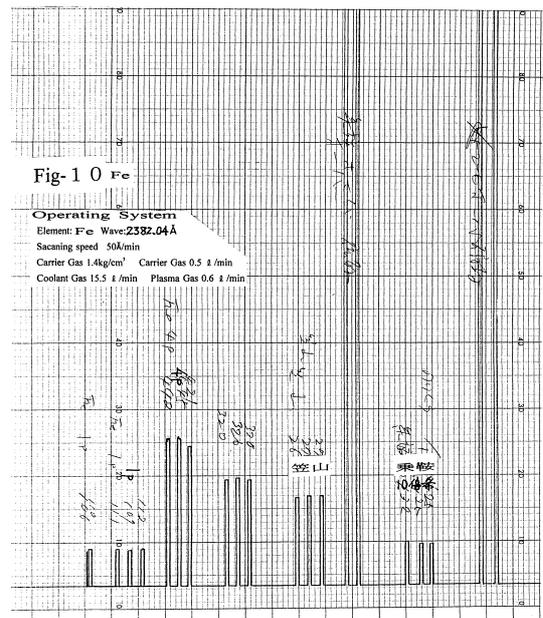


Fig - 10

よりも乗鞍熔岩の方が14.5倍多く Al が含まれていることが解った。Zn 亜鉛 (Fig - 4) は極微量であった。なぜだろうかと考えたが答えは直ぐに解った。それは亜鉛の沸点は907℃, 従って高温熔岩の温度が高いと亜鉛が気化していることが考えられたからである。Mg マグネシウム (Fig - 5) は、笠山溶岩が約 6 倍多く含まれていることが解る。このことも両熔岩の大きな違いの一つである。B ホウ素 (Fig - 6) は、普通にはなかなか見出せない元素の一つであるが、火山とは大変なじみのある元素の一つである。それゆえ、今回ホウ素の元素も分析してみた。Ba バリウム (Fig - 7) については両熔岩中ほぼ同じ程度

に含まれていることが解る。量的にもあまり多くはないが乗鞍熔岩の方にやや多く含まれていることが解った。Ca カルシウム (Fig - 8) についても両熔岩共に、同程度含まれていることが解る。石灰地方との関係もないようである。Cu 銅 (Fig - 9) については笠山熔岩よりも乗鞍熔岩の方が4倍多いことが解った。このことが鉱石との色に大きくかかわっている元素であると考えられる。Fe 鉄 (Fig - 10) は、いずれの熔岩にも多く含まれているが、乗鞍熔岩の方が笠山熔岩よりも16倍多く含まれていることが解った。このことから両熔岩の成分の違いがはっきりした。

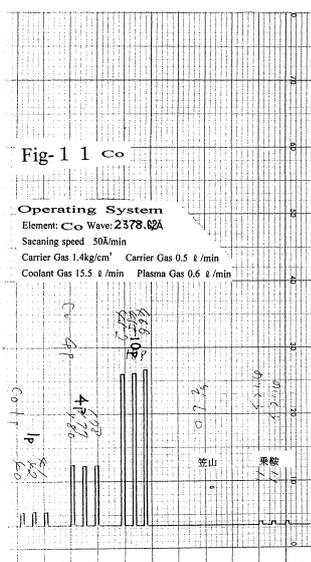


Fig - 11

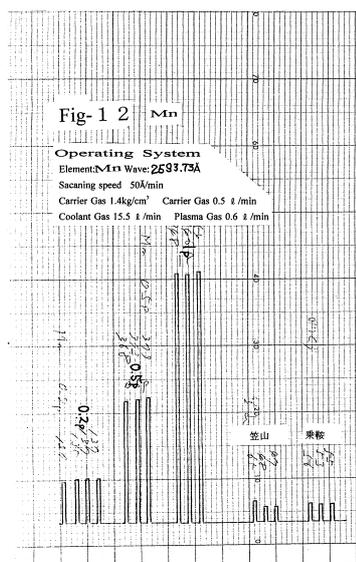


Fig - 12

Co コバルト (Fig - 11) は極少量づつ含まれていることがよく解るが、濃度的には、笠山熔岩よりも乗鞍熔岩の方が5倍ほど多く含まれている。このことも鉄の含有量と共に多く含まれている。Mn マンガン (Fig - 12) は、お互いに少量づつ含まれていてあまり大きな差は見られない。

今回の実験結果から言えることは、これらの元素の測定結果を比較してみると、両者の熔岩の成分については同様であるということとはできない。まったく性質の異なる熔岩であると言える。笠山熔岩よりも乗鞍熔岩の方が多くの元素を大量に含んだ熔岩であるといえる結果となった。

8.まとめ

元素は一体どこで、どうやって誕生し生まれているのだろうか。たくさん誕生した元素はどこに存在するのだろうか。地球上に存在する多くの元素は一体どこに？

この度、異なる2種の熔岩を分析することによってその謎の1つが溶けたような気がする。そしてこの熔岩はなぜ赤いのか？ このことから赤色をした熔岩の分析を試みた。そして、その熔岩の赤色を呈している成分は何なのかを突き止めることができた。そして、熔岩の成分といえども、笠山と乗鞍の熔岩では大きく違うことを知ることができた。

結論的に笠山熔岩からはあまり興味を引くような元素、そして有用な鉱石へとつながるような結果は得られなかった。

一方乗鞍の熔岩からは製鉄にはあまり適さないかも知れないが、硫化鉄の鉱脈が地下にある可能性が伺われる。そんな中で、金、銀、が大変微量ではあるが分析機の感

度範囲で測定できたことである。このことは大変興味を引くことであった。

地下でドロドロになって溶けた熔岩は、長い時間をかけて比重の大きい物質が底にたまっていくことが考えられ、ゆっくりと時間をかけて固まっていくなるときには、同一の成分を持つ物質が固まりあっていることが考えられる。従って地下のマグマの塊には私たちが想像を絶するような貴重な地下資源が眠っているのかもしれない!?...と想像すると、胸躍る思いがした。こうして地下のマグマの成分を少しでも知りうることができたことは今回の大きな成果であり、私自身、分析は楽しいと痛感した事であった。

