第534号　2015年9月1日発行　毎月1回1日発行　ISSN　0386-961X

現代化学

No. 534
9
2015

CHEMISTRY TODAY

箱根山の火山活動

超分子ポリマーの長さをそろえる

タンパク質の揺らぎを測定

共有結合で「もの」同士を接着

東京化学同人

化学的観点で箱根山の噴火を観る

現代化学編集グループ

神奈川県の箱根山では今年の4月から火山性の群発地震が増加し，6月30日にはごく小規模の噴火がみられた（表）．多くの人が訪れる観光地で何が起こったのだろうか．2001年から現場で火山ガスを採取している東海大学の大場 武 博士に話を聞いた．

群発地震と火山ガス

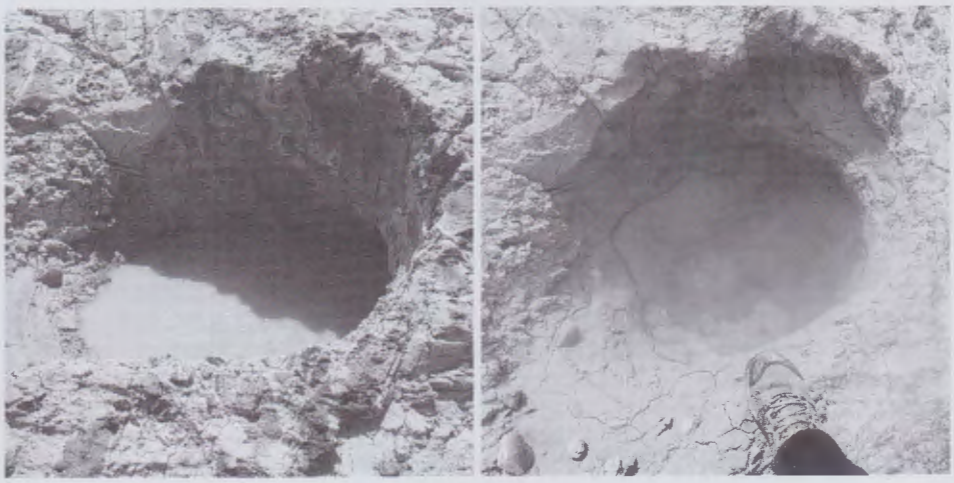
――箱根山ではどのような調査をしているのですか？

大場　箱根山にはカルデラがあり，その内側に中央火口丘という小さな山があります（図1）．この山の北斜面に大涌谷とよばれる火口があり（図1b色丸），ここと，大涌谷の駐車場近く（図1b黒丸）の2箇所で，2013年5月から月に1回火山ガスを採取しています．ガスの化学組成と，安定同位体比，水蒸気に含まれる重酸素，重水素の同位体比を測っています．

大涌谷では，あちこちで蒸気が出ていて，それと一緒に温泉水も湧いています（写真1）．左側の写真はちょうど群発地震が起こる2日前の様子です．たっぷり水があったのに，地震が増えてから行ったら蒸発していて何もない（写真1右）．図1の色丸の地点は，もともと林だったのですが，木が全部枯れて倒木になっていました．地面から出る高温の蒸気に根っこが耐えられなくて枯れたのです．

――地震が増えてからは見た目にもわかるような異変が起こっていたのですね．火山ガスを調べることで，何がわかるのですか．

大場　マグマは温度が800 ℃以上あり，そこから出てくるガスは，二酸化炭素をたっぷり含んでいます．この高温の



左は2015年4月24日，右は5月8日のもの．

写真1　温泉水の変化

ガスが，亀裂を通じてゆっくり地表近くに上がってくると，地表に到達する前に，地下水と混ざります．地下水は硫化水素が多いので，これらが混ざると，二酸化炭素と硫化水素を含んだガスが出てきます．火山活動が活発になりマグマからのガスが増えると，二酸化炭素の割合が増えます．つまり火山ガスを調べることで，火山の状態を評価できます．

――群発地震に関連して火山ガスに変化はあったのでしょうか．

大場　2013年の1月にも群発地震が少し増えたのですが，それとほぼ同時期に二酸化炭素／硫化水素のモル比が増えました．その後，地震が減るとモル比もすぐに下がりました．今回の群発地震でもモル比が急上昇して6月下旬にピークに達し，それから少しずつ低下しています．

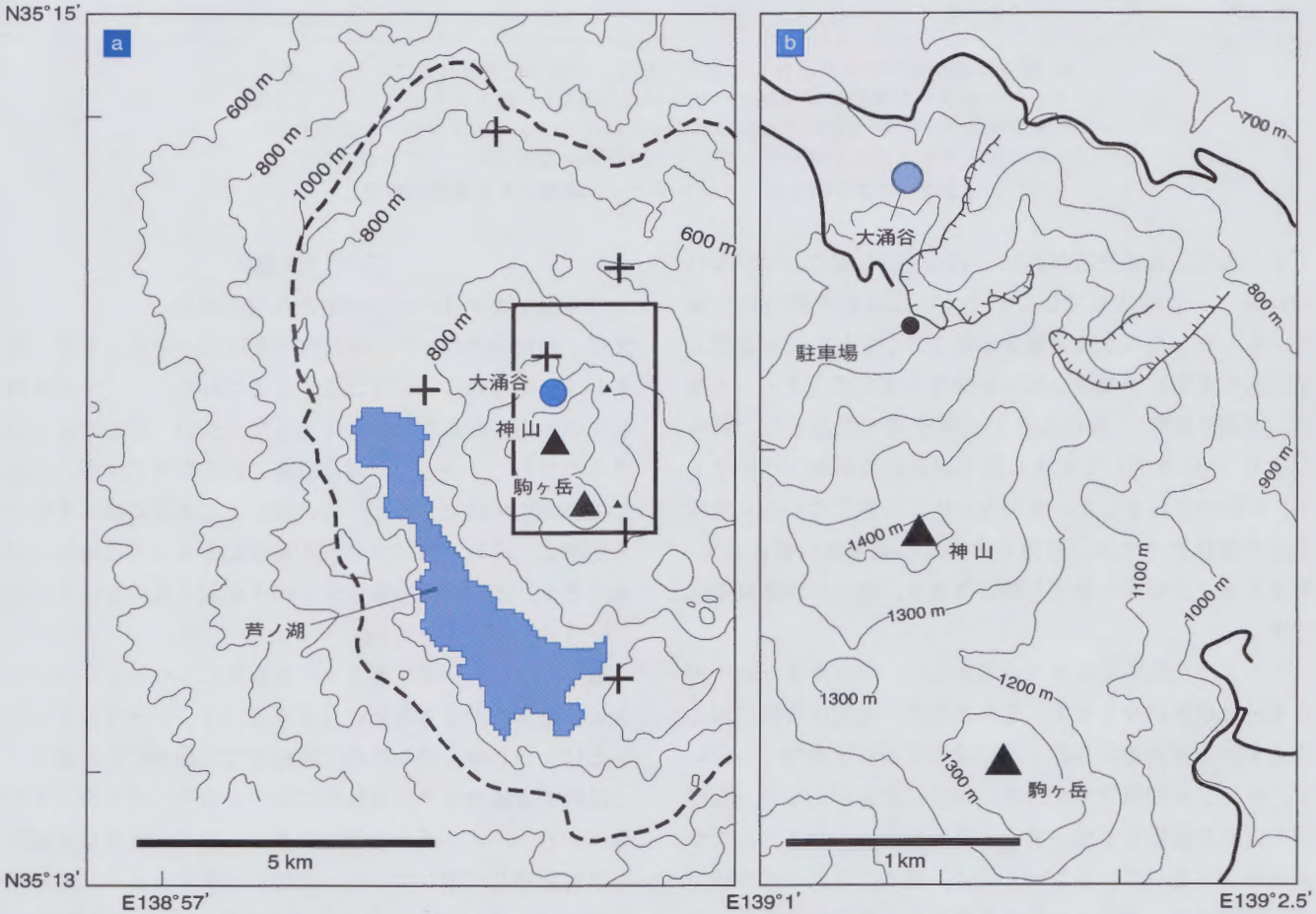
――地震とガスの化学組成に相関が見られたと．

大場　今回も群発地震の増加に伴って急に二酸化炭素の割合が増えましたが，増え方が2013年のときよりも速いの

表　箱根山で観測されたおもな現象†（2015年）

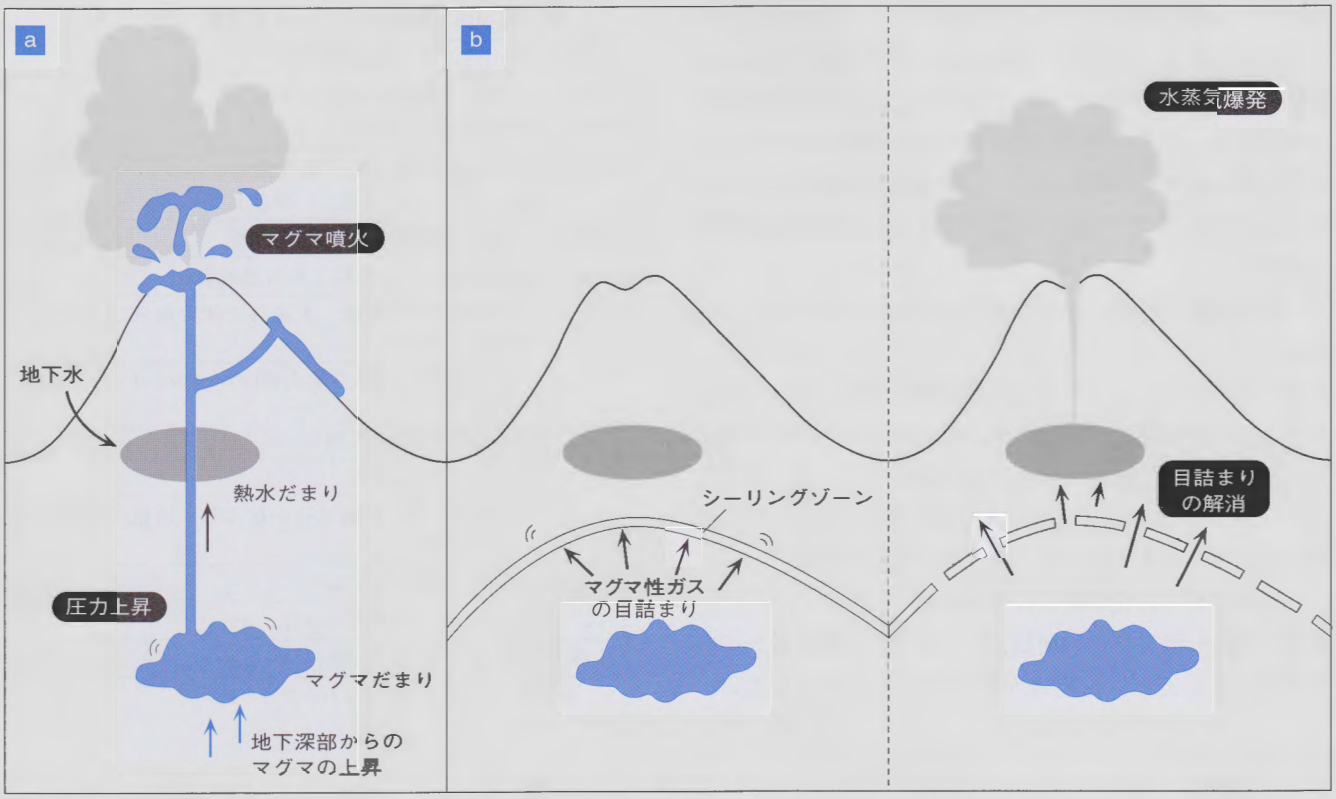
4月26日	火山性の群発地震の増加
5月4日	大涌谷で蒸気の噴出量増加
5月5日	箱根町湯本で震度1を観測
5月6日	火山周辺警報発表．噴火警戒レベルを1（平常）から2（火山周辺規制）にひき上げ
5月8日	火山ガス採取（大場ら）
5月10日	箱根町湯本で6回以上の有感地震
6月29日	火山性微動の発生．大涌谷で沈降物確認．新たな噴気孔を確認
6月30日	ごく小規模な噴火．噴火警戒レベルを3（入山規制）へひき上げ 火山ガス採取（大場ら）
7月1日	ごく小規模な噴火
7月2日	30日に確認した噴気孔が拡大し，白色の噴煙を勢いよく放出
7月14日	火山ガス採取（大場ら）
7月21日	火山灰を含む噴煙を確認
7月28日	火山ガス採取（大場ら）

†　色づけした日は現地調査を行った日を表す．



a）箱根山の中央火口丘付近の地形図．b）太線枠内の拡大図．黒丸（大涌谷駐車場近く）と今回新たな噴気が上がった色丸の2箇所でガスを採取している．

図1　火山ガスの採取地点



a）地下深部からマグマが上昇してくることで，マグマだまり付近の圧力が上昇し，マグマの地表への噴出を伴う激しい噴火が起こる．b）地下にシーリングゾーンが形成され，マグマ性の火山ガスが目詰まりを起こす．シーリングゾーンが壊れると一気に多量の火山ガスが噴出するが，マグマ自体に変化は起こっていない．

図2　マグマ噴火とシーリングゾーン崩壊による水蒸気爆発

です．また，有感地震が2013年には1回も起こっていないのに対し，今回は頻発しています．これらを総合的にみて，もしかしたら水蒸気爆発が起こるかもしれないと考えていたら実際に小規模な噴火が発生しました（タイトル写真，写真2参照）．放出した火山灰を調べたところ，熱水だまり（図2参照）で生成したと思われる鉱物（パイライト）が検出されました．また火山灰に付着している水溶性成分の塩化物イオン／硫酸イオン比が温泉水の値に近く，熱水だまりが噴火の源と判断できます．つまり水蒸気噴火です．

マグマから出てくるガスが増えると，熱水だまりの圧が高まった状態になります．そうすると，地震は自然に起こります．なぜかというと，普段は石と石は圧力でくっついて，安定した状態ですが，その隙間に流体があると，石の間の接触が弱まります．すると緩んで動いてしまう．だから地震が多発しているというのは，熱水だまりの流体圧が高い状態です．おそらく熱水だまりから亀裂が成長し，地表に到達したのだと思います．それが6月30日の噴火でした．

二つの説

――今回マグマ性のガスが増えた理由は？

大場　問題はそれです．可能性として二つ考えらます．地下10 kmくらいにマグマだまりとよばれる，マグマが蓄積している場所があるとされています（図2）．そのマグマだまりのさらに下から，二酸化炭素に富んだマグマが，上昇してきたのではないかと．この場合には地表に出てくるガスが増え，それと共にマグマが地表に上がってくる恐れがあります．これは，今後マグマ噴火が起こるのではないかという考え方です（図2a）．

もう一つは，マグマだまりのまわりにシーリングゾーンというバリアができるという考え方です．シーリングゾーンとは，いわゆる熱水性の二次鉱物で，約400 ℃の流体から沈殿する鉱物です．具体的には，石膏や，硬石膏，ミョウバン石，パイライトなどでできています．流体は平面的な亀裂を通じて流れており，鉱物が成長すると自分で通路を塞いでしまいます．たとえば水道管に水垢（あか）が詰まって，出が悪くなるのと同じです．シーリングゾーンが完成すると，マグマは常にガスを出し続けるため，圧が高まり，あ

2015年6月30日撮影.
写真2 大涌谷付近の噴煙の様子

るとき耐え切れずにバーっとガスが噴き出ます（図2b）．地表では火山活動が活発になったかのように見えますが，地下深くのマグマ自体に変化が起こっているわけではなく，たまったガスを出し続ければいずれ収束するという考えです．

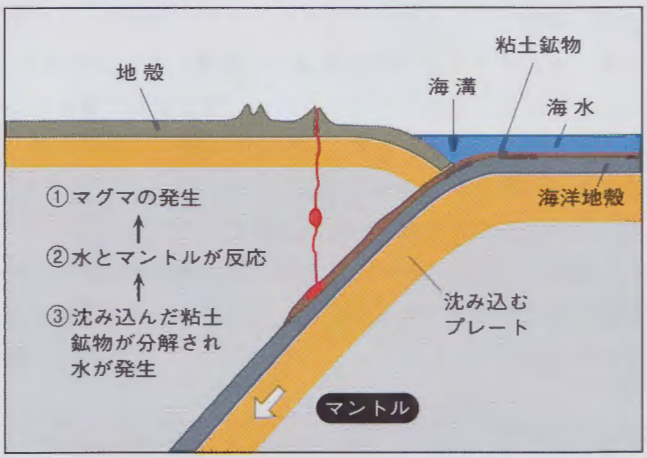
マグマに変化が起こったわけではない

――今回の場合はどちらの説が有力なのでしょうか．

大場 それを確かめるために使ったのが同位体です．水蒸気に含まれる重水素（D）の相対比（δD）について，海水（δD＝0‰）を基準（0）にしてそこから増えたらプラス，減ったらマイナスとします（下式）．

$$\delta D = \left\{ \frac{(D/H)_{試料}}{(D/H)_{海水}} - 1 \right\} \times 1000 \qquad (‰)$$

日本のような沈み込み帯では，沈み込んだプレートが海水や粘土鉱物をマントルに運び，そこでマントルの熱により分解され水が発生します．その水がマントルの一部を溶



二つのプレートが衝突し，片方のプレートが滑ってもう一方のプレートのマントルの下に沈み込んだ場所を沈み込み帯という．箱根山は北米プレートの上に乗っていて，その下にフィリピン海プレートが沈み込み，マグマを発生させている．

図3 沈み込み帯とマグマの発生

東海大学理学部化学科教授．理学博士．1961年神奈川県に生まれ，1988年東京工業大学大学院理工学研究科化学専攻博士課程を修了．箱根山や草津白根山などの国内火山の地球化学的研究やカメルーンにある火山湖の研究を行う．火山性ガスの化学組成や安定同位体比を定期的に調査・観測することで火山活動との関連を明らかにしている．

大場 武（おおば・たけし）博士

火山活動を捉える

——普通は火山の測定というと，どのようなことをするのでしょうか．

大場　おもに地震や地殻変動の観測です．GPS（全地球測位システム）を使って地殻の変動を捉えます．地震観測では，要するに，ある領域のどこで地震が起こっているか，深さと規模を観測します．

——このような手法だと，今回あった二つの可能性の区別はできるのでしょうか．

大場　難しいと思います．だから，化学的観測によると，そんなに心配する必要がないということです．ですが，熱水だまりの内部圧力が高い状態がしばらく維持され，地下構造が亀裂で弱くなっているので，今後も小規模な水蒸気爆発の可能性を考えておくべきです．

——ほかの火山についても化学的な測定は可能でしょうか．

大場　これをすべての火山に適用するのは無理です．たとえば口永良部（くちのえらぶ）島は，マグマが関与しているのが明白なので，箱根とは別です．火山ガスの採取は人間が現場に行って行わなければいけないので，噴火している火山だと危険です．もちろん，噴火している火山でガスを取ることができればいろいろなことがわかると思いますが，現時点では不可能です．本当は地震観測のように機械をポンと置いて，それで化学組成とか同位体比がわかったらいいんですが，夢のまた夢でしょうね．

——最近，箱根以外でも火山の話題をいろいろと耳にしますが．

大場　これは，昔は気づかなかった細かい地震まで計測できるようになったため，各地の山で火山性地震が増えているかのように見えるということです．たとえば，蔵王（ざおう）山は火山性の地震が増えましたが，昔だったら気づかなかったかもしれません．

融してマグマが発生するので，マグマが発散するガスは海水の同位体比を反映します（図3）．ただ，海水そのものや海底にたくさんある粘土鉱物はヒドロキシ基（-OH）をもっているのですが，-OHは同位体比が低く，マグマ性のガスはそれらが混ざったようなものなので，δD値は－20‰くらいになります．一方で地下水は－60‰くらいと，かなり差があります．つまり，マグマ性の蒸気と地下水の混ざり具合によって同位体比が上がったり，下がったりします．それを調べた結果，今年の1月までは－50‰くらいだったのですが，2月から群発地震が起こる2日前までの間に，急に減っていったのです．そして地震が増えてからは急にもとに戻りはじめていました．その後はあまり変動が見られません．

——急に減るということは，マグマの活動が活発になったとは考えにくいですね．

大場　そうです．おそらく2月からはシーリングゾーンがあったのではないかと考えられます．ガスが貯められて，マグマが発散する重水素濃度が高いガスの寄与が減ったために，地下水の寄与が相対的に増えて重水素の同位体比が下がったのではないかと．それが5月にシーリングゾーンが壊れて，急にマグマからくるガスが増えたので，同位体比が上がってきたのです．実は同じことが2013年8月から2014年4月にかけてにも起こっており，おそらく箱根山はこの現象を繰返しているのだと考えています．この見方でいえば，今回は単にシーリングゾーンができて，それが壊れただけということです．つまり，今はガスのくる量と出る量のバランスが崩れて，シーリングゾーンからもれてくるガスが増えたために内圧が上がって地震が増え，水蒸気爆発が起こったりしている．だからいずれガスが抜けてしまえば，もとに戻ると考えています．

——化学成分を解析することで，これまでとは別の視点で火山活動を捉えることができるのですね．先生は火山活動の予測を目的にしているのでしょうか．

大場　予測というよりも，今火山がどういう状態にあるのかを，火山ガスなどの分析を通じて評価しているのです．火山活動が盛り上がりつつあるのか，低下傾向にあるのかを診断するような感じです．箱根山の計測も，火山の噴火を予測するために最初から意図してやったものではなく，測ってみたらこんな面白い結果が出てきたのです．

——観測を定期的に続けることで，目で見える現象と，化学的な変化の関係が明らかになっていきますね．本日はありがとうございました．■

「論点」欄への投稿をお待ちします

「論点」は，みなさんの自由な発言の場です．学問や技術，教育や研究，あるいはもっと身近な日常生活に関することなど，テーマ，内容は一切制限致しません．

★ 長さは400字から4000字くらいまで，用紙は自由です．
☆ 匿名または筆名でも結構ですが，お差し支えないかぎり本名で．
★ 年齢，職業は必ず付記してください．
☆ 掲載分は薄謝を呈します．

送り先
〒112-0011
東京都文京区千石3-36-7
㈱東京化学同人 現代化学編集室
論点係
E-mail : info@tkd-pbl.com