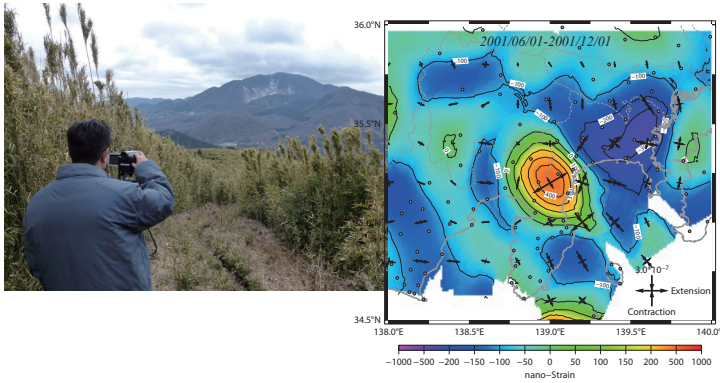




地学の豆知識 第 5 回 ～火山活動の見方～

原田昌武
(神奈川県温泉地学研究所)

はじめに

2013 年 1 月の初めごろから、箱根火山では群発地震が発生し、2 月には大涌谷付近で揺れを感じるような有感地震もいくつか発生しました。この群発地震活動については 2 月に入ったところから報道等でも取り上げられたため、記憶にある方も多いかと思います。また、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の後には“マグニチュード 9 クラスの地震の後には周辺の火山が噴火している”と言われ、いつも以上に火山活動に注目が集まりました。

そのような中、私自身も“箱根火山はどうなっているの？”とか“〇〇火山は噴火するの？”などと皆様のみならずマスコミなどからもよく問い合わせを受けています。そこで今回の地学の豆知識では、我々は火

山活動を見るときにどのようなところに注目してその活動を評価し、皆様の疑問にお答えしているかについて、解説を試みたいと思います。

火山活動を見る方法

火山活動を見るといっても、その方法は大きく分けて 2 つあります。1 つは、地質学的方法です。これは、地質調査によって火山噴出物の年代や特徴などを調べ、その火山が、いつどのような噴火を起こしてきたのかといった、過去の噴火履歴を明らかにします。歴史から先を予測する、つまり、中・長期的な火山活動(数 10 年から数万年程度)の評価をするために重要な情報です。

もう 1 つは、地球物理学や地球化学的方法です。これは、火山周辺でいろいろな観測を行い、現在の

火山活動がどうなっているのかを明らかにします。こちらは、今の状態からちょっとだけ先(数日から数か月、極端な場合は数時間)を予測する方法と言えるでしょう。たとえば言うなら、地質学的方法はこれまでの病歴を、地球物理・化学的な方法は今の状態を知る健康診断のようなものです。いずれも病気(噴火)になる前の(火山の)健康状態を知るためには必要な情報です。

ここでは後者の地球物理・化学的な方法を使って現在の火山活動を読み解くために、どこに注目したらよいのかを考えてみましょう。

火山活動とは

火山活動を読むために、まずは、噴火の形態や一般的な活動推移についてごく簡単にお話しします。

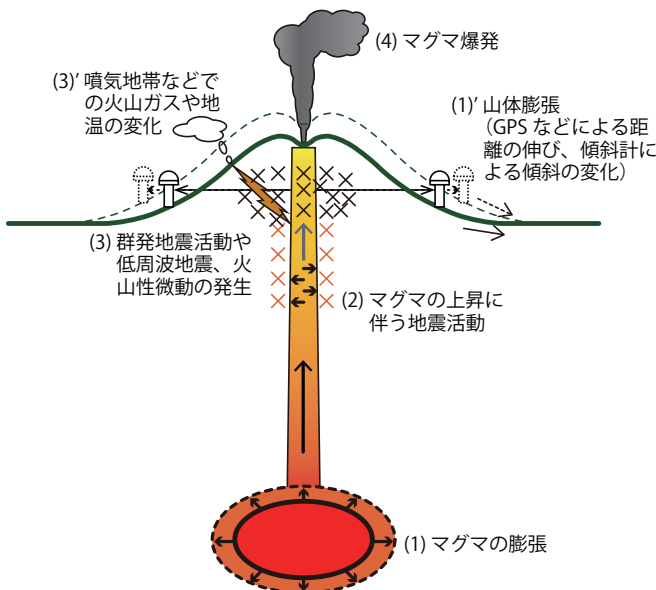


図 1 マグマ噴火の模式図。

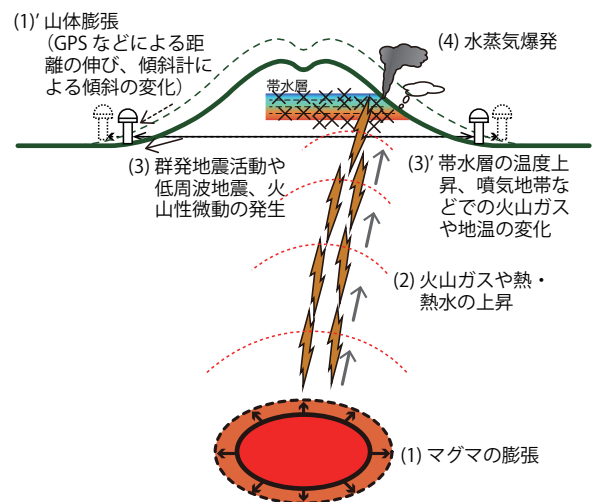


図 2 水蒸気爆発の模式図

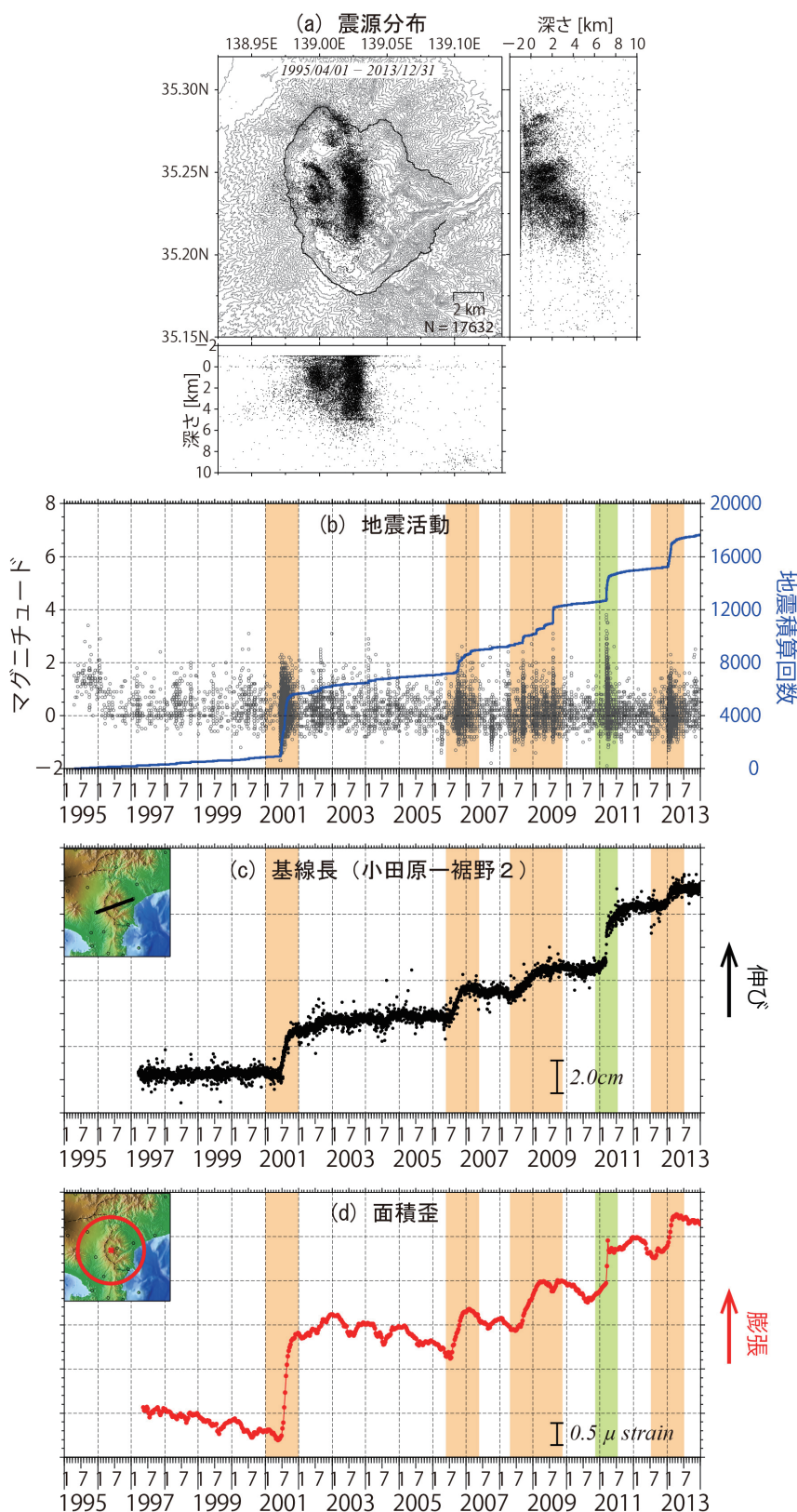


図3 箱根火山における地震活動と地殻変動（1995～2013年）。

(a)は震源分布図、(b)はマグニチュードと地震積算回数の時間変化を示します。また、(c)は小田原と裾野の基線長変化（地図中の黒線の距離の変化）、(d)は箱根火山の面積歪（地図中の円で囲まれた地域の面積の変化）を示します。ハッチを塗った期間は、火山性の群発地震活動が発生した時期。ただし、2011年は東北地方太平洋沖地震によって誘発された群発地震です。

爆発的な火山の噴火様式は、マグマの中に含まれている火山ガスや岩石の成分、粘性（粘っこさ）などによって多種多様にあります。しかし、噴火に至るまでのマグマの果たす役割を考えると、おおまかに分類して3つのタイプに分類できます。

1つはマグマそのものが噴出するマグマ噴火です（図1）。これは地下のマグマが活発化し、上昇しながら周囲で地震を発生させます。そして地表面からマグマ本体を噴出する噴火です。噴火というともっともイメージしやすいものでしょう。最近の桜島の火山活動や1986年の伊豆大島・三原山、1707年の富士山・宝永噴火などが、このタイプになります。

2つ目は、水蒸気爆発です（図2）。このタイプではマグマが地表に現れることはありません。その代わりに、マグマが地中を上昇したり、マグマからの熱や火山ガスが上昇し、地表の浅いところにある水を多く含んだ帯水層の水（地下水）などを沸騰させます。水は沸騰すると体積が増えるので、その体積膨張に耐えられなくなると爆発するのが水蒸気爆発です。たとえば言うなら、缶ジュースを直火で沸かしているようなものです。密閉された容器に水を入れて沸騰させると水が気化して水蒸気となって膨張し、限界に達するといつかは爆発するでしょう。噴火の規模はマグマ噴火やマグマ水蒸気爆発（後述）に比べて小さいのですが、箱根火山においては、3000年前ごろにマグマ噴火をしたのち、約3000年前や2000年前、12世紀後半から13世紀に水蒸気爆発が発生しています。

3つ目は、マグマ本体が地下水と接触し、マグマと水蒸気を同時に噴出させるマグマ水蒸気爆発です。マグマ噴火と水蒸気爆発の間とも言

えるでしょう。マグマが上昇してきて浅いところにある地下水や海水と出会うと、爆発的な噴火をします。1989年の伊豆東部火山群（手石海丘での海底噴火）や2000年の三宅島での噴火は、このタイプです。

噴火の形態はこの3つに分類できますが、ややこしいことに、同じ火山でもいつも決まったタイプの噴火をする訳ではありません。例えば霧島山の新燃岳は、時として水蒸気爆発（たとえば2010年）やマグマ水蒸気爆発（たとえば2011年）、マグマ噴火を発生させています。また、2000年の有珠山での噴火ではマグマ水蒸気爆発と水蒸気爆発が発生しました。

このように噴火の形態は様々ですが、現在の火山活動を診断する上でポイントとなる共通点があります。それは、マグマや火山ガス、地熱の変化をとらえることです。噴火の前には、地下に蓄積したマグマが活発化します。マグマが活発化、というのはいささかあいまいな表現ですが、地下のマグマだまりの中に溜まっているマグマの量（体積）が増えるなどしてマグマだまりが膨張したり、マグマだまりから地表に向かって上昇しはじめたりすることをイメージしています。

つまり火山で起きる、①地殻変動（地盤の動き）、②地震活動、③地表面現象（地表面や地中の温度、火山ガス成分の変化）は、マグマ活発化のしるしです。火山を観測している人たちは、こうした活発化のしるしがマグマのどういう動きを示しているのかを考え、火山活動を読んでいるのです。そこで、①から③の内容について、それぞれを少し詳しくみてみましょう。

① 地殻変動

火山の地下深部には、火山によっ

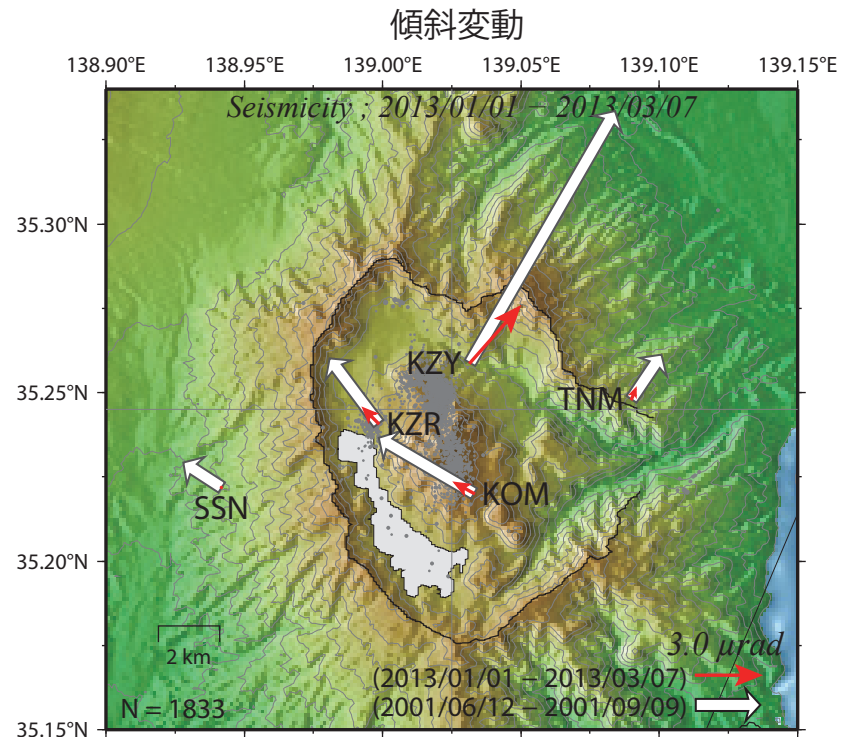


図4 箱根火山における火山活動に伴う傾斜変化。

赤矢印と白抜き矢印はそれぞれ2013年1月1日から3月7日および2001年6月12日から9月9日の群発地震に伴う傾斜変化を示します。矢印の向きは傾き下がる方向を、また、矢印の大きさは変動量を表します。灰色の●は2013年1月1日から3月7日の群発地震の震央を示します。

て深さは違いますが、マグマだまりがあります。このマグマだまりの圧力が高まったり、膨張や移動をしたりすると、その変化が地盤の変化として現れます。つまり火山活動が活発化すると、山体の変化（膨張）が起こります。山体の膨張は、GPS測量によって観測される山体を挟む距離の伸び（図3c）、歪計やGPS測量から計算される歪の変化（図3d）、傾斜計で測定している地面の傾きの変化（図4）などの形でとらえることができます。これらのデータに山体膨張やマグマの動きを反映する変化がないかどうかは、火山活動の推移を知る上で非常に重要になります。

なお、水準測量やSAR（人工衛星から撮影した画像を解析する手法）によっても地殻変動は観測されますが、測定間隔がGPSや傾斜計、

歪計に比べて長いので、時間経過を詳しく見るためにはGPSや傾斜計、歪計のデータを利用してリアルタイムにモニタリングしています。

② 地震活動

マグマだまりが膨張したり、マグマが移動することによって、その周辺では地震活動が活発になります。つまり、群発地震が発生します（図3a,b）。マグマ噴火の場合は、マグマ本体が地表面に向けて上昇しその周辺の地層を引き裂くために地震が発生します。そのため、震源がだんだん浅くなってくるような現象が見られると、要注意です。ただし、火山で起きる群発地震が全てマグマに関連しているかということ、そうでもないのが難しいところです。地下の熱水の圧力が上がったり、移動をしたりすることでも群発地震はおきま

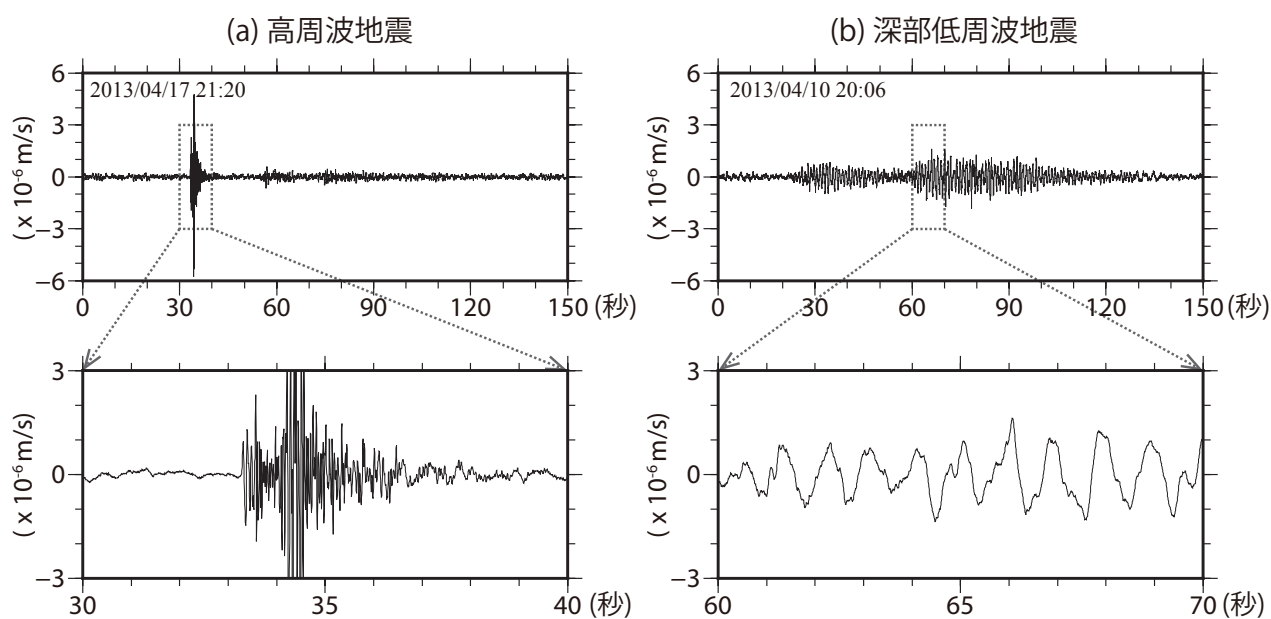


図 5 駒ヶ岳観測点で観測された地震波形の例。

(a)2013 年 4 月 17 日に駒ヶ岳直下（深さ 4.5km、M0.3）で発生した高周波地震。(b) 2013 年 4 月 10 日に金時山周辺（深さ 22.9km、M1.3）で発生した深部低周波地震。上段は 150 秒間、下段は点線の四角で囲った 10 秒間の地震波形を示します。高周波地震は 10Hz 程度、深部低周波地震は 1 ～ 2Hz 程度の波が卓越しています。

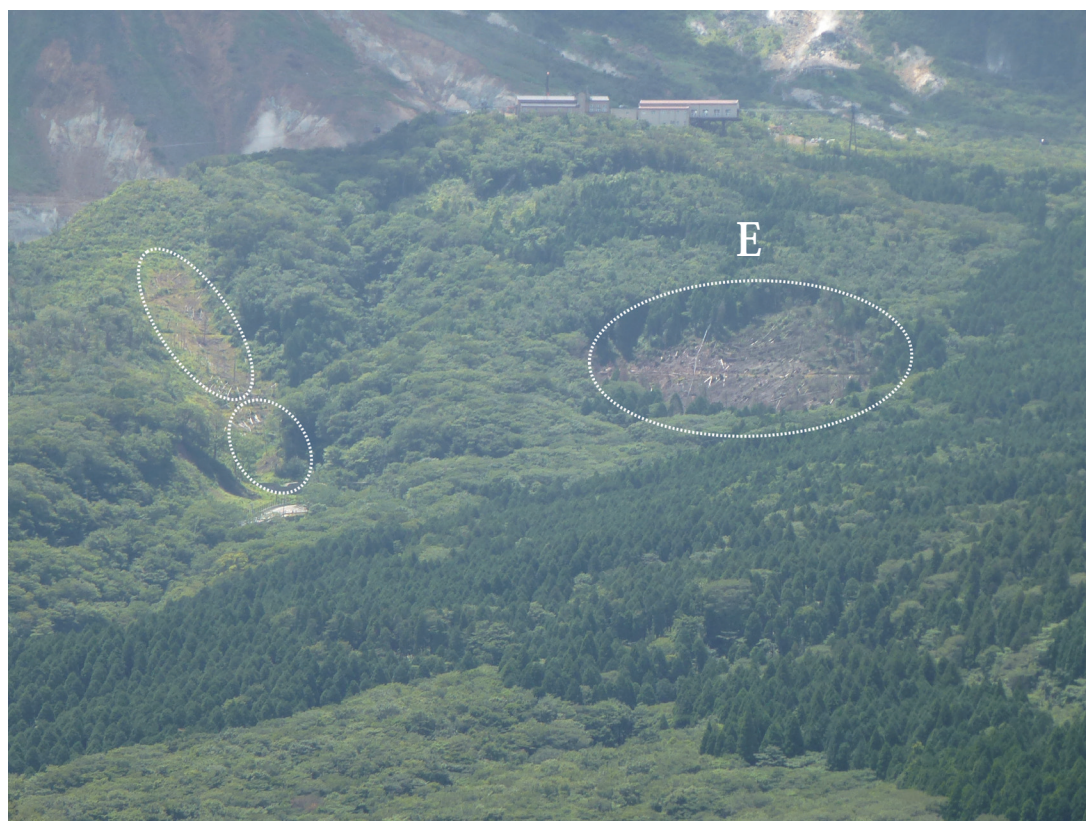


写真 1 箱根外輪山から望む大涌谷の北側斜面。

点線で囲った地域は、箱根火山で 2001 年に発生した群発地震以後に現れた、新しい噴気域を示します（2012 年 8 月 2 日撮影）。

すし、普通の断層の地震でも火山地域では群発地震になりやすいのです。

マグマが動いているかどうかを判断するためには、震源の移動の様子を詳しく見るほかに、地震の波形をよく観察することも重要です。マグマや熱水などの流体が動くと、通常の地震（高周波地震や火山構造的な地震、A型地震）とは異なる特徴的な揺れが地震計で観測されます。それは、普通の地震に比べて周期の長い地震、いわゆる低周波地震です（図5は深部低周波地震の例）。それ以外にも、長い時間継続して長周期で揺れる火山性微動が発生することがあります。火山活動を見る上で、地下の浅いところで低周波地震が起こっていないか（浅部低周波地震）、火山性微動は観測されていないかは、噴火へ至る可能性を探る上で重要な情報です。

③ 地表面現象

マグマにはガスや水が含まれています。それらはマグマ本体から分離して（脱ガス、脱水）、地層中の亀裂などを伝って上昇してきます。そうすると、噴気地帯では火山ガスの濃度が変化したり、新たな噴気が確認されたりします（写真1、2）。またマグマは高温のため、その動きが活発化すると火山ガスとともに熱も運ばれ、地中や地表面の温度が上昇したり、地表付近の地下水を熱して温度や圧力を増加させたりすることがあります。このような地表面で発生する現象が確認・観測されるかどうかにも注意が必要です。

温泉地学研究所の取り組み

当所では箱根火山を対象に、このような3つのポイント（地殻変動、地震活動、地表面現象）について観測を行い、火山活動の評価・監視や研究を推進しています（図6）。地

殻変動については、GPS 測量や光波測量によって地盤の伸び縮みを観測し、地盤の傾きの変化を調べる傾斜観測と合わせて、マグマの動きを調査しています。また、箱根火山の中やその周辺地域には地震計を設置

し、人間が感じない小さな地震の活動も見逃しません。これらの地殻変動・地震観測は24時間、365日連続して観測しており、テレメータ装置を通してリアルタイムで研究所にデータが届きます。そして現在の観

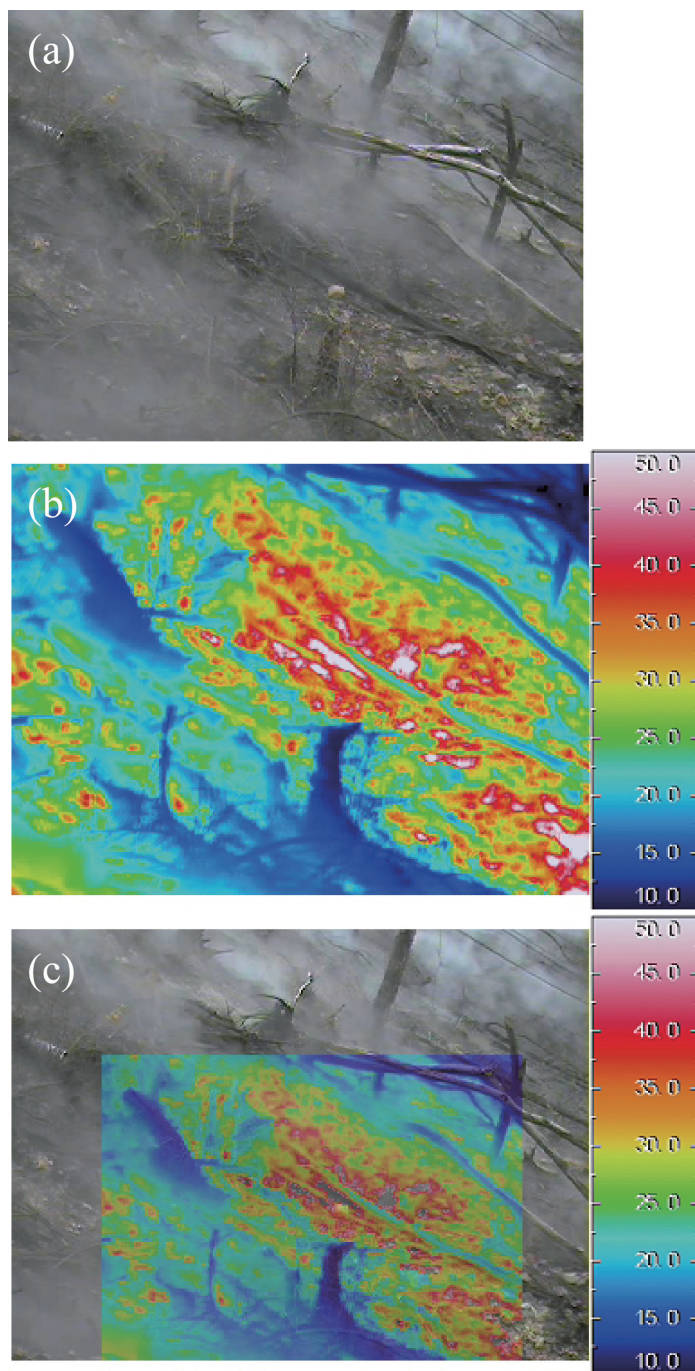


写真2 大涌谷北側斜面の噴気域内の様子。

写真1のE領域内の(a)可視画像、(b)熱赤外カメラによる地表面温度、(c)可視画像と熱赤外画像の合成を示します(2012年11月22日撮影)。この画像の地表面温度は最高で66.3℃ですが、地中(深さ数10cm)では96~97℃(現地での水の沸点)程度あります。冬場は気温が低いため、噴気(ここではほとんどが水蒸気)が活発に見えることもあります。

