

箱根大涌谷で 2001(平成 13)年に発生 した蒸気井の暴噴事故とその対策

辻内和七郎*、鈴木征志*、栗屋 徹*²

1. はじめに

箱根大涌谷の噴気地域では、蒸気井から火山性蒸気を取り出し、地下水を加えて温泉を造成しています。2001(平成13)年7月以来、いくつかの蒸気井の蒸気量が多くなり、ごう音をたてて噴出するようになりました(図1)。蒸気は有毒ガスを含んでいたため、見学コース(自然研究路)や周辺のハイキングコースは一時閉鎖になりました。蒸気井を所有する箱根温泉供給株式会社(以下、当社という。)は音をしずめて噴出を制御する装置の取り付け作業を行いました。ここでは、箱根大涌谷で2001(平成13)年に発生した蒸気井の暴噴事故とその対策について紹介します。

2. 蒸気井の利用方法

大涌谷における温泉利用の歴史は古く、元文年間(1736 - 1740年)に始まります(箱根温泉供給,1982)。明治の終わりには、竹樋や土管を使い引湯を開始しましたが、安定した利用をすることはできませんでした。

本格的な温泉造成は1930(昭和5)年、当社の設立により開始され、1960(昭和35)年には仙石原イタリ湿原に60,000 m³の貯水池を造り、新規の揚水施設を設置しました。

大涌谷噴気地域は神山の山腹に広がる傾斜地で、当社はここの社有地内にある14本の蒸気井で、地下から取り出した150 m近い蒸気に水を混ぜて温泉をつくり、旅館や保養所などに供給しています。14本の蒸気井は噴気地域の中～下部にあり、深さ100～500 mのボーリング孔です。造成の仕組みは、蒸気井の上に、蒸気の強弱に応じて内径600～1,000 mm、高さ6 mのFRPパイプを立て、内部に段を設けて、上から注いだ水が緩やかに落下し、熱と成分を吸収するようになっています。ただし、硫黄分を大量に含んでいる場合は、注水により蒸気温度が低下し、孔内で硫黄が凝固して閉塞する可能性があるため、効率は劣るもののFRP水槽内に溜めた水の上から蒸気を吹き付ける方式も採用しています。造成用の水は仙石原の地下水で、それを貯水池に集め、標高差350 m、距離2,900 mにある大涌谷までポンプ8台により押し上げています。

現在の温泉造成の状況は、蒸気井が14ヶ所、火山性蒸気温度が120～150℃、供給される造成泉はpH2.9、泉温64.7℃で、その泉質は酸性・カルシウム・マグネシウム・硫酸塩・塩化物泉、最大送湯量は日量5,000 m³、給湯契約件数は470です。大涌谷の造成温泉は、第一鉄イオン、ナトリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオンが多く含まれているので、送湯する間に空気に触れて酸化し、特に、酸化鉄は流速の遅い部分では軟らか

* 箱根温泉供給株式会社 〒250 - 0631 神奈川県足柄下郡箱根町仙石原1251

*² 神奈川県温泉地学研究所 〒250 - 0031 神奈川県小田原市入生田 586

報告, 神奈川県温泉地学研究所観測だより, 通巻第53号, 1/12, 2003.

図1. ごう音 蒸気大量噴出、大涌谷に異変、微小地震で活性化か
(朝日新聞、2001(平成13)年12月1日発行より引用)

く、早い部分では硬いスケールとして管内部に付着します。スケールの除去方法について種々対策を研究したものの有効な手段はなく、現在は一定期間毎に管内部の清掃を行っています。送湯管には約50m毎に掃除口を設置し、直径9mm、長さ120mのワイヤーロープの中間にスケールを削り落とす器具を付け、両端を人力で交互に引っ張り、管が原径に復するまで数回繰り返す作業を年2回行っています。本管の主要部分を順次複線化し、一方で送湯している間に他方を乾燥させて剥離を促進するなど改善を進めています。蒸気井、混合造成装置、給湯管、スケールなどで幾多の失敗を乗り越え、供給が安定化したのは1965(昭和40)年代に入ってからです。しかし、金属製のパイプ、バルブの腐食、コンクリート構造物の浸食、硫黄の凝固による井戸の閉塞、計器類の使用が困難等、酸性泉の利用には、中性泉にない多くの未解決な問題が残っています。

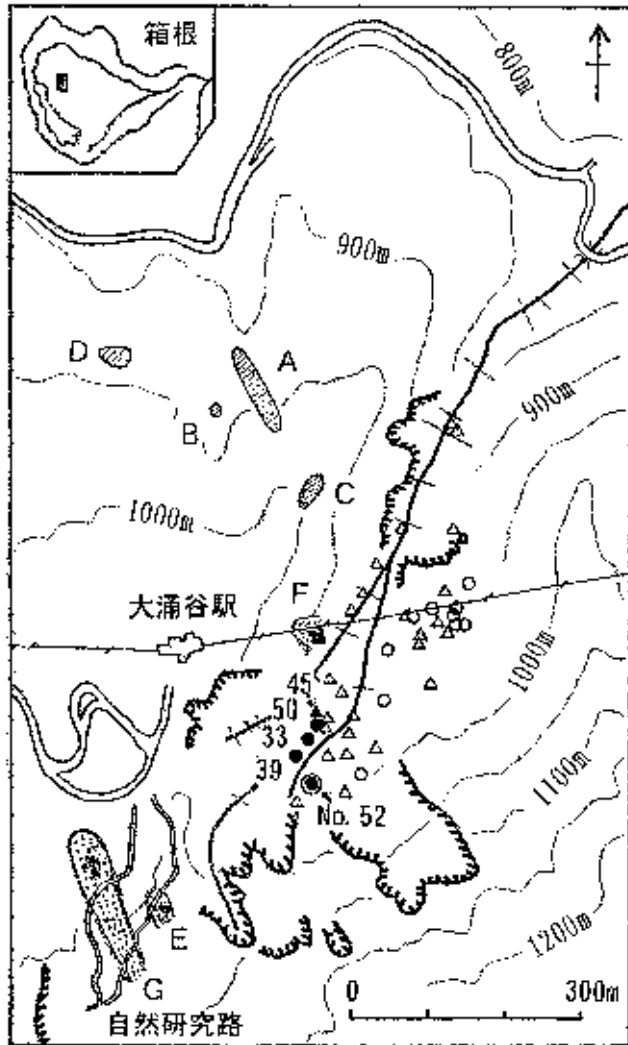


図2. 箱根大涌谷の蒸気井等の位置

○ : 蒸気井 △ : 蒸気の噴出が活発化した蒸気井
 ● : 温泉井 ○ : 蒸気の噴出が見られた温泉井

A ~ D : 山林中の蒸気噴出箇所

(Aは平成13年11月、 Bは14年11月、
 Cは15年1月、 Dは15年2月に発見)

E ~ G : 地すべりによる崩壊箇所

(Eは平成13年8月、 Fは13年9月、
 Gは14年10月に発生)

3. 蒸気井の暴噴事故

2001(平成13)年6月12日午前9時51分から発生した群発地震活動は大規模なものとなりました。当社の温泉造成用蒸気井の主力である52号井(深さ500m)に異常が発生したのは7月16日からです(図2、表1)。造成泉が灰色になったので、18日に蒸気を放出させたところ、19日には井戸内からSUSケーシングパイプやFRPケーシングパイプの破片が飛び出して周囲に散乱しているのを発見しました(写真1)。

7月21日午前11時40分M2.9の地震が大涌谷の直下で発生しました(棚田ほか、2002)。箱根ロープウェイ大涌谷駅の震度計は震度5を記録して、ロープウェイの運行が自動的に停止しました。当社で実施した7月21日午前9時の見回りの時にはどこにも異常がなく、午後3時の見回りの時には52号井の蒸気音が強烈になり、色も白さが増しておりました。また、39号井(深さ413m)では泥水を含む蒸気が噴出していました。7月23日頃には33号井(深さ114m)、50号井(深さ480m)で蒸気の噴出が活発になり、45号井(水平掘り、深さ100m)では湧出していた温泉が強力な蒸気になりました。主力の52号井は蒸気の圧力が異常に上昇し、大量の蒸気がごう音を発して噴出する状況でした。

折しも夏の観光シーズンで、ごう音を伴う蒸気の噴出は観光客に人気がありましたが、別荘地から苦情が続出し、まずは騒音対策に追われることになりました。7月28日から周

表1. 箱根大涌谷の蒸気井の暴噴事故とその対策の経過
 (当社及び神奈川県自然環境保全センター箱根出張所資料による。)

年月日	出来事
2001年6月12日	箱根火山の群発地震が始まる。
2001年6月29日	有感地震が頻発する。
2001年6月30日	強羅地区の住民による鳴動が報告される。
2001年7月16日 2001年7月21日	温泉造成用蒸気井の主力である52号井の造成泉が灰色に変化する。 午前11時40分M2.9の地震が大涌谷の直下で発生、箱根ロープウェイ大涌谷駅の震度計は震度5となる。 当社の見回りで午前9時には異常なかったが、午後3時には52号井の蒸気の音が強烈になり、39号井が蒸気を噴出し始めた。
2001年7月23日	33号井、45号井、50号井で湧出していた温泉が強力な噴気に変化する。
2001年8月7日	気象庁等は「群発地震の発生とこれに並行して地殻の変動も認められるが、噴火の心配はない」と発表する。
2001年8月10日	地熱活動の活発化によりH ₂ SやSO ₂ の増加が懸念されるため、ポータブル計測器による測定を開始する。
2001年8月22日	台風11号により自然研究路往路が崩壊したので通行止めとなり、復路のみで対応する。
2001年9月7日	神奈川県が喘息患者等への注意看板を設置し、二酸化硫黄の測定を7ヶ所で開始する。
2001年9月11日	台風15号により大涌谷の長さ30m、12段の山腹工が最上部から順次崩壊、土石流となり源泉・供給施設を直撃し、温泉の供給不能となり、仮復旧に5日を要した。
2001年10月9日	52号井の改修工事に着工する。
2001年10月18日 2001年10月22日	火山ガスによる観光客の事故を回避するため、玉子蒸し場(B地点)に紫外線蛍光方式のガス分析装置(借用)を設置し、連続観測を開始する。 火山予知連絡会は「マグマか熱水が上昇したと見られるが、上昇は止まった」と発表する。
2001年11月12日	神奈川県が日・英・中・韓4ヶ国語による「火山ガス」に対する注意看板を要所に設置する。 大涌谷に隣接する国有地山林内に地熱の発生を2ヶ所確認する。
2001年11月16日	52号井の改修で造成塔設置工事に着工する。
2001年12月5日	52号井の対策工事が一応終了し、騒音解決する。12月7日に造成泉を送湯開始する。
2002年3月19日	火山ガス観測・警報システム器材(監視カメラ、ガス分析装置、記録計、風向・風速計、異常値発生時の自動連絡システム等)を購入し、設置工事を開始する。
2002年3月20日	救急・搬送訓練を実施して、連絡、通報、異常時のパトロール、入山規制等を確認する。 大涌谷園地周辺事業者等による火山ガス安全教育訓練を実施する。 神奈川県による火山ガス(SO ₂)警告看板を設置する。
2002年3月28日	神奈川県がガス分析装置を神山登山口(A地点)に仮設し、県と当社(B地点)の2ヶ所で観測を開始する。
2002年4月24日	現場職員を中心に、火山ガス安全教育訓練を実施後、往路を開放する。 自然研究路火山ガス(SO ₂)対応マニュアルを制定する。
2002年6月28日	A地点に仮設の装置から県発注の新装置が本設される。
2002年7月2日	火山ガス監視システムが完成する。
2002年8月29日	大涌谷園地安全対策協議会が発足する。

図3 . ごう音静まり有毒ガスも減
(朝日新聞、2001(平成13)年12月12日発行より引用)

辺の数箇所騒音計により騒音の程度を測定しました。騒音の強いときには、例えば、11月30日の極楽茶屋付近では最大85デシベルに達しました。7月30日頃には52号井の周囲をベニヤ板で覆って防音に努めたり、8月3日には重さ約800kgの角石(60cm立方)を積み重ねたりして、蒸気制御のための応急措置を試みたものの成功せず、騒音と火山ガスの対応に悩まされました(写真2)。

当社で測定した大涌谷の年間降水量は、1980(昭和55)年から1993(平成5)年までの14年間の平均値が3654mmで、多いときは1990(平成2)年の4735mm、少ないときは1984(昭和59)年の2023mmでしたが、1994(平成6)年以降は1998(平成10)年の4832mmを除いて3000mm未満と少なく、特に2001(平成13)年は8月中旬まで少雨(過去5年の7月の平均降水量は389mmですが、2001年7月の降水量は45mmと著しく少なかった)が続き、地下水位が低下したと推定され、蒸気の噴出が容易になったことも原因のひとつと思われます。8月下旬以降2度の豪雨に加え、一転して多雨の傾向となったため、地下水位の回復にも期待していましたが、52号井の蒸気圧力に変化は見られませんでした。

種々対策を講じたものの目立った成果は得られず、検討の結果、10月15日に考案した地上設備の作成を業者に依頼しましたが、完成に日時を要するため、蒸気はそのまま大気中に放出せざるを得ない状況でした。この間、索道の新設を始め、準備工を行い、11月29日

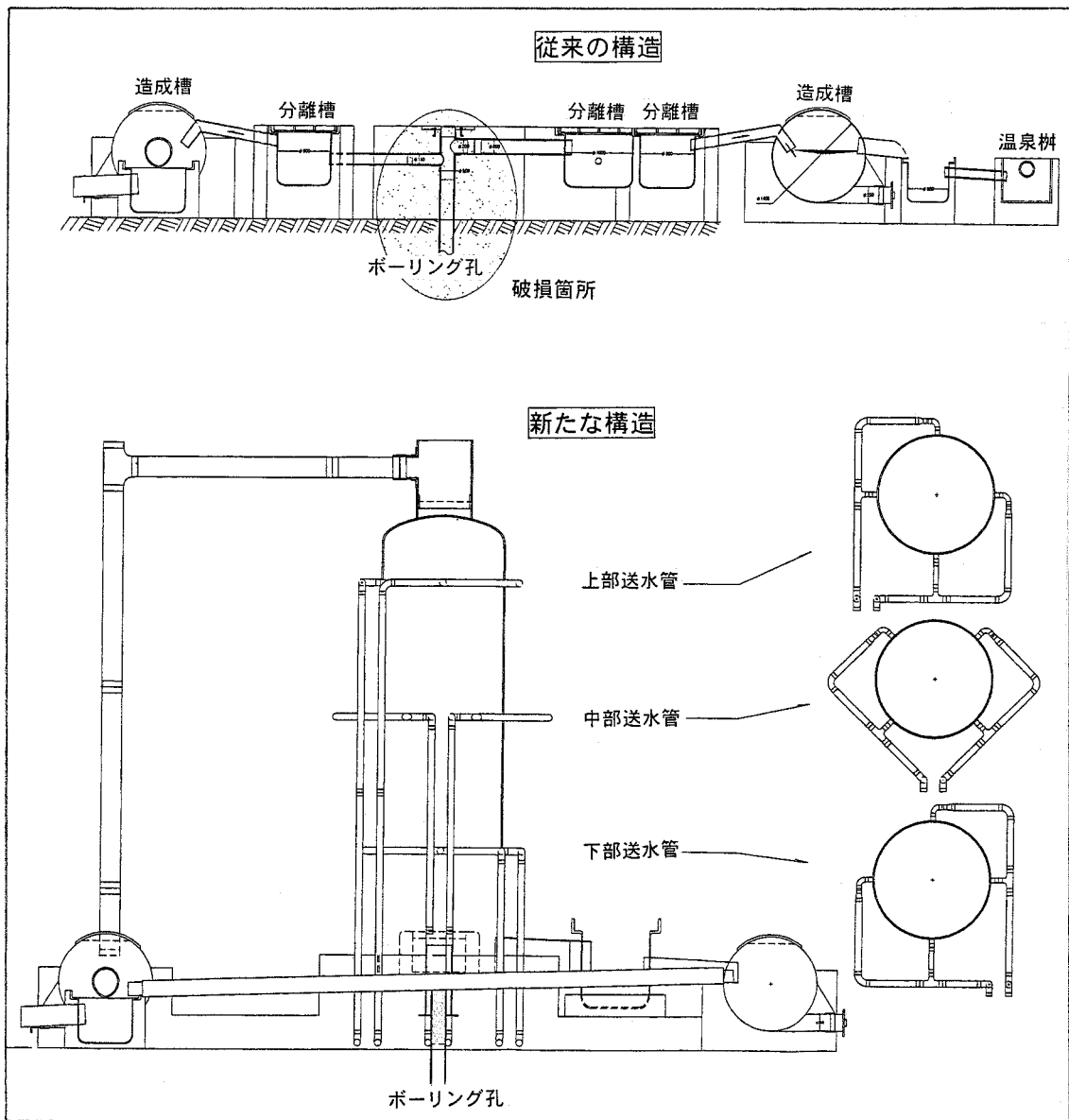


図4．温泉造成用52号井の構造

に52号井の新たな設備が納入され、翌日設置完了し、12月5日から試運転を開始してようやく騒音が解決しました(図3、写真3、4)。新たな設備は、塔内に大量の水を、高さを変えながら注入することにより、蒸気の温度を下げると同時に亜硫酸ガスを溶け込ませて造成温泉として利用できるものですが、予期せぬ事態も発生しました。大量の注水を行った場合は騒音、ガスともに発生が抑制できますが、塔内に大量の硫黄が析出して運転不能となり、少量の注水を行った場合はガスが拡散することがわかりました。そこで、テストを重ねた結果、日量1,400 m³を目安に注水することにしました(図4)。

4．地すべりによる温泉造成用配管の破損等

大涌谷では過去に1910(明治43)年の大規模な地すべりによる死者6名、流失家屋36戸の被害を出したときから1953(昭和28)年までに6回地すべりが発生しています。

このため、1933(昭和8)年以降、神奈川県による防災対策として砂防ダム、床固工、流路工、山腹工、排気ボーリング、排水ボーリング、伸縮計の設置等多くの工事が行われ、

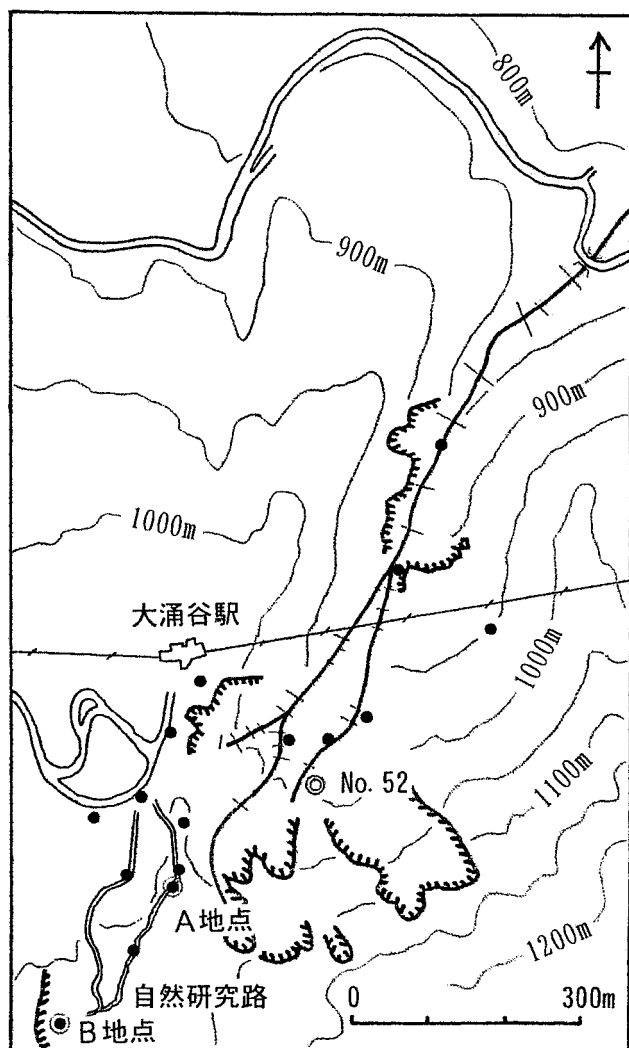


図5．大涌谷の火山ガス測定位置
 ガス分析装置による連続観測地点
 神山登山口(A地点) 玉子蒸し場(B地点)
 ○：ポータブル計測器による観測地点

最近は、小規模な崩落や土石の流出はあっても安定した状態が続いていました。

しかし、2001(平成13)年8月21日からの台風11号、9月8日からの台風15号により合計1,100ミリの豪雨となり、沢の左岸に構築されていた長さ30m、12段の山腹工が最上部から順次崩落し、大涌沢を土石流となって流下しました。

8月22日には台風11号により自然研究路往路が崩壊したので通行止めとなり、復路のみで対応することになりました(図2)。幸い人的に被害はありませんでしたが、温泉施設の被害は甚大でした。温泉造成用給水本管の沢を横断する吊線が木橋を含み65m流失、1号本線の吊線が20m流失、2号本線の埋設管が落石により破損、源泉地の引出管が8ヶ所流失、内2ヶ所埋没、集湯不能が日量700^{m³}、その他小規模な埋没や流失が多く発生しました(写真5)。この結果、すべての送湯が停止してしまいました。山腹には不安定な場所も多く、再度の崩落の危険もありましたが、全社挙げての復旧工事を開始し、翌日には一部地域で送湯が開始できたものの、長時間の止湯により送湯管にも異常が発生して、全線が再開するまでに3日を要しました。宿泊施設では、ボイラーによる給湯にしたり、予約客に連絡して休業したり、建物内配管が収縮して7日間休業したところもありました。

また、11月12日には、パイプラインを巡回中の職員が地熱地帯から離れた山林中に蒸気が噴出しているのを発見しました(図2、写真6)。その噴気温度は最高94℃、半径5～10

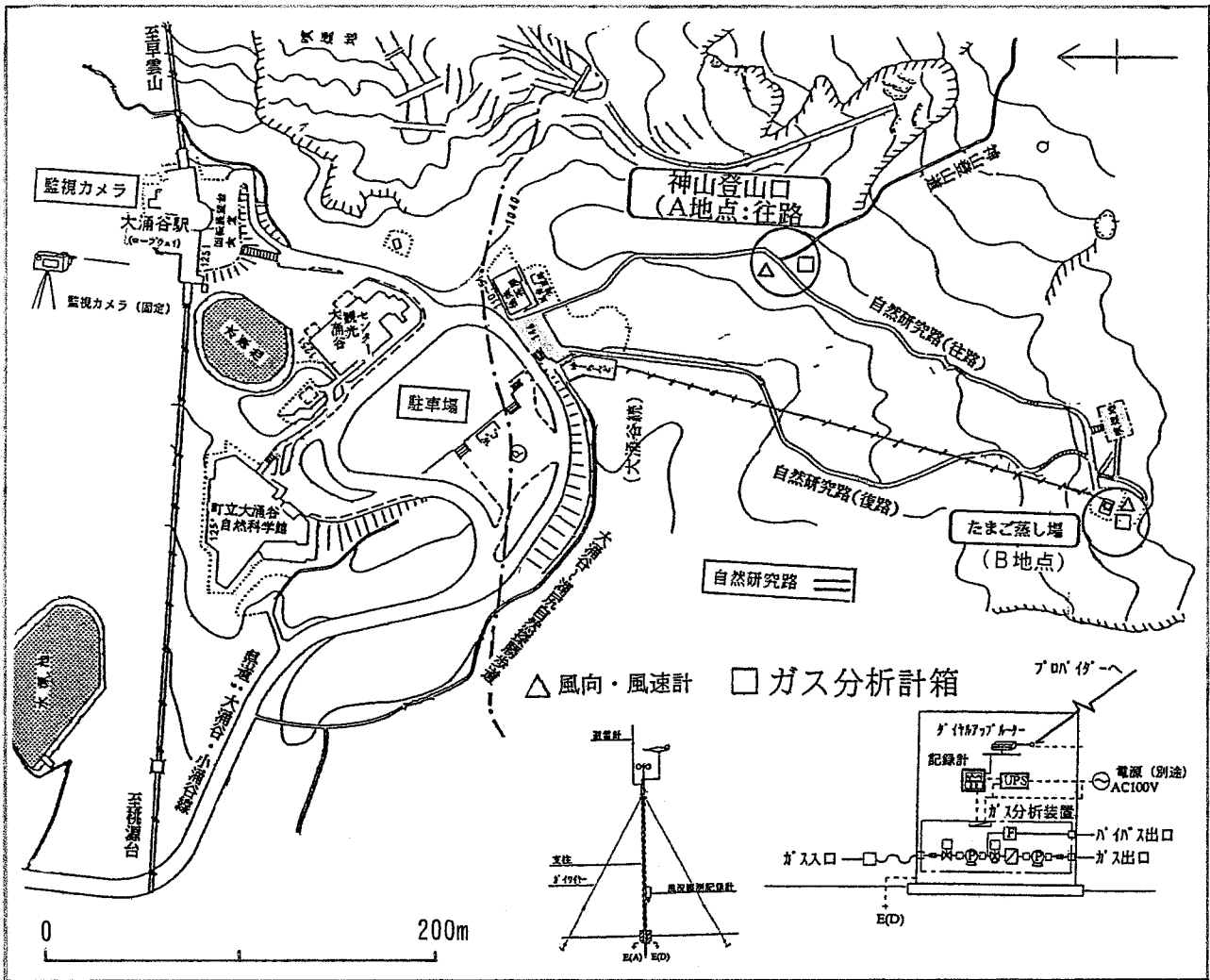


図6. 大涌谷の火山ガス監視システム

m以内は地温が50 以上ありました。その後、山林中の蒸気噴出は現在までに4箇所に増えています。

5. 自然研究路の火山ガス観測

従来、大涌谷の噴気中には硫化水素ガス(H_2S)が多く含まれていることは知られていましたが、今回の事故により二酸化硫黄(SO_2 、亜硫酸ガスともいう。)の大気中濃度を監視する必要を認識したため、当社で15ヶ所の観測ポイントを定め、ポータブル型の二酸化硫黄計測器、硫化水素計測器及び風向風速計により8月10日から観測を開始しました(図5、写真7)。東京工業大学名誉教授小坂丈予先生、同大学元教授吉田稔先生から二酸化硫黄(SO_2)は健常者には問題ない低濃度でも呼吸器疾患のある人には危険との指導があり、さらに、8月22日に自然研究路往路が崩壊したため、当社が箱根町等の関係官庁に連絡し、箱根町等により登山道が閉鎖されました。10月18日には、二酸化硫黄のより正確な観測が必要とのことで、当社が玉子蒸し場(図5、B地点)に新たに紫外線蛍光方式のガス分析装置を借用して設置し、連続観測を開始しました。これと同時に、ポータブル計測器による15ヶ所の観測も継続して行い、関係官庁に報告しています。11月12日には、4ヶ国語による注意看板が神奈川県により各所に設置されました。

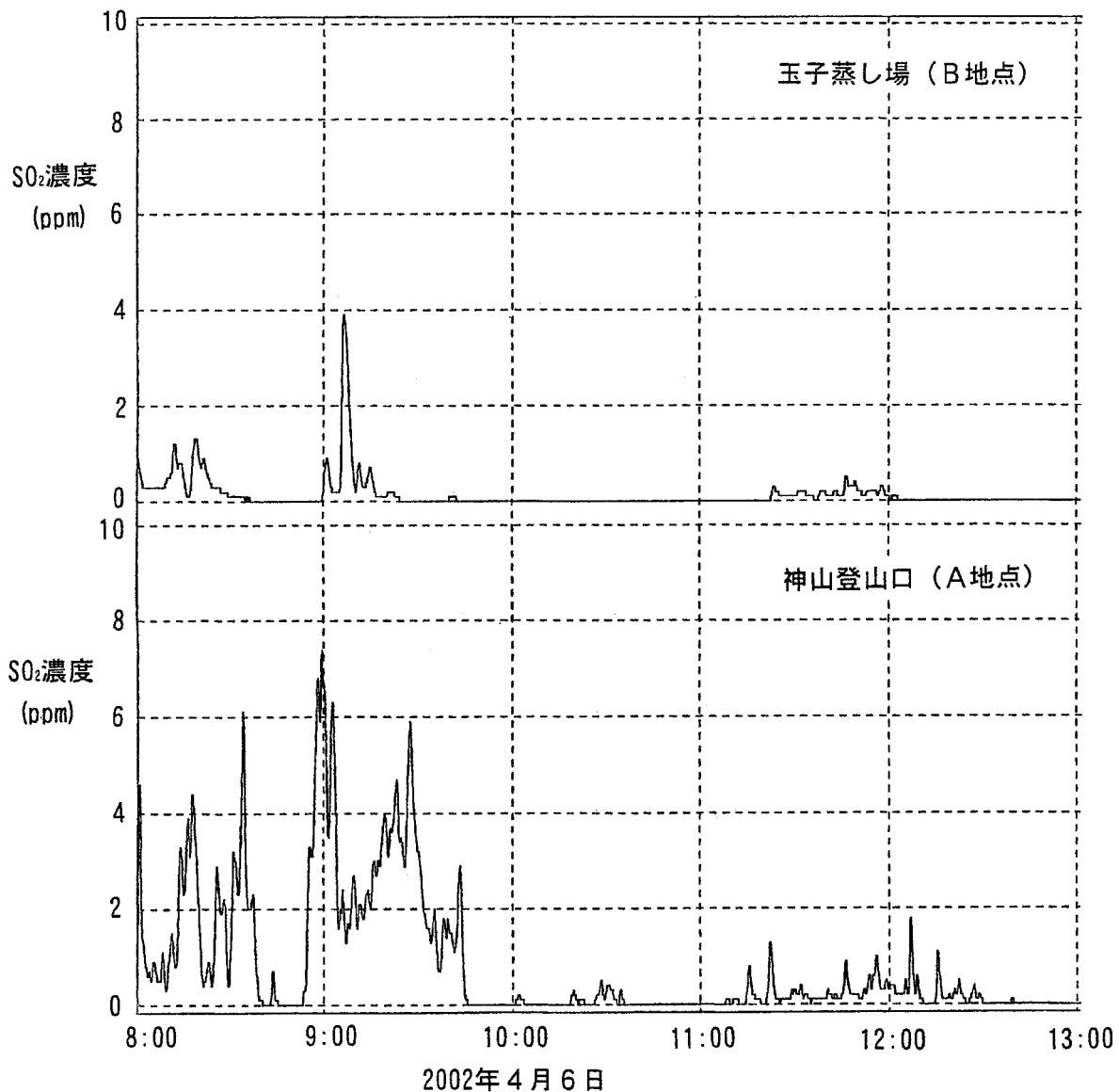


図7. 大涌谷の火山ガス測定結果の一例

2002(平成14)年3月19日には火山ガス観測・警報システム器材(監視カメラ、ガス分析装置、記録計、風向・風速計、異常値発生時の自動連絡システム等)を購入し、設置工事を行いました。3月28日には神奈川県がガス分析装置を神山登山口(図5、A地点)に仮設し、神奈川県と当社の2ヶ所で観測を進めることになり、7月2日にはすべての観測・監視体制が整い、火山ガス監視システムが完成しました(図6、7、表2、写真8)。火山ガスの二酸化硫黄(SO₂)濃度を測定しながら、異常値がみられた場合には、「警報発生報告」を周知して、実際に警戒態勢等の措置を行いました。しかし、いままで、自然研究路の閉鎖に至った事態は生じていません。

6. 安全対策の組織づくり

火山ガスに対する安全対策上、常に観光客に注意を促し、異常のある場合は立入禁止の措置を講ずるなど、常時観測とそれを支える組織づくりが急務と思われ、地元や関係官庁と協議を重ねています。

表2、箱根大涌谷の火山ガス測定結果

(神奈川県と当社の測定結果を県自然環境保全センター箱根出張所がまとめた資料)

項目	2001(平成13)年				2002(平成14)年				
	9月	10	11	12	1	2	3	4	5
二酸化硫黄(SO ₂)の濃度									
神山登山口	28日	27	29	2	26	15	12	6	7
最大値観測日時	12:55	15:05	10:35	14:15	13:30	13:20	13:30	9:00	9:05
SO ₂ 最大値	0.8ppm	2.0	1.2	1.5	3.2	3.6	4.1	7.3	2.9
2.5ppm以上の回数	0回	0	0	0	2	2	1	7	3
5.0ppm以上の回数	0回	0	0	0	0	0	0	2	0
玉子蒸し場	28日	9	29	17	26	19	16	6	12
最大値観測日時	14:20	15:10	11:00	14:00	14:10	13:40	14:00	9:05	8:35
SO ₂ 最大値	0.5ppm	2.0	0.9	2.9	2.1	1.3	0.8	3.9	1.1
2.5ppm以上の回数	0回	0	0	1	0	0	0	2	0
5.0ppm以上の回数	0回	0	0	0	0	0	0	0	0
硫化水素(H ₂ S)の濃度									
神山登山口	2日	13	19	4	12	24	16	2	19
最大値観測日時	8:25	8:10	8:25	13:05	8:30	8:00	8:20	8:20	8:20
H ₂ S最大値	10.0ppm	8.0	6.0	9.0	8.0	8.0	12.0	14.0	11.0
玉子蒸し場	2日	15, 30日	10	4	31	14	24	2	10
最大値観測日時	8:55		9:00	13:30	8:30	8:30	8:15	8:45	8:45
H ₂ S最大値	7.0ppm	8.0	7.0	8.0	6.0	8.0	7.0	10.0	6.0

項目	2002(平成14)年							2003(平成15)年
	6月	7	8	9	10	11	12	1
二酸化硫黄(SO ₂)の濃度								
神山登山口	7日	12	5	20	-	20	7	8
最大値観測日時	8:35	7:50	8:25	8:35	-	10:30	8:50	15:50
SO ₂ 最大値	3.0ppm	4.1	3.0	1.9	0.2	1.8	2.6	2.1
2.5ppm以上の回数	3回	3	1	0	0	0	1	0
5.0ppm以上の回数	0回	0	0	0	0	0	0	0
玉子蒸し場	13日	4	1	24	-	21	5	26
最大値観測日時	9:10	8:05	8:35	14:35	-	15:40	9:40	8:30
SO ₂ 最大値	1.2ppm	1.2	1.1	0.8	0.1	1.8	1.5	1.3
2.5ppm以上の回数	0回	0	0	0	0	0	0	0
5.0ppm以上の回数	0回	0	0	0	0	0	0	0
硫化水素(H ₂ S)の濃度								
神山登山口	30日	4, 12日	22	8	20	10	8	5
最大値観測日時	8:14	28, 31日	8:05	8:07	8:15	7:45	7:50	7:40
H ₂ S最大値	9.0ppm	6.0	8.0	4.0	3.5	1.0	2.0	6.0
玉子蒸し場	7日	4, 9日	17	8	20	10	-	-
最大値観測日時	8:50		8:30	8:30	8:45	8:00	-	-
H ₂ S最大値	7.0ppm	7.0	7.0	5.0	2.5	1.0	0.0	0.0

二酸化硫黄はガス分析装置による(測定時間 8:00~17:00)、硫化水素は簡易携帯式による。

自然研究路を中心とする大涌谷園地における利用者の事故を防止し、安全を図ることを目的として、2002(平成14)年8月29日に大涌谷園地安全対策協議会が発足しました。構成メンバーは神奈川県自然環境保全センター、箱根町、箱根温泉供給(株)、(財)神奈川県公園協会、箱根ロープウェイ(株)、(有)極楽茶屋、奥箱根観光(株)です。

このなかで、火山ガス(SO₂)対応マニュアルを作成し、火山ガスの観測及び異常発生時の安全対策について、次のような取り決めを行っています。

自然研究路は、8時30分に開門し、17時に閉鎖する。

開門時に、神山登山口(A地点)のガス分析装置からSO₂(二酸化硫黄)濃度2.5ppm以上の通報があった場合は、0.5ppmに落ち着くまで往路は開門しない。

その他、神山登山口(A地点)及び玉子蒸し場(B地点)のガス分析装置からSO₂濃度2.5ppm以上の通報があった場合の措置、神山登山口からSO₂濃度5.0ppm以上の通報があった場合の措置、玉子蒸し場からSO₂濃度5.0ppm以上の通報があった場合の措置、大涌谷自然研究路内で事故が発生した場合の措置、大涌谷自然研究路等に関する火山ガス監視装置配置図、事故発生時等に関する常備する備品等と保留場所などを協議しています。

7. おわりに

70年を超す温泉造成の歴史の中で大雨による山腹崩壊は何度か経験したものの、今回のような蒸気井の暴噴事故は全く初めての出来事でした。多くの研究者、業者の方々の協力、厳しい環境の下で作業に従事した職員の努力により、危機を脱することができました。時の経過とともに、沈静化に向かいつつあるように見受けられますが、2002(平成14)年10月1日には集中豪雨により大規模な土石流が発生し、自然研究路が崩壊(往路は現在も閉鎖中)したり、さらに、2003(平成15)年になって山林の中に新たに蒸気が噴出しているのを発見しています(図2)。2001(平成13)年に山中で発見した噴気地帯はさらに拡大し、倒木が多くなりました。自然の恵みと脅威、活火山の上で事業をしていることを再認識した次第です。観光地としての安全対策、温泉の安定供給、そして、作業の安全により一層の研究と対策が必要と思います。

謝辞

東京工業大学名誉教授小坂丈予先生、同大学元教授吉田稔先生、(株)地熱の浜田真之社長には有益な助言をいただきました。理研計器(株)、西川計測(株)には現地調査に協力していただきました。神奈川県自然環境保全センター箱根出張所には貴重な資料を提供していただきました。神奈川県温泉地学研究所には現地調査に協力していただくとともに、当報告を掲載する機会をいただきました。以上の方々及び機関に感謝いたします。

参考文献

箱根温泉供給株式会社 (1982), 箱根温泉供給社史, 260p.

棚田俊收、代田 寧、伊東 博、袴田和夫 (2002), 2001年箱根火山の群発地震活動について, 温地研観測だより, 52, 1-4.



写真1 52号井の蒸気異常(H13 .7 .18写)



写真2 52号井の蒸気防止テスト(H13 .11 .6 写)



写真3 52号井の造成塔運搬作業(H13 .11 .30写)



写真4 52号井の造成塔設置・騒音解決(H13 .12 .5 写)



写真5 . 地すべりによる崩壊箇所(H13 .9 .11写)



写真6 . 山林中の蒸気噴出箇所(H15 .2 .27写)



写真7 ポータブル測定器によるSO₂測定(H13 .9 .21写)



写真8 . 火山ガス監視システム完成(H14 .7 .2 写)