

鬼首地熱発電所 噴気災害の発生原因と今後の安全対策の報告について

1. はじめに

今般、2010 年 10 月 17 日に鬼首地熱発電所で発生した噴気災害の発生原因と今後の安全対策等について、検討結果を取りまとめましたので報告いたします。

取りまとめに当たり 4 名の外部専門家から、事象の発生原因の解明・再発防止（二次災害の防止）、現場監視等に関する貴重なご助言を頂き、これに基づき電源開発株式会社としての考えを調査結果としてまとめたものです。なお、本報告の目的は、技術的な原因究明等に焦点を当てたものです。

江原幸雄 九州大学大学院 工学研究院 教授

新妻弘明 東北大学大学院 環境科学研究科 教授

村岡洋文 弘前大学 北日本新エネルギー研究所 教授

矢野雄策 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 研究部門長

今回の事象につきましては、被災された方々及び関係者の皆様方に対して深くお詫びすると共に、亡くなられた方のご冥福と負傷された方の一日も早い回復をお祈り致します。

2. 噴出経緯

10 月 8 日、鬼首地熱発電所の生産井 128 号井の近傍に 9 月 8 日に発生した噴気口から、泥状物を含む蒸気等の噴気が確認されました。その後、急速な噴気口拡大の影響により、生産井 128 号のセラー（コンクリートの囲い）の傾き等設備被害が発生したため、以下の作業を実施中、10 月 17 日 15 時 35 分頃に大噴出に至りました。

- ・ 128 号井廻りの噴気口からの噴気の力を弱め、地表面での熱水の飛散防止、地崩れ防止、128 号井の噴気活動停止（加圧注水）のためのアクセス道を確保のための玉石投入作業の実施。
- ・ 128 号井の配管が破損することによって蒸気等が配管より噴出することを防止する目的で 128 号井の噴気活動を停止すべく、冷却のための加圧注水作業の実施。

（災害発生までの詳細経緯）

- ・ 9 月 8 日のパトロールにて 128 号井近傍に新たな噴気口が発生していることを確認し、要経過観察としました。（9 月 8 日～10 月 8 日は、噴気活動の状況に特に大きな変化はありませんでした。）
- ・ 10 月 8 日 噴気口から泥状物を含む蒸気等の噴気を確認しました。噴気は徐々に治まる傾向にありましたが、128 号井のセラーの方向へ広がっている状況が確認されました。
- ・ 10 月 10 日 128 号井から蒸気が漏れているのを発見。現場確認したところ、噴気口拡大により 128 号井のセラーが傾いたことで同井の圧力検出配管が破損し蒸気が噴気していました。
- ・ 10 月 11～14 日 128 号井への更なる影響抑制、設備被害調査を行う為、噴気口への玉石投入を実施（128 号井へのアクセス道を確保するための敷石を開始）しました。
- ・ 10 月 15 日 玉石投入の結果、坑口付近の熱水飛散が防止されたため、128 号井の噴気活動を停止させる目的で、坑口に注水用のホースを取り付け加圧注水を開始しました。
- ・ 10 月 16 日 朝、128 号井廻りの玉石が沈下し、養生鉄板が噴気口へ落下していたため、引続き玉石を搬入し噴気口に投入しました。128 号井への注水は、流量を落として継続しました。

- ・ 10 月 17 日 128 号井廻りの玉石が一部沈下していたため、玉石を噴気口に投入しました。注水は継続しました。同日 15 時 35 分頃、突然、人の背丈ぐらいの高さまで蒸気が噴気し、その後「ドンドン」という地鳴りと共に、岩石を伴う蒸気が噴出しました。

3. 噴出状況（別紙－1参照）

- ・ 噴出物は、①細粒物、②角礫、③円礫（玉石）より成り、その厚さは、噴気口から南側にかけて厚く堆積しており、噴出口の南側直近で最大 130cm の厚さです。（南～南南東方向への指向性をもった噴出）
- ・ 噴出物の総量は 9,000-10,000m³ と推定されます（総堆積面積は 87,000m²）。
- ・ 2010 年 10 月 20 日に河北新報に掲載された噴出の写真の解析から、黒色の噴出物は噴気口より上方約 250m まで到達しており、南方の灰色の噴出物は上方 400m 以上、横方向約 300m にまで達しています。
- ・ 噴出した角礫の衝突痕、地層起源の角礫の分布、角礫の大きさ等から、噴出口からかなり低角で南南東方向にジェット噴出したものと推定されます。
- ・ 噴出物の分析結果からは、地表に近い地質（～深度 40m 程度）に由来するものと推定されます。

4. 噴出発生メカニズム（別紙－1(2/2)参照）

- ・ 今回の「水蒸気爆発」ともいえる事象は、128 号井の北側地点のかなり浅部に噴出源があり、そこから粉砕された岩石を含んだ低角度のガスジェット噴出が起こったものと推定されます。
- ・ 噴出メカニズムは、長期間かけて地下浅部に「高圧溜り」が形成され、地表への蒸気リーク（噴気口）の発生の後、地表への噴気活動が活発化して、急激な減圧沸騰が発生し爆発的な蒸気噴出となったものと推定されます。

5. 事象の発生原因

- ・ 大噴出の要因となったと推定される地下浅部の高圧溜りの形成原因については以下の 2 つの可能性があり、その何れかについては特定できませんでした。
 - ①（当地域は自然の噴気地帯の中に位置しており、地下浅部から高温であることから）自然の状態での圧力の蓄積が発生し、それが進展し、10 月 17 日 15 時 35 分頃加速度的に蒸気が進行し、水蒸気爆発が発生した可能性。
 - ②（生産井近傍で事象が発生したことから）生産井との関連の可能性（例えば、生産井の一部が破損し、そこから蒸気が極めて僅かずつ漏出し、長期間にわたって地下のあるところに蓄積された可能性）。

- ・ なお、玉石投入作業、注水作業との関連性については以下のとおりです。
- ・ 噴気口への玉石投入作業については、玉石投入後、噴気口の一部に敷き詰められた玉石の 3 箇所他から蒸気噴出があったことから、完全な密閉状態ではなかったと考えられます。したがって、玉石投入によって蒸気噴出が完全に抑えられ、地下流体の圧力が増加し、爆発的な噴出に至った可能性はないと考えられます。

- ・128号井への注水作業については、128号井は透水性の高い生産ゾーン（地層）に繋がっている生産井であり、仮に破損があったとしても、注水した水は殆どが生産ゾーンに流入していたと考えられること、注水により128号井坑内は冷却され、坑内外にかかる加圧の力は低下していたと考えられることから、注水が大規模噴出に影響した可能性はかなり低いと考えられます。
- ・いずれにしましても、専門家の意見によりまして、蒸気噴出等の突発的な現象の予知は困難であるとされております。

6. 大噴出後の噴気状況

- ・10月17日の大規模な蒸気噴出後、数日間（10/18～10/22）は高さ20m程度の熱水の噴出が間欠的に認められました。その後、次第に熱水噴出活動は低下し、10月23日以降は高く吹き上げるような活動は発生しておりませんが、1月18日に、噴気口からの熱水の吹き上がりを確認されました。1月19日には高さ10m前後の間欠的な熱水の噴出となっており、現在状況監視中です。

7. 今後の安全確保(再発防止策)

今回の災害において尊い人命が犠牲になったことを真摯に受け止め、人命の保護を最優先とすることを肝に銘じます。将来にわたって今回の災害を忘れることなく、常に的確な安全対策を講じ、類似災害の再発防止に取り組んでまいります。

(1) 立入禁止区域の設定（別紙-2参照）

- ・大規模な噴出後に、噴出物の分布範囲や避難経路を考慮して立入り禁止区域を設定し、立入り禁止区域管理基準を制定して、安全を確保しています。

(2) モニタリング（別紙-2参照）

- ・前記のとおり、一般には噴火や蒸気噴出等の突発的な現象の正確な予知は困難であります。したがって、モニタリングを行えば事前にそのような突発的な事象の発生を予知できるとは限りませんが、事態が活発化に向かっているのか否か等の把握は可能と考えます。
- ・モニタリングの手法としては、地表の活動（表面現象）そのものを対象とするものと、地下深部を対象としたものに分けられます。
- ・特に地下活動を含めた噴気活動を定量的に監視することができることから、地震計の設置が有効と考えており、外部専門家のアドバイスに基づき、以下のモニタリングを実施中（あるいは計画中）です。

噴気活動モニタリング項目

対象	番号	モニタリング項目	概要	実施時期	備考
地表	①	流出熱水成分	2地点/回/週	H22.10月～実施中	噴気活動推移に応じて見直し
	②	流出量	1回/日程度	H22.10月～実施中	噴気活動推移に応じて見直し
	③	噴出状況観測	1回/日程度	H22.10月～実施中	噴気活動推移に応じて見直し
	④	新噴気口の大きさ把握	1回/日程度	H22.10月～実施中	噴気活動推移に応じて見直し
	⑤	振動計	4台×連続測定	H22.11月～実施中	地震計へ集約
地下	⑥	地震計	1台×連続測定	H22.11月～実施中	近地地震活動傾向把握
	4台×連続測定		H22.12月～実施中	上記+震源分布把握、観測ネットを拡大	
	⑧	アレイ式微動観測	予備観測実施済み 本観測	H22.12月実施 H23.02月～開始予定	21ch×17時間観測×4日 予備観測の結果により計画検討
	⑨	傾斜計(地盤変動)	4台×連続測定	(計画中)	機器手配済み次第開始
地表	⑩	自然噴気活動調査	4回/年	(計画中)	機器手配済み次第開始

注) ①～⑤：噴出口の活動を捉えるモニタリング、⑥、⑦：発電所敷地の広範囲、高精度モニタリング、⑧～⑩：長期的なモニタリング（⑥、⑦の補完）

(3) 今後の立ち入り禁止区域での対応方針

- ・今回の噴出事象は、原因がどのようなものであったとしても、現象としては、通常の水蒸気爆発と同じような経過（はじめに、弱い噴出があり、その後、次第に活発化し、ある時点で爆発的な噴出活動があり、その後、沈静化に向かうという一連の経緯）をたどっているといえます。
- ・大きな噴出活動後、地下に蓄積された圧力は緩和されたと考えられ、今後10月17日に発生したような大規模な噴出が発生する可能性はかなり低いと考えられます。
- ・今後鬼首地熱発電所の運転に係る安全確保は、①～⑤の地表のモニタリングと⑥、⑦の微小地震活動を捉える広範囲、高精度モニタリングを実施することで可能と考えます。さらに長期的なモニタリング（⑧～⑩）によりこれを補完する計画です。
- ・1月18日から認められている間欠的な熱水の吹き上がりを伴う噴気活動の推移については、今後注意深いモニタリングを行ってまいります。
- ・今後、微小地震活動等のモニタリングを中心にこれらの多面的なモニタリングを十分行った上で、必要に応じて「立入禁止区域管理基準」の改定を行いつつ、発電所保守要員の安全確保を図ってまいります。
- ・将来、鬼首地熱発電所敷地内において新たな噴気口が出現した場合でも、本基準に基づく安全管理により、安全性は十分に確保可能と考えております。

8. 他の地熱開発地点との地質特性の違い

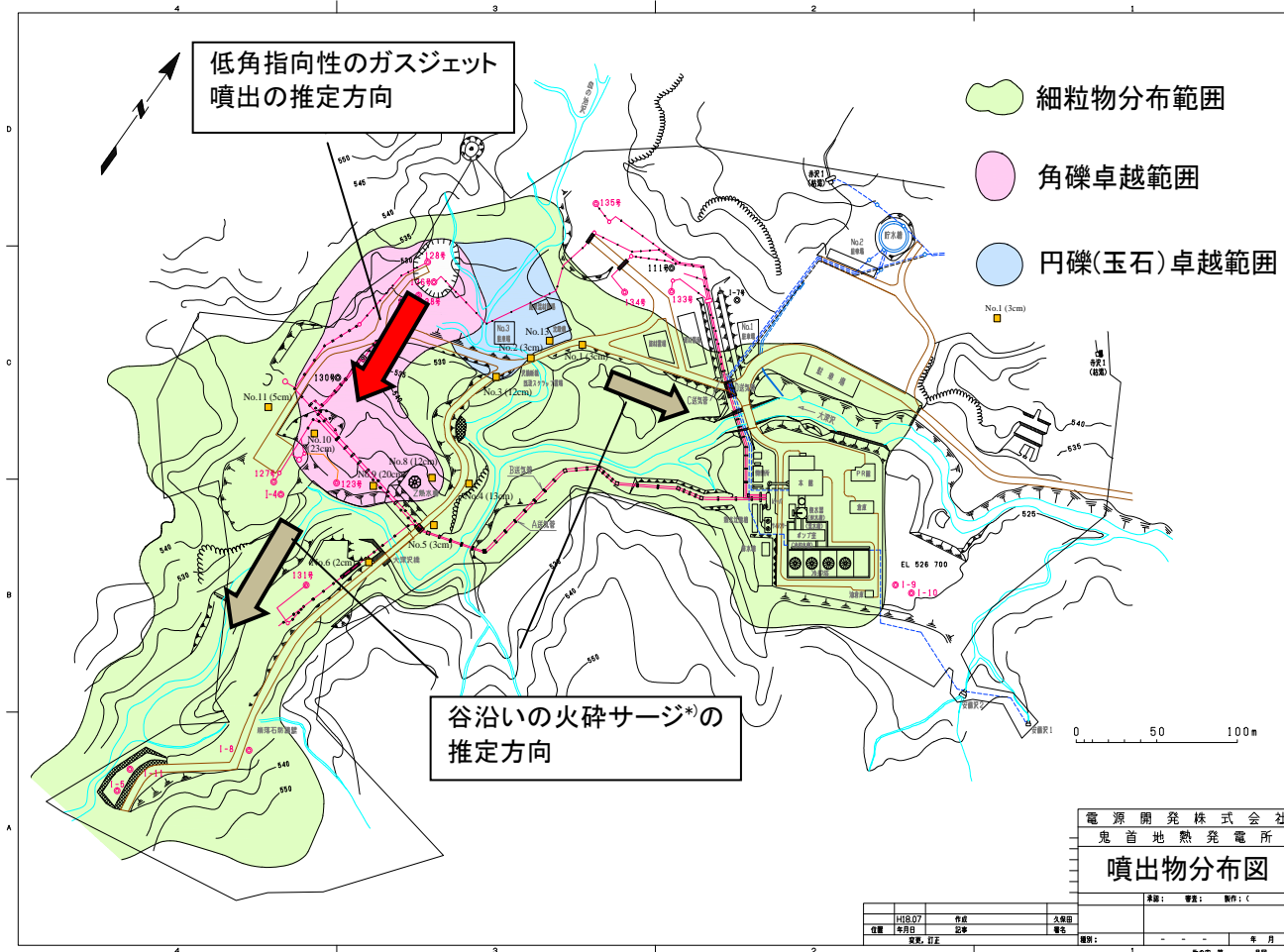
- ・今回の噴出事象は、自然噴気地帯の中に位置し、地下浅部で高温になる鬼首地域特有の地質条件の下で、地下浅部に高温流体が溜る地質構造があった為に発生した事象といえます。
- ・即ち、地熱貯留層の深度が深く（その上位に厚い難透水層が存在）、地下浅部で高温とならない地域、あるいは地上に活発な自然噴気が認められない様な他の地域においては、地下浅部に大噴出の要因と成りうる高圧溜まりが存在しえない地質条件であり、今回の様な大噴出事象が発生する可能性はかなり低いと考えられます。

添付資料

- ・別紙-1 噴出物の状況
- ・別紙-2 立入禁止区域及び噴気活動モニタリング実施内容

以上

噴出物の状況
- 噴出の規模、噴出物の種類・厚さの特徴 -



1. 噴出物の分布、流動方向

- ・噴出物のうち①細粒物は噴気口を中心に南方向と東北東方向に分布、②角礫卓越範囲は噴出口から南方向に特徴的に分布、③円礫(玉石)卓越範囲は東方向の噴気口近傍に主に分布。
- ・堆積した噴出物の厚さは、噴気口から南側にかけて厚く堆積しており、噴出口の南側直近(測定値)で最大130cm、距離と共に厚さを減じるものの、距離約120m地点で約16cm。
- ・赤色矢印は低角弾道のガスジェットの推定方向。灰色矢印は谷沿いの火砕サージ^{*)}の推定方向)
- ・噴出物の総量は9,000m³~10,000m³と推定(総堆積面積は87,000m²)

^{*)} 火砕サージ: 細粒の噴出物が多量の水蒸気や火山ガスと共に高速で移動する乱流。火山等の噴火の際に発生する現象のひとつ。



2. 噴出口周辺(南側から写す)2010/10/18



3. 噴出物堆積状況

厚さ85cm: 噴出口より約40m地点(128号セパレータ隣) 2010/10/18

噴出物の状況
—噴出物の飛行距離と角度、及び発生メカニズム—

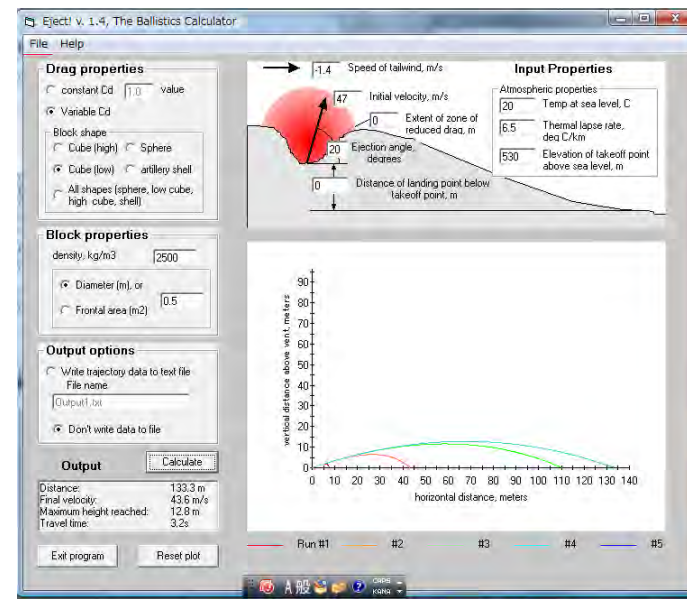


大噴出前
2009/08/18



大噴出後
2010/11/21

2. ガスジェット噴出前後での南側小山の状況



1. 火山噴出物弾道計算ソフトによる本地域の角礫弾道計算例 (Mastin, 2007).

- ・図の4つの弾道はそれぞれ、角礫の径を1mm(濃赤色), 1cm(淡赤色), 10cm(緑色), 50cm(水色)としたもの。
- ・噴出角度を20°とした場合、径50cmの角礫が130mの距離に到達するためには、初速度として47m/sec程度が必要。

3. 円版状鋼材の北側の面に付着した細粒火砕サージ堆積物. 北方から噴出した低角指向性が認められる。(2010年10月30日村岡教授撮影)



南側

4. 角礫の衝突痕跡. 角礫は真上からではなく、かなり低角度の弾道を描いて北側から衝突。(2010年10月30日村岡教授撮影)

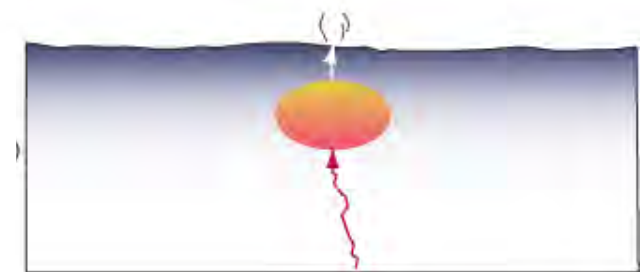


北側

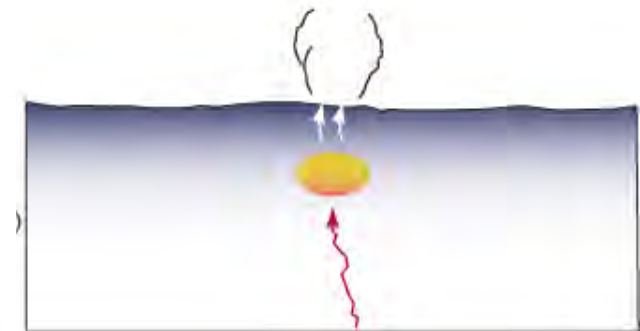
①. 「長期間かけて、地下浅部に高圧の流体の溜りが形成」



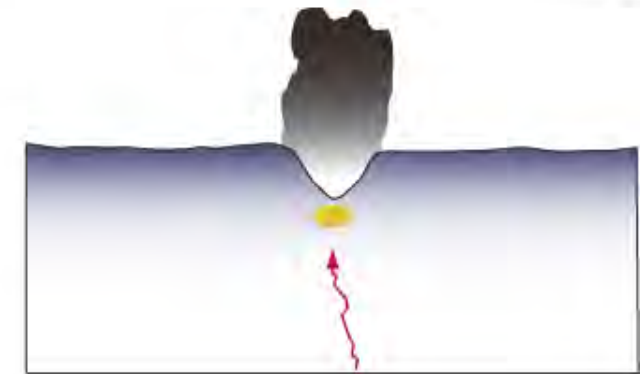
②. 「流体の供給と共に蒸気リークが発生」
(鬼首の9/8~10/16の事象に相当)



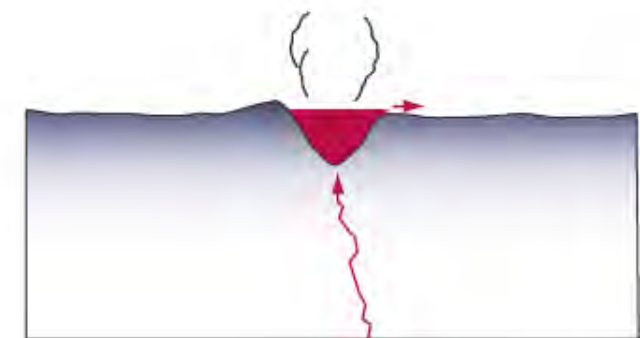
③. 「地表への蒸気の噴出と減圧沸騰の発生」
(鬼首10/17大噴出の最初の事象)



④. 「爆発的に蒸気化が進行し岩盤を吹飛ばし地表に噴出」
(鬼首の10/17の事象)



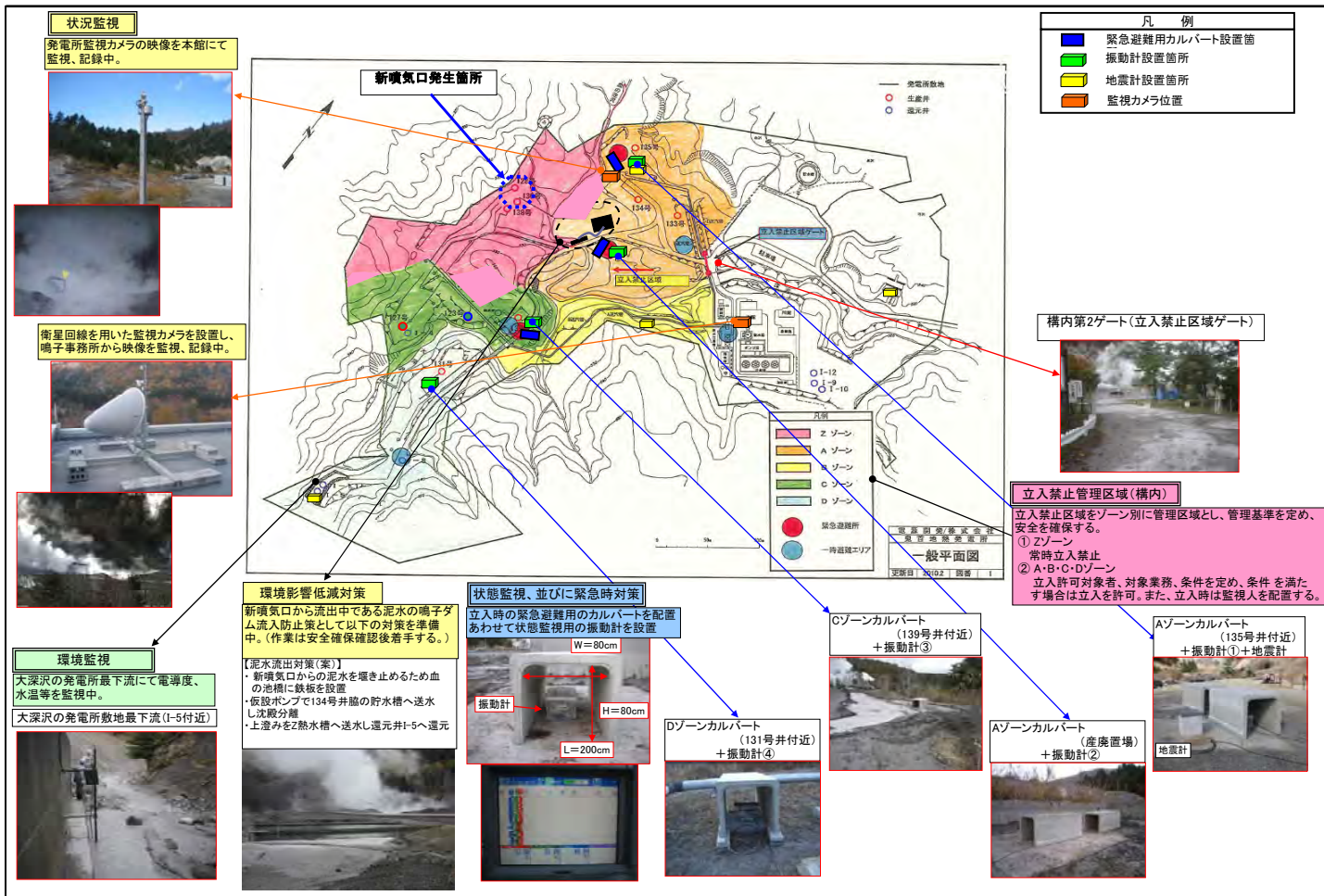
⑤. 「地表への流路が確保されると定常的な地表流出が継続」
(鬼首の10/18以後の事象)



5. 噴出発生メカニズム

立入禁止区域及び噴気活動モニタリング実施内容

1. 立入禁止区域と安全監視状況



2. モニタリング実施項目・時期・位置

対象	番号	モニタリング項目	概要	2010年			2011年				備考	
				10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	
地表	①	流出熱水成分	2地点/回/週									噴気活動推移に応じて見直し
	②	流出量	1回/日程度									噴気活動推移に応じて見直し
	③	噴出状況観測	1回/日程度									噴気活動推移に応じて見直し
	④	新噴気口の大きさ把握	1回/日程度									噴気活動推移に応じて見直し
	⑤	振動計	4台×連続測定									微小地震計へ集約 地震計へ集約し取りやめ
地下	⑥	地震計	1台×連続測定									微小地震ネットに組み込み 近地地震活動傾向把握
	4台×連続測定										+震源分布把握 必要に応じて観測ネットを拡大	
	⑧	アレ一式微動観測	予備観測									21ch×17時間観測×4日
			本観測									予備観測の結果により計画検討
地表	⑨	傾斜計(地盤変動)	4台×連続測定									速やかに開始
	⑩	自然噴気活動調査	4回/年									熱赤外画像

