

青森市大字荒川字南荒川山国有林火山性ガス調査

報 告 書

平成23年1月

弘前大学理工学研究科

教授

鶴見 實

目次

報告書概要

1. はじめに	… p 1
2. 調査内容	… p 2
3. 調査結果	… p 10
3-1. 現場周辺図と調査区域	… p 10
3-2. 事故発生現場周辺の硫化水素と二酸化炭素発生源の ガス濃度測定	… p 10
3-3. 事故発生現場直近の硫化水素発生源の硫化水素発生量	… p 10
3-4. 気象データと硫化水素濃度の連続測定 【10月8日～11月5日 実質28日間】	… p 14
3-5. 赤外線カメラによる現場周辺調査と地表面温度	… p 24
4. 調査結果の考察	… p 27
4-1. 死亡原因の推定	… p 28
4-2. 気象データと硫化水素濃度	… p 28
4-3. 硫化水素濃度と風速	… p 29
4-4. 硫化水素濃度と気圧	… p 29
4-5. 気象データ	… p 29
5. 対策	… p 29
6. おわりに	… p 35

報告書概要

平成 22 年 6 月 20 日青森市大字荒川字南荒川山国有林で発生した中学二年女子生徒の遭難死亡事故は、生存者の証言と現場状況から火山性ガスによるものと考えられた。現地調査の結果、二酸化炭素や硫化水素などが検出され、死亡に至った原因は硫化水素と考えられる。現場にはキツネや昆虫の死骸があり、湧出口からは致死濃度のガスが湧出していることを示していた。地形は片斜面であり硫化水素などの火山性ガスが滞留するようなくぼんだ地形はなかったが、地下から湧出するガスの量が多いことから、無風状態が長時間続いた場合には、ガスの溜まらない傾斜地であっても高濃度の状態に保たれる可能性のある場所であった。

硫化水素が高濃度で発生している場所は傾斜地一帯に複数か所ある。特に高濃度の硫化水素を湧出している場所は岩と地面の隙間や割れ目である。このような場所は、気温より 5 度から 10 度高い温度を示し、積雪初期には雪が溶けて高温帯が視認できる。湧出口内部で最も高い濃度を示したガスは硫化水素 100,000ppm (10%)、二酸化炭素 90%であった。風が吹いて湧出ガスが 10 倍に薄まったと仮定すると、二酸化炭素は 9%で致死濃度に至らないが、硫化水素は 1%で致死濃度 1,000ppm の 10 倍であることから死亡原因は硫化水素と推定される。

約一か月間の気象データと硫化水素ガスの観測結果から、風速が毎秒 1m 以下のときに、地表付近（地面から 7cm 位置）の硫化水素濃度が 1,000ppm を超えることがわかった。これは事故当日の気象条件とよく似ており、事故後このような条件が長く観測された 10 月 10 日夜には、硫化水素濃度が二時間以上にわたり最小でも 1,000ppm を超える状況が続いた。したがって、このような気象条件時に死亡事故が起こったと推定された。

事故防止の対策として、例えば、現場入口に「危険 有毒ガス硫化水素発生」等という看板や、登山道入口、ロープウェイなどに危険地帯が存在する掲示などの注意喚起と啓発が必要と考える。

1. はじめに

本報告書は、平成22年6月20日青森市大字荒川字南荒川山国有林で発生した中学二年女子生徒の遭難死亡事故に対する調査報告書であり、青森県総務部防災消防課、青森市、環境省東北地方環境事務所十和田自然保護官事務所、林野庁東北森林管理局青森森林管理署による「青森市大字荒川字南荒川山国有林火山性ガス調査の調査結果」を取りまとめたものである。

2. 調査内容

調査地は、図2-1のとおり。調査内容は事故現場での調査地点の設営と、ガス濃度任意測定そして連続測定である。連続測定点は沢入口と沢渡渉地点そして事故発生点の三ヶ所であり、ガス濃度と同時に大気温、大気圧、大気湿度、風向、風速を28日間10分間隔で連続的に記録した（エヌエス環境㈱による調査実施報告書に詳述）。

調査の方法について、任意のガス濃度測定はガステック社のガス検知管による。ガス湧出量の見積もりは60ℓのポリバケツを伏せて、バケツの中に小さな扇風機を設置し内部を均質になるよう攪拌して、一定時間ごとにガス濃度を測定し、湧出量を見積もった。ガスの連続測定はガステック社GHS-8AT 拡散式硫化水素測定器を用いて行った。

調査対象地点に30m測線を設定し、測線はキツネの死骸が3体分並んでいた溝にそって、最も硫化水素濃度の高い地域を縦に切るように設定した。この測線上やその周辺に高濃度のガス湧出口が存在し、湧出帯と呼んでもよい場所となっている。測線の南側は斜面となっており、その斜面一帯からもガスは湧出している。これらのガスは空気より重いので測線にそって沢に向かうと予想された。事故発生場所はガス湧出帯の端であり、沢へ向かうガスの集まる場所となっている。写真1～13に現場の状況を示す。



写真1 事故現場



図2-1 調査地



写真2 測線方向



写真3：事故現場南方斜面



写真4 降雪後の事故現場付近



写真5 キツネの死骸



写真6 事故現場北部の虫の死骸



写真7 トンボの死骸



写真8 ネズミの死骸



写真9 ポリバケツを用いた測定装置1



写真10 ポリバケツを用いた測定装置2



写真11 ポリバケツを用いた測定風景



写真12 百葉箱



写真13 風向風速計

3. 調査結果

3-1. 現場周辺図と調査区域

各測定地点は図3-1のとおり。

3-2. 事故発生現場周辺の硫化水素と二酸化炭素発生源のガス濃度測定

湧出口内部のガス濃度の測定結果を表3-1に示す。(詳細はエヌエス環境(株)による報告書に示す。)

3-3. 事故発生現場直近の硫化水素発生源の硫化水素発生量

60ℓポリバケツを用いた地面からのガス湧出量の測定結果を表3-2と図3-2に示す。死亡事故現場直近のガス湧出点である岩体の体積を10ℓとして、ポリバケツ内の濃度の時間変化を以下の式で近似する。

伏せたポリバケツの内容積 $V = 60 - 10(\text{岩体}) = 50 (\text{ℓ})$
硫化水素湧出量 $v (\text{mℓ}/\text{min})$
湧出ガス最大濃度 $Y_{\text{max}} (\text{ppmv})$
硫化水素濃度の時間変化 $y (\text{ppm})$
経過時間 $x (\text{min})$

第一近似として硫化水素濃度 $y (\text{ppm})$ を、経過時間 $x (\text{min})$ で表すと、
 $y = (v \cdot x \cdot Y_{\text{max}} / V) \cdots (\text{式 3-1})$

ここで $(v \cdot Y_{\text{max}} / V) = 10,000 (\text{ppm}/\text{min})$ とすると、
 $Y_{\text{max}} = 100,000 (\text{ppmv})$, $V = 50,000 (\text{mℓ})$ なので

$$\begin{aligned} (100,000/50,000) \cdot v &= 10,000 \\ v &= 5,000 (\text{mℓ}/\text{min}) \\ &= 5 (\text{ℓ}/\text{min}) \cdots (\text{式 3-2}) \end{aligned}$$

バケツの開口面積を 0.2m^2 とし、湧出帯の地面全体からこの湧出量があるとすると

$$\begin{aligned} v &= 25 (\text{ℓ}/\text{min}/\text{m}^2) \\ &= 2.5 (\text{cm}/\text{min}) \cdots (\text{式 3-3}) \end{aligned}$$

となる。これは毎分 $25 \text{ ℓ}/\text{m}^2$ の速度で湧出したガスが、拡散がないと仮定した場合に、地面からの高さにして毎分 2.5cm の高さに積みあがっていくことを示している。

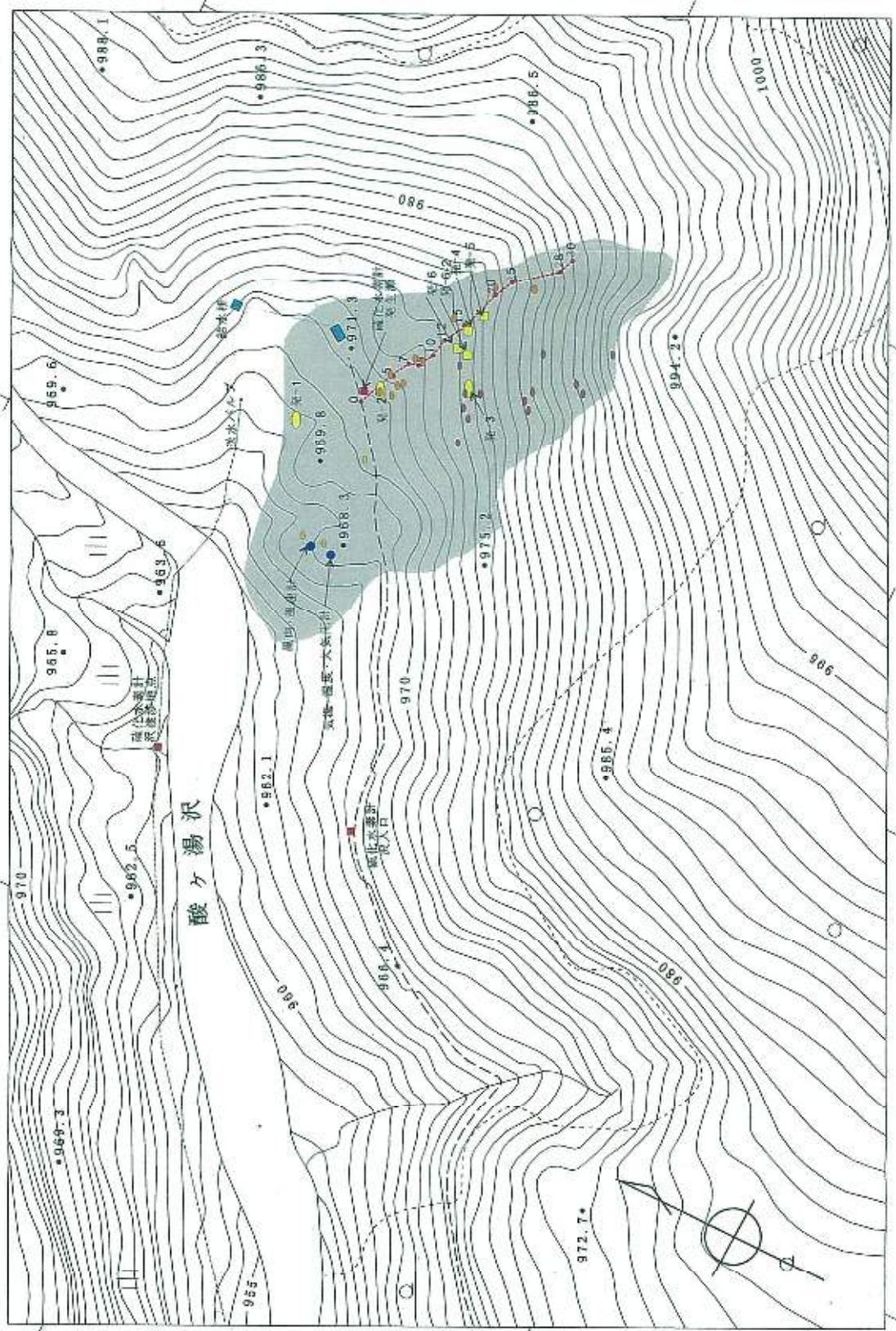


図3-1 調査地点位置図 (1/500)

- : 硝化水素連続測定地点
- : 30m区画測定地点
- : 発生源 発生が不明測定地点
- : 気象連続測定地点
- : 岩塊
- : 熱風化区域 (表層灰白色硬層)

表3-1 湧出口内部のガス濃度

測定日	H ₂ S	CO ₂
10/8(1)	1.7%	90%
10/8(2)	8.0%	
10/15	10.0%	
10/22	9.7%	75%
11/5	5.5%	

表3-2 ポリバケツをかぶせてのH₂S湧出量測定

9月29日	経過時間(分)	濃度(ppm)
10:48	0	0
10:50	2	400
10:52	4	1050
10:55	7	1150
10:58	10	2300
11:01	13	3200
11:04	16	3000

10月8日	経過時間(分)	濃度(ppm)
10:43	0	0
10:44	1	1400
10:47	3	4800
10:52	9	10000
10:57	14	12500
11:02	19	16000
11:08	25	16500
11:13	30	10500
11:18	35	10500
11:23	40	12000

10月15日	経過時間(分)	濃度(ppm)
10:33	0	0
10:34	1	180
10:36	3	3660
10:38	5	4400
10:41	8	10500
10:43	10.5	12800
10:46	13	13900
10:48	15	13600
10:51	18	13200
10:54	21	13900
10:58	25	9600
11:03	30	10800

10月22日	経過時間(分)	濃度(ppm)
10:45	0	0
10:46	1	920
10:47	2	2500
10:50	5	5500
10:52	7	4500
10:54	9	6000
10:56	11	5200
11:00	15	4900
11:03	18	5500
11:07	22	7000
11:10	25	7000

11月5日	経過時間(分)	濃度(ppm)
10:40	0	480
10:42	2	2200
10:43	3	4400
10:45	5	4900
10:47	7	5600
10:52	12	5900
11:00	20	4150
11:10	30	2000

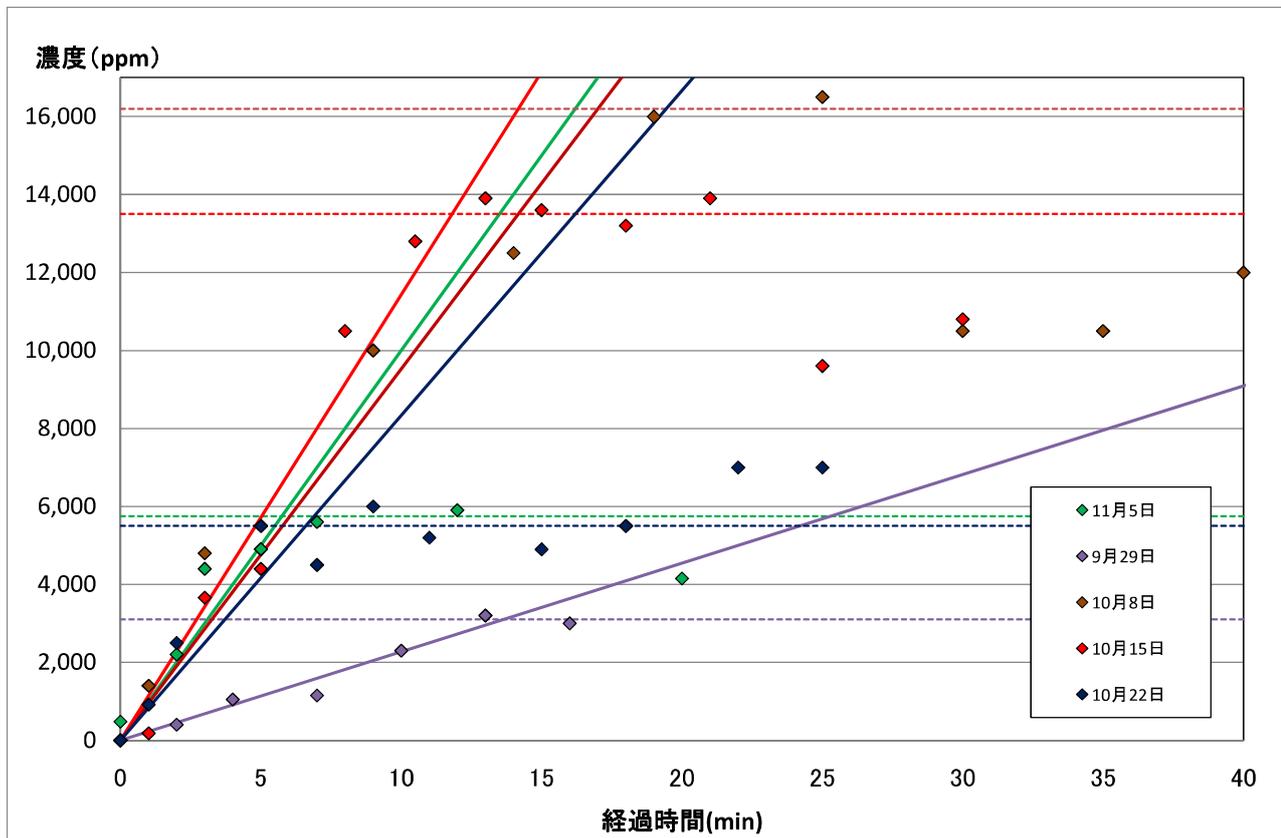


図3-2 ポリバケツをかぶせてのH₂S湧出量測定

3-4. 気象データと硫化水素濃度の連続測定【10月8日～11月5日 実質28日間】

硫化水素濃度 10分平均値と、平均風速、湿度、気温、降水量、風向、硫化水素最大濃度、最小濃度の連続測定の無雪期の結果を図3-3及び表3-3に示す。

これらの図から、観測装置が雪に覆われた10月27日から29日は硫化水素濃度が異常に高くなった。これは湧出したガスが雪によって逃げ場をなくし高濃度になったと考えられる。そこでこの時期を除き、それ以外の無雪期について考察する。無雪期に硫化水素濃度が高くなる時は、風速が低い時である(図3-4)。この関係を風向別にみると、硫化水素濃度が高くなるのは東向きから南そして南西方向までの風向時に多く見られる。無風状態が続けば、この風向に限定されない(図3-5、6、7、8)。

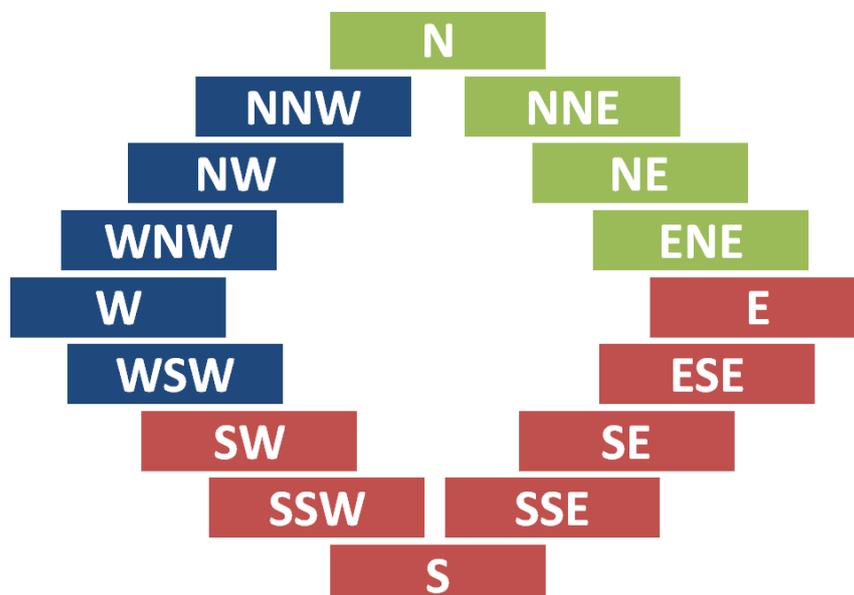


図3-5 硫化水素濃度の風向依存性

さらに硫化水素濃度の平均値や最大値は、測定可能な最高濃度を超えて計測器を振り切っている期間が長いので、10分間の平均値ではなく10分間の最小濃度に注目したほうが、よりわかりやすい。

そこで雪に覆われた時期を除き東向きから南そして南西方向までの風向きに限定して、10分平均風速と硫化水素最小濃度との関係を見たのが図3-9である。この関係はばらつきが小さくなり、風速が硫化水素濃度を規定していることをよく示している。この硫化水素最小濃度を平均風速(V_{mean})で表現したのが次の式3-4である。

$$[H_2S] = 215 / V_{mean} - 45 \quad \dots(\text{式 3-4})$$

この式はこれらの関係の一番大きな値を表現するように表してある。風速毎秒 1m 以下では十分な再現ができていないので、風速を 10 分間の瞬間最大値とし、硫化水素最小濃度との関係を示したのが図 3-10 である。

この図から同様に式 3-5 を導いた。この式による計算値も図 3-10 に示してある。

$$[\text{H}_2\text{S}] = 330 / (\text{Vmax} - 0.35) - 30 \quad \dots(\text{式 3-5})$$

この関係式は、硫化水素最小濃度が瞬間最大風速によって表現され、さらに瞬間最大風速毎秒 2m 以下でまだ少しのばらつきが見られることがわかる。このばらつきの特徴を明らかにするため、瞬間最大風速と 10 分平均風速との差を ΔV とし、硫化水素濃度計算値(式 3-5)から硫化水素濃度最小値を差し引いた値 $\Delta \text{H}_2\text{S}$ の関係をみると(図 3-11)、最大風速と平均風速の風速差が 0.7m 以下で計算値からのばらつきが見られることがわかる。風速差 0.7m を超える風速での、計算値との差があるものは平均値を超える風の出現頻度に依存すると考えられる。

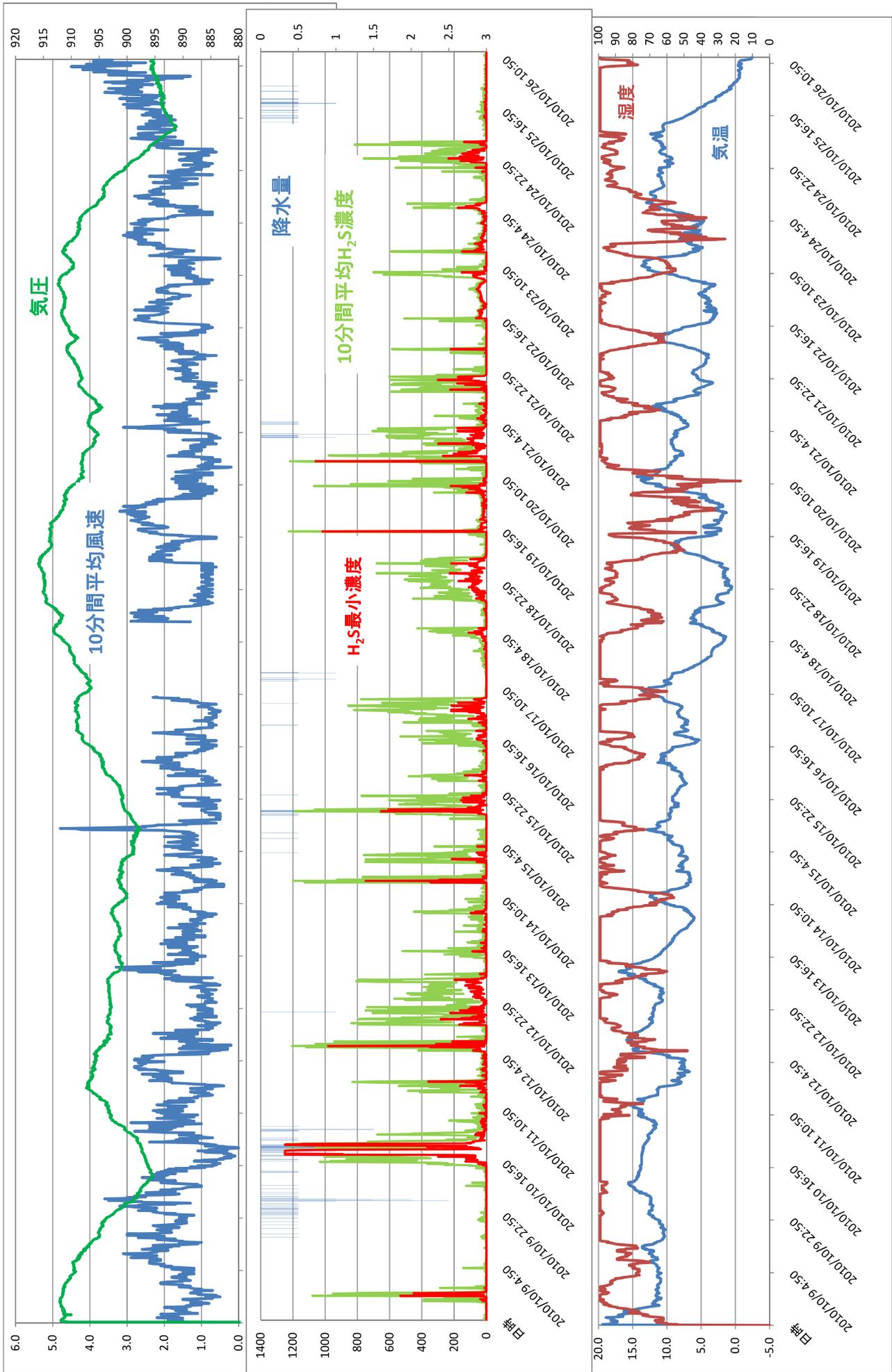


図3-3 降雪前連続測定日一々と気象データ比較(気圧・風速・降水量・H₂S最小濃度・湿度・気温)

表3-3 連続観測データの一部

データNo.	日時	10分間 平均濃度 ppm	最大濃度 ppm	最小濃度 ppm	10分間 最多風向	10分間 平均風速 m/s	気温 °C	湿 度 %RH	大気圧 hPa	降水量 mm
282	2010/10/10 9:50	89	522	0	NNE	1.0	14.7	98	897	0
283	2010/10/10 10:00	6	29	0	NNE	1.2	14.7	98	897	0
284	2010/10/10 10:10	0	0	0	NNW	1.2	15.0	98	897	0
285	2010/10/10 10:20	1	4	0	WNW	1.1	15.0	98	897	0
286	2010/10/10 10:30	1	5	0	WNW	1.4	15.2	98	897	0
287	2010/10/10 10:40	0	3	0	WNW	1.8	15.4	98	897	0
288	2010/10/10 10:50	0	4	0	WNW	2.0	15.3	96	897	0
289	2010/10/10 11:00	0	0	0	W	2.1	15.5	96	896	0
290	2010/10/10 11:10	0	3	0	WNW	1.8	15.6	96	896	0
291	2010/10/10 11:20	2	8	0	WSW	1.7	15.5	95	896	0
292	2010/10/10 11:30	3	13	0	SW	2.0	15.4	95	896	0
293	2010/10/10 11:40	5	24	0	WSW	1.7	15.6	95	896	0
294	2010/10/10 11:50	4	10	0	SW	2.4	15.3	95	896	0
295	2010/10/10 12:00	6	24	0	SW	2.0	14.9	98	896	0
296	2010/10/10 12:10	7	19	0	SW	2.0	14.7	99	896	0
297	2010/10/10 12:20	6	36	0	WSW	2.0	14.7	99	896	0
298	2010/10/10 12:30	2	7	0	WSW	2.0	14.6	99	896	0
299	2010/10/10 12:40	4	10	0	SW	2.6	14.5	99	896	0
300	2010/10/10 12:50	5	15	0	WSW	2.1	14.5	99	896	0
301	2010/10/10 13:00	2	12	0	SW	2.3	14.4	99	895	0
302	2010/10/10 13:10	0	0	0	WSW	2.2	14.4	99	895	0
303	2010/10/10 13:20	1	4	0	WSW	2.0	14.4	99	896	0
304	2010/10/10 13:30	12	45	1	WSW	1.9	14.4	99	896	0.5
305	2010/10/10 13:40	9	25	2	SW	2.3	14.2	99	896	0
306	2010/10/10 13:50	14	36	0	WSW	2.0	14.3	99	896	0.5
307	2010/10/10 14:00	3	13	0	SW	1.7	14.3	99	896	0
308	2010/10/10 14:10	10	48	0	SW	2.1	14.1	99	896	0
309	2010/10/10 14:20	11	25	0	SW	2.2	14.2	99	896	0
310	2010/10/10 14:30	14	72	0	SW	1.9	14.1	99	896	0
311	2010/10/10 14:40	8	26	0	SW	2.1	14.1	99	896	0
312	2010/10/10 14:50	65	267	0	SW	1.4	14.1	99	896	0
313	2010/10/10 15:00	14	26	4	SW	2.0	14.2	99	896	0
314	2010/10/10 15:10	31	139	0	SW	1.5	14.2	99	896	0
315	2010/10/10 15:20	26	136	0	SW	1.7	14.1	99	896	0
316	2010/10/10 15:30	16	73	0	SW	1.9	14.0	99	896	0
317	2010/10/10 15:40	103	348	0	SE	1.4	14.0	99	896	0
318	2010/10/10 15:50	99	300	22	SE	1.7	13.9	99	896	0
319	2010/10/10 16:00	257	1001	1	SW	1.0	13.9	99	896	0
320	2010/10/10 16:10	210	804	21	S	0.9	13.9	99	896	0
321	2010/10/10 16:20	367	1250	51	SE	1.3	13.8	99	896	0
322	2010/10/10 16:30	239	1027	14	SSW	0.7	13.8	99	896	0
323	2010/10/10 16:40	293	1250	2	SW	1.1	13.8	99	896	0
324	2010/10/10 16:50	628	1250	24	SW	0.7	13.8	99	896	0
325	2010/10/10 17:00	1033	1250	62	SW	0.6	13.8	99	896	0
326	2010/10/10 17:10	798	1250	130	SW	0.7	13.9	99	896	0.5
327	2010/10/10 17:20	967	1250	66	SSW	0.6	13.9	99	896	0
328	2010/10/10 17:30	499	1250	73	E	0.5	13.9	99	896	0
329	2010/10/10 17:40	429	1189	54	SSE	0.7	13.8	99	897	0.5
330	2010/10/10 17:50	784	1250	95	SE	0.6	13.7	99	897	0.5
331	2010/10/10 18:00	868	1250	126	E	0.6	13.7	99	897	0.5
332	2010/10/10 18:10	345	897	104	SE	1.0	13.7	99	897	0
333	2010/10/10 18:20	358	760	113	ESE	1.2	13.7	99	897	0
334	2010/10/10 18:30	479	1187	67	ESE	1.0	13.7	99	897	0
335	2010/10/10 18:40	530	1245	112	ESE	1.0	13.7	99	897	0
336	2010/10/10 18:50	1005	1250	300	SE	0.5	13.7	99	897	1
337	2010/10/10 19:00	873	1250	73	ESE	0.4	13.7	99	897	0
338	2010/10/10 19:10	677	1250	68	S	0.5	13.7	99	897	1.5
339	2010/10/10 19:20	1016	1250	139	Caln	0.2	13.7	99	897	0.5
340	2010/10/10 19:30	1250	1250	1250	Caln	0.2	13.7	99	897	0

表3-3 連続観測データの一部

データNo.	日時	10分間 平均濃度 ppm	最大濃度 ppm	最小濃度 ppm	10分間 最多風向	10分間 平均風速 m/s	気温 ℃	湿度 %RH	大気圧 hPa	降水量 mm
342	2010/10/10 19:50	1250	1250	1250	Caln	0.2	13.7	99	897	0
343	2010/10/10 20:00	1250	1250	1250	Caln	0.1	13.7	99	897	0
344	2010/10/10 20:10	1250	1250	1250	Caln	0.1	13.7	99	897	0.5
345	2010/10/10 20:20	1250	1250	1250	Caln	0.3	13.7	99	897	1
346	2010/10/10 20:30	1250	1250	1250	Caln	0.2	13.7	99	897	0
347	2010/10/10 20:40	1250	1250	1250	Caln	0.2	13.7	99	897	1
348	2010/10/10 20:50	1250	1250	1248	W	0.4	13.7	99	897	0.5
349	2010/10/10 21:00	1229	1250	1149	NW	0.4	13.7	99	897	0.5
350	2010/10/10 21:10	1216	1250	920	Caln	0.3	13.7	99	897	0.5
351	2010/10/10 21:20	147	829	34	SW	0.9	13.6	99	897	0.5
352	2010/10/10 21:30	396	1232	46	SW	0.8	13.6	99	897	1.5
353	2010/10/10 21:40	361	942	49	SE	0.9	13.6	99	897	1
354	2010/10/10 21:50	421	1089	77	SE	1.1	13.6	99	897	1
355	2010/10/10 22:00	438	1200	99	SE	0.7	13.6	99	897	1
356	2010/10/10 22:10	1061	1250	368	Caln	0.3	13.6	99	897	1
357	2010/10/10 22:20	765	1250	280	ESE	0.8	13.5	99	897	1
358	2010/10/10 22:30	894	1250	122	SSE	0.5	13.5	99	897	1
359	2010/10/10 22:40	1233	1250	1082	Caln	0.2	13.5	99	897	0.5
360	2010/10/10 22:50	1250	1250	1250	Caln	0.0	13.5	99	897	0.5
361	2010/10/10 23:00	1241	1250	1158	Caln	0.1	13.5	99	898	0
362	2010/10/10 23:10	1239	1250	1139	ESE	0.4	13.5	99	898	0
363	2010/10/10 23:20	1043	1250	96	E	0.4	13.4	99	898	0
364	2010/10/10 23:30	666	1250	120	WSW	0.9	13.4	99	898	0
365	2010/10/10 23:40	670	1250	79	ESE	0.6	13.5	99	898	0
366	2010/10/10 23:50	736	1250	81	ESE	0.6	13.5	99	898	0
367	2010/10/11 0:00	682	1230	85	SW	0.7	13.4	99	898	0
368	2010/10/11 0:10	373	1250	35	SW	0.8	13.4	99	898	0
369	2010/10/11 0:20	124	421	10	SW	1.0	13.4	99	898	0
370	2010/10/11 0:30	249	961	29	SW	1.1	13.4	99	898	0.5
371	2010/10/11 0:40	111	502	42	SE	1.6	13.3	99	898	0
372	2010/10/11 0:50	64	93	33	SSE	2.4	13.2	99	898	0
373	2010/10/11 1:00	72	110	28	SE	2.0	13.2	99	898	0
374	2010/10/11 1:10	118	358	22	S	1.7	13.1	99	898	0.5
375	2010/10/11 1:20	117	407	19	ESE	1.1	13.1	99	898	0
376	2010/10/11 1:30	81	123	36	SE	1.7	13.0	99	898	0
377	2010/10/11 1:40	50	137	19	ESE	1.5	13.0	99	898	0
378	2010/10/11 1:50	83	177	14	SSW	1.2	12.9	99	898	0
379	2010/10/11 2:00	115	621	13	SSE	1.6	12.8	99	898	0
380	2010/10/11 2:10	244	439	69	SE	1.1	12.8	99	898	0
381	2010/10/11 2:20	678	1240	69	ESE	0.7	12.8	99	898	0
382	2010/10/11 2:30	490	1228	12	SW	0.9	12.7	99	898	0
383	2010/10/11 2:40	464	1250	63	ESE	1.0	12.6	99	899	0
384	2010/10/11 2:50	331	830	32	ESE	1.3	12.6	99	899	0
385	2010/10/11 3:00	145	271	51	SE	1.0	12.6	99	899	0
386	2010/10/11 3:10	100	446	12	SW	1.6	12.6	99	899	0
387	2010/10/11 3:20	80	227	10	SSW	1.5	12.7	99	899	0.5
388	2010/10/11 3:30	55	127	11	SW	1.6	12.8	99	899	0
389	2010/10/11 3:40	131	627	12	SW	1.5	12.8	99	899	0.5
390	2010/10/11 3:50	92	311	16	SSW	1.4	12.8	99	899	0.5
391	2010/10/11 4:00	75	272	1	SW	1.2	12.8	99	899	1.5
392	2010/10/11 4:10	19	33	2	S	2.0	12.7	99	900	1.5
393	2010/10/11 4:20	27	54	2	ESE	2.2	12.5	99	900	0
394	2010/10/11 4:30	39	92	11	SE	2.8	12.5	99	900	0
395	2010/10/11 4:40	29	81	5	ESE	2.3	12.4	99	900	0
396	2010/10/11 4:50	54	102	13	SE	2.3	12.2	99	900	0
397	2010/10/11 5:00	49	89	26	S	2.1	12.2	99	900	0
398	2010/10/11 5:10	42	64	20	SE	1.9	12.2	99	901	0.5
399	2010/10/11 5:20	36	58	8	ESE	1.8	12.2	99	900	0
400	2010/10/11 5:30	47	94	12	ESE	2.4	12.1	99	900	0

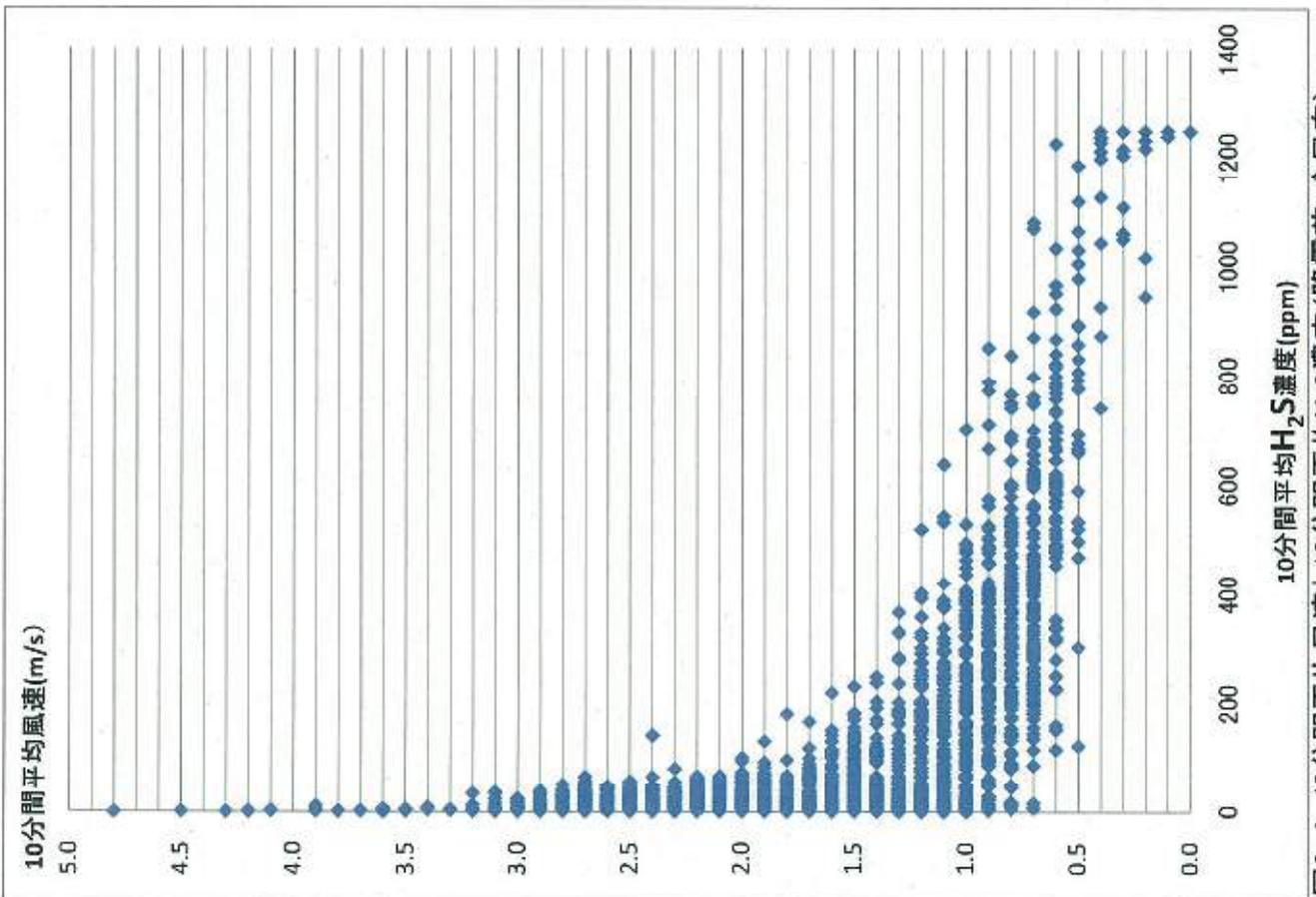


圖3-4 10分間平均風速と10分間平均H₂S濃度(降雪前・全風向)

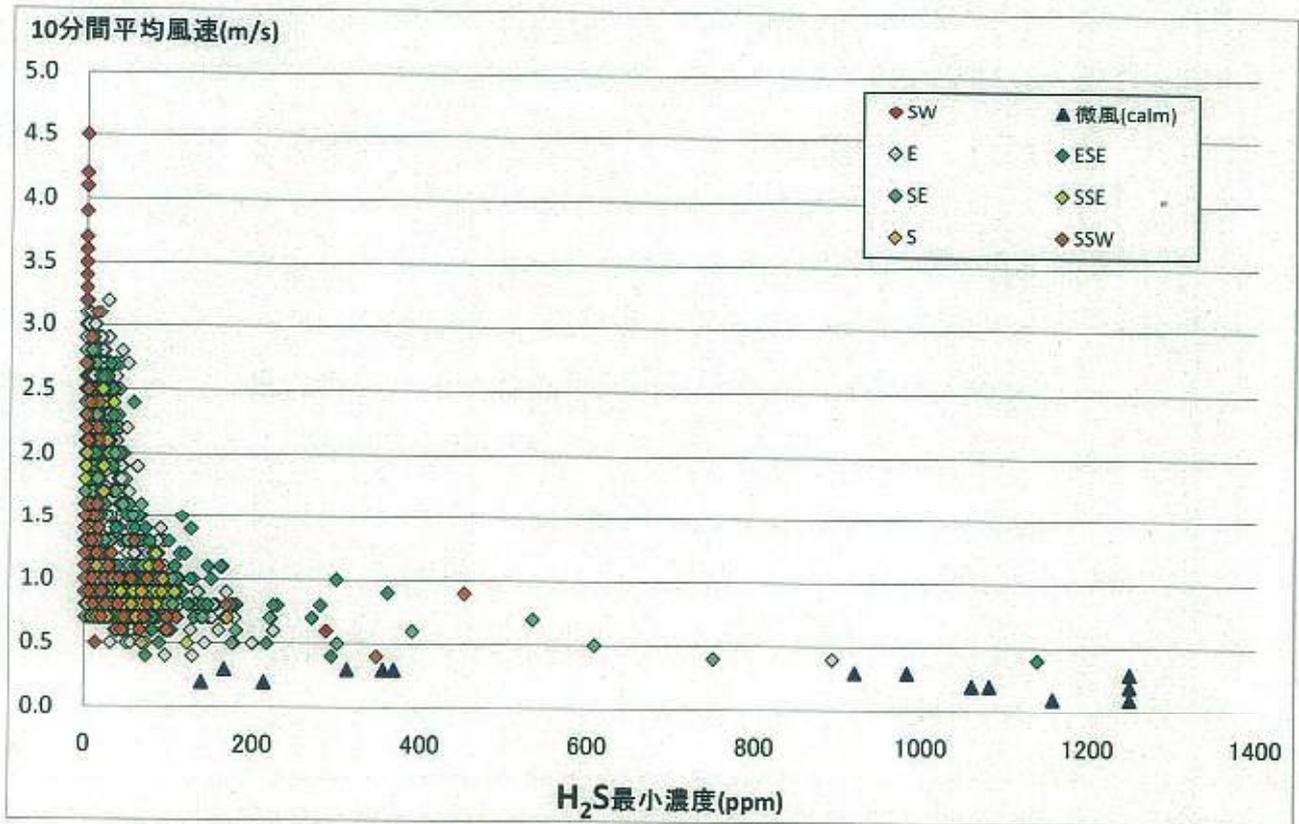


図3-6 降雪前の10分間平均風速とH₂S最小濃度(E~S~SW・微風)

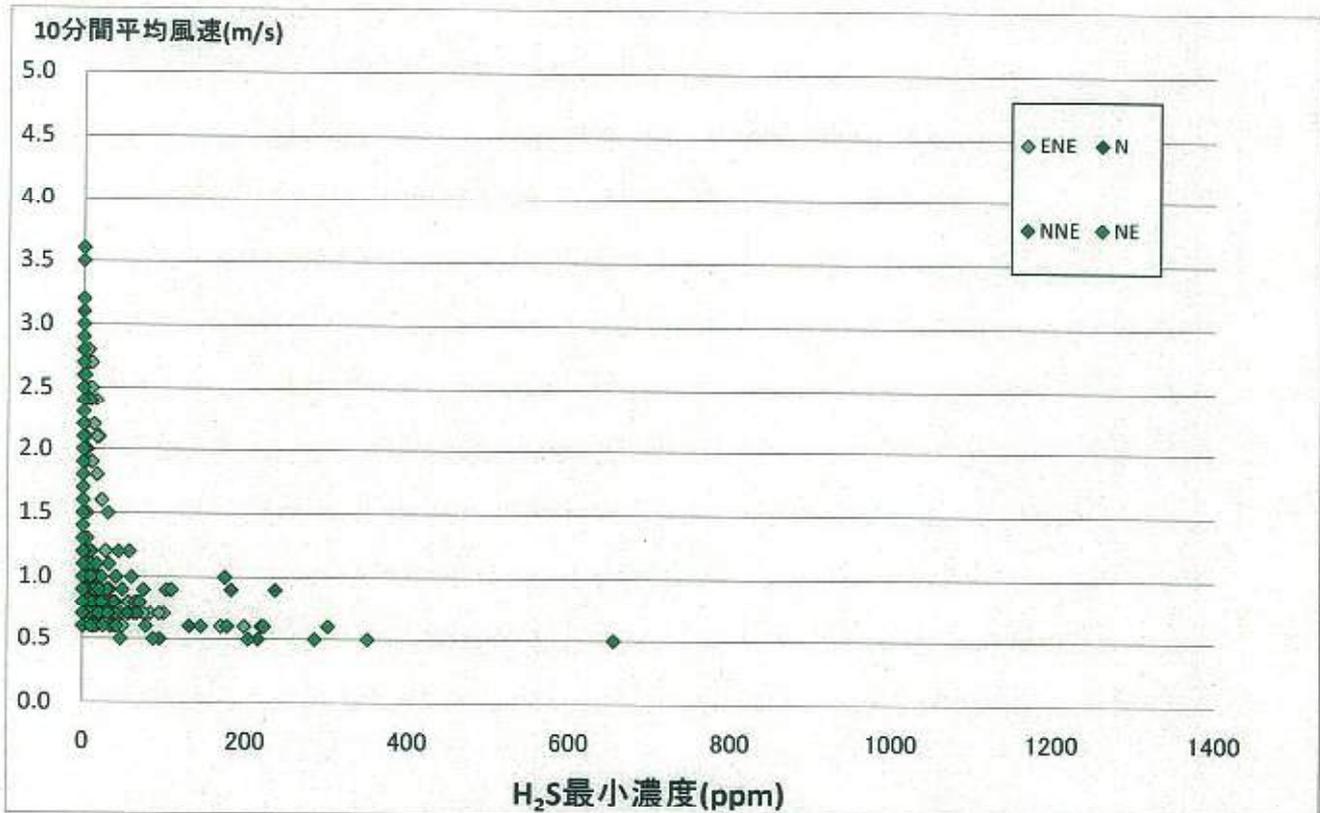


図3-7 降雪前の10分間平均風速とH₂S最小濃度(N~ENE)

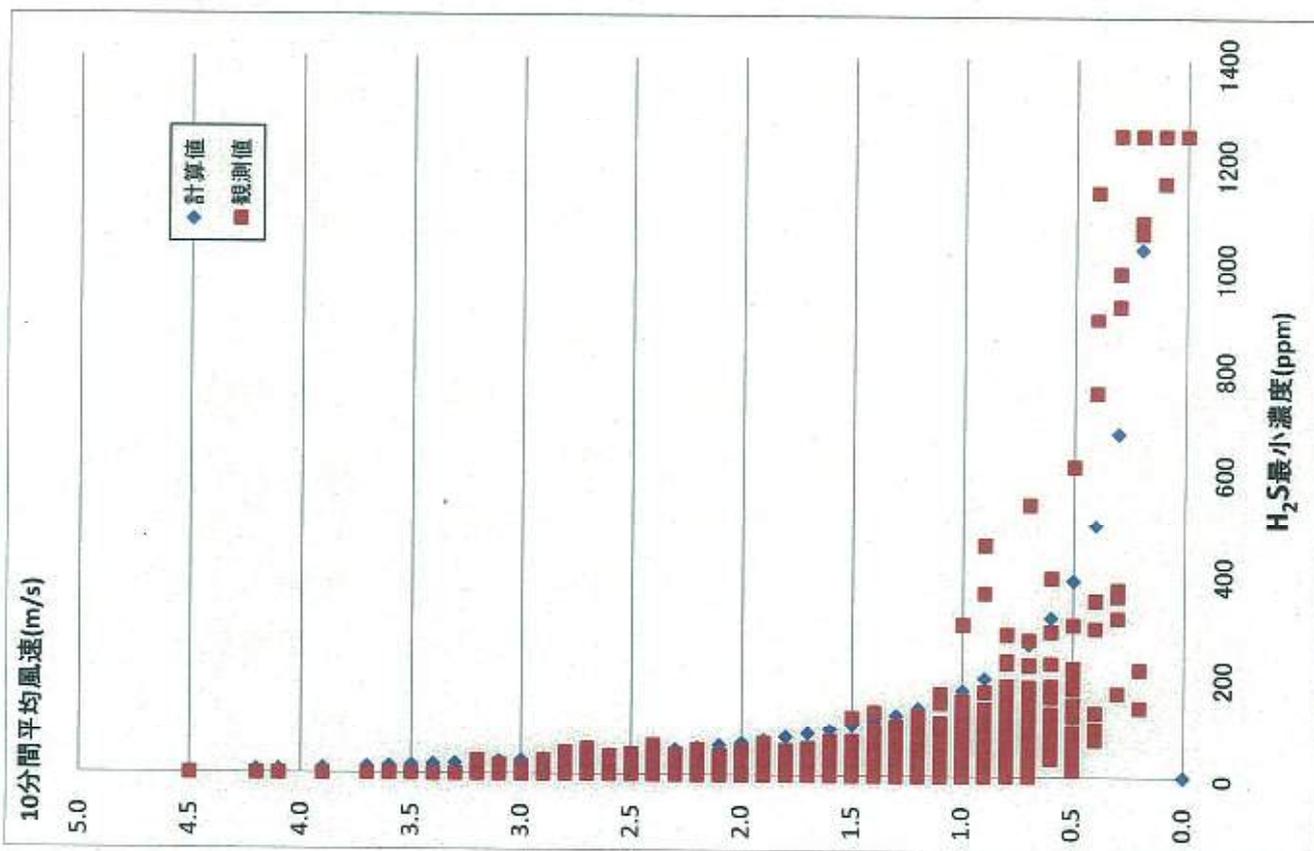


图3-9 10分間平均風速とH₂S最小濃度

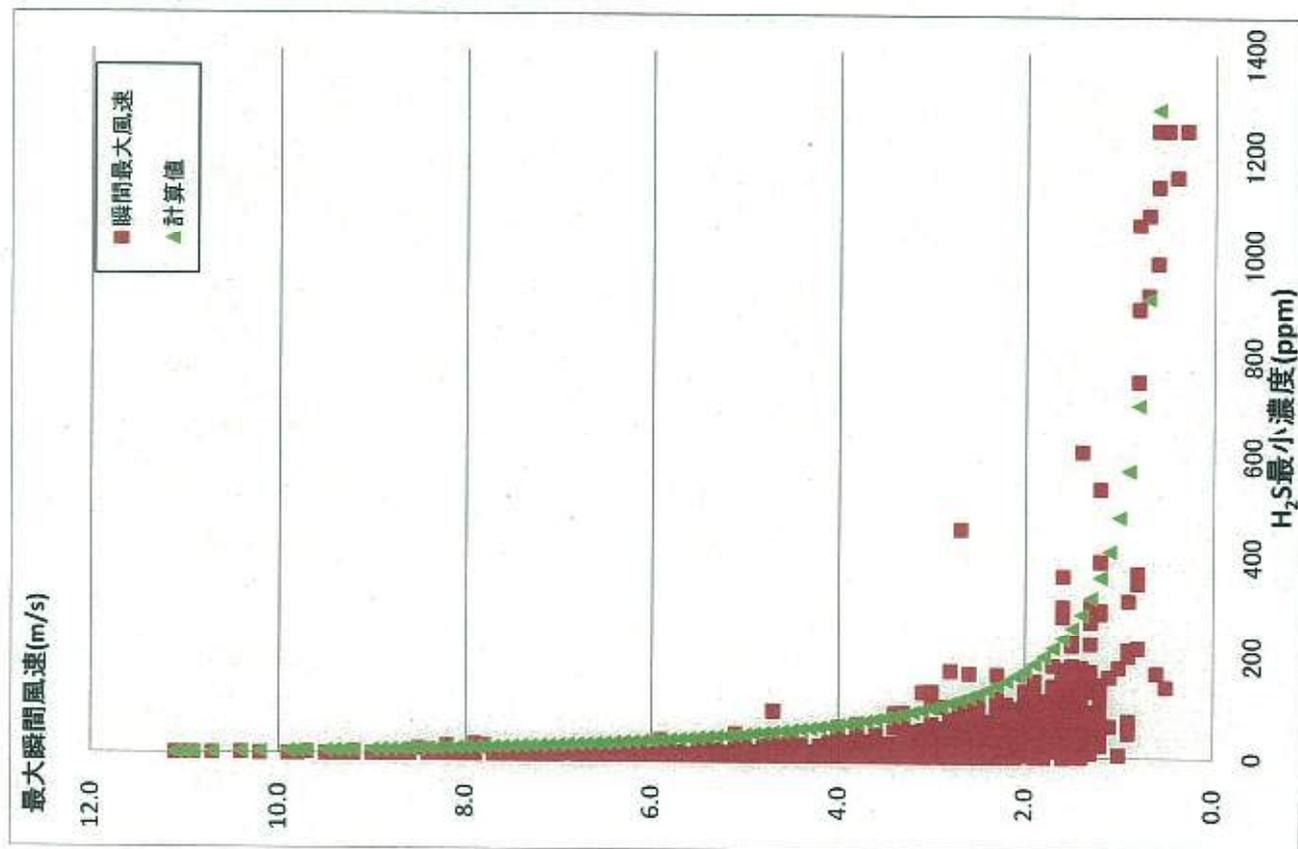


图3-10 瞬間最大風速とH₂S最小濃度

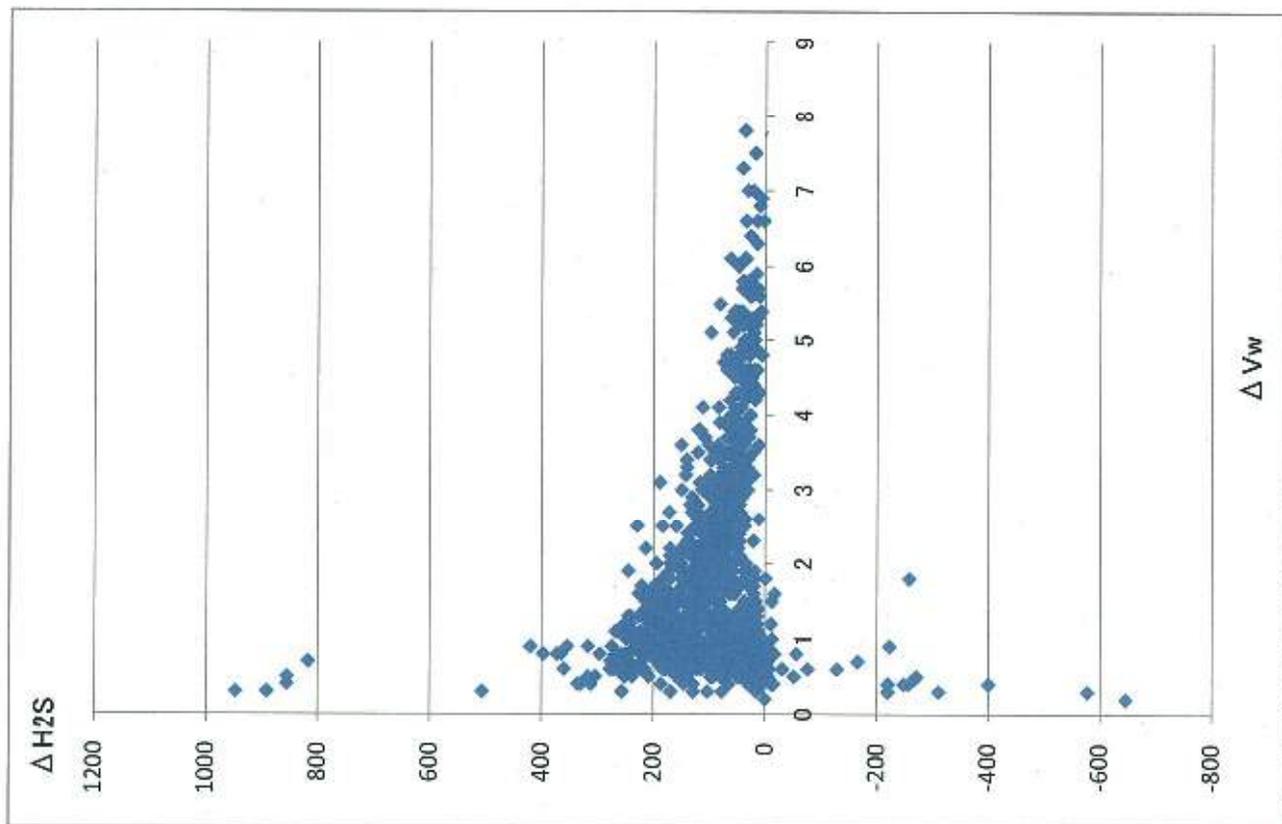


図3-11 $\Delta H2S$ と ΔV の関係

3-5. 赤外線カメラによる現場周辺調査と地表面温度

赤外線カメラによる火山性ガスの検知

事故原因が火山性ガス（硫化水素や二酸化炭素）であったと考えられるため、火山性ガスがどこから湧出しているかを把握する必要がある。火山性ガスは砂礫を通過してくるものの、元は火山活動が原因であるため、高温である可能性が高い。そこで、弘前大学工学部 助教 石田 祐宣 先生の協力を得て、物体の表面温度分布を測定することができる赤外線カメラにより、平成 22 年 10 月 22 日に調査領域の温度分布の計測を行った。以下にその結果を示す。



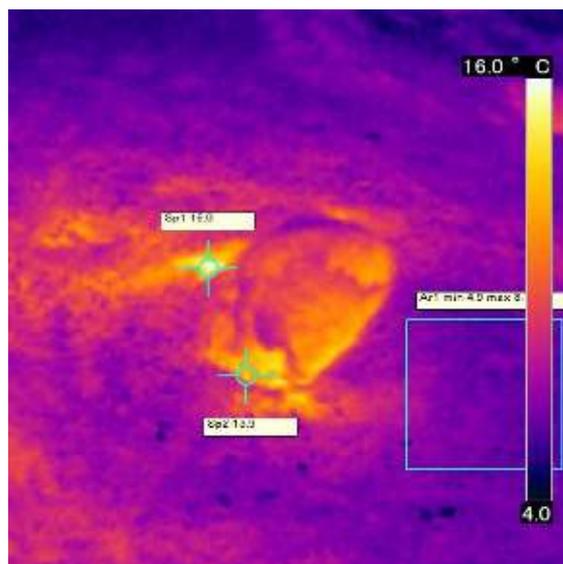
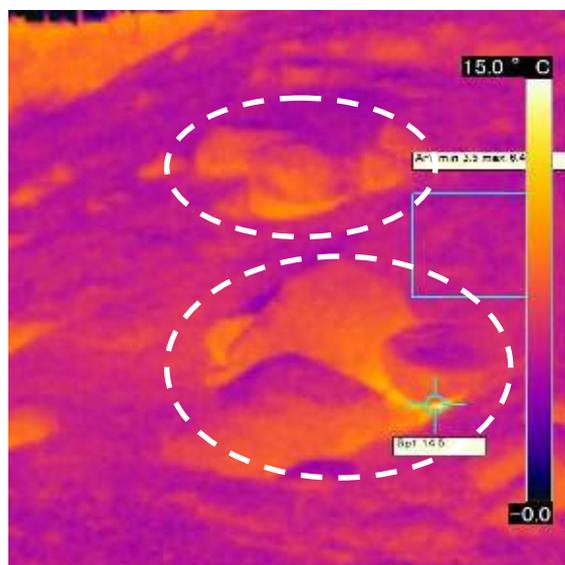
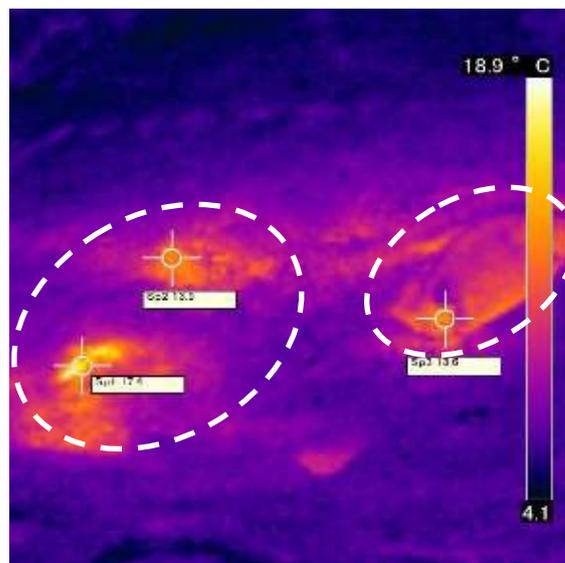
写真 1 4: 斜面下方から見た調査領域

調査を行った領域は写真 1 に写っている斜面のうち植生の無い部分であり、火山性ガス濃度の測定調査を行った領域を含んでいる。この領域の中で、日射の影響ではなく高温だった箇所は、1) 斜面下方から見て右側斜面の一部と 2) 事故発生地点周辺の岩石の割れ目であった。次に、それぞれ対応する場所の写真と赤外面像を示す。

● 右側斜面

右側斜面に見られた高温部を画像 1 に示す。破線で囲まれた領域は左右の画像で対応する位置を示す。斜面は一様に砂で覆われているが、一部高温になっており、また完全に日陰になっている岩石下部も高温となっていた。右側斜面の砂地や岩石下部に多数の高温部が発見された。これら高温部は周辺に比べ 10℃以上高温となっていた。温度差については画像 1 の温度表示を参照されたい。調査当日は斜面からの硫黄臭が強かったため、これら高温部から火山性ガスが染み出していたことが推察された。

撮影時の気温：8.5°C

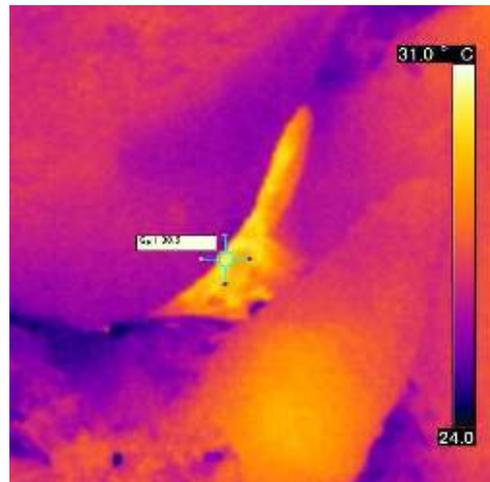
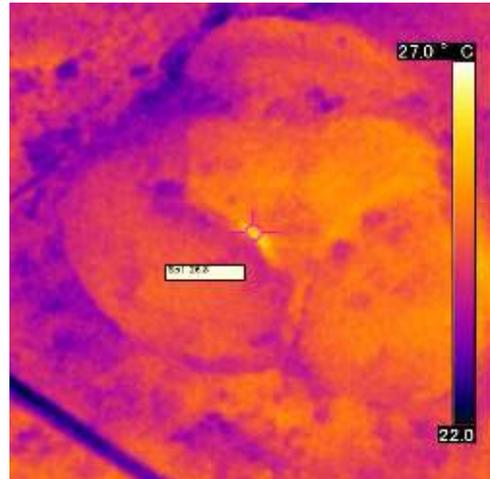


画像 1:右側斜面の高温領域（スポットの数値は極大値、四角で囲まれた領域は周辺斜面の平均値）

● 事故発生地点周辺の岩石の割れ目

画像2で示すように、事故発生地点周辺にあった岩石の割れ目も高温であり、硫化水素や二酸化炭素の濃度が高かった。

以上より、空気より比重の大きい火山性ガスが右側斜面および事故発生地点周辺の岩石の割れ目から流出し、弱風の条件下で事故発生地点周辺に滞留したものと思われる。



画像2:事故発生地点周辺の岩石の割れ目の高温部（数値は極大値）

4. 調査結果の考察

事故発生以来しばらくの間、現場は立ち入り禁止であったために、いくつかの疑問点が残っていた。それらの疑問点を以下に示し、今回の調査によって解決されたことと、解析の結果さらに明らかになったことをも示す。

現場の疑問点

- ① 4人で同じ事故現場付近に休んで、なぜ一人だけ被害にあったか。
- ② 無風時に、ガスがたまる場所があるのか。
- ③ 傾斜地なのに、なぜガスが高濃度になるのか。
- ④ ガスの発生場所の温度は高温か。

直接現場に入り、現地調査、ガス濃度測定などをして現場のいくつかの疑問点が解決された。

疑問点に対して現在までにわかったこと。

- ① 局地的に高濃度のガスが流れる場所がある。ガスの湧出点では二酸化炭素 $\text{CO}_2=90\%$ 、硫化水素 $\text{H}_2\text{S}=10\%$ の高濃度のガスが出ていた。風が吹いて湧出ガス濃度が10倍に薄まったとすると、二酸化炭素は9%で致死濃度に至らないが、硫化水素は1%であり、依然として致死濃度の10倍の濃度である。このことから、死亡事故の原因は硫化水素と考えられる。現場周辺にはキツネや昆虫の死骸があり、高濃度のガスが湧出口から湧出していることを示している。湧出速度は毎分 25 l/m^2 前後である。これは地面からの高さにして毎分 2.5 cm の高さに高濃度ガスが積みあがっていくことを示している。ゆっくり谷に向かって流れたとしても、理論上、無風状態が一時間続けば、湧出点では高さ方向に $2.5 \times 60 \text{ cm} = 150 \text{ cm} = 1.5 \text{ m}$ の高さ程度に積みあがることになる。(ただし、自然状態で実際にこのような状況が発生するかどうかは様々な要因を考慮する必要がある。)
- ② 無風時に、ガスがたまる場所はない。現場は緩い傾斜地であって、ガスが滞留する場所としての窪地や低地はない。
- ③ 高濃度硫化水素 H_2S の常時発生している場所があり、また、地下から湧出するガスの量が多いので、通常はガスがたまらない傾斜地形であっても無風状態が長時間続いた場合には、高濃度の状態が保たれる可能性がある。ガスの発生する場所は傾斜地一帯である。特に濃度の高い場所は岩と地面の隙間や割れ目である。
- ④ ガスの発生する場所は、気温より5度から10度ほど高い温度を示す。湧出速度とこの温度差では空気より少し重い硫化水素を上方に拡散させることはできないように思われる。

現地調査のデータを見てわかったこと

- ① 渡渉地点と現場入り口で、硫化水素濃度が 100ppm を超えることはほとんどない
- ② 事故発生地点で、地表付近では硫化水素濃度はたびたび 1,000ppm を超える。
- ③ 気圧と硫化水素濃度との間の関係は明瞭でない。
- ④ 硫化水素濃度と風速との関係は明瞭である。
- ⑤ 10月10日の夜の気象条件は6月20日の事故時の条件に似ている（図4-1～5）。10月10日は無風が二時間余り長く続き、地表付近の硫化水素濃度は高濃度に長く保たれている。
- ⑥ 降水による地下水面上昇が硫化水素湧出量や濃度に関係する可能性がある。
- ⑦ ガス湧出点をバケツで覆うと、数分以内で致死濃度の 1,000ppm を超え、10,000ppm になることもある。
- ⑧ ガス湧出点は現場一帯に数多くあり、特に南方向の斜面に多い。
- ⑨ 風速が毎秒 2m 以上で 200ppm を超えないが、風の向きが東から南東、南、南西までのときに風速毎秒 0.5m 以下になると地表付近の硫化水素濃度は 1,000ppm を超えてくる。

4-1. 死亡原因の推定

平成 22 年 6 月 20 日青森市大字荒川字南荒川山国有林で発生した中学二年女子生徒の遭難死亡事故は、生存者の証言と現場状況から火山性ガスによるものと考えられた。現地調査の結果、現場にはキツネや昆虫の死骸があり、湧出口から致死濃度のガスが湧出していることを示していた。地形は片斜面であり火山性ガスが滞留するようなくぼんだ地形はなかった。硫化水素が高濃度で発生している場所は傾斜地一帯に複数か所あり、ガスのたまらない傾斜地であっても、地下から湧出するガスの量が多いので、無風状態が長時間続いた場合には高濃度の状態が保たれる可能性のある場所であった。特に高濃度の硫化水素を湧出している場所は岩と地面の隙間や割れ目である。このような場所は、気温より 5 度から 10 度高い温度を示す。湧出口内部で最も高い濃度を示したガスは硫化水素 100,000ppm（10%）、二酸化炭素 90%であり、主な死亡原因は致死濃度 1,000ppm といわれる硫化水素と考えられる。女子生徒が遭難した場所は、高濃度硫化水素の湧出口付近であり、周辺の斜面から流出した硫化水素ガスの通り道にあたる場所であった。動物の死骸が並んでいる場所がその通り道であり、最も被害を受けやすい場所であったと考えられる。事故発生時に同行者が休憩していた場所は、被害者が休憩していた場所から離れていたと聞いている。その場所の違いが被害の程度の差を生んだ可能性が大きい。

4-2. 気象データと硫化水素濃度

気象連続測定データと硫化水素濃度については、図 3-3 のとおり。（詳細はエヌエス環境（株）報告書を参照されたい。） 硫化水素濃度は、先に述べたように風速と風向に大きく依存し、当初考えられた気圧に対して大きな関係が見られない。

4-3. 硫化水素濃度と風速

現場で湧出する硫化水素濃度は地表付近ではかなり高く、無風の気象条件下ではその高い濃度が長時間続いている。地表付近の硫化水素濃度の最小値は、致死濃度 1,000ppm を想定して設定した測定計器の測定限界である 1,250ppm を超えることがあった。ここでは測定したこの 10 分間最小値に注目したところ、最小値を決定する要因が東向きから南そして南西方向までの風であり、風速が毎秒 2m 未満の状態が長時間続いた時に高濃度になることが分かった。さらに予測式を立て、平均風速と瞬間最大風速との差が 0.5m 以下の時に予測式から大きな変動をし、風の弱い時に高濃度になる危険性が増すことを示している。

4-4. 硫化水素濃度と気圧

今回のデータからは気圧との関係に、風速ほどの明らかな相関は見られなかった。しかし天候が悪化するときは気圧が低下傾向にあり、事故発生時やこのたびの調査中 10 月 10 日の高濃度硫化水素出現時も低気圧の傾向であった。気圧は 900 hPa ± 15 hPa であった。湧出量に与える変動は今後の詳細な検討を要するが、現地でのガス濃度変動の大きさを説明する主要因とはならないと考えられる。

4-5. 気象データ

現地調査の気象データを解析した結果、地表の硫化水素が高濃度となるのは、無風時あるいは東向きから南そして南西方向の微風時であった。このことは事故現場の斜面上方に硫化水素の発生源があることを示し、温度分布の解析結果とも一致している。

5. 対策

調査地は火山地帯に特有の温泉水湧出地に見られる風化帯で、火山性硫化水素ガスによる風化が激しい。このような場所は八甲田山系では酸ヶ湯周辺に多く見られるが、事故現場の特殊な点は、硫化水素濃度が高いうえに、その湧出量が多いことである。そのために、ガスのたまるような地形でなくても、立ち入らないように注意を喚起する対策を以下のように立てる必要があると考える。

- ① 例えば、現場入り口に「危険 有毒ガス硫化水素発生」等という看板を立てる。
- ② 酸ヶ湯周辺に立ち入る恐れのある「山菜採り」や「スキーヤー」に対し、注意を呼びかける説明文等を宿や登山道入口、ロープウェイ駅等に掲示する。

さらに、長期的な考え方として、一つの提言ではあるが、青森県内の火山地帯は自然公園としてだけでなく、サイエンスパークとして自然教育をする場所として整備し、火山性ガスに関する知識の普及啓発に役立たせてはどうかと考える。青森県には火山地帯が多く存在し、それに伴う公園や温泉地など人の立ち入る場所が多いだけでなく、山菜採りをする文化も残っているので、火山性のガスに対する科学的知識を身につけ行動できるような普及啓発が必要であろう。

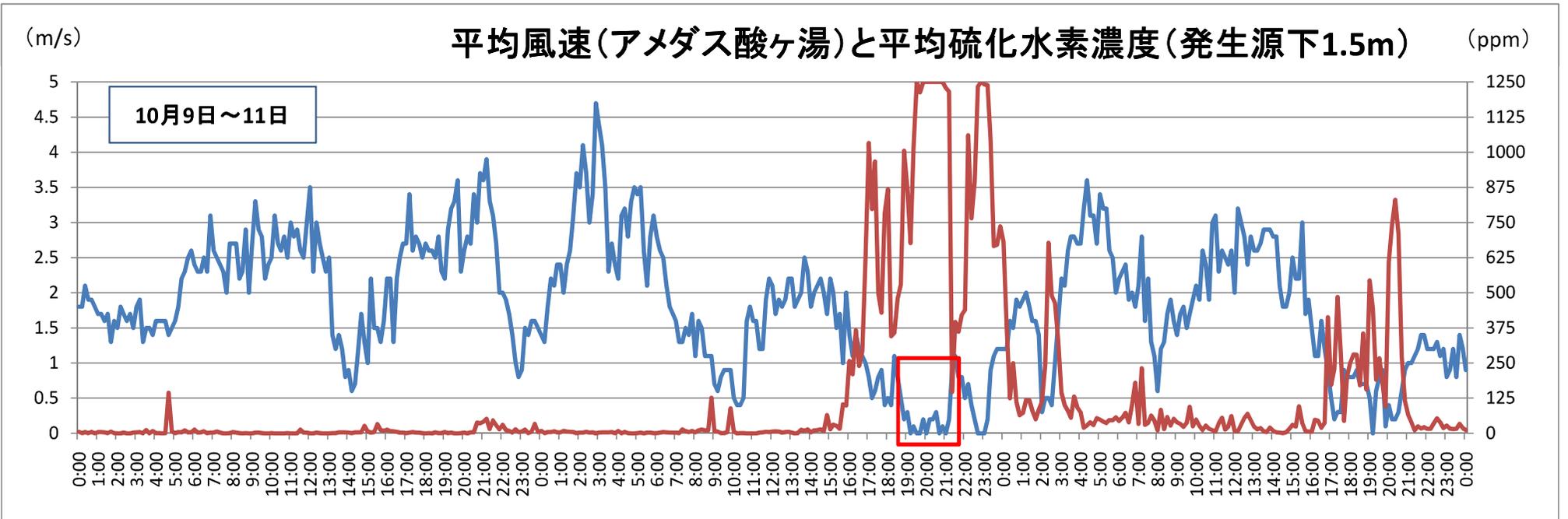
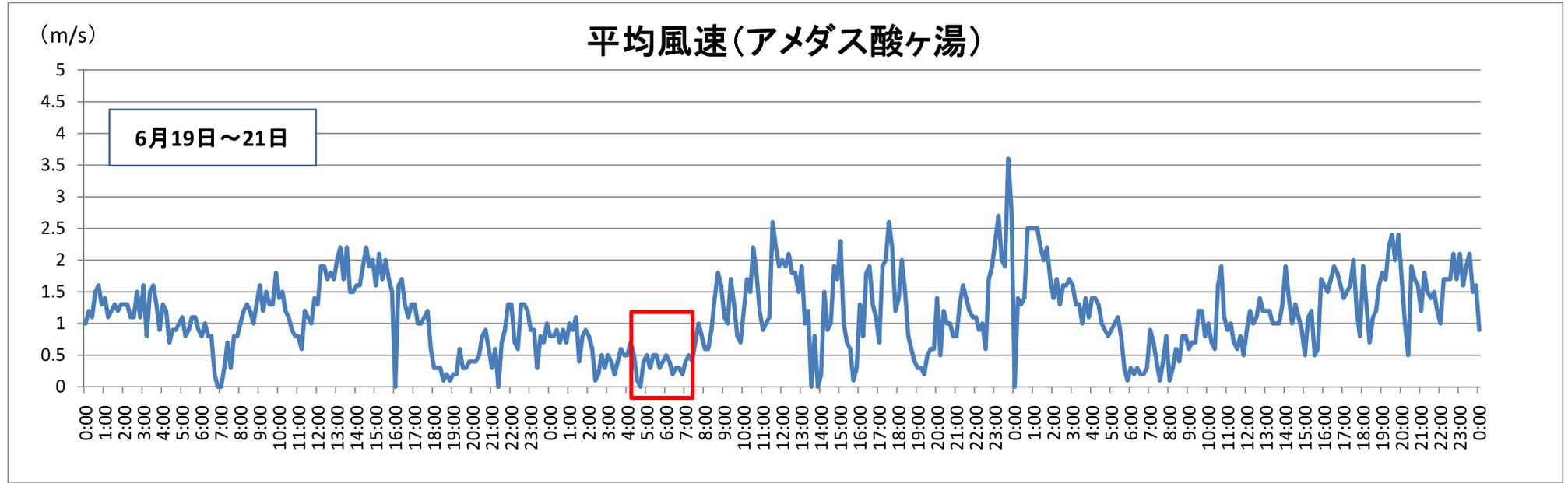


図4-1 似た気象条件の事故発生日6月20日と10月10日の比較1

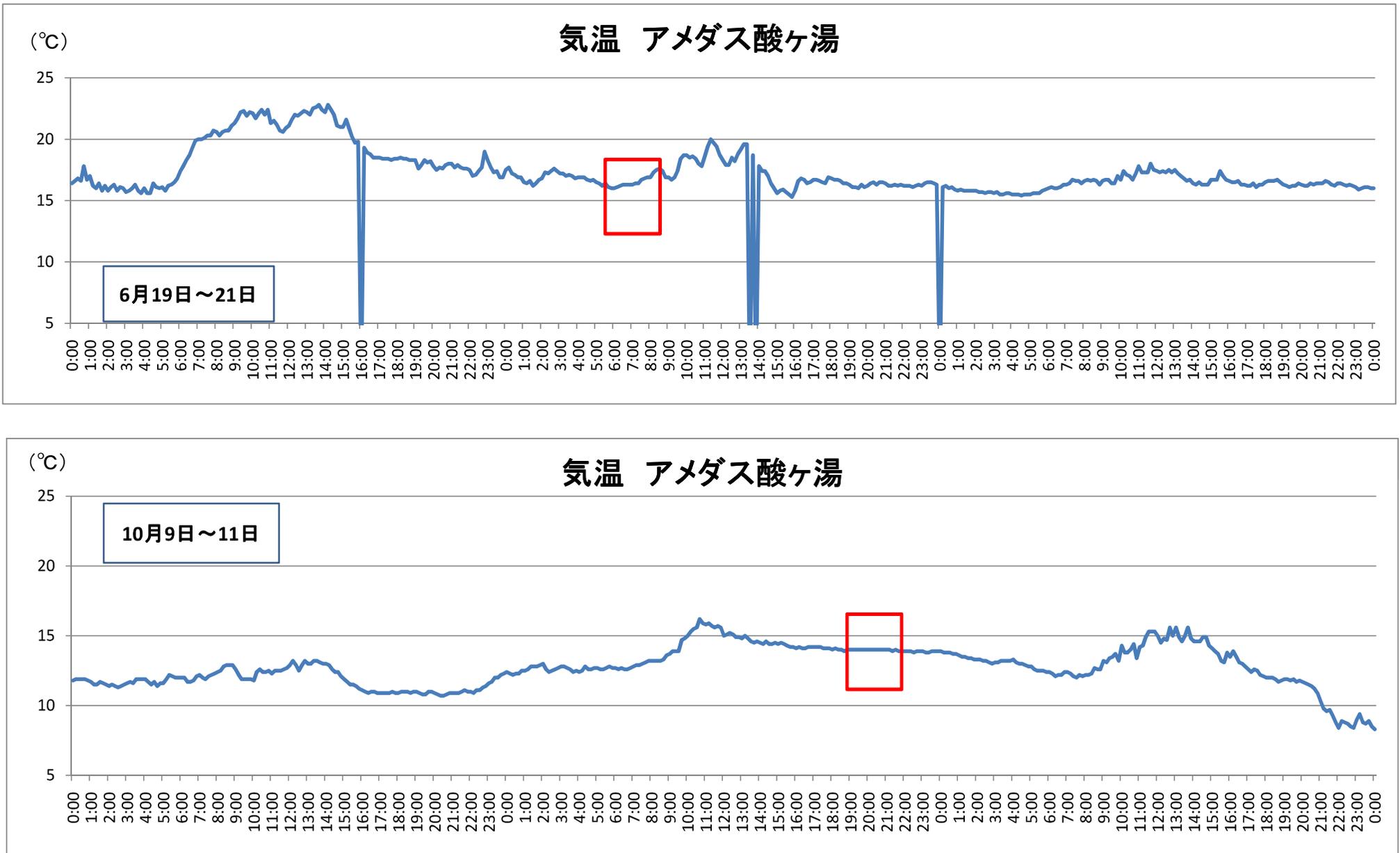


図4-2 似た気象条件の事故発生日6月20日と10月10日の比較2

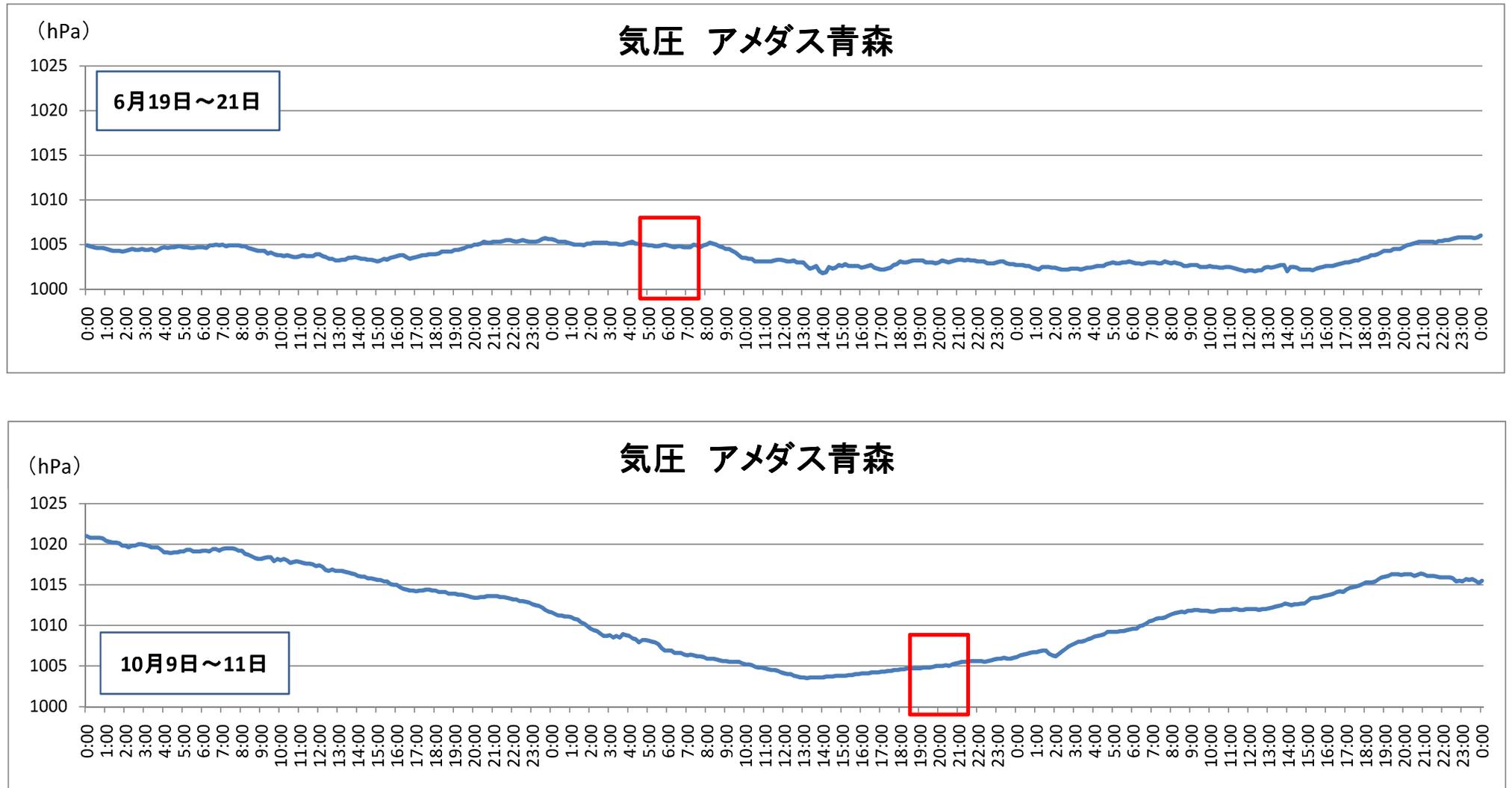


図4-3 似た気象条件の事故発生日6月20日と10月10日の比較3

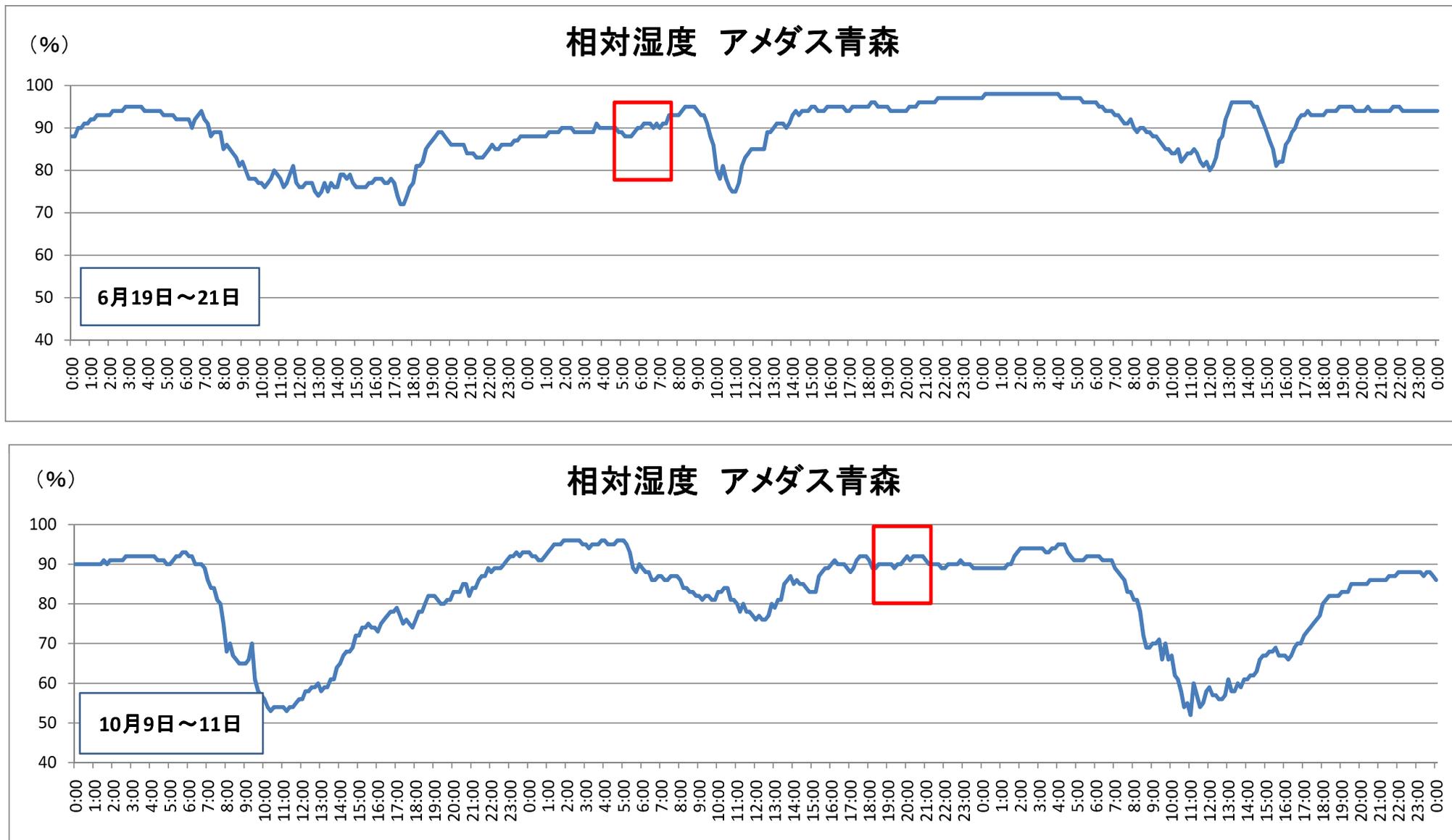


図4-4 似た気象条件の事故発生日6月20日と10月10日の比較4

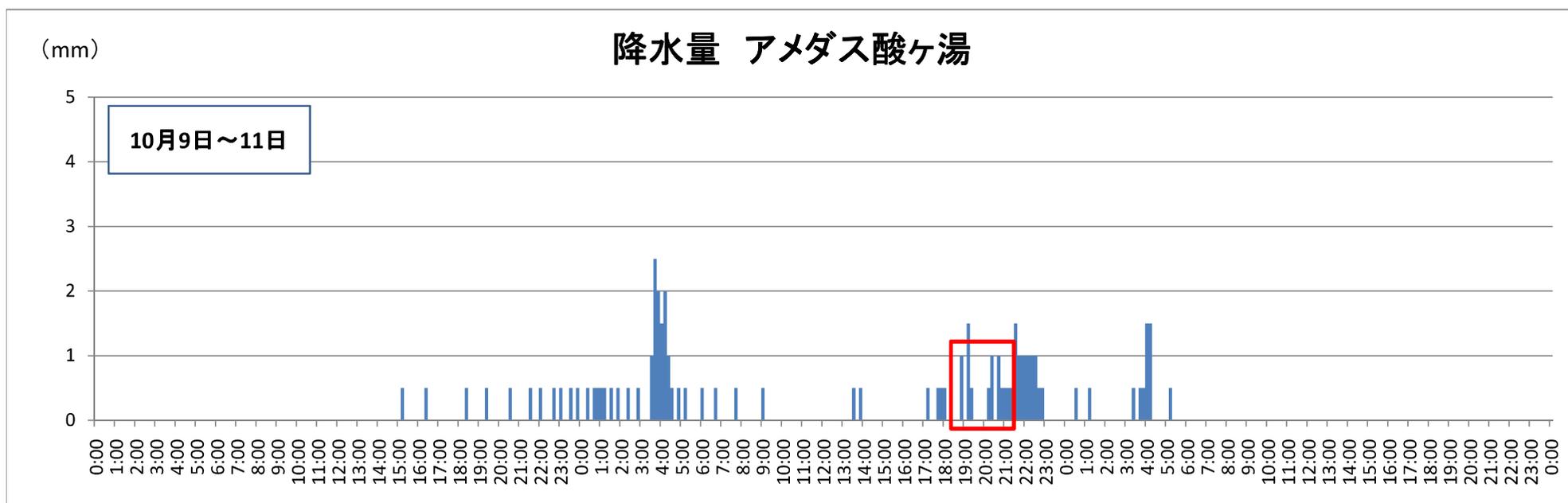
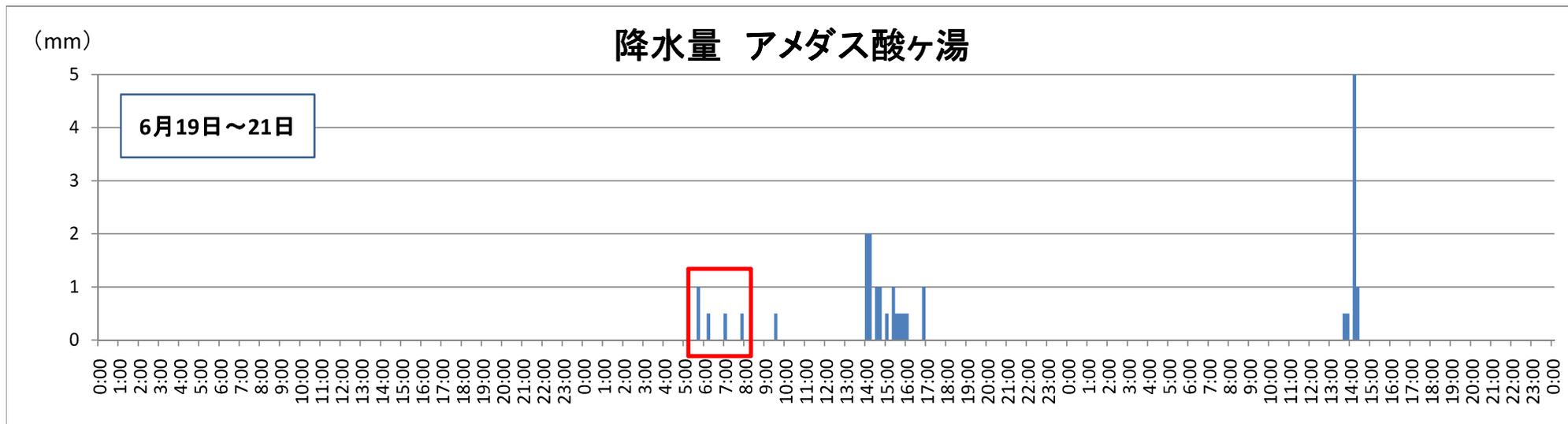


図4-5 似た気象条件の事故発生日6月20日と10月10日の比較5

6. おわりに

本調査は、火山性ガスが原因とみられる事故の原因を解明し、今後の災害発生の予防対策に資することを目的として、エヌエス環境（株）が実施した火山性ガスの連続測定調査、高濃度の発生源調査、気象データの連続調査結果及び弘前大学が独自に実施した調査結果を解析したものである。

本調査の実施に当たり種々のご高配を賜った、環境省、林野庁、青森県、青森市など担当関係各位に深く感謝する。赤外線映像を撮影解析し提供くださった弘前大学理工学研究科助教石田祐宣先生に感謝する。

平成23年1月 鶴見 實