

第2章 調査結果

2-1 温度調査業務

温度調査は、以下の種目と数量を実施した。

- A 浅層温度 302 箇所
- B 孔内温度測定 324m
- C 赤外線カメラによる表面温度測定 8 地点

各調査の実施数量を表 3-2-1 に、実施位置を図 3-2-1 に示す。

図 3-2-1 温度調査実施数量表

調査項目		地点番号	当初数量	実施数量	変更理由		
1) 温度調査	(1) 浅層温度調査(箇所)	—	302	302	—		
	(1) 合計		302	302	—		
	(2) 孔内温度調査(m)	b-25		24	22	①②	①測定ケーブルのウェイト長(1m)を減 ②調査孔底の埋塞 ③観測井戸の損失 ④再測定 ⑤新規追加
		b-30		31	29	①②	
		b-36		21	20	①	
		b-40		41	39	①②	
		b-43		26	23	①②	
		b-46		5	0	③	
		b-48		26	24	①②	
		B-01		0	7	⑤	
		b-22		0	26	⑤	
		b-23		0	38	⑤	
		b-24		0	36	⑤	
b-31		0	11	④			
b-34		0	23	⑤			
b-38		0	26	⑤			
(2) 合計		218	324	—			
(3) サーマグラフィー(式)	—	1	1	可視画像同時撮影の機能を追加。			
(3) 合計		1	1	—			

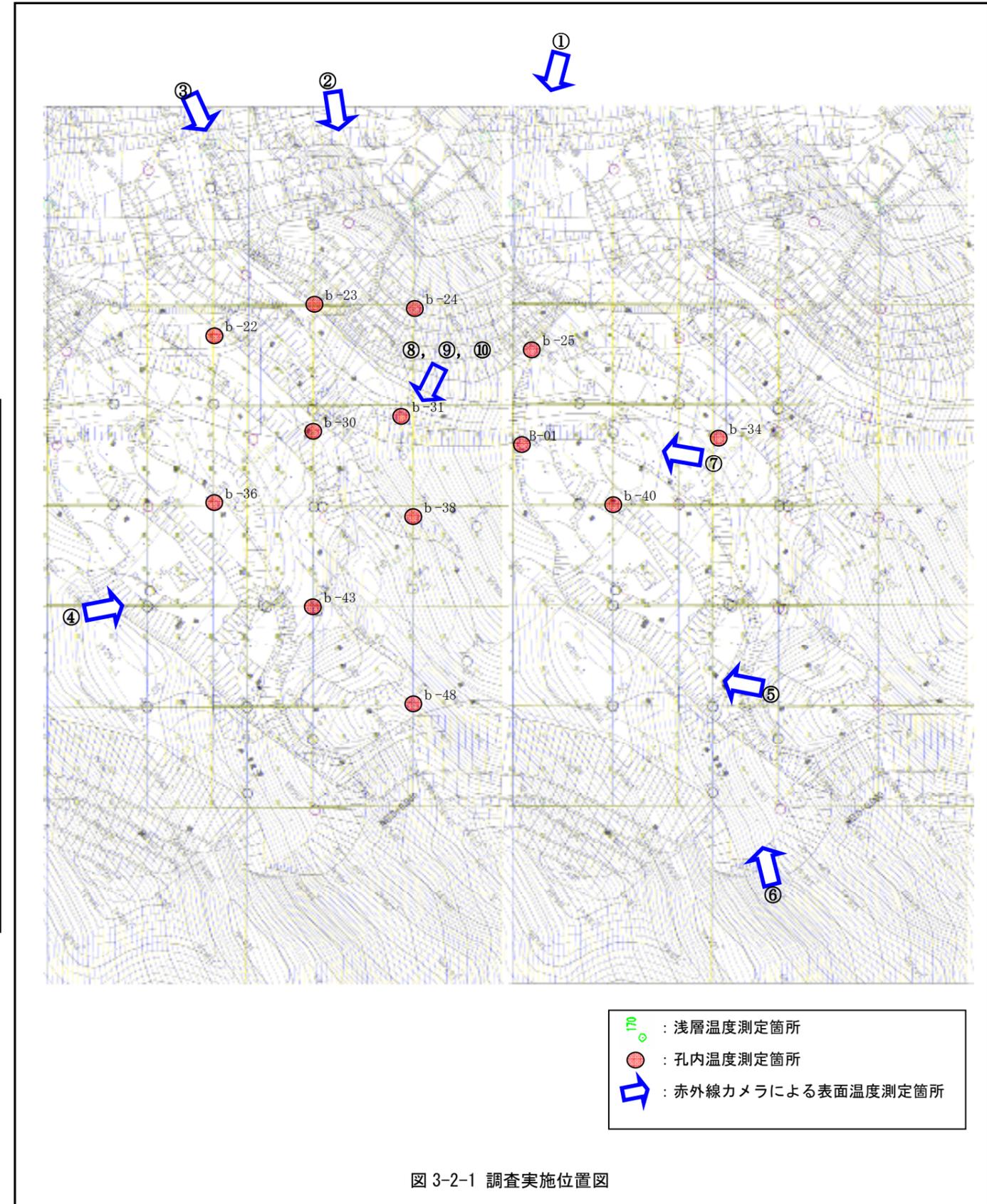


図 3-2-1 調査実施位置図

2-1-1 浅層温度測定

浅層温度測定は、図3-2-1に示す302箇所について実施した。温度測定は、外気温影響を排除するため、地表面下0.5～1.0mの深度まで削孔し平衡温度を測定した。浅層温度の測定結果を用い平面図に温度分布をとりまとめた(図3-2-2参照)。浅層温度の分布特徴を以下に示す(測定結果一覧表は巻末添付)。

- ① 最高温度: 57.0 °C
- ② 最低温度: 21.5 °C
- ③ 平均温度: 28.0 °C

温度分布の概況は、有機物の優勢分布箇所が高め、土砂の優勢分布箇所では低めの傾向をなす。また、土砂の優勢分布箇所あっても表層に植生が見られる箇所は温度が若干高めの傾向にあった。

浅層温度測定に併せて、場内の代表的土質等(有機物:C層、土砂:S層、岩盤:B層)の温度を一時間毎に深度1.5mまで測定した(測定間隔0.3m)。測定結果を図3-2-3に結果要点を以下に示す。

- ④ 外気温影響深度: 各層共にGL-0.0～0.6mまで外気温影響がある。以深は温度上昇傾向にある。
- ⑤ 最高温度(0.0m): C層:42.0 °C S層:26.5 °C B層:29.0 °C 外気温:34.0 °C
- ⑥ 最低温度(0.0m): C層:15.5 °C S層:13.5 °C B層:14.5 °C 外気温:11.5 °C
- ⑦ 平均温度(0.6m以深): C層:32.0 °C S層:22.4 °C B層:20.7 °C 外気温:19.4 °C

代表土質等の温度状況は、GL-0.6mより浅いゾーンでは、外気温の影響を受け、それ以深は比較的安定した温度状況を示している。浅層温度測定結果について代表土質の温度状況を参照し解釈した結果を以下に示す。

- ⑧ 廃棄物層内の温度は廃棄物層中の発熱およびその蓄熱により、周辺温度より高い状況にある。
- ⑨ 浅層温度は植生による蓄熱効果を若干受けている。
- ⑩ 浅層温度が35°Cを超える箇所は、廃棄物内部の発熱が地表面まで熱移動し、大気への放熱箇所となっているものと考えられる。

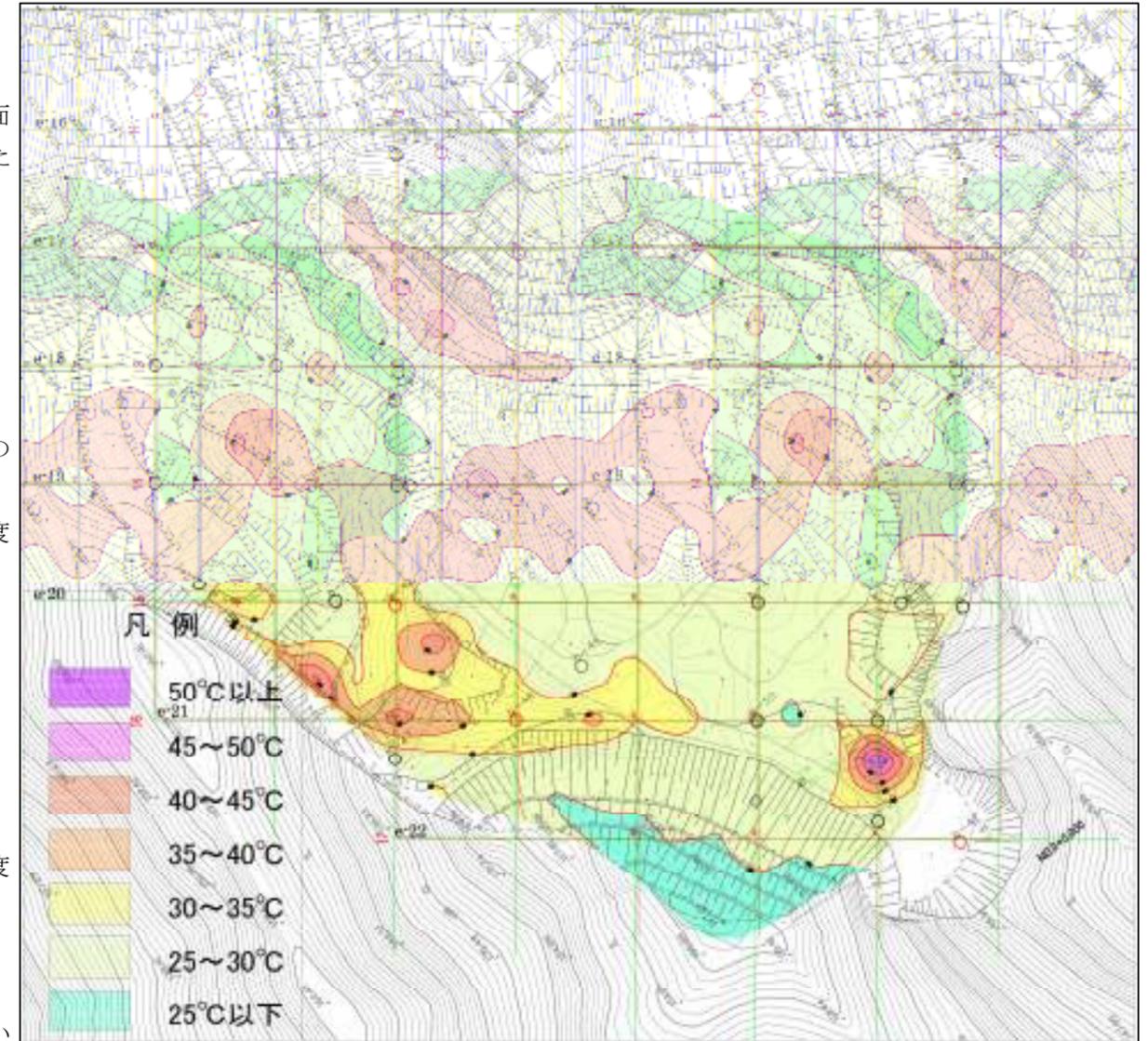


図3-2-1 浅層温度分布

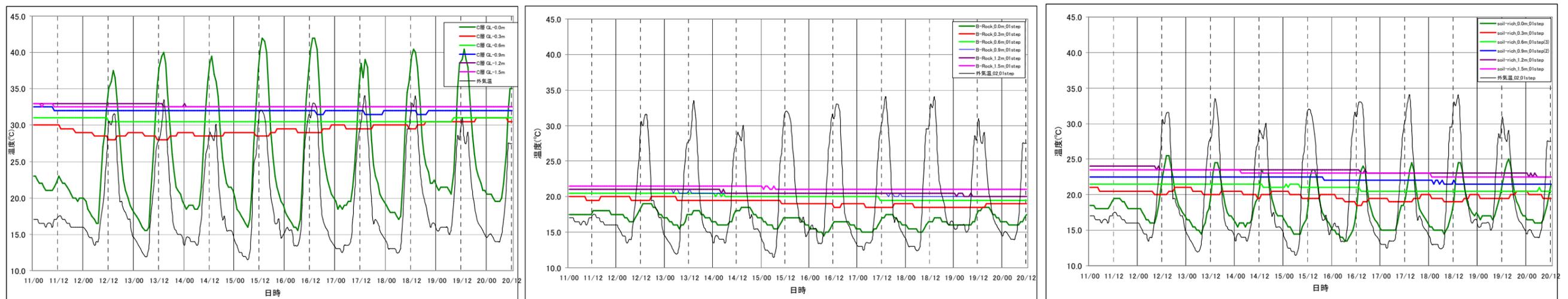


図3-2-3 代表的土質等の温度状況〔左:C層 中:S層 右:B層〕

2-1-2 孔内温度測定

孔内温度測定の結果を表 3-2-2 に示す。孔内温度測定は、13 箇所の既存ボーリングを利用して 324m を実施した。なお孔内温度測定は、温度測定端子(熱電対)の感知時間を考慮して、所定深度の平衡温度を測定した。

孔内温度調査の結果のうち代表的ケースを図 3-2-4 に示す。測定結果全般としては以下の傾向にあった(b-31 除く)。図 3-2-5~6 に全ボーリングの孔内温度状況を示す。

- ①最高温度: 84.7 °C (563.9°C b-31 を含む場合)
- ②最低温度: 25.3 °C
- ③平均温度: 49.4 °C (55.7°C b-31 を含む場合)

ほとんどの孔内温度は、60°C以下であり、主に混合物主体層中の有機物の発酵による発熱温度を測定したものと考えられる。ただし、b-31、b-40 の 2 孔は、60°C以上の温度を測定しており、その付近では、発酵温度を超える発熱現象が生じているものと考えられる。なお、b-31 孔で測定した最高温度 約 563.9°Cは、温度計の表示が平衡安定しなかったため、揺れ動く表示値の平均的数値を読取った。孔内温度測定に際しての特筆点を以下に示す。

- ④b-31は GL-11m付近まで測定したが、以深は孔が詰まっていた(高温による塩ビパイプ融解炭化-閉塞)。
- ⑤④の際の平衡温度は 70°C~300°Cの幅で揺れており、安定しなかった。
- ⑥④の際に温度計の錘で孔底閉塞部を軽打すると、温度計がわずかに深い箇所に沈み込んだ。
- ⑦⑥の状態における測定温度は 440°C~1000°Cで揺れた。ただしそれら温度は平衡温度を示すには至らなかった(写真 3-2-1 参照)。
- ⑧b-40 の最高温度は 84.7°Cを確認しており、周辺部温度より高い傾向にあった。



写真 3-2-1 b-31 孔底部の温度測定状況

表 3-2-2 孔内温度調査結果の代表データ

dep (m)	b-01	b-22	b-23	b-24	b-25	b-30	b-31	b-34	b-36	b-38	b-40	b-43	b-48
	T(°C)												
0	48.4	29.3	48.4	26.8	26.7	54.8	74.2	28.7	49.4	39.5	25.3	28.4	43.9
2	51.4	33.2	54.4	33.9	27.9	57.2	86.0	33.7	53.0	39.5	43.9	43.2	45.8
4	53.0	44.4	56.7	44.3	32.0	59.4	99.7	40.0	53.5	39.2	59.9	43.9	47.4
6	53.3	54.9	57.5	50.7	38.4	60.7	128.2	42.7	53.5	38.9	65.7	45.0	47.9
8	54.2	56.9	57.5	52.4	45.0	61.5	232.9	44.9	53.0	41.3	72.6	45.8	48.8
10		57.5	57.5	52.1	48.8	61.8	300.6	51.0	48.6	46.1	78.2	46.2	49.7
12		57.6	57.3	51.5	52.4	61.4	563.9	52.8	47.1	46.9	82.5	46.3	50.1
14		57.5	56.6	48.5	56.1	60.8		54.0	46.1	46.8	84.6	46.4	50.0
16		56.0	55.4	46.0	58.8	60.6		54.8	44.5	47.3	84.7	46.4	49.8
18		52.5	53.2	41.9	60.3	60.5		55.4	42.3	47.0	81.9	46.0	49.5
20		49.1	50.7	40.5	60.9	60.2		54.8	40.2	47.6	79.0	46.0	48.8
22		47.1	46.6	39.0	60.3	60.1		51.8		47.4	75.0	45.1	48.1
24		44.0	42.0	36.4	60.2	59.9		50.3		47.3	71.0	45.0	47.8
26		41.7	39.0	35.5		59.4				46.8	65.1		
28			37.4	33.4		58.5				46.8	61.7		
30			35.3	32.2		58.3					59.7		
32			33.4	30.7							55.5		
34			31.0	29.9							50.4		
36			29.3	29.0							46.1		
38			27.0								43.9		
40											39.1		

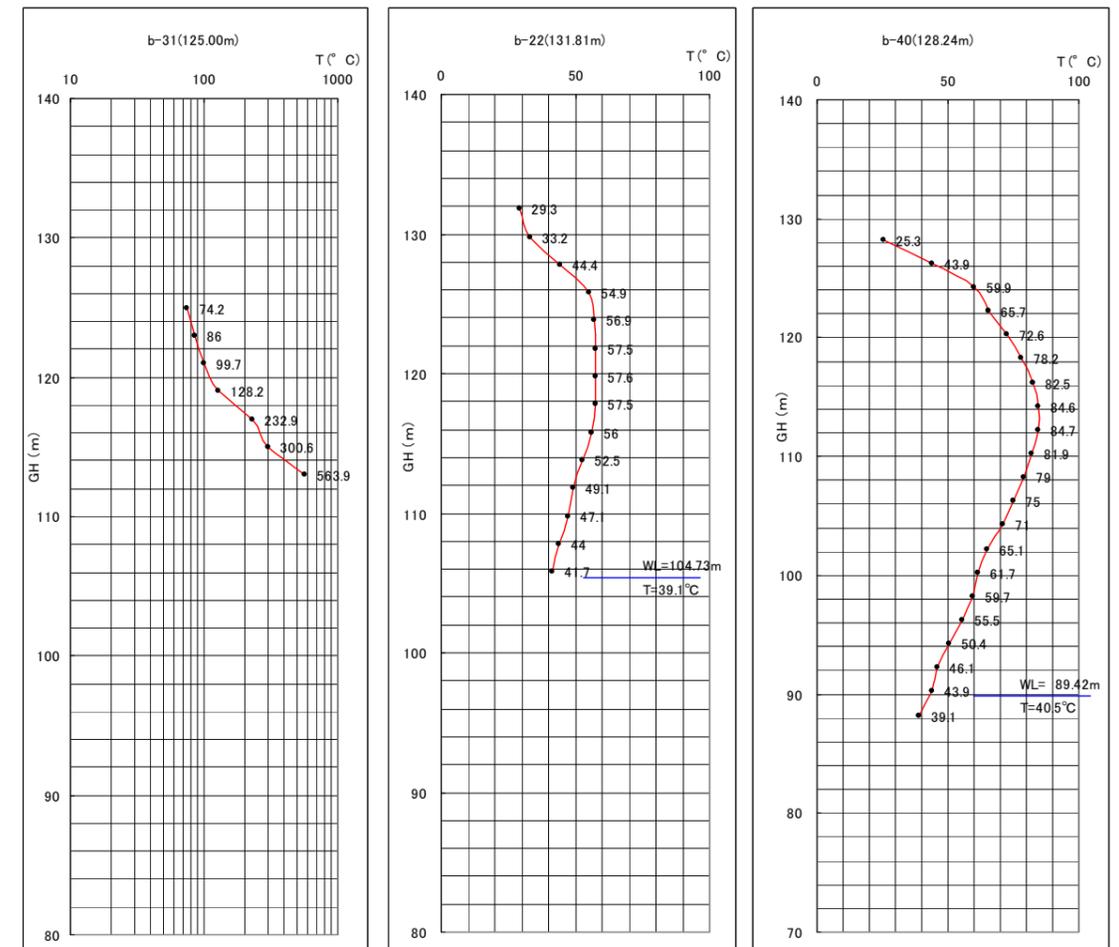


図 3-2-4 孔内温度調査結果の代表データ

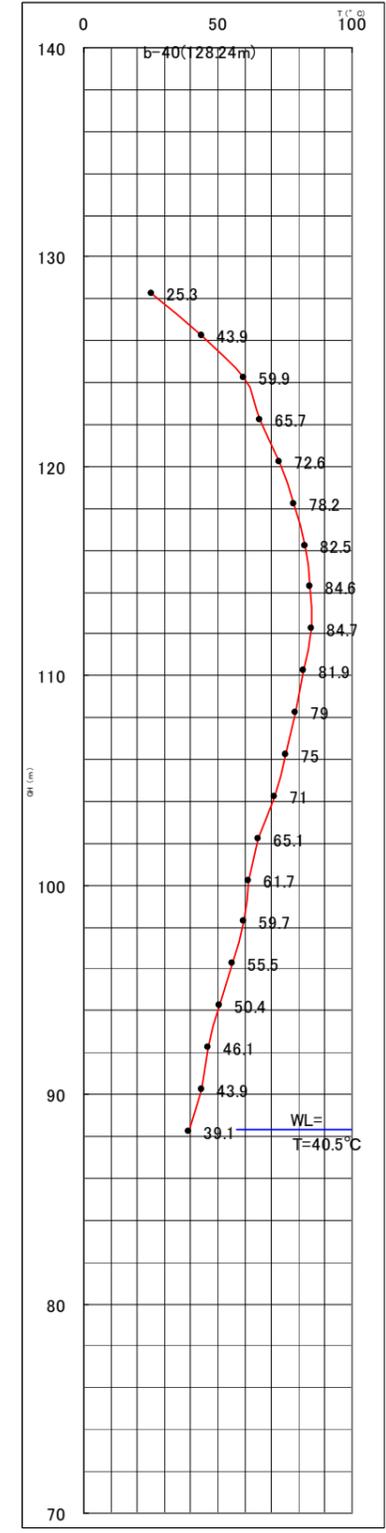
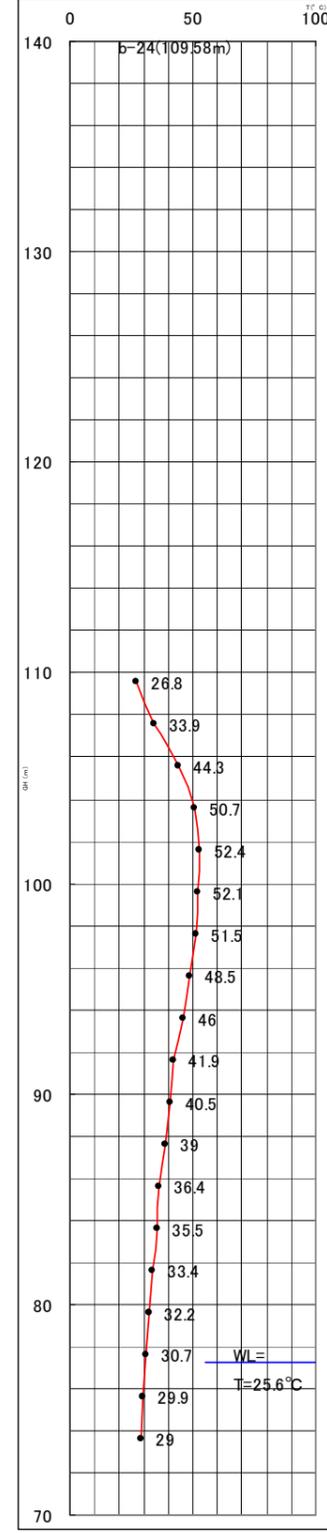
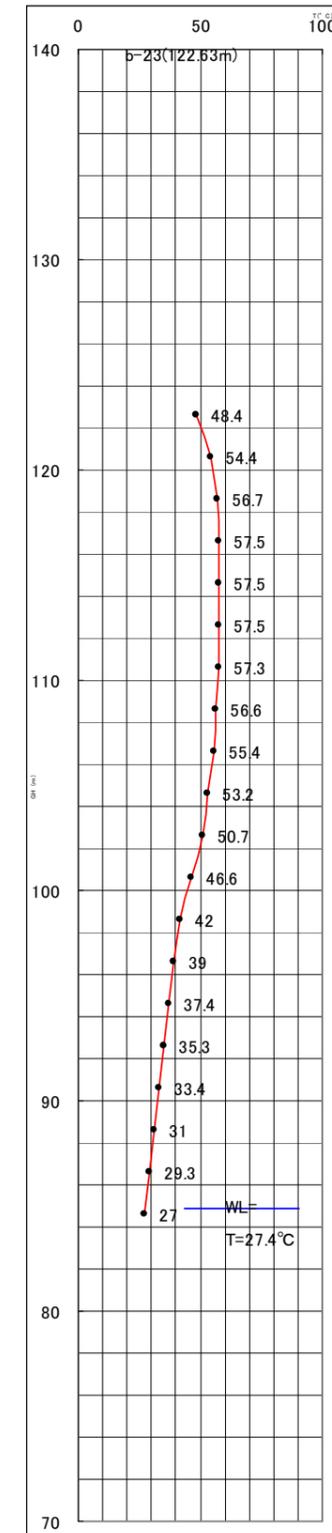
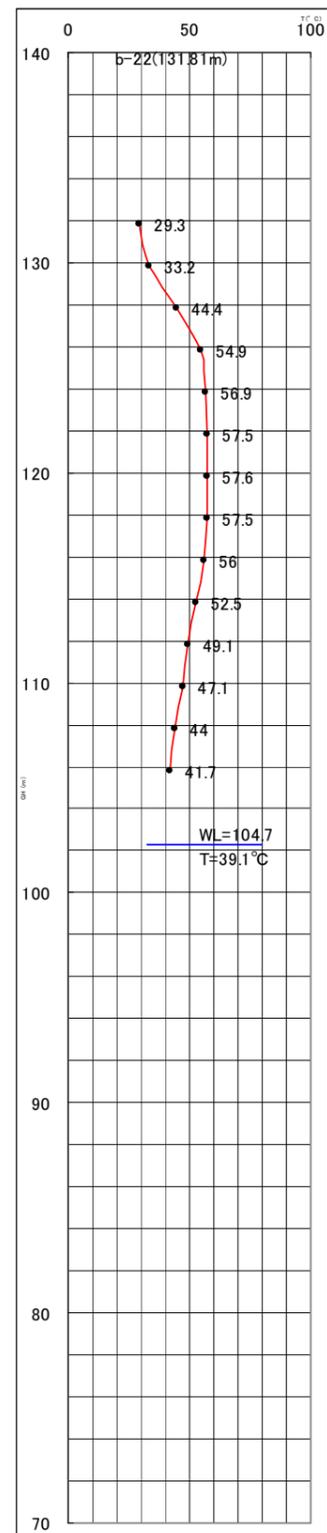
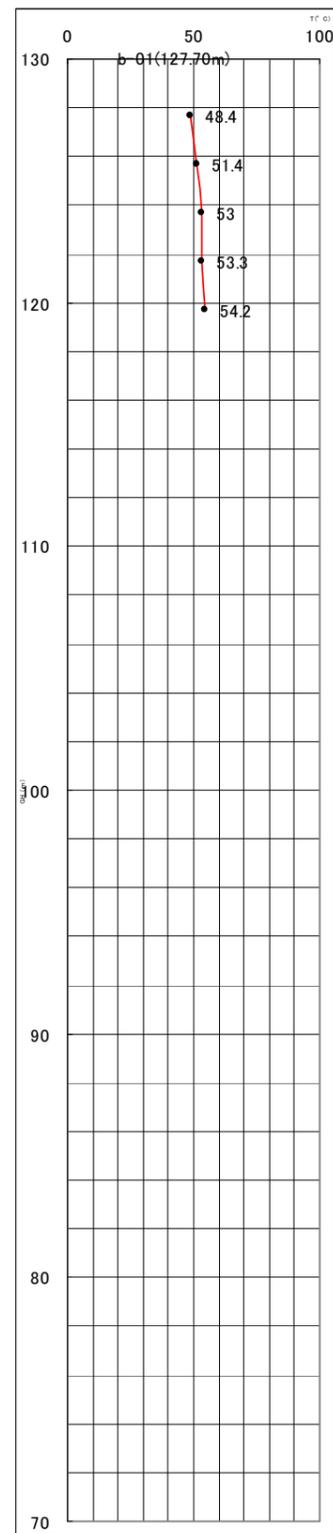
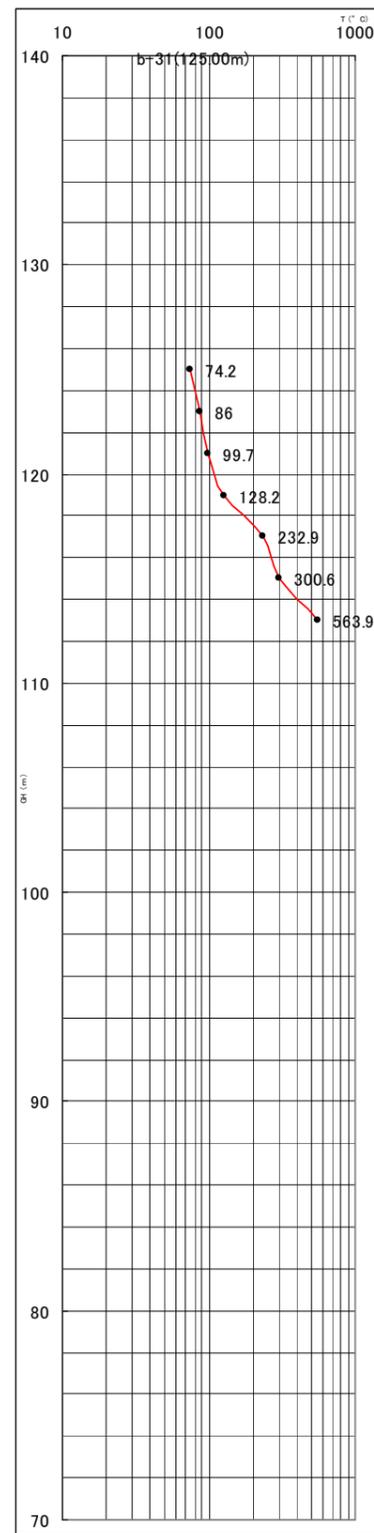


图 3-2-5 孔内温度调查结果①

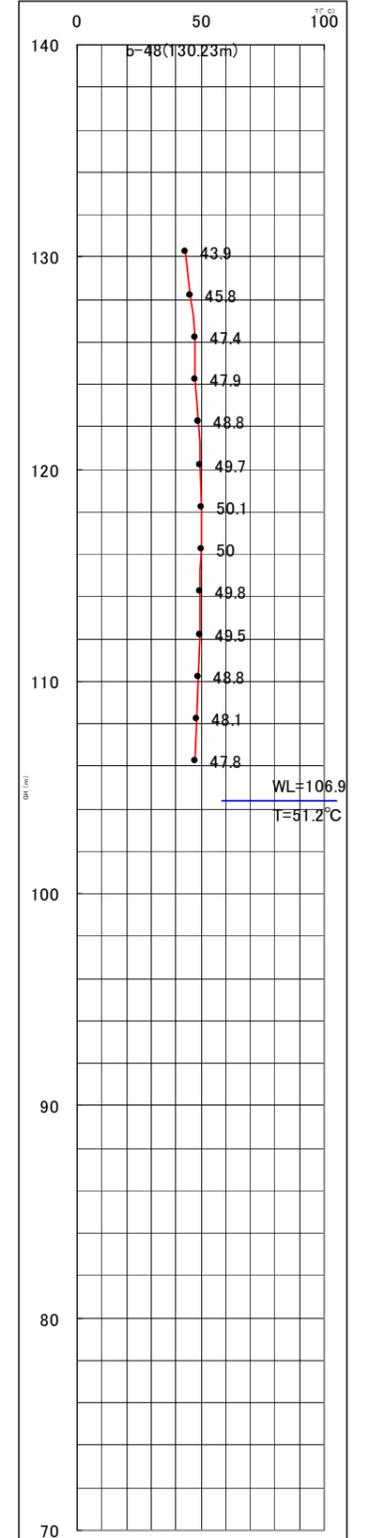
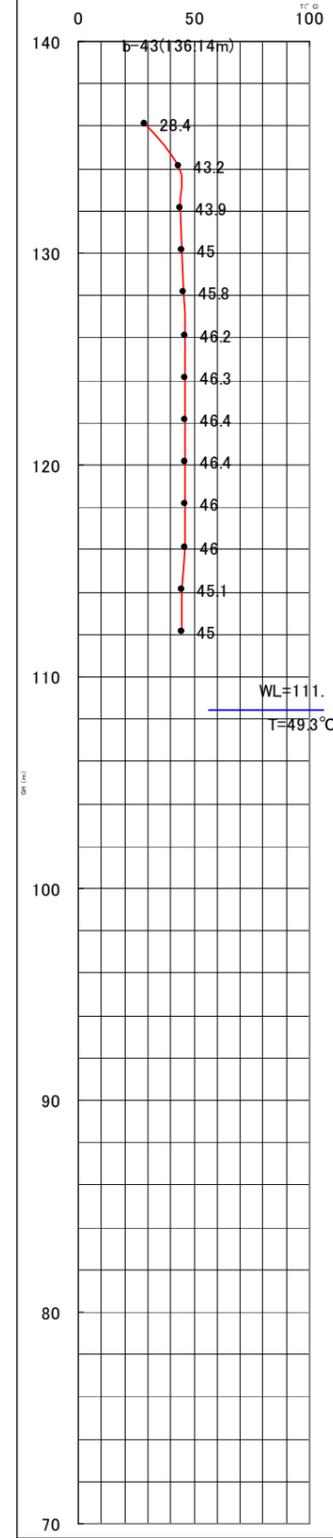
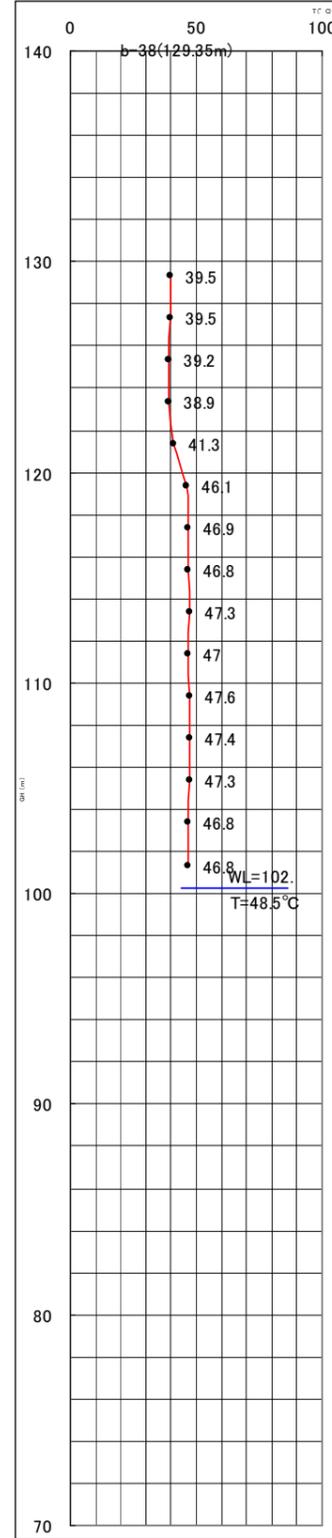
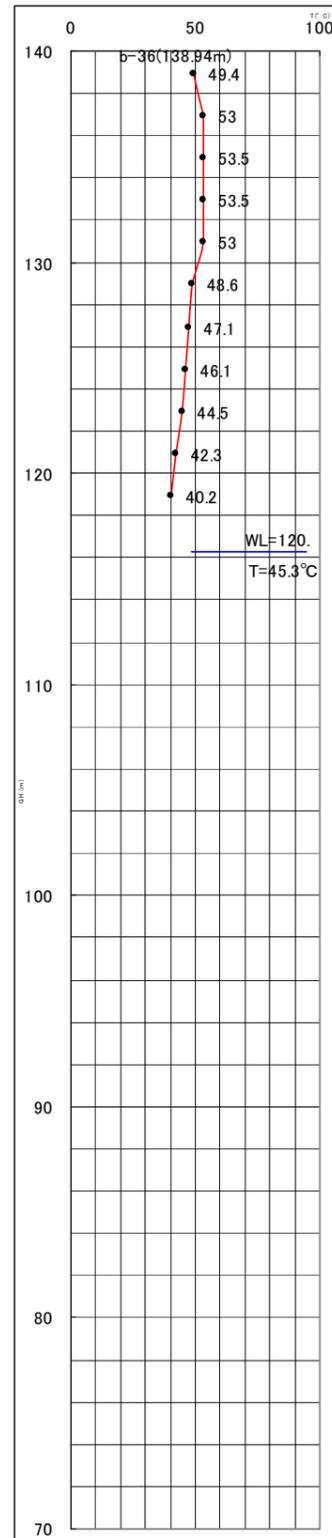
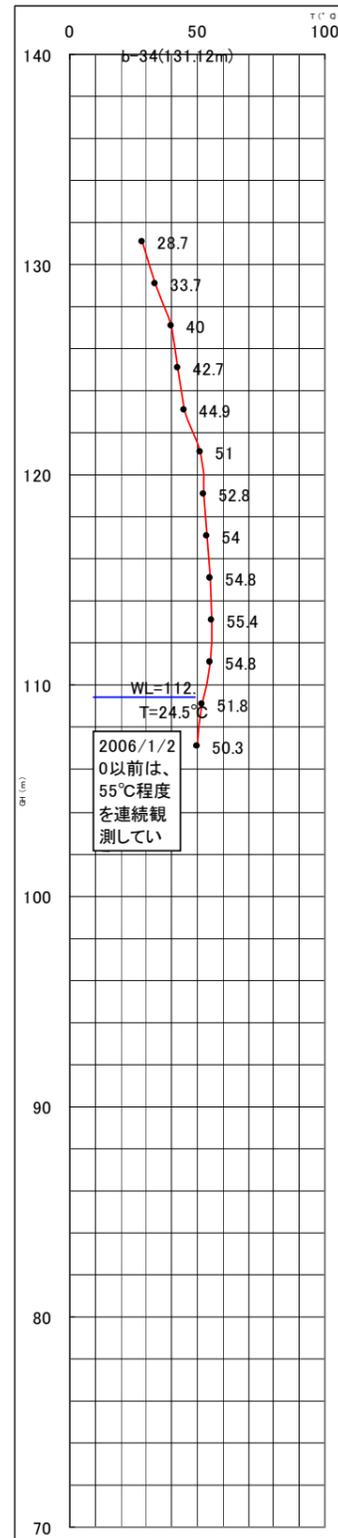
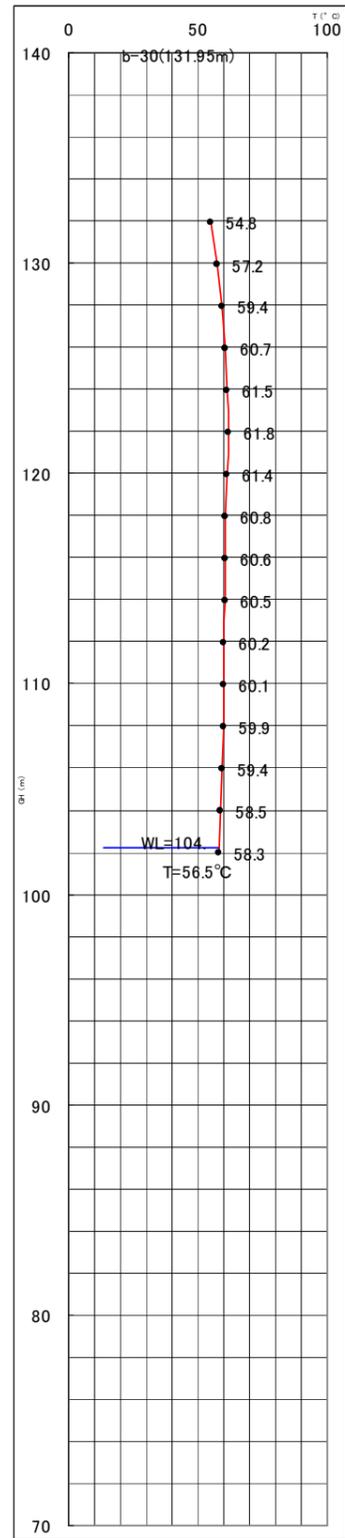
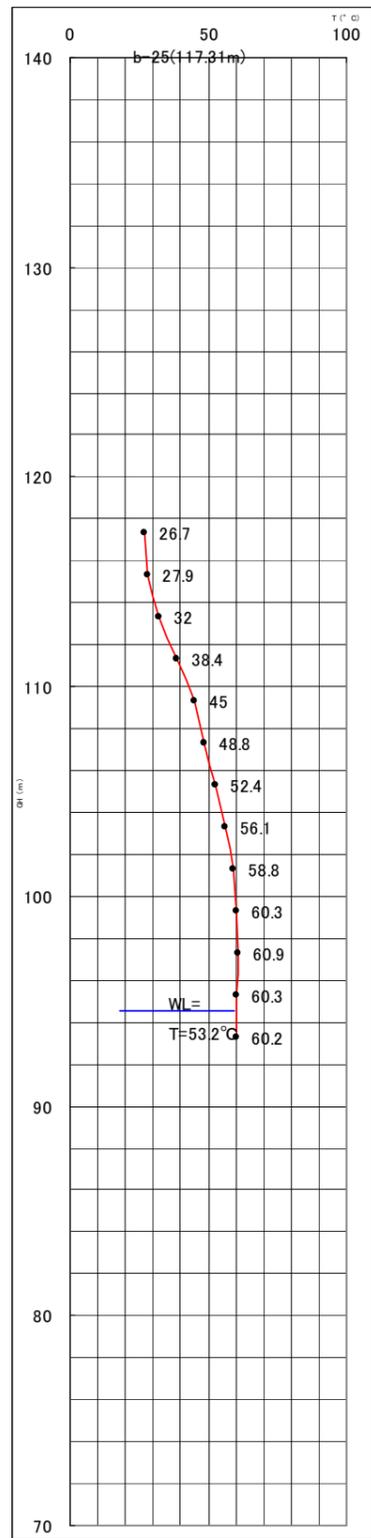


図 3-2-6 孔内温度調査結果②

2-1-3 赤外線カメラによる地表温度測定

赤外線カメラによる温度測定(サーモグラフィカメラ)は、図 3-2-1 に示す 8 箇所からの測定を実施した。温度測定は、日射や外気温・湿度の影響を排除するため冬季の早朝に実施した。しかし本年の暖冬影響をうけ、測定日程のうち 1 日は温暖状態での測定となった。温暖気温の影響排除は解析画像の温度表示帯域を調整し、高温部と低温部の差を可視的に求めた。図 3-2-7 に測定時の外気温を示す。

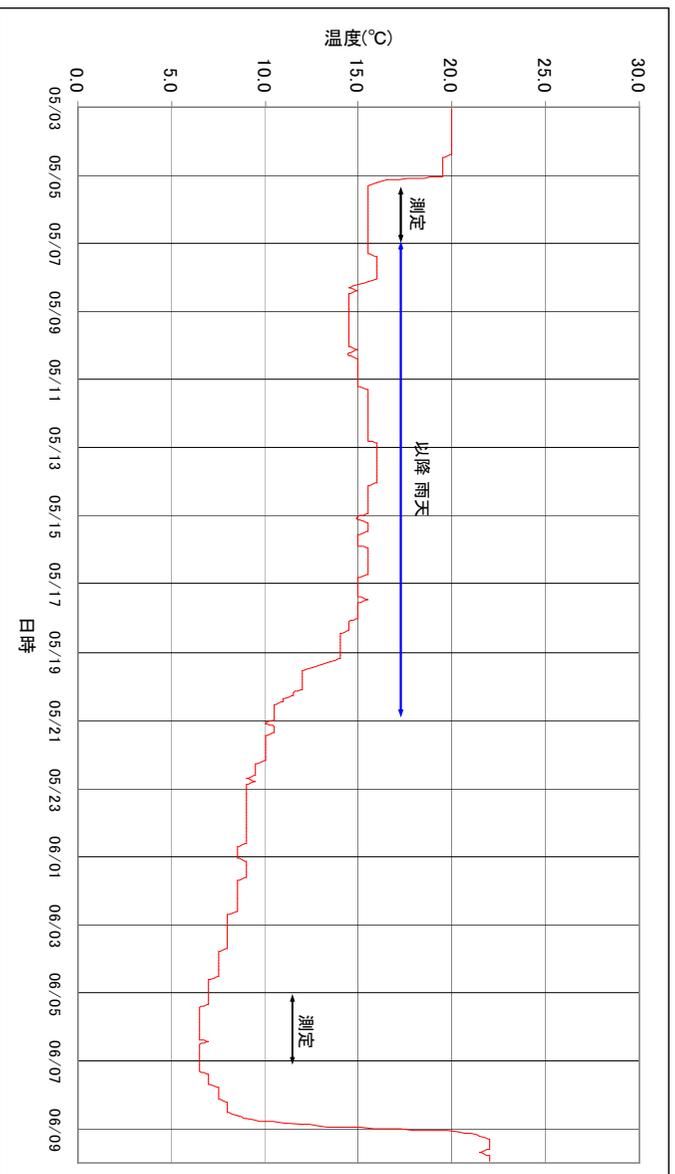
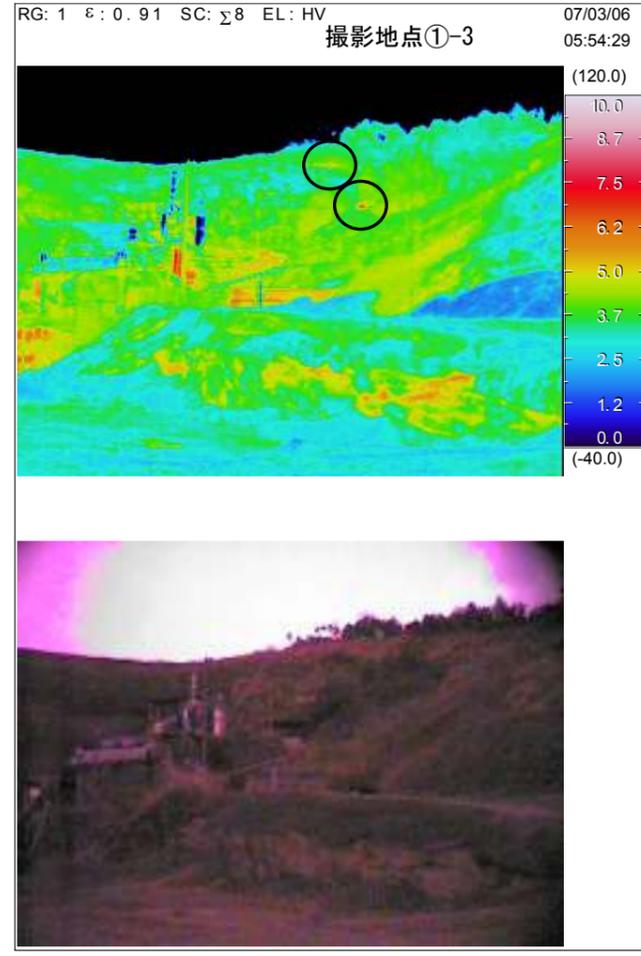
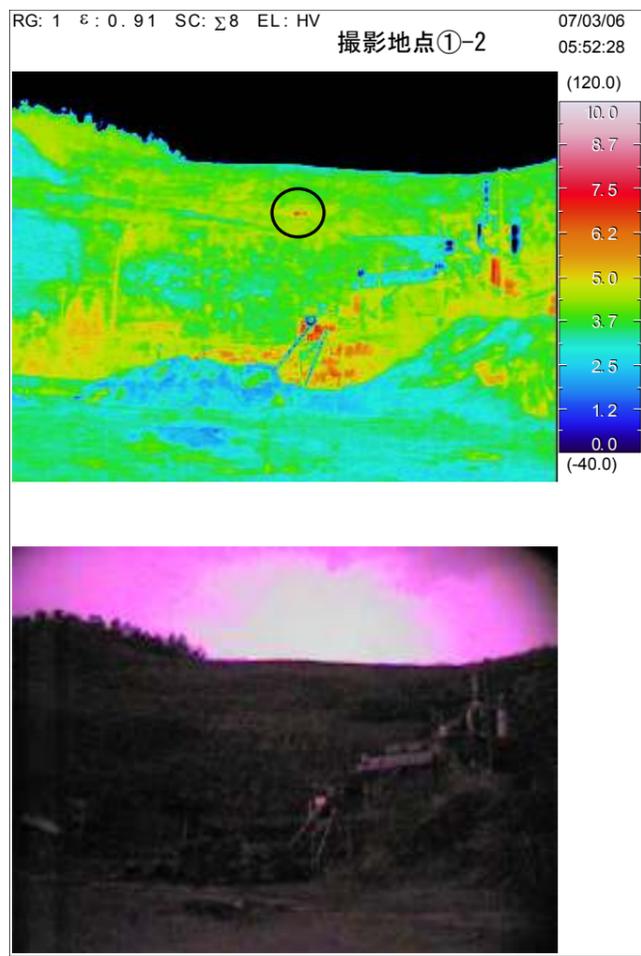
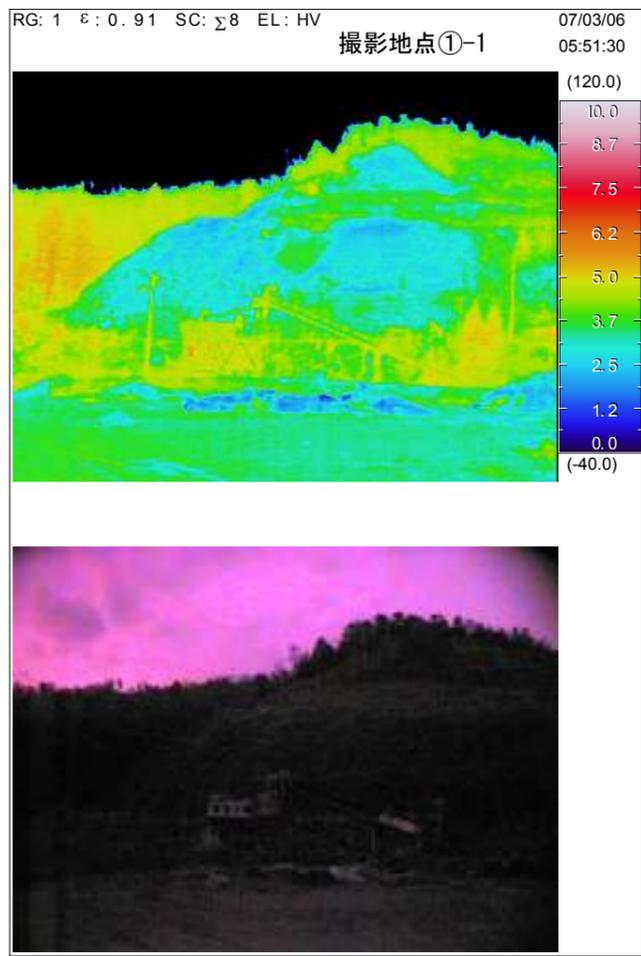


図 3-2-7 測定時の外気温

赤外面像については、観測時には判然としなかったが解析時に赤外面像を調整したところ、植生部の隙間から漏れる僅かな温度差等を捉えることができた。図 3-2-8～17 にサーモグラフィカメラによる温度測定結果を示す。以下に測定結果の要点を示す。

- 地点①～③晴:北側斜面の近景:周辺温度約 2.5～4.0°Cに約 6～7°Cが点在。
- 地点④～⑥曇～雨:西側から頂部全景:周辺温度約 10°C中に約 14°C超の分布あり。
- 撮影⑦晴:頂部北側:周辺温度約 2.5°Cに 3°Cを超える箇所が分布する。
- 撮影⑧～⑩晴:b-31 付近:周辺温度約 3°Cに 4.5°Cを超える箇所が分布する。

なお撮影地点⑧～⑩については、場内通路の端に掘削された排水路状の溝と法尻に高温部が連続している。この原因として、前日の降雨が有機物主体層を通過して温められ溝の部分を流下したケースも想定されるが、別途実施した浅層温度測定でも周囲より高い温度が確認されており、深部からの熱移動による放熱が生じていると考えられる。



撮影地点①
 測定日: 2007/03/06 外気温6.5(°C) 再測定
 岩盤と廃棄物に1°C程度、また植生の多い部分にコントラストが見られる。
 写真①-2の中央上部、廃棄物表面に植生の多い部分に7°Cを超える部分が見られる。
 7°Cを超える部分は、廃棄物の露出箇所付近である。
 写真①-3の中央やや右上部、廃棄物と岩盤の境界付近植生の多い部分に7°Cを超える部分が見られる。

撮影地点②
 測定日: 2007/03/06 外気温6.5(°C) 再測定
 岩盤と廃棄物、また植生の多少による温度コントラストが見られる。
 写真②-2~4に7°Cを超える部分が点在する。当該箇所は撮影地点①と同一箇所付近であり、植生の隙間を透過した赤外線を捕捉したものと考えられる。

図 3-2-8 撮影地点①

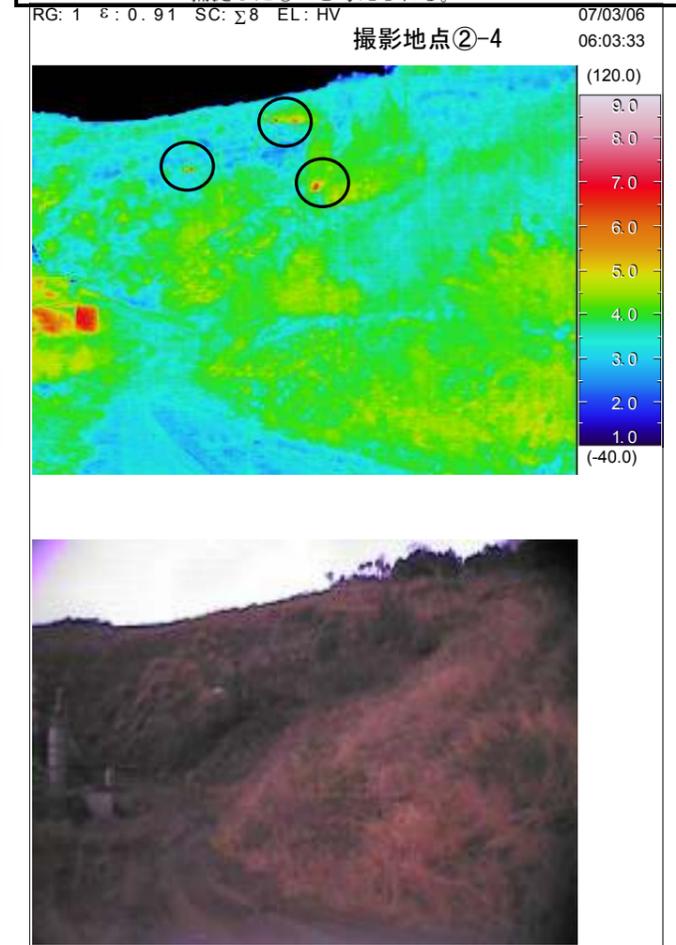
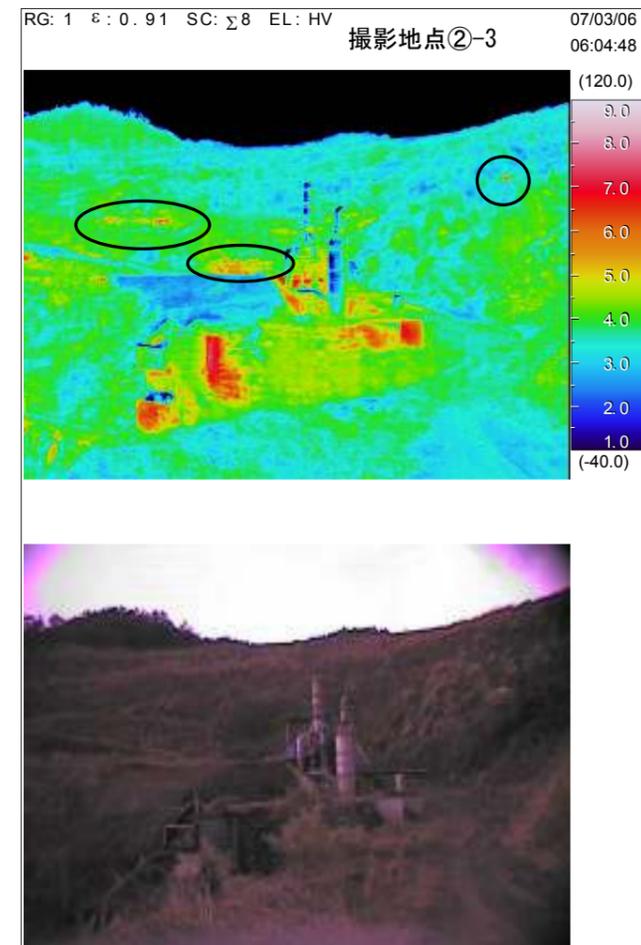
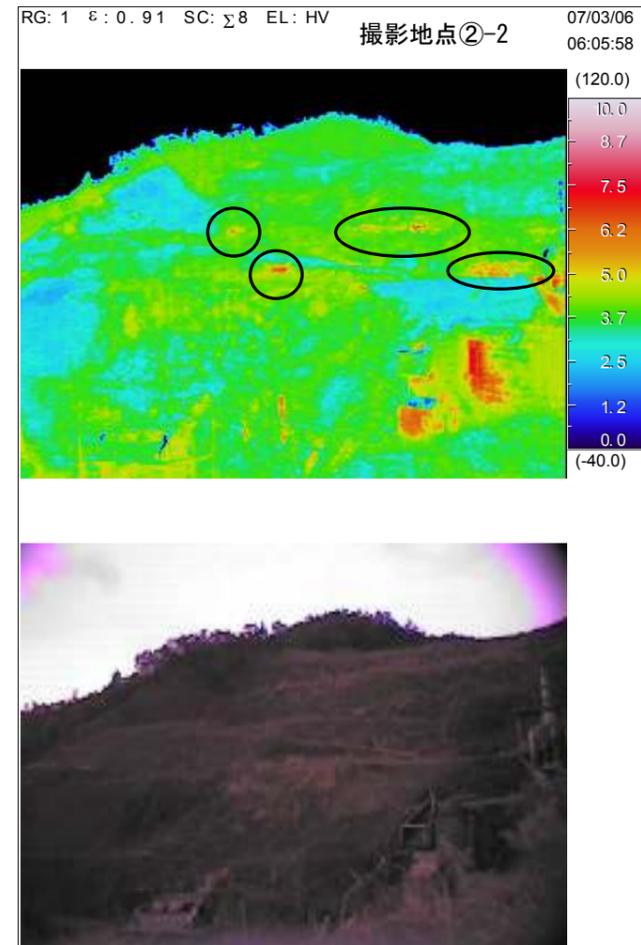
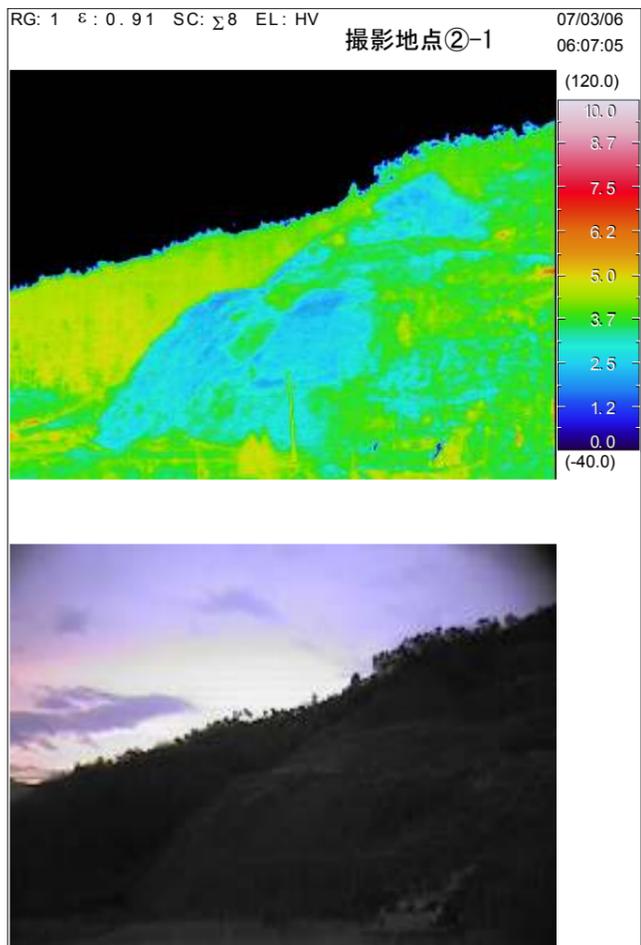
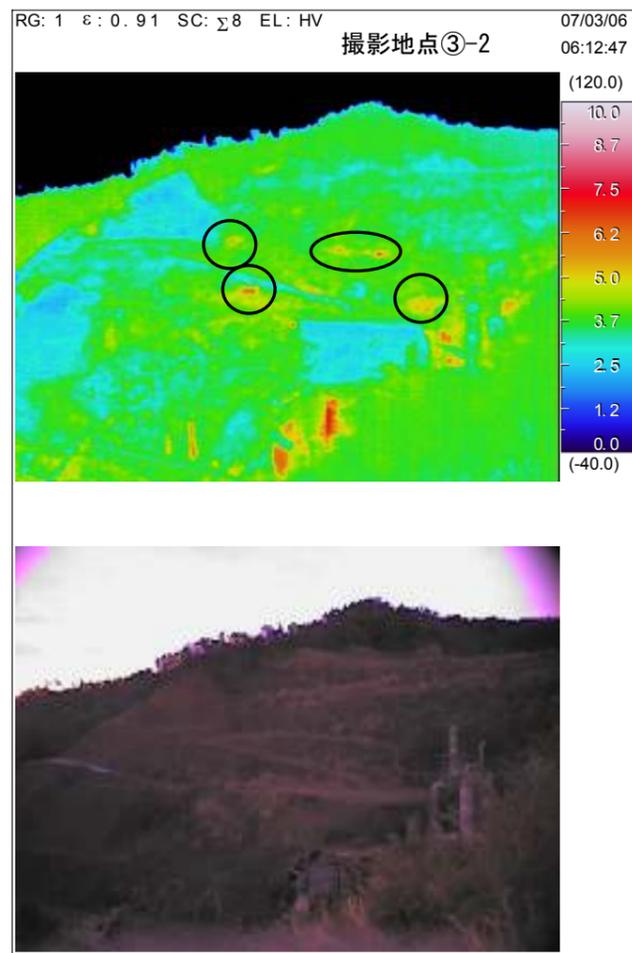
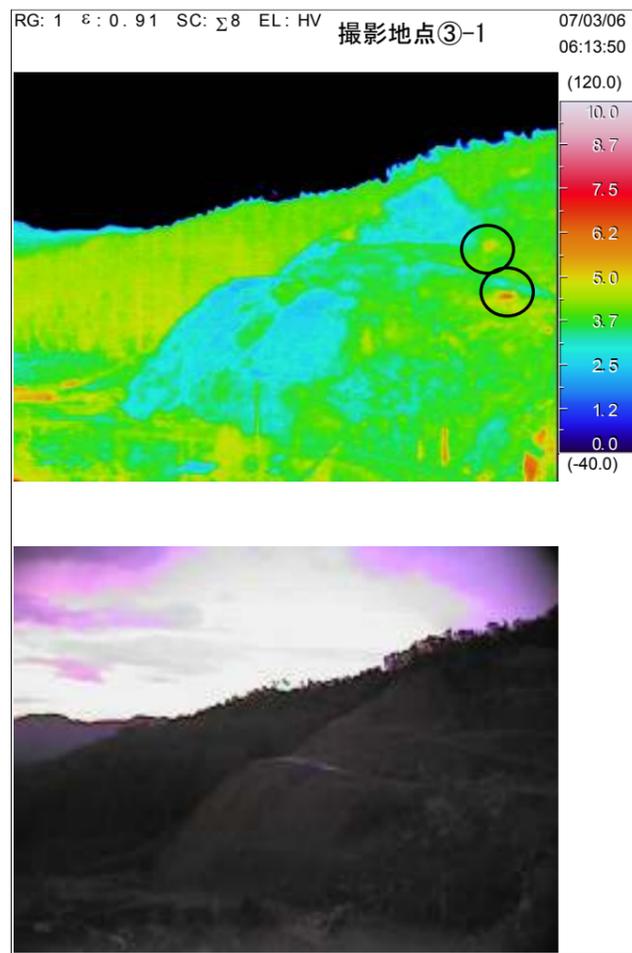


図 3-2-9 撮影地点②



撮影地点③

測定日: 2007/03/06 外気温6.5(°C) 再測定
 廃棄物と土砂また植生の多少による温度コントラストが見られる。
 写真③-2に7°Cを超える部分が点在する。当該位置は撮影地点①②と同一箇所付近である。
 7°Cを超える部分は、写真①②においても確認されている露出があり、植生の隙間を透過した赤外線を捕捉したのと考えられる。

撮影地点④

測定日: 2007/03/05 外気温15.5(°C)
 廃棄物と土砂また植生の多少による温度コントラストが見られる。
 写真④-2~3に15°Cを超える部分が点在し、有機物主体層の露出箇所と一致する。
 写真④-1~4に12°Cを超える部分が点在し、植生箇所と一致するが、赤線部は植生疎の状態であった。

図 3-2-10 撮影地点③

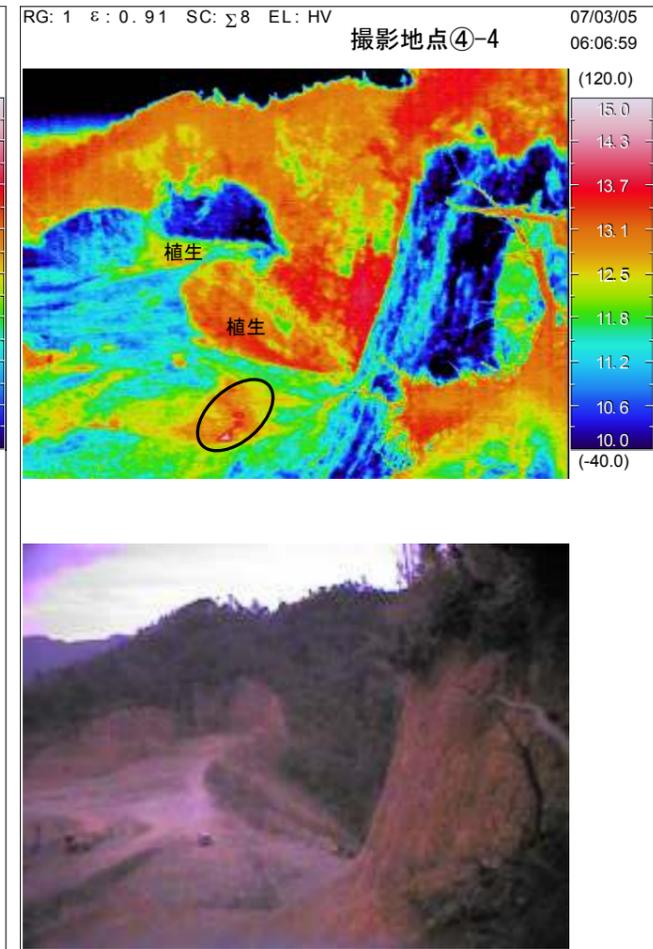
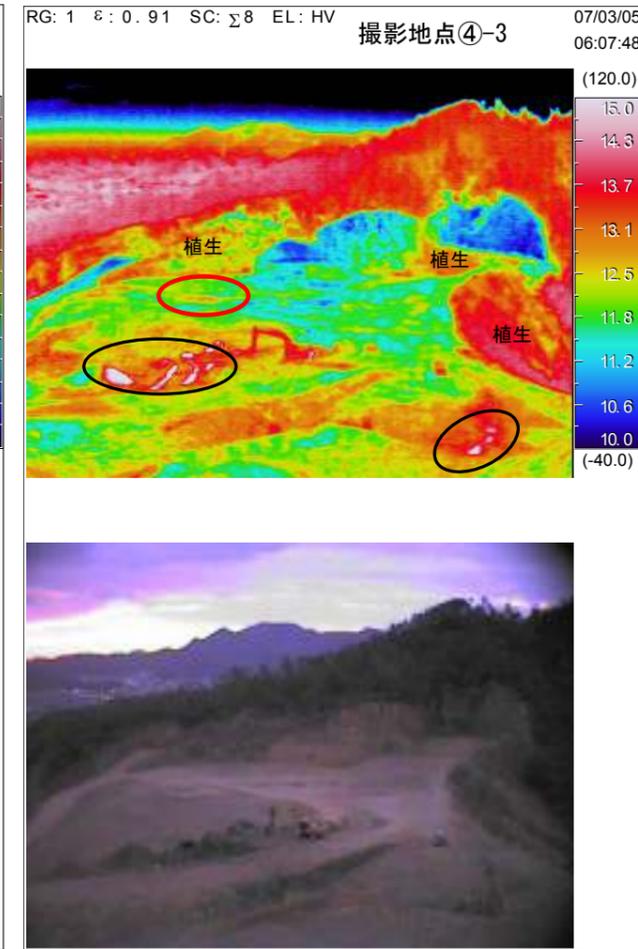
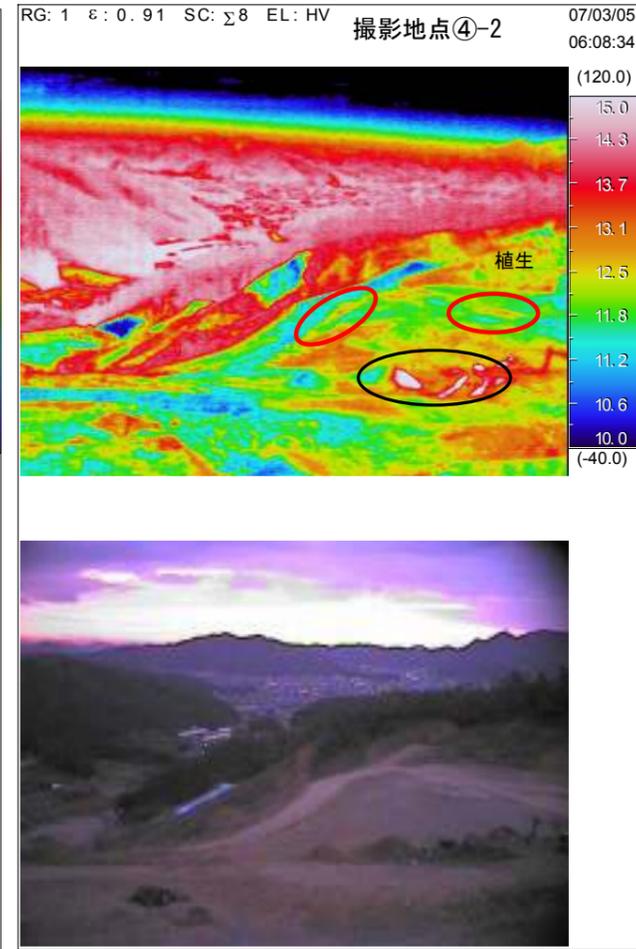
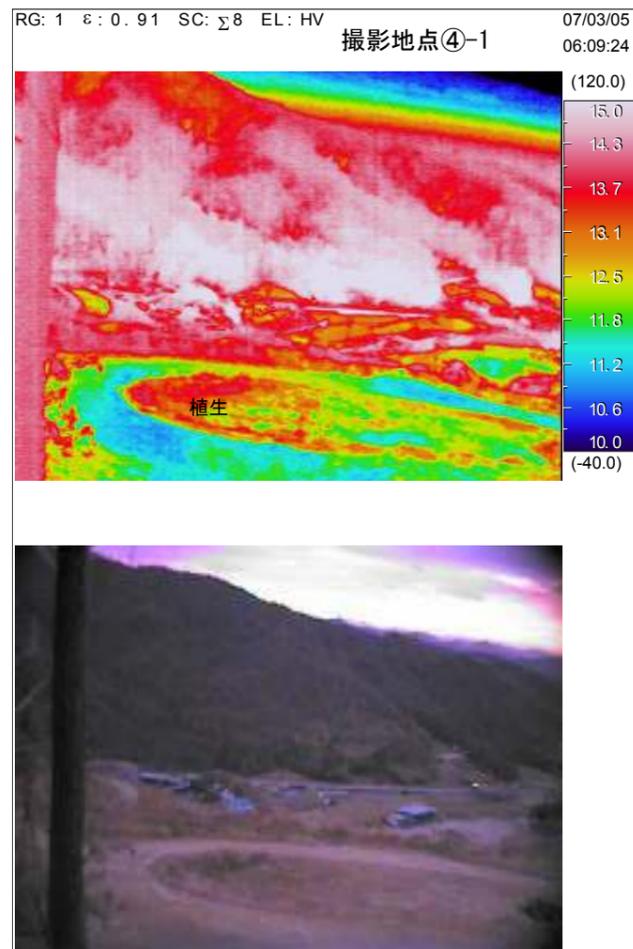
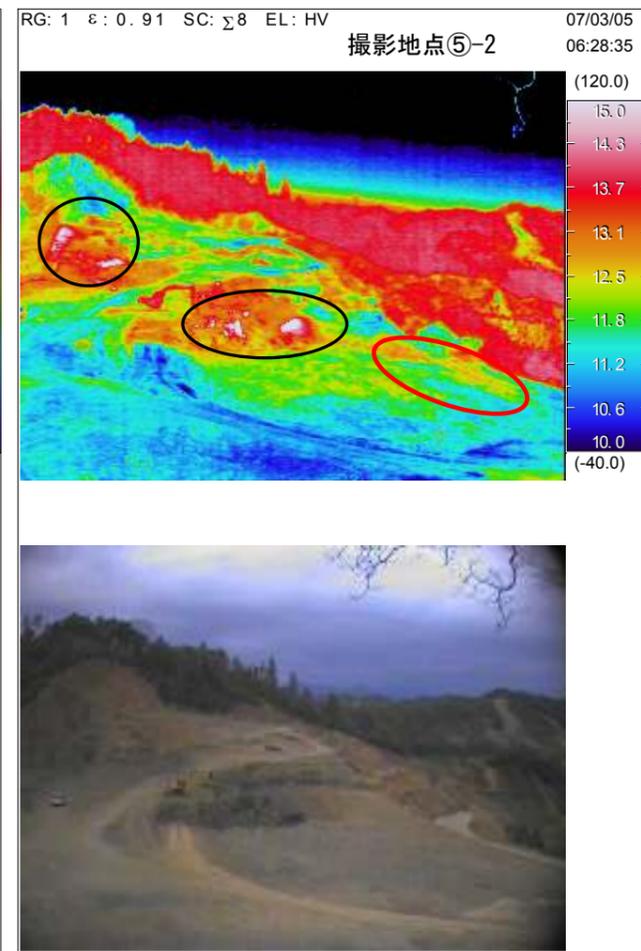
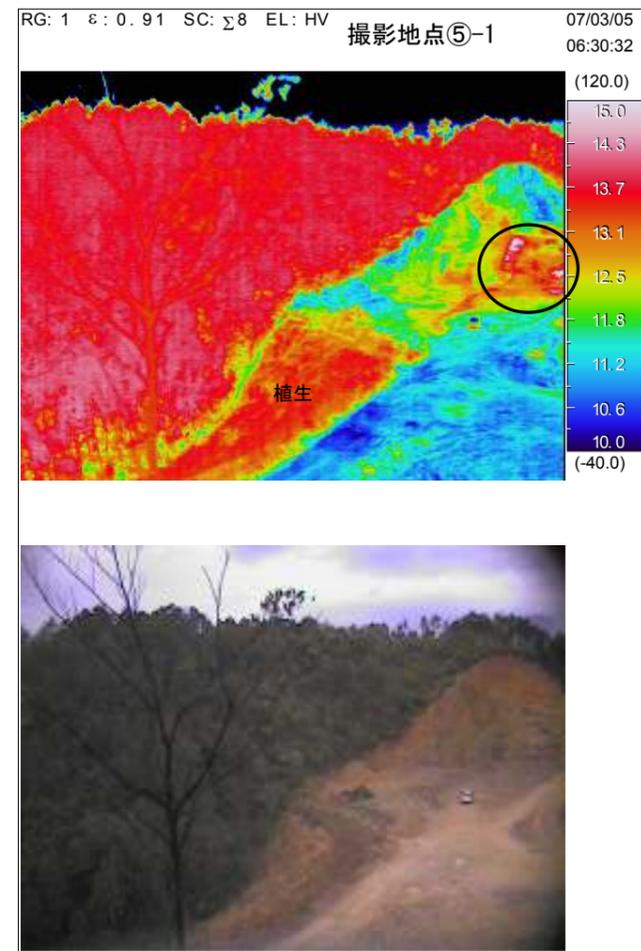


図 3-2-11 撮影地点④



測定日: 2007/03/05 外気温15.5(°C)
 廃棄物と土砂また植生の多少による温度コントラストが見られる。
 撮影地点⑤ 写真⑤-1~2、4~6に15°Cを超える部分が点在し、有機物主体層の露出箇所と一致する。
 写真⑤-2、4~5の赤線部分は、12°Cを超える部分かつ植生疎の状態であった。

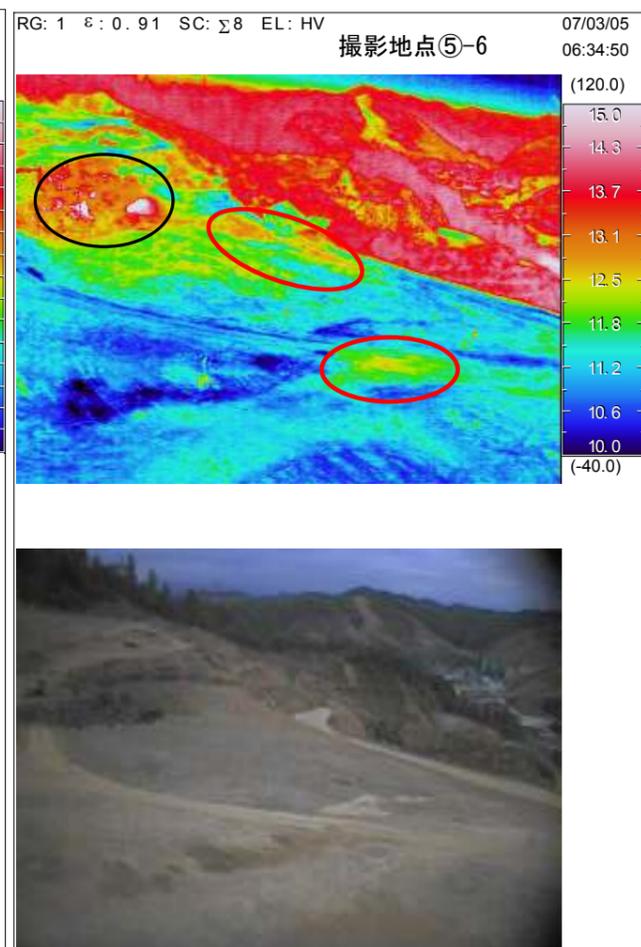
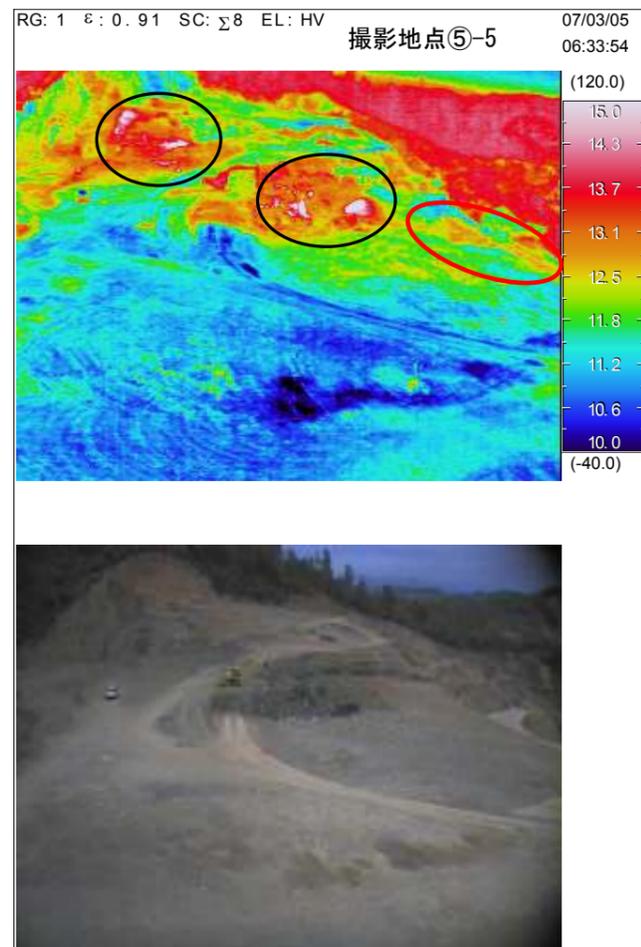
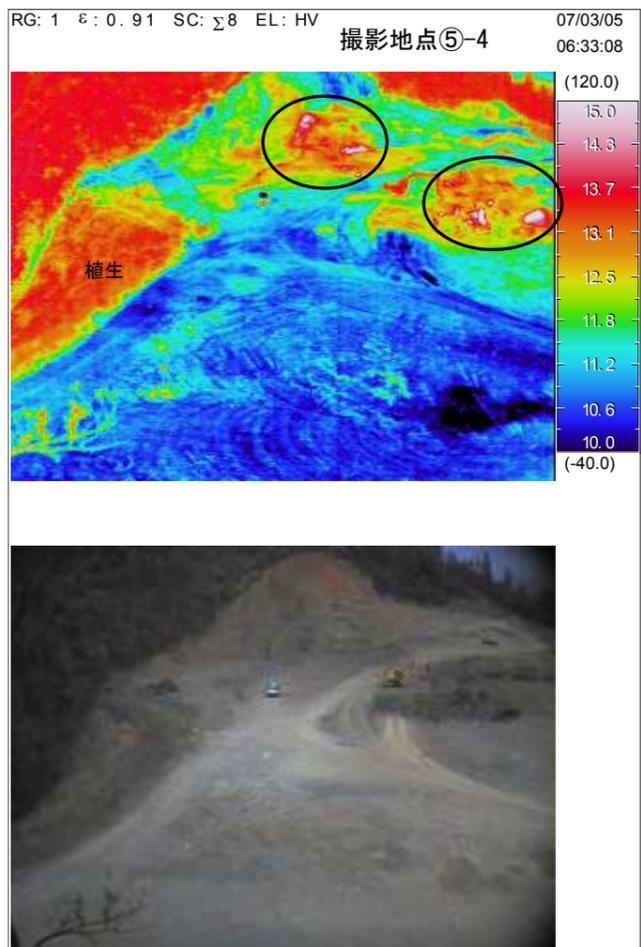
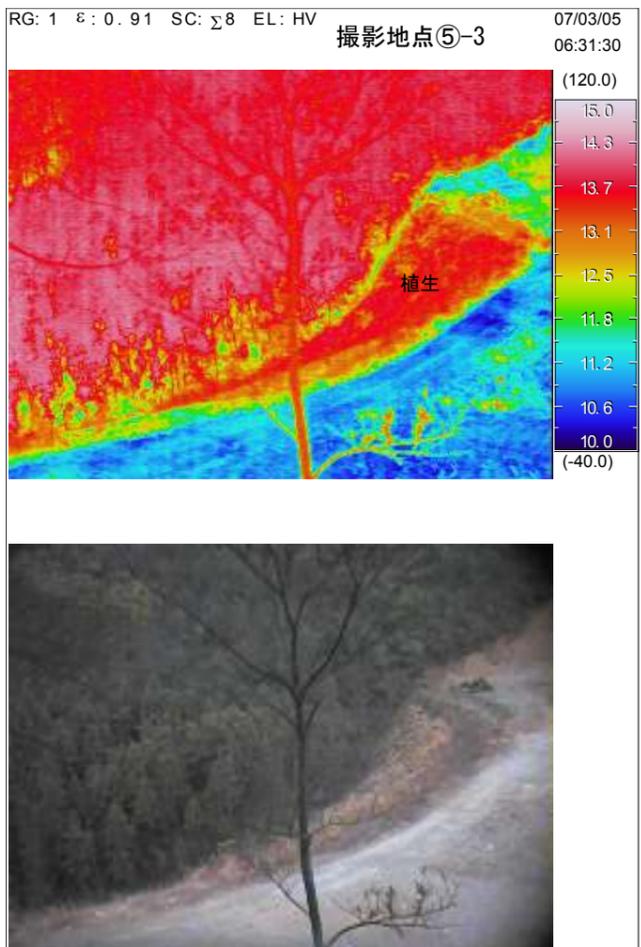
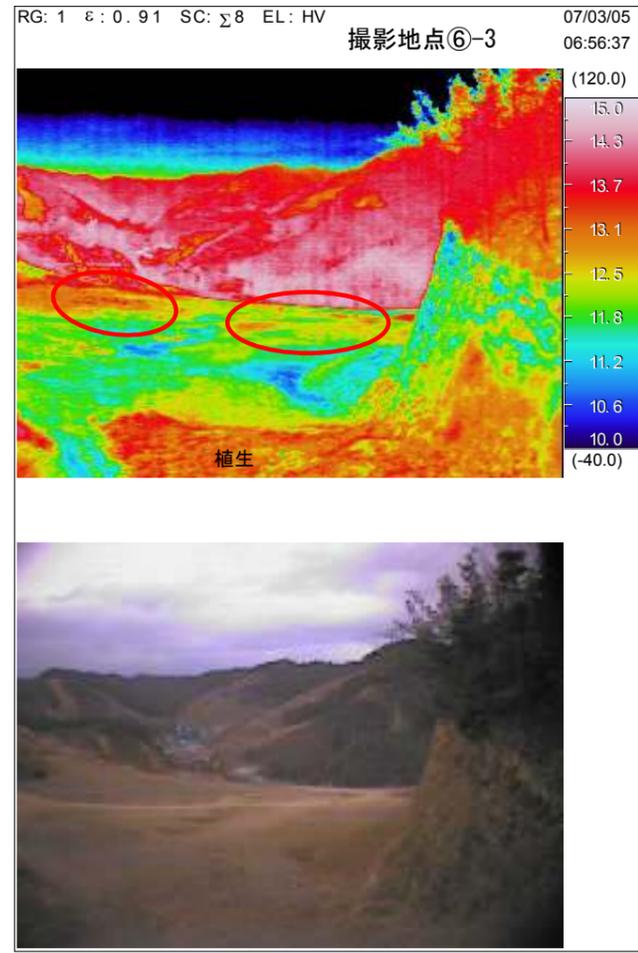
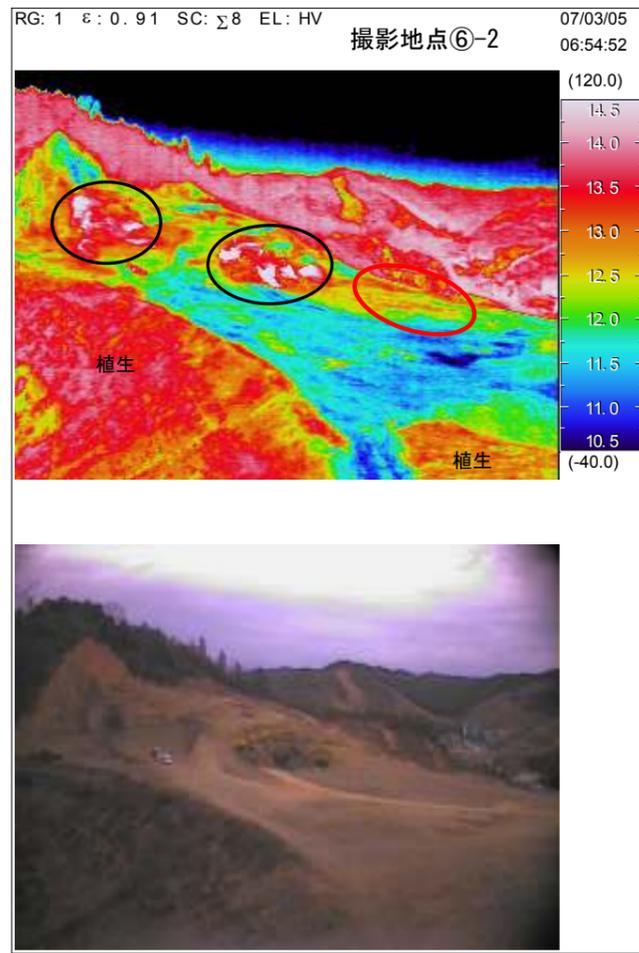
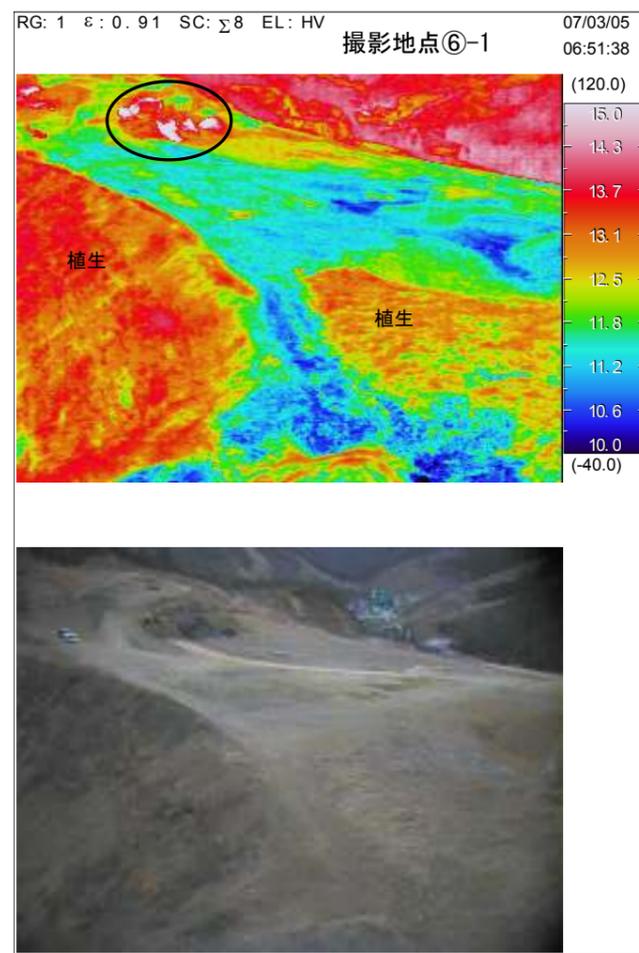


図 3-2-12 撮影地点⑤



撮影地点⑥

測定日: 2007/03/05 外気温15.5(°C)
 廃棄物と土砂また植生の多少による温度コントラストが見られる。
 写真⑥-1~3に15°Cを超える部分が点在し、有機物主体層の露出箇所と一致する。
 写真⑥-2~3の赤線部分は、12°Cを超える部分かつ植生疎の状態であった。

撮影地点⑦

測定日: 2007/03/06 外気温6.5(°C) 再測定
 岩盤と廃棄物と土砂また植生の多少による温度コントラストが見られる。
 写真⑦-1~4に4°Cを超える部分が点在し、岩盤への日射が反射した影響と考えられる。
 写真⑦-2~3の4°Cを超える部分のうち輻射以外の部分は、有機物主体層の露出箇所と一致する。
 写真⑦-1~3の赤線部分は、3°Cを超える部分かつ植生疎の状態であった。

図 3-2-13 撮影地点⑥

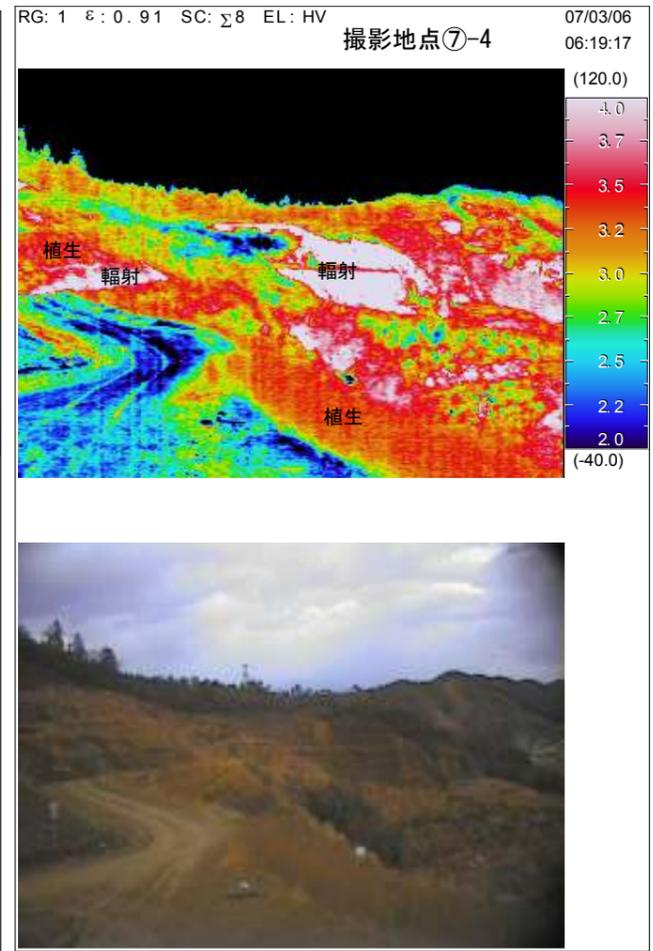
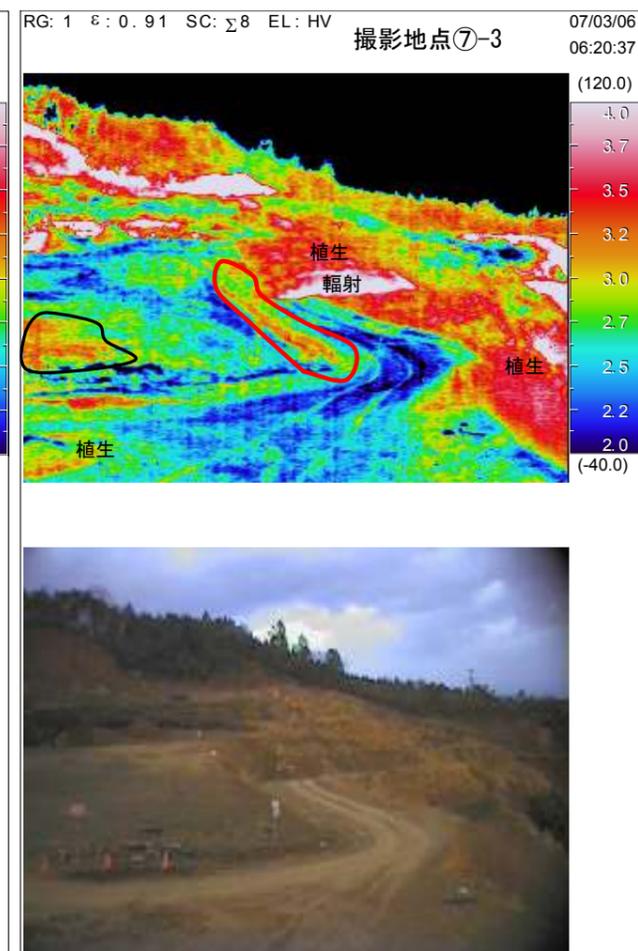
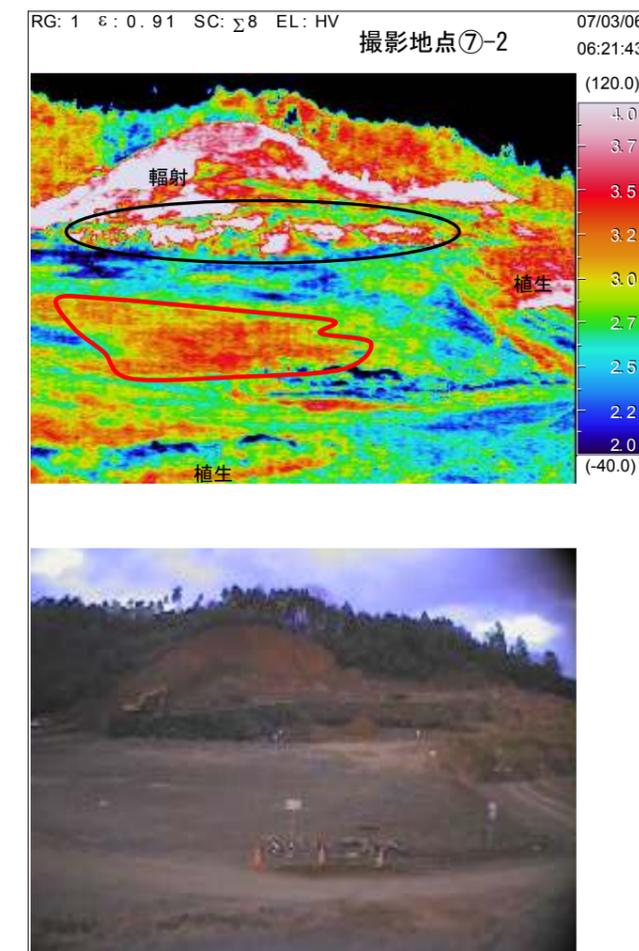
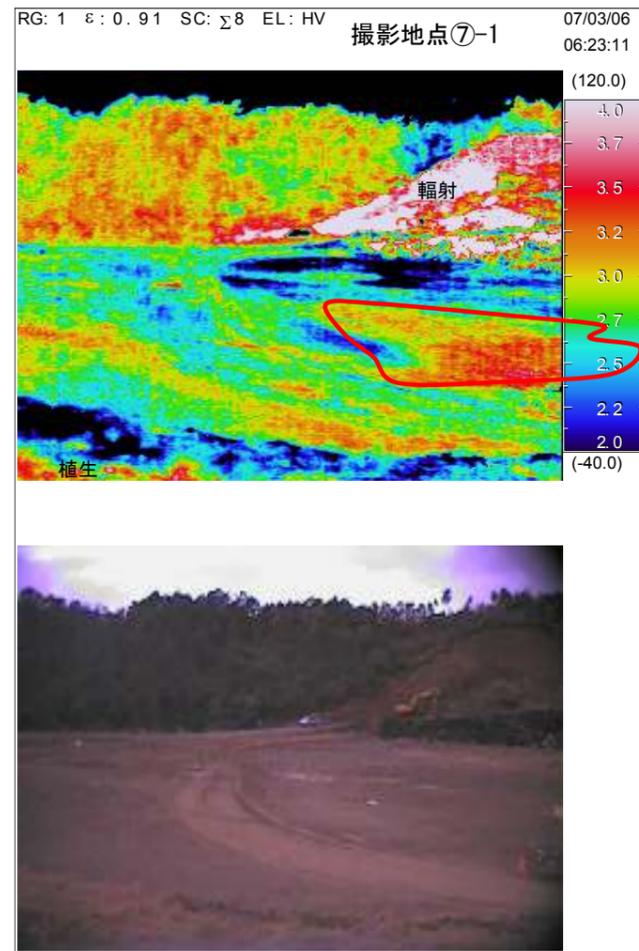


図 3-2-14 撮影地点⑦

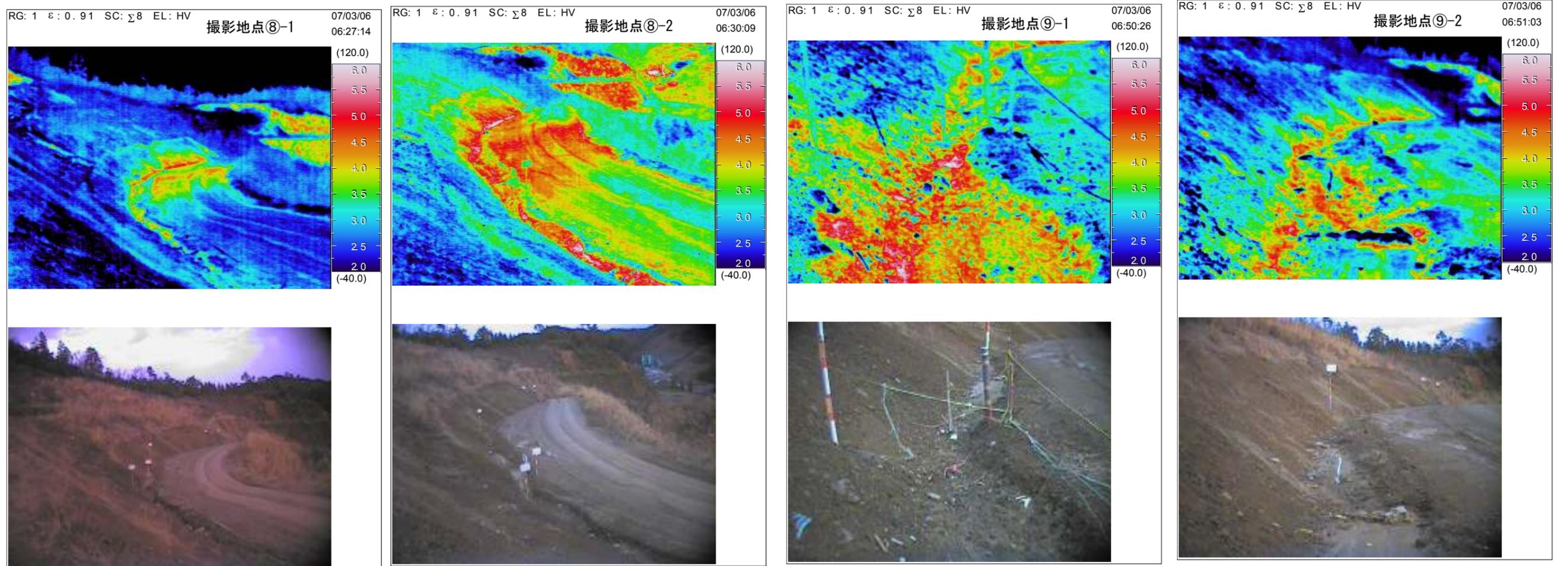


图 3-2-15 摄影地点⑧

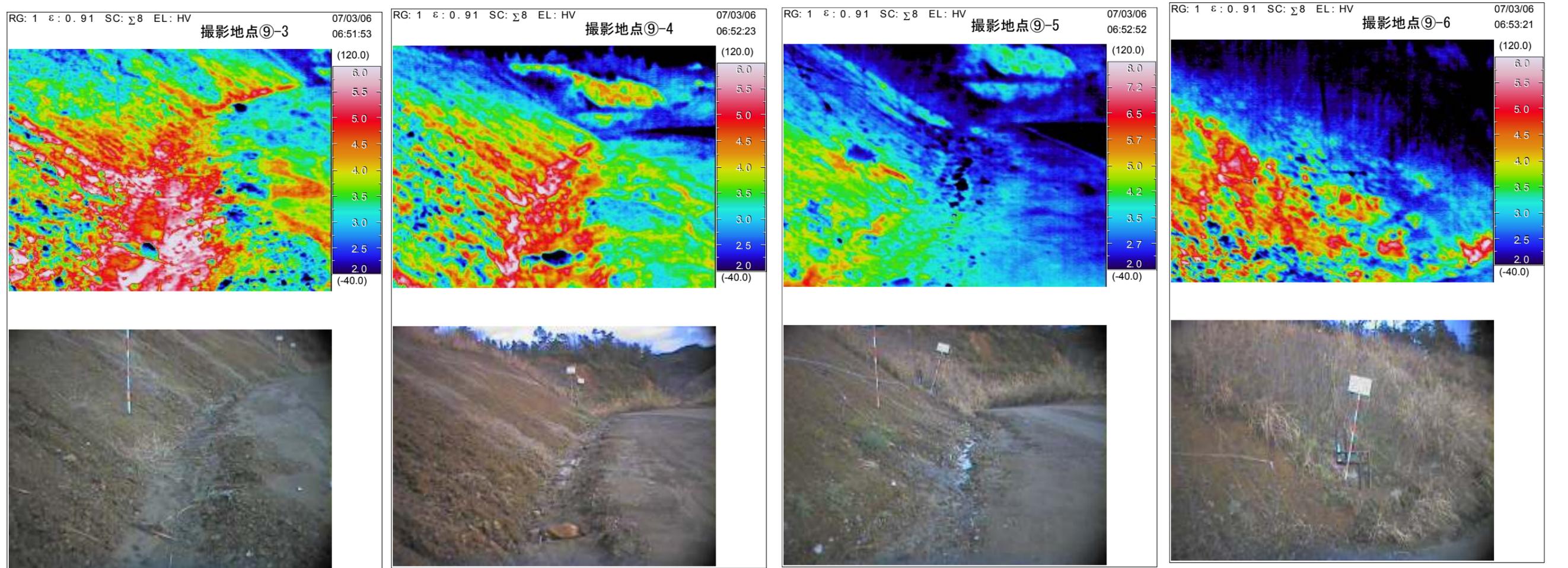


图 3-2-16 摄影地点⑨

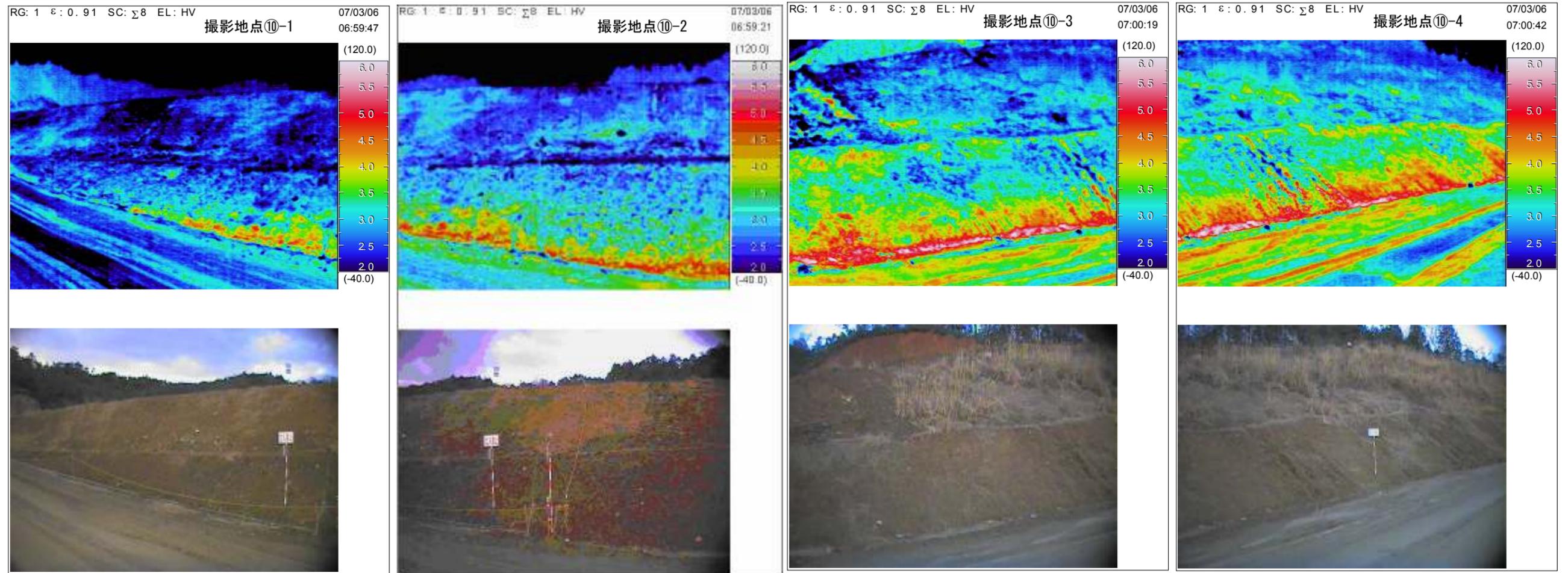
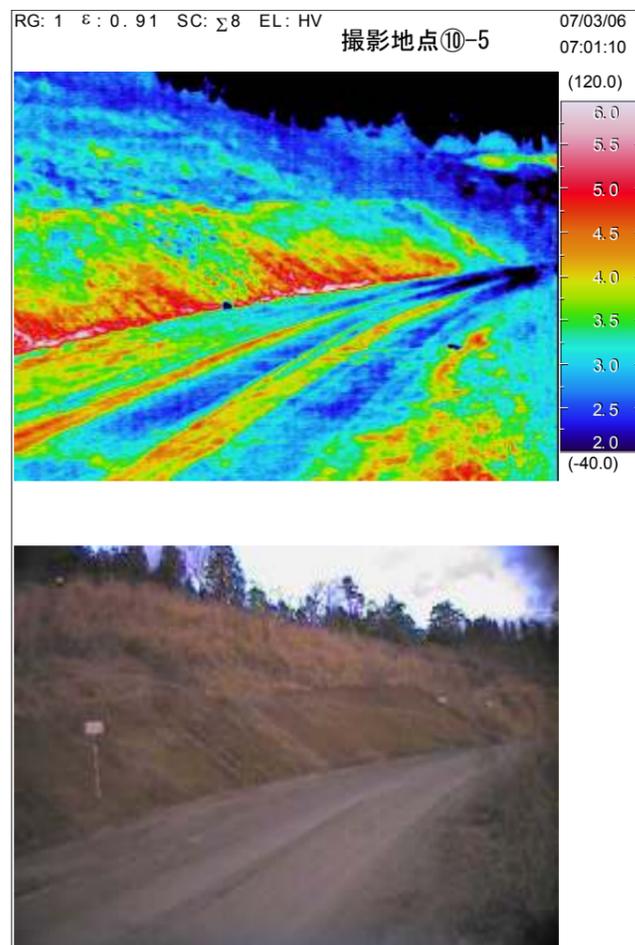


図 3-2-17 撮影地点⑩



測定日: 2007/03/06 外気温6.5(°C)
 ここで、植生が疎な高温部のうち、b-31ボーリング付近ののり
 撮影地点⑧～⑩ 面について詳細な温度観測を行った。
 測定結果は、最上段ののり尻付近に周辺部より高温部分を
 確認した。

低温部と高温部のコントラストは、外気温:1.5℃時のとき 3~4℃程度、外気温 6.5℃時のとき 2~3℃程度で、僅かであった。

低温部の表層状況は土砂や岩石が主体で、植生被覆はほとんどなかった。また高温部の表層状況は有機物主体または植生被覆が主体である傾向にあった。しかし外気温 6.5℃時には放射冷却現象により植生部は外気温よりも低温(約 4℃)を示していた。

サーモグラフィカメラによる熱画像の一部で浅層温度測定結果とほぼ一致する箇所を検出している。それぞれの調査時期の時間的ズレがあっても、両調査の結果が一致する高温部は、恒常的に周辺部より温度が高い傾向にあるものと考えられる。

各地点の代表画像について温度分布を解析した。図 3-2-18~25 に解析結果を示す。

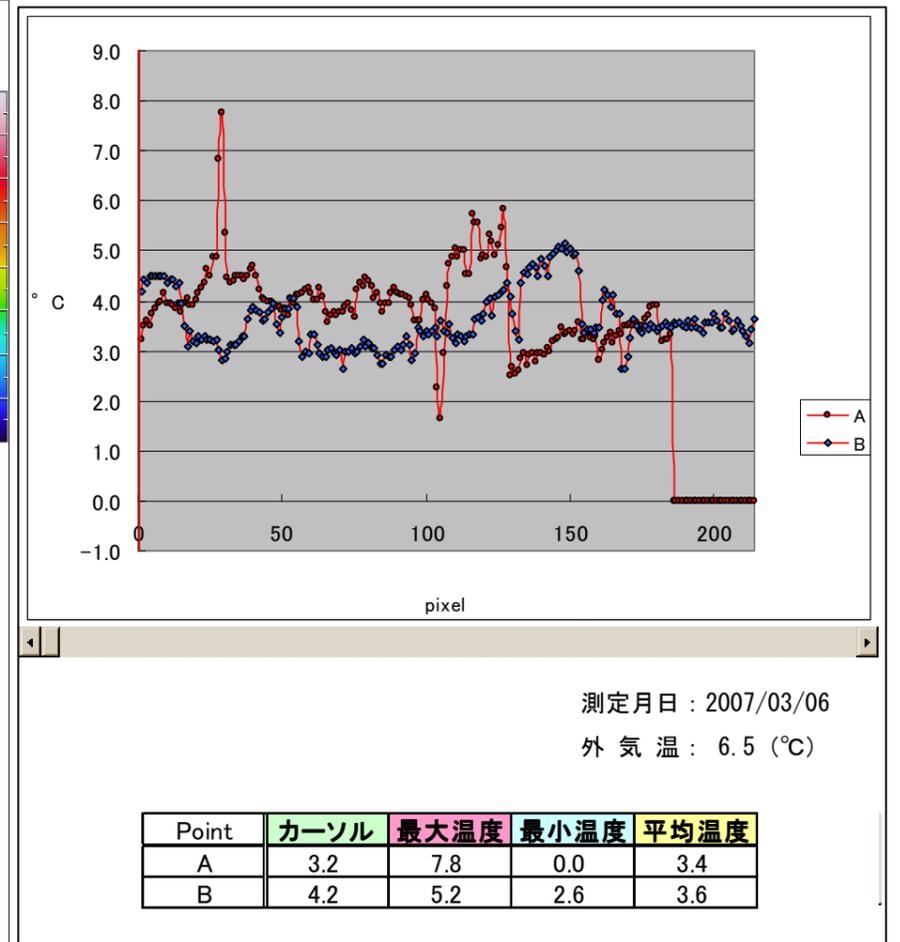
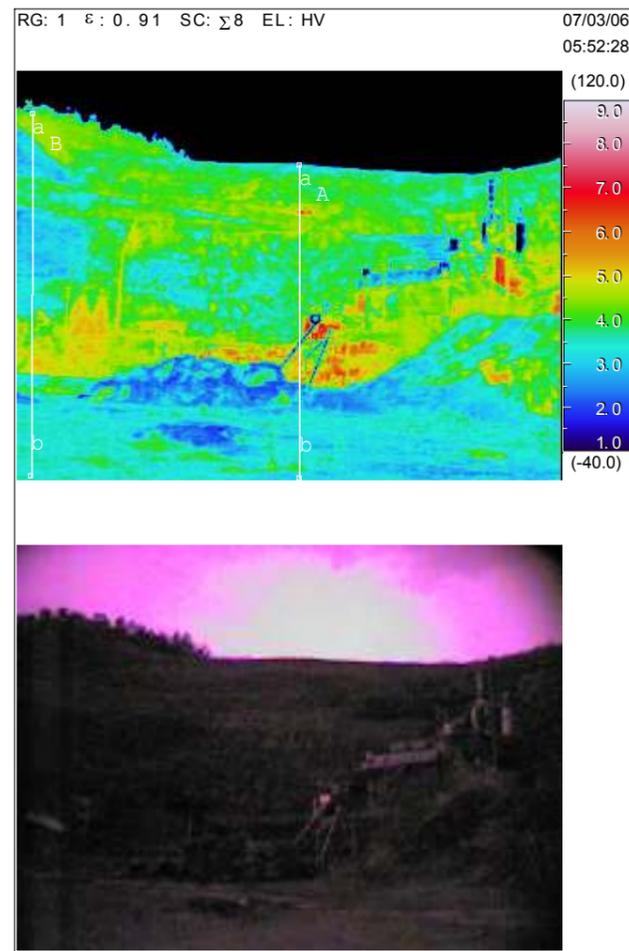
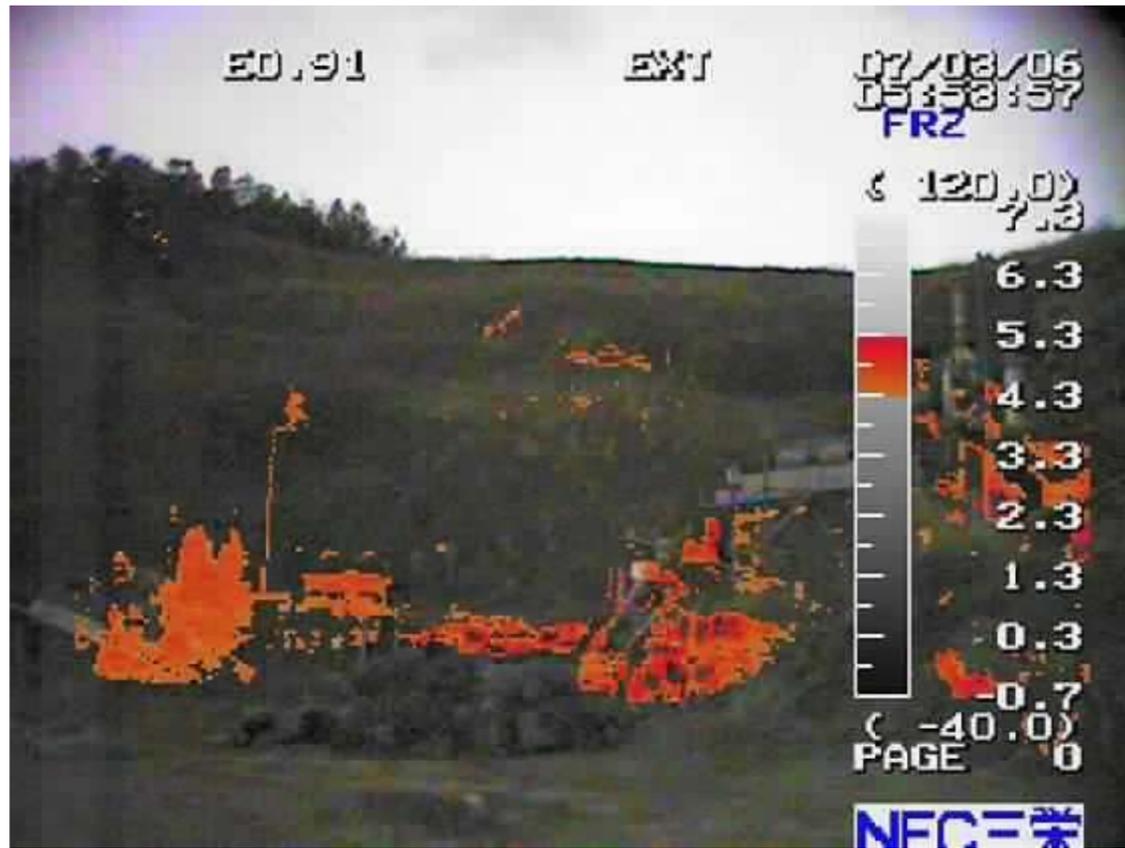


図 3-2-18 撮影位置① 温度分布

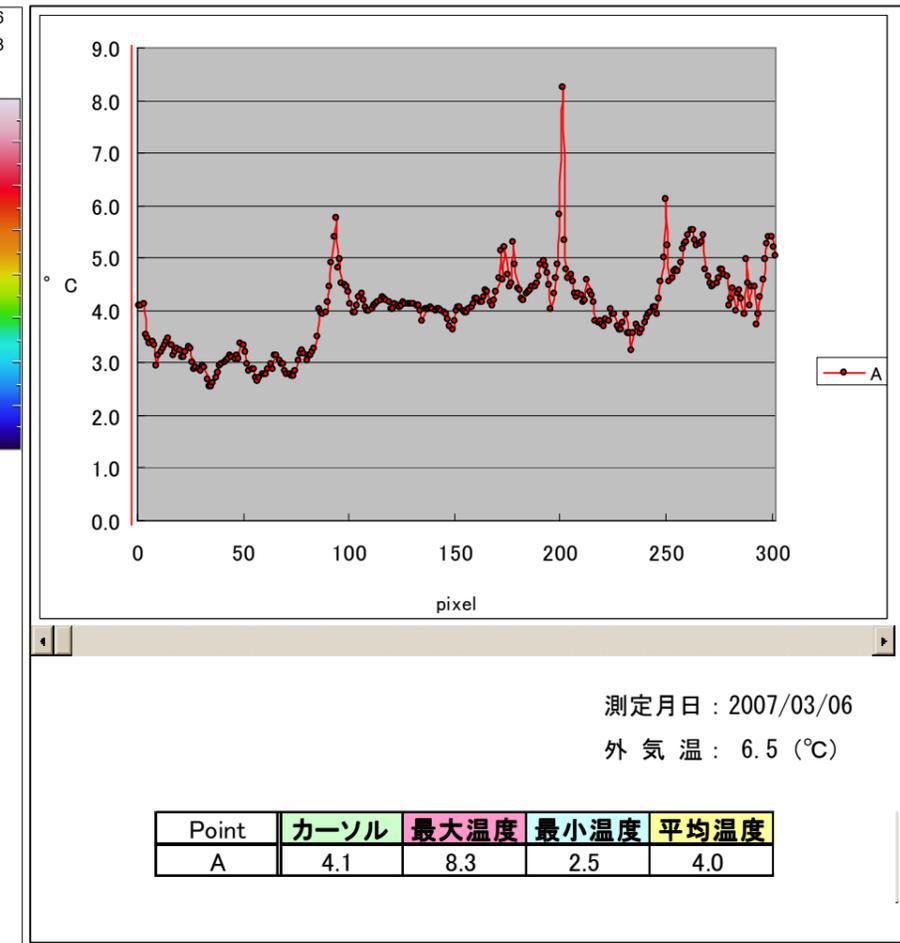
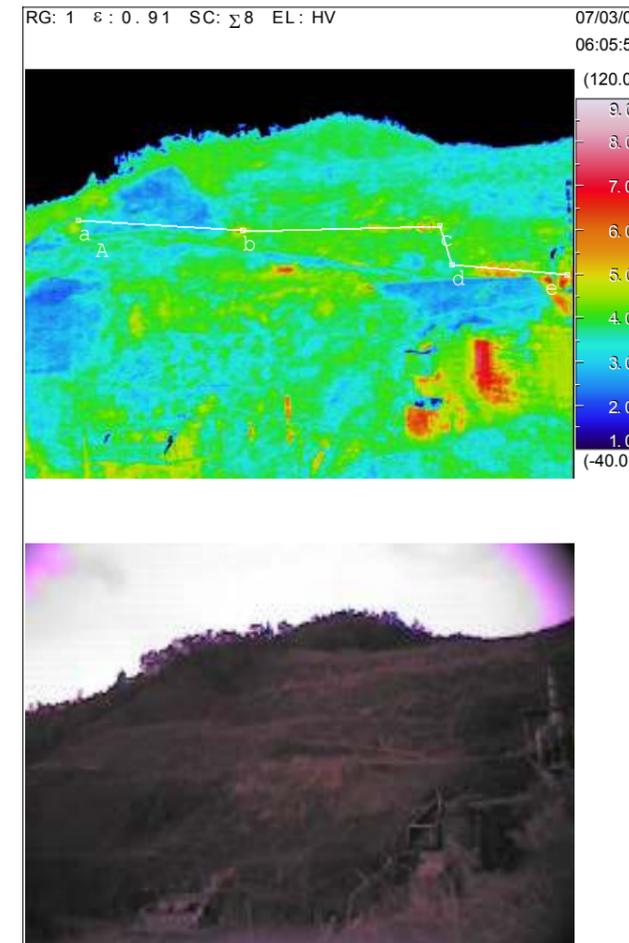
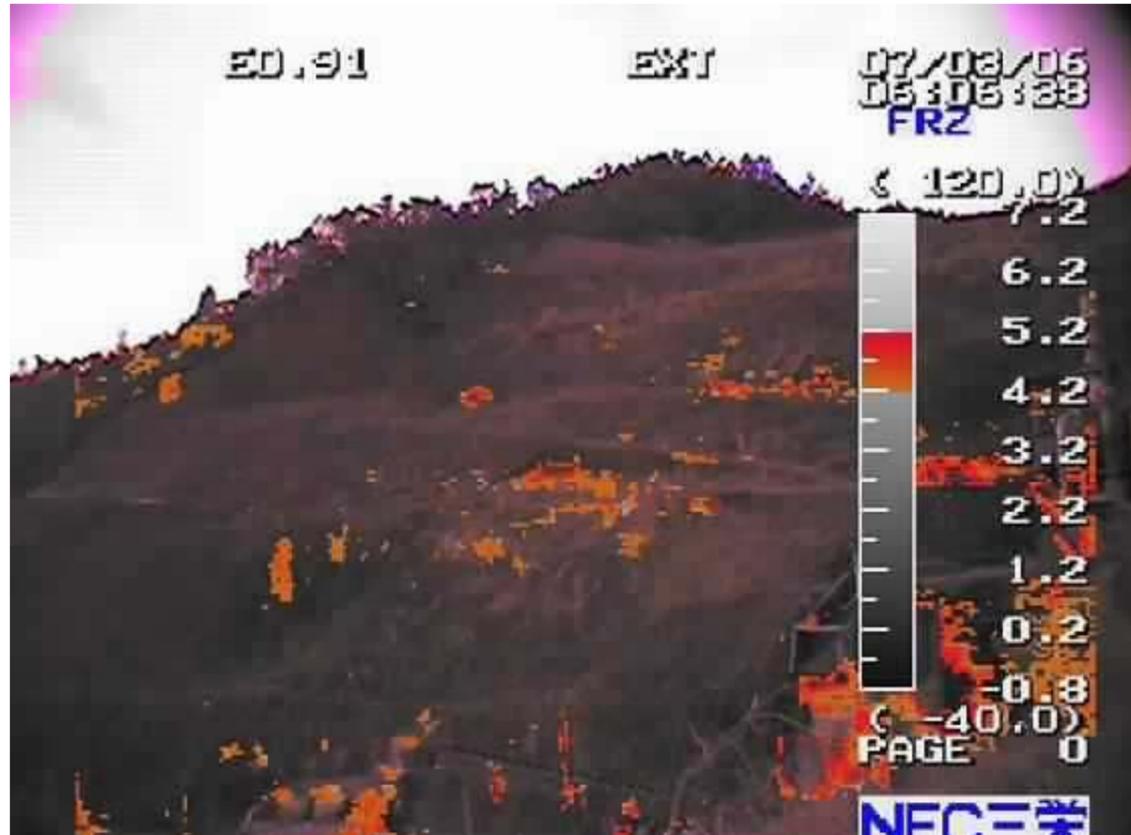


図 3-2-19 撮影位置② 温度分布

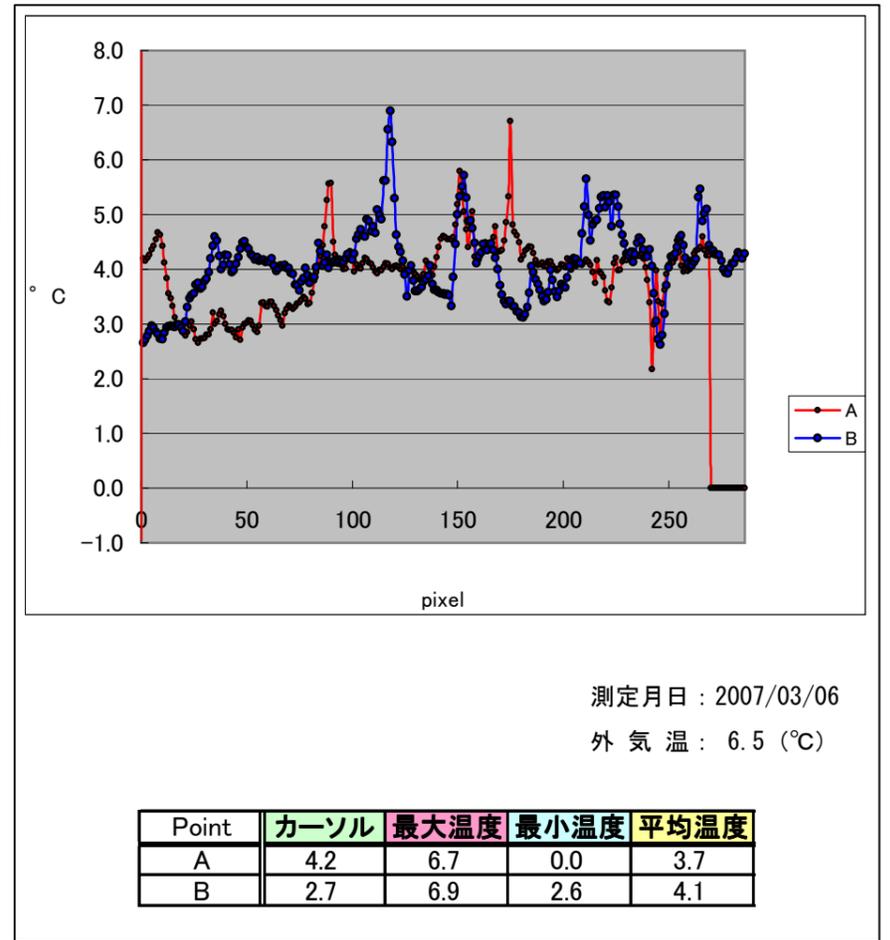
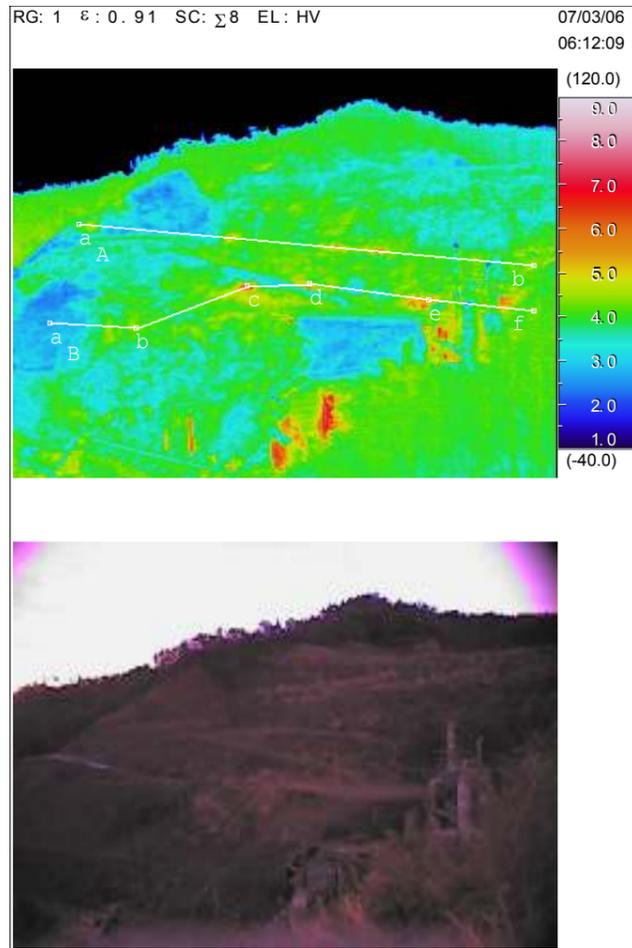
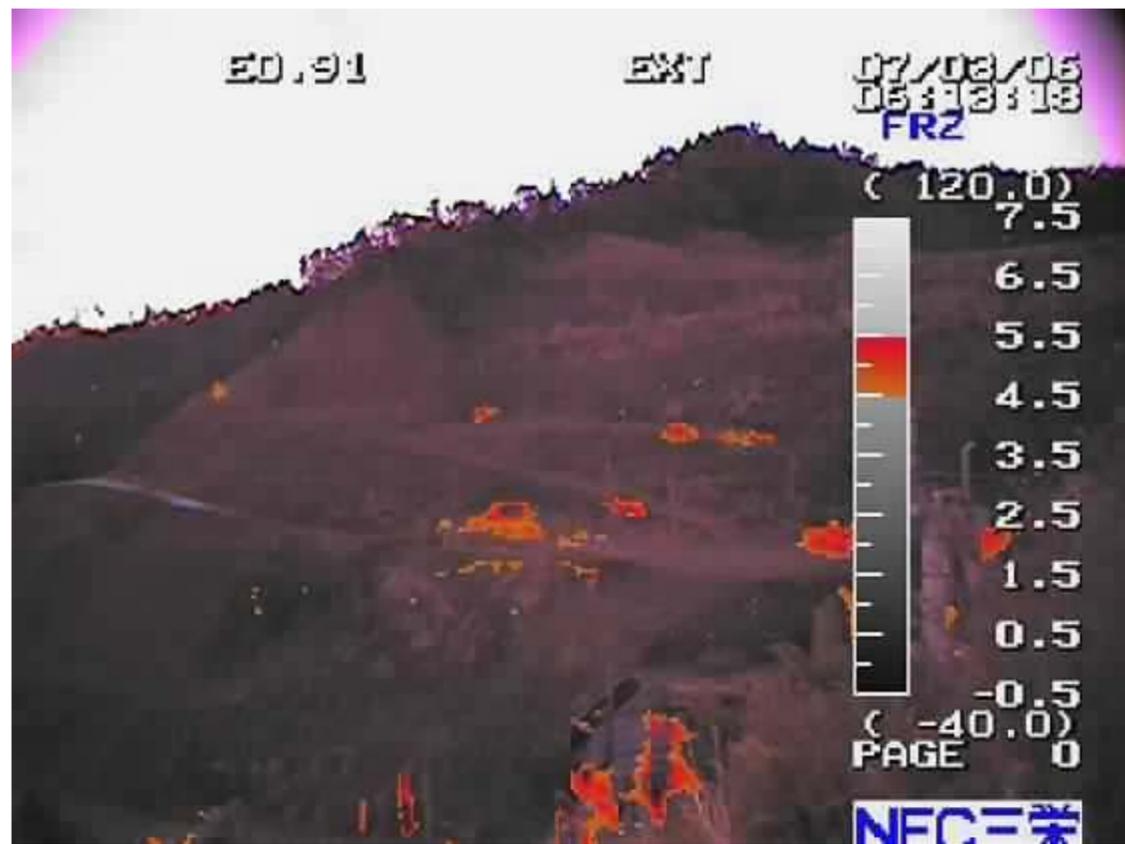


图 3-2-20 撮影位置③ 温度分布

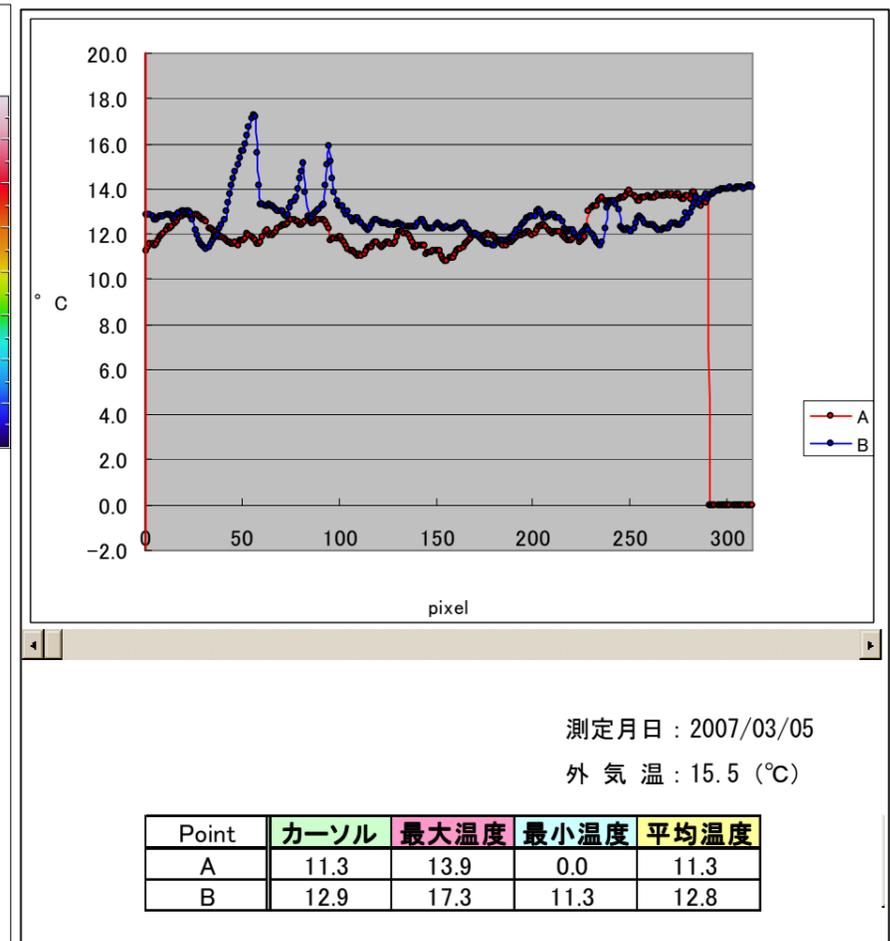
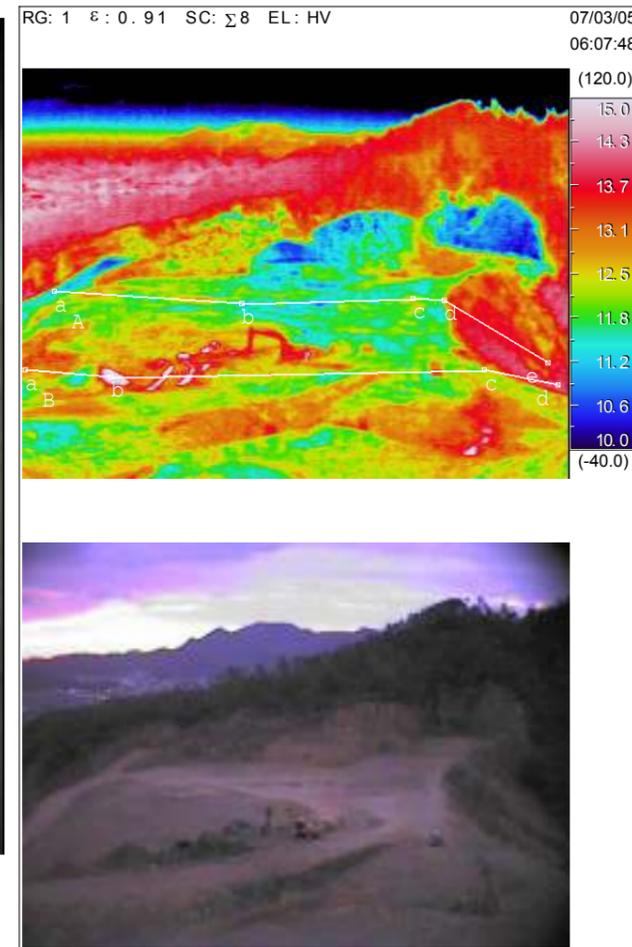


图 3-2-21 撮影位置④ 温度分布

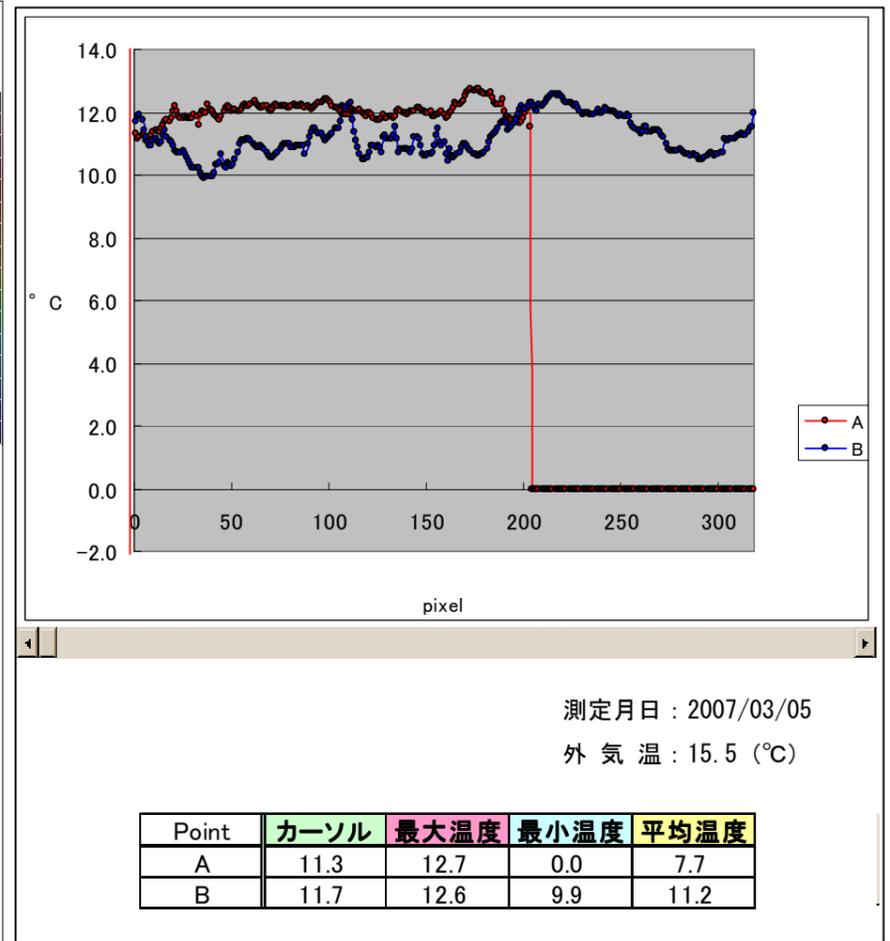
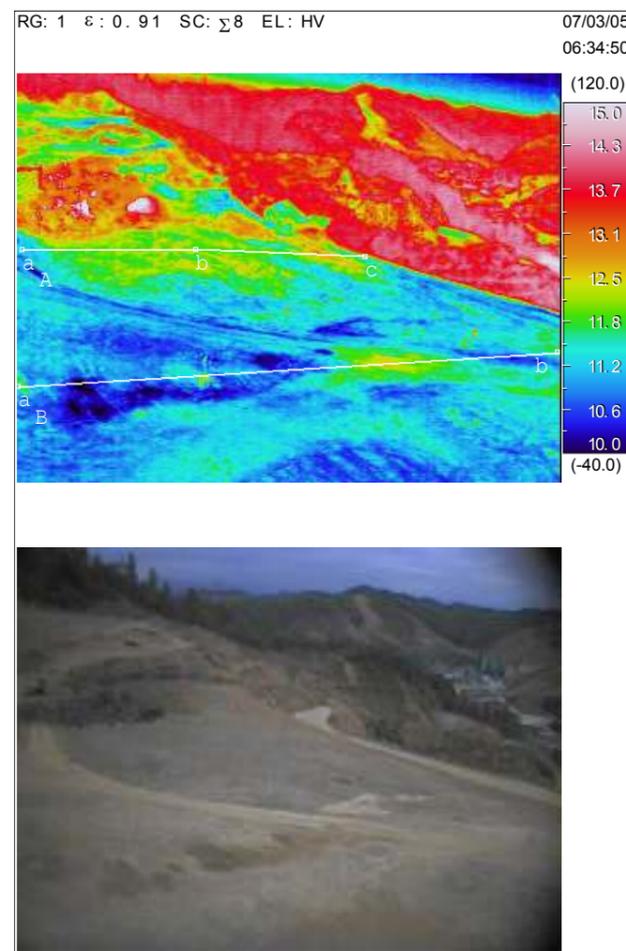
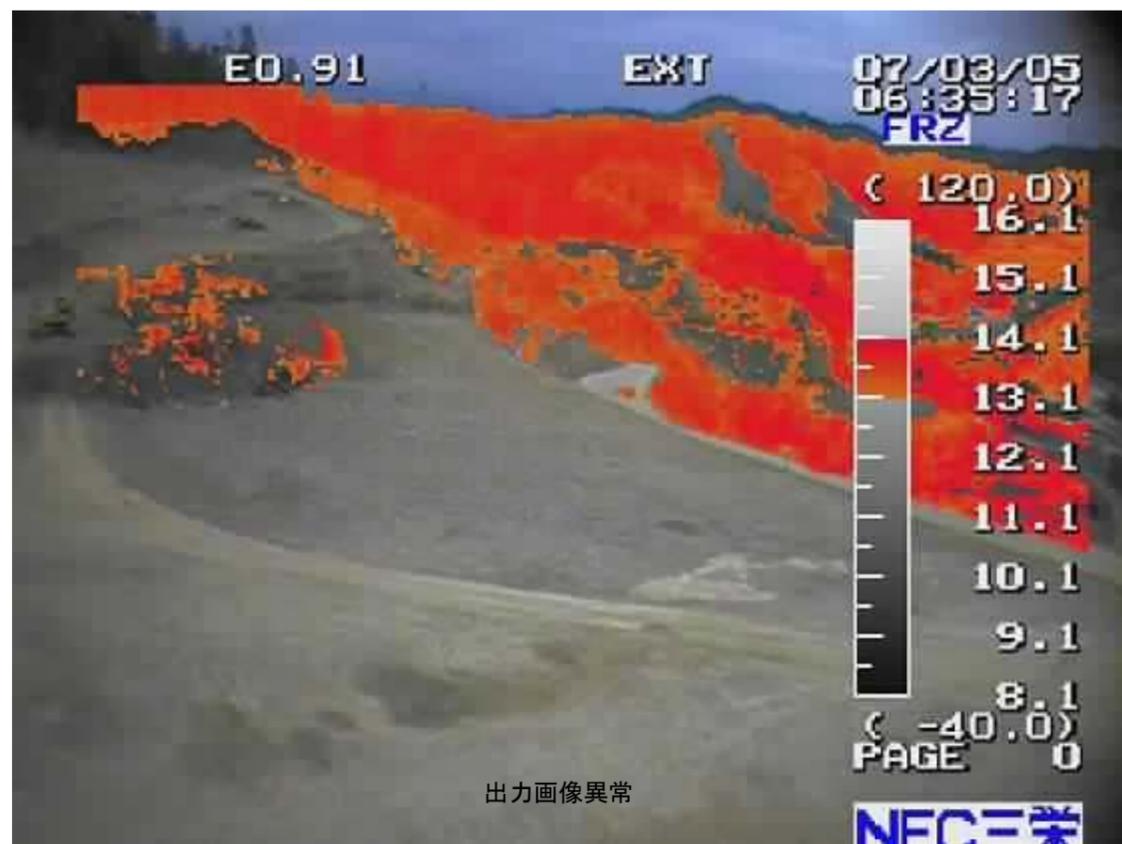


图 3-2-22 撮影位置⑤ 温度分布

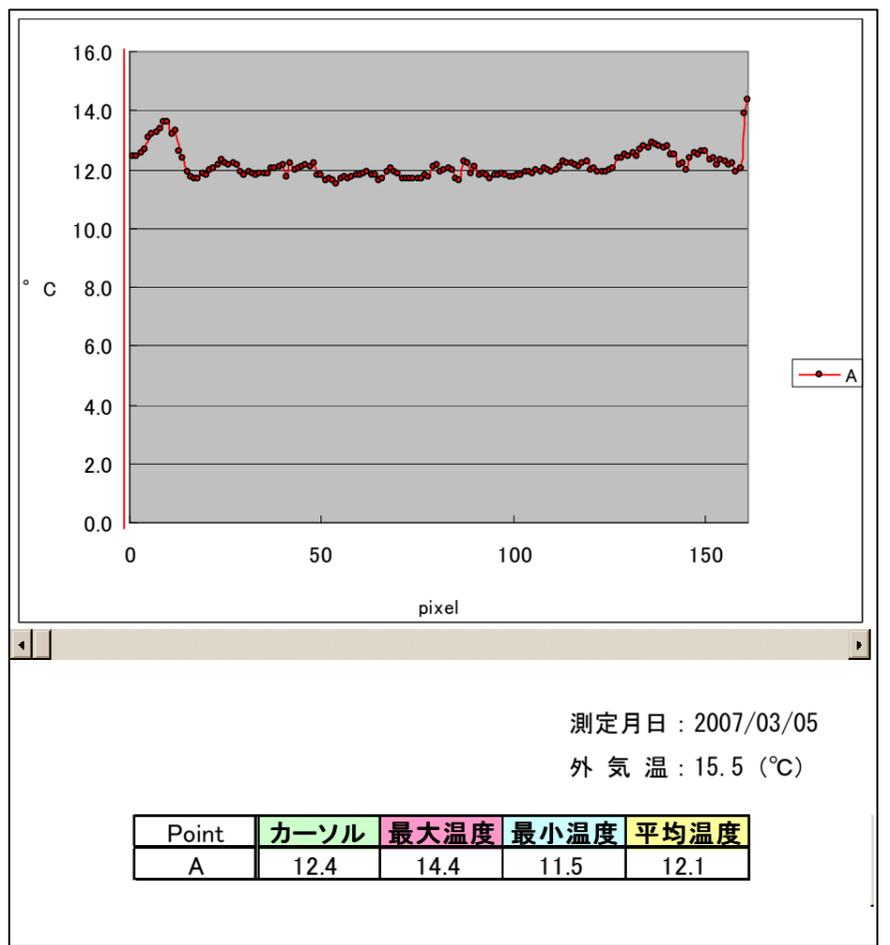
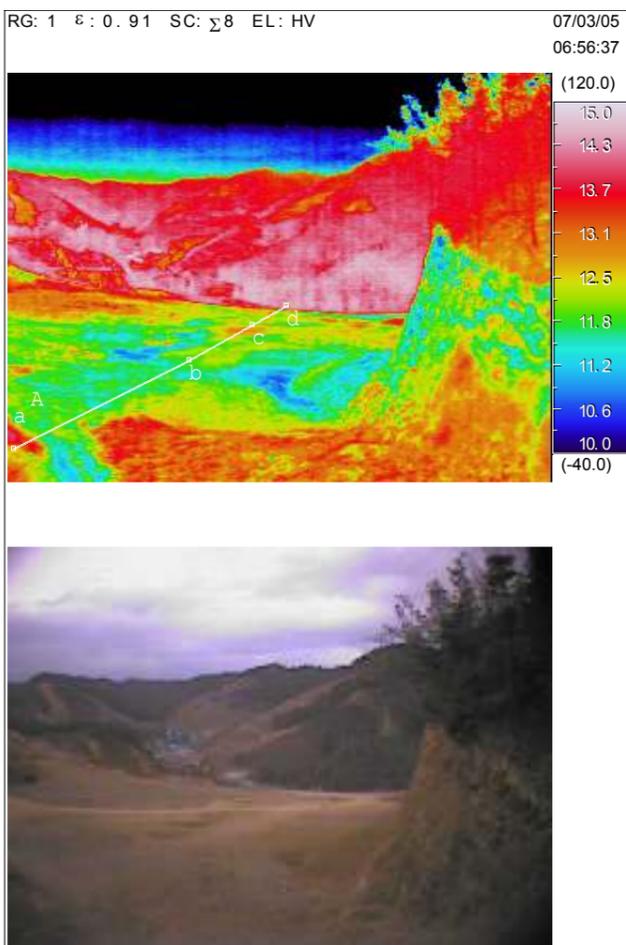


图 3-2-23 撮影位置⑥ 温度分布

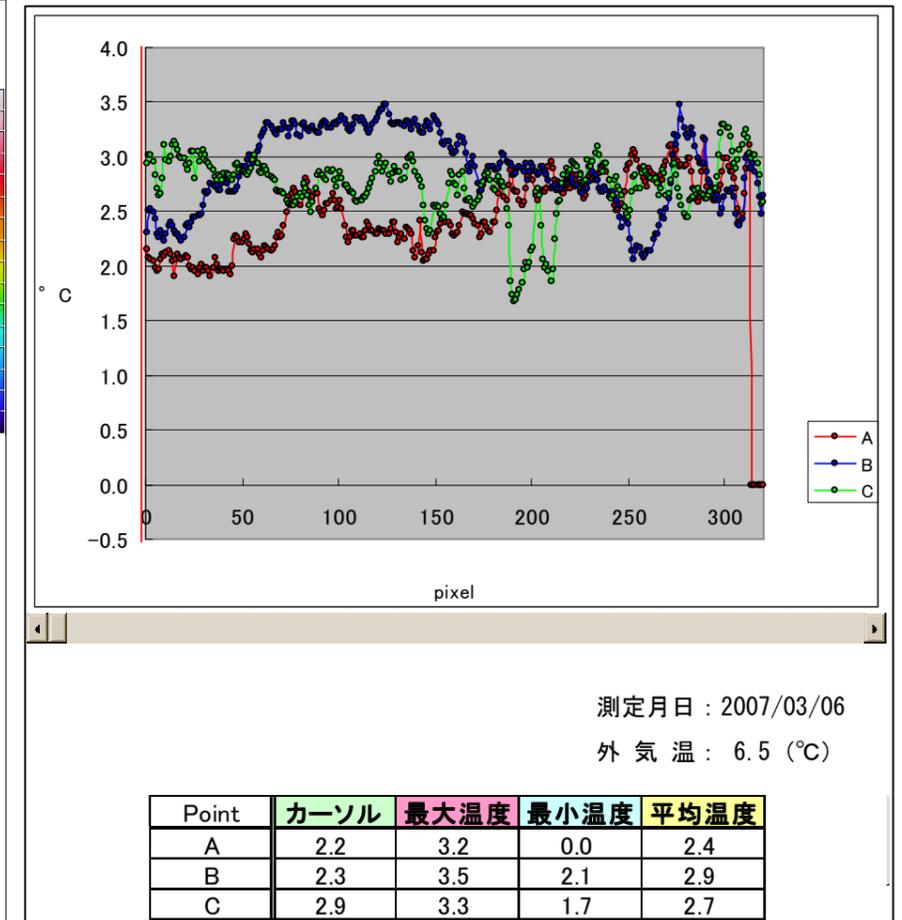
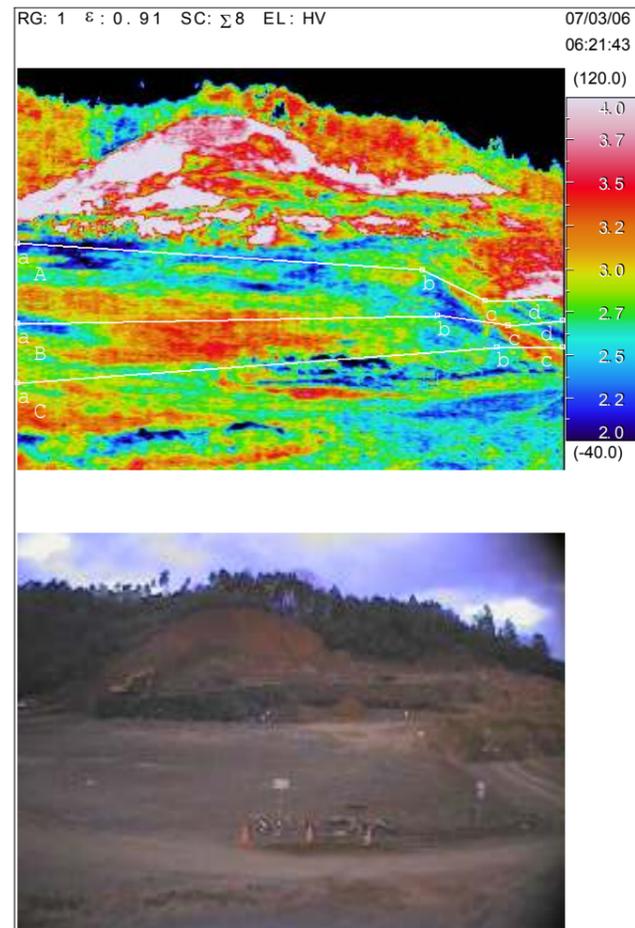
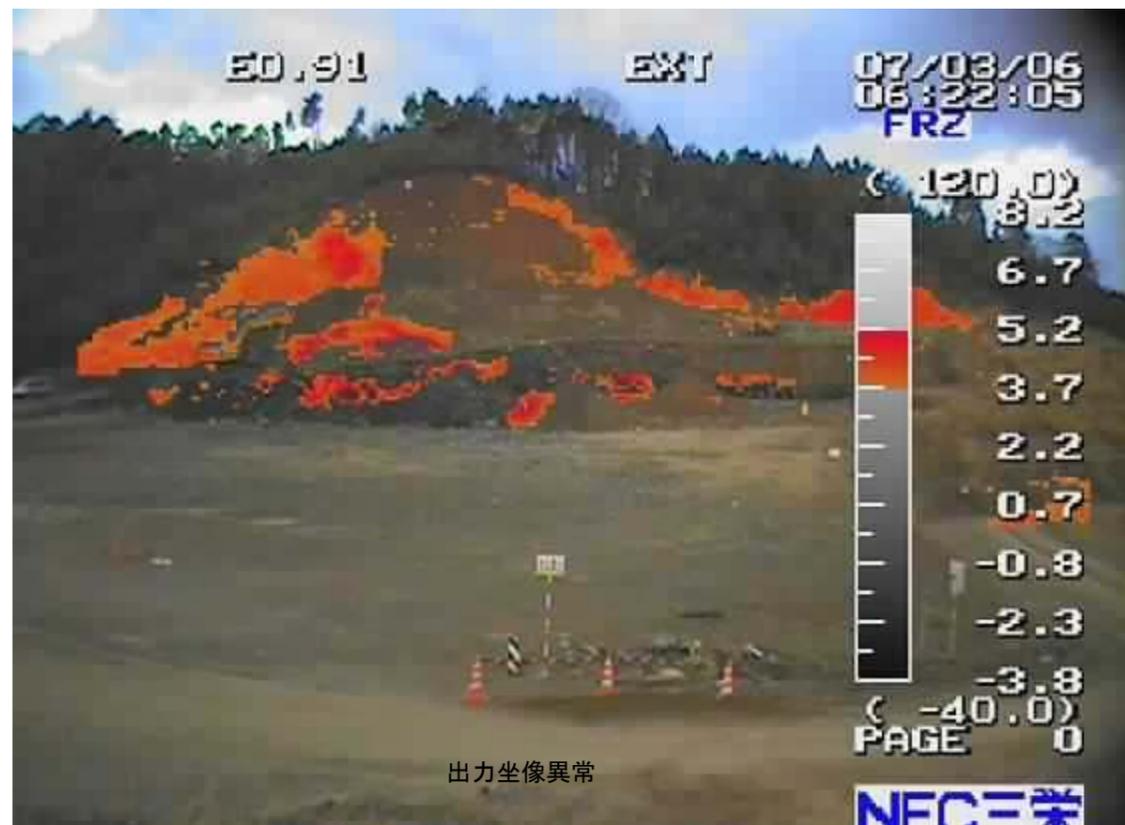


图 3-2-24 撮影位置⑦ 温度分布

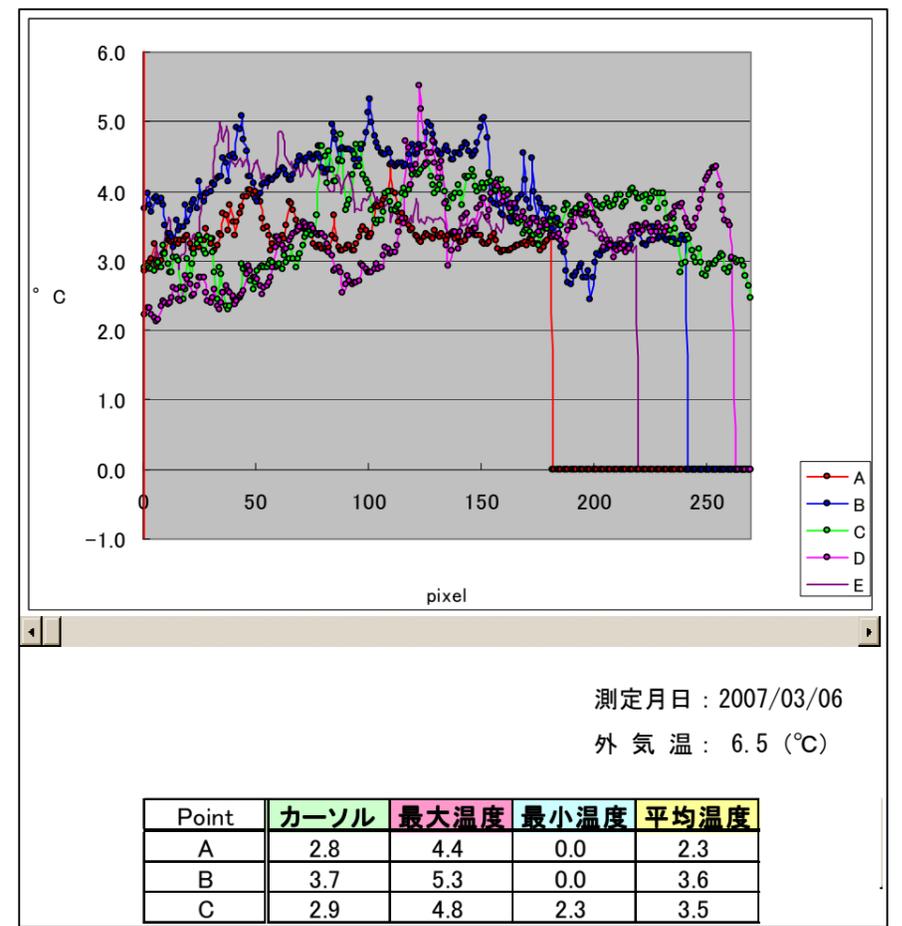
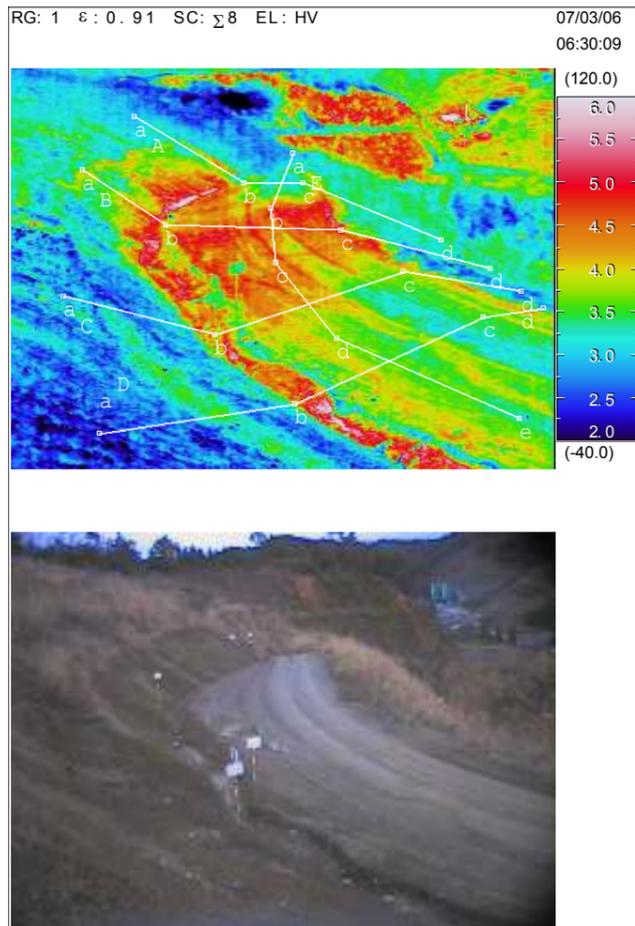


图 3-2-25 撮影位置⑧ 温度分布

2-1-4 温度調査のまとめ

温度調査は、浅層温度測定、孔内温度測定、赤外線カメラによる温度測定を実施した。温度調査の結果について取りまとめる。

A 浅層温度	最低位 21.5℃	最高 57℃	平均 28℃
B 孔内温度測定	最低位 25.3℃	最高 564℃(b-31)	平均 49℃(b-31 含 56℃)
C 赤外線カメラによる表面温度測定	図 3-2-26 に緑線で示す位置が周辺より高温部		

浅層温度測定(H18.10実施)と赤外線カメラによる表面温度測定(H19.3実施)は、実施時期は異なるが、ほぼ同様の位置で高温部を検出している(図 3-2-26 緑線囲み部分)。現地測定時の目視観察から、高温の原因として以下が推察される。

- 混合物主体層の露出
- ② 植生被覆による蓄熱
- ③ 廃棄物内部からの移動熱量が周辺部より多い(高温熱源に近接している)

要因①②は、有機物の発酵熱が穏やかでかつ有機物の熱伝導性が土砂よりも小さいため、小範囲であっても発熱が蓄熱され、高温部として観察されるケースである。地表に露出する廃棄物や土砂表面の植生被覆がこれにあたるものと考えられる。

要因③は、表層が土砂優勢で、かつ植生等が少ない場合で、b-31 付近の深部で生じている燃焼等による発熱が影響し、高温を観察しているものと考えられる。ただし、熱の移動は、土砂等の媒体中の伝熱以外に、ガス等の対流も要因となるため、観測される温度分布がより複雑で、かつ熱源が偏在しているものと推察される。要因③による高温と思われる箇所を図 3-2-26 に緑ハッチングで表示した。

ボーリング孔内温度測定結果は、著しい高温を示すb-31 とb-40 を除けば、有機物の発酵による温度の範囲内である。過去のボーリング孔内温度測定結果を対照させた結果を、図 3-2-26 に示す。青丸箇所のボーリング孔では温度変化が小さく、橙丸のボーリング孔では温度が上昇傾向にある(図 3-2-27 孔内温度の比較参照)。

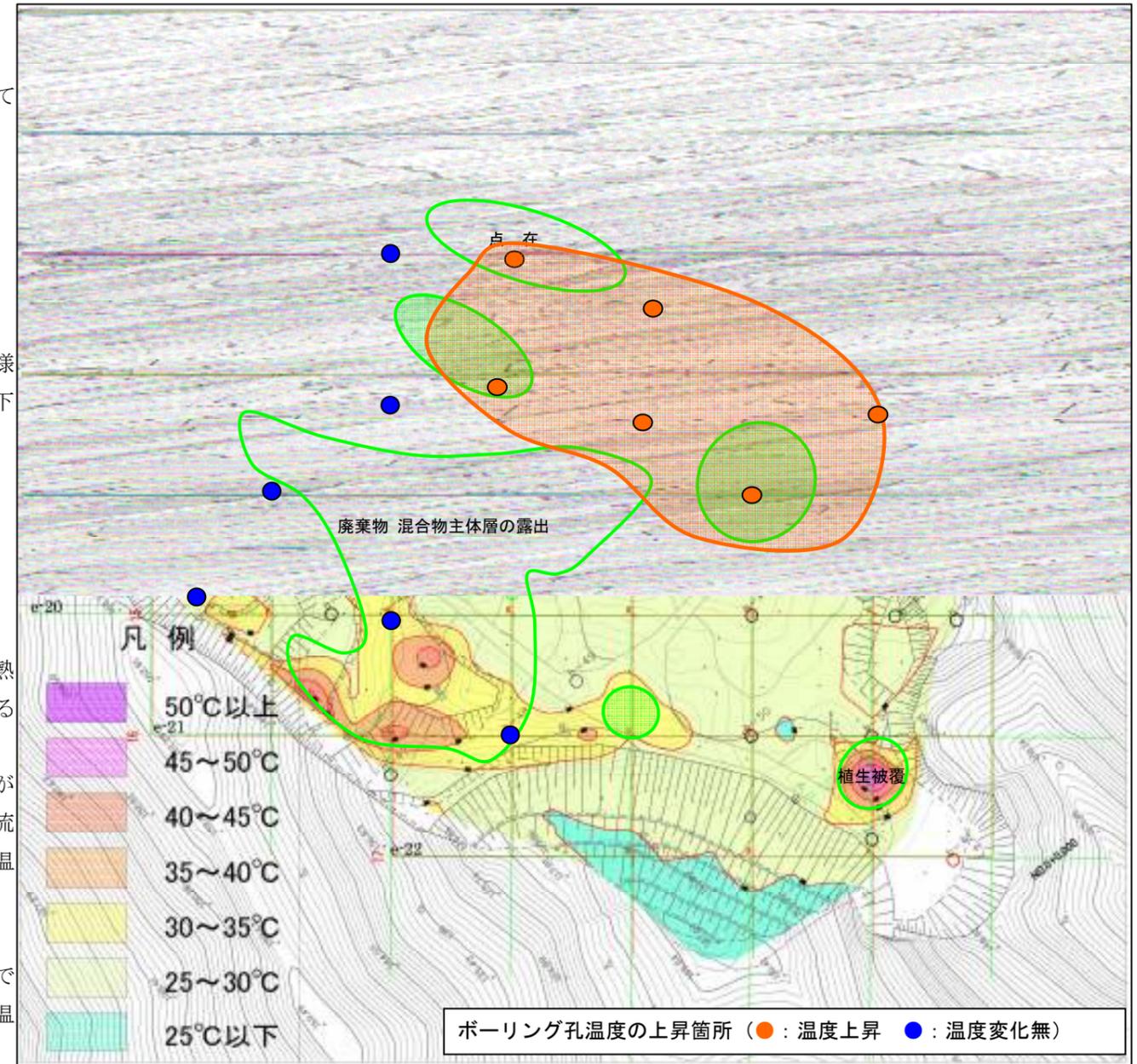


図 3-2-26 浅層温度分布

浅層温度、孔内温度、表面温度測定結果より当該地の温度状況に関する特徴を以下のとおりまとめる。

- ◎ 浅層温度の平均は 30℃以下である。30℃以上を示す箇所では、廃棄物の露出・植生被覆による蓄熱、燃焼による熱移動の影響を受けていると考えられる。
- ◎ 孔内温度が 50℃前後の部分は廃棄物の発酵による蓄熱状態を示しており、60℃程度を超える部分では発酵温度を超えて、別の現象による高温を示しているものと考えられる。
- ◎ b-31 深部では著しく高い温度が測定されており、深部で燃焼が生じていると推定する*。
- ◎ 調査時期の異なる温度調査の対比により、廃棄物層の一部で温度上昇の傾向があり、b-31 深部の燃焼領域の拡大と燃焼進行に伴う空洞化が懸念される。

※：燃焼に必要な最低温度である「発火点」は次のとおりとなっている。

- ・ 発火点 (丸善 理科年表より)
- 木材 400 ~ 470℃
- 木炭 320 ~ 400℃
- 泥炭 225 ~ 280℃

なお、木材チップの堆積場では 100℃以下でも発火することが古積によって報告されている。

(参考：古積 博 大量貯蔵廃棄物内での蓄熱による火災危険性 環境技術 Vol. 34 No. 10 (2005) p722~p727)

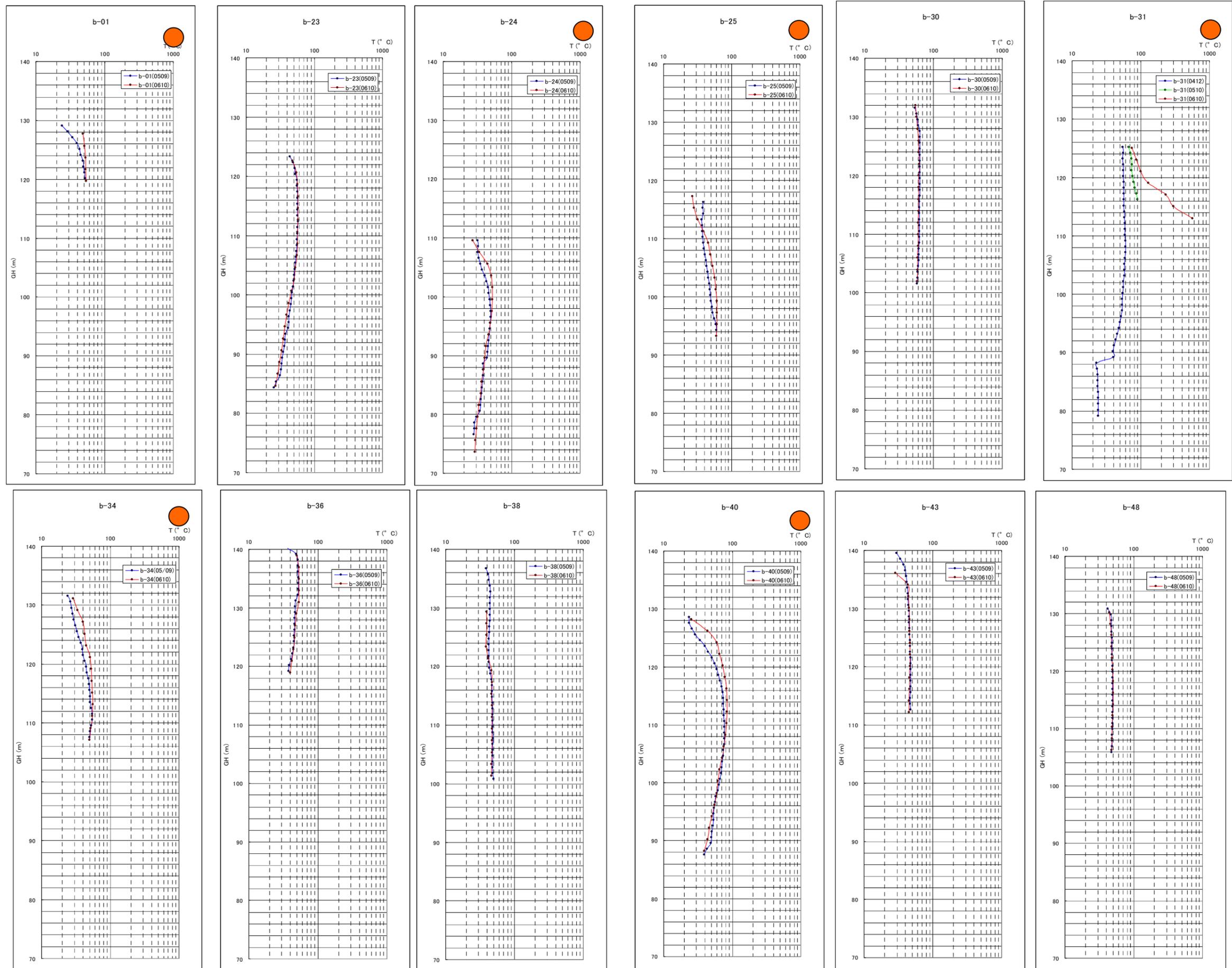


図 3-2-27 孔内温度の比較

2-1-5 燃焼ガス発生状況、大気環境調査の結果

1) 調査結果

- ① b-31 は、他のボーリング孔と比較して、一酸化炭素は 10 倍以上、ダイオキシン類では 1000 倍以上と突出して高くなっている。
- ② b-31 の周辺の B-01, b-21, 25, 33, 34, 36, 38, 43, 45, 48, 50 については、酸素濃度が低くかつ硫化水素濃度が高い。

2) メタンと非メタンの濃度比をみると、非メタン系ガスが検出される位置では、非メタン系ガスの濃度がメタン系ガスの濃度よりも高い。

- ④ b-31 以外のボーリング孔では、大気組成と比べて著しく高い一酸化炭素濃度を検出している。

3) b-31 以外のボーリング孔では、ダイオキシン類の濃度が大気環境基準である 0.6pg に比べて高い数値を示している。

4) 環境大気調査では、場内及び場外とも一酸化炭素濃度、ダイオキシン類濃度を含めた全ての項目で異常値を観測していない。

日平均値 一酸化炭素濃度 場内：0.3ppm

場外：0.3ppm (環境基準 20ppm)

ダイオキシン類 場内：0.013pg-TEQ/m³

場外：0.022 及び 0.089pg-TEQ/m³

(環境基準 0.6pg-TEQ/m³)

(場外 2 地点の過去 6 回の大気環境調査のダイオキシン類の平均値は、0.041pg-TEQ/m³)

2) 考察

- ① b-31 のボーリングでは、CO 濃度、DXN 濃度により燃焼が起こっていると判断する。
- ③ b-31 以外のボーリング孔では、CO 濃度、DXN 濃度が著しく高いものではなく、燃焼性ガスを直接検出しているのではないと推定する。
- ④ 炭化水素系ガスが検出される部分では嫌気性発酵が優先する現象の進行が推定される。
- ⑤ B-28、b-29 で、ダイオキシン類濃度が相対的に高く検出されるのは、b-31 近傍で発生している燃焼ガスが、廃棄物層内の空隙をぬって拡散していると推察される。ただし、メタン濃度より非メタン濃度の方が高く、嫌気発酵と共に、熱分解反応の進行も拡大していると考えられる。
- ⑥ 大気環境の調査結果では、周辺環境への有害ガスの拡散が検出されておらず、廃棄物層内部で発生しているガスは、ボーリング孔の密閉や覆土により廃棄物層内に封入されているものと推察される。
- ⑦ ダイオキシン類濃度の同族体パターンの類別により、燃焼が典型的な b-31 のほか、b-01, b-23, 25, 30, 34, 36, 43, 48 のガスは燃焼に由来するポリクロロジベンゾフラン濃度が高くなっており、燃焼ガスの影響を受けているものと考えられる。

- ⑧ TCDDs 等ポリクロロジベンゾパラジオキシン系がポリクロロジベンゾフラン系と同等かそれ以上になっていることは、燃焼が空気の供給不足による不完全燃焼状態であることに起因すると思われる。
- ⑨ co-PCB のパターンでは、平成 17 年度に実施した co-PCB 調査の結果から得られた PCB 製品 (KC-300～500) のパターンと酷似しており、燃焼とは別の要因によるものと考えられる。

2) 結論

燃焼部分は、b-31 の周辺のみであり、周辺環境には殆ど影響していないものの、このまま放置した場合、燃焼部分の拡大及び特別管理産業廃棄物が増大し、このことが処理量や処理費用の増大を招くことになる。そのため、出来る限りの早期の対策が必要と考えられる。