

秋田県澄川温泉における地すべりと水蒸気爆発に伴う土砂災害の発生プロセス

塚本 斉¹⁾

1. はじめに

1997年5月11日午前8時頃, 秋田県東部の鹿角市八幡平の秋田焼山北東麓に位置する澄川温泉付近で, 幅400m, 最大長さ800m, 主滑落崖の最大落差60mの地すべりが発生した。地すべり前縁部は主滑動末期に崩壊・岩屑なだれ化し(遠藤・高橋, 1997), 澄川温泉及びその1.1km下流の赤川温泉の宿泊施設など計16棟に全壊・流出などの被害を与えた。また, 1.4km下流の国道341号赤川橋は土石流により埋積され, 国道341号線は一部通行止めになるなどの被害を受けた。今回の地すべりでは主滑動中に水蒸気爆発が発生しており, 澄川温泉上空付近を飛行中の秋田航空所属のヘリコプターから水蒸気爆発の様子が観察されている。地すべりに伴って水蒸気爆発が発生した例は1971年8月3日~5日の霧島手洗温泉において報告されているが(露木・金田・小林, 1980), 地すべり・水蒸気爆発の同時発生現象が直接目撃されたのは今回が初めてである。

地質調査所では, 地すべり後約1週間が経過した5月18日から19日にかけて被災直後の澄川・赤川温泉を現地調査し, また空中写真等の解析を行った(遠藤・高橋, 1997)。一方, 地すべりと地すべり前縁部の崩壊・岩屑なだれ化, 土石流発生に到るプロセスを解明し, 水蒸気爆発との関係を明らかにするために, それらの目撃者及び災害対策関係者の聞き取り調査やビデオ映像及び写真などの解析を行い, 今回の土砂災害に関する貴重な時系列情報を得ることができた。以下では, 今回の地すべり・土砂災害について時系列情報をまとめ, 地すべり・土砂災害の発生プロセスについて検討する。

2. 時系列データ

本稿で取り上げた時系列情報は, 主として以下の5つの情報に基づく。

- 1) 5月10日までの地すべりの前兆現象に関連した情報(秋田県鹿角土木事務所調べ)。
- 2) 地すべり及び水蒸気爆発の地震動を捉えた地震動観測データ(東北大学理学部附属地震・噴火予知研究観測センター秋田焼山観測点)。
- 3) 地すべり・土砂災害により発生したと考えられる停電事故に関する情報(東北電力秋田支店営業配電部)。
- 4) 水蒸気爆発を上空から視認した目撃者の証言と撮影写真(秋田航空の伊藤 孝機長及び平松 真整備士)。
- 5) 地すべり及び水蒸気爆発を取材した記者の証言と取材ビデオ(ABS秋田放送西田 亨記者)。
なお, 1), 4), 5)については秋田地方気象台防災業務課, 5)については秋田県警察本部及び鹿角警察署の協力を得て情報を補完した。

2.1 地すべり主滑動の前兆現象に関連した情報

地すべり主滑動が発生した5月11日午前8時に前に, その前兆現象として確認された情報を第1表に示す。確認された最も古い情報は, 澄川温泉で飲料水に使用している沢水が5月4日から濁り始めたというものである。その後の裏山の地割れや道路等の破損はいずれも地すべりの局所的な進行に伴うものであり, 地すべり地塊が全体として滑動を開始したのは5月10日午前2時30分と考えられる(秋田県鹿角土木事務所調べ)。

また, 澄川温泉裏手の山道を150mほど登った

キーワード: 地すべり, 水蒸気爆発, 岩屑なだれ, 時系列情報, 温泉, 秋田県, 八幡平, 澄川, 赤川

1) 地質調査所 環境地質部

第1表 地すべり主滑動の前兆現象.

月/日/時:分	観察された現象
5/04/	澄川温泉の飲料用水に濁りが発生.
5/07/	澄川温泉横のコンクリート道路に亀裂発生.
5/07/21:00	澄川温泉一帯で連続降雨 (5/08/20:00までの連続雨量114mm)
5/08/	澄川温泉裏山に地割れを確認 (澄川温泉 阿部博明氏).
5/08/	澄川温泉の露天風呂が埋まる.
5/08/21:20	澄川温泉付近の電力ケーブルに異常が発生し, 停電事故発生.
5/09/01:10	再び停電事故発生.
5/09/	澄川温泉の露天風呂の基礎が破損.
5/09/	澄川温泉裏山にある涸渇した温泉が再び自噴を開始.
5/10/02:30	澄川温泉南西側で東西500m, 南北700mの地すべり発生.
5/10/10:30	地すべりブロックで1時間に数cmの地盤のずれを確認. 約1mの段差やいたるところに地割れを確認.

地点にある涸渇した温泉が5月9日に再び自噴するようになっており(NHKクローズアップ現代5月22日放映), 地下の熱水系の活動にも変化が生じていた.

2.2 地震動観測データ

東北大学理学部附属地震・噴火予知研究観測センター秋田焼山観測点は, 澄川温泉から1.4km下流にある赤川橋の南東約150mの地点にある(第1図). 秋田焼山観測点の地震動観測データは, 今回の土砂災害に関する最も正確な時間データを与える情報として貴重なものである.

地震・噴火予知研究観測センターの浜口博之教授によれば, 秋田焼山観測点の地震動観測データには澄川温泉付近の地すべりによる短周期震動や地下水の流動状況を示すと考えられる長周期微動の活動が記録されている. 浜口教授が第75回火山噴火予知連絡会に提出した秋田焼山観測点の地震動観測データの抜粋を第2表に示す.

短周期震動は5月11日午前4時頃に活動を再開し, また長周期微動もこの時刻に活発化している. その後午前7時32分頃に短周期震動は顕著化し,

第2表 東北大学秋田焼山観測点の5月11日の地震動観測データ.

時:分:秒	短周期震動 (地すべり)	長周期微動 (地下水流動)
4:—:—	再活動開始	活 発 化
7:32:—	顕 著 化	活動ピーク
7:53:—	活動停止	活動停止
7:57:—	再活動開始	
7:58:40*		活 発 化
7:59:10~20*	活 発 化	
8:00:00	(8:00:00以降の地震計記録は未公表)	
8:00:20	(停電により記録停止)	

* 第75回火山噴火予知連絡会資料から著者が判読した時刻. その他の時刻は火山噴火予知連絡会に東北大学が報告した時刻.

また長周期微動も活動ピークを迎えている. しかし, 地すべり主滑動の直前の7時53分~7時56分にかけては, 短周期震動及び長周期微動のいずれも活動を停止している(空白の4分間). 短周期震動は, その後7時57分頃から低いレベルで活動を開始し, 7時59分10秒~20秒頃にかけて活動が活発化している. 長周期微動は7時58分40秒頃から活動が活発化している. なお, 地震計のデータは8時0分20秒に停電のため記録が停止している.

2.3 停電事故

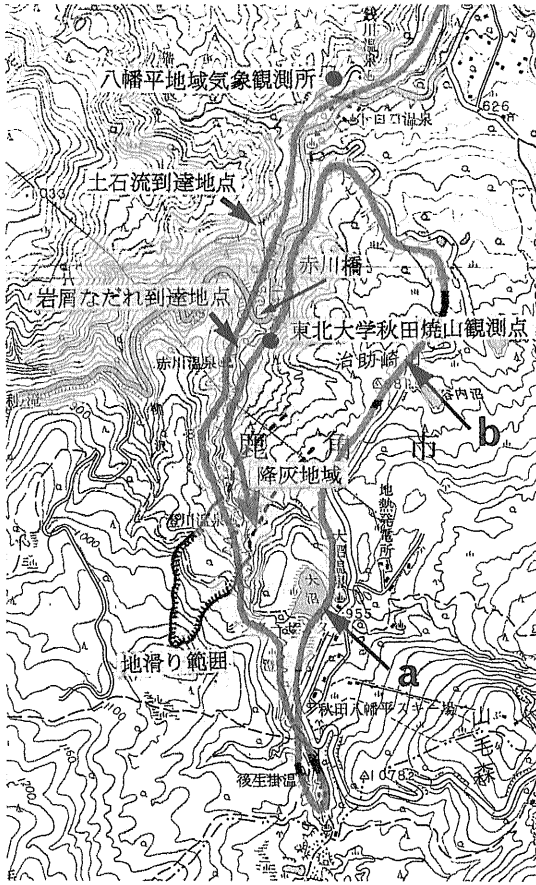
東北大学秋田焼山観測点において5月11日午前8時0分20秒に発生した停電について, 東北電力秋田支店営業配電部に確認を行った. 同営業配電部が把握している停電事故に関する情報は以下の通りである.

- 1) 停電事故は, 8時0分0秒から0分59秒までの間に発生した.
- 2) 今回の災害により, 八幡平地区電力配線網のうちトロコ線No.1~4及びNo.1S1~1S2の澄川温泉への電力引込線部の電柱(第2図), またNo.22S1~No.22S2の赤川温泉への電力引込線部の電柱(第3図)が欠損・流出した.
- 3) 2)のいずれかの電力引込線部に接地不良あるいは断線などの事故が発生したため, 八幡平地区への全ての電力配給が瞬時に停止した.

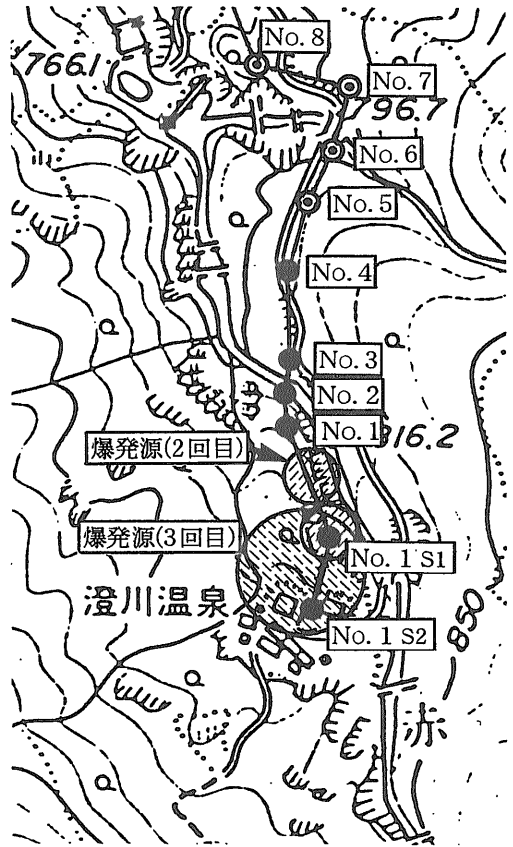
2.4 上空からの目撃証言及び撮影写真

秋田航空所属のヘリコプターは, 5月10日に発生した地すべりによる澄川温泉の建物被害を撮影するために澄川温泉上空付近を飛行していた. 秋田航空伊藤 孝機長に確認したヘリコプターの飛行経路と同乗した平松 真整備士による写真撮影地点(推定)を第1図に, またその目撃証言と写真撮影との関係を第3表に示す.

ヘリコプターは, 5月11日午前7時41分に秋田空港を出発し, 澄川温泉下流のトロコ温泉付近から赤川及び澄川を南に遡って, 8時前後には一旦澄川温泉上空に達した. しかし, 澄川温泉の建物の確認に失敗し, 澄川温泉上空を通過後, 澄川温泉南方の後生掛温泉上空で澄川温泉方向に機体を反転させるために右旋回した. 澄川温泉上空を通過後, 後生掛温泉上空で右旋回を完了するまでの



第1図 地すべり・土砂災害に関する位置関係と秋田航空(株)ヘリコプターの飛行経路。国土地理院発行5万分の1地形図「田山」及び「八幡平」の一部を使用。



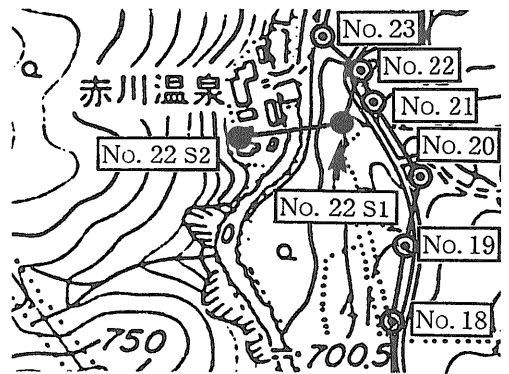
第2図 澄川温泉への電力引込線及び電柱位置と水蒸気爆発源の関係。No.XXはトロコ線の電柱番号を示す。爆発源(2回目及び3回目)は空中写真及び現地調査から推定したものである(遠藤・高橋, 1997)。三菱マテリアル(株)編纂発行1万分の1「澄川地区地形図」の一部を200%拡大して使用。

時間は、伊藤機長によれば、「およそ90～120秒前後」とされる。

伊藤機長は右旋回後、

- 1) 「大きくなびく白い蒸気(本号口絵2の中央から右手にたなびく噴煙)が(澄川温泉方向で)上がっている」のに気づき、
- 2) 「そのやや左から白い水柱(本号口絵2中央のやや灰色の噴煙)が5～6秒間噴出し、
- 3) 「10秒ほど後にさらに左から黒い煙のようなものが混ざった水柱のようなもの(本号口絵2左手のやや黒っぽい噴煙)が5～6秒間噴出し」するのを目撃した。

また、伊藤機長の印象によれば、これらの水柱状のものの噴出は2回とも間欠泉状であり、その到



第3図 赤川温泉への電力引込線及び電柱位置。No.XXはトロコ線の電柱番号を示す。三菱マテリアル(株)編纂発行1万分の1「澄川地区地形図」の一部を200%拡大して使用。

第3表 秋田航空伊藤機長による5月11日のフライト内容と目撃証言。

時:分	フライト位置	証言及び経過時間(秒)
7:41	秋田空港	出発。
8:00頃	澄川温泉上空	澄川温泉の建物の確認に失敗し通過。 (90～120秒後)
	後生掛温泉上空	澄川温泉方向に機体を右旋回反転。 1)大きくなびく白い蒸気を澄川温泉方向に確認。 2)白い蒸気のやや左から白い水柱が5～6秒噴出するのを確認。 (10秒後)
	大沼上空	3)黒い煙のようなものが混ざった水柱のようなものが5～6秒噴出するのを確認。平松整備士が写真を撮影(第1図a地点)。
	7号トンネル沿い	水蒸気爆発による噴煙(第1図b地点)の中を通過し、風防ガラス上に火山灰による白い斑点状の汚れが付着。
	トロコ温泉上空	
	赤川橋上空	土石流堆積物を確認。
	澄川温泉上空	地すべりを確認。水蒸気を上げる噴気孔を3個確認。

達高度は100m以上(目視)である。

伊藤機長の左側に座乗していた平松整備士は、伊藤機長が視認した白い水柱の噴出(1回目)の瞬間は目撃していないが、2回目の噴出を目撃し、その撮影に成功している(本号口絵2；第1図a地点)。この写真には水蒸気爆発による噴煙とともに、地すべり主滑動により形成された滑落崖が明瞭に写っている。

水蒸気爆発の撮影時、ヘリコプターは澄川温泉南東方の大沼上空にあり、その後噴煙を東に避け八幡平アスピーテライン沿いにトロコ温泉まで移動した。ヘリコプターが水蒸気爆発による噴煙の風下(第1図b地点)を通過する間に、風防ガラス上には火山灰を含む水滴が付着した。

トロコ温泉から再び赤川橋に差し掛かった時には既に土石流が赤川橋に達しており、また澄川温泉付近は地すべりにより様相が一変していた。なお、澄川温泉付近にはさきほど観察されたような噴煙の大規模な噴出は認められず、水蒸気を少量噴出する噴気孔が3個確認された。

2.5 鹿角市調査団に同行した記者の目撃証言と取材ビデオ

澄川温泉付近で5月10日発生した地すべりを調査するために5月11日午前7時頃現地入りした鹿角市調査団に同行したABS秋田放送西田 亨記者が撮影した取材ビデオには、澄川温泉付近の地すべり主滑動前の状況や澄川温泉から退避後の赤川橋

第4表 ABS秋田放送西田記者の5月11日の取材ビデオの撮影内容。

ビデオタイマー分・秒	時刻*	撮影内容
		澄川温泉付近の地すべり主滑動前の状況
	7:00頃	鹿角市調査団が澄川温泉に到着。澄川温泉裏手に噴気確認。
	7:40頃	澄川温泉の宿泊棟が全壊し、澄川温泉から退避。澄川温泉裏手の噴気量は著しく増加。
		澄川温泉の水蒸気爆発による噴煙
	00:00	7:59:24 撮影再開。澄川温泉方向から噴煙が立ち登る映像。
	00:02	7:59:26 西田記者が腕時計で撮影時刻を確認。
	00:02	7:59:26 本号表紙写真(秋田魁新報社提供)の推定撮影時刻。
	00:04	7:59:28 西田記者が腕時計で撮影時刻を確認。
	00:21	7:59:45 鹿角警察署藤澤警部補がバトカーから離れ、赤川橋へ向かう映像。
	00:28	7:59:52 撮影中断。
		国道341号上の災害関係者の会話
	00:28	撮影再開(推定中断時間は30～60秒)。
	00:34	会話「赤川温泉の方ですごい音がしてる」
	00:40	赤川温泉方向で高さ数10m以上の水蒸気が噴出。
	00:41	撮影中断。
		土石流の赤川橋到達
	00:41	8:00:42 撮影再開(中断時間は不明)。赤川温泉方向で水蒸気がもうもうと上がっている映像。
	00:45	8:00:46 藤澤警部補が赤川橋方向から道路を駆け上がってくる映像。藤澤警部補「来た、来た」
	00:54	8:00:55 藤澤警部補がバトカーに帰着。
	01:00	8:01:01 撮影中断。
		土石流先端の様子と突風の到来
	01:00	8:01:01 撮影再開(中断時間は一瞬で、事実上連続)。赤川橋下流の河川屈曲点には土石流はまだ到達していない。
	01:11	8:01:12 赤川橋下流の河川屈曲点に土石流先端がフレームイン
	01:14	8:01:15 土石流先端から水蒸気が噴出(1回目)。
	01:15	8:01:16 土石流先端から水蒸気が噴出(2回目)。
	01:45	8:01:46 赤川橋下流の河川屈曲点に突風が吹き付ける。
	02:14	8:02:15 画面全体が一瞬白くなる。
	02:20	8:02:21 突風が吹き終わる。

*撮影時刻は西田記者の腕時計を基準とし、ビデオタイマーから推定した。また、8時以降の時刻は鹿角警察署藤澤警部補の赤川橋における行動から復元した。

周辺の状況が記録されている。赤川橋で撮影された取材ビデオには澄川温泉方向からの噴煙、赤川温泉方向の水蒸気、土石流通過時の状況などが記録されており(第4表)、特に澄川温泉方向からの噴煙を撮影したビデオ映像には西田記者の腕時計の時刻が撮り込まれており、時系列情報として貴重である。

2.5.1 澄川温泉付近の地すべり主滑動前の状況

西田記者の取材ビデオには、澄川温泉の宿泊施設が地すべりの押し出しにより徐々に倒壊する様子が撮影されている。また、澄川温泉上流に位置する砂防ダム付近の澄川温泉側の崖が小規模な崩壊を起こす様子も撮影されている。その崩壊面には変質した青白色の温泉余土が露出しており、また崩壊面付近からは水蒸気が上がっている。なお、

赤川橋のやや下流のトロコ温泉付近にある秋田地方気象台八幡平地域気象観測所(第1図)の7時の気温は12.9℃であり、澄川温泉付近の当時の気温も同様と推定される。

また、澄川温泉付近で発生している水蒸気量は、鹿角市調査団が澄川温泉を退避する7時40分頃には現地入りした7時頃と比べて有意に増加している。

2.5.2 澄川温泉方向の水蒸気爆発(1回目)による噴煙

澄川温泉付近で水蒸気爆発が発生した5月11日午前8時頃、国道341号赤川橋付近には澄川温泉の地すべりを現地調査した鹿角市調査団一行及び同行した報道関係者や、鹿角警察署や建設省東北地方建設局の職員など多数の人がいた。

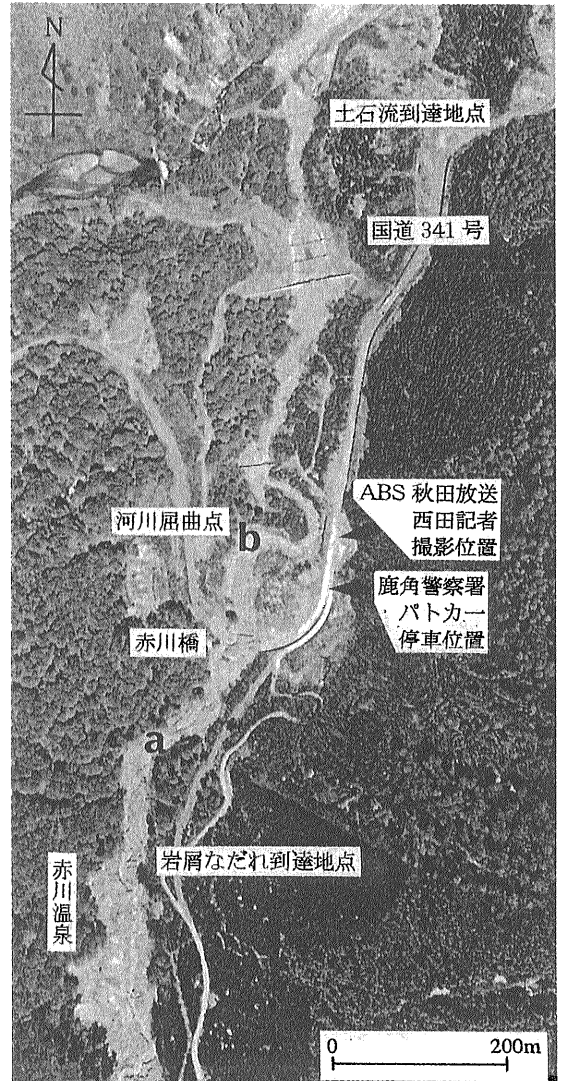
澄川温泉方向から上がった噴煙は火災による煙と当初誤認されたが、噴煙が積雲状に大きく発達したために多くの人が異常に気づき、西田記者も取材ビデオの撮影を開始した。そのため噴煙発生直後の状況は映像情報としては記録されておらず、取材ビデオの撮影開始は最初に噴煙が視認されてから「30～60秒後」とされる。西田記者の取材ビデオ撮影地点は、赤川橋の下流側約200m付近の国道341号線上である(第4図)。西田記者は積雲状に発達した噴煙の撮影中に、西田記者の腕時計を取材ビデオに撮し、撮影時刻の確認を行っている。西田記者の腕時計によれば、取材ビデオには7時59分24～52秒頃にかけての水蒸気爆発による噴煙が撮影されている。

2.5.3 国道341号上における災害関係者の会話と赤川温泉方向の水蒸気噴出(2回目)

西田記者は、澄川温泉の水蒸気爆発による噴煙撮影後、国道341号上にいた災害対策関係者のビデオ取材を開始した。西田記者によれば、ビデオ撮影の中断時間はおよそ30～60秒である。

西田記者の取材ビデオには、災害対策関係者の背景として赤川温泉方向の映像が撮されている。その赤川温泉方向の映像を解析したところ、水蒸気が数10m以上の高さまで1回噴出しているのが確認された(第5図;赤川温泉方向の2回目の水蒸気噴出、1回目については後述)。また、この直前の取材ビデオには災害対策関係者の「赤川温泉の方ですごい音がしてる」という会話が記録されている。

1997年7月号

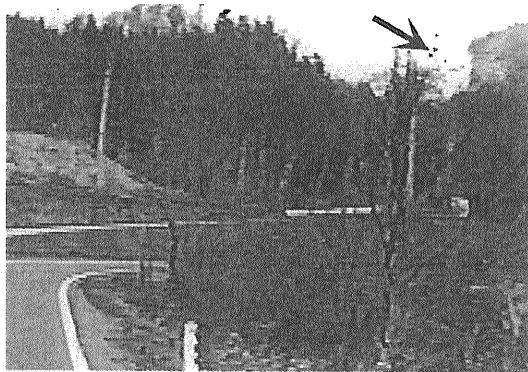


第4図 赤川橋周辺における位置関係図。国際航業(株)が1997年5月12日に撮影した赤川橋周辺の空中写真の一部を使用。

しかし、この音について西田記者は記憶しておらず、また風の音が大きいため取材ビデオからこの音を明瞭に聞き取ることはできない。

2.5.4 土石流の赤川橋到達

西田記者はこの後(撮影中断時間は不明)、赤川温泉方向で水蒸気が上がっているのに気づき、赤川温泉方向の撮影を開始した。そのビデオ映像には赤川温泉方向で水蒸気もうとうと立ち上がる状況が撮されている。撮影再開後約4秒後のビデオ映像には、赤川橋直上にいた鹿角警察署藤澤



第5図 赤川温泉方向における2回目の水蒸気噴出写真。矢印の先に赤川温泉方向から噴出した2回目の水蒸気が認められる。手前の道路は国道341号線である。ABS秋田放送西田記者撮影の取材ビデオからプリントしたものの一部を使用。

彰警部補が(土石流の赤川橋到着に気付き、それを避ける為に)駆け上がってくる姿が撮されており、撮影再開後約13秒後に鹿角警察署パトカーに帰着している。取材ビデオには、この後再び赤川温泉方向で上がっている水蒸気が撮影されているが、水蒸気の量は撮影再開直後に比べて著しく減少している。

2.5.5 土石流先端部の様子と突風の到来

西田記者はわずかな撮影中断をはさみ、赤川橋下流の河川屈曲点(第4図)に到達した土石流の撮影を行っている。西田記者によれば撮影中断時間はビデオカメラを振り向ける間のほんの一瞬のみであり、事実上連続した映像とみなしてかまわないとのことである。

西田記者の取材ビデオによれば、赤川橋下流の河川屈曲点に到達した土石流先端は多量の流木と土塊の混合物からなる。この土石流先端から水蒸気がジェット状に噴出するのが2回確認された(本号図13)。土石流の流速を考慮するとこれらの水蒸気は土石流の同じ部分から噴出したものである。なお、秋田地方気象台八幡平地域気象観測所の8時の気温は14.3℃であり、赤川橋周辺の気温も同様と推定される。

土石流の先端が赤川橋下流の河川屈曲点に到達した約34秒後に、極めて強い風が上流方向から吹きおろし始め、およそ35秒間継続する。また、突風の終了直前に、土石流を撮影中のビデオ映像が

一瞬白く霧がかかったようになる。西田記者はこの映像撮影時にビデオカメラが振られるほどの非常に強い風が吹いていたことを記憶しており、また風そのものについては「ぬるかったと思う」と証言している。

2.6 赤川橋周辺におけるその他の情報

2.6.1 赤川温泉方向の水蒸気噴出(1回目)

ABS秋田放送西田記者の目撃証言によれば、赤川橋で澄川温泉付近の水蒸気爆発による噴煙が目撃された同時刻に、赤川温泉方向でも水蒸気が発生していたとされる。しかし、西田記者の取材ビデオにはその映像は撮影されておらず、同時刻に撮影されたと推定される秋田魁新報社撮影・提供による写真(本号表紙写真)により西田記者の目撃証言を確認した。本号表紙写真には写真中央から左手に大きくなびく澄川温泉付近の水蒸気爆発による噴煙とともに、写真右手の谷の切れ目(赤川温泉方向)にも水蒸気による雲がうっすらと確認でき(赤川温泉方向の1回目の水蒸気噴出)、西田記者の目撃証言が裏付けられた。なお、この写真の撮影時刻は、西田記者の取材ビデオから7時59分26秒頃(第4表;西田記者の腕時計)と推定される。

2.6.2 鹿角警察署員の噴煙及び土石流の目撃証言

鹿角警察署藤澤 彰警部補は、澄川温泉方向への交通を遮断するために赤川橋手前の澄川温泉入口付近にパトカーを停車させ、周辺の警備に行っていた。藤澤警部補は、5月11日午前8時頃「ドーン」というような音を聞き振り返ったところ、澄川温泉方向から噴煙が立ち上がるのを目撃した。藤澤警部補は噴煙が積雲状に大きく発達したことから異常発生を災害対策本部及び警備本部に連絡するよう同僚の鹿角警察署高瀬文敏巡査長に伝え、藤澤警部補本人は状況確認のため赤川橋に向かった。西田記者の取材ビデオによれば、藤澤警部補がパトカーを離れ赤川橋に向かった時刻は7時59分45秒頃(第4表;西田記者の腕時計)である。

藤澤警部補はパトカーから赤川橋までの約100mを小走りに下り、およそ1分弱で赤川橋に到着した。赤川橋で上流方向を見上げたところ土石流が流下してくるのを目撃し、土石流を避けるために国道341号を約100mほど駆け上がり、パトカーで待機していた同僚の高瀬巡査長や災害対策関係者に

「来た、来た」と土石流の到来を告げた。藤澤警部補によれば、赤川橋からパトカーに到着するまでの時間はおよそ15秒ほどである。なお、藤澤警部補がパトカーに駆け寄り到着するまでの姿も西田記者の取材ビデオに撮されている(第4表)。

また、高瀬巡查長によれば、藤澤警部補が赤川橋に駆け下りる前後から、赤川温泉方向から「ゴー」、「バキバキ」というような音が次第に大きく響くようになったとされる。しかし、藤澤警部補や西田記者にはこの音に関する記憶はなく、また西田記者の取材ビデオでは風の音が大きいため、この音を識別することはできない。

3. 地すべり及び流下堆積物

各時系列データの整合性及び時間関係を検討する前に、その基礎となる野外調査結果を整理する。

3.1 地すべり

今回の地すべりに関して以下の事柄が明らかになっている。

- 1) 地すべりにより形成された地形は、遠藤・高橋(1997)によれば以下のような特徴を持つ。
 - a) 地すべりの滑動方向はNNEである。
 - b) 地すべりによる押し出し域がほとんど認められず、前縁部は緩斜面をなす。
 - c) 地すべり押し出し域が対岸斜面へ大規模に乗りあげた証拠はない。
- 2) 地すべりの誘因としては雪解け水や地すべり直前の降雨(秋田地方気象台八幡平地域気象観測所において5月7日21時から5月8日20時にかけて114ミリの雨量を観測)の地下浸透の影響が考えられる。

3.2 流下堆積物

澄川温泉付近から崩壊し、澄川及び赤川を流れ下った土砂は、遠藤・高橋(1997)によれば以下の特徴を示す。

- 1) 澄川温泉付近から流れ下った方向はNNWであり、地すべりの滑動方向(NNE)に対し約45°異なっている。
- 2) 澄川温泉付近から赤川温泉下流までの堆積物は岩屑なだれ堆積物の特徴を示し、流れ山

地形も認められる。また、澄川及び赤川の谷斜面には、流れ下った土砂による乗り上げや削剥が行われた痕跡が認められる。

- 3) 赤川温泉下流から赤川第四砂防ダムまでの堆積物は、土石流堆積物の特徴を示す。

4. 地すべり主滑動に要した時間

地すべり主滑動は、極めて短時間のうちに完了したと考えられる。以下に秋田航空のヘリコプターの飛行経路(第1図)と目撃証言や撮影写真(第3表)をもとに、地すべり主滑動に要した時間を検討する。

澄川温泉付近の地すべりによる建物被害を撮影するため下流のトロコ温泉方面から澄川温泉へと向かった秋田航空のヘリコプターは、澄川温泉付近の地すべりを見いだすことなくその上空を通過しており、この時点では地すべり主滑動は発生していないと考えられる。

澄川温泉南方の後生掛温泉付近で澄川温泉方向に右旋回反転後、ヘリコプター乗員は澄川温泉方向で水蒸気爆発が発生しているのを目撃している。ヘリコプターを操縦していた秋田航空伊藤機長が視認した水柱のようなものの2回目の噴出の写真には既に地すべり主滑動により形成された滑落崖が撮影されている。澄川温泉上空を通過してから、後生掛温泉付近で澄川温泉方向に右旋回反転するまでの時間はおよそ90～120秒、水柱のようなものの1回目の噴出から2回目の噴出終了までの時間はおよそ20秒程度と伊藤機長は推定している。右旋回反転後水柱のようなものの1回目の噴出までの時間は不明であるが、伊藤機長の左に座乗していた秋田航空平松整備士が「伊藤機長に促されて噴煙の方向を見た時には既に水柱が上がっていた」と証言していることから、長くとも数秒以内と考えられる。仮にこの時間を5秒程度と考えると、ヘリコプターが澄川温泉上空を通過後115～145秒以内に地すべり主滑動は完了したことになる。

5. 水蒸気爆発の爆発回数及び発生時刻

澄川温泉付近での水蒸気爆発は、秋田航空伊藤機長の談話から少なくとも3回発生したと考えられ

る。

1 回目の水蒸気爆発：伊藤機長が「大きくなびく白い蒸気」として認識した噴煙の存在から、その直前に水蒸気爆発があったことが推定できる。なお、ここでは単に1回目としたが、それが複数回の水蒸気爆発であった可能性もある。

地質調査所の現地調査では爆発源は2ヵ所(2回目及び3回目の水蒸気爆発に対応)しか確認されおらず(第2図；遠藤・高橋, 1997), 1回目の水蒸気爆発源は2回目以降の水蒸気爆発により誘発された岩屑なだれにより埋積されたと推定される。なお、伊藤機長の目撃証言から、1回目の水蒸気爆発源は2回目の水蒸気爆発源(第2図)のやや下流側と推定される。また、林ほか(1997)は噴石及び火山灰の飛散状況から3ヵ所の爆発源を推定している。林ほか(1997)の推定した3ヵ所の爆発源の位置は本稿とは異なっており、今後の検討課題である。

赤川橋でABS秋田放送西田記者が撮影した取材ビデオの澄川温泉方向の噴煙は、この1回目の水蒸気爆発によるものである。西田記者の噴煙撮影時刻は7時59分24～52秒頃にかけてであり(西田記者の腕時計)、またビデオ撮影の30～60秒前に既に噴煙が上がっていたとされる。秋田焼山観測点の地震動観測データによれば、7時58分40秒頃から地下水の流動状況を示すと考えられる長周期微動の活動が活発化しており、これらの時間関係を総合的に判断すると、7時58分40秒頃に1回目の水蒸気爆発が発生したと推定される。

2 回目の水蒸気爆発：伊藤機長の目撃した白い水柱の噴出(1回目)に相当し、爆発源は澄川温泉の源泉北方と推定される(第2図)。

3 回目の水蒸気爆発：伊藤機長の目撃した黒い煙のようなものが混ざった水柱の噴出(2回目)に相当し、爆発源は澄川温泉の源泉位置付近と推定される(第2図)。

6. 赤川橋付近で観測された現象の解釈

6.1 ABS秋田放送西田記者の腕時計の正確さ

西田記者の腕時計による撮影時刻は、東北大学秋田焼山観測点の地震動観測データと東北電力秋田支店が把握している停電時刻以外では、現時点

における唯一の時間情報である。そのため、著者が6月13日に西田記者に腕時計の時刻の正確さを確認したところ、「地すべり取材後に腕時計の時刻合わせを既に1回行っており、先週の週末(6月7日前後)に合わせた時には6～7秒程度しか狂っていなかったと思う。多分10秒は狂っていなかったけれど、正確なところはわからない。地すべり取材前にいつ時刻合わせしたかは覚えていない」との回答を得た。さらに、その後に著者が西田記者に再び腕時計の時刻について問い合わせたところ、「6月30日に再び腕時計の時刻合わせをした時には7秒進んでいた」との回答を得た。西田記者の腕時計が一定のペースで狂うと仮定すれば、5月11日の地すべり発生後6月7日までにおよそ8秒程度の狂いが生じることになる。従って、西田記者の「10秒は狂っていなかった」という記憶が確かであれば、西田記者が撮した腕時計の時刻はおおよそ正確であったと考えられる。

6.2 赤川橋付近で観察された土石流の到達時刻と流速

赤川橋付近における時系列情報は、ABS秋田放送西田記者の取材ビデオ及び赤川橋直上で土石流の到来を目撃した鹿角警察署藤澤警部補の証言から、次のようにまとめられる。

藤澤警部補の証言によれば、藤澤警部補がパトカーから離れ赤川橋に到着するまでの時間は1分弱、赤川橋からパトカーに帰着するまでの時間は15秒である。1分弱を55秒と仮定すると、

- 1) 藤澤警部補がパトカーを離れる時刻は7時59分45秒頃(西田記者の取材ビデオ)、
 - 2) 藤澤警部補が赤川橋に到着した時刻は8時0分40秒頃(この時に赤川橋の上流を土石流が流下するのを目撃した)、
 - 3) 藤澤警部補が再びパトカーに帰着する時刻は8時0分55秒頃(この姿は西田記者の取材ビデオに撮影されていた)、
 - 4) 土石流の先端が赤川橋下流の河川屈曲点に到達した時刻は8時1分12秒頃、
 - 5) 非常に強い風が赤川橋下流の河川屈曲点に到達した時刻は8時1分46秒頃と推定される。
- 土石流の速度は上記の西田記者の取材ビデオ及び藤澤警部補の証言から、以下のように算出さ

れる。

- 1) 藤澤警部補は赤川橋直上で、8時0分40秒頃に土石流を目撃した。赤川橋上流側の視認範囲は、河川の屈曲のため最大でも第4図a地点までと考えられる。
- 2) 西田記者は8時1分12秒頃、赤川橋下流の河川屈曲点(第4図b地点)に到達した土石流先端の撮影を行っている。
- 3) 赤川橋で目撃された土石流は、第4図a地点からb地点の約280m(最大値)を、約32秒前後で通過している。従って、土石流の流速は最大8.8m/s程度と考えられる。
- 4) 土石流先端部の通過時刻を、上記の流速及び赤川橋下流の河川屈曲点に到達した時刻である8時1分12秒頃をもとに逆算すると、
 - a) 赤川温泉付近(450m上流)は8時0分20秒頃、
 - b) 赤川橋付近(130m上流)は8時0分57秒頃となる。
- 5) 実際には藤澤警部補の土石流視認位置や時間的な誤差を考慮する必要があるため、赤川橋付近における土石流先端部の流速及び通過時刻は、
 - a) 土石流の流速は赤川橋付近では7.5～10m/s程度、
 - b) 赤川温泉付近(450m上流)の通過時刻は8時0分12～27秒頃、
 - c) 赤川橋付近(130m上流)の通過時刻は8時0分55～59秒頃と推測される。

6.3 赤川橋で観察された非常に強い風と赤川温泉下流で停止した岩屑なだれとの関係

赤川温泉下流付近で停止した岩屑なだれによる堆積物は、澄川温泉付近から赤川温泉下流付近まで観察できる。この岩屑なだれは最も多量の流出土砂を運搬した最大の流れと推定され、また谷沿いの流路に残された乗り上げの痕跡から極めて高速で流下したと推定される。

岩屑なだれの前面及び側面には強い風を伴うことが知られており(例えば栗田ほか, 1984)、この風は岩屑なだれ本体が停止してもしばらくはそのままの速度で流化すると考えられている。赤川温泉下流付近で停止した岩屑なだれに伴う強い風も

赤川温泉下流付近ではすぐに停止せず、そのまま谷を流下して赤川橋を通過していったと考えられる。赤川橋付近では土石流先端が赤川橋下流の河川屈曲点に到達してから約34秒後に、赤川上流方向から非常に強い風が35秒間継続して吹くのが観察された。秋田地方気象台八幡平地域気象観測所の5月11日8時の風向・風速は西の風5m/sであり、風向については5月11日3時～10時まで西の風、また風速については3～5m/sで落ちついていることを考慮すると、赤川上流方向である南から非常に強い風が35秒間継続して吹き続けるという現象は岩屑なだれと密接な関係を持っていた考えざるを得ない。従って、この非常に強い風は、赤川温泉下流で停止した岩屑なだれの恐らくは前面から押し出された風と推定される。

6.4 赤川橋で観察された最初の土石流と赤川温泉下流で停止した岩屑なだれとの関係

赤川橋付近で観察された最初の土石流と赤川温泉下流で停止した岩屑なだれとの関係を、この岩屑なだれに伴った現象と考えられる赤川橋周辺で観察された非常に強い風と土石流との時間的関係から検証する。

赤川橋付近で観察された最初の土石流が岩屑なだれの赤川温泉下流での停止に伴って発生したと仮定する。土石流の速度は赤川橋付近では7.5～10m/s程度と推測され、赤川温泉下流から赤川橋下流の河川屈曲点までの約450mを45～60秒かけて流下したと考えられる。一方、赤川橋下流で観察された非常に強い風は土石流先端の到達から約34秒後に観察されているので、赤川温泉下流から赤川橋下流の河川屈曲点までの約450mの距離を79～94秒かけて流下したことになり、その風速は4.8～5.7m/s程度と計算される。秋田地方気象台八幡平地域気象観測所の5月11日8時の風向・風速は西の風5m/sであり、計算結果は当日の風速に比べて非常に強い風とは言い難い。また、ABS秋田放送西田記者は「ビデオカメラを持つ腕が振られるほどの風」と証言しており、この目撃証言とも合致しない。従って、赤川橋で観察された最初の土石流が赤川温泉下流で停止した岩屑なだれから発生したものは考えられない。

赤川橋付近で観察された最初の土石流(第1波)

は、赤川温泉下流で停止した岩屑なだれ(第2波)に先行した土砂の流れであると考えられる。赤川橋下流で現在観察される岩屑なだれ堆積物は温泉余土などのブロックを多量に含み、このような温泉余土を多量に含む地すべり前縁部の崩壊前に、澄川温泉付近では既に何らかの崩壊が発生し、それらの土砂が小規模の岩屑なだれもしくは土石流として流下したと考えられる。

6.5 5月11日7時59分26秒前後に目撃された赤川温泉方向の1回目の水蒸気噴出

5月11日7時59分26秒頃に撮影された本号表紙写真(秋田魁新報社撮影・提供)には、澄川温泉付近の水蒸気爆発による噴煙とともに赤川温泉方向にもうっすらと噴煙が写っている(2.6.1節参照)。赤川温泉に関する1997年2月の調査データ(鹿角市役所観光課調べ)によると、温泉水温度は54.5℃、自噴量は128ℓ/minであり、通常噴気は認められないとされる。従って、赤川温泉方向で目撃された噴煙については、次の2つの可能性が考えられる。

- 1) 澄川温泉付近で起こった1回目の水蒸気爆発による噴煙が谷沿いに流下したものの。
- 2) 赤川温泉付近での小規模な水蒸気噴出によるもの。

東北大学秋田焼山観測点の地震動観測データによれば、地下水の流動状況を示すと考えられる長周期微動は7時58分40秒頃から活動が活発化しており、またABS秋田放送西田記者の目撃証言とも合致することから、澄川温泉付近の1回目の水蒸気爆発は早くとも7時58分40秒前後と考えられる。従って、1)の場合は噴煙は澄川温泉から1.1km下流の赤川温泉までを約45秒程度で流れ下ったことになり、およそ24m/s程度以上の極めて高速な流れとなる。このような高速な流れが赤川温泉付近で急に停止するとは考えられず、噴煙が谷沿いに流下したのであれば赤川橋付近をも噴煙が高速で通過したと考えられる。しかし、この時間帯に赤川橋で取材を行っていた西田記者は、そのような強い風は全く感じておらず、1)の澄川温泉付近で起こった1回目の水蒸気爆発による噴煙が谷沿いに流下した可能性は低いと考えられる。従って、赤川温泉付近でも小規模な水蒸気噴出(1回目)が起

こっていたと考えられる。

6.6 土石流通過前に赤川温泉方向で認められた2回目の水蒸気噴出

土石流通過前に撮影されたABS秋田放送西田記者の取材ビデオから、赤川温泉方向で高さ数10m程度の水蒸気噴出(2回目)があったことが確認された。この水蒸気については次の2つの可能性が考えられる。

- 1) 澄川温泉付近から流下した岩屑なだれが赤川温泉下流付近で停止した時に岩屑なだれから発生した粉塵もしくは水蒸気によるもの。
- 2) 赤川温泉源泉付近から噴出した水蒸気によるもの。

赤川温泉下流付近で停止した岩屑なだれには、その前面に非常に強い風が伴っていたと推定される(6.3節参照)。この非常に強い風の赤川橋周辺への到達時間をもとに、赤川温泉方向の2回目の水蒸気噴出について検証する。

西田記者は「国道341号上における災害関係者の会話」撮影後、「土石流の赤川橋到達」の撮影までに若干の中断時間があったことを記憶している。その中断時間は「恐らく30秒以内であるが、よくわからない」とされる。この中断時間を0秒と仮定する。

赤川温泉方向で高さ数10m程度の水蒸気の噴出が撮影されてから赤川橋下流の河川屈曲点で非常に強い風が確認されるまでの時間は西田記者の取材ビデオのタイマーによれば約65秒である。また、災害対策関係者が「赤川温泉の方ですごい音がしている」という会話からは約71秒が経過している。岩屑なだれが停止した赤川温泉下流から赤川橋下流の河川屈曲点までは約450mであり、この距離を約65～71秒かけて流下しているため、その風速は6.3～6.9m/s程度と算出される。この値は取材ビデオ撮影時の中断時間を0秒と仮定したときの値であり、中断時間が長ければ風速はこれよりも遅くなる。

秋田地方气象台八幡平地域気象観測所の5月11日8時の風向・風速は西の風5m/sであり、計算結果は当日の風速に比べて非常に強い風とは言い難い。また、ABS秋田放送西田記者は「ビデオカメラを持つ腕が振られるほどの風」と証言しており、この目撃証言とも合致しない。従って、赤川温泉方

向で観察された高さ数10m程度の水蒸気噴出(2回目)が赤川温泉下流で停止した岩屑なだれから発生した粉塵もしくは水蒸気によるものとは考えられない。

赤川温泉方向では7時59分26秒前後にも水蒸気の噴出(1回目)が確認されており、その後も水蒸気の噴出を伴うような活動が継続していたと考えられる。また、現在のところ赤川温泉付近では噴石や火山灰の放出などの水蒸気爆発を示す直接的な証拠は見いだされておらず、水蒸気もしくは高温の温泉水のみが噴出したと考えられる。赤川温泉方向で観察された高さ数10m程度の水蒸気の発生位置としては、赤川温泉源泉である可能性が高いと考えられる。

6.7 土石流先端部からの水蒸気噴出

赤川橋下流の河川屈曲点に到達した土石流先端からは水蒸気がジェット状に2回噴出している(本号口絵13)。土石流通過時の赤川橋の気温が14℃前後であることを考慮すると、土石流中にはかなり高温なガスが含まれていたと推定される。

土石流中に含まれる高温物質としては、水蒸気爆発による噴石や温泉余土が考えられる。しかし、赤川橋で最初に観察された土石流は温泉余土を多量に含む岩屑なだれに先行した土砂の流れであり、温泉余土がそれほど含まれていたとは考えられない。また、澄川温泉付近に分布する温泉余土が含まれていたとしても赤川橋までの運搬過程で冷却された可能性が高いと考えられる。

赤川温泉付近を土石流が通過したと想定される時間帯に、赤川温泉付近では高さ数10m以上の水蒸気噴出(2回目)が発生していた(6.6節参照)。この水蒸気噴出に伴って赤川温泉周辺に噴石や火山灰が放出された形跡はないが、赤川温泉付近に分布する温泉変質粘土などが水蒸気の噴出によりかなり高温になっていた可能性がある。また、赤川温泉付近で高温物質が取り込まれれば、赤川橋下流までの運搬経路も短く、その過程で完全に冷却されることはないとも考えられる。従って、土石流中の高温物質の正体は恐らく赤川温泉付近に分布した温泉変質粘土であり、土石流先端で温泉変質粘土のブロックが他の物質に衝突した時に内部に含まれていたガスが突出したと考えられる。

7. 地すべり・水蒸気爆発・岩屑なだれに関する時系列データの検討

各時系列データを整理する上で残された問題となる点が、地すべり・地すべり前縁部の崩壊・水蒸気爆発の発生時刻と停電時刻との関係である。1回目の水蒸気爆発の推定発生時刻が7時58分40秒前後であるのに対し停電時刻は8時0分20秒であり、1回目の水蒸気爆発後約1分40秒間は停電事故が発生していない。この停電事故は、澄川温泉あるいは赤川温泉への電力引込線における電柱の欠損・流出事故により発生したと考えられている(東北電力秋田支店営業配電部調べ)。

澄川温泉付近における水蒸気爆発と停電事故との関係は、

1回目の水蒸気爆発：8時0分20秒の停電事故を直接引き起こしておらず、電柱及び電力引込線へ影響を与えていない。また、この水蒸気爆発により誘発された地すべり前縁部の崩壊範囲は、電柱の欠損・流出事故を引き起こさない範囲であった。

2回目の水蒸気爆発源：電柱付近で水蒸気爆発が発生しているため、停電事故を引き起こす可能性が高いと考えられる(第2図)。

3回目の水蒸気爆発源：電柱を水蒸気爆発が直撃する可能性があり、停電事故を引き起こす可能性が高い(第2図)。しかし、2回目の水蒸気爆発で既に停電事故は発生していたと考えられる。

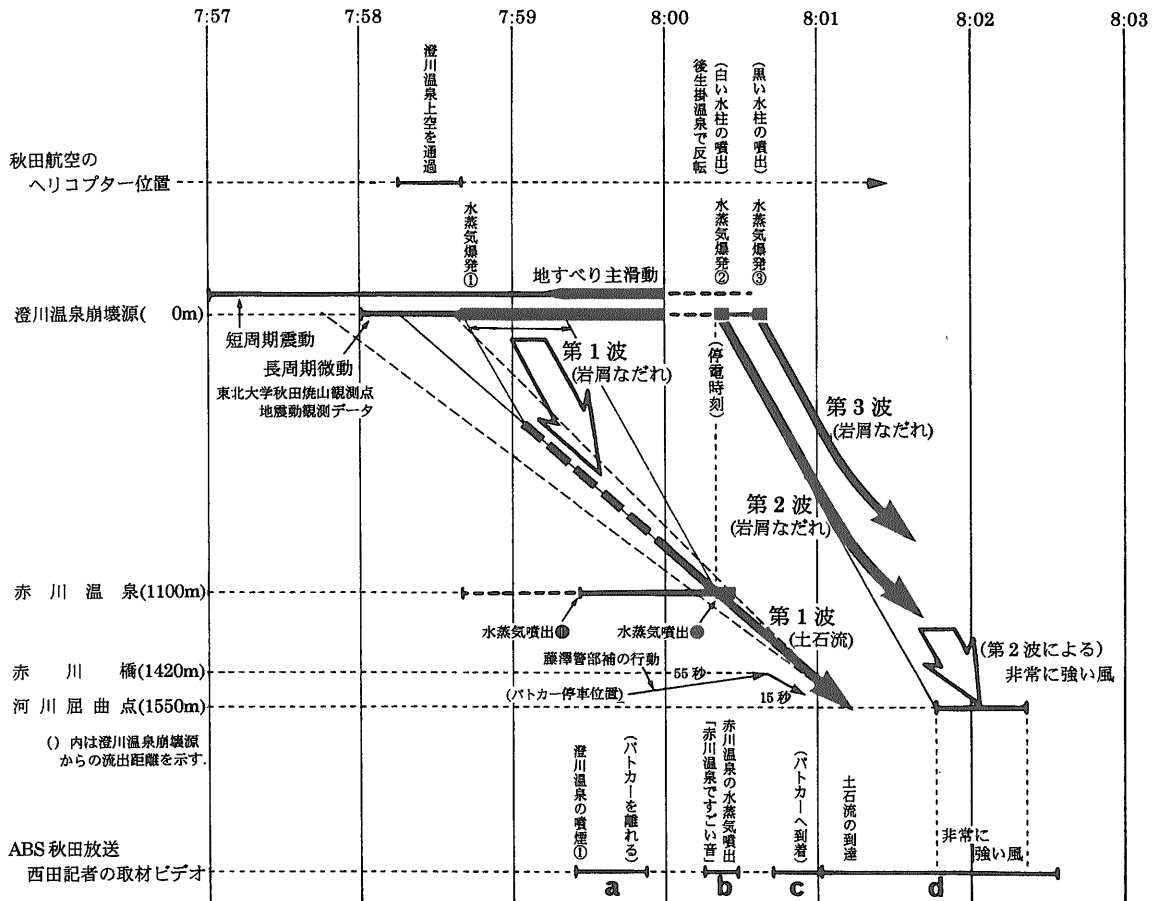
従って、停電事故が澄川温泉で発生した場合は、停電時刻は2回目の水蒸気爆発の発生時刻を示していると考えられる。

a) 澄川温泉付近での2回目の水蒸気爆発は少なくとも8時0分20秒以降である。

秋田航空伊藤機長の証言によれば、澄川温泉上空を通過し澄川温泉付近の2回目の水蒸気爆発を目撃するまでの時間はおよそ95～125秒と推定される。澄川温泉付近の1回目の水蒸気爆発は7時58分40秒前後に始まったと推定され、伊藤機長がこれを目撃していないことから、2回目の水蒸気爆発について次の推定が成り立つ。

b) 澄川温泉付近の2回目の水蒸気爆発の開始時刻は遅くとも8時0分45秒である。

澄川温泉付近での1回目の水蒸気爆発の推定発生時刻は7時58分40秒前後、2回目の水蒸気爆発



第6図 各時系列情報とその関係。ABS秋田放送西田記者の取材ビデオは第4表と次のように対応する：a. 澄川温泉の水蒸気爆発による噴煙，b. 国道341号上の災害担当者の会話，c. 土石流の赤川橋到達，d. 土石流先端の様子と突風の到来。

の推定発生時刻が8時0分20～45秒である。また、6.2節で述べたように土石流先端の赤川温泉通過時刻は8時0分12～27秒前後であることを考慮すると次の推定が成り立つ。

c) 澄川温泉付近での1回目の水蒸気爆発により小規模な崩壊が発生し、土砂が流出し、赤川橋付近では土石流として観察された。

赤川橋付近で観測された土石流の流速から澄川温泉付近における土砂の流出時刻を計算すると、1回目の水蒸気爆発の推定発生時刻(7時58分40秒前後)以前に土砂流出が発生していたことになる。河川勾配を考慮すると、土石流の流速は上流側でやや速かったと推定されるが、著しく速かったとは考えられない。従って、次の推定が成り立つ。

d) 澄川温泉付近での1回目の水蒸気爆発による

小規模な崩壊は、当初岩屑なだれとして流下し、その後土石流化した。

赤川温泉付近では土石流の通過時刻に水蒸気もしくは高温温泉水の噴出(2回目)が発生していた。噴出位置は現在のところ不明であるが、赤川温泉付近では噴石や火山灰の放出などの水蒸気爆発を示す直接的な証拠は見いだされておらず、水蒸気もしくは高温温泉水の噴出は小規模であり、赤川温泉への電力引込線の電柱に致命的な打撃を与えるようなものではなかったと考えられる。赤川温泉への電力引込線の電柱は、むしろ土石流(第1波)もしくは岩屑なだれ(第2波)により致命的な打撃を受けたと考えられる。赤川温泉への電力引込線の電柱は河床よりやや高い地点に位置し(第3図)、土石流(第1波)の規模が極めて大きい場合

を除いて電柱自体は土石流の影響を受けないと考えられる。赤川橋周辺で観察された土石流の規模を考慮すると、土石流(第1波)により赤川温泉側で停電事故が発生した可能性は低いと考えられる。また、岩屑なだれ(第2波)に伴う非常に強い風の赤川橋下流の河川屈曲点への到達時刻(8時1分46秒頃)を考慮すると、岩屑なだれ(第2波)は8時0分20秒には赤川温泉(450m上流側)へは到達していないと考えられる(6.6節参照)。従って、以下の推定が成り立つ。

- e) 8時0分20秒の停電事故は赤川温泉側の電力引込線では発生していない。
- f) 8時0分20秒の停電事故は澄川温泉側の電力引込線では発生した。また、澄川温泉付近での2回目の水蒸気爆発の発生時刻は8時0分20秒と考えられる。

赤川橋下流の河川屈曲点で観察された土石流先端から噴出する水蒸気は、赤川温泉付近に分布する温泉変質粘土に由来する可能性が高いと考えられる(6.7節参照)。これらの温泉変質粘土は赤川温泉付近の高さ数10m以上の水蒸気噴出(2回目)により加熱された可能性が強く、次の推定が成り立つ。

- g) 赤川温泉付近の高さ数10m以上の水蒸気噴出(2回目)は、赤川温泉を最初の土石流の先端が通過した時刻とほぼ同じか、やや前と考えられる。従って、赤川温泉付近の高さ数10m以上の水蒸気噴出(2回目)の発生時刻は、8時0分12~27秒前後と推定される。

以上の知見をもとに、地すべり主滑動・地すべり前縁部の崩壊・水蒸気爆発・岩屑なだれ・土石流の前後関係を整理すると第6図及び第5表のような時系列が得られる。

8. 水蒸気爆発と地すべり主滑動・斜面崩壊の関係

水蒸気爆発は地すべり主滑動やその後の地すべり前縁部の崩壊とほぼ同時に発生している。以下では水蒸気爆発と地すべり主滑動や地すべり前縁部の崩壊との関連について確認された時系列情報から検証してみることにする。

第5表 5月11日8時前後の復元された時系列情報。

7時58分15~40秒頃	(澄川温泉上空を秋田航空ヘリコプターが通過)
7時58分40秒頃	澄川温泉及び赤川温泉にて1回目の水蒸気爆発噴出開始。澄川温泉付近から斜面崩壊により土砂が流出し、赤川橋下流まで下流(第1波)。
7時59分10~20秒前後	澄川温泉付近の地すべり主滑動開始。
8時0分20秒頃	澄川温泉及び赤川温泉にて2回目の水蒸気爆発(噴出)開始。澄川温泉付近の地すべり前縁部が崩壊し、土砂が岩屑なだれとして流出し、赤川温泉下流まで下流し停止(第2波)。
8時0分20秒過ぎ	赤川温泉を1回目の水蒸気爆発による土砂が土石流として通過(第1波)。
8時0分35秒前	澄川温泉付近の地すべり主滑動停止。
8時0分35秒頃	澄川温泉にて3回目の水蒸気爆発開始。澄川温泉付近の地すべり前縁部が更に崩壊し、土砂が岩屑なだれとして流出(第3波)。
8時0分57秒頃	赤川橋を1回目の水蒸気爆発による土砂が土石流として通過(第1波)。
8時1分12秒頃	赤川橋下流の河川屈曲部を土石流(第1波)が通過。
8時1分20秒過ぎ	赤川温泉下流付近で2回目の水蒸気爆発による岩屑なだれ(第2波)が停止。
8時1分46秒頃	赤川橋下流の河川屈曲部を岩屑なだれ(第2波)から押出された空気が非常に強い風として通過。
8時2分21秒頃	非常に強い風が吹き終わる。

8.1 水蒸気爆発により地すべり主活動が誘発された可能性はあるか?

東北大学秋田焼山観測点の地震動観測データによれば、地すべり主滑動による短周期震動の活動が地下水活動による長周期微動より先行している。しかし、短周期震動の活動は最初は低いレベルにあり、その活動が活発化するのには長周期微動が活発化した後である。

水蒸気爆発により地すべり主滑動が誘発されるためには、a) 水蒸気爆発が地すべり削剥域で発生し、地すべり地塊のすべりを直接誘発するか、b) 水蒸気爆発による衝撃が地すべり主滑動を誘発することが必要である。a)については、推定される水蒸気爆発源はいずれも地すべり面(推定)の下位の押し出し域もしくはその前縁部に位置しており、可能性が低いと考えられる。しかしb)についてはその可能性を否定しきれない。従って、1回目の水蒸気爆発により地すべり主活動が誘発された可能性は存在する。

8.2 水蒸気爆発により地すべり前縁部の崩壊が誘発された可能性はあるか?

地すべり押し出し域では主滑動方向に物質が押し出されるのが原則である。澄川温泉の地すべりの主滑動方向はNNEであるのに対し、地すべり前縁部の崩壊物質はNNWの方向に流れ下っており、

地すべり主滑動方向(NNE)に対し約45°異なっている。また、地すべり押し出し域の土砂が対岸に乗り上げ、谷を一度埋積した後に土石流化した痕跡は認められない。従って、水蒸気爆発により地すべり前縁部の崩壊が誘発され、主滑動方向とは異なった方向に流下した可能性は高いと考えられる。

9. 水蒸気爆発のメカニズム

水蒸気爆発のメカニズムに関して現在提唱されている主な仮説は以下の2つである。

- 1) 地すべりにより地下の蒸気溜りから蒸気が逃げる通路が塞がれ、蒸気溜りの圧力が上昇し水蒸気爆発が発生した。
- 2) 地すべりにより地下の蒸気溜りに達する亀裂が形成され、蒸気溜りから蒸気が噴出し(1回目の爆発)、その後地下の熱水の気化が急速に進み熱水噴出を伴う水蒸気爆発(2回目の爆発)が進行した(平衡破綻型)。

しかし、1)の仮説においても最初の爆発の後で蒸気溜りの上部構造が全て吹き飛ばなければ、その後は2)の平衡破綻型と同様に蒸気溜り中の熱水の気化が進み、熱水噴出を伴う水蒸気爆発が進行すると考えられる。従って、この2つの仮説の差は、最初の水蒸気爆発が蒸気溜りの圧力上昇によるのか、蒸気溜りに達する亀裂形成によるのかにあると考えられる。

地下の蒸気溜り及び熱水系の活動を示す状況証拠として以下のような現象が挙げられる。

- a) 5月9日に澄川温泉裏手の山腹にある涸渇した温泉が再び自噴を始めた。
- b) 水蒸気爆発直前の5月11日7時～7時40分にかけて、澄川温泉付近から発生する水蒸気量は徐々に増加した。
- c) 澄川温泉の1回目の水蒸気爆発とほぼ同時刻に赤川温泉付近でも水蒸気の噴出(1回目)が認められ、その後澄川温泉の2回目及び3回目の水蒸気爆発(高さ100m以上)とほぼ同時刻に赤川温泉でも2回目の水蒸気噴出(高さ数10m程度)が起こった。

澄川温泉及び赤川温泉における水蒸気爆発(噴出)の同時性やその水質分析データ(高橋・遠藤, 1997)を考慮すると、両温泉は地下の共通の蒸気溜りに由来する温泉系である可能性が高いと考え

られる。a)及びb)に関しては、澄川温泉付近で蒸気溜りに達する亀裂が形成され、蒸気が噴出したためと考える事も可能である。しかし、c)で示された赤川温泉における1回目の水蒸気噴出について、赤川温泉付近で同時刻に蒸気溜りに達する亀裂が形成されたためと考えることはできない。従って、a)～c)の事実は澄川温泉及び赤川温泉地域の地下の共通の蒸気溜りの水蒸気圧が一旦上昇をしたことを示唆する可能性が高いと考えられる。

また、水蒸気爆発は以下の2段階で進行したと考えられる。

- 1) 地すべりにより地下の蒸気溜りから蒸気が逃げる通路が塞がれ、蒸気溜りの圧力が上昇し1回目の水蒸気爆発が発生した。
- 2) その後、蒸気溜り中の熱水の気化が急速に進み、熱水噴出を伴う2回目以降の水蒸気爆発が進行した。

10. おわりに

本稿では今回の地すべり・土砂災害に関する時系列情報のうち地質学的側面についてのみ取り扱ったが、収集した時系列情報には地すべり・土砂災害に関する避難勧告やその後の二次災害防止策・復旧対策に関する情報も含まれている。地質学の立場でこれらの情報を検討した時に若干の不安を覚えるのが、今後の災害対策である。災害対策では今回発生した土砂災害を地すべり・土石流災害として取り扱い、土石流災害を防止するための対策が取られている。しかし、地すべり地域から流出した土砂50万m³のうち、土石流として流出した量は岩屑なだれとして流出した量に比べてはるかに少なく、今回の土砂災害は基本的に岩屑なだれにより引き起こされたと考えてもよい。岩屑なだれは土石流に比較して流速が極めて速いことが特徴であり、平均時速が70～80km/h程度の流れはしばしば観察され、部分的には100km/h以上の流れが存在する。従って、岩屑なだれが発生した場合、ワイヤーセンサーなどの土石流検知方式では避難が追いつかない可能性が十分考えられ、岩屑なだれには土石流とは異なった災害対策が必要とされる。今回の土砂災害のような水蒸気爆発により誘発された岩屑なだれに対する警戒対策として

は、1) 赤川橋付近に位置する東北大学秋田焼山観測点などの地震動観測データをリアルタイム処理し長周期微動などの異変を検出する、2) 澄川温泉源泉付近から発生する水蒸気量をモニタリングし、その変化を検出するなどの観測体制を取ることが必要であり、今後検討の余地があると考えられる。

謝辞：今回の災害調査においては多くの方々に御協力をいただき、多数の時系列情報や映像情報、また目撃証言を得ることができた。東北大学理学部附属地震・噴火予知研究観測センター浜口博之教授には第75回火山噴火予知連絡会に提出された秋田焼山観測点の地震動に関する資料を利用させていただいた。ABS秋田放送西田 亨記者には取材ビデオ及び目撃証言に御協力をいただいた。秋田航空株式会社平松 真整備士には撮影写真及び目撃証言に、また同伊藤 孝機長には目撃証言に御協力をいただいた。秋田県警察本部警備部警備第2課には秋田県警察本部所属のヘリコプターから撮影された災害発生直後のビデオ映像及び写真について、また鹿角警察署藤澤 彰警部補及び高瀬文敏巡查長には目撃証言について御協力をいただいた。秋田県災害対策連絡部及び鹿角市澄川・赤川温泉土砂災害対策本部には地すべり・土砂災害及び澄川・赤川温泉に関する情報を教えていただいた。東北電力秋田支店営業配電部からは停電事

故に関する詳細な情報をいただき、停電メカニズムについても教えていただいた。秋田地方気象台防災業務課からは詳細な気象データをいただいた。三菱マテリアル株式会社からは1万分の1「澄川地区地形図」の使用許可をいただいた。また、アジア航測防災部及び秋田大学教育学部林 信太郎助教授らがインターネット上に公表されている澄川温泉地すべり及び水蒸気爆発の状況・現地写真・空中写真などは、本稿をまとめるにあたって参考にさせていただいた。これらの方々に記して感謝します。

参 考 文 献

- 栗田泰夫・原山 智・遠藤秀典(1984)：1984年長野県西部地震の緊急調査報告。地質ニュース，no.364，20-31。
 遠藤秀典・高橋正明(1997)：秋田県澄川温泉における地すべりと水蒸気爆発・岩屑なだれ堆積物。地質ニュース，no.515，35-43。
 林信太郎・大口健志・谷口宏充(1997)：口絵2：秋田県鹿角市澄川1997年の地すべりにともなう水蒸気爆発噴出物。地学雑誌，106，no.3。
 高橋正明・遠藤秀典(1997)：1997年5月11日に発生した秋田県澄川温泉地すべりに関連した緊急温泉・鉱泉水質調査。地質ニュース，no.515，49-52。
 露木利貞・金田良則・小林哲夫(1980)：火山地域に見られる地盤災害とその評価(1) 霧島火山群地域にみられる崩壊型について。鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学)，no.13，91-103。

TSUKAMOTO Hitoshi (1997) :Geological process of the 1997 Sumikawa Land Slide with hydrothermal explosions and debris avalanche, Akita Prefecture.

<受付：1997年6月20日>