

第二回
鳥海山火山噴火緊急減災対策砂防計画検討委員会
被害想定関係補足説明資料

< 目次 >

1. 噴火シナリオの作成、抽出.....	1
1.1 第1回委員会における噴火シナリオに関する指摘事項.....	1
1.2 緊急対策ドリル検討を考慮した噴火シナリオの時系列の設定.....	2
2. 想定される被害の把握.....	4
2.1 現象毎の計算条件と結果.....	4
2.1.1 降灰.....	5
2.1.2 土石流.....	6
2.1.3 融雪型火山泥流.....	9
2.1.4 溶岩流.....	12
2.1.5 火砕流.....	14

平成24年9月

国土交通省 東北地方整備局 新庄河川事務所

1. 噴火シナリオの作成、抽出

平成22年度検討資料等をもとに、鳥海山及び蔵王山で想定される噴火の推移を示した火山防災対策を検討するため作成した噴火シナリオ（案）について、検討委員会での審議結果を踏まえ修正、完成させる。

1.1 第1回委員会における噴火シナリオに関する指摘事項

第1回鳥海山火山噴火緊急減災対策砂防計画検討委員会において、気象庁から頂いた追加意見を踏まえて更新した噴火シナリオを提示し、以下に示すご意見をいただいた。

1) 対象現象・規模について

- ① 降灰について中小規模を想定することは妥当である。中規模降灰については小規模と大規模の中間的な規模を想定すれば良い。
- ② 溶岩ドーム崩壊型火砕流を追加することは妥当である。火砕流の想定量については、今後の調査により変わる可能性がある。
- ③ 鳥海山の地形発達状況から山体崩壊が発生する可能性は低く対象外とする。

2) 前兆現象について

鳥海山では前兆を前兆と認識できない可能性がある。前兆を把握できないことを前提とした検討も必要。

各意見への対応案を以下に示す。

1)-① 中小規模降灰の想定について

降灰の想定については、委員会において下記の想定を提示している。

大規模降灰：噴出量 210 万 m³（大規模溶岩流量 2100 万 m³ の 10%）

中規模降灰：中間的規模の 100 万 m³

小規模降灰：10 万 m³（1974 噴火時の実績）

この想定について、中間的規模を設定する根拠について、委員会以降、林委員にご相談した。いただいたご意見を要約すると、以下の通りである。

『過去に 100 万 m³ 噴出したのは 3000 年ほど前の噴火と考えられる。しかし、近年の中小規模噴火時の降灰量については実測によって見積もることは難しく、古文書程度しか情報が無く、すぐには答えが出ない。』

以上より、中規模降灰量の根拠について火山学的観点での裏付けはとれていないが、防災対策を検討する上では、大規模と小規模の中間的規模を想定することは有意義であることから、当面の対応としては中規模降灰 100 万 m³、小規模降灰 10 万 m³ を想定する。

1)-② 溶岩ドーム崩壊型火砕流の想定について

火砕流の想定については、委員会において下記の想定を提示している。

中規模噴火時：90 万 m³ 新山溶岩ドーム部の体積として想定される

大規模噴火時：210 万 m³ 溶岩流量の 10%程度が溶岩ドームになると想定

現状でステージⅢに発生した火砕流に関するデータが得られていないことから、当面は委員会で提示した便宜的な想定値を採用し、今後新たな調査成果が得られた場合にデータの更新を行うこととする。

1)-③ 山体崩壊の取り扱いについて

噴火シナリオのうち緊急減災対策で対象とする現象として、山体崩壊は当初から除外されていたため、特にシナリオや対象現象を変更することにはならない。ただし、緊急減災対策砂防計画書を取りまとめるにあたり、山体崩壊を対象としない理由として、大規模な崩壊に至るまで鳥海山の地形が発達していないことを明記する。

2) 鳥海山における前兆現象について

植木委員の指摘を踏まえて、噴火対応ドリルを作成するに際して、前兆現象を検知できなかった場合、すなわち噴火後に緊急対策が開始されるというパターンも検討する。

1.2 緊急対策ドリル検討を考慮した噴火シナリオの時系列の設定

噴火シナリオをもとに設定する緊急対策ドリルでは、除石の猶予期間や避難の準備期間などを設定するため、噴火シナリオの時系列はドリルでの適用も考慮して設定することが重要である。

そのため、平常時から「前兆的活動」→「小～中規模」→「中～大規模」に移行する期間を既往噴火の研究等から推定し、噴火シナリオの時系列の設定精度を向上させる。

既往噴火のうち、1801年享和噴火と1974年噴火については、昭和63年度鳥海火山泥流対策砂防施設配置検討業務等において既往研究や古文書をもとに火山活動の時系列が整理されている。

前兆現象に着目すると、1801年噴火では降灰をもたらすような噴火は1801年3月8日に発生しているが、1800年12月には噴気または弱い噴煙の記録があり、1801年2月13日には鳴動の記録もある。

また、1974年噴火についても、噴火活動が認識されたのは3月1日であるが、前兆現象とみられる鳴動は2月下旬に聞かれ、噴気は1月2日に報告されており、噴火後の確認により前年12月頃から火山性地震も発生していたとのことである。

植木(1981)^{*1}において、「噴火は噴気あるいは弱い噴煙の出現によって始まり、数日～数ヶ月後に爆発的噴火に至る経過も各噴火に共通する点と思われる。」との記載がある。林ら(2006)^{*2}では、『安山岩質マグマが出現する場合には、噴火に先行する火山性地震がとらえられるだろう。鳥海山の地下の帯水層の状況は明らかにされていないが、マグマやマグマからの熱がそこに到達した時点で噴気あるいは水蒸気噴火が先行して始まるだろう。おそらく水蒸気噴火に先行して噴気活動が始まる。』と記載されている。ただし同文献では、粘性の低い玄武岩質マグマによる噴火の場合については明瞭な前兆なしに噴火する可能性も指摘されている。また、大場ら(2012)^{*3}においても『鳥海火山では玄武岩質安山岩～流紋岩の幅広い組成を持つマグマが上昇し、火山体内の熱水系と様々な程度に反応してマグマ水蒸気噴火が生じている』と記載されており、マグマの組成によって明瞭な前兆がある場合と無い場合両方が想定される。

※ 1: 自然災害特別研究成果 No.A-56-1, P33-41 鳥海山 植木(1981)
 ※ 2: 鳥海山の完新世噴火史と火山災害, 月刊地球 vol28 林ほか(2006)
 ※ 3: 最近4500年間の鳥海山火山の噴火活動, 火山 vol57.2 大場ほか(2012)
 ※

以上より、緊急対策ドリルを検討する際の鳥海山の前兆現象については下記のように整理される。

火山性地震 2～3ヶ月前

弱い噴気: 1ヶ月前

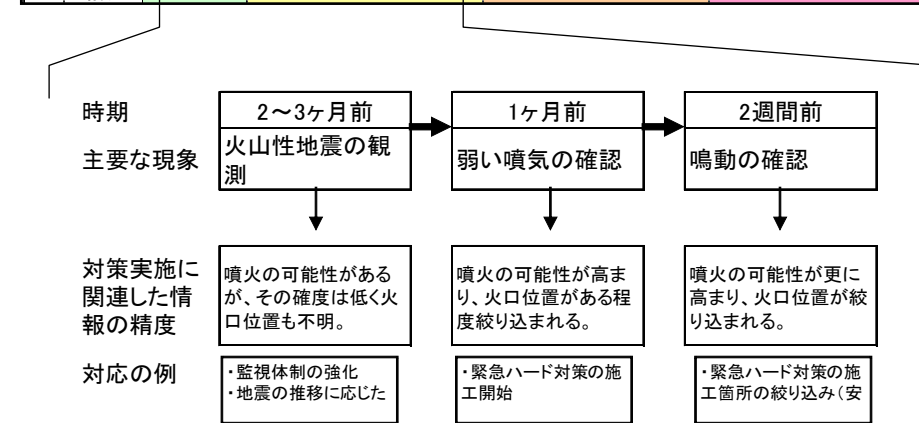
鳴動: 2週間前

(溶岩ドームの出現: 噴火4ヶ月後)

これらの時系列をこれまでに検討した噴火シナリオに適用すると、ステージ『異常現象の発生・継続』に該当し、右表に示す通りである。

表 1-1 本検討で想定している噴火シナリオへの時系列の適用例

ステージ	静穏期	異常現象の発生・継続 数日間～数年間 (無い場合もある)	小規模噴火発生・継続 数日間～数ヶ月間 (無い場合もある)	中～大規模 マグマ水蒸気爆発・マグマ噴火 数日間～数ヶ月間 (無い場合もある)	噴火の終息後 数ヶ月から数年間	
噴火活動の想定	平常期	【火山活動の高まり】 山体内の浅い場所での地震の群発など ↓ 活動の終息・各種活動が平常レベルに (ケース1)	【小規模噴火の発生】 噴火地点は想定火口ゾーンのいずれか ■想定される現象 ・小規模な噴石・降灰 ↓ 土石流 (ケース2) ・小規模な噴石・降灰 ↓ 融雪型火山泥流 (ケース3)	【火山活動の高まり】 新たなマグマの上昇を示唆する異常 山体内の深い場所からの地震の群発など ↓ 【大規模噴火の発生】 噴火地点は想定火口ゾーンのいずれか ■想定される現象 ・降灰 ・噴石→融雪型火山泥流 (積雪期: ケース5) ・溶岩流 (ケース6) ・溶岩ドーム→小規模な崩落型火砕流、火砕サージ (ケース7) ↓ 非積雪期: 噴火後の土石流 (ケース4) ↓ 非積雪期: 噴火後の土石流が継続・減衰 (ケース4)	活動の終息・各種活動が平常レベルに	
噴火モデル			1974年噴火 (噴出物量約10万m ³) 降灰、噴石、極小規模の融雪型火山泥流	1801年噴火 (噴出物量約90万m ³) 降灰、噴石 871年貞観噴火 (噴出物量約2.5億m ³) 溶岩流 (詳細不明につき火山学的に無理のない時系列を設定する)	土石流モデルは、有珠山、雲仙、桜島等の事例を元に設定	
時期	静穏期	活動活発期	小規模水蒸気爆発期	マグマ噴火期	降灰等の影響期	静穏期
火山監視観測結果	前兆が検知できる場合 ・弱い噴気活動(現在は噴気なし) ・地温、地震活動、地殻変動など観測データにおいて異常がみられない。	前兆と判断可能な顕著な異常がみられない ・活発な噴気活動 ・火山性微動発生 ・地殻観測データ変化(GPS等) ・山体内の浅い場所(数km以内)での地震の群発地殻変動 ・深い場所(10km以内)からの地震の群発 ・地熱地帯異常 ・山頂域での泥水噴出など	前兆と判断可能な顕著な異常がみられない ・熱水系の活動や水蒸気爆発を示唆する現象 (噴火予知連等の見解等をもとに判断) ・地殻内の浅い箇所での地震多発・火山性微動の発生 ・空振 ・噴煙上昇 ・山腹で降灰(本質物質を含まない)	前兆が検知できない場合 ・マグマの活動活発化を示唆する現象 (噴火予知連等の見解等をもとに判断) ・地殻内の深い場所から浅い場所にかけての地震多発・火山性微動の発生 ・地殻観測データ変化(GPS等) ・空振 ・噴煙上昇 ・山腹、山麓各地で降灰	前兆が検知できない場合 ・火山活動は低調、ただし土砂生産環境への影響は継続	前兆が検知できない場合 ・火山活動は低調、ただし火山活動は低調



なお、委員会での指摘の通り、前兆現象が把握されない可能性もあるため、特に粘性の低い玄武岩質マグマの流出が想定されるケースについては噴火前のリードタイムが無いことを想定したドリル検討も実施する。

表 1-2 1801 年享和噴火の経緯

時間	現象	備考
1800年12月	噴気または弱い噴煙がはじまる	
1801年 2月13日夜	雷の様な鳴動がおこり、山頂から幾度か噴煙があがった	
3月8日	荒神ヶ岳一帯の雪面上に降灰が確認され、るりの壺、硫黄谷、不動岩あたりの8ヶ所で噴煙がみられた	
3月15日夜	地鳴りが起り、笹子、仙北方面に降灰があがった	
3月16日	堰や川に火山灰が流れ込み、水が変色した(小規模泥流の発生)	
3月23日	鳥海川の水が藍色になり、人馬とも飲料水として清水を捜すのに苦労したという	
4月頃	火山活動はひとたび穏やかとなる	
5月上旬	噴火活動の様子を伺いにいった登山者が、荒神ヶ岳、千載ヶ谷に広く泥灰が覆い、一面焼けただれているのを確認する	
6月	白雪川並びに下の堰まで水が濁り、作付けに難儀したという	
6月15日	再び鳴動がやや激しくなり、降灰は上笹子、下笹子、仙道辺りまでおよび、川の水は硫黄の香気が甚だしくなった	
6月23日	川の水は藍色となり(小規模泥流の発生)、馬の飲料水とならなくなった	
7月1日	快晴の日、参拝の為4~5人が登山すると、本社(荒神ヶ岳麓の神社)は焼けたたれて跡方もなく、長床は噴石に打たれて壊れていたさらに、七高山をめざすとあたりは雪が消えて真黒く火山灰が一面を覆っていた火口(るりの壺)に近かづくと、降灰があり周囲の雪面上に20cm程積もっていて、田の中を歩く様であった。 当時、火口より噴気はあった	
7月4日	突然火山活動が非常に激しくなり、五合目の抜川にいた神官が降灰の中、日中にもかかわらず提灯をつけて猿倉まで下ったという	
7月6日正午頃	大噴火を起こし、約1時間にわたって雷鳴の如く天地を揺るがし、噴煙は天まで届く様に立ち昇った。この噴火で火口(るりの壺)に新たな溶岩円頂丘(新山)が出現。	
7月7日	やや火山活動がおさまったところで、草津村から11人が噴火の様子を探ろうと登山したが、外輪山の峰づたいに行者岳から七高山に向かうところでにわか噴火が始まり、噴石によって8人が死亡した。当日少量の雨によって日向川、月光川、白雪川に沿って灰水(小規模泥流)が流れ、川中の魚が多く死んだり、川水を飲むと下痢をしたという	
7月13日	山頂より雷の様な鳴動があり、山麓の蕨岡坊中の障子が鳴り響いた。山頂には火がみえた。	
7月15日	大雨があり、白雪川で山津波が起き、土砂は下流下郷で田地3000刈(30ha)が被害を受けるとともに、河口の三森では河床上昇によって舟付場が浅くなってしまった	
8月5日夕方	再び噴火が開始した鳴動は宮の様であり、赤い炎と黒煙は広く空を覆いあるいは稲妻の様に空を照らした。広い地域で降灰がみられた。	
12月29日正午	雪の上に火山灰が少し積もった	
翌享和2年春	鳥海山は平穏に戻る	

<出典>
 ・昭和63年度鳥海火山泥流対策砂防施設配置検討業務報告書
 ・自然災害特別研究成果No.A-56-1, P33-41鳥海山 植木(1981)

表 1-3 1974 年噴火の経緯

時間	現象	備考
1973年12月頃	東北大学本荘地震観測所において火山性地震が観測(噴火後に記録をさかのぼって確認)	
1974年1月2日	弱い噴気活動がおこる(登山者の報告)	
2月下旬頃	新山溶岩円頂丘東斜面で最初の爆発があった(認識されず) 東山麓の百宅の村民、手代沢営林事業所作業員が鳴動を感じた	
3月1日	新山の東斜面での噴煙が全日空機機長により初めて確認(目撃)される 東山腹に降灰がある	この時点で始めて鳥海山噴火が認識される ↓
3月3日	新山東斜面で噴気活動	
3月5日	新山東斜面で噴煙が目撃される	
3月6日	赤川で泥流発生(流下距離3km, 幅100m)	
3月9日	噴気活動	
3月14日	噴気活動	
3月14~18日の間	カルデラ壁最下部付近に2~3個の小孔とこれをつなぐ割れ目が発生。赤川で泥流発生(6日の泥流と同一流路を500m流下)	
4月6日	新山溶岩円頂丘とカルデラ壁との間の縁で小規模な泥流が確認される	
4月8日	荒神ヶ岳溶岩円頂丘周辺で噴気孔が発生	
4月13~17日	荒神ヶ岳での噴気活動範囲が広がる	
4月24日	荒神ヶ岳で最初の爆発 鳥越川(千蛇谷)で泥流発生(流下距離3km) 北東山腹に降灰がある	
4月28日	荒神ヶ岳から大量の噴煙 東北山腹に降灰がある	
4月30日	噴煙活動衰迫に向かう	
5月	荒神ヶ岳及び新山から噴煙活動とは対応しない小規模な泥流発生(流下距離2km弱)	
10月までの間	荒神ヶ岳及び新山から弱い噴気活動が続く	

<出典>
 ・昭和63年度鳥海火山泥流対策砂防施設配置検討業務報告書
 ・鳥海山1974年の火山活動 宇井、柴橋(1975)

2. 想定される被害の把握

噴火シナリオで設定した想定ケースを対象に、各土砂移動現象に対応した数値シミュレーション計算等を実施し、想定される被害範囲を把握するとともに緊急ハード・ソフト対策検討の基礎資料とする。

2.1 現象毎の計算条件と結果

想定現象毎の計算条件を、過年度成果等を参考に整理し、今後実施する被害想定計算ケースおよび計算条件を設定する。

2.1.1 降灰

(1) 計算条件

過年度業務では、降灰範囲については Hayakawa(1985)による簡便式を用いて降灰量から層厚毎の分布円半径を求め、これに鳥海山付近の上空の平均風向・平均風速を与え、降灰厚毎の到達距離をもとめ、想定火口範囲の外縁部からの降灰範囲を設定している。

本年度も、上記の算出手法を踏襲し、10万 m³ と 100万 m³ の噴出量による降灰分布を想定する。

降灰堆積厚毎の分布円半径
 $V=12.2TS$ Hayakawa(1985)
 ただし、堆積量V、層厚T、それが囲む面積S

V(m ³)	=	係数	T(m)	S(m ²)	→	半径 R(m)
2,100,000	=	12.2	0.10	1,721,311		740
2,100,000	=	12.2	0.03	5,737,706		1,352
2,100,000	=	12.2	0.01	17,213,115		2,341

V(m ³)	=	係数	T(m)	S(m ²)	→	半径 R(m)
1,000,000	=	12.2	0.10	819,672		511
1,000,000	=	12.2	0.03	2,732,241		933
1,000,000	=	12.2	0.01	8,196,721		1,616

V(m ³)	=	係数	T(m)	S(m ²)	→	半径 R(m)
100,000	=	12.2	0.10	81,967		162
100,000	=	12.2	0.03	273,225		295
100,000	=	12.2	0.01	819,672		511

これにより求めた堆積厚毎の分布円半径をもとに、ジェットモデルにより、火口半径、初速、高度等の各種パラメータを逆算した。

今回計算した両規模と、既往検討結果である 210万 m³ の想定条件と計算結果を示す。

	火山灰厚 m	分布円半径 m	降下速度 m/s	火口半径 m	初速度 m/s	連行係数	堆積濃度	高度 m
10万m ³	0.01	300	0.4	25	40	0.20	0.6	688
	0.03	230						513
	0.10	160						338
100万m ³	0.01	930	0.4	25	130	0.20	0.6	2,263
	0.03	720						1,738
	0.10	510						1,213
210万m ³	0.01	2,400	1.2	30	170	0.20	0.6	5,925
	0.03	1,400						3,425
	0.10	750						1,800

到達距離m(風速11m/s)			
堆積厚m	0.01	0.03	0.1
10万m ³	1,529	949	503
100万m ³	4,587	2,911	1,608
210万m ³	17,927	6,682	2,264

(2) 計算結果

降灰規模毎の降灰分布図を次項に示す。

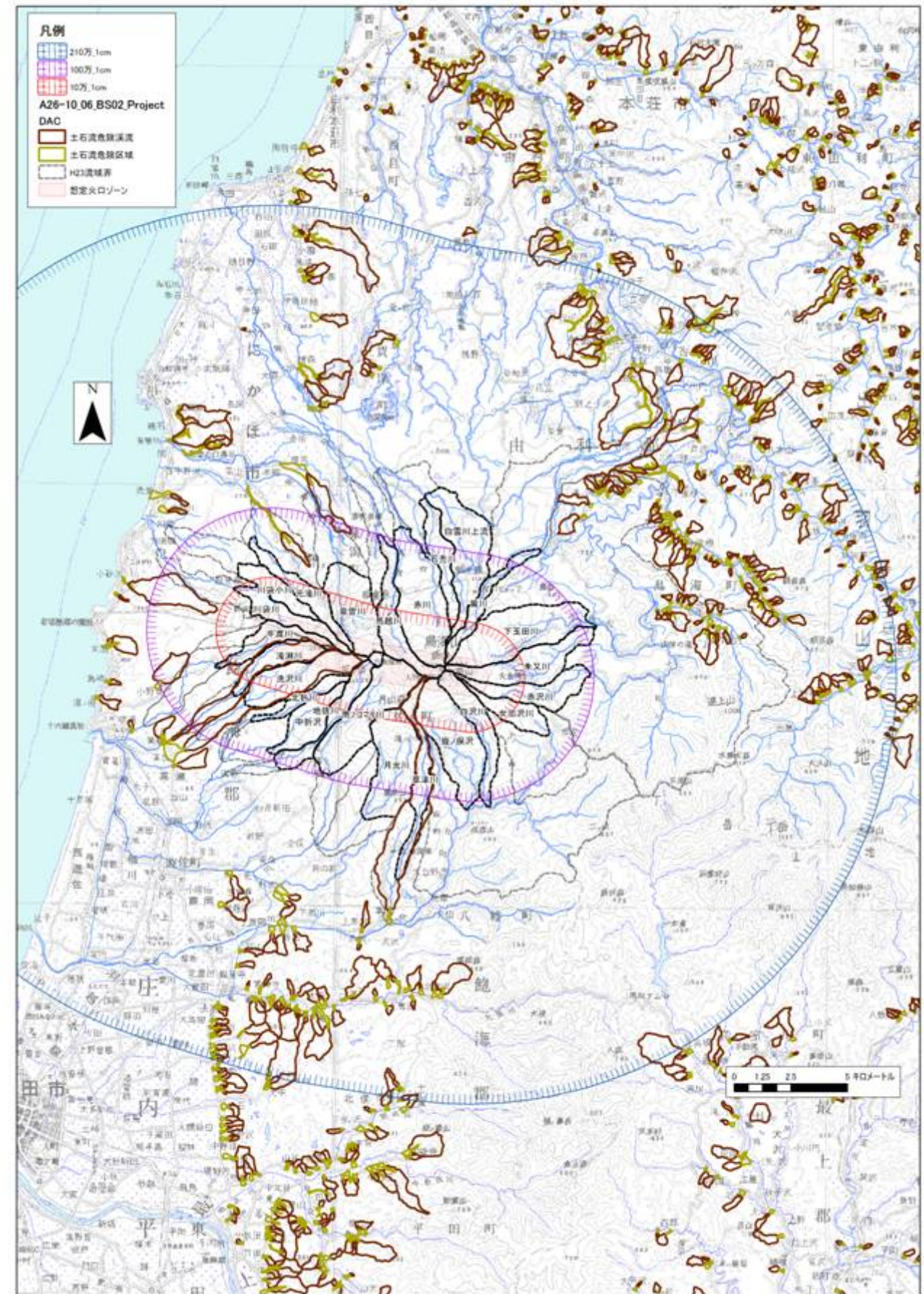


図 2-1 降灰 1cm 範囲と土石流危険溪流分布図

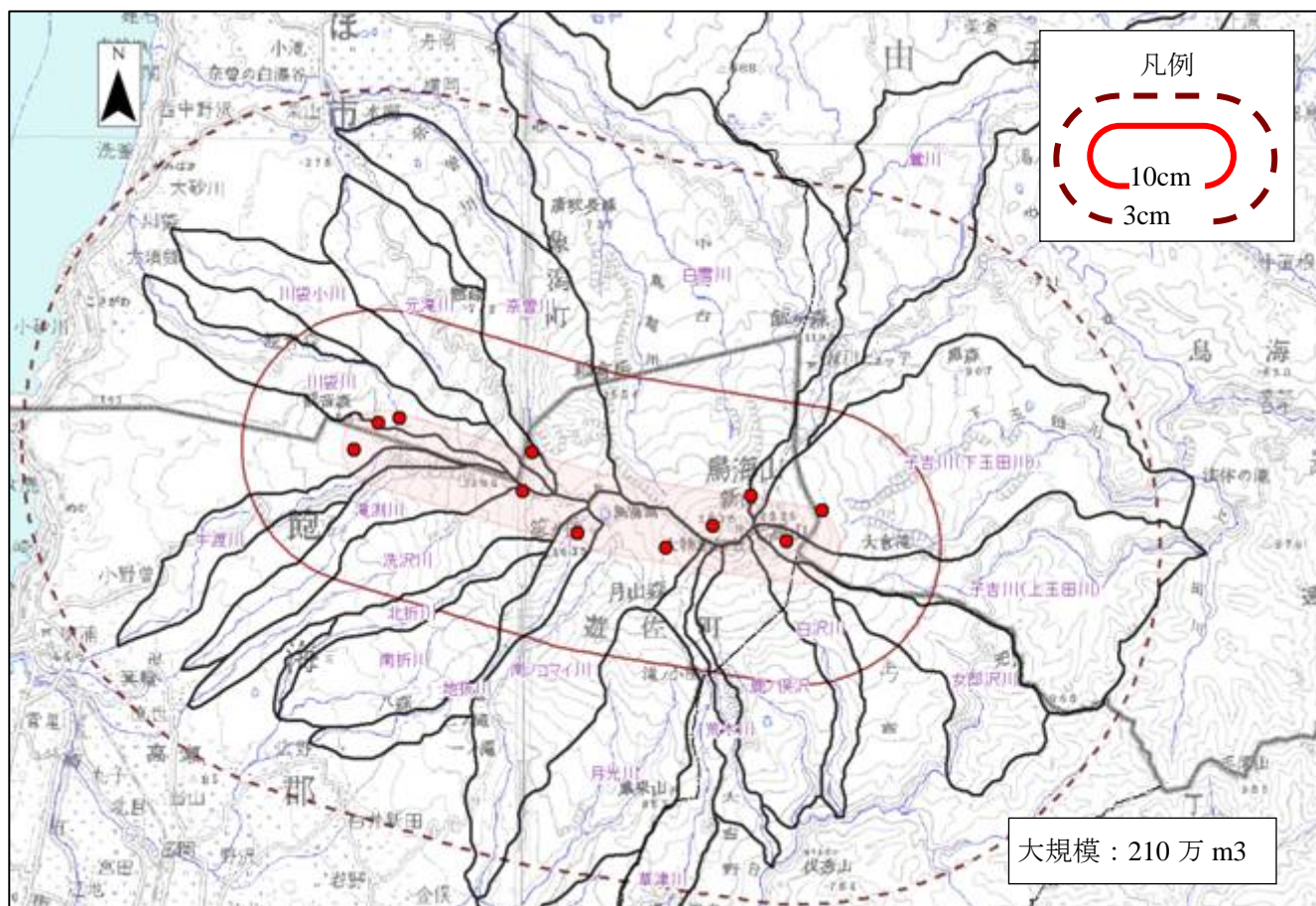
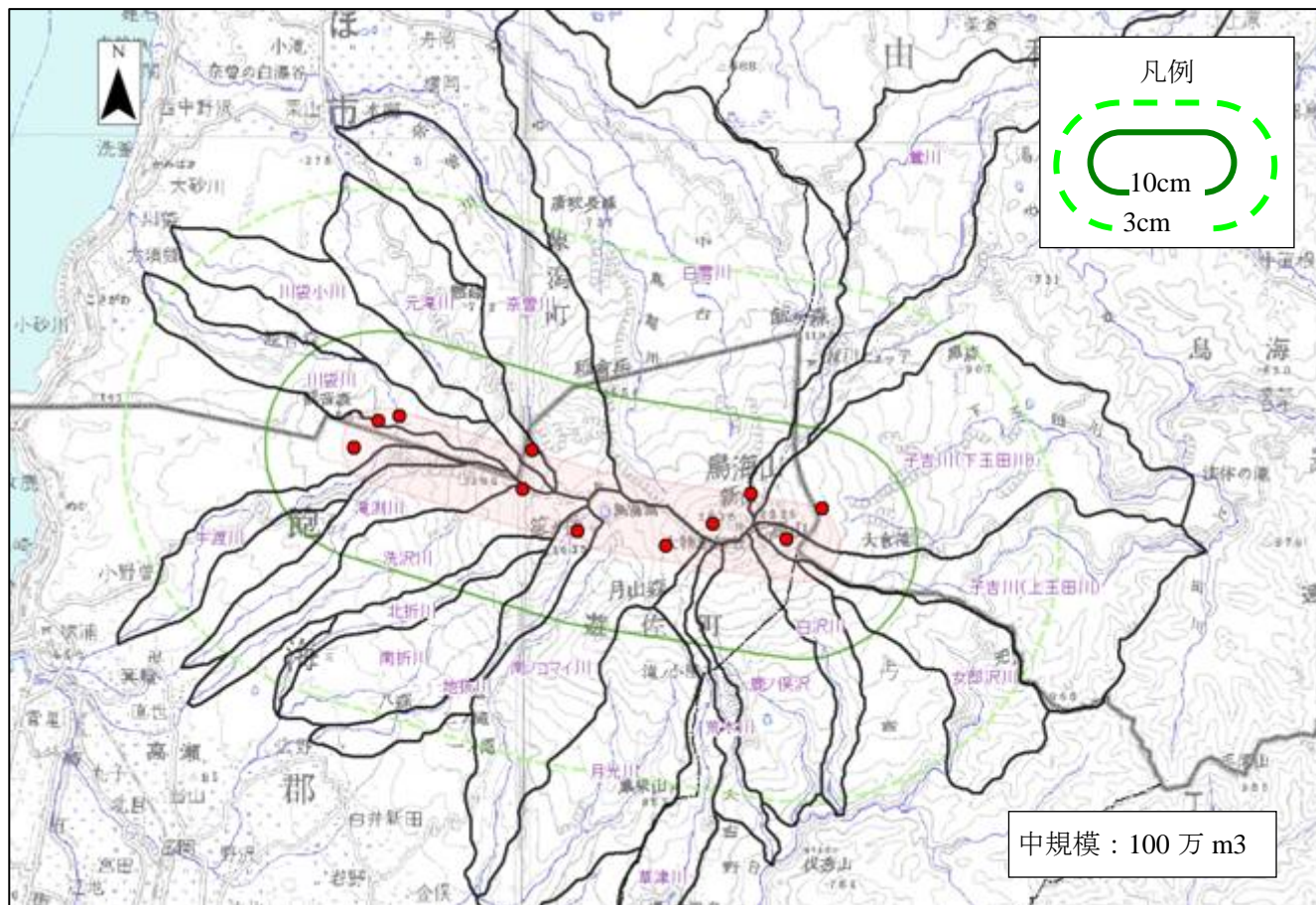
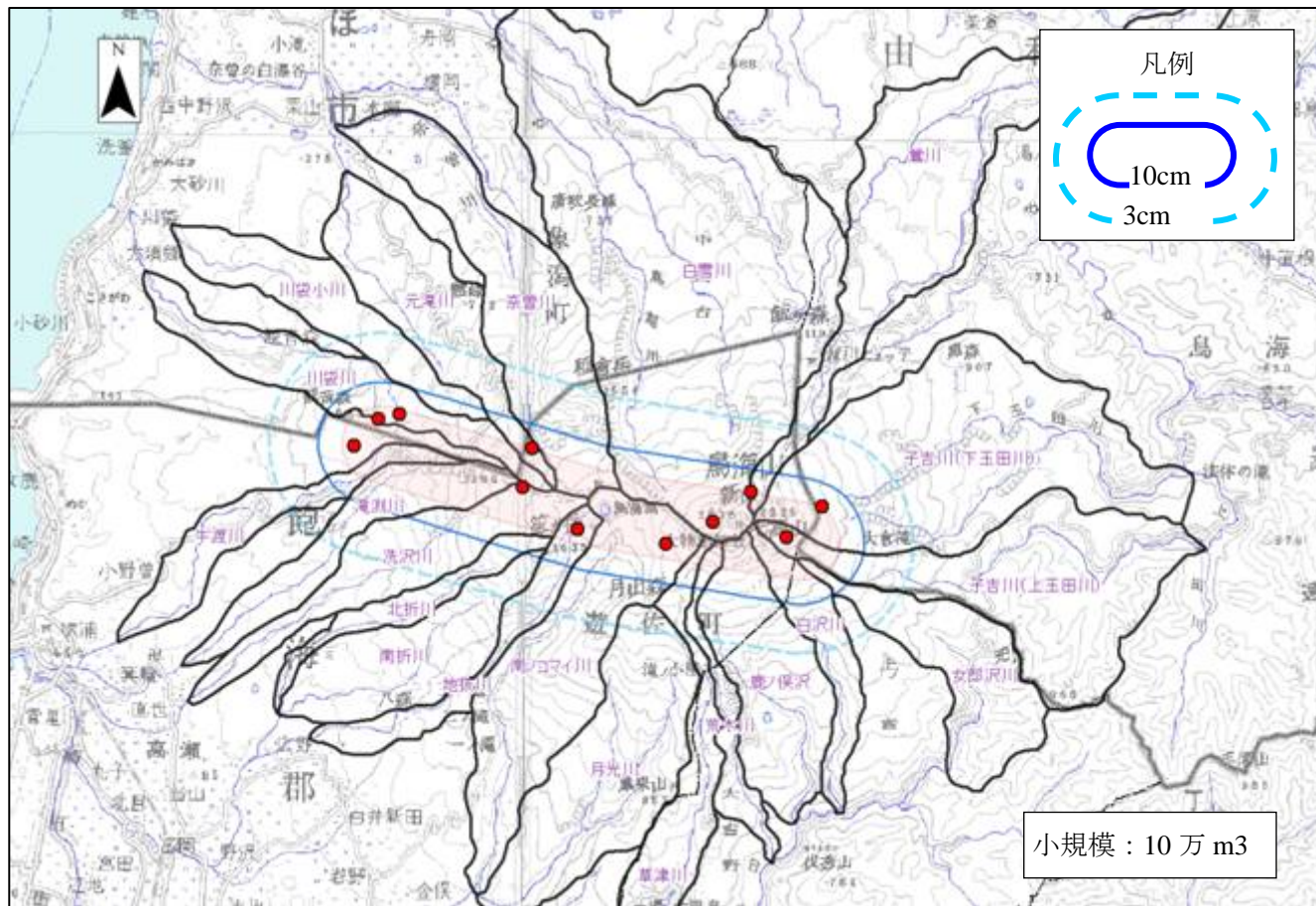


図 2-2 降灰分布計算結果

2.1.2 土石流

(1) 総定量の算出

鳥海山において想定する土石流は、噴火に伴う降灰の堆積による斜面の雨水浸透能力の低下が生じ、その後の100年超過確率降雨により発生する想定としている。

土石流による流出土砂量は、斜面に存在する不安定土砂量に加え、本想定では想定噴出量10万～210万m³の降灰が堆積することから、基本的に流域内の土砂は多量に存在するものとして考えることができる。前章で降灰量を含む移動可能土砂量と運搬可能土砂量を比較した結果として、いずれの降灰量においても運搬可能土砂量の方が小さい結果となっている。

よって、土石流規模は100年超過確率降雨による運搬可能土砂量で評価することとする。

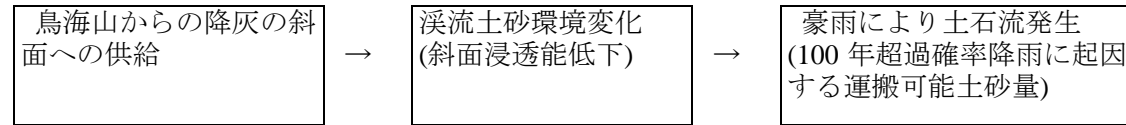


図 2-3 想定する土石流の発生プロセス

(2) 数値シミュレーション計算の設定条件

以下に土石流シミュレーションの計算条件一覧を示す。

表 2-1 土石流計算の主要パラメータ

項目	記号	単位	数値	備考
泥水密度	ρ	g/cm ³	1.2	既往 HM に準拠。一般値
砂礫密度	σ	g/cm ³	2.65	同上
代表粒径	d m	cm	20.0	同上
砂礫の内部摩擦角	ϕ	°	35	同上
堆積層の砂礫容積密度	C*	-	0.6	同上
計算用地形データ	-	m	25	同上

また、土石流ハイドログラフ、土石流発生のタイミング等は以下の考え方を基本に対象溪流毎に設定した。

- 噴火後は対象流域内が常に荒廃していることが想定され、小降雨でも土石流発生が考えられる。想定する土石流の規模は、考えられる最大の流下氾濫を網羅できうる規模とし、100年超過確率規模とする。
- 100年超過確率日雨量は398.3mmを採用する。(気象庁：鳥海山1975～2010)
- 降雨波形は、一般的な災害パターンの波形（後方集中タルボット型）とする。
- 流出解析は山地溪流で多く用いられている中安の単位図法により算出する。
- 土石流ピーク流量の算出は土石流対策指針(案)に準ずる。

表 2-2 計画流出土砂量と現況整備率

河川名	対象流域	2年確率土石流				5年確率土石流				100年確率土石流			
		計画流出土砂量 (10 ³ m ³)	整備済み土砂量 (10 ³ m ³)	現況時流出土砂量 (10 ³ m ³)	土砂整備率 (%)	計画流出土砂量 (10 ³ m ³)	整備済み土砂量 (10 ³ m ³)	現況時流出土砂量 (10 ³ m ³)	土砂整備率 (%)	計画流出土砂量 (10 ³ m ³)	整備済み土砂量 (10 ³ m ³)	現況時流出土砂量 (10 ³ m ³)	土砂整備率 (%)
川袋川		93.7	6.0	87.7	6	125.6	6.0	119.6	5	224.3	6.0	218.3	3
川袋小川		79.4	0.0	79.4	0	106.4	0.0	106.4	0	190.0	0.0	190.0	0
元滝川		96.6	0.0	96.6	0	129.4	0.0	129.4	0	231.2	0.0	231.2	0
奈曾川		134.7	449.2	0.0	333	180.5	449.2	0.0	249	322.4	449.2	0.0	139
鳥越川		113.5	249.9	0.0	220	152.1	249.9	0.0	164	271.6	249.9	21.7	92
赤川		168.9	151.6	17.3	90	226.3	151.6	74.7	67	404.3	151.6	252.7	37
石秀川		94.8	160.1	0.0	169	127.0	160.1	0.0	126	226.8	160.1	66.7	71
白雪川		149.6	150.7	0.0	101	200.4	150.7	49.7	75	358.0	150.7	207.3	42
本川		526.8	712.3	17.3	135	705.8	712.3	124.4	101	1,260.7	712.3	548.4	57
鶯川		80.5	166.9	0.0	207	107.9	166.9	0.0	155	192.7	166.9	25.8	87
子吉川		167.8	40.5	127.3	24	224.8	40.5	184.3	18	401.5	40.5	361.0	10
本川		133.3	42.0	91.3	32	178.6	42.0	136.6	24	319.0	42.0	277.0	13
赤沢川		111.6	13.5	98.1	12	149.5	13.5	136.0	9	267.1	13.5	253.6	5
本川		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
牛渡川		91.7	0.0	91.7	0	122.8	0.0	122.8	0	219.4	0.0	219.4	0
滝淵川		89.8	9.6	80.2	11	120.3	9.6	110.7	8	214.9	9.6	205.3	4
洗沢川		130.5	56.4	74.1	43	174.8	56.4	118.4	32	312.3	56.4	255.9	18
月光川		60.0	12.8	47.2	21	80.4	12.8	67.6	16	143.5	12.8	130.7	9
中折沢		98.7	0.0	98.7	0	132.2	0.0	132.2	0	236.2	0.0	236.2	0
地坂川		97.4	0.0	97.4	0	130.5	0.0	130.5	0	233.1	0.0	233.1	0
南のコマイ		163.0	0.0	163.0	0	218.3	0.0	218.3	0	390.0	0.0	390.0	0
月光川		149.9	73.6	76.3	49	200.9	73.6	127.3	37	358.8	73.6	285.2	21
草津川		103.5	256.1	0.0	247	138.7	256.1	0.0	185	247.8	256.1	0.0	103
日向川		160.7	4.0	156.7	2	215.2	4.0	211.2	2	384.5	4.0	380.5	1
白沢川		105.2	3.3	101.9	3	140.9	3.3	137.6	2	251.8	3.3	248.5	1
女郎沢川		86.0	15.9	70.1	18	115.2	15.9	99.3	14	205.7	15.9	189.8	8
本川		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

※ 白雪川支溪の整備率は4溪流のいずれかで土石流が発生する場合を想定したもの(複数溪流で重複して発生した場合、整備率は本表の値より下がる)

完成溪流(整備率100%以上)
概成溪流(整備率70%～100%)
進捗溪流(整備率50%～70%)

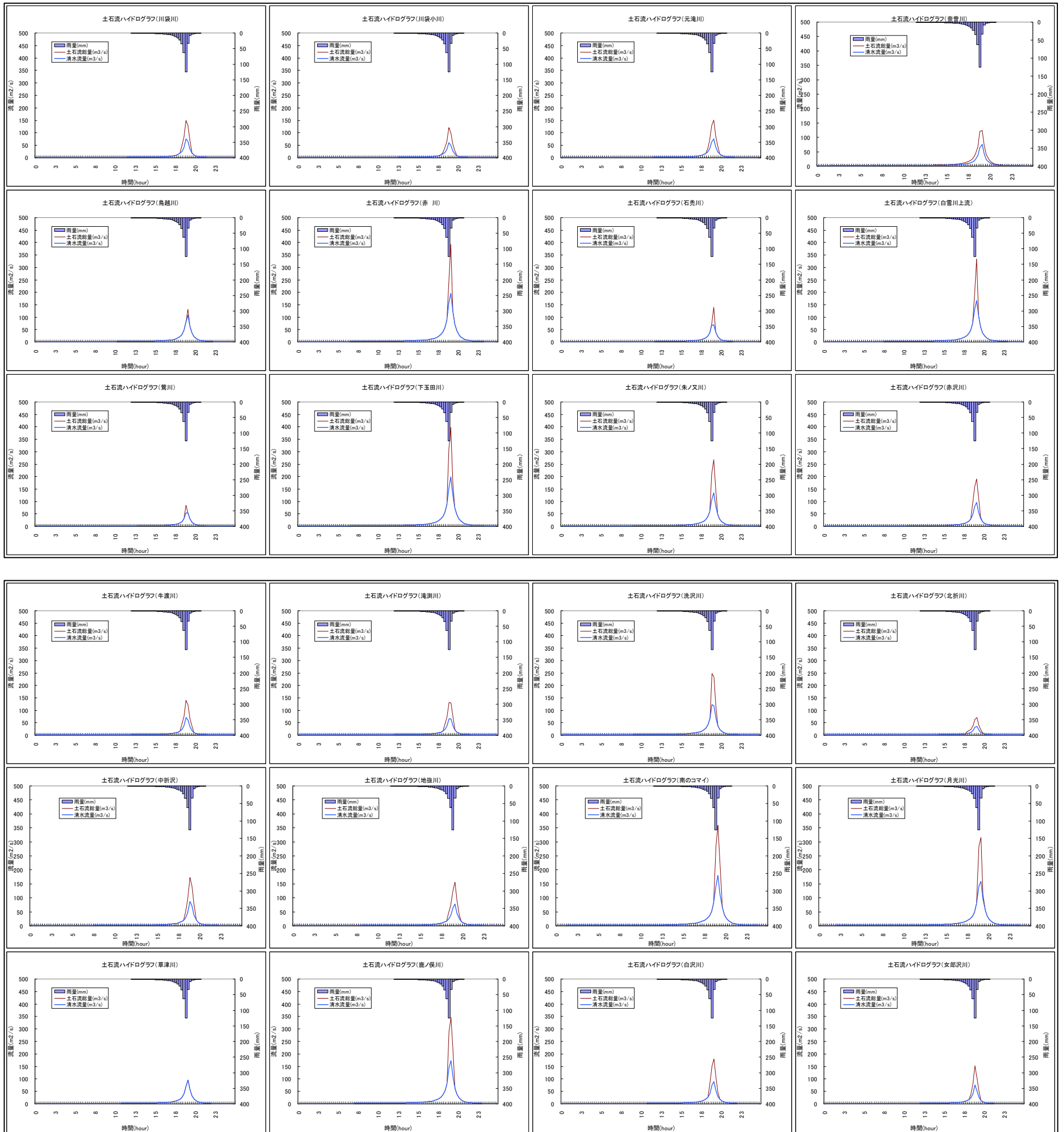


図 2-4 各溪流の土石流ハイドログラフ

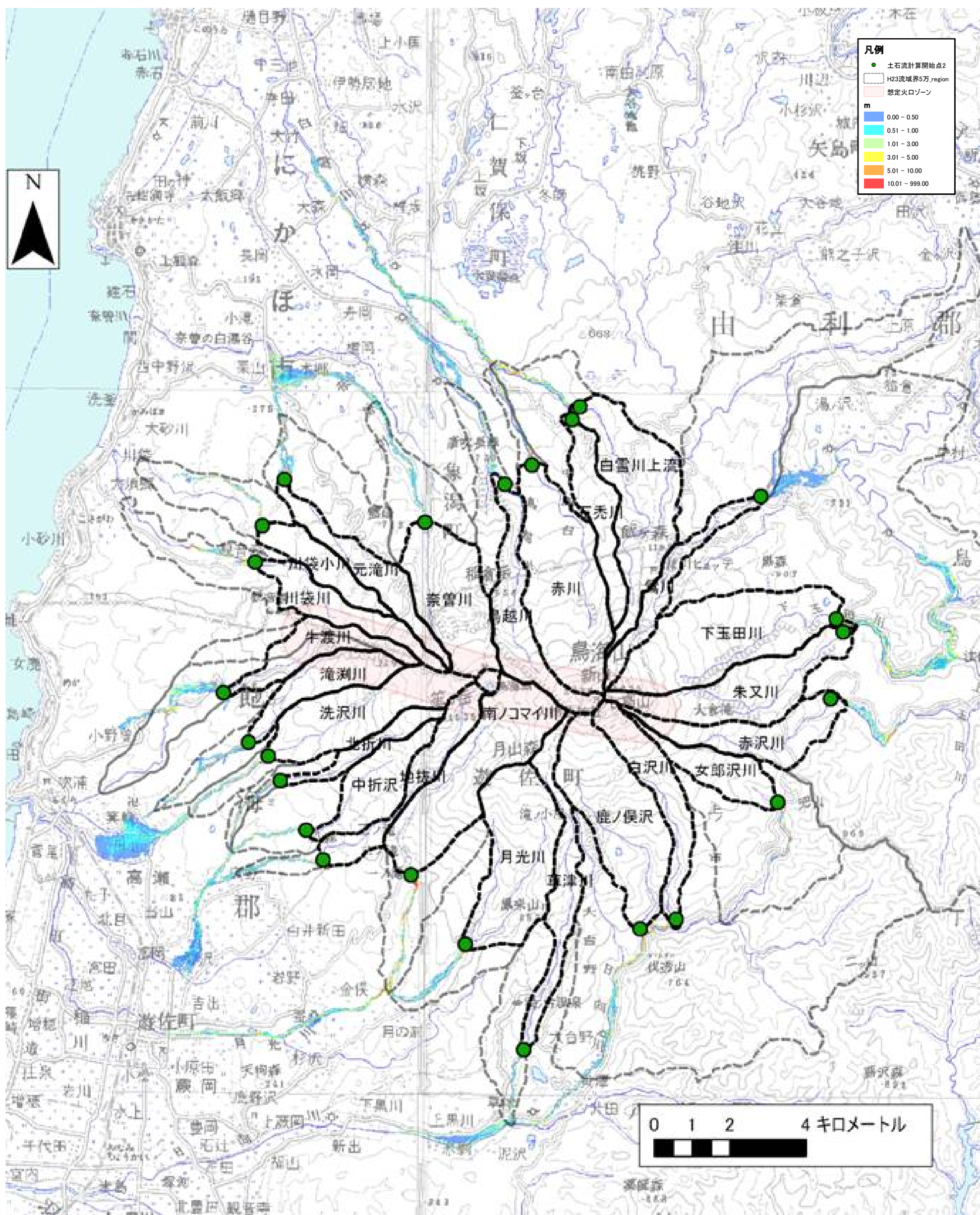


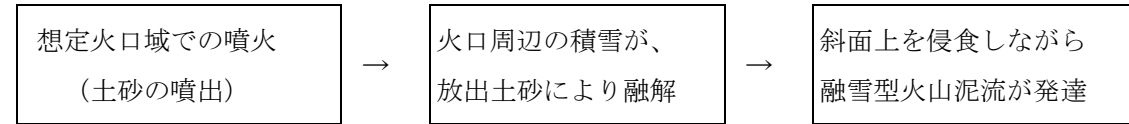
図 2-5 100 年超過確率降雨による降灰後土石流【最大流動深分布図】

2.1.3 融雪型火山泥流

(1) 火山泥流の発生形態

ここで想定する火山泥流は、積雪期に噴火（マグマ水蒸気爆発など）が生じ、放出された土砂による融雪に起因して発生する融雪型火山泥流を想定する。

既に前章までに想定された噴火口位置と噴火形態、火口付近の地形等を考慮すると、火山泥流の発生プロセスは以下の様に示すことができる。



従って、ここでは泥流量を（噴出土砂量+融雪水量+侵食土砂量）として設定する。

(2) 火山泥流の対象土砂量

噴火により放出される土砂量は、既往の火山防災マップ作成時に設定している 90 万 m³ および 210 万 m³ とし、計画上の最大安全側を見込み、噴出全量が融雪に寄与する場合を想定する。

(3) 噴火により放出される土砂の温度

溶岩流の想定温度は 900 度～1050 度を設定しているが、ここで想定するのは火口からの放出物であり、若干の温度低下が予想されることから、既往火山防災マップの設定に準じ、噴火により火口から放出される土砂の温度は 800 度とする。

(4) 融雪水量

① 融雪範囲

融雪範囲は、高温噴出物の想定堆積範囲を想定噴火範囲内の半径 0.5km の円（面積 0.79km²）と仮定した上で、想定堆積範囲の中心を以下のように設定することにより把握した。

- 各流域に最も広い想定堆積範囲がかかり、かつその中心が想定噴火範囲の中に位置するような想定堆積範囲を流域ごとに設定した。
- 想定堆積範囲で生じた流水が斜面を下流する範囲を泥流流下斜面として地形的に設定した。
- 上記の a と b の面積を想定融雪範囲と設定した。

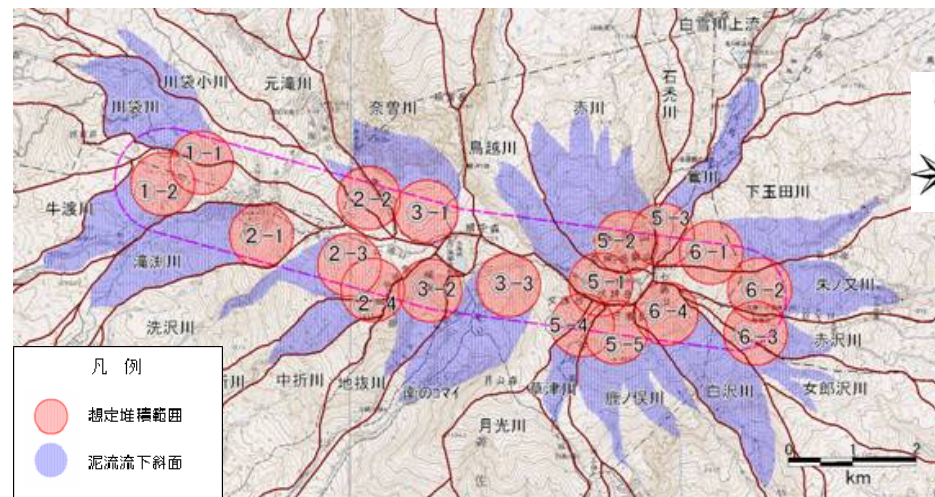


図 2-6 高温噴出物の想定堆積範囲と想定融雪範囲

② 融雪水量

計画融雪水量は前項の融雪範囲をもとに下式により、2 年確率の年最大積雪深における融雪水量を算出した。

$$\begin{aligned} \text{計画積雪水量} &= \text{融雪範囲} \times \text{計画積雪深} \times \text{積雪の密度} \\ \text{計画積雪深} &= \text{融雪範囲の中間標高地点の 2 年確率積雪深} \\ \text{積雪の密度} &= 0.3\text{g/cm}^3 \quad (\text{一般値}) \\ \text{融雪に関する土砂量} &= \text{想定噴出量} \times \text{流域内の想定堆積面積} / (\text{半径 } 0.5\text{km の面積}) \\ &= 900 \times 10^3 \text{m}^3 \times \text{流域内の想定堆積面積} / 0.79\text{km}^2 \\ \text{融雪可能水量} &= \text{融雪に関する土砂量} \times 5.0 \quad \text{---- (下図み参照)} \\ \text{計画融雪水量} &= \text{融雪可能水量と計画積雪水量を比較して小さい方} \end{aligned}$$

(5) 数値シミュレーション計算の設定条件

火山泥流のハイドログラフは、既往検討および山形県側の設定条件を基本として、継続時間 1 時間、ピークを 12 分とした三角形のハイドログラフを採用する。また、計算に適用した各種パラメータも同様の条件を参考に下記のように設定した。

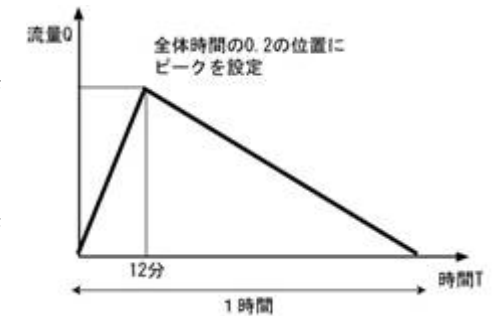


図 2-7 融雪型火山泥流のハイドログラフのイメージ

表 2-3 融雪型火山泥流計算の主要パラメータ

項目	記号	単位	数値	備考
泥水密度	ρ	g/cm ³	1.2	既往検討に準拠。一般値
砂礫密度	σ	g/cm ³	2.65	同上
代表粒径	d m	cm	1.0	同上
堆積層の砂礫容積密度	C*	-	0.6	同上
計算用地形データ	-	m	25	同上

表 2-4 泥流諸元一覧表

<放出土砂量:90万m ³ >					<放出土砂量:210万m ³ >								
対象流域	河川名	泥流総量 (10 ³ m ³)	現況		ピーク流量 (m ³ /s)	対象流域	河川名	泥流総量 (10 ³ m ³)	現況		ピーク流量 (m ³ /s)		
			粗粒分 (10 ³ m ³)	細粒分 (10 ³ m ³)					粗粒分 (10 ³ m ³)	細粒分 (10 ³ m ³)			
川袋川	川袋川	3169	749	1,133	1,761	川袋川	川袋川	3169	749	1,133	1,761		
	川袋小川	406	82	123	226		川袋小川	406	82	123	226		
	元滝川	738	114	369	410		元滝川	1230	191	861	683		
	奈曾川	2763	80	900	1,535		奈曾川	3963	310	2,100	2,202		
	白雪川	鳥越川	3057	149	879		1,698	白雪川	鳥越川	3057	149	879	1,698
		赤川	6619	1,117	1,903		3,677		赤川	6619	1,117	1,903	3,677
		石秀川	-	-	-		0		石秀川	-	0	0	0
		白雪川上流	-	-	-		0		白雪川上流	-	0	0	0
		本川	9676	1,220	0		0		本川	9676	1,220	0	0
	子吉川	鶯川	2419	244	611		1,344	子吉川	鶯川	2419	244	611	1,344
下玉田川		3177	388	1,162	1,765	下玉田川	4113		515	2,098	2,285		
朱ノ又川		2804	337	1,192	1,558	朱ノ又川	3764		466	2,152	2,091		
赤沢川		1525	279	834	847	赤沢川	2197		408	1,506	1,221		
本川		7506	868	0	0	本川	10074		1,253	0	0		
月光川	牛渡川	1930	299	900	1,072	月光川	牛渡川	3130	485	2,100	1,739		
	滝瀬川	3184	484	900	1,769		滝瀬川	4384	670	2,100	2,436		
	洗沢川	2042	219	900	1,134		洗沢川	3242	381	2,100	1,801		
	北折川	1225	200	319	681		北折川	1225	200	319	681		
	中折沢	-	-	-	0		中折沢	-	0	0	0		
	地抜川	1946	373	900	1,081		地抜川	3146	603	2,100	1,748		
	南のコマイ	5190	1,047	1,570	2,883		南のコマイ	5190	1,047	1,570	2,883		
日向川	月光川	-	-	-	0	日向川	月光川	-	0	0	0		
	早津川	994	0	270	552		早津川	1354	0	630	752		
	鹿ノ俣川	3236	498	765	1,798		鹿ノ俣川	4256	656	1,785	2,364		
	白沢川	3992	616	1,296	2,218		白沢川	5036	777	2,340	2,798		
	女郎沢川	950	150	417	528		女郎沢川	1286	209	753	714		
本川	-	-	-	0	本川	-	0	0	0				

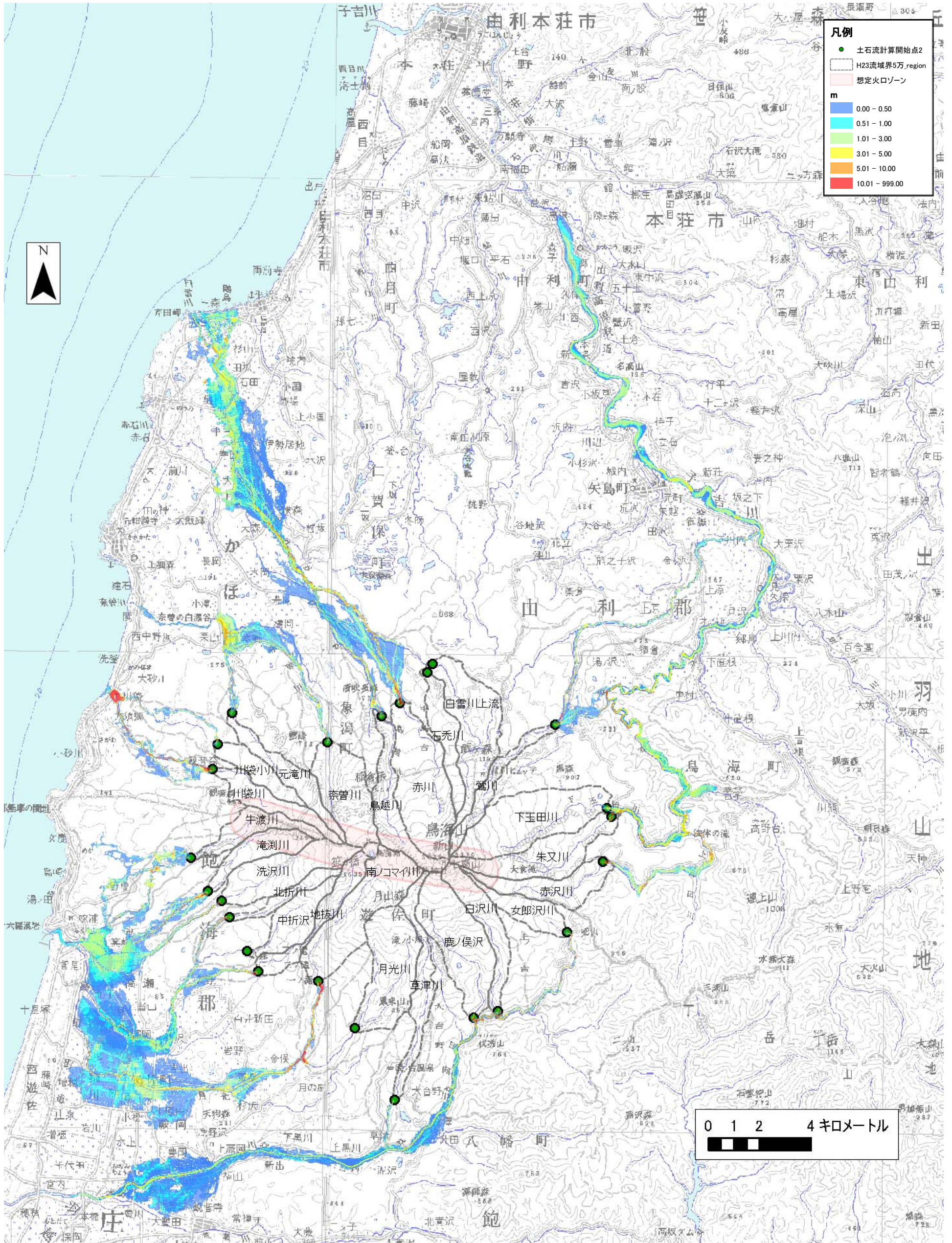


図 2-8 融雪型火山泥流【90 万 m³】最大流動深分布図

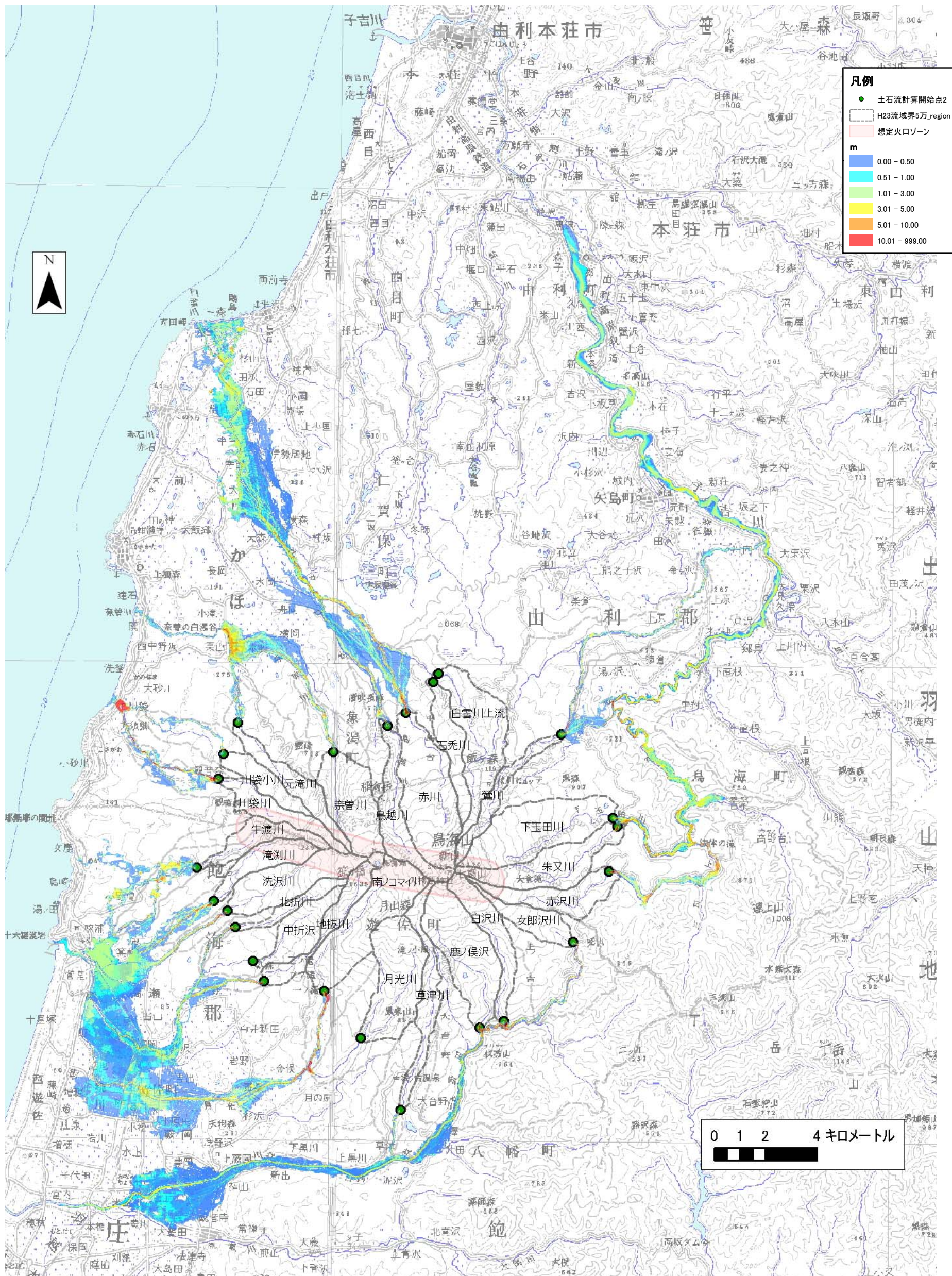


図 2-9 融雪型火山泥流【210 万 m³】最大流動深分布図

2.1.4 溶岩流

(1) 計算条件

各条件は、既往ハザードマップで検証計算等により設定された条件に準ずるものとする。

① ハイδροグラフ

溶岩流ハイδροグラフは平成 12 年度鳥海山火山噴火防災マップ策定検討委員会運営補助業務委託で実施されている検証計算(871 年噴火のうち、噴出火口近傍に明瞭な形状を有する部分(1300 万 m³) が対象)により設定されている、噴出時間 10 時間の矩形形状を採用した。今回対象となる 350 万 m³ を 10 時間で噴出すると考えると、噴出レートは下記の通りである。

$$350 \text{ 万 m}^3 \div (10 \times 3600) = 97.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

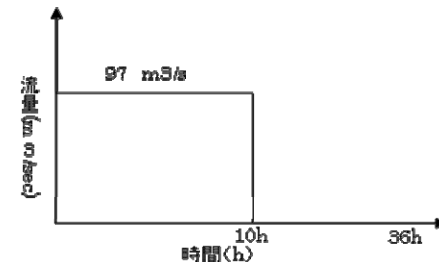


図 2-10 溶岩流ハイδροグラフ

② 地形データ

地形データは、『平成 20 年度鳥海山麓航空レーザー計測業務』による LP データをもとに、50m 四方のメッシュを作成した。

③ その他の計算定数の設定

既往ハザードマップで検証計算等により設定された条件に準じて設定した。下表に計算条件一覧を示す。

特に溶岩流の流動に大きな影響がある溶岩温度については、保全対象への影響が大きい想定として、ハザードマップ中で低粘性だった場合の例として掲載されている 1050°C を採用することとした。

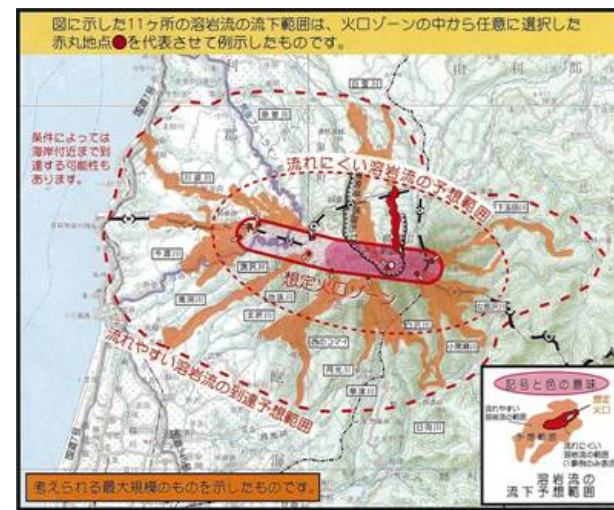


図 2-11 H18 公表ハザードマップ記載の溶岩流結果図 (2100 万 m³、1050°C)

表 2-5 計算条件一覧表 (H18 ハザードマップの計算条件と同様)

項目	記号	単位	数値	備考
溶岩噴出温度	θ	°C	1050	900~1100°C の範囲で低粘性の代表例としてハザードマップに記載している温度
噴出時間	h	時間	10 時間矩形 (36 h 後まで計算)	ピーク流量 583m ³ /s
溶岩密度	ρ	g/cm ³	2.5	一般値
放射率	ϵ		0.9	一般値
比熱	c	J/kg/K	0.84	一般値
重力加速度	g	m/s ²	9.8	一般値
Stefan-Boltzmann 定数	σ	J/m ² /K ⁴ /s	5.67×10^{-8}	
粘性係数	η	poise	44×10^4 (1050°C)	$\log \eta = -15.21 + 21,901(1/T)$
降伏せん断応力	τ_Y	dyn/cm ²	31×10^3 (1050°C)	$\log \tau_Y = -5.79 + 10,796(1/T)$

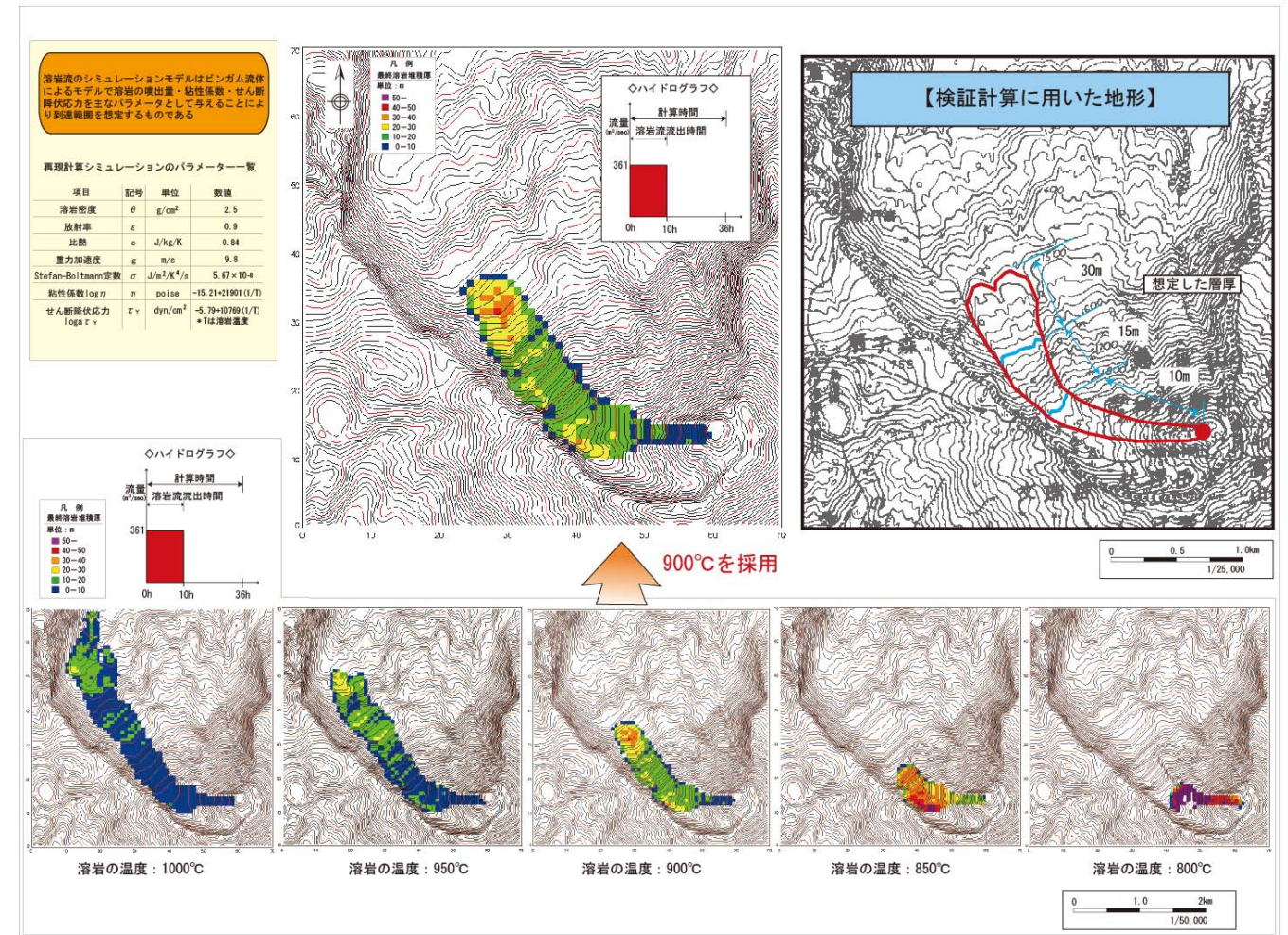


図 2-12 溶岩流検証計算 (平成 12 年度第 2 回鳥海山火山防災マップ策定検討委員会資料抜粋)

<溶岩流量の根拠>

■大規模：2100 万 m³

林・宇井(1993)は、ステージ IIIa の溶岩について溶岩流の平均的な量を求めており、その平均的なサイズおよび量は長さ 3.5km、幅 400m、厚さ 15m でありその体積は 0.02km³(2100 万 m³) であるとしている。

さらに、林ら(2006)において、871 年噴火時の溶岩流として千蛇谷溶岩の体積の再計算が行われており、約 2500 万 m³ という値が示されている。

■中規模：350 万 m³

林ら(2006)において、1801 年噴火時の新山溶岩ドームについて「2200m 以下の部分は、円錐台公式で計算を行い、それ以上の部分については半休で近似して計算を行った」結果として、約 350 万 m³ という値が示されている。

※林ら 2006：「鳥海山の完新世噴火史と火山災害」月刊地球 Vo1..28, No. 5

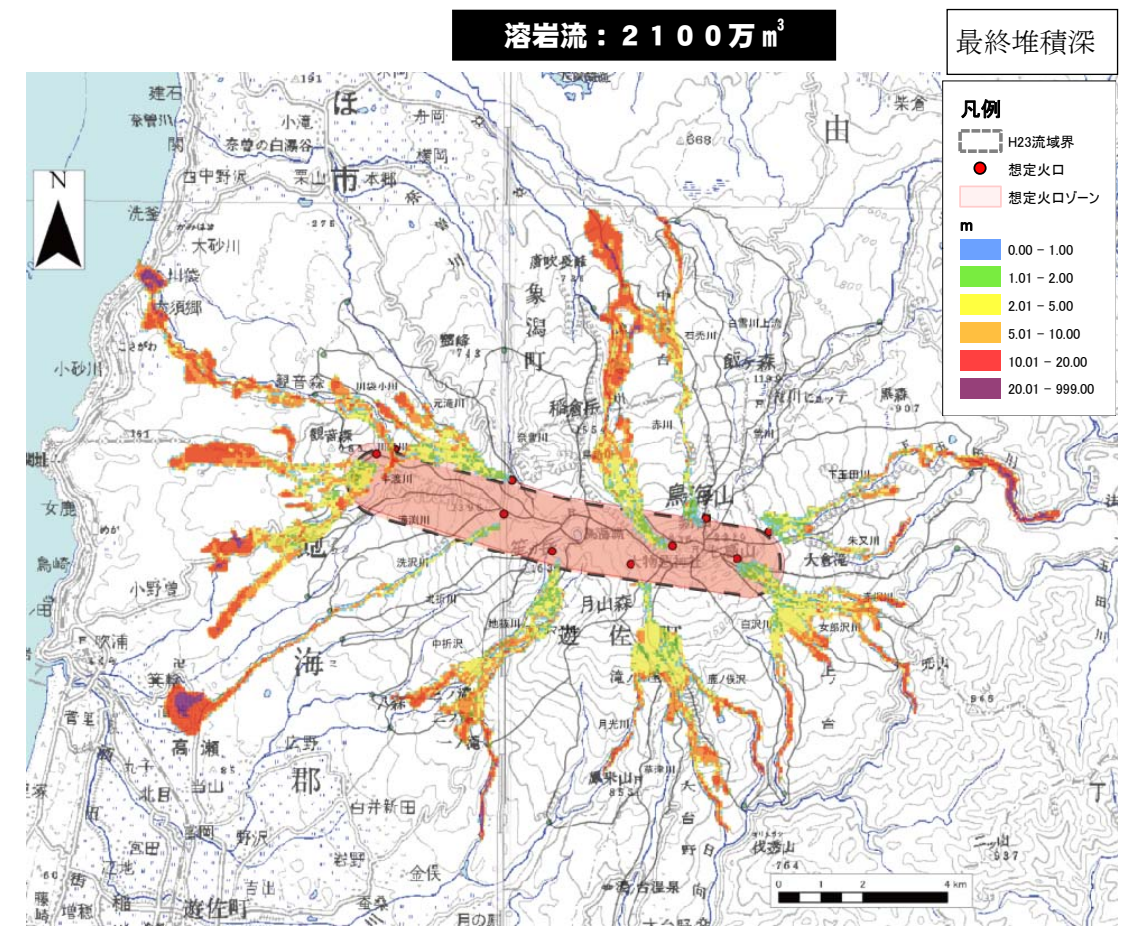
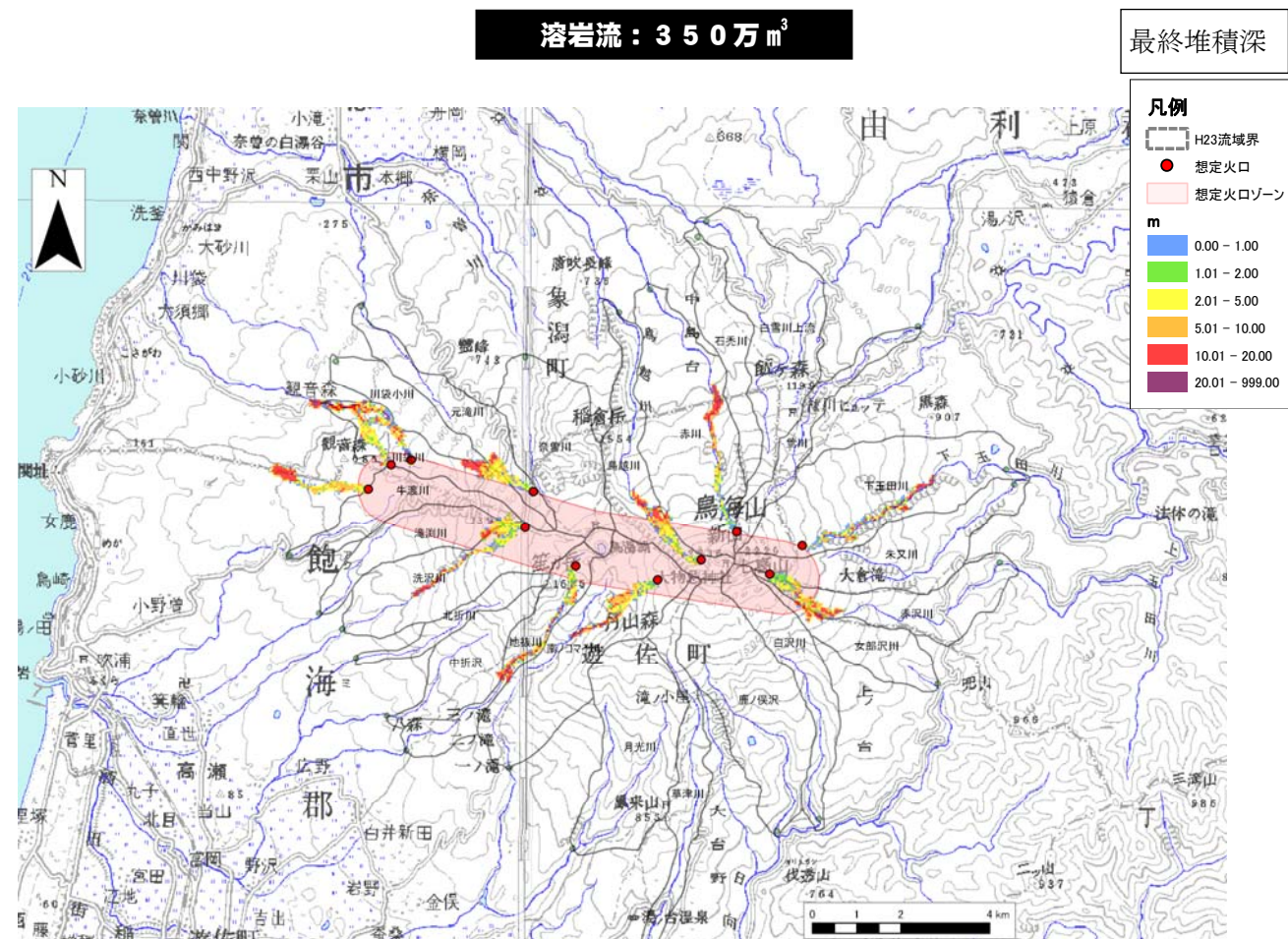


図 2-14 溶岩流計算結果図【2100万 m³】

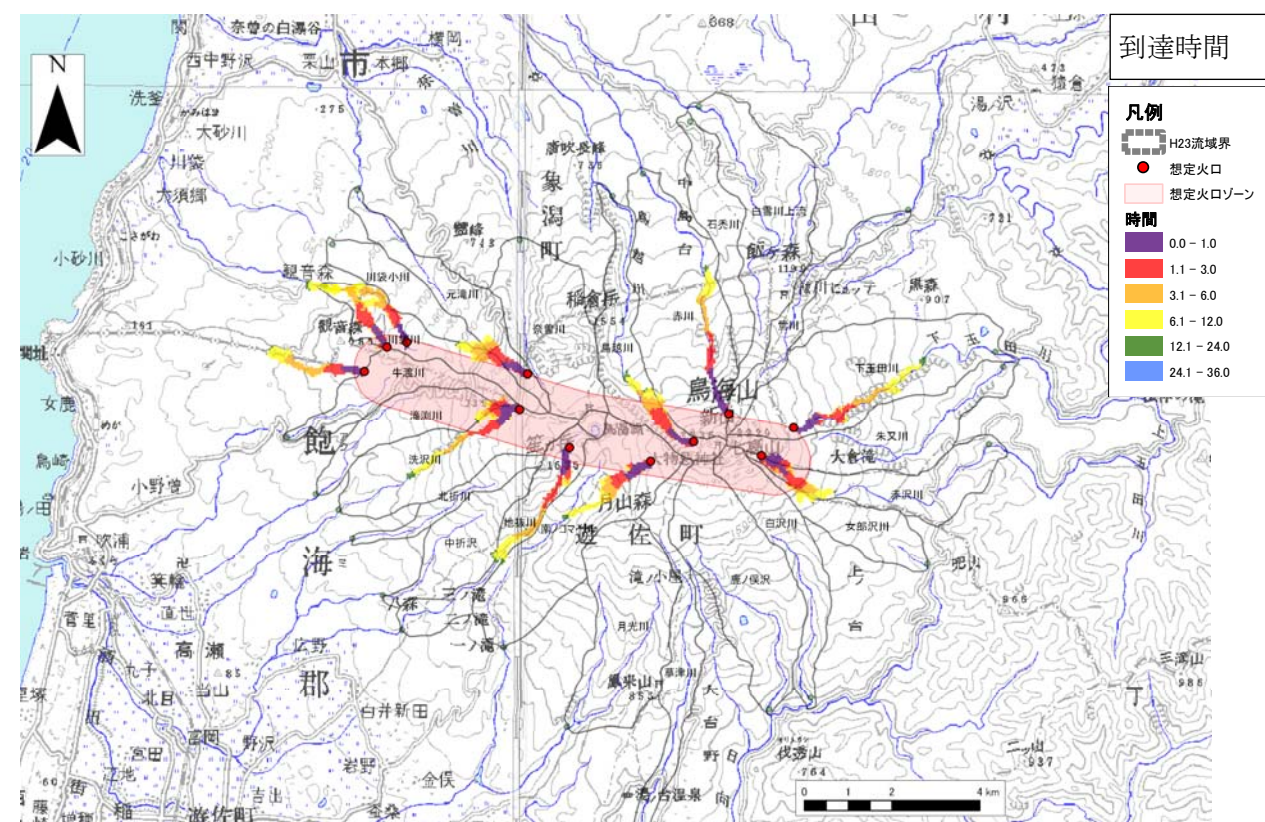


図 2-13 溶岩流計算結果図【350万 m³】

2.1.5 火砕流

(1) 計算条件

鳥海山における緊急減災対策検討対象とする火砕流は、溶岩ドーム崩壊型火砕流で 210 万 m³ と 90 万 m³ の 2 規模が対象となる。鳥海山における火砕流の詳細は不明であるため、流出時系列を始めとする各種条件を設定することは困難である。そこで、雲仙岳等の他火山の実績を参考に各種条件を設定することとした。

①火砕流ハイドログラフ

雲仙岳等の実績より、火砕流のハイドログラフは、一定噴出量の矩形ハイドログラフを用いるのが一般的である。図 2-15 に他火山における火砕流の噴出量と継続時間の整理結果を示した。これによると今回対象とする 90 万 m³、210 万 m³ 程度の規模は、継続時間 5 分 (300 秒) と設定するのが妥当であると判断される。

従って、継続時間 5 分として火砕流の想定ハイドログラフを作成した。結果は、表 2-6 に示すとおりである。

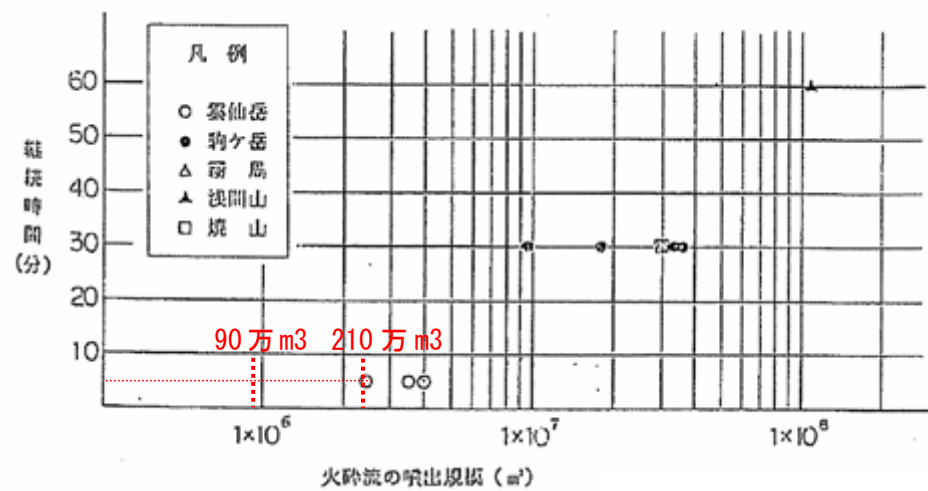
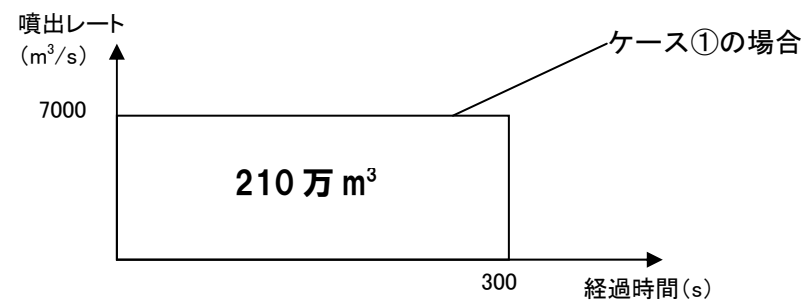


図 2-15 火砕流噴出規模と継続時間の関係

(出典：平成 8 年度シミュレーション支援データ作成業務報告書)

表 2-6 想定火砕流ハイドログラフ

Case	噴出物量 (万 m ³)	噴出レート (m ³ /s)	継続時間 (秒)
1	210	7000	300
2	90	3000	300



②地形データ

地形データは、『平成 20 年度鳥海山麓航空レーザー計測業務』による LP データをもとに、25m 四方のメッシュ作成した。

③その他の計算定数の設定

その他定数は、雲仙・普賢岳における再現計算結果^{*1}を参考に、以下のように設定した。

表 2-7 計算パラメータ

項目	記号	単位	数値	備考
火砕物 (砂礫) の密度	σ	g/cm ³	2.5	※1
火砕物の代表粒径	da	cm	30.0	※1
粒子間摩擦係数	μ		0.2	※1 及び下図参照
堆積層砂礫の容積土砂濃度	C_*		0.6	一般値
運動量補正係数	β		4.3	※1

※ 火砕流の流れ全体としての密度 ρt は下式の通りである。

粒子濃度 c は粒子間摩擦 μ およびエネルギー勾配 ie の関数として与える。

$$\rho t = c \cdot \sigma \quad c = \left(\frac{\sqrt{10} ie}{3 \mu} \right)^3$$

(粒子間摩擦係数)

粒子間摩擦係数は、雲仙・普賢岳における再現計算^{*1}により 0.18~0.28 という値が求められている。また、既往の火砕流堆積物の流送距離 (L) と比高 (H) の関係 H/L 比と見なすことができる。図 2-16 より想定されている規模の火砕流は、0.2~0.3 の値をとると考えられる。

以上より、ここでは安全側をとり 0.2 と 0.3 を採用する。

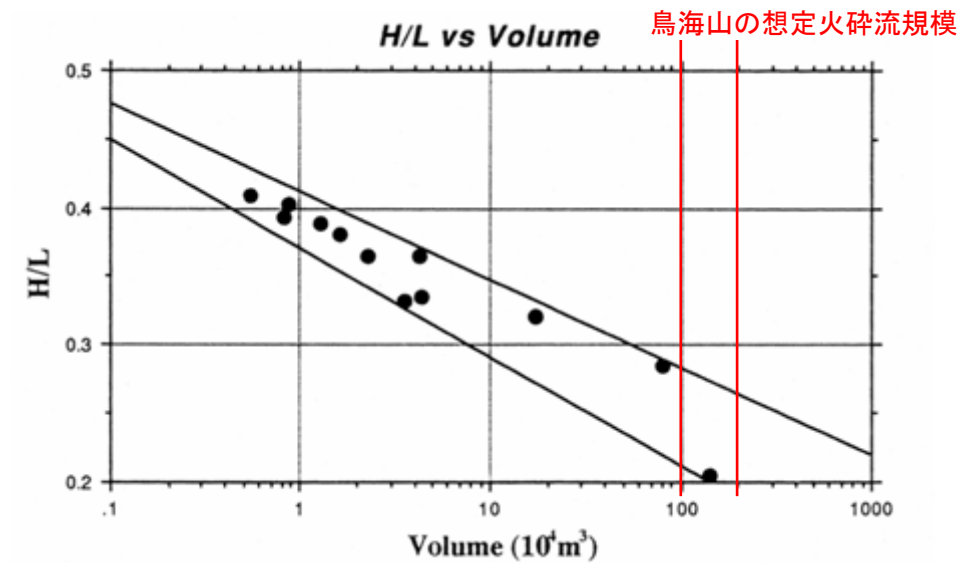


図 2-16 火砕流の体積と H/L 比の関係

※産業技術総合研究所資料より
http://docs.geogrid.org/Applications/EnergyConeModel_ja

※1：雲仙・普賢岳における平成 3 年 6 月 3 日、8 日、9 月 15 日の火砕流とその再現計算：山下ら 1992

(火砕物の代表粒径)

雲仙・普賢岳における再現計算結果^{*1}に基づき、30cm とした。

③火砕サージの到達範囲

火砕サージの到達範囲の計算手法については、「火山ハザードマップにおける火砕サージの到達範囲に関する考察」(松井ほか 2011)において、火砕流本体部の区間平均流速と火砕サージの直進距離の関係について下式を求めている。

$$L=48.75 \times V+32.87$$

L：火砕サージの直進距離(m)、V:火砕流本体の平均流速(m/s)

今回の火砕流計算結果の先端部に対して、上式で直進距離を求めたところ、下図のように 40~150m 程度となった。これは、本計算結果において、火砕流先端部の流速が 1m/s 以下にまで低減してしまっているためである。

表 2-8 火砕流先端部の流速と直進距離

	90万m3			
	距離(m)	時間(分)	平均流速(m/s)	火砕サージの直進距離(m)
元滝川	550	40	0.23	44
鳥越川・赤川	678	40	0.28	47
赤川	2500	40	1.04	84
下玉田川	1800	40	0.75	69
赤沢川(上玉田)	1600	40	0.67	65
南ノコマイ川	2700	40	1.13	88
地抜川	1960	40	0.82	73
洗沢川	1900	40	0.79	71
西斜面	256	10	0.43	54
川袋川【猿穴西】	1315	10	2.19	140
川袋川【猿穴東】	1460	40	0.61	63
	210万m3			
	距離(m)	時間(分)	平均流速(m/s)	火砕サージの直進距離(m)
元滝川	714	40	0.30	47
鳥越川・赤川	2950	40	1.23	93
赤川	2650	40	1.10	87
下玉田川	2360	40	0.98	81
赤沢川(上玉田)	2400	40	1.00	82
南ノコマイ川	3150	40	1.31	97
地抜川	2300	40	0.96	80
洗沢川	2650	40	1.10	87
西斜面	1200	20	1.00	82
川袋川【猿穴西】	900	10	1.50	106
川袋川【猿穴東】	2800	40	1.17	90

一方で、山麓の緩傾斜部に到達するまでに火砕流の流速は、より速い状態にある。しかし、火砕サージ、火砕流本体部両方を含むトータルの到達範囲として広がるのは、先端部での流速を計測した場合である。安全側を考慮して先端部の直進距離を採用しても、150m 程度となる。

しかし、1991 年の雲仙岳で発生した火砕流のサージ部の距離は、200m~1km 程度ある。このことから、安全側の設定をするために、雲仙岳の最大距離である 1km を火砕サージの到達範囲とする。

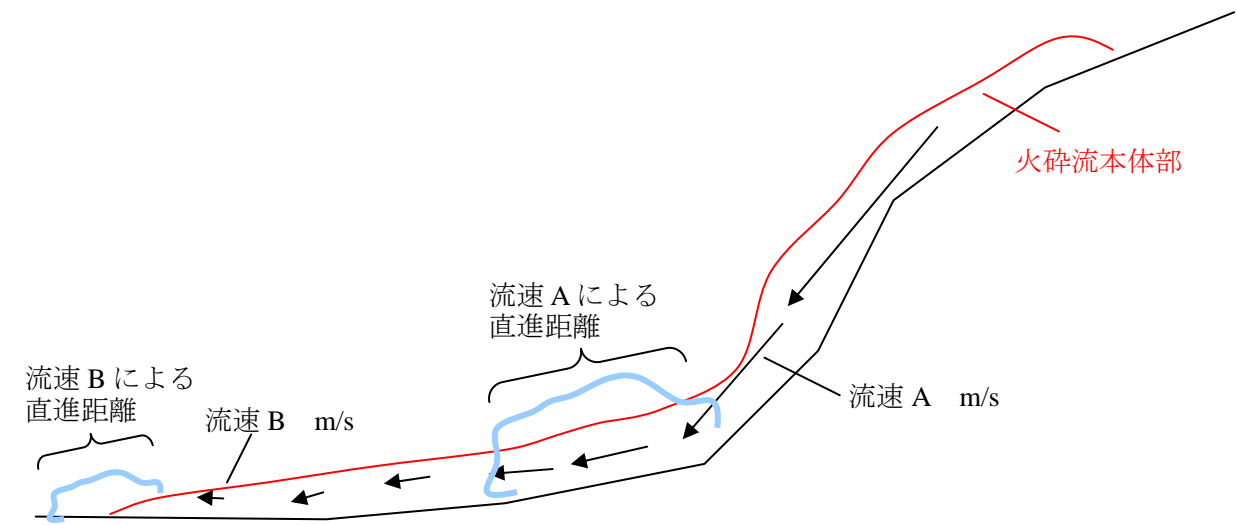
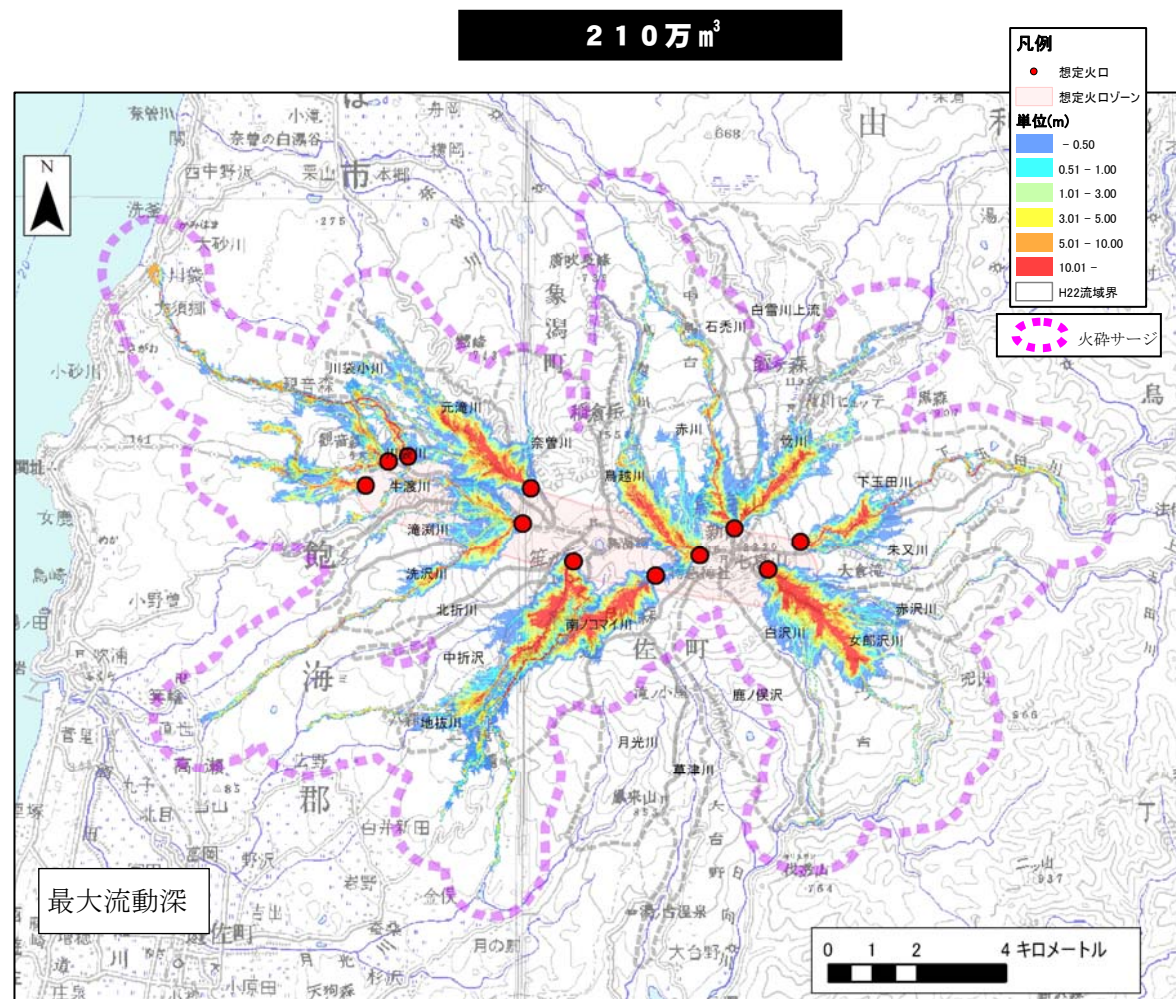
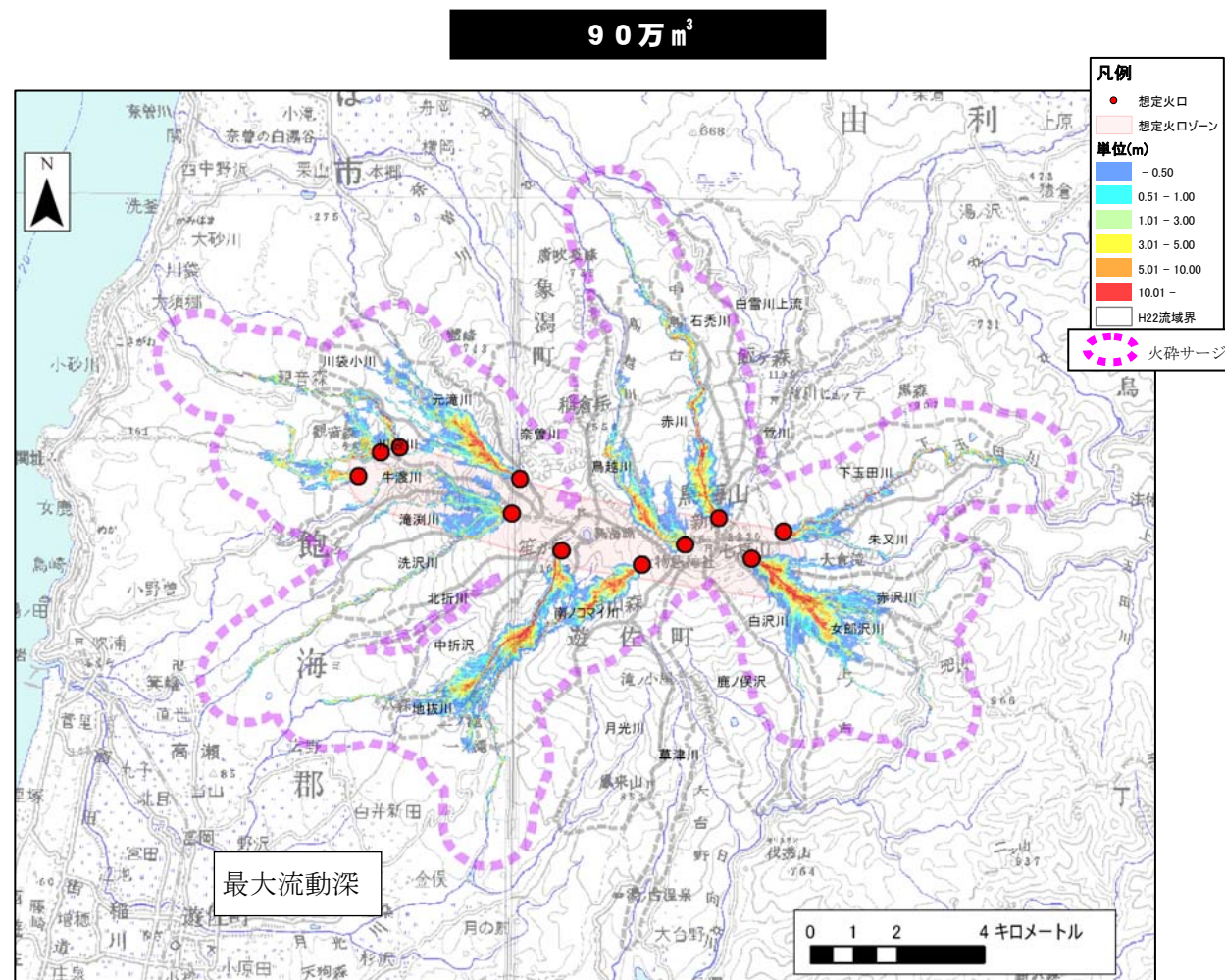


図 2-17 火砕流流速と火砕サージ直進距離のイメージ図

表 2-9 雲仙岳における火砕サージ到達距離

	発生日	距離(km)		
		本体部	サージ	延伸距離
雲仙岳	1991.5.26	1.53	2.34	0.81
	1991.6.3	3.38	4.46	1.08
	1991.6.8	5.4	5.6	0.2
	199.9.15	4.13	5.12	0.99

粒子間摩擦係数 0.2



粒子間摩擦係数 0.3

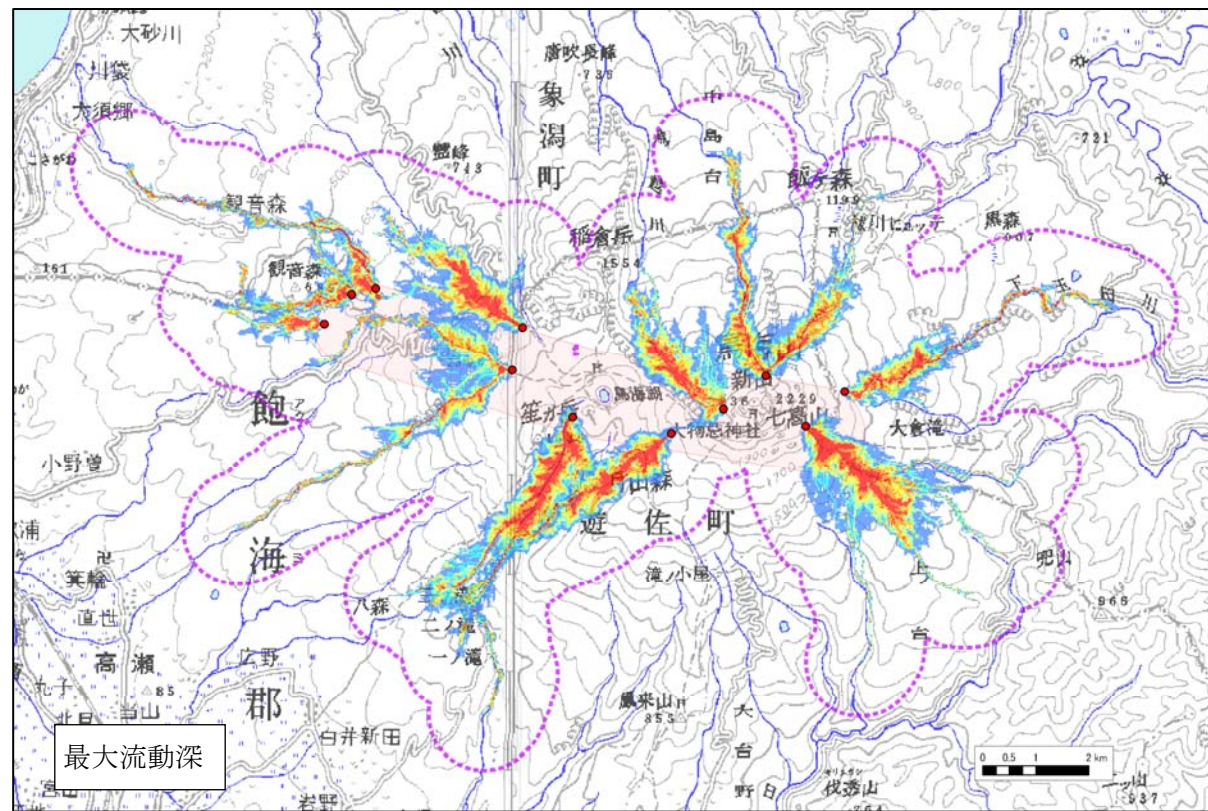
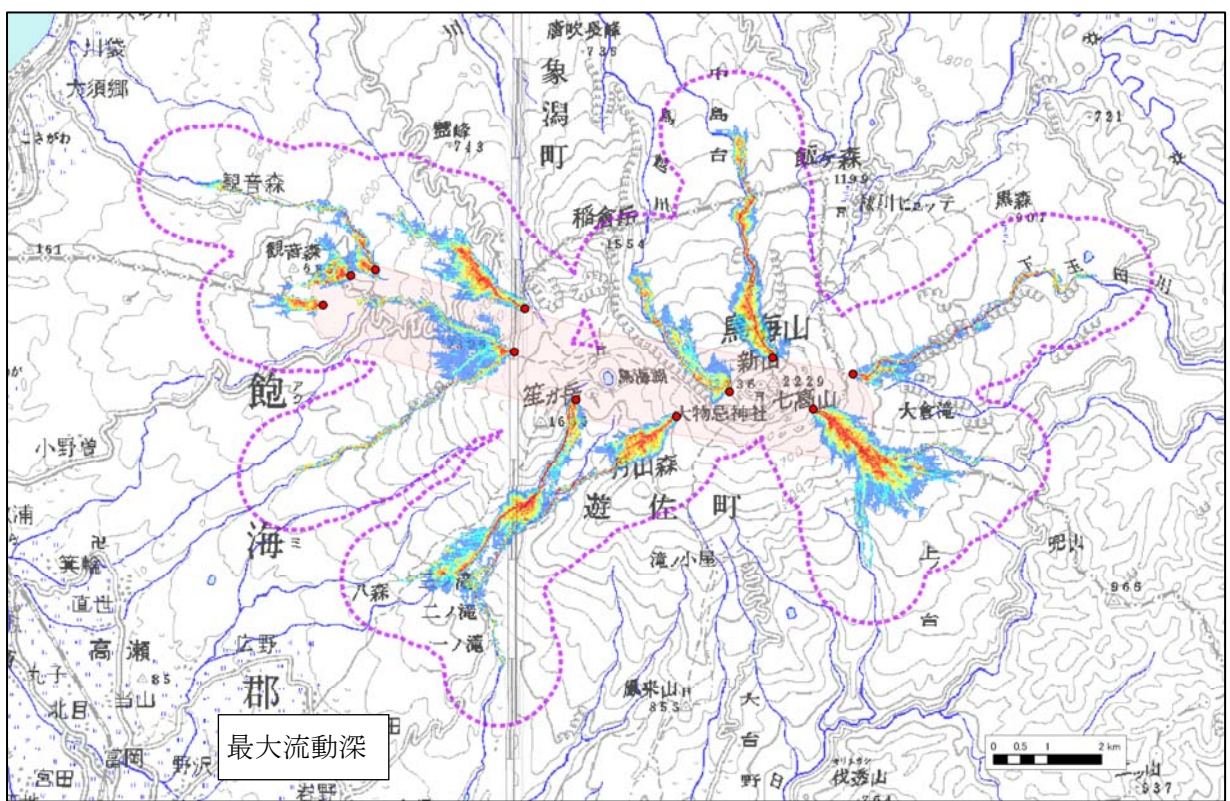


図 2-18 火砕流計算結果図【左：90 万 m³、右：210 万 m³】