HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

タイトル	第8章 地理情報システムによる有珠山噴火地域における道路災害発生箇所の推定手法と避難計画に関する研究(<特集・総合研究>自然災害に伴う地域変化と復興に関する研究 ： 北海道・有珠山噴火災害地域を対象にして(I))
著者	武市，靖；片井，浩太；松村，慎一
引用	開発論集，71：139-154
発行日	2003-03-31

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

開発論集　第71号　139-154(2003年3月)

第8章　地理情報システムによる有珠山噴火地域における道路災害発生箇所の推定手法と避難計画に関する研究

武市　靖*・片井浩太**・松村慎一***

1．はじめに

有珠山が2000年3月31日に北西山麓部において噴火し、周辺地域に多大な噴火による被害をもたらした。過去にあまり例を見ない噴火の予知正確さと迅速な避難計画により住民の生命は守られ、現在、被災した社会基盤の復興と災害対策工事が進められている。しかし、過去の噴火経歴をみると、1663年(寛永3)、1769年(明和5)、1822年(文政5)、1853年(嘉永6)、1910年(明治43)、1943年(昭和18)、1977年(昭和52)に噴火していることがわかる。このことから、有珠山は30～50年周期で噴火を繰り返すことが火山専門家により指摘されており[1]、今後、噴火を想定した場合の防災対策は不可欠である。

先の研究において[2]、周辺地域の被害状況と地理情報をもとに地理情報システム(GIS)によりデータベースを作成し、有珠山周辺地域の社会基盤施設、土地利用、地形変化、地域住民の被害状況を定量的に評価する手法を明らかにしている。

そこで、本研究は、今回の噴火による道路やその周辺地域利の降灰や土石流、斜面崩壊等の道路災害に注目し、今後の噴火による災害が予想される箇所の予測手法の検討を行うと同時に、地域住民の避難経路・避難箇所などの避難計画について検討を行った。避難計画については、避難所とその収容人数などの実質的なデータが入手できなかったので、公共施設を避難所として設定し検討を行い、設定数の違いによる考察を加えた。

2．研究概要

本研究における解析対象地域は、図1に示すように、洞爺湖温泉街と虻田町を結ぶ周辺地域とその道路を対象とした。解析において、有珠山周辺地域の噴火による被害状況の定量評価手法の検討で用いた各被災事象に対する危険尺度の考え方をそのまま用いた[2]。すなわち、表1に

*（たけいち　きよし）本学工学部土木工学科教授
**（かたい　こうた）本学工学部土木工学科
***（まつむら　しんいち）本学工学部土木工学科

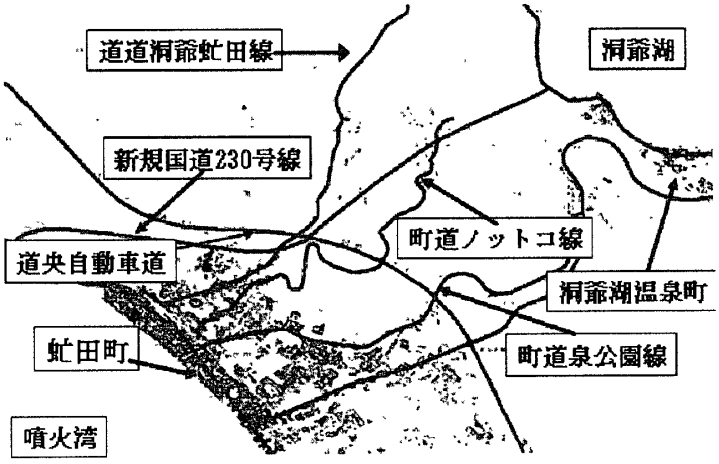


図1　解析対象地域

表1　被災事象の危険度

	火　口	断層・亀裂	熱泥水	降　灰	噴　石	隆　起
生命に危険を及ぼす	1	1	1	0	1	1
インフラに被害を及ぼす	1	1	1	0	1	1
二次災害の可能性がある	1	0	1	1	0	0
植生におおきな被害を及ぼす	1	0	1	1	0	0
地形に大きな変化をもたらす	1	1	0	0	0	1
予測範囲が特定できない	1	1	1	0	0	1
噴火後に復旧することが容易ではない	1	1	1	0	1	1
危険度	7	5	5	2	3	5

示すように、平成12年度の噴火の被災状況をGIS上に各路線の火口、断層・亀裂、熱泥水、降灰、噴石、隆起、泥流に対する被害状況の現地調査と各機関の調査データを参考にして、各被災事象をカテゴリー項目により危険尺度を定め、その結果から各路線の定量的評価を行った。

道路土砂災害の発生箇所の推定に関しては、各路線に及ぼしうる箇所の選定のために、先ず周辺地域の標高データからGISにより三次元データを作成し、このデータを用いて傾斜角、落水線を求めた。これらのデータに植生分布と路線データのレイヤーを重ね合わせることで災害危険箇所選定する手法を用いた。

避難計画に関しては、虻田町を解析対象地域として考え、避難所を公共施設と想定して、被災地域おける建物、道路網をGISによりデータベース化した[3]。噴火による災害については、道路土砂災害の推定の場合と同様の危険尺度を用いて、避難する際に災害と遭遇する経路に負荷として与えた。地域住民の家屋や他の建物からの避難は、GISによるネットワーク解析ツール(Network Analyst)[4]を用いて、各避難所への負荷を考慮した経路による等距離分布図を作成

し、算出した負荷距離のうち建物から最短の避難所を選出する方法で検討した。

３．各道路周辺地域の被災事象による分類

2000 年の噴火による地域間を結ぶ各道路周辺地域の被災状況を表１の被災事象により危険度の評価を行ってみた。現在計画中の新国道 230 号線は計画路線周辺、旧国道 230 号線と町道泉公園線はすでに通行止めなっている区間を含む地域、町道ノットコ線、道道洞爺虻田線は現道周辺地域について評価した。評価を行うために、現地調査、被災状況報告書、航空写真、ハザードマップなどを参考にして、図２～４に示す各被災事象の分布図を作成した[5)]。

図２は火口、断層・亀裂、熱泥水の分布、図３は噴石、隆起の分布、図４は降灰分布の状態を表したものである。どの被災事象も町道泉公園線、旧国道 230 号線に被害が集中しており、町道ノットコ線の周辺地域がわずかに降灰の可能性がある点を除けば、道道洞爺虻田線、新国

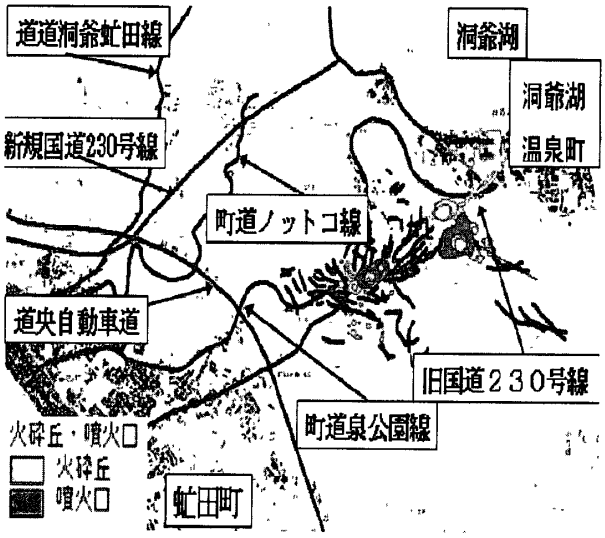


図２　火口、断層・亀裂、熱泥水の分布

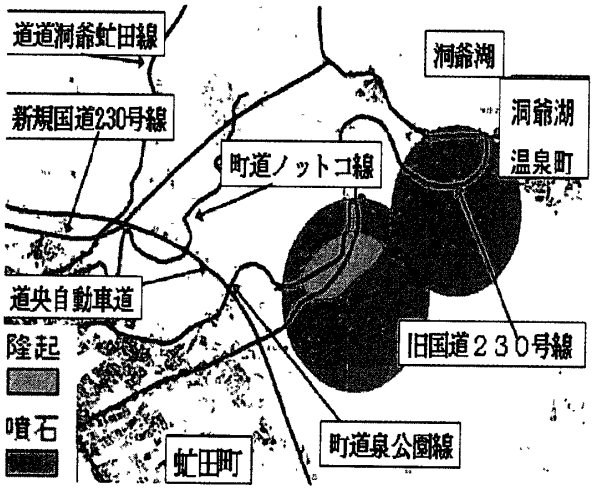


図３　噴石、隆起の分布

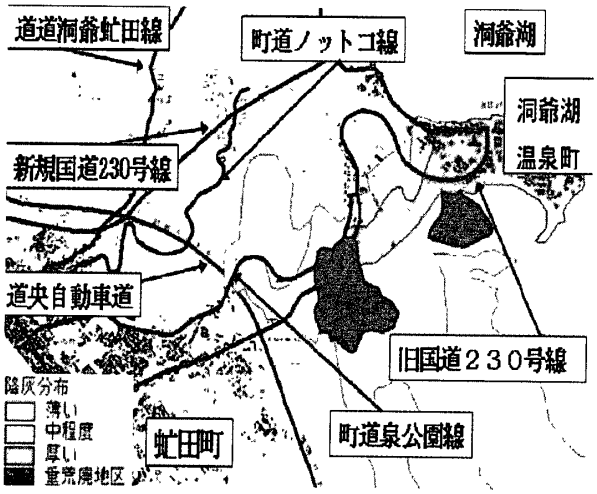


図４　降灰分布

表2　各路線周辺地域の被災事象

被災事象	旧国道230号	新国道230号	町道ノットコ線	町道泉公園線	道道洞爺虻田線
火口	7	0	0	7	0
断層・亀裂	5	0	0	5	0
熱泥水	5	0	0	5	0
降灰	2	0	2	2	0
噴石	3	0	0	3	0
隆起	5	0	0	5	0
危険度	27	0	2	27	0

道230号線の計画路線地域については被災していないことが分かる。

4．道路土砂災害の発生箇所の推定[6)]

4.1　土砂災害

土砂災害をもたらす自然現象には、豪雨、地震、火山噴火などがある。特に、有珠山火口周辺地域では、3月末の残雪時に噴火して降灰が堆積したため、広範囲の雪が融解して泥流災害が発生し、地殻変動の影響を受けた道路のり面では斜面崩壊が発生している。

(1)　泥流・土石流

火山泥流は流速が速く、破壊的で過去の事例をみても多数の災害を発生させている。流速は60 km/h、距離は100 km以上にも及ぶことがあるといわれている。噴火時に噴出物が火口湖の水や山頂の積雪とともに泥流化するタイプと火山灰が山腹斜面に堆積してそこに豪雨が加わって二次的に発生するタイプがある。有珠山噴火では、融雪水が豪雨の役割を果たして、融雪型火山泥流災害を引き起こしている。過去における融雪型火山泥流としては、1926年の十勝岳の噴火による災害が有名である。現在の上富良野町周辺を襲い144名の犠牲者を出している。

降雨による二次的な泥流・土石流災害の最近の事例としては、雲仙普賢岳の噴火で堆積していた火山灰や火砕流堆積物が、1993年に降雨によって土石流となって山麓を流下し下流部で氾濫して大きな被害が発生している[7),8)]。

(2)　地滑り、斜面崩壊

有珠山では1997～1979年と2000年の噴火において、マグマの上昇による地殻変動で火口周辺の地盤のせり出し、断層、亀裂、波状変形が生じて斜面崩壊が発生した。特に、2000年の噴火では地盤の垂直・水平変動が大きく道路が崩壊し、崩壊をまぬがれた道路でものり面崩壊、のり面のせり出しが起きた。粘土層を含む地層、温泉変質による基盤岩の粘度化が起きた地層の斜面では地滑りが発生しやすい。図5は、土砂災害に関する過程をまとめたものである[8)]。

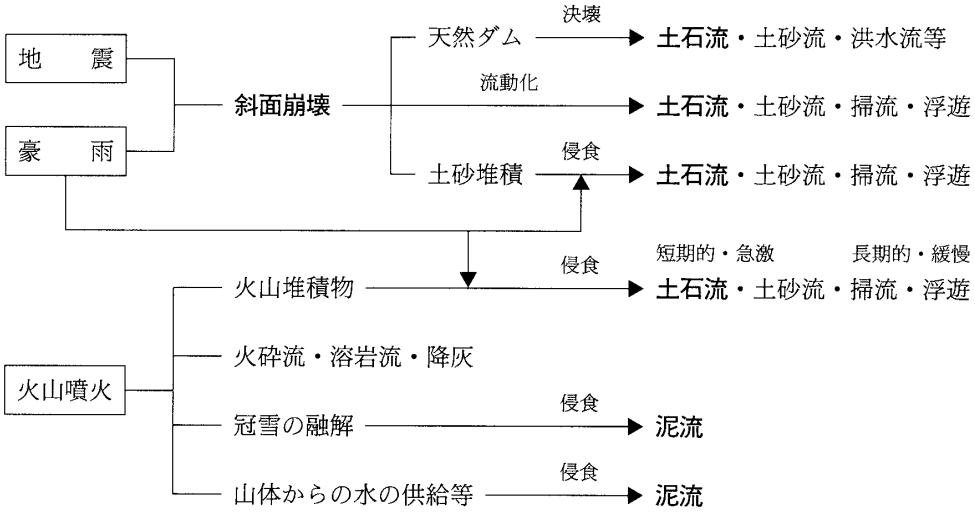


図5　土砂災害に関する過程[8)]

4.2　3次元データ解析による解析

火山活動における土砂災害は直接的な噴火や地殻変動に伴って発生する災害と、降雨や融雪水が引き金となって発生する二次的な泥流・土石流災害とがある。特に道路周辺の斜面崩壊などの土砂災害には、①斜面の勾配、②斜面の高さ、③斜面の有する集水特性、④崩壊土砂の存在などの地形条件、地表の植生状態な正災害発生要因となる。また、地震による繰り返しせん断が地盤やのり面地層の強度低下を引き起こし、斜面崩壊の原因となる。

図6は、遠藤らの調査[9)]に基づく降灰の影響範囲と降灰堆積分布図である。この地域では西北西の風が卓越しているが、噴煙の高度が高くなると、解析対象の各路線周辺地域に堆積することが予想される。図7は、降灰の堆積予想地域と対象路線との位置図を示したものである。

この仮定のもとに降灰や噴火時の地殻変動による土砂災害の発生しやすい斜面の予測を「傾斜角度」、「植生分布」、「落水線」の観点から解析対象地域について、GISの3次元データ解析により調べた。

(1)　傾斜角度

実際の斜面分類と傾斜角との関係は、必ずしも明確に表現されていない。斜面の傾斜角度と同時に隣接する斜面との相対的な緩急や傾斜の変化の仕方（漸移的か不連続か）が、斜面崩壊の場合には重要となるからである。

傾斜角と斜面の種類について鈴木の分類によると、平坦面（1°未満）、極緩斜面（1～5°）、緩斜面（5～20°）、急斜面（20～35°）、極急斜面（35～70°）、崖（70～90°）となっている[10)]。

写真1と2（室蘭開発局）は今回の噴火において旧国道230号線で発生した斜面崩壊で、図8は写真1と写真2の発生現場周辺の傾斜角度を表したものである。この地域の周辺の傾斜角度は、12～18度の範囲以上の角度で、上記の分類では“緩斜面”以上の斜面である。

図9は、解析対象地域全体の傾斜角度の分布を示したものである。

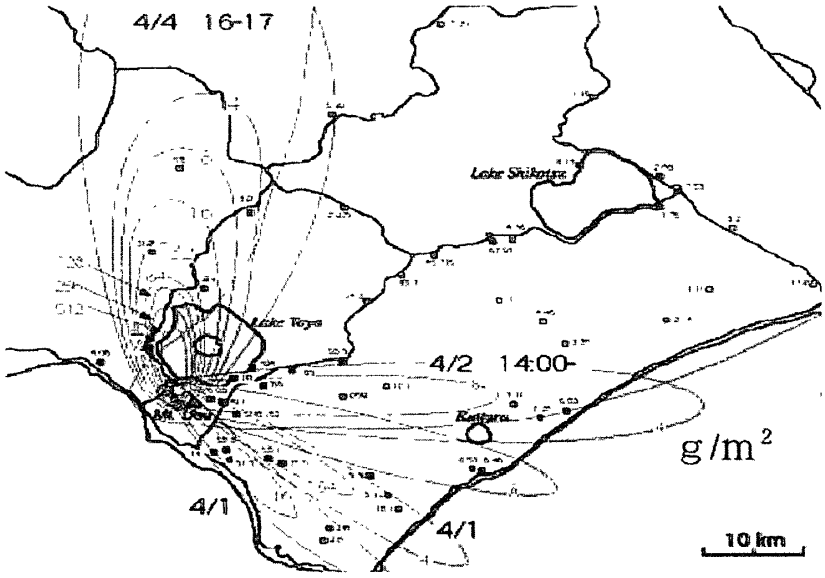


図6　3月31日以降の降灰分布（遠藤ら、2000）

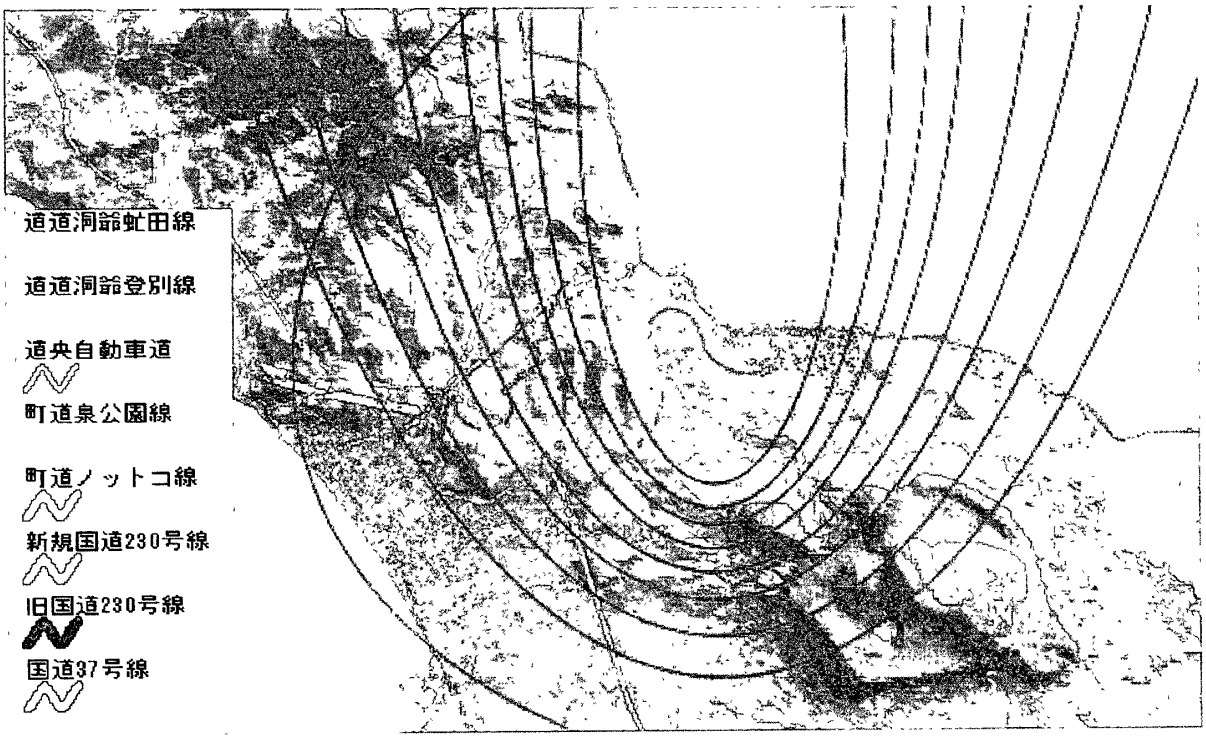


図7　降灰影響範囲と各路線との位置関係

(2)　植生分布

植生の発達した斜面では、一般に上から植物などの生物的な力がのり面の自立に貢献している。図10は土砂災害発生箇所の植生分布で、いずれも「荒地」に該当している。図9の国道230号線周辺の植生分布を見ると、道路沿線でも「樹木・畑」「果樹園」では土砂災害は発生していない。図11は、解析対象地域全体の植生分布を示したもので、荒地が道路周辺に点在している。

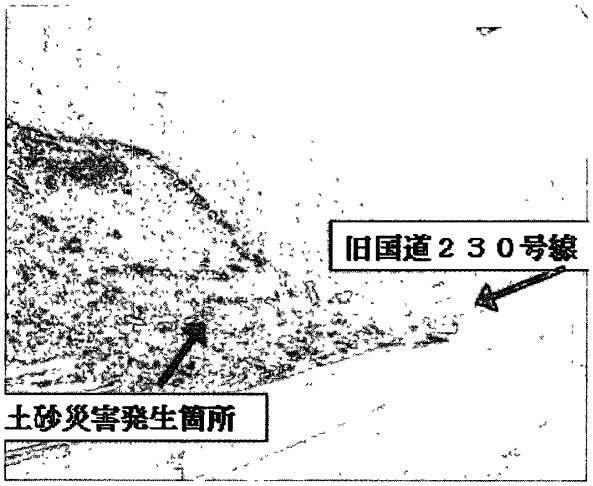


写真１　土砂災害発生箇所①

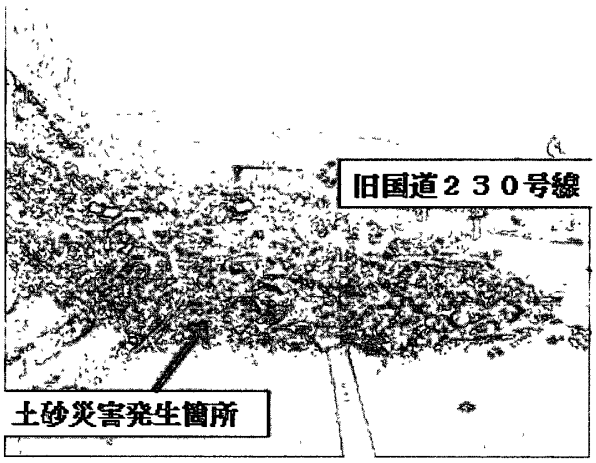


写真２　土砂災害発生箇所②

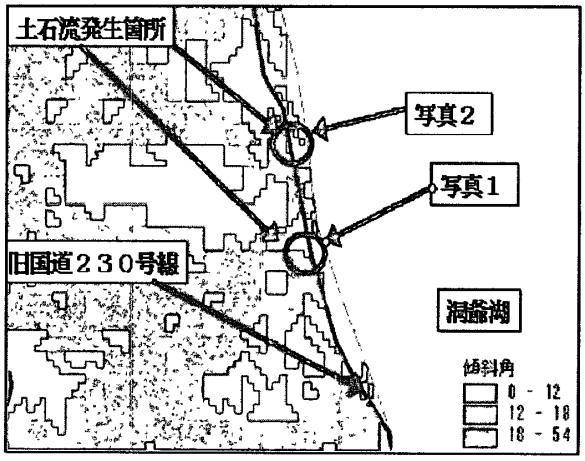


図８　土砂災害が発生した地域の傾斜角

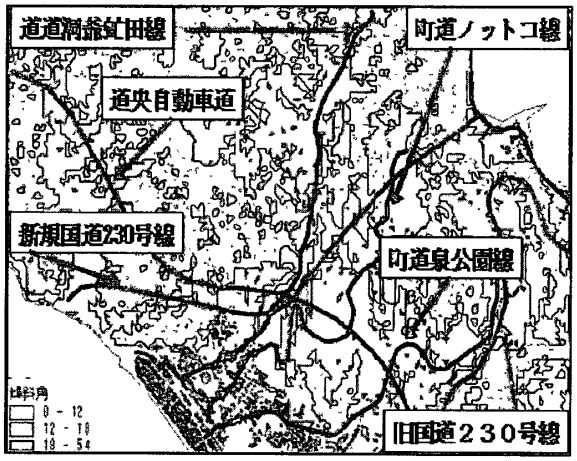


図９　対象地域の傾斜角

(3)　落水線

落水線は、ある地点から最大傾斜方向に追跡した線で、この落水線を平面的および断面的に見た場合の急激な屈曲点を結んだ線が地形線である。すなわち、尾根線（rigid line）は落水線の発散線であり、谷線（valley line）は、落水線の収斂線である[10]。

図 12 は落水線解析により、主要な落水線を表したもので、これにより、降雨時の土砂崩壊、降灰土砂の土石流が発生した場合に流下する地域、方向を予測することができる。

4.3　レイヤーの重ね合わせ

傾斜角解析と落水線解析結果のレイヤーを重ね合わせると図 13 のようになる。この図より危険な角度（12 度以上）、危険な植生（荒地）と土石流の流れる方向が路線と重なる位置を示したのが、図 14 である。ここで黒く塗りつぶされている箇所が降灰土砂の堆積や地殻変動時における各路線の土砂災害発生の危険箇所で、３次元表示の路線図に表した。

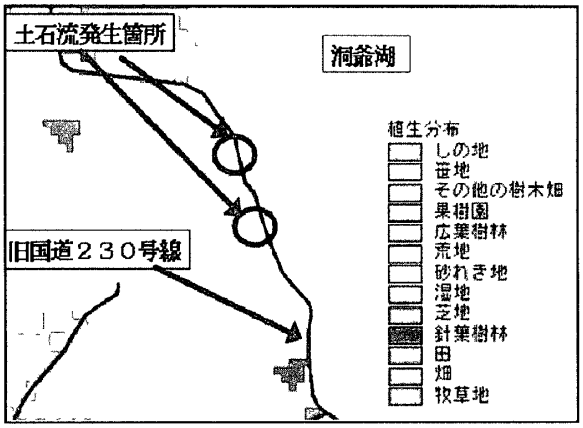


図 10　土砂災害の発生した箇所の植生分布

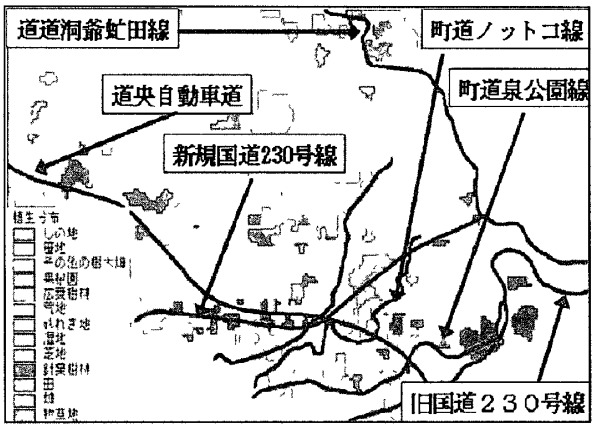


図 11　対象地域の植生分布

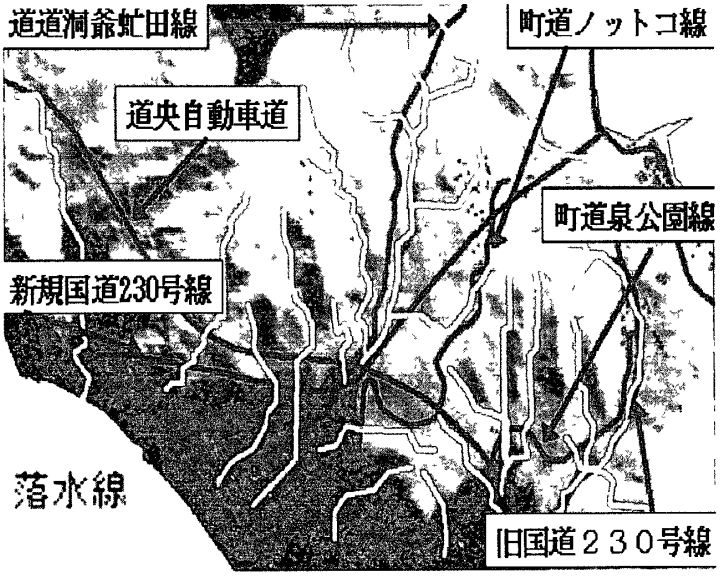


図 12　落水線解析結果

4 4　解析結果

図 14 に示した土砂災害が予測される箇所は、道道洞爺虻田線は 4 箇所、町道ノットコ線は 2 箇所、道央自動車道は 3 箇所、新 230 号線は 3 箇所であるが 2 箇所がトンネル部分と重なるのでこの 2 つを除き 1 箇所という結果が得られた。

また、新 230 号線、町道ノットコ線、道道洞爺虻田線は今回と同程度の噴火規模なら、被害を受けない位置であることがわかった。従って、新国道 230 号線については噴火、土砂による被災に対して安全性が高い路線ということが分かる。

しかし、この解析結果は傾斜角、植生分布及び落水線の 3 つの要因に基づいた予測手法を示したもので、実際には降灰堆積層の流域・厚さ、地盤の地質や降雨強度の地域分布などの要因をも考慮する必要がある。

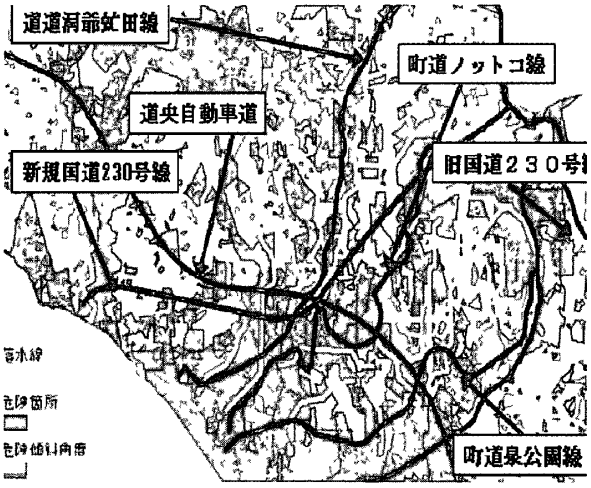


図 13　傾斜角と落水線解析結果の重ね合わせ

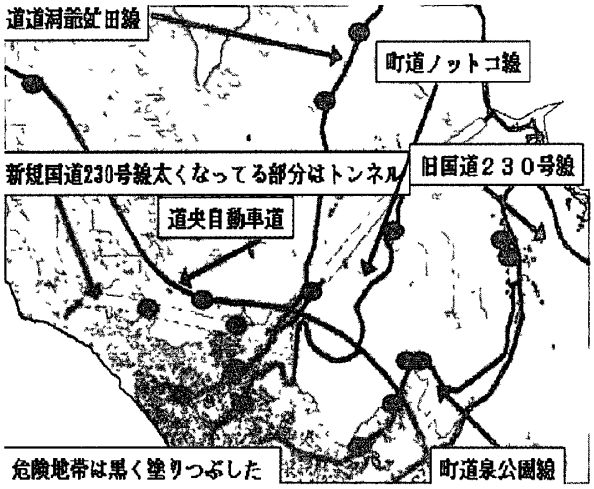


図 14　傾斜角、植生、落水線の解析結果に基づく土砂災害が発生しやすい箇所

5．避難計画[11)]

5 1　解析対象地域の建物と道路網

設定した避難所への避難計画は、GIS のもつ図形情報と属性情報のリンケージデータベースを構築し、ネットワーク解析モデルを用いて検討した[12)]。虻田町を解析対象地域とし、GIS により市街の道路網のレイヤーと建物配置のレイヤー重ね合わせを図 15 に示した。噴火時に避難する場合、地域住民は基本的に建物から最短に位置する避難所を選定すると考え、設定した避難

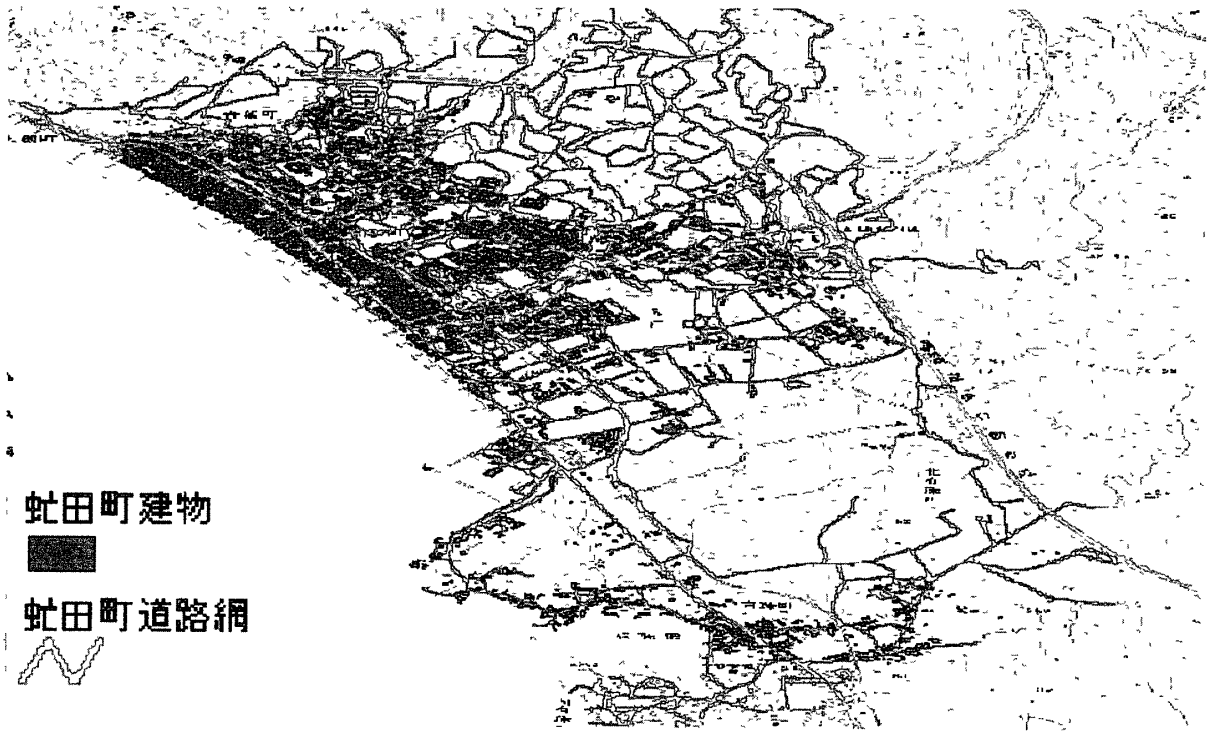


図 15　虻田町の建物と道路網のレイヤーの重ね合わせ

所への最短経路探索にはネットワーク解析ツール（Network Analyst）を用いた[4]。従って、本研究では徒歩、車などの交通手段についての要因は検討せず、住民全員が均一の交通手段を用いたと仮定している。

しかし、噴火活動により避難経路が寸断されるので、表1に示した亀裂・断層・噴石・降灰・火口・熱泥水・隆起などの被災事象が道路に影響を及ぼす検討をした。

図16は2000年の噴火による断層・亀裂が生じた箇所、図17は降灰による被害が生じた箇所と虻田町の路線網とをGISにより重ねて表示したものである。ここで、被災状況に基づき被害を受けた道路の通行状況を考えた避難所の設定を行った。

避難所の施設とその収容人数などに関する実質的なデータが入手できなかったので、公共施設を避難所として、先ず図18に示すように6箇所を設定し検討を行った。同様の解析手法で、設定数を20箇所に設定して比較検討した。なお、表3は噴火後3月29日の避難勧告が出て、7月28日の一時解除までの避難対象世帯と対象人数を時系列的に示したものである[13]。

5 2　負荷距離を考慮した避難経路の解析方法

GISにより各被災事象について重なり合う道路が危険と判断されるため、道路のリンクごとに危険尺度を設定した。その手法としては、各道路のリンクごとの距離を道路の属性データで算出し、求めた距離を重なり合う被災事象について表1のカテゴリーによる危険尺度を掛け合わせた。

被災事象と遭遇する道路を負荷道路とし、危険尺度を掛け合わせた距離を負荷距離とする。負荷距離は数値処理上、求めた負荷距離に0 1を掛けるものとした（負荷距離＝実距離×危険尺度×0 1）。

この仮定により、危険な道路ほど距離が長くなるように設定したので、建物から最短の避難所を選択することはより危険の少ない道路を通ることとなる。図19は虻田町内の泉地区のある住民が虻田高校へ避難する経路解析例の模式図を示したものである。

図16　降灰の範囲

図17　断層・亀裂が道路に及ぼす範囲

また、図20には建物と避難経路のクローズアップした一例を、表3は被災事象の影響を受ける道路について危険尺度を設定した負荷距離データを示したものである。

5 3　等距離分布図による解析結果

最寄りの施設までの最適経路を見つけるGISのネットワーク解析により、各避難所から負荷道路を通った各世帯までの等負荷距離分布図を作成した。図21は虻田中学校の避難所から50 m間隔で1500 mまでの等負荷距離分布図を示したもので、図22はこのレイヤーに世帯配置の

表3　虻田町の避難対象の世帯と避難対象人数の推移（北海道開発局、2001）　（世帯）（人数）

虻田町 人口 10,237 (3月末現在)	避難指示	3/29 18:30	洞爺湖温泉町全域(1,256世帯・2,381人)	(1,256)	(2,381)
	避難指示	3/29 20:30	泉地区、入江(国道230号より有珠側町界までの区域) (635世帯・1,513人)	(1,891)	(3,894)
	避難指示	3/30 09:30	月浦地区(42世帯・99人)	(1,933)	(3,993)
	避難指示	3/30 14:30	入江・高砂地区(433世帯・1,220人)	(2,366)	(5,213)
	避難指示	3/31 15:30	清水地区及び花和地区を除く全域(2,087世帯・4,722人)	(4,453)	(9,935)
	避難指示一部解除	4/13 12:00	大磯町、本町1区、2区、3区、青葉町1区、2区、栄町5区の一部、 本町4区の一部、月浦、三豊(841世帯・1992人)	(3,612)	(7,943)
	避難指示一部解除	4/20 07:00	入江1区の一部(7世帯・12人)(転出等補正(71世帯・111人))	(3,534)	(7,820)
	避難指示一部解除	5/12 09:00	4区、5区、6区の一部、7区の一部、入江1区の一部(348世帯・891人)	(3,186)	(6,929)
	避難指示一部解除	5/24 09:00	6区の一部、かっこう台区の一部、7区の一部、8区、入江1区の一部 入江3区、洞爺湖温泉地区の一部、海域全部 (782世帯、1,876人)(転出等補正(26世帯・97人))	(2,378)	(4,956)
	避難指示一部解除	5/28 20:00	かっこう台区の一部、入江1区の一部、入江4区、泉の一部 (681世帯、1,637人)	(1,697)	(3,319)
	避難指示一部解除	6/3 15:00	泉地区の一部、温泉地区の一部(308世帯・642人)	(1,389)	(2,677)
	避難指示一部解除	6/7 09:00	泉地区の一部(98世帯・251人)	(1,291)	(2,426)
	避難指示一部解除	6/17 09:00	洞爺湖温泉8区の一部(48世帯・97人)	(1,243)	(2,329)
	避難指示一部解除	7/6 07:00	洞爺湖温泉1区の一部、同2区の一部、温泉東側地区(225世帯・395人)	(1,018)	(1,934)
	避難指示一部解除	7/14 07:00	洞爺湖温泉1区の一部、同2区の一部、同3区の一部(338世帯・502人)	(680)	(1,432)
	避難指示一部解除	7/18 07:00	洞爺湖温泉5区の一部、同7区の一部、同8区の一部、泉区の一部 (145世帯・285人)	(535)	(1,147)
	避難指示一部解除	7/28 09:00	洞爺湖温泉2区～7区の一部、泉区の一部(333世帯・769人)	202	378

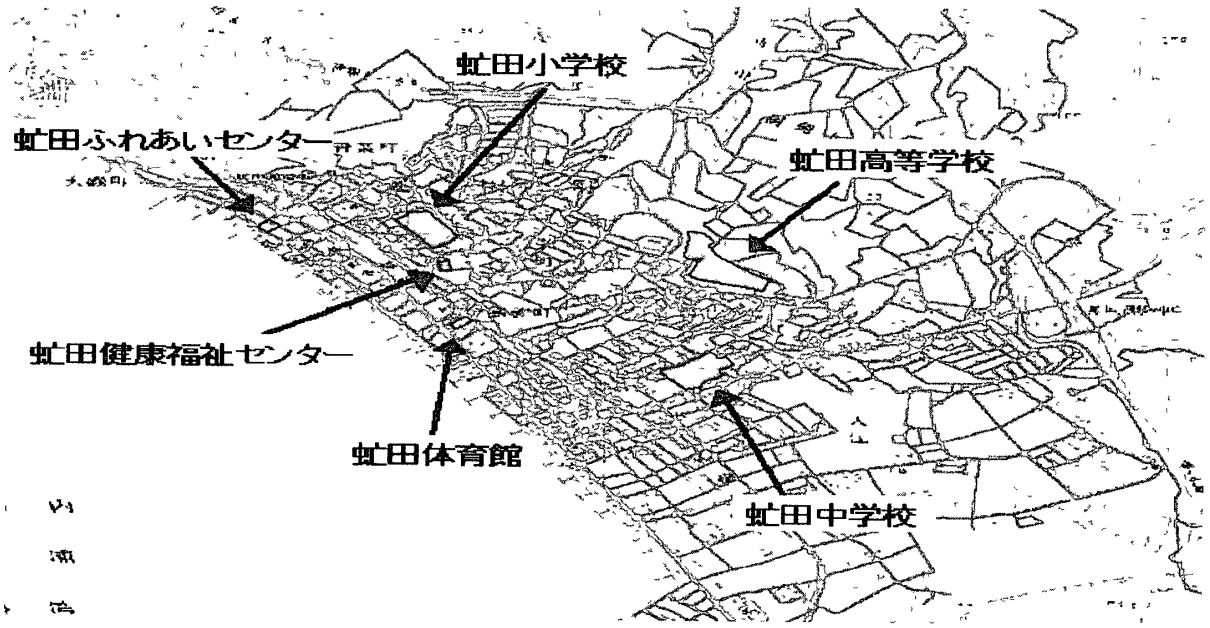


図18　6箇所の避難所の位置図

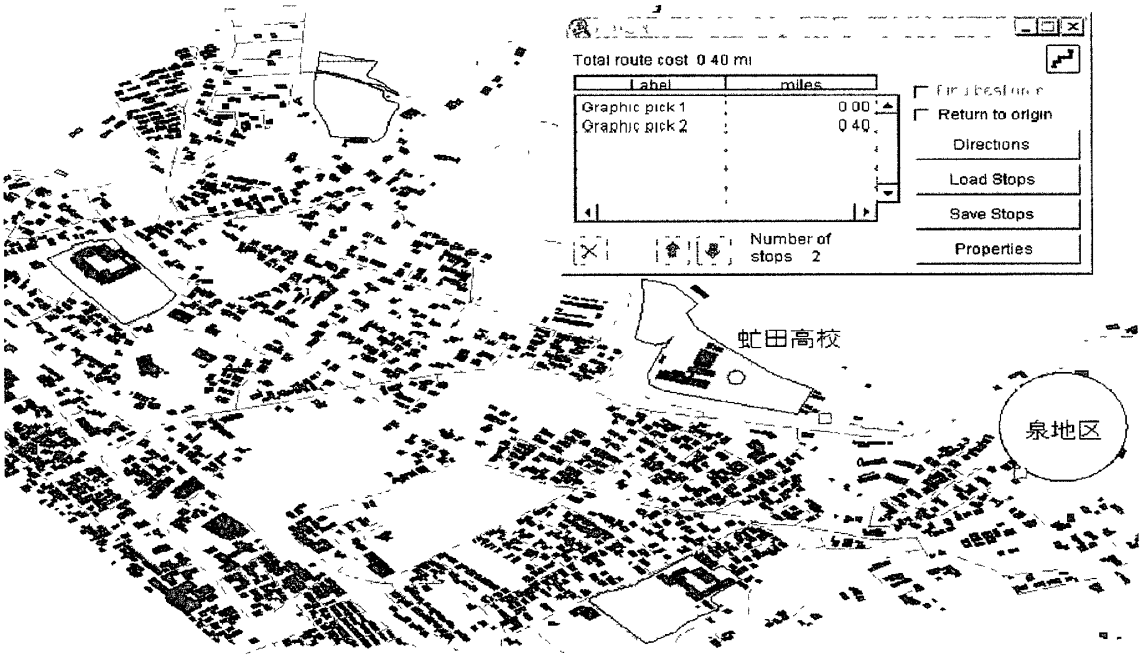


図 19　泉地区のある住民が虻田高校へ避難する経路の模式図

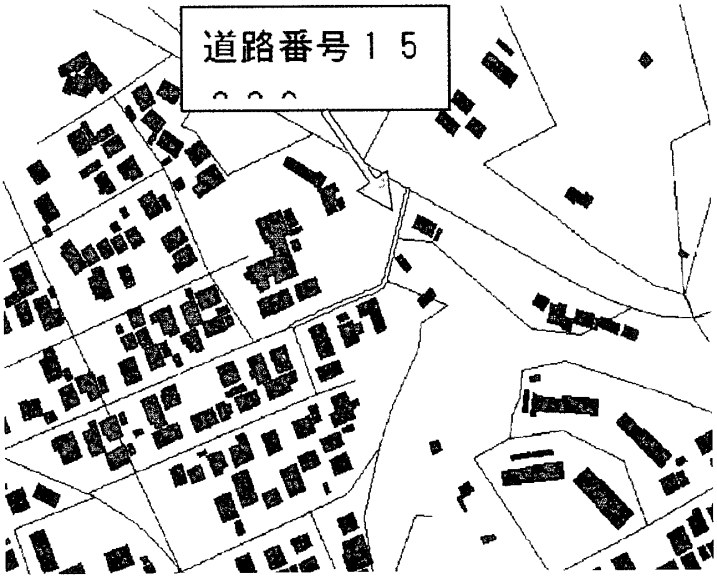


図 20　建物と道路リンクによる避難経路の解析例

表 4　各道路リンクのデータベース

番道路リンク号	実距離 (m)	危険尺度	負荷距離 (m)*0 1
15228	161	5	81
15229	194	5	97
15230	119	10	119
15233	153	10	153
15234	26	10	26
16022	127	3	38
16027	14	13	18
16032	48	5	24

レイヤーを重ねあわせたものである。重ねあわせにより等負荷距離線間ごとに含まれる世帯を調べ、その距離を虻田中学校までの負荷距離として算出し、この解析作業を他の避難所についても行った。表 5 は 4941 戸の世帯から 6 箇所の避難所までの負荷距離の算出例である。

避難住民は最短負荷距離の避難所に避難すると仮定しているので、表 5 のように各避難所に配分された世帯数が算出される。ただし、各世帯からの負荷距離が複数の避難所について等しい場合はどちらに配分すべきか合理的な配分方法の検討が必要である。

表 6 の結果より、最短負荷距離が等しい世帯は複数回数えられ算出避難世帯数は総世帯数を

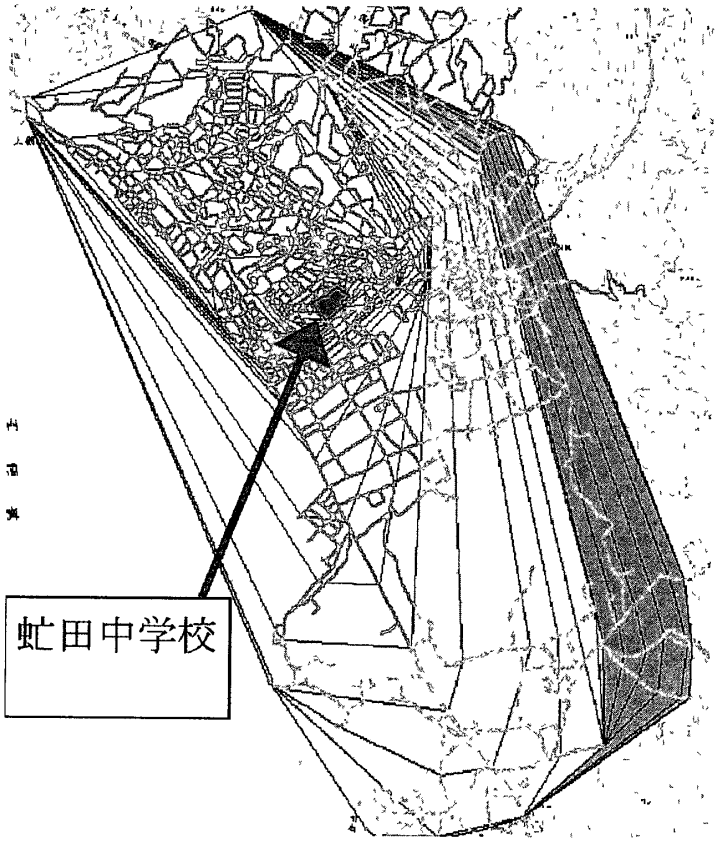


図 21　虻田中学校に対する等負荷距離分布図

表５　各世帯から各避難所までの負荷距離

世帯番号	虻田小学校	虻田ふれあいセンター	虻田健康福祉センター	虻田体育館	虻田高校	虻田中学校
1	900	900	850	800	1250	1100
2	900	900	850	800	1250	1100
436	750	750	700	650	1000	900
437	700	750	700	650	1000	850
438	750	750	700	650	1000	900
439	650	700	650	600	950	850
440	650	700	650	600	950	850
441	650	700	650	600	950	850
442	650	650	600	550	950	850
4940	100	150	150	200	550	550
4941	200	150	200	200	650	550

表６　各避難所への避難世帯数

虻田小学校	虻田ふれあいセンター	虻田健康福祉センター	虻田体育館	虻田高校	虻田中学校
1307	620	822	2960	270	440

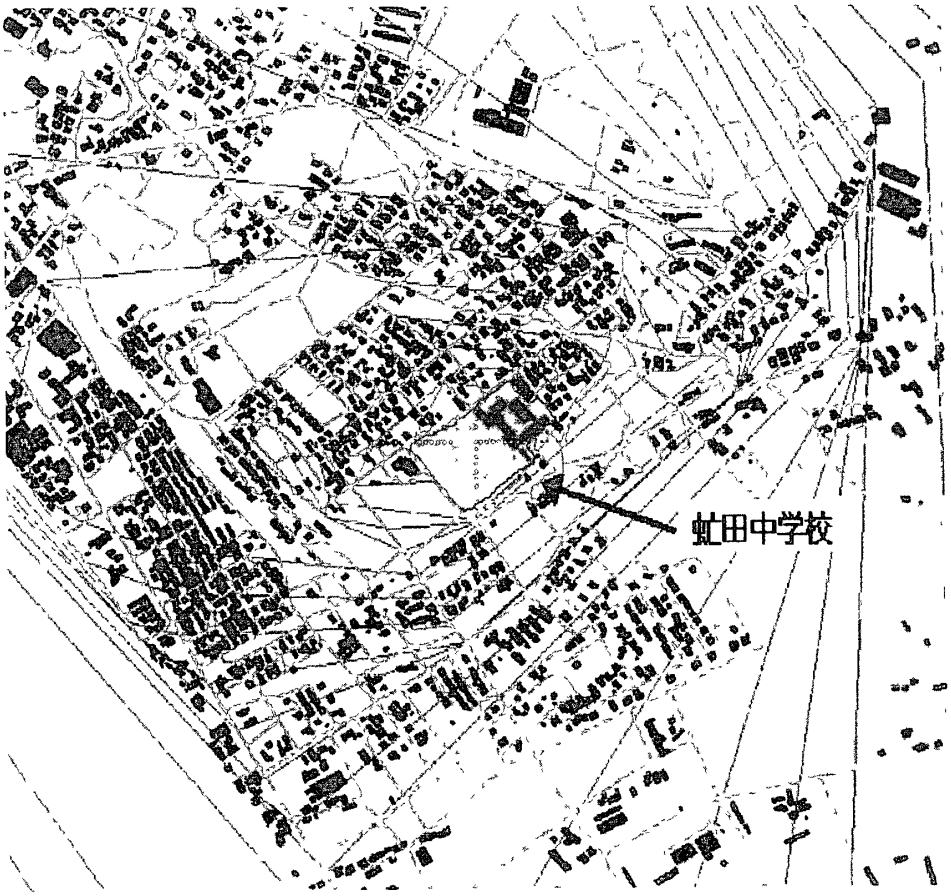


図 22　等負荷距離分布図と建物配置とレイヤーの重ね合わせ

超えた。これは避難所の数や収容人数の設定には必要なマージンと考えることもできるが、合理距離を考慮した最短経路法に基づくと、蛇田体育館に避難者が集中していることが分かる。今回の避難所設定では避難者配分に違いが生じており、避難所の位置、収容人数に検討が必要である。

5 4　避難所の設定数による比較検討

図 23 は避難所を 20 箇所に設定した場合の各避難所への避難世帯数の推定値をまとめたもので、図 24 は避難所の位置図である。解析は、5 2 と 5 3 で行った最短負荷距離の探索手法を用いた。表 6 の各避難所への避難世帯数と比較すると、蛇田体育館に集中していた避難世帯数が平均化して偏りが是正されていることが分かる。今後、収容人数を明確にして避難所の配置、箇所数の検討を行う必要がある。

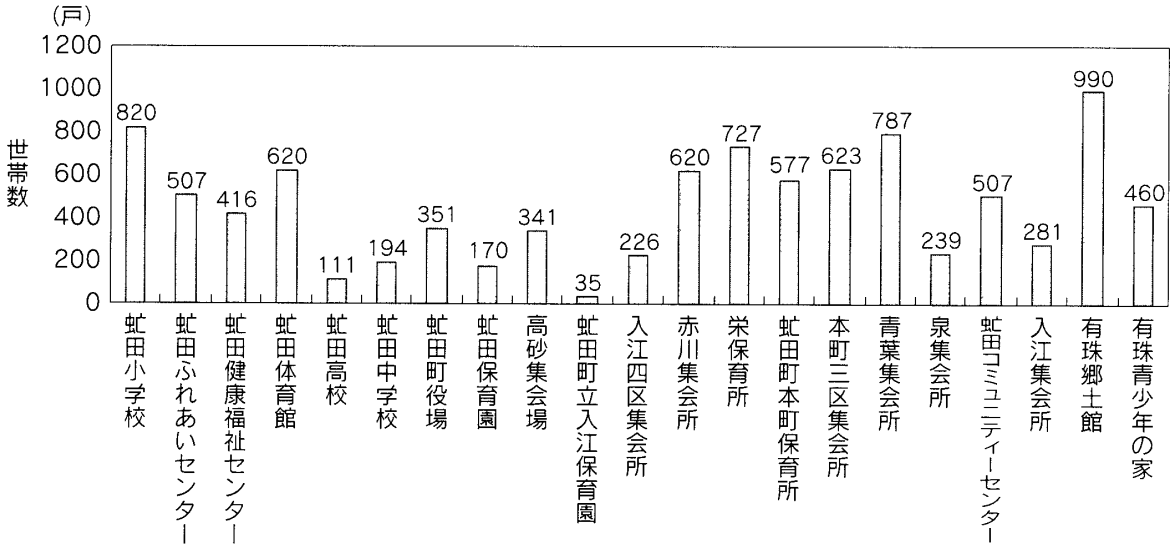
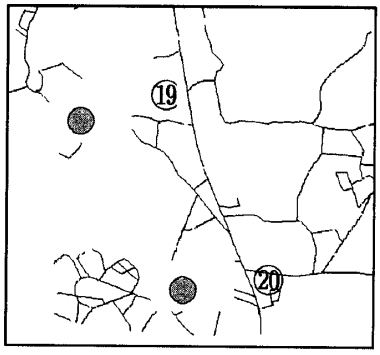


図23　避難所を20箇所に設定した場合の各避難所への避難世帯数の推定値



虻田健康福祉センター	1
虻田ふれあいセンター	2
虻田小学校	3
虻田体育館	4
虻田高校	5
虻田中学校	6
虻田町役場	7
高砂集会場	8
虻田町立入江保育	9
入江四区集会所	10
赤川集会所	11
栄保育所	12
虻田町本町保育所	13
本町三区集会所	14
青葉集会所	15
泉集会所	16
虻田コミュニティーセンター	17
入江集会所	18
有珠郷土館	19
有珠青少年の家	20

図24　20箇所の避難所の位置図

ま と め

道路の土砂災害発生箇所の推定手法については、今回の噴火における降灰分布に基づいた地域について、落水線、傾斜角度および植生を因子としてGISによる解析を行った。レイヤーの重ね合わせにより土砂災害が発生しやすい箇所を推定する手法について示すことができた。実際には降灰堆積層の流域・厚さ、地盤の地質や降雨強度の地域分布などの要因をも考慮する必要がある。

また、避難計画については、解析対象地域を虻田町に絞り、ネットワーク解析モデル（Network Analyst）を用いて避難所の設定方法について検討した。噴火時に避難する場合、地域住民は基本的に建物から最短に位置する避難所を選定すると考え、6箇所と20箇所に避難所を設定した場合の各避難所における避難世帯数の推定を行った。今後、避難手段別の避難行動の検討、収容人数を明確にした避難所の配置、箇所数の検討を行う必要がある。

謝辞：本研究のとりまとめに際して、北海道開発局室蘭開発建設、近野康彦氏および畠山　乃氏に資料の提供等の協力をいただいた。心より感謝致します。

なお、本研究は平成13年度文部科学省の科学研究費補助金（一般研究、基盤整備B、課題番号13490028）の一部補助によって実施したものである。

参考文献

1）門村、岡田、新谷・有珠山――その変動と災害――、北海道大学図書刊行会、pp 226～239、1988
2）武市、田中、小野田、佐々木　地理情報システムによる有珠山噴火被害状況の定量評価手法に関する検討、開発論集　第69号、pp 29～47、2002
3）Environmental System Research Institute, Inc　Arc View GIS、㈱パスコ
4）Environmental System Research Institute, Inc　Arc View Network Analyst、㈱パスコ
5）北海道開発局　室蘭開発建設部：平成12年有珠山噴火災害報告、pp 資料89～資料135、2000
6）片井浩太、武市　靖：有珠山噴火地域における道路災害発生箇所の予測手法に関する検討、平成14年度土木学会北海道支部論文報集第59号 pp 682～685、2003
7）千葉達郎：火山における災害現象、土木学会　地盤工学委員会　火山工学研究小委員会報告、pp 8～15、1988
8）京都大学防災研究所編：地域防災計画の実務、鹿島出版会、pp 95～124、1997
9）遠藤邦彦ら・有珠山噴火による降下火山灰量調査（第2報）、日大文理学部ホームページ、2000
10）鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門、古今書院、pp 103～126、1997
11）松村慎一、佐々木龍、武市　靖　有珠山噴火時における避難所設定手法の検討、平成14年度土木学会北海道支部　論文報告集　第59号、pp 686～689、2003
12）石橋、小泉、石井、中川、宮本：災害時の避難所と避難経路の評価に関する研究、土木学会　地盤工学委員会　火山工学研究小委員会報告、pp 63～71、1988
13）北海道開発局．平成12年有珠山噴火災害報告、HYBrid CD-ROM、2001