



土 石 流

9. 土石流に対する警戒・避難

瀬 尾 克 美 (せのお かつみ)

(財)砂防・地すべり技術センター

9.1 土石流の発生予測に関する研究

土石流の発生要因として、1)溪床勾配が急である（一般には15度以上）、2)不安定な土砂の存在、3)十分に多量の水の供給の3要因が指摘されている。1)と2)については、地形、地質、植生あるいは不安定土砂の堆積状況と土石流発生との関係が調査研究されており、これらの成果は、土石流発生危険度、危険区域の判定、砂防計画、施設設計等に活用されている。警戒・避難に活用するためには、発生時刻を予測する必要がある。このためには、3)の多量の水を供給する、すなわち一般には降雨の状況を把握することによって発生時期の予測にせまる調査・研究の成果がさらに期待される。ここでは、降雨量を

指標とした土石流の発生予測の調査・研究を中心に紹介することにする。

9.1.1 降雨量を指標とした予測に関する研究

降雨量は比較的観測も容易であり、過去のデータも入手しやすいため、降雨量を指標として土石流の発生予測がなされてきている。ここでは、降雨量を1)単一指標とした場合、2)複数指標とした場合、3)その他の場合（降雨量を地下水、流量等の代替と考える場合）に分けて、それぞれ表—9.1、表—9.2、表—9.3にまとめる。

一般に降雨量については雨量強度と雨量に着眼して前者は10分間、1時間、3時間、24時間雨量を、後者は日雨量、総雨量を指標として土石流の発生を検討している。昭和47年7月の災害における土石流の発生状況をみれ

表—9.1 単一雨量指標を用いた予測手法の主な調査・研究

調査・研究者 (発表年)	対象土石流	単 一 雨 量 指 標						文献
		10 分 間	1 時間	3 時間	24時間	日雨量	総 雨 量	
建設省松本砂防工事事務所 (1970～)	焼岳	8 mm 以上						1)
国鉄(山田ら) (1971)	保線区警備員の動員程度 第1種警備(全員)	1. 2.	20 mm/h 以上(ただし普通の雨では30 mm/h 以上) 全般に災害発生必至となったとき(注)大雨30 mm/h 以上					2)
	第2種警備(半数)	1. 2.	10 mm/h を越したとき (注)強雨10 mm/h 以上				連続雨量50 mm を越したとき	
	第3種警備	1. 2. 3.	気象通報が発令されて雨が降り始めたとき 雨量20 mm を越し、なお降り続くとき 襲雨性雨があったとき					
芦田和男 (1977)			40～50 mm				300～350 mm	3)
塩島, 磯望, 松原, 山川, 米沢(1978)	岐阜県高原川 流域						29 mm から発生 29 mm～200 mm 11%発生 200 mm 以上で100%発生	4)
九州地建 (1978)	桜島	5 mm 以下 発生可能性小 5 mm 以上 発生可能性非常に高い 10 mm 以上 100%発生	10 mm 以上					5)
鈴木, 福島, 武居, 小橋 (1979)	六甲山系の災害					190 mm 以上	200 mm 以上	6)
渡辺, 徳山, 中山, 二宮, 大八木(1979)	仁淀川災害	・豪雨時のモデル降雨を計画降雨量毎にハイトグラフを用いて設定する。 ・土石流発生目安雨量に達する2時間と1時間前の累加雨量をそれぞれ警戒と避難を発する基準雨量とする。					累加雨量 (ハイトグラフを使用)	7)
青木祐久 (1980)	23個の豪雨で 46箇所の災害						400 mm 以上	8)

表—9.2 複数雨量指標を用いた予測手法の主な調査・研究

調査・研究者 (発表年)	対象土石流	採用指数	内 容	文献
瀬尾, 船崎 (1973) (1978)	昭和47年7月災害, 熊本等15県 178渓流	有効雨量 (RE) と有 効雨量強度 (IE)	- 昭和47年7月土砂災害箇所15県178渓流において、降雨、被災状況を調査し、有効雨量-有効雨量強度と土石流発生との関係を示した。 - 縦軸には RE, 横軸に IE をとると大規模な災害では $y = \frac{6000}{20+x}$ の曲線より (x, y) の値が大なる領域で土石流が発生。 - RE<40 mm, IE<4 mm/h では土石流は発生しない。 - RE~IE のグラフ上でリアルタイムで雨量をプロットしスネーク曲線を作成する。	9) 10) 11)
池谷 (1974)	昭和47年7月災害	降雨強度勾配比 (σ) と変曲点までの降雨量 (dM)	- 降雨量-時間のグラフを作成し σ と dM を調べる。 σ-dM のグラフより土砂災害発生危険境界線を求める。 σ-dM グラフより土砂災害発生予測のための基準値設定の検討をする。 - 時間雨量が50 mm を越す場合、継続雨量が200 mm 以上、$\sigma>10$の変化をした場合は土砂災害の発生する危険性がある。	12)
芦田, 高橋, 沢井 (1978)	木津川上流の災害	時間雨量と積算雨量	- 土石流等の発生に必要な降雨条件として、①ある降雨強度以上の継続雨量がある。 ②斜面の安定化に寄与するような土層 (A 層) が一挙に除去されるような激しい降雨強度がある。 ③ある程度以上の継続雨量の後、急激な降雨があれば発生する。	13)
瀬尾, 水山, 万膳, 塩島 (1983)(1984)	高知県等8県の 災害	有効雨量強度-実効雨 量	有効雨量強度と有効雨量あるいは実効雨量 (半減期 2 日, 3 日) の指標が土石流発生への予測に有効であることを指摘している。	14) 15) 16)
建設省砂防課 (1984)	熊本等20県の土 石流災害	A 案: 1 時間 雨量と実効雨量	8), 9), 10), 13), 14), 15) のまとめ - A 案: 二次元座標の縦軸に土石流発生までの 1 時間雨量を横軸に土石流発生 1 時間前までの実効雨量をプロットする。 - B 案: 縦軸に土石流発生までの有効雨量強度を、横軸に土石流発生までの実効雨量をプロットする。 - 上記 2 案において、土石流非発生降雨についても同様にプロットして土石流の発生と非発生の点がよく分離するような土石流発生危険基準線 (CL) を引く。この CL に達する 2 時間前に警報の発令を、1 時間前に避難の指示を行うための警戒基準。	17) 18) 19) 20) 21) 22)
岩元, 原田, 平野 (1990)	長崎地区, 天草 地区, 鹿児島 市, 島根県西部	最大累加雨量 (R_m) と経過時間 (t)	R_m (縦軸) と t (横軸) の図に既往の土石流発生・非発生の雨量変化を描く。 - 非発生の上限と発生の下限がほぼ一致する包絡線を発生限界降雨とする。	23)
藤井, 久保田, 奥村 (1994)	島根県, 小豆島	時間雨量と実効雨量	- 建設省 A 案を改良している。 - 非発生・発生降雨のスネーク曲線をすべて描き、この非発生曲線群を基に CL を一義的に引く。	24)
久保田, 池谷 (1995)	長崎県雲仙岳, 島根県, 小豆 島, 高知県	降雨強度 (r) と累加 雨量 (R)	r (時間雨量) を縦軸に R (実効雨量) を横軸にとり、発生・非発生降雨をプロットする。(建設省 A 案) - 発生・非発生の判断はニューラルネットワーク手法を用いる。	25)
鉄道防災: 村石 (1996) 島村 (1996)		時間雨量と連続雨量	時間雨量を縦軸に、連続雨量を横軸にとり、発生・非発生降雨のスネーク曲線を描き、発生限界を決める。	26) 27)
荒木, 古川, 松永, 小笠原, 石川, 水山 (1997)	広島県加計町災 害	2 指標: 時間雨量と有 効雨量, 3 指標: 時間 雨量, 有効雨量, 有効 時間+地形要因	- 種々の短期・長期雨量指標等を組合わせて相関係数による要因分析を行った。その結果、左記の組合わせが選定された。 - 降雨要因とともに各渓流の地形要因も組合わせて土石流・崩壊の発生・非発生を判別すると高い正判別率が得られる。 - 渓流毎の地形特性を反映して CL を設定すると空振り率が減少した。	28)
荒木, 古川, 松井, 大木戸, 石川, 水山 (1997)	広島県加計町災 害	時間雨量, 実効雨量 (半減期 24 h), 降雨 要因+地形要因	- 渓流・斜面の地形要因と降雨要因 (短期, 長期雨量指標等) を組合わせてニューラルネットワークを用いて発生予測を行った。その結果、左記の組合わせが最も正解率が高かった。 - 発生データを多くして学習させると発生データに対する正解率が向上する。	29)

ば^{9)~11)}、雨量強度が小でも総雨量が大である時、総雨量が小でも雨量強度が大であれば土石流が発生している。このことから複数の指標、すなわち雨量強度と雨量の組合わせで土石流の発生を予測することが適切と思われる。しかし住民に対して目安の雨量を示す時は、単一指標の方が分かりやすく適当であると思われる。今までの調査研究はある特定の災害で検討している事例が多いが、全国の資料で多数の災害を検討することにより地域性 (例えば年間降雨量の大きい地域では土石流発生に多量の雨量を要する傾向がうかがえる^{9),10)}) 等の検討が可能となる。さらに表—9.3の調査・研究は土石流発生の機構も

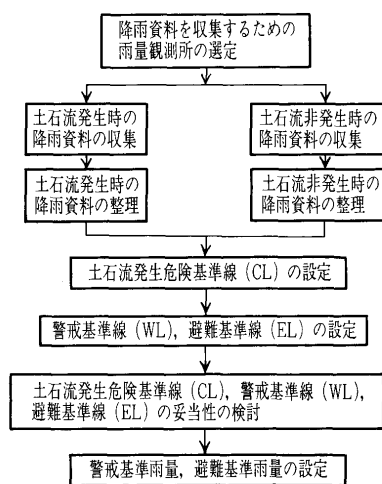
直接関係する指標についても含まれており、今後さらに精度をあげることが期待される。

9.2 警戒・避難基準雨量の設定手法

消防庁基準は簡易であり、現在広く地域防災計画書にも利用されているものである (表—9.4)。しかし、土砂災害の種類 (土石流, 地すべり, 崖崩れ), 地域性, 降雨パターンによって土砂災害の発生に差があることは、皆体験し、認識している。そこで、できるだけ精度よく土砂災害を予測することを期して建設省基準¹⁷⁾が開発された。その概要は次のごとくである。

表—9.3 その他予測手法の主な調査・研究

調査・研究者 (発表年)	対象土石流	採用指標等	内 容	文献
芦田, 高橋, 沢井 (1978)	木津川上流	土石流発生限界流量 (降雨強度)	・溪流の流量により土石流発生限界を定義し, 実際に溪床に供給される流量がそれより大になれば土石流が発生するとした。	13)
鈴木, 福島, 武居, 小橋 (1979)	六甲山系	タンクモデルのタンク 水位 (貯留量)	・タンクモデルにより渓流流域内貯留量を計算し, これを指標とした。 ・タンクモデルは先行降雨と短時間降雨を表す。 ・3 段のタンクモデルを使用しているが, 1 段目と 2 段目のタンクの水位が災害発生と密接な関係にある。 ・六甲山系 (ハチス谷) のタンクモデルを小豆島と仁淀川に応用しても, 第 1, 第 2 段目のタンク水位が災害発生と良い対応を示した。	6)
牧原, 平沢 (1993)	四国地方, 熊本 県, 大分県の 1981~1990 の 斜面崩壊	タンクモデル	・タンクモデル, 積算雨量 (3 時間, 24 時間雨量), 実効雨量の精度比較を行った。 その結果タンクモデルが最も精度が良かった。	30)
牧原 (1998)	全国の土砂災害 事例	土壌雨量指数	・降雨量を基に直列 3 段型タンクモデルを用いて平均的な土中の水分量 (タンクの 水位) の変化を再現する。 ・レーダー・アメダス解析雨量および降水短時間予報と組み合わせて予測する。 ・過去の順位と比較して判断する。	31)



図—9.1 建設省指針による基準雨量の設定手順

(1) 基準雨量の設定手順

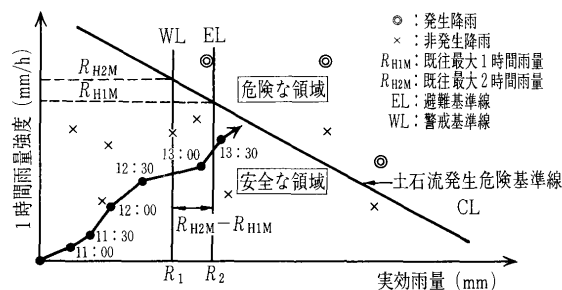
基準雨量の設定手順を図—9.1に示す。

(2) 土石流発生危険基準線の設定

各発生降雨, 非発生降雨について, 「1 時間雨量強度-実効雨量」の関係を図—9.2に示す。発生降雨と非発生降雨との境界線を引くと, この直線の右上側は土石流の発生に関して危険な領域, 左下側は一応安全な領域となる。この境界線を土石流発生危険基準線 (Critical Line, 略して CL) という。なお, 発生降雨数が少ない場合は, 非発生降雨を十分に考慮して CL を設定するものとする。

(3) 警戒基準線と避難基準線の設定

警戒の発令を行うための基準雨量 (以下「警戒基準雨量」という) および避難の指示を行うための基準雨量 (以下「避難基準雨量」という) を設定する。警戒基準雨量を示す基準線を警戒基準線 (Warning Line, 略して WL), 避難基準雨量を示す基準線を避難基準線 (Evacuation Line, 略して EL) と名付ける。いまここでは, CL に達する 2 時間前に警戒の発令を, 1 時間前に避難の指示を行うものとして, WL, EL を設定する (何時間前に警戒の発令および避難の指示を行うかは, 実情にあわせて変えることができる)。



図—9.2 土石流発生危険基準線の設定

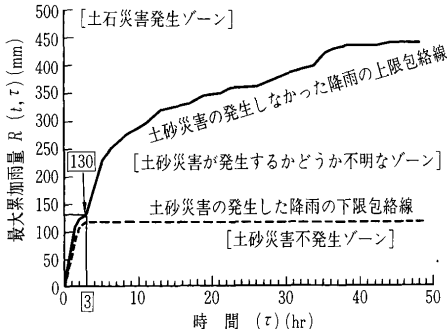
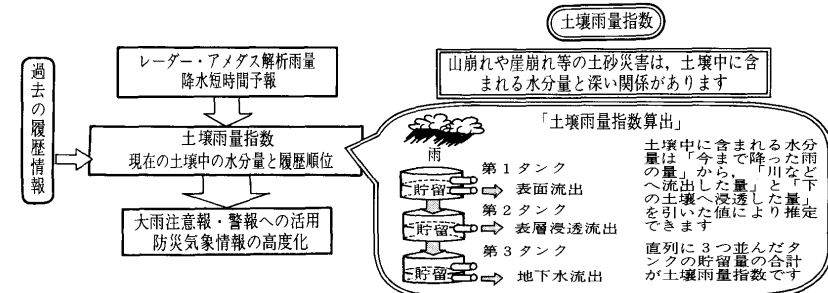
(4) 警戒の発令・避難の指示

図—9.2において単位時間ごとに（30分の事例を示す）降雨量をプロットし, WL, EL に交わる時点で各々警戒, 避難を発令する。

なお実効雨量とは土石流の発生した時の一連の降雨以前（24時間以上無降雨の場合別の降雨とする）の降雨, すなわち前期降雨の影響を考慮した累加雨量である。1週間前の降雨を一定期間（24時間等）後に半減するとして累加したものである。

現在, 全都道府県でいくつかのブロックに分け, 基準雨量を算定している。しかし, まだデータ数が十分ではないこともあってその精度に課題もあり, 市町村の地域防災計画書にすべて登載するには至っていない。安全側に見過ぎること, 実効雨量という一般にはわかりにくい指標であること等も指摘されており, データの拡充とあわせて今後の改良が期待されている。図—9.2において, 土石流および崖崩れのどちらにも適用する目的で縦軸を1.5時間半減の実効雨量, 横軸を72時間半減の実効雨量として, 土石流および崖崩れの基準雨量に応用する手法が現在検討されている。また林野庁や気象庁で検討されている手法を表—9.4に示す。土壌雨量指数はタンクモデル³¹⁾を使用したもので, 基本的には土砂災害発生のきっかけと土壌水分の飽和程度をそれぞれ雨量強度と前期雨量を考慮した実効雨量で考える建設省方式¹⁷⁾と異なるものではない。いずれにしても対象地域に近い雨量データと正確な土砂災害発生時間の調査された災害発生

表—9.4 警戒・避難基準雨量の主な設定事例

主管官庁	内 容			文献
消防庁 (1969.8)		前日までの連続雨量が100 mm 以上あった場合	前日までの連続雨量が40 mm～100 mm あった場合	32)
	第1警戒態勢	当日の日雨量が50 mm を超えたとき	当日の日雨量が80 mm を超えたとき	
	第2警戒態勢	当日の日雨量が50 mm を超え、時間雨量30 mm 程度の強雨が降り始めたとき	当日の日雨量が80 mm を超え、時間雨量30 mm 程度の強雨が降り始めたとき	
	第1警戒態勢…警戒巡視、住民等に対する広報等を実施する。 第2警戒態勢…住民等に対して避難準備を行うよう広報する。また避難の指示等の処理を実施する。			
林野庁 (1991.3)	土砂災害の発生した降雨および非発生の降雨資料において1時間から120時間まで1時間ピッチで最大累加雨量を算定し、下図に整理する。 二つの包絡線の差が極小になる点のτが到達時間 T となり、その時の $R(t, \tau)$ が土砂災害発生変改雨量 $R_m(T)$ となる。すなわち右図では $T=3$ hr, $R_m(T)=130$ mm となる。 なお、避難基準雨量は、絶対見逃しのないことを条件とする。また的中率は30%程度以上を目標とする。警戒基準雨量は降雨の再現期間が避難基準雨量の2～3倍になるような雨量で設定する。運用にあたっては到達時間内雨量を10分毎、30分毎あるいは1時間毎に随時算定して基準雨量を突破したとき、あるいは突破すると予想されたときに発令する。  長崎市における土砂災害不発生の上限と発生の下限包絡線			33)
気象庁 (1999.2)	土壌雨量指数を指標としている。 「土壌雨量指数」とは、降水が土壌中にどの程度蓄えられているかを把握するための指数であり、大雨に伴う土砂災害の危険性を判断するための情報の一つとして開発された。平成2年から平成11年までの解析雨量データを用いて、5 km 格子毎に土壌雨量指数を計算し、指数値を高い順に並べた「履歴順位」と過去の土砂災害の発生状況とを比較したところ土壌雨量指数は土砂災害発生の危険性の尺度として利用できることが判明した。過去の災害と比較した危険性をより直感的に理解できる表現、例えば「平成△年の豪雨災害に匹敵する状況、あるいは、上回る状況」等を必要に応じて「大雨に関する全般気象情報」に盛り込み、将来的には、土壌雨量指数を大雨注意報・警報の発表基準の一つとして使用するなど警戒を呼びかけることを計画している。  土壌雨量指数概念			31)

データを広域に数多く入手することが、精度の良い警戒・避難基準雨量の設定に最も重要である。

9.3 警戒・避難のための機器の開発

9.3.1 土石流センサー

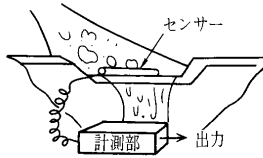
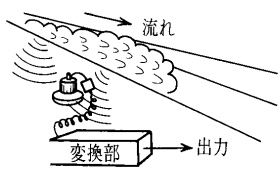
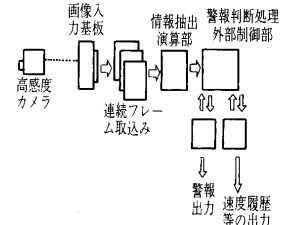
土石流センサーは、表—9.5に示した種類があり、それぞれ特徴をもっている。建設省の調査（平成9年7月）によれば日本全国に土石流検知センサーの設置箇所は88箇所あり、その内訳はワイヤーセンサーが68箇所、光センサーが3箇所、振動センサーが11箇所、音響センサーが2箇所、その他（超音波センサー：ただし土石流の水位を計測するセンサー）が4箇所である。現場では、目的に応じ各センサーの特徴を活かして複数のセンサーの組み合わせで活用されているケースが見られる³⁸⁾。今後ともより正確で使いやすい検知センサーの開発が望まれるが、その条件となるのは次の点である。

1) 気象条件（霧等）に影響されにくい。2) 周辺の外力（交通機関、工事等）に影響されにくい。3) 設定および操作が簡単である。4) 小型で搬入しやすい。5) コストが低い。

9.3.2 警報装置

土石流発生監視装置は、昭和58年建設省の建設技術評価規定に基づいて、9社11機種が開発された。建設省の土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針（案）¹⁷⁾に基づく基準雨量が設定できるものとなっている。表—9.6にはいわゆる集中型という型式のものを示したが、別途単体型と称して単体で雨量を計測、解析し警報を発するものも開発されている。降雨の計測は1分毎に行い、かつ印字は10分毎にも行えるため、降雨強度の大きい豪雨にも対応が期待されるものである。雨量情報表示板には分かりやすい警戒避難に関する降雨指標を表示する必要がある、今後の降雨指標の

表—9.5 土石流センサーの種類と特徴（つづき）

種 類	装 置 の 概 要	特 徴
音響センサー	 土砂が流下する溪流，流路の護岸に埋設し，土砂が流下する際，地中を伝わる音が設定された領域内の時，発生検知信号を出力する。	・繰り返し測定が可能である。 ・土砂移動以外の音（洪水，樹木の根がきしむ音，車両通行時の震動音等）と区別するための現場に適合した調整が必要となる。
振動センサー	 土砂が流下する際に発生する地震動を据え，その振動のレベルが設定値を超えた時発生検知信号を出力する。	・繰り返し測定が可能である。 ・測定は水平方向1成分。トリガーレベルを超える振動が2秒以上継続したとき検知情報を60秒のパルス幅で出力する。 ・他の振動による誤動作を軽減するために他のセンサーと複合的に用いることが望ましい。
画像処理センサー	 監視カメラで撮像された土砂移動の画像をコンピュータで処理し，速度を求めるものである。	・画像を取り込む際には，カメラは固定状態にあることが必要条件となる。 ・速度への換算の処理は，情報抽出演算部で行い，警報処理・外部制御部では，速度，土石流発生検知履歴ファイルの作成が行える。 ・情報の入手元が監視カメラの画像であることから，データの精度はカメラの撮像精度によって変化する。 ・処理ソフトを適用することにより流量を計測することも可能である。

所（250事務所）を対象としてアンケート調査を実施した。調査は，郵送による発送・回収とし，実施時期は平成6年11月から12月である。データは，地域別（九州，四国地方等），都市部と地方部（農業統計上の分類によった：都市的地域，平地農業地域，中山間地域），被害別（人的・家屋被害の有無）に集計し，解析した。アンケートの回収状況は，災害件数580件（回収率60%），市町村数325市町村（回収率60%），土木事務所199事務所（回収率80%）であった。

（3）調査結果

① 避難勧告（指示）を発令したか

市町村の重要な業務の一つである勧告（指示）については発令した災害件数は102件で，実態は図—9.3に示すとおりである。これによると九州等西日本で発令件数が高く，また都市地域よりは中山間地域の方が発令件数が高い。これも過去の災害経験が影響していると思われる。

② 避難を決めた理由と避難率

図—9.4に示すように決心した理由が「役場・消防の職員，自治会・近所の人が呼びかけたから」と回答した割合が高い地区では，避難率は高く，「自分，家族や近所と相談して決めた」と回答した割合が高い地区では，避難率は低い傾向にある。

9.4.2 平成10年8月4日新潟県佐渡地方の土砂災害事例³⁶⁾

（1）土砂災害の概要

4日未明から停滞する梅雨前線の影響で佐渡地方を襲った豪雨は，島内を南東から北西へ横断し，多量の雨量

をもたらした。島内でも最も降雨量の多かった久和川ダム（県観測）では，最大1時間雨量64 mm，8月2日から4日までの連続雨量376 mm，8月4日0時から12時間雨量270 mmを記録した。

この豪雨により，土石流が24溪流，がけ崩れが10箇所，地すべりが12箇所発生した。その主な被害は，全壊3戸，人家一部破損20戸，床上浸水20戸，床下浸水46戸であり，幸いにも人的被害は免れた。

（2）調査内容

災害発生後10日目より佐渡地方の11地区について，地区の住民の人に当日の本人の行動と生じた現象の時刻と内容について詳しく記録する「聞き込み調査」³⁷⁾を新しい様式で実施した。

（3）調査結果と教訓

- ① 区長が朝3時頃から状況を調査し，適切に住民に連絡，指導をした。このため人的被害を受けることがなかった。地域の防災リーダーが必要とされる。
- ② しかし区長はどのくらいの雨量でどんな現象が生じるかははっきりと分からず，苦勞した。こういった正確な情報が提供されることを住民は強く望んでいる。
- ③ 豪雨時には山腹からの出水，湧水，側溝の溢水，床下浸水，床上浸水，河川の氾濫，崖崩れ，土石流の発生，地すべりの発生等が複合して生じる。これらの現象に対応する指標と基準が望まれる。
- ④ 当地区には雨量計がなかった。少なくとも集落毎に雨量計を設置すべきである。

表—9.6 警報装置等の種類

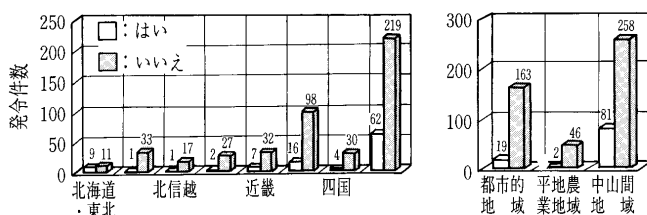
種 類	装 置 の 概 要
土石流発生監視装置	土石流の予警報を行うため、危険渓流に雨量観測局を設置し、雨量データを本部の監視局に送り、建設省基準 ¹⁷⁾ に基づいて処理するものである。監視局と観測局が合体したタイプもある。
雨量情報表示板	災害発生の要因となる雨量情報を24時間リアルタイムで提供するものである。雨量情報は、雨量情報配信処理装置からモデムにより伝送される。伝送された雨量情報はLEDディスプレイパネルで表示される。

- ⑤ 災害直後の聞き込み調査は基準雨量の精度を上げるためにも、ソフト対策施策を考える上でも大変有効である。

9.5 今後の課題

土石流の警戒・避難についてはまだ緒についたばかりで多くの課題が残されている。

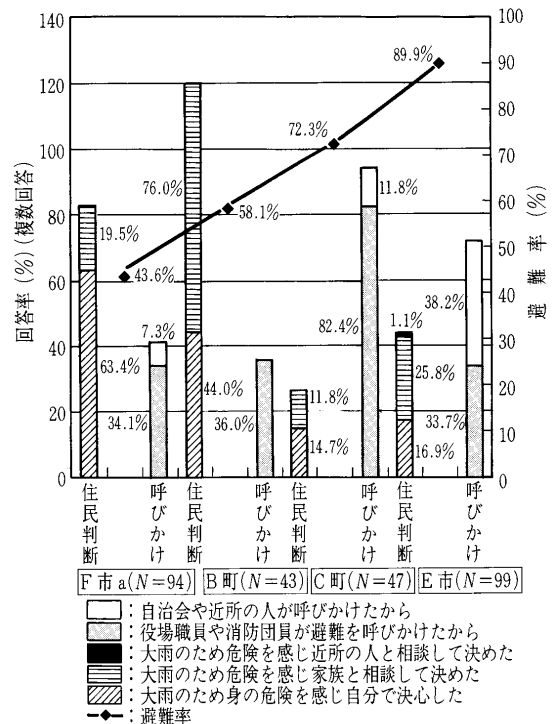
- ① 警戒・避難基準指標について次のような課題がある。
- 基準雨量が主な指標となるが土石流発生時の正確なデータ（発生時間、直近傍の雨量データの入手等）が少ない。
 - 土石流発生の機構を反映した指標の開発が望まれる。
 - 豪雨時には、浸水、崖崩れ、土石流、地すべり等が同一地域に複数発生するものである。すべての現象に対して共通の指標となるものが求められて



図—9.3 避難勧告（指示）を発令したか（地域別，都市と地方部）

いる。

- 土石流の発生には地形等の素因が複雑に影響している。素因を考慮した基準雨量の開発が求められている。
- 精度の良い基準指標と同時に別途住民の人に分か



図—9.4 避難を決めた理由と避難率との関係

講 座

りやすい基準指標が求められている。

- ② 災害発生の事前予測を行う組織が整備されていない。
- ③ 市町村長が避難勧告、指示を出す基準を分かりやすくまとめる。
- ④ 地元住民に確実に事前に防災情報が流れるシステムが不十分である。
- ⑤ 地元住民および関係行政機関の担当者に防災知識を繰り返し十分に普及する。
- ⑥ 地元住民が自主防災に参加しやすいよう簡易な観測機器の開発を行う。

参 考 文 献

- 1) 建設省松本砂防工事事務所：焼岳・浦川における土石流調査関係資料集，No. 7, p. 20, 1977.
- 2) 山田・渡・小橋：地すべり・斜面崩壊の実態と対策，山海堂，p. 433, 1971.
- 3) 芦田和男ほか：小豆島の土砂災害について，昭和51年9月台風17号による災害の調査・研究総合報告，京都大学，pp. 109～115, 1977.
- 4) 塩原・磯望・松原・山川・米沢：岐阜県高原川流域における土砂災害と降雨特性，昭和53年度日本地理学会予稿集，pp. 80～81, 1978.
- 5) 九州地建大隅工事事務所：土砂生産解析業務報告書，pp. 4～5, 1978.
- 6) 鈴木雅一・福島義宏・武居有恒・小橋澄治：土石流災害発生の危険雨量，新砂防，No. 110, pp. 1～7, 1979.
- 7) 渡辺 廠・徳山久仁夫・中山政一・二宮寿男・大八木俊治：土石流警戒避難基準雨量設定の一手法，新砂防，No. 110, pp. 22～30, 1979.
- 8) 青木祐久：過去に土石流等の災害をもたらした降雨の特徴，土木技術資料，Vol. 22, No. 2, pp. 15～20, 1980.
- 9) 矢野・瀬尾・西口・船崎：土砂害の実態調査，建設省砂防課資料，1973.
- 10) 瀬尾克美・船崎昌継：土砂災害（主に土石流的被害）と降雨量について，新砂防，No. 89, pp. 22～28, 1973.
- 11) 瀬尾克美・横部幸裕：土砂災害（主に土石流的被害）と降雨量について（第二報），新砂防，No. 108, pp. 14～18, 1978.
- 12) 池谷 浩：降雨量強度比による土砂害からの避難基準に関する一私案，新砂防，No. 94, pp. 7～11, 1974.
- 13) 芦田和男・高橋 保・沢井健二：木津川上流域における土石流危険度評価に関する研究，(財)防災研究協会委託，pp. 12～17, pp. 26～29, 1978.
- 14) 瀬尾・水山・万膳・塩島：土石流警戒・避難基準雨量設定手法について，砂防学会概要集，pp. 44～45, 1983.
- 15) 瀬尾：土石流の警戒避難基準雨量設定手法について，砂防および地すべり防止講義集，24巻，pp. 62～77, 1984.
- 16) 瀬尾・万膳・塩島：土石流に関する警戒・避難基準雨量の設定手法について，砂防学会概要集，pp. 150～151, 1984.
- 17) 建設省砂防課：土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針（案），建設省河砂第45号の2, 1984.
- 18) 瀬尾克美・万膳英彦：土石流警戒避難基準雨量設定手法，土木技術資料，Vol. 27, No. 5, pp. 15～20, 1985.
- 19) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室：土石流の警戒・避難基準雨量の設定に関する研究，土研資料，2215号，1985.
- 20) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室：土石流の警戒・避難基準雨量の設定に関する研究（Ⅱ），土研資料，2361号，1986.
- 21) 矢野勝太郎：降雨によって発生する土石流災害予警報システムに関する研究，京都大学学位論文，1989.
- 22) 矢野勝太郎：前期降雨の改良による土石流に警戒・避難基準雨量設定手法の研究，新砂防，No. 171, pp. 3～13, 1990.
- 23) 岩元 賢・原田民司郎・平野宗夫：土砂災害に対する警戒・避難基準雨量の設定について，新砂防，No. 170, pp. 3～8, 1990.
- 24) 藤井恒一郎・久保田哲也・奥村武信：土石流発生警報の発令及び避難指示の的確性向上に関する研究，新砂防，No. 193, pp. 35～42, 1994.
- 25) 久保田哲也・池谷 浩：土石流発生基準雨量に対するNeural Networkの応用について，新砂防，No. 197, pp. 8～14, 1995.
- 26) 村石 尚：鉄道沿線の斜面災害の危険度評価，新砂防，No. 204, pp. 3～8, 1996.
- 27) 島村 誠：列車運転規制のための合理的な雨量指標について，新砂防，No. 204, pp. 9～11, 1996.
- 28) 荒木義則・古川浩平・松永 悟・小笠原貴人・石川芳治・水山高久：土石流危険渓流における地形特性を考慮した土砂崩壊の発生限界線の設定に関する研究，土木学会論文集，No. 574, VI-36, pp. 33～47, 1997.
- 29) 荒木義則・古川浩平・松井範明・大木戸孝也・石川芳治・水山高久：ニュートラルネットワークを用いた土石流危険渓流における土砂崩壊のリアルタイム発生予測に関する研究，土木学会論文集，No. 581, VI-37, pp. 107～121, 1997.
- 30) 牧原康隆・平沢正信：斜面崩壊危険度予測におけるタンクモデルの精度，気象庁，研究時報，45-2, pp. 35～70, 1993.
- 31) 牧原康隆：災害と気象の関係，第30回砂防学会シンポジウム講演集，pp. 35～42, 1998.
- 32) 消防庁防災救急課：急傾斜地崩壊危険区域における災害防止に関し市町村地域防災計画に定める事項について，消防防第328号，砂防関係法令例規集，全国治水砂防協会，pp. 348～349, 1969.
- 33) 農林水産省林野庁森林総合研究所：山地災害危険地区における警戒避難基準雨量設定指針，1991.
- 34) 池谷 浩・杉山俊宏・山口勝輔・小岩井靖男・日暮研二・瀬尾克美・五代 均・原 義文・西本晴男・徳弘日出男：土砂災害防止のための情報システム，全国治水砂防協会，p. 170, p. 173, 1985.
- 35) 瀬尾克美・森 俊勇・丸山泰正・黒川興及：平成5年土砂災害警戒・避難体制実態調査とその分析，新砂防，No. 207, pp. 28～33, 1996.
- 36) 瀬尾克美・原口勝則・高橋幸彦：平成10年8月4日新潟県佐渡地方の土砂災害における地元住民の対応と教訓，新砂防，No. 222, pp. 35～40, 1999.
- 37) 瀬尾克美：誠意ある聞き込み調査がソフト対策の充実につながる，SABO（(財)砂防・地すべり技術センター機関誌），No. 63, pp. 52～54, 1999.
- 38) 山田 孝・南 哲行・水野秀明：土石流災害防止のためのセンサー開発の現状と今後の問題，新砂防，No. 214, pp. 60～64, 1998.