

報告

住民参加による土砂災害避難システムの構築

小葉竹 重機*・片田 敏孝*・吉澤 拓実**・岩波 英行***

Development of an Evacuation System for Debris-flow Disaster with Community Participation

Shigeki KOBATAKE*, Toshitaka KATADA*, Takumi YOSHIZAWA**, Hideyuki IWANAMI***

Abstract

Since Shake district of Haruna town is located on the south side slope of Mt. Haruna and about 900 m above sea level, intense rainfalls hit this region, especially, during the typhoon season. As a consequence of the impact of Typhoon No10 of 1982, the Ministry of Construction installed a Debris-flow alarm system in this district. The evacuation training using this alarm system has been carried out by the community since 1983. However, the process has recently become a mere formality. In order to overcome this difficulty, eight (8) round-table discussions were held with the participation of community members. During the round-table talks, the problems of the present evacuation system and how to improve it were discussed. One problem was "the alarm rings too much" and the other problem was the opposite, it is, "the alarm does not sound". For the former problem, we reexamined the set value of the alarm system using five (5) methods proposed by the "Rainfall Standard" for warning and evacuation in the case of debris flow. For the latter problem, we developed a new evacuation system that emphasizes the responsibilities of each individual of the community. The most relevant outcome is a new type of hazard map named "My hazard map".

キーワード：土石流，山腹崩壊，避難システム，住民参加

Key words：debris flow, landslide, evacuation system, community participation

* 群馬大学工学部建設工学科
Department of Civil Engineering, Gunma University
** 国土交通省関東地方整備局利根川水系砂防事務所
Tonogawa River Basin Sabo Office, Kanto Regional
Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure
and Transport

*** 国際航業株式会社河川砂防部
Kokusai Kogyo Co., LTD.

本報告に対する討論は平成16年8月末日まで受け付ける。

1. はじめに

われわれは地域の住民が参加した計8回にわたる座談会を通して、住民自らが考えた一人一人の責任を重視した避難システムを構築することができたので、その成果をハードとソフトの両面から報告する。

群馬県榛名町社家（しゃげ）地区は、図1に示すように榛名山の南側斜面にある世帯数26の小さな集落である。江戸時代から多くの人が講をつくって参拝に訪れる有名な榛名神社の門前町として開けた地区である。榛名山をはさんで反対側斜面には、これも有名な伊香保温泉がある。

図1からも分かるように、榛名山は特に東～南東方向から見れば孤立峰に近い位置にあり、社家地区はこの榛名山の南側斜面、標高900m付近に位置するために、南東からの湿った空気が由来する集中豪雨が発生しやすい環境にある。また、図2に示すように社家地区は榛名川と支川の合流点直下であり、古い土石流堆積地の上にあると考えられる。さらに、周囲は四方急峻な山腹が迫り、本川由来の土石流災害を受けやすい地形にあるとともに、地区内の溪流からの土石流災害も受けやすい地形である。昭和56年と57年には続けて台風が襲われ、いずれも24時間雨量で400mmを超える豪雨となった。とくに昭和57年8月の台風10号では時間雨量55mmを越える降雨が2時間続き、神社の多くの杉の大木が倒木したり、崖崩れや沢に小規模な土石流が発生したりした。幸い人名にかかわるような大規模な土石流は発生しなかったが、これを契機に、建設省利根川水系砂防工事事務所（当時）では管内で最初となる土石流警報装置を設置した。

以来、この地区では今日まで、自主的にこの警報装置を用いた避難訓練が毎年7月頃に実施されてきた。

平成12年8月に榛名町主催で開かれた「砂防・夢フォーラム」において、この自主的避難訓練の取り組みを住民自らが発表し、これを契機に、長年にわたる自主的避難訓練をさらに効果的にしようという気運が盛り上がり、筆者らを加えた地元での座談会が開催されることになった。

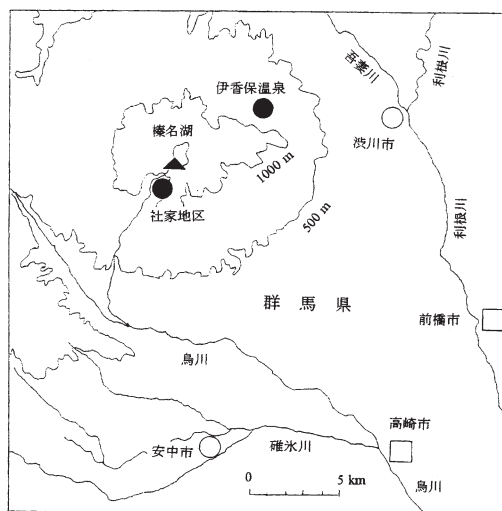


図1 社家地区の位置図



図2 社家地区の詳細地形（等高線間隔2m、航空写真による。国際航空提供）

座談会では、現在の警報装置の問題点や避難訓練のあり方が話し合われたが、その中で住民の方々から出た意見で最も多かったものは、「警報が鳴りすぎる」と「警報が聞こえない」というものであった。「鳴りすぎる」という点については警報の基準値を見直す必要があり、「聞こえない」という点についてはハードのみの対策では限界があり、新たな避難体制を作る必要があることが分かった。

ここでは座談会を通して得られた成果のうち、警報の新たな基準値の設定と、住民一人一人が役割をもった新しい避難体制の制定の2項目に重点をおいて報告する。

2. 警報吹鳴の基準値の設定

2.1 基準値の設定手法

土砂災害の警戒避難基準雨量の設定手法は、昭和59年に建設省（現国土交通省、以下当時の名称で記す）より「土砂災害に関する警報の発令と避難指示のための降雨量設定指針（案）」¹⁾が発表され、その後改良が進められてきている。また、平野らによる方法^{2), 3)}のように解析的な方法やタンクモデルを用いる方法⁴⁾なども提案されている。ここでは以下の5手法によって検討を行う。

(1) 建設省指針A案¹⁾（以下、A案と略記）

横軸に総雨量（実効雨量）、縦軸に1時間雨量強度をとって、右下がりの直線によって発生、非発生を分類する。実際の手順においては一連の降雨などの定義が必要となるので、まず、これらの定義を示しておく。

一連の降雨・一連続雨量：降雨の前後に24時間以上無降雨であるひとまとまりの降雨を一連の降雨といい、その雨量を一連続雨量という。

前期降雨・前期雨量：一連の降雨の前1週間の期間内の降雨を前期降雨といい、その雨量を前期雨量という。ただし、定義より1日前雨量は常に0mmである。

実効雨量：実効雨量とは、当該一連続雨量に前期雨量の影響を加えた総雨量である。すなわち、

実効雨量 = 当該一連続雨量 + 前期実効雨量
であり、前期実効雨量は次式で求める。

$$\text{前期実効雨量} = \sum_{t=2}^7 \alpha_t d_t \quad (1)$$

ここに、 d_t は t 日目の 24 時間雨量、 α_t は係数（減少係数）である。1 日目の前期雨量は常に 0 mm であり、前期降雨は前 7 日間で定義されていることから、和は 2 日から 7 日までとることになる。減少係数 α_t は例えば半減期を 1 日とすると、 $\alpha_2 = 0.25, \alpha_3 = 0.125$, のようになる。一般に、半減期を T 日とすると、

$$\alpha_t = 0.5^{t/T} \quad (2)$$

である。

以上の定義のもとに、災害の発生・非発生を区分する右下がりの土石流発生基準線（Critical Line, 略して CL）を定め、さらにこの CL から、警戒・避難基準線を以下のようにして定める。

まず、土石流の発生 2 時間前に警戒の警報を発令し、1 時間前に避難指示をするものとする。その前提のもとで、既往最大 1 時間雨量を R_{H1M} 、既往最大 2 時間雨量を R_{H2M} とすると、図 3 において縦軸に R_{H1M} をとり、その点より横軸に平行な直線を引き、その直線と CL との交点から垂線を下ろし、これを EL（Evacuation Line, 避難基準線）とする。EL と横軸との交点を $(R_2, 0)$ とすると、この R_2 の意味は、ある降雨の実効雨量が R_2 を越えると、過去の降雨の経験からして 1 時

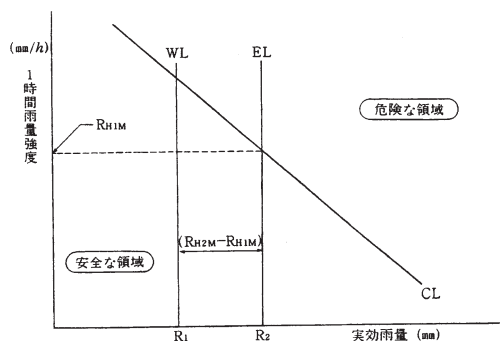


図 3 A 案の警戒基準線、避難基準線の設定（参考文献 9 の図 6-9 を転載）

間以内に危険な領域に入る可能性があることを示している。WL (Warning Line, 警戒基準線) は図3のようにELを原点の方に ($R_{H2M} - R_{H1M}$) だけ平行移動して求める。

(2) 建設省指針B案¹⁾(以下, B案と略記)

横軸はA案と同じ実効雨量, 縦軸は有効降雨強度度を取り, 右下がりの直線によって発生・非発生を区分する。ここで, 有効降雨強度度は以下の定義である。

変曲点A・変曲点B: 変曲点Aは一連降雨の積算雨量曲線が急に立ち上がる点をいい, 通常最初に1時間雨量4mm以上の降雨が降り始めた点をいう。また, 変曲点Bとは一連降雨の積算雨量曲線において急に伸びが少なくなる点をいい, 時間雨量4mm以下の降雨が3時間以上継続し始めた時点の点をいう。(図4参照)

有効降雨・有効時間・有効降雨強度: 変曲点Aからある時刻までの降雨量の積算値を有効降雨といい, その間の時間を有効時間, 有効降雨を有効時間で割ったものを有効降雨強度という。

A案と同様に右下がりの直線CLで災害の発生・非発生の区分を行い, さらにこれからEL, WLを次式のように定める。

いま, CLを $Y=aX+b$ の直線とし, A案と同様に1時間前に避難, 2時間前に警戒の情報を入手しようとするれば, EL, WLは次式で表されることとなる。これは, 例えばELのラインであれば次の1時間に既往最大1時間雨量が降ればCLのラインに到達するという条件式である。(図5参照)

$$EL: Y = \frac{aX^2 + (b + aR_{H1M})X}{(1-a)X + (1-a)R_{H1M} - b} \quad (3)$$

$$WL: Y = \frac{aX^2 + (b + aR_{H2M})X}{(1-2a)X + (1-2a)R_{H2M} - 2b} \quad (4)$$

(3) 建設省総合土砂災害対策検討会提言手法⁵⁾(以下, 検討会手法と略記)

横軸にも縦軸にも時間単位で減少係数を評価する実効雨量を用いるもので, 横軸は半減期72時間の実効雨量, 縦軸は半減期1.5時間の実効雨量

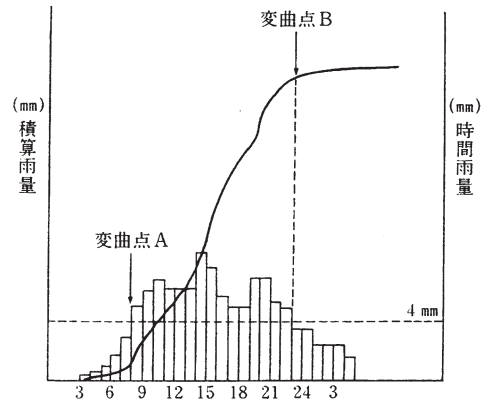


図4 変曲点Aと変曲点Bの定義図(参考文献9の図6-6を転載)

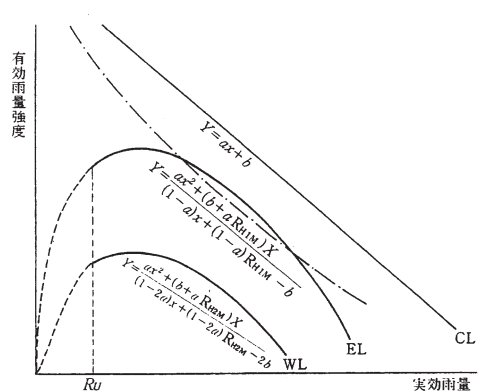


図5 B案の警戒基準線, 避難基準線の一般式(参考文献9の図6-10を転載)

である。両者の一般式は次式で定義される。

$$R_T = r_T + (\alpha_1 \cdot r_{T-1} + \alpha_2 \cdot r_{T-2} + \dots + \alpha_X \cdot r_{T-X}) \\ = r_T + \sum_{n=1}^X \alpha_n \cdot r_{T-n} \quad (5)$$

ここに, R_T : 実効雨量, α_n : 減少係数 $\alpha_n = 0.5^{n/t}$, t_T : 時刻 T における時間雨量, t : 半減期(時間) CL, EL, WLの設定は以下のようなものである。

CLは降雨観測データが時間雨量の場合には, かけ崩れ発生1時間前の実効降雨と, かけ崩れ発生時刻の実効降雨の中間で設定する。

EL は、避難に要する時間を 1 時間と考えると、1 時間後に曲線が CL に到達するような直線の位置を表すことになる。すなわち、半減期 72 時間実効雨量を x 軸、半減期 1.5 時間の実効雨量を y 軸にとり、現在の実効雨量がそれぞれ x_0, y_0 であり、次の 1 時間に想定される降雨 R で CL ラインに達するとすれば、1 時間後の降雨 x_1, y_1 には次の CL ライン式が成立する。

$$y_1 = ax_1 + b \tag{6}$$

また、実効雨量の定義より、

$$\begin{aligned} x_1 &= (0.5)^{1/72}x_0 + R = k_1x_0 + R \\ y_1 &= (0.5)^{1/1.5}y_0 + R = k_2y_0 + R \end{aligned} \tag{7}$$

であるから、(6)、(7) 式より、EL ラインは次式で表される。

$$y = a(k_1/k_2)x + (b + (a-1)R)/k_2 \tag{8}$$

ここで、時間雨量には次の 2 通りの考え方がある。1 つは、A 案、B 案と同様に、その地域における既往最大時間雨量を用いるもの、もう一つは、警報の空振り頻度を落とすために、10 年確率時間雨量を用いるものである。それでも空振りの頻度が多ければ、さらに確率年を小さくする。(図 6 参照、10 年確率時間雨量を用いる場合)

WL は、避難を始めるまでの準備時間が 1 時間必要と考えると、2 時間後に曲線が CL に到達する位置であるから、EL と同じ考え方で、既往最大 2 時間雨量あるいは 10 年確率 2 時間雨量を用いる。(図 6 参照)

(4) 平野らによる方法^{2), 3)}

平野らは、土石流の発生に関する高橋ら^{6), 7)}の物理モデルを用いて、土砂災害の発生条件として以下のような検討を行っている。

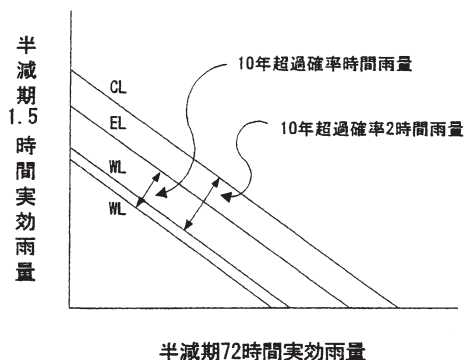


図 6 検討手法の警戒基準線、避難基準線の設定 (10 年超過確率の場合)

a) 山腹における土砂の流動限界

$$r_e \geq \frac{H_c k \tan \theta}{\ell} \tag{9}$$

b) 溪流における土石流の発生条件

$$r_e \geq 720d^3f\eta^3g \sin \theta / CA \tag{10}$$

ここに、 r_e : 到達時間内の平均雨量強度、 H_c : 崩壊の発生する際の浸透流の限界水位、 k : 透水係数、 θ : 斜面または溪流の勾配、 ℓ : 斜面長、 d : 河床堆積物の粒径、 f : 摩擦損失係数、 η : 土石流が発生する際の $\eta = d/h_0$ 、 h_0 : 溪流の水深、 g : 重力加速度、 C : 流出係数、 A : 流域面積、である。

基準雨量の設定は、山腹、溪流を問わず、到達時間内の平均雨量強度が、その場所に特有のある値を超えたら災害が発生するということであるから、過去の豪雨を災害の発生したものと発生しなかったものとに分けて、種々の時間内における累加雨量のうち、最大値を取り出して、横軸に種々の時間、縦軸にその最大累加雨量をとってプロットすると対象降雨が多ければ図 7 のような図が描け、これから到達時間 T と発生限界雨量 R_T を推定することができる。避難と警戒の基準雨量はこれまでと同じように 1 時間後あるいは 2 時間後に

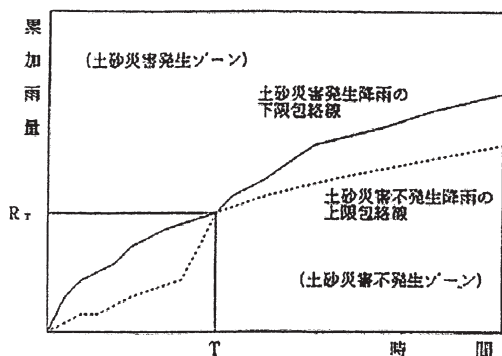


図7 土砂災害の発生の下限と不発生の上限の概念図³⁾

災害発生基準雨量に達するという考え方で設定できる。

(5) タンクモデルを用いる方法⁴⁾

道上らは、総合化されたタンクモデル⁸⁾を用いて昭和51年に発生した小豆島の土石流を解析し、1段目のタンクの水深が80 mm以上、あるいは流出強度が20 mm/hrになれば土石流が発生することを示した。地域の特性によってこの限界値はある程度異なるので、地域の過去の災害事例から限界値を定める必要がある。避難と警戒の基準値については平野らの方法と同様である。

2.2 基準値設定の基本方針

前述のように社家地区では昭和58年より土石流警戒避難基準雨量の運用が始まり、豪雨時には注意報、警戒報としてサイレンの吹奏が行われてきた。しかしながら、現在、この装置に設定されている基準雨量は、全国的な一般値を採用しており、地域の特性を反映した基準となっていない問題や、従前の設定値ではサイレンの吹奏が頻繁に行われるために、信頼性の低下という問題も発生している。座談会の中では「サイレンの吹奏がどのような危険性をさしているのか具体的なイメージがもてるような」、あるいは「理解できるような」基準雨量が望ましい、という意見が多く出された。そこで、今回設定する基準の基本方針を、次のように定めた。

1) 住民の降雨に対する危機感あるいは災害意

識と乖離しないような、基準雨量の設置を行う。

2) 予警戒に対し、具体的な危機に対するイメージを設定する。具体的には以下のようにする。

避難報：避難基準は降雨指標と合わせて前兆現象による情報により、社家地区区長や地区防災責任者が判断することになるので、雨量指標としては設定せず、区長の判断によりスピーカーなどにより連絡を行うことを前提とする。

警戒雨量(WL1)：土石流のおそれのある降雨状況にあるというイメージ

注意雨量(WL2)：がけ崩れのおそれのある降雨状況にあるというイメージ

以上のように基本方針を定めたことにより、前項で述べた各予測手法による各基準線の設定法はつぎようになる。

- ①土石流発生基準線 CL1 は、土石流の発生事例より設定する。
- ② CL1 より、その線形を1時間雨量相当原点側に引き戻した線を警戒雨量 WL1 とする。
- ③がけ崩れ発生基準 CL2 は、がけ崩れ発生事例より設定する。
- ④ CL2 より、その線形を1時間雨量相当原点側に引き戻した線を注意雨量 WL2 とする。
- ⑤ただし、平野らの方法あるいはタンクモデルを用いる方法については、土石流あるいはがけ崩れの発生限界雨量に1時間後に達するという時点を警戒報の発令時点とする。

2.3 検討に用いた降雨群

以上の方針にしたがって検討を行ったが、対象とした降雨は以下の通りである。

昭和57年の集中豪雨を契機に土石流警報装置が設置されたが、その際に収集された昭和42年～56年の降雨資料(気象庁)に、それ以後の降雨資料(建設省)を追加して用いた。気象庁の榛名山観測所は図1中に▲印で示す榛名山湖畔(標高約1,100 m)に位置している。また、建設省の降雨資料は社家地区に設置された予警戒装置用の雨量計(標高約900 m)によるものである。これらの資料の中から、

1) 連続雨量が50 mm以上の一連の降雨

2) 時間雨量が 10 mm 以上の一連の降雨を選んで、解析対象降雨群とした。その数は 365 件となった。また、これらの中から年最大 1 時間雨量と年最大 2 時間雨量を各年についてまとめて示したものが表 1 である。これによると、既往最大 1 時間雨量は平成 6 年の 127 mm となる。

また、これと同時に過去の災害発生事例として社家地区周辺での土砂災害を昭和 40 年代以降についてリストアップした。これをまとめたものが表 2 である。表中の記号で白抜きのは単発、黒塗りのものは複数個発生を表している。

2.4 解析結果

(1) 解析に当たっての前提条件

前項 2.2 で述べた基準線の設定方針にしたがって検討を進めたが、その前提となる、災害発生事例と今後の 1 時間雨量値については、以下のように考えた。

まず、土石流の発生事例として、表 2 の災害事例 8.2 (平成 13 年 8 月) を選んだ。選んだ理由は、もっとも身近に発生した災害であったこと、最近の降雨事例でイメージの形成がたやすいこと、しかも住民自身がかなり危機感をもった降雨であったことなどによる。

また、がけ崩れの事例としては、同じく伊香保温泉で発生した旅館の斜面石積みの崩落、災害事例 8.1 (平成 13 年 8 月) が住民にとっても理解しやすいと判断した。

表 1 年最大 1 時間雨量及び 2 時間雨量

年	最大 1 時間雨量		最大 2 時間雨量	
	雨量(mm)	記録時刻	雨量(mm)	記録時刻
1967	35.0	S42.08.01 21:00	44.0	S42.08.01 22:00
1968	55.0	S43.08.02 21:00	108.0	S43.08.02 22:00
1969	42.5	S44.07.22 22:00	52.5	S44.07.21 20:00
1970	32.5	S45.08.28 22:00	44.0	S45.08.28 23:00
1971	36.5	S46.08.29 23:00	49.0	S46.08.29 23:00
1972	50.0	S47.07.23 15:00	76.5	S47.07.23 15:00
1973	63.0	S48.08.20 18:00	74.5	S48.08.20 19:00
1974	51.0	S49.06.06 14:00	68.5	S49.09.12 20:00
1975	35.0	S50.06.10 18:00	45.0	S50.06.19 21:00
1976	25.0	S51.06.05 13:00	42.0	S51.06.05 14:00
1977	33.0	S52.07.02 20:00	43.0	S52.09.09 11:00
1978	61.0	S53.08.12 20:00	78.0	S53.08.12 21:00
1979	58.0	S54.07.26 20:00	61.0	S54.07.26 21:00
1980	18.0	S55.06.09 11:00	24.0	S55.06.30 00:00
1981	52.0	S56.07.25 20:00	84.0	S56.08.22 12:00
1982	58.0	S57.08.01 18:00	84.5	S57.08.01 18:00
1983	50.0	S58.08.16 04:00	74.5	S58.08.16 04:00
1984	44.0	S59.07.26 19:00	80.0	S59.07.26 20:00
1985	26.0	S60.08.13 20:00	38.0	S60.07.01 03:00
1986	20.0	S61.09.03 02:00	36.0	S61.09.03 02:00
1987	43.0	S62.09.06 21:00	66.0	S62.07.25 18:00
1988	98.0	S63.08.29 20:00	141.0	S63.08.29 20:00
1989	69.0	H1.07.29 18:00	81.0	H1.07.29 18:00
1990	36.5	H2.08.09 19:00	49.5	H2.08.09 19:00
1991	48.0	H3.08.22 21:00	59.0	H3.08.31 08:00
1992	11.5	H4.08.17 20:00	11.5	H4.08.17 20:00
1993	21.0	H5.08.23 20:00	29.0	H5.07.26 03:00
1994	127.0	H6.06.27 11:00	157.0	H6.06.27 11:00
1995	18.0	H7.05.12 17:00	29.0	H7.05.12 18:00
1996	16.0	H8.07.03 16:00	23.0	H8.09.09 12:00
1997	23.0	H9.06.12 18:00	39.0	H9.06.12 19:00
1998	33.0	H10.07.23 20:00	51.0	H10.07.23 20:00
1999	41.0	H11.08.16 16:00	60.0	H11.08.15 00:00
2000	47.0	H12.09.12 08:00	65.0	H12.09.12 09:00
2001	76.0	H13.08.28 22:00	116.0	H13.08.28 22:00

表 2 昭和 40 年以降の土砂災害発生降雨

災害番号	種類	記号	計算時刻	気象名	発生場所	観測所
1	崖崩れ	△	S41.08.19 18:00	雷雨	倉淵村下平	
2	鉄砲水	●	S43.08.02 22:00	雷雨	倉淵村暖井	榛名
3	崖崩れ	△	S45.08.29 23:00	雷雨	榛名町下室田	榛名
4	土砂流	●	S47.07.23 15:00	台風9号	倉淵村明神	榛名
5.1	崖崩れ	▲	S52.07.02 20:00	集中豪雨	榛名町内多数	榛名
5.2	崖崩れ	▲	S52.07.02 22:00	集中豪雨	榛名町内多数	榛名
6	崖崩れ	△	S55.09.03 21:00	低気圧	榛名町下室田・高崎線	上里見(気)
7	崖崩れ	△	S57.08.01 18:00	台風10号	榛名町中室田	榛名
8.1	崖崩れ	△	H13.08.27 22:00	集中豪雨	伊香保町伊香保	榛名
8.2	土砂流	●	H13.08.28 23:00	集中豪雨	榛名町社家町	榛名

また、今後の1時間雨量値としては、従来は既往最大1時間雨量を用いていたが、社家地区では既述のように既往最大1時間雨量は127mmという大きな値となる。しかし、これは確率年例えば150年(表1に基づく)に相当することから、以下の理由により確率年5年に相当する60mm/hrを採用した。

- 1) 既往最大値を用いるには、降雨量が大きく、確率年150年は想定として規模が大きすぎる。
- 2) 社家地区の場合避難に要する時間は、高齢化が進んでいるとはいえ、概ね15分から30分程度で完了するものと考えられることから、既往最大値の半分程度の規模でも妥当性がある。
- 3) 発生確率から考えると5年に1度くらいの大雨とした方が、住民のイメージが描きやすい。

(2) 解析結果

以上の条件のもとで決定した各方法による解析結果を以下に簡単に述べる。

1) 建設省A案(図8参照)

CL1: 災害事例8.2を通り、傾き-0.572の直線
直線の傾きは、スネーク曲線群(特出した曲線は除く)の上限包絡線を近似する直線を引き、この傾きとした。他のケースも同様の考えで直線を定めている。

WL1: $R_{HIM}=60$ mm を用い、 $y=60$ と CL1 との交点から x 軸に垂線を下ろした交点から、60 mm 分原点側に引き戻した位置が WL1 となる
CL2: 災害事例8.1を通り、傾き-0.572の直線
WL2: WL1と同様に $y=60$ とCL2の交点から定める。

2) 建設省B案(図は略)

CL1: 災害事例8.2を通り、傾き-0.364の直線
WL1: $R_{HIM}=60$ mm を用い、1時間後にCL1に達する線(式(3)参照)

CL2: 災害事例8.1を通り、傾き-0.364の直線
WL2: WL1と同様に1時間後にCL2に達する線(式(4)参照)

3) 検討委員会提言案(図9)

CL1: 災害事例8.2を通り、傾き-0.625の直線
WL1: $R_{HIM}=60$ mm を用い、1時間後にCL1に達する線(式(8)参照)

CL2: 災害事例8.1を通り、傾き-0.572の直線
WL2: WL1と同様に1時間後にCL2に達する線(式(8)と同様)

4) 平野らによる方法(図は略)

4時間連続雨量が108mmを土砂災害の発生限界雨量とする。

5) タンクモデルを用いる方法(図は略)

流出高20mm/hrまたは1段目タンク貯留高100mmを発生基準線とする。

以上が5つの方法により得られた結果であるが、これで運用した場合の警報の発生頻度等を検討しておく必要がある。

2.5 警報発生頻度等の検討

以上の解析結果から得られる警報発生頻度などをまとめたものが表3である。表中①は解析降雨のうち土石流発生ラインCL1を越える降雨数、②は土石流警報ラインWL1を越える降雨数、③はがけ崩れ発生ラインCL2を越える降雨数、④はがけ崩れ警報ラインWL2を越える降雨数、⑤は②を統計年数35年で割った1年当たりの土石

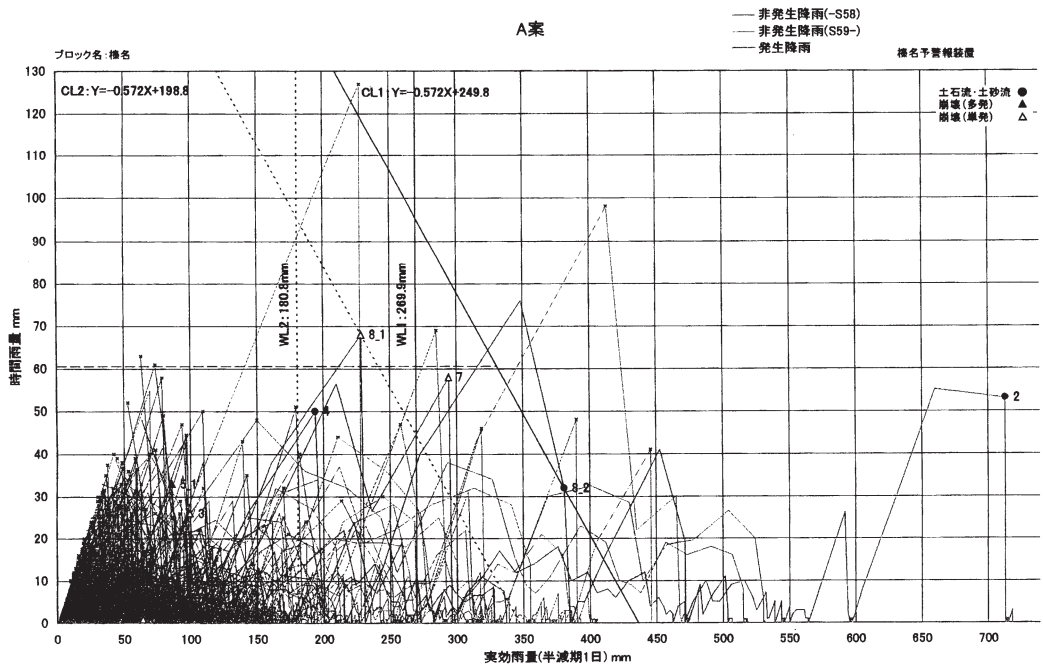


図8 A案による基準線の設定図

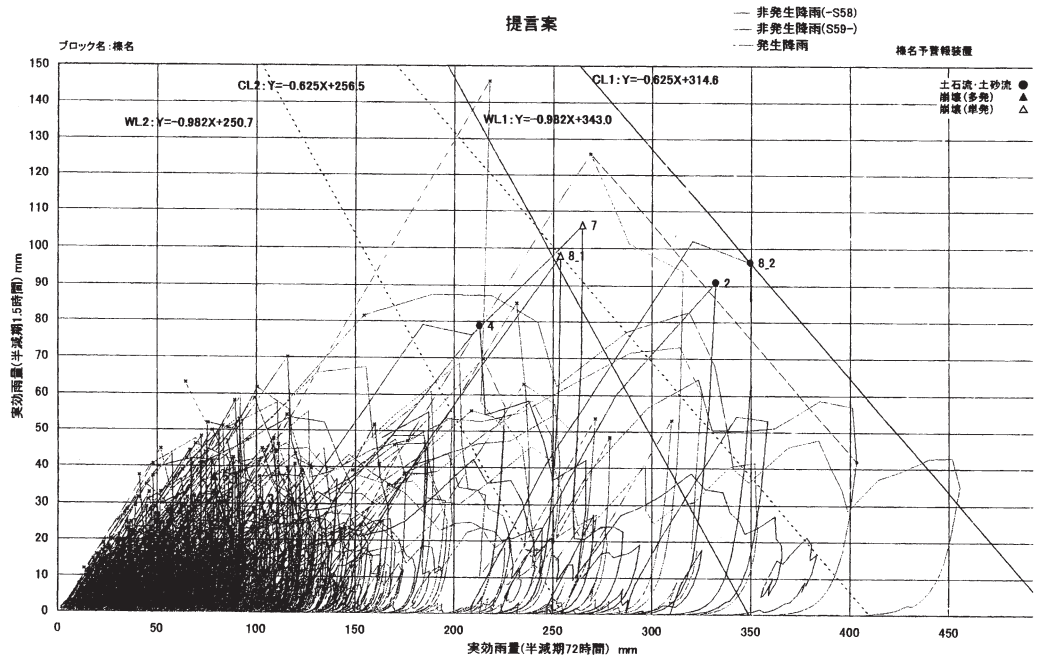


図9 検討会手法による基準線の設定図

流警報発生頻度，⑥は同じく④から得られるがけ崩れ警報発生頻度，⑦は土石流の警報が出たものの災害が発生しなかった降雨数，⑧はそれを35年で割った1年当りの警報空振り頻度，⑨はいずれの警報ラインにも到達しなかったが，表2に示す近傍の災害が発生した個数，⑩はその頻度である。なお，現行法ではサイレンの解釈がここでの定義と異なるため，ここでの定義に近いものを用いている。また，平野法とタンクモデル法では警報ラインを設定していないため，⑤の計算に当たっては発生ライン到達数を代わりに用いている。

また，表4は検討会手法を例にとりて，何らかの警報が発生する年の発生回数をまとめて示したものである。表に示した以外の年では警報の発生はない。表からも分かるように，平均的には0.26回/年の頻度である土石流の警報が，年2回発生する年もある。

また，表3において警報が発生しないのに何らかの災害が発生したとされる事例は，検討会手法について言えば表2の災害番号3，5，6の3事例である。これらの降雨の災害発生時72時間実効雨量と1.5時間実効雨量は，3については102mm，31mm，5については87mm，23mm，6については81mm，32mmである。いずれも降雨としてはそれほど大きくはない。ただ，番号5については表2で崖崩れ多数となっているので，おそらく降雨強度に顕著な分布があったと考えられる。

以上の結果を簡単にまとめると以下のようなものである。

1) 建設省 A 案

土石流警戒報の年発令回数は0.51，がけ崩れ警戒報の年発令回数は1.03となる。それぞれ2年に一度，あるいは年1回程度の発令であるから信頼を失うほどの発令回数ではないと考えられる。

2) 建設省 B 案

土石流警戒報の年発令回数は0.34，がけ崩れ警戒報の年発令回数は1.40であり，それぞれ3年に一度あるいは年1～2回の警戒報発令となる。

3) 検討委員会提言案

土石流警戒報の年発令回数は0.26回，がけ崩れ警戒報の年発令回数は0.51回となる。4年に一度あるいは2年に一度の警戒報となる。

4) 平野らによる方法

発生限界値を越える降雨数を資料年数(35年)で割った値は0.26となり，頻度は4年に1度となる。

5) タンクモデルによる方法

表4 年発生回数まとめ

	CL1を越える	WL1を越える	CL2を越える	WL2を越える
昭和43年		1	1	1
昭和46年				1
昭和47年		1	1	2
昭和56年	1	1	1	1
昭和57年		1	1	1
昭和63年		1	1	1
平成1年				2
平成3年				2
平成6年		1	1	2
平成11年		1	1	1
平成12年				1
平成13年	1	2	2	3
合計	2	9	9	18

表3 解析結果のまとめ

項 目	現行法	A案	B案	検討会手法	平野法	タンクモデル
① 土石流発生ライン到達数	* 24	8	8	2	9	9
② 土石流警報ライン到達数	* 43	18	12	9		
③ がけ崩れ発生ライン到達数		13	24	9		
④ がけ崩れ警報ライン到達数		36	49	18		
⑤ 土石流警報頻度(②/年数)	1.23	0.51	0.34	0.26	*(0.26)	*(0.26)
⑥ がけ崩れ警報頻度(④/年数)		1.03	1.4	0.51		
⑦ 土石流警報空振り個数	38	14	8	6		
⑧ 警報空振り頻度(⑦/年数)	1.09	0.4	0.23	0.17		
⑨ 警報不発で災害発生した事例数	2	3	2	3		
⑩ 警報不発頻度(⑨/年数)	0.06	0.09	0.06	0.09		

(年数=35年)

⑤欄の*印=①/年数

発生基準値を越える降雨数を資料年数(35年)で割った値は0.26となり、頻度は4年に1度となる。

2.6 設定した基準値

以上の解析結果に基づき、社家地区での新しい土石流発生警戒報、がけ崩れ発生警戒報を以下のように設定した。

建設省A案、B案は頻度の点では問題がない(ただし、がけ崩れ警戒報が年1.03あるいは1.4回鳴るために、1回目のサイレンが吹鳴する回数は現行とあまり変わらない)ものの、この方法は連続雨量が指標となるために、少雨長雨のようなケースでは危険な状態が持続しながらもサイレンが一度鳴ると、それ以降吹奏されることがないという問題がある。その点、検討委員会提言案では、降雨強度が小さくなるとスネーク曲線(図8, 9)における一つ一つの曲線の軌跡が原点に戻る特性があるために、上述の問題点は解決できる。

また、平野らによる方法およびタンクモデルによる方法は、従来設置してある装置とは異なった発想の計算機能を持たせる必要があることから、今回は採用しなかった。

以上のことから、新しい警報装置の方式としては「総合土砂災害検討委員会提言案」を採用することとした。ただし、既述のように従来の言葉で言えば警戒報は土石流に対するもの、注意報はがけ崩れに対するものと考えている。それぞれの吹鳴頻度も現行と比較して半分程度(がけ崩れ警戒報が2年に1度)に押さえられる。

3. 新しい避難体制の制定

社家地区では昭和58年の土石流警報装置の設置以来、この装置を用いた自主的な避難訓練を毎年行ってきた。しかし、近年ではいわゆるマンネリ化が進むと同時に、警報の頻度が多すぎる点や、警報が聞こえないといった問題点が指摘されていた。こうした問題点を解決し、予警報に対する認識を高めるために住民、国土交通省、大学の3者による座談会を開催することになった。

合計8回に及ぶ座談会を通じて、住民の方々の

意識も高まり、警報装置にだけ頼るのではなく、自分たちの経験も活かそう、という発想が生まれ、やがてマイ・ハザードマップの作成へと発展していった。本章では、ソフト対策の中心となるこのマイ・ハザードマップについて簡単に紹介する。

3.1 マイ・ハザードマップの作成

もともと土砂災害に対する危機意識の高い地域であるから、個人個人で異常事態に近づきつあると判断する基準を持っておられる方が多い。例えば、川の水が腐葉土のにおいがするようになる、自宅の庭のある場所に水がわき出ようになる、自宅の横の側溝が溢れるようになる、沢から滝のように水が溢れて道路に流れ出す、というように、自宅周辺での事象が多い。そこで、座談会を通じて、まずこうした情報を1枚の地図の上にまとめることとした。個人の情報でしかなかったものが、こうすることによって全員の共有の知識とすることができる。このマップの上に、土石流危険渓流やがけ崩れ危険地域を重ねると、従来の官主導で作るハザードマップとは少し異なった発想のマップができあがった。

さらに、このマップの他に、例えば橋が流木によって閉塞されるとこのような災害が発生するというような、住民にとっては想定外の事象も加えることによって、災害形態の変化も分かるようなマップも作成した。

以上のマップに加えて、各戸ごとに避難計画表を作成することになった。各戸から避難場所である公民館までの間にある危険箇所、危険事象が異なり、避難開始時期も自ら異なるために、共通の避難行動は危険であることが予測されたためである。これらを総称して、われわれはマイ・ハザードマップと呼ぶこととした。

また、避難に当たっては、従来の自動的に吹鳴する警報のサイレンのみを頼りにするのではなく、区長または防災担当者が、地区住民から寄せられる異常現象の報告をもとに、その数がある数に達したら避難勧告あるいは指示を行うように変更し、すでにこの方式で避難訓練も行われるようになっている。

3.2 助け合いの発想

警報装置の吹奏基準見直しやマイ・ハザードマップの作成と、座談会の内容は進んではきたものの、サイレンや避難勧告の放送の音が聞こえない場所がある、という点に関しては、スピーカーの位置を変えるとか数を増すとかというハード面での対応を住民も考えていた。しかし、どのように対応しても豪雨のときには雨の音でかき消されるのではないか、ということになり、最終的に、聞こえた者が周囲に伝達する、というのが一番効果的である、という助け合いの発想が生まれた。全8回の座談会を通じて最も価値のある自然発生的な発想であった。今あるスピーカーに近い人が、「誰々に内容を連絡する」という項目を、また全戸が「誰々に確認の電話をする」という項目を避難計画書に書き込むことによって、マイ・ハザードマップは完成した。

住民の自然な発想から生まれたこれらのマイ・ハザードマップは、これまでにない品質の高いハザードマップであると確信している。

4. おわりに

以上、群馬県榛名町社家地区で行ってきた、住民と一体となった土砂災害に対する避難体制作りについて報告した。これまでにあった土石流警報装置の吹奏基準の見直しや、新しい発想のマイ・ハザードマップの作成などがその内容である。終わりに当たり、積極的に座談会に出席された社家地区の住民の方々に敬意を表するとともに、地区のまとめ役として尽力して下さった区長ならびに防災担当者の皆様に心からの謝意を表します。また、財団法人河川環境管理財団より研究助成金を受けたことを付記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 建設省河川局砂防部監修：土砂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)，1984年。
- 2) 平野宗夫・疋田 誠・森山聡之：活火山域における土石流の発生限界と流出機構の予測，第30回

水理講演会論文集，pp.181-186，1985。

- 3) 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，Vol.43，No.3(170)，pp.3-8，1990。
- 4) 道上正規：集中豪雨の予知と対策，4-3 土砂災害発生限界雨量，4-3-3 タンクモデル法，文部省科学研究費自然災害特別研究成果，No.A-56-5，1982。
- 5) 財団法人砂防・地すべり技術センター編(監修：建設省河川局砂防部)：総合土砂災害対策検討会における提言及び検討結果，1993.10。
- 6) 高橋 保：土石流の発生と流動に関する研究，京大防災研究所年報，第20号B-2，pp.405-435，1977。
- 7) 芦田和男・高橋 保・沢井健二：土石流危険度の評価法に関する研究，京大防災研究所年報，第21号B-2，pp.423-440，1978。
- 8) 石原安雄・小葉竹重機：洪水流出計算の総合化に関する一考察，京大防災研究所年報，第21号B-2，pp.153-172，1978。
- 9) 池谷浩・他9名：土砂災害防止のための情報システム，社団法人全国治水砂防協会発行，1985。

(投稿受理：平成15年7月28日
訂正稿受理：平成15年10月27日)