

1999年広島豪雨災害資料による 土砂災害発生危険雨量の設定とその実用性

The critical line for sediment disaster warning based on precipitation data in Hiroshima Prefecture in June 1999.

牛山素行¹・大井戸志朗²・寶馨³

USHIYAMA Motoyuki, OHIDO Shiro and TAKARA Kaoru

¹正会員 博(農) 京都大学助手 防災研究所水災害研究部門 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

²正会員 株式会社銭高組 (〒550-0005 大阪市西区西本町2-2-11)

³正会員 工博 京都大学教授 防災研究所水災害研究部門 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

For sediment disasters such as debris flow and land slide by rainwater, the combination of antecedent precipitation and short-term rainfall is often used to define the Critical Line (CL) as a handy technique for judging sediment disaster occurrence and warning for that. This research investigates the relationships between the antecedent rainfall and disaster occurrence with regard to the Hiroshima heavy rainfall disaster in June 1999. Two types of antecedent rainfall are considered: the five-day antecedent rainfall and the antecedent precipitation index (API) defined by the sum of the weighted precipitation intensities. A CL derived for Hiroshima area is: $y = -0.3375x + 46$, where y is the hourly rainfall (mm) when the sediment disaster occurred, and x is the API until one hour before the disaster occurrence. The applicability of this CL is also discussed by using rainfall data around Hiroshima City from 1978 to 1998. The comparison of the forecast by the CL with disaster data (dead or missing persons and ruined or half-ruined houses) has suggested that the forecast of the disaster occurrence came true at the probability of about 44%.

Key Words: critical line, antecedent precipitation index, threat score, sediment disaster, heavy rain disaster in Hiroshima in June 1999

1. はじめに

土砂災害の発生を予測し、警戒避難の判断基準とするための手法については種々の提案がある。その手法は大別すると、降水量指標によるもの、流量・地下水位(タンクモデル等)によるもの、地質・地形等によるものなどがあり、近年はそれらを融合させた手法の検討も進んでいる¹⁾。このうち、もっとも伝統的かつデータ収集や計算の容易な手法は、降水量指標を用いた手法である。近年の降水量観測体制の充実や、インターネットに代表される情報通信技術により、これらの手法のうちのいくつかは、専門家でない個人でも計算・利用することが可能になったと言っている。現代において、容易に入手可能なデータによって土砂災害の発生を予測し、それがどの程度実用性があるかを調べることは、個人や集落等での防災計画や、避難計画を考える際にも有益な情報となるだろう。

本研究では、比較的詳細な土砂災害発生箇所、降水量資料の得られた、1999年6月29日に広島市周辺で発生した豪雨災害を事例とし、従来提案されている方法によって土砂災害発生危険雨量を設定し、広島市周辺地域におけ

る過去の降水量、災害発生資料から、その妥当性を検討した。

2. 調査手法

(1)土砂災害発生危険雨量設定手法

土砂災害発生危険雨量の設定手法としては、建設省河川局砂防課²⁾による、実効雨量と短時間雨量を組み合わせる方法を基本とし、実効雨量の計算方法については、この手法の改良案である矢野³⁾の手法を用いた。実効雨量とは、複数の計算方法があるが、基本的にはいわゆる先行雨量の多少を示すための指標であり、事前に降った降水に何らかの逓減係数をかけた値を積算して求められる。矢野³⁾による算出式は次のとおりである。

$$R_w = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_{1i} \cdot R_{1i} \quad (1)$$

R_w : 実効雨量(mm)

R_{1i} : 時間前の1時間雨量

α_{1i} : i時間前の減少係数

$$\alpha_{it} = 0.5^{iT}$$

T: 半減期(時間)

計算は実効雨量を求める時刻の1時間降水量，すなわち R_0 まで行う。 R_0 の場合減少係数は1となるので， R_0 はそのまま積算することになる。実際に計算する際には，計算をはじめる時刻の実効雨量を0mmとし，その後はそれぞれの時間について次の計算を繰り返せばよい。

$$R_w = R_{w1} \cdot \alpha_1 + R_0 \tag{2}$$

R_{w1} : 1時間前の実効雨量(mm)

R_0 : 最新の1時間雨量

α_1 : 1時間前の減少係数

$$\alpha_1 = 0.5^{1/T}$$

半減期Tは24時間，48時間などがよく使われるが，定説はない。本研究では24時間を用いた。このようにして求めた実効雨量を横軸，実効雨量を計算した時刻の1時間後の1時間降水量を縦軸とした散布図を作成し，図上で土砂災害の発生した際の点とその他の点をよく分離するように引いた直線が，土石流発生危険基準線(Critical Line: CL)となる。

(2)利用資料

1999年災害時の降水量データとしては，地盤工学会作成のCD⁴⁾に収録されたものを用いた。このCDには，広島県内に所在する，気象庁，建設省(当時)，広島県，道路公団，中国電力等の所管観測所の観測値(1999年6月23日～29日)が収録されている。収録データは暫定値であったため，一部筆者が収集したデータによって修正を行った。土砂災害発生場所および発生時刻については，広島県作成の資料⁵⁾によった。

過去の降水量データとしては，気象庁AMeDAS観測所の観測値を用いた。過去の災害資料としては，広島県県民生活部発行の各年版「災害状況」を用いた。

3. 検討結果

(1)土砂災害発生場所の雨量の決定

土砂災害発生場所の雨量としては，各観測所の観測値をそのまま用いることとした。すなわち，当該観測所から一定の距離内(ここでは2km)で土砂災害が発生していれば，その観測所で観測された雨量において土砂災害が発生したとみなした。観測所と土砂災害発生場所の距離については，1km以内，2km以内，3km以内をそれぞれ検討した。土砂災害が斜面で発生するのに対して，観測所は必ずしも斜面沿いにはないこともあり，1km以内に土砂災害が発生した観測所は数ヶ所にとどまった。一方，3km以内とすると，範囲内に複数の観測所が含まれる場合が多くなり，それらの観測所間の積算降水量の差が最大71.5mmにもなった。2km以内とした場合は最大23.5mm

であったので，ここでは2kmとした。

広島県作成の資料⁵⁾には，航空写真から判読した崩壊地の位置を示す地図が収録されている。これらの位置を土砂災害発生位置として，判読範囲内で2km以内で土砂災害の発生している観測所(以下，土砂災害発生観測所)は31ヶ所，非発生の観測所は8ヶ所であった(図-1)。

(2)土石流発生危険基準線の設定

まず比較検討のため，実効雨量より単純な指標として，川原⁶⁾などで用いられている，当日(ここでは6月29日)最大1～12時間雨量と先行5日雨量(ここでは6月24日～28日の積算雨量)の組み合わせと，土砂災害の発生の関係を調べた。代表例として1時間雨量との組み合わせを図-2に示す。この期間の先行5日雨量が地域内で大きく変わらなかったためもあり，いずれの組み合わせも先行5日雨量110～200mm付近にプロットが集中してしまい，土砂災害発生観測所と非発生観測所を区別するような基準線を引くことはできない。

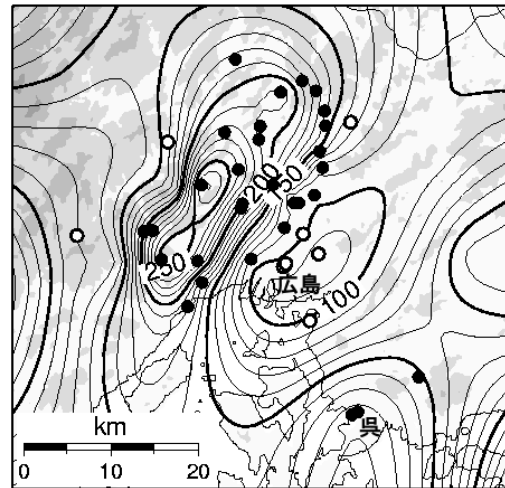


図-1 検討に用いた観測所と総降水量分布(mm)
●:2km以内で土砂災害発生の観測所，○:同非発生

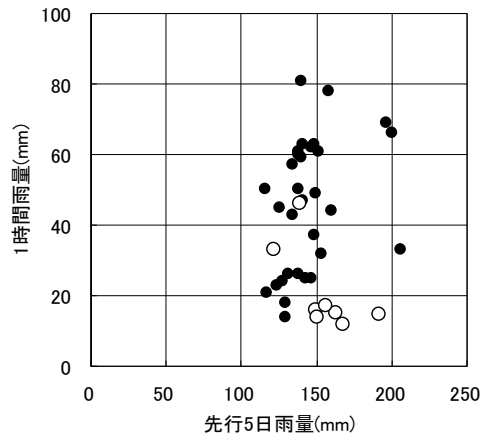


図-2 1時間雨量と先行5日雨量の関係
●: 土砂災害発生観測所，○:土砂災害非発生観測所

次に，調査対象とした観測所の，土砂災害発生時刻の1時間雨量およびその1時間前の実効雨量(非発生観測所の場合は6月29日の最大1時間雨量とその1時間前の実効雨量)の関係を図-3に示す。土砂災害発生観測所のプロットをすべて含むように土石流発生危険基準線(CL)を引くと，図中の点線のようになり，一次式で示すと

$$y = -0.3375x + 46 \quad (3)$$

y:1時間雨量(mm)
x:1時間前の実効雨量(mm)

となる。設定したCLを大きく越えた非発生観測所は，湯来観測所(実効雨量135mm,1時間雨量33mm)，大林観測所(同87mm,46mm)の2点あるが，このうち湯来は，航空写真からの判読範囲の境界部付近にあり，崩壊地が判読されていない可能性もある。その他のCLを大きく越えた観測所付近ではすべて土砂災害が発生しており，今回の事例は降水量の多寡と土砂災害の発生が密接に関係した事例と言えよう。

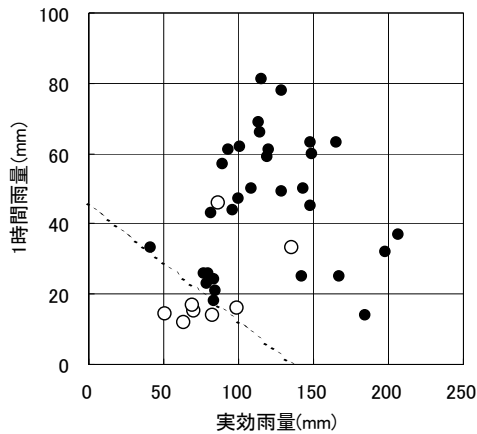


図-3 実効雨量と1時間雨量による土石流発生危険基準線(CL:点線)の設定

●: 土砂災害発生観測所，災害発生時1時間雨量と災害発生1時間前の実効雨量。○:土砂災害非発生観測所，29日の最大1時間雨量とその1時間前の実効雨量

(3)過去の災害時における検証

このようにして求めたCLの妥当性を検証するため，広島市周辺で過去にこのCLを超過した際に，土砂災害が発生しているかどうかを調べた。

調査対象としたのは，データの整備されている気象庁AMeDAS観測所のうち，広島市周辺の可部，広島，呉，佐伯の4観測所(図-4)で，対象期間は1978～1998年(広島のみ1989～1998年)の21年間とした。対象期間の各時間の1時間降水量と，その1時間前の実効雨量を調べ，(3)式で設定されたCLを超過した場合を抽出した。この間の詳細な土砂災害の資料は得られなかったため，広島県県民生活部発行の各年版「災害状況」に収録されている，事例

別・市町村別の被害総括表をもとに，上記4観測所の所在市町において，死者・行方不明者もしくは家屋の全半壊の被害が生じた場合を，「対象観測所の近傍で(土砂)災害が発生した事例」として抽出することとした。抽出結果を表-1に示す。

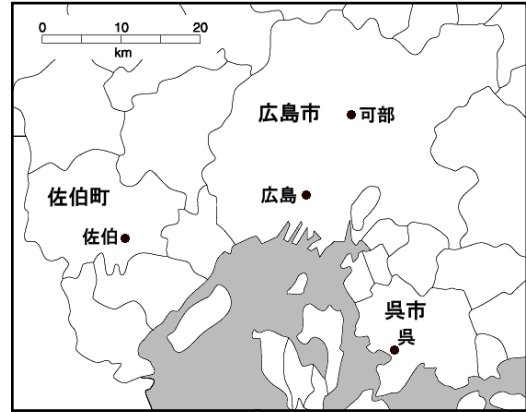


図-4 観測所・市町村位置図

表-1 CLの超過・非超過と災害の発生・非発生

	可部		広島		佐伯		呉	
	発生	非発生	発生	非発生	発生	非発生	発生	非発生
CL超過	16	10	8	3	20	11	9	5
CL非超過	15	—	8	—	2	—	14	—

※広島の詳細期間は1989～1998年

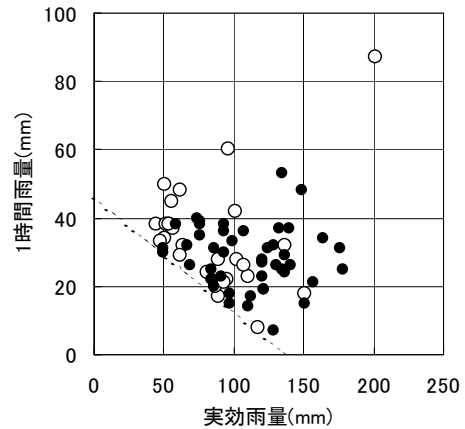


図-5 CL超過時の災害発生状況

●:災害発生，○:災害非発生

表-1において，CL超過・災害発生の場合が，このCLによる(土砂)災害発生予測が「的中」した場合であり，CL超過・災害非発生の場合が「空振り」，CL非超過・災害発生の場合が「見逃し」である。これらの予測精度を総合的に評価するため，次式によりスレットスコアを計算した。

$$T = \frac{A}{A+B+C} \quad (4)$$

T:スレットスコア, A:適中回数

B:見逃し回数, C:空振り回数

観測所ごとのスレットスコアは, 可部0.39, 広島0.42, 佐伯0.61, 呉0.32となった. $T < 1$ であるので, このCLは4観測所平均では44%の確率で, 観測所所在市町村内における(土砂)災害の発生を予測し得たことになる.

全観測所のCL超過時の1時間降水量, 実効雨量を見ると図-5のようになる. CLに近い値の際には災害非発生もよく見られるが, CLを大きく越えている場合は, 災害非発生の例は少なくなっている. 1点飛びぬけてCLを大きく超過しながら災害非発生となっている事例は1987年9月11日の佐伯における観測値で, 人家の少ない地域のごく狭い範囲に豪雨が発生した事例である. 今回の資料および定義では「災害非発生」に分類されているが, 人的被害や家屋の損壊は発生しなかったものの, 小規模な斜面崩壊等は発生したようである⁷⁾.

図-5において, CLから大きく離れるような豪雨が発生した際には, 災害発生の可能性が高いことは注目される. 各観測所について, 1時間降水量と実効雨量の統計値をあらかじめ作成しておけば, 観測された両者の組み合わせがCLの右上の方向に離れるほど, 土砂災害発生の危険性が極めて高いという, 強い警報を出すことができるよう.

4. まとめ

1999年6月広島豪雨災害時の降水量, 土砂災害資料をもとに, 短時間雨量・先行雨量と土砂災害の発生の関係を検討した. 単純な, 1~12時間降水量と先行5日間雨量の散布図からは, 災害発生場所, 非発生場所は明瞭に分離できなかった. しかし, 土砂災害発生時の1時間降水量と, その1時間前の実効雨量(半減期24時間)の散布図からは, 災害発生, 非発生場所を分離することができ, 広島市周辺地域における土石流発生危険基準線(Critical Line: CL)として次式を設定した.

$$y = -0.3375x + 46 \quad (3)$$

y:1時間雨量(mm)

x:1時間前の実効雨量(mm)

(3)式による土砂災害発生予測の精度を確認するため, AMeDAS可部, 広島, 佐伯, 呉の4観測所における1978~1998年の1時間雨量・実効雨量(半減期24時間)を計算し, 同期間の広島市, 呉市, 佐伯町における市町村単位の災害発生記録(死者・行方不明者, もしくは家屋の全・半壊の発生事例)と対照した. その結果, (3)式による土砂災害発生予測は, 各観測所とも4割前後の確率で適中した. ただし, この検証方法では,

- ・災害資料が市町村単位であるため, 災害発生場所の雨量と観測所の雨量が大きく異なっている可能性があること
- ・災害が本当に土砂災害によって発生したものか確認できないこと
- ・災害発生時刻を特定できないこと

などの問題がある. 災害発生場所の確認についてはまだ調査の余地があり, 今後補充調査を行ってみたい.

また, 1時間雨量, 実効雨量の組み合わせの統計値(順位統計等)をあらかじめ作成しておけば, 土砂災害発生に関する強い危険性を警告する指標となり得ることも示唆された.

謝辞:本研究においては, 地盤工学会6月29日豪雨による広島県の斜面災害に関する緊急調査団作成の「6月29日豪雨による広島県の斜面災害に関わる雨量データ(CD)」を大いに活用させていただいた. 貴重な収集データを公開していただいた同学会に, 心より感謝申し上げます.

参考文献

- 1)石川芳治:土石流発生予測の現状と課題, 土砂災害警戒避難システムに関する研究, JSECE Pub., No.28, pp.67-78, 1999
- 2)建設省河川局砂防部: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
- 3)矢野勝太郎:前期降雨の改良による土石流の警戒・避難基準雨量設定手法の研究, 新砂防(砂防学会誌), Vol.43, No.4, pp.3-13, 1990
- 4)地盤工学会6月29日豪雨による広島県の斜面災害に関する緊急調査団:6月29日豪雨による広島県の斜面災害に関わる雨量データ(CD), 1999
- 5)広島県:第3回6.29広島県土砂災害対策検討委員会討議資料, 1999
- 6)川原恵一郎:1999年6月29日の広島県における土砂災害と先行降雨の関係, 第18回日本自然災害学会学術講演概要集, pp.147-148, 1999
- 7)中国新聞:佐伯町で1時間87ミリ, 1987年9月11日夕刊