

(株)エイトコンサルタント 正会員 芦田 悠輔
 山口大学工学部 正会員 篠崎 嗣浩
 山口大学工学部 フェロー会員 古川 浩平

1.はじめに

ソフト対策による警戒避難体制の一つとして、土砂災害警戒情報の運用が始まっている。しかし、予測雨量の精度に誤差があることや、土砂災害の発生を予測するための発生限界雨量線の理解が不十分であること、また避難勧告等の発表において基準が難しいことなどから、タイミングよく住民へ避難を促すことができていないのが現状である。そこで、本論文ではこれらの問題を解消するために、ロジスティック回帰モデルを用いて一般的に理解しやすい確率値という形での災害発生危険度の設定、ならびに予測雨量を用いない、1時間先、2時間先の発生危険度の設定を試みた。また、提案するロジスティック回帰モデルによる発生危険度の予測精度を検証するため、連携案により設定される発生限界雨量線や予測雨量との精度比較を行い、その有効性を確認した。

2.検討手法について

ロジスティック回帰^{1),2)}とはベルヌイ分布に従う変数の統計的回帰モデルの一種で、独立変数が量的、従属変数が質的な変数の場合に用いられる二値変数に対する回帰分析である。本論文では発生、非発生データを与えて、 π を推定し、 π の一般式を算出する。この一般式を用いて、実況の雨量データである、ピーク時刻の時間雨量と土壌雨量指数の説明変数を与えて、災害の発生を確率値 π として算出する。回帰式を以下に示す。

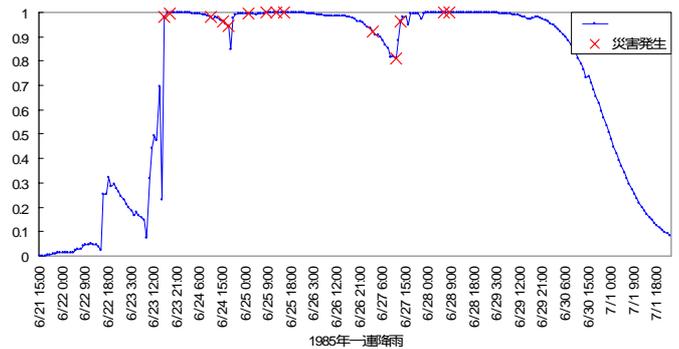


図-1 ロジスティック回帰による確率値の算出

$$\log it = \frac{\exp[\beta_0 + \beta_1 \chi_{amount} + \beta_2 \chi_{soil}]}{1 + \exp[\beta_0 + \beta_1 \chi_{amount} + \beta_2 \chi_{soil}]} = \frac{\exp[-7.5344 - 0.1635 \chi_{amount} + 0.1095 \chi_{soil}]}{1 + \exp[-7.5344 - 0.1635 \chi_{amount} + 0.1095 \chi_{soil}]} = \pi \quad (1)$$

：推定値 π χ : 説明変数 (χ_{amount} : 時間雨量 , χ_{soil} : 土壌雨量指数)

ここで、1985年6月の降雨を例に、時間雨量と土壌雨量指数の2値を回帰式に代入すると図-1に示すような発生確率値が算出され、災害発生確率()の大きいところで災害が多数発生していることが分かる。このことから、ロジスティックによる確率という表現は災害的中に關して非常に有用な資料となることが示された。

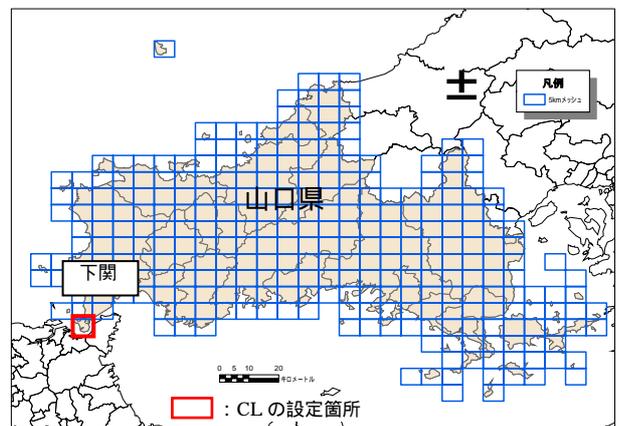


図-2 対象地域

3.使用データ

3.1 降雨データ

表-1 CL の的中率一覧

	閾値 0.1	閾値 0.2	閾値 0.3	閾値 0.4	閾値 0.5	閾値 0.6	閾値 0.7	閾値 0.8	閾値 0.9
発生的中率(%)	46.55	56.90	56.90	65.52	65.52	65.52	81.03	81.03	81.03
非発生的中率(%)	99.07	97.20	96.26	94.39	93.46	92.52	88.79	81.31	75.70
的中率(%)	80.61	83.03	82.42	84.24	83.64	83.03	86.06	81.21	77.58

本研究では山口県のうち、災害データが多く分布する下関市について、降雨データ（アメダスデータ（1976年～2005年）、レーダー・アメダス解析雨量（1991年～2005年）、予測雨量：2004年、2005年半期）を抽出した。対象地域を図-2に示す。またCLの検証に用いる5kmメッシュについては、下関観測所を含むメッシュ（メッシュ番号：33301814）を使用することとする。

3.2 災害データ

本論文において対象とした下関(117件)及びメッシュ番号 33301814(58件)に該当するがけ崩れ、土石流の災害データは山口県災害報告書(1976年～2005年)から収集した。

4. 非線形 CL との比較

4.1 非線形 CL の設定

ロジスティック回帰と比較するためのCLは、レーダー・アメダス解析雨量を用いて非線形CL^{3),4)}を設定した。また閾値の設定は表-1に示すように発生的中率が最大となり、かつ非発生的中率が高い閾値を採用する。つまり今回の検討では閾値0.7を採用とする。また、CLにおける災害の発生タイミングは、スネークラインがCLを超過した後に災害が発生した場合、災害発生的中(対象件数47件)と扱っている。また、スネークラインがCLを超える前に災害が発生した場合と、スネークラインが一度もCLを超えずに災害が発生した場合を災害発生非的中(対象件数11件)と扱っている。

4.2 ロジスティック回帰における発生確率値の設定

ロジスティック回帰とCLでは短期降雨指標に用いるデータが前者は地上雨量観測所のアメダスデータ、後者はレーダー・アメダス解析雨量であり、異なっている。本論文において設定したCLに基準を合わせるためには、ロジスティック回帰にレーダー・アメダス解析雨量のデータを用いて基準を再構築し、同じ条件での比較検討が必要である。構築を行った結果、は0.88という値を得た。この0.88を基に発生的中率を算出する。結果は表-2に示す。

表-2 ロジスティック回帰における的中率

	基準値0.88
発生的中率(%)	82.76
非発生的中率(%)	94.39
的中率(%)	90.30

4.3 的中率比較

ここでの中率の比較を行う。表-1、表-2より非線形CLとロジスティック回帰の発生的中率を比較してみると本論文で設定した非線形CL(閾値0.7)は81%、ロジスティック回帰(0.88)は83%とロジスティック回帰の方が若干上回る数値となった。さらに非発生的中率、的中率を比べると共にロジスティック回帰の方が精度が高い事が分かった。以上のように同じ降雨データを用いてそれぞれ検討した結果、ロジスティック回帰は本論文で設定した非線形CLよりも精度が高くなる手法であるということが分かった。

5. 予測雨量との比較

予測雨量は災害が起こる前にその危険性を知ることや避難準備のための情報提供として運用されているが、精度が低い。これに対し、ロジスティック回帰は実況の雨量データを用いる。

山口県において入手できた予測データは2004年、2005年半期分であった。この予測データを用いて、発生的中率を算出し、予測雨量とロジスティック回帰の精度の比較を行う。計算については、図-3中のA1は災害

発生3時間前の1時間後予測であり、実際の1時間後の雨量もCL内である。A2についても同様である。A3については3時間後予測がCLを超過しており、実際の災害発生時の雨量もCLを突破しているため、Aの予測雨量は的中しているものとして考える。

同様にB1は災害発生1時間前の1時間後予測であり、CLを超過していない。しかし実際の1時間後のスネークはCLを突破していることから、災害発生を捉えていないということになる。このような方法で発生的中率を求めた結果を表-3に示す。表-3より予測雨量の発生的中率は0%であることが分かる。これは図-3のBの予測雨量の線のように、実際は災害が発生しているにも関わらず、予測雨量はCLを超過していないという状況である。一方ロジスティック回帰的中率は発生1時間前は60%、2時間前は80%という結果になった。この検討において発生データが5件しかないという現状ではあるが、ロジスティック回帰はしっかりと発生を捉える事ができていた。結果として、ロジスティック回帰は予測雨量に比べて精度が高いことが確認できた。また、精度に幅のある予測雨量を用いずに、実況の雨量データを用いることで、信頼性が高く実用的であるといえる。

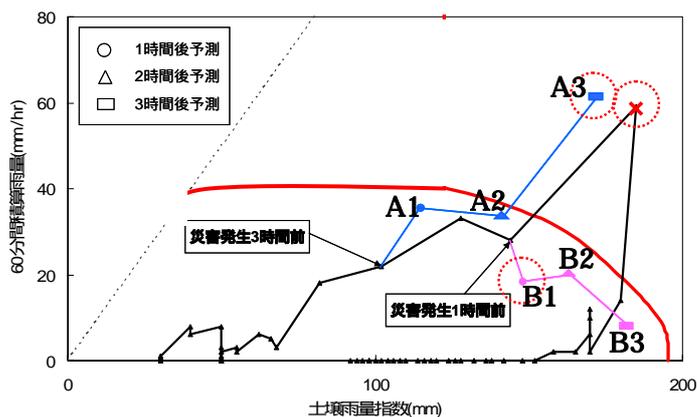


図-3 予測雨量イメージ図

表-3 予測雨量とロジスティック回帰の比較

予測雨量			
年	発生件数	1時間前の予測雨量がCLを超過した件数	2時間前の予測雨量がCLを超過した件数
2004	2	0	0
2005	3	0	0
発生的中率(%)		0	0
ロジスティック回帰			
年	発生件数	1時間前のπが0.67以上の件数	2時間前のπが0.62以上の件数
2004	2	1	2
2005	3	2	2
発生的中率(%)		60	80

6. ロジスティック回帰を用いた提案

非発生データの信頼性を上げると同時に、CL作成時と全く同様の降雨データである一連降雨全て、つまり毎時の全点データを用いて新たな一般式を作成する。一般式を以下に示す。

$$= \frac{\exp[-12.457 + 0.0403\chi_{amount} + 0.0808\chi_{soil}]}{1 + \exp[-12.457 + 0.0403\chi_{amount} + 0.0808\chi_{soil}]} \quad (2)$$

これによって得られるを10%区切りで非線形CLと重ね合わせたものを図-4に示す。的中率の算出方法はスネークラインが閾値を超過しているかで判断する。非線形CLは閾値ごとに、ロジスティック回帰は10%ごとに発生的中率、非発生的中率を算出したものを図-5、図-6に示す。ここでロジスティック回帰と非線形CLの比較を行うにあたり、空振りをできるだけ減らすように非発生的中率を95%と固定し、同じ条件下での発生的中率を比較すると表-4のような結果を得る。

つまり非発生的中率を95%と固定したとき、ロジスティック回帰は非線形CLに比べ発生的中率が10%上

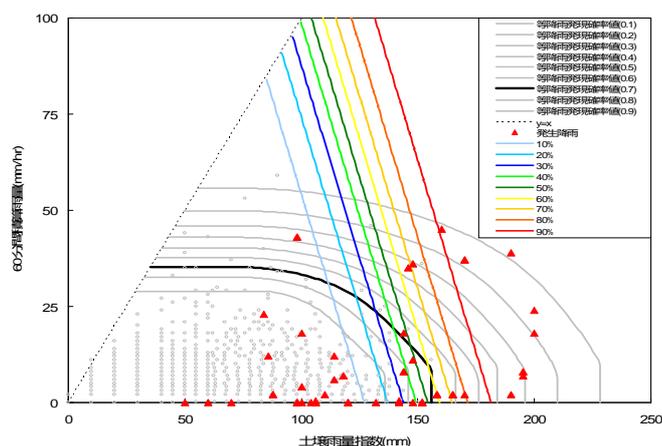


図-4 併用案(全点データ)

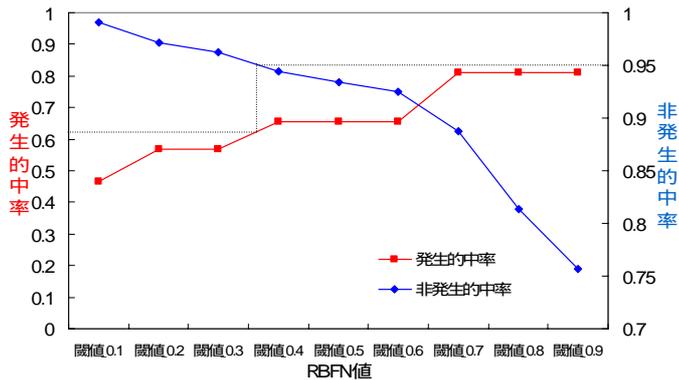


図-5 非線形 CL の的中率

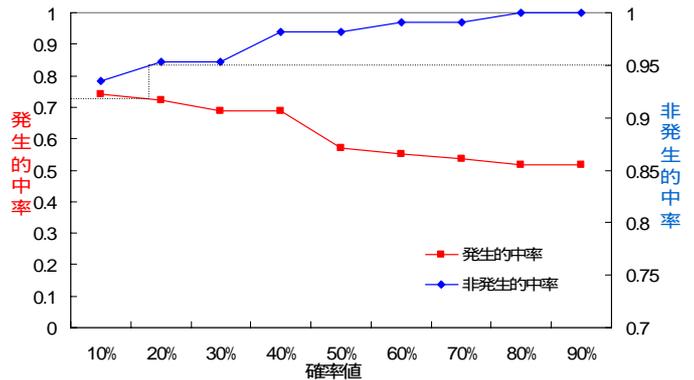


図-6 ロジスティック回帰の的中率

回った。

次に、表-4 より得られた 10%の差がどのような特徴をもつ降雨であったかを確認した。非発生的中率 95%は図-5 より閾値は 0.3~0.4 の間である。同様に、図-6 より確率値は 10%~20%の間である。つまり図-7 に示すようにスネークラインが 10%~20%のラインは超えているが、閾値 0.3~0.4 のラインは超えていない災害をロジスティック回帰は捉えることができた。このことから、同一データを用いて同一の方法で発生的中率、非発生的中率を算出したとき、ロジスティック回帰は本論文で設定した非線形 CL よりも小さい降雨に対する精度が高いということが確認できた。

表-4 的中率比較表

条件: 非発生的中率95%		
発生的中率	ロジスティック回帰	73%
	非線形CL	63%

7.まとめ

- 1) CL との的中率による比較の結果、ロジスティック回帰のほうが 2%ではあるが的中率が高く、精度が高いという事が分かった。
- 2) 予測雨量との比較においては、全く捕捉できていなかった災害を捉えることができた。また、予測雨量を用いずに信頼性の高い実況の降雨のみで解析が可能となり、実用性が増した。
- 3) 現行手法の CL の的中精度を保ちつつ、実際の運用を見据えた形式でロジスティック回帰による確率値を同時に表現することが可能となった。

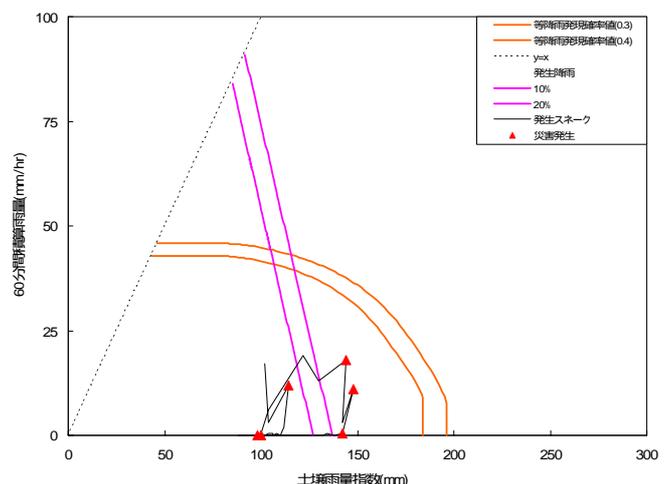


図-7 発生的中率 10%の差となる災害

参考文献

- 1) 土木学会：非集計行動モデルの理論と実際，1995年5月
- 2) 荒木義則，古田 均，前田絵理子，古川浩平：非集計ロジットモデルを用いた鋼斜張橋とPC斜張橋の橋式選択に関する研究，土木学会論文集，No. 498/VI-24，pp. 105-114，1994。
- 3) 国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案)
- 4) 倉本和正，鉄賀博己，東 寛和，荒川雅生，中山弘隆，古川浩平：RBFネットワークを用いた非線形がけ崩れ発生限界雨量線の設定に関する研究，土木学会論文集，No. 672/VI-50，pp. 117-132，2001。