

## 土壌雨量指数\*

岡田 憲治\*<sup>1</sup>・牧原 康隆\*<sup>2</sup>・新保 明彦\*<sup>3</sup>  
永田 和彦\*<sup>4</sup>・国次 雅司\*<sup>5</sup>・斉藤 清\*<sup>6</sup>

気象庁が土砂災害予測の高度化を目指して開発した「土壌雨量指数」について紹介する。

### 1. はじめに

台風や前線の雨は人々の生活に不可欠な水をもたらす。が、一方では、大量に降る雨は、洪水・浸水・土砂災害（山崩れ、がけ崩れ、土石流）等の災害を発生させる危険性も持っている。この災害は、時には人命や財産を奪う被害につながり、社会・経済活動に対して長期間にわたる影響を及ぼすこともある。特に、土砂災害による犠牲者は、自然災害の犠牲者の中で大きな割合を占めている（平成10年防災白書）。

自然災害による死者・行方不明者は昭和30年代後半から著しく減少し、長期的にみれば遞減傾向にある（平成12年防災白書）が、高度経済成長期（昭和42年から昭和51年頃）には人口の都市集中により山裾まで宅地開発が進み、まだ毎年100人以上が土砂災害で亡くなっていた。

最近では、昭和57年長崎豪雨、58年山陰豪雨、平成5年鹿児島豪雨、9年鹿児島県出水市土石流、10年那須豪雨、11年広島豪雨のように、大規模な土砂災害や土砂災害の多発により、一度に多くの方々が犠牲となる事例が目立っている。

このような状況に対し、国は、土石流危険渓流79,318か所、地すべり危険箇所21,059か所、急傾斜地崩壊危険箇所86,651か所、山腹崩壊危険地区105,737か所、崩壊土砂流出危険地区110,812か所（平成10年防災白書）

を指定しハード面での対策工事を施しているが、最も進んでいる地すべり危険箇所の対策でも進捗率は50%、土石流危険渓流や急傾斜地崩壊危険箇所の進捗率は25%程度である。全国的には最大傾斜度15°以上の地域の人口は減少しつつあるが、土地開発による人工的な斜面増加により政令指定都市ではこれら地域の人口が増加している（平成12年防災白書）。さらに、土砂災害は、これらの指定地区以外でも多く発生しており、ハード面での防災対策だけでは災害を食い止めきれないのが実状である。

そのため、平成9年出水市土石流発生後、危険地区に住む住民に対して、ダイレクトメール、公共施設での閲覧、広報誌による周知等で、危険箇所を知らせる等のソフト面での防災対策（情報の伝達）も開始されている（もちろん、気象庁が発表している大雨注意報・警報は、ソフト面での防災対策である）。

一方、昭和57年の長崎豪雨、昭和58年の山陰豪雨等の甚大な土砂災害発生を受けて、昭和59年に内閣総理大臣の指示により、国土庁、建設省、農林水産省、気象庁等、災害対策を所掌する省庁（当時）により土砂災害対策推進連絡会議が開催され、昭和63年3月の中央防災会議（議長：内閣総理大臣）において「土砂災害対策推進要綱」及び土砂災害対策推進連絡会議の申し合わせ「土砂災害対策の総合的な推進について」がとりまとめられた。気象庁に関連する事項は以下の通りである。括弧内は、同連絡会議の「申し合わせ」（平成6年4月見直し）で確認された特に重点的に推進すべき具体的な事項である。

- ・土砂災害に係る観測・予警報体制の整備

### 【時間的・地域的に細分化した大雨予報の精度向上】

（注：これは、レーダー・アメダス解析雨量<sup>†1</sup>、降

†1 レーダー・アメダス解析雨量：災害をもたらすような雨は局地的であり、アメダス等の地上雨量計観測網で必ずキャッチ出来るとは限らない。気象庁では、局地

\* Soil Water Index (SWI)

\*<sup>1</sup> Kenji Okada, 気象庁予報課。

\*<sup>2</sup> Yasutaka Makihara, 仙台管区気象台。

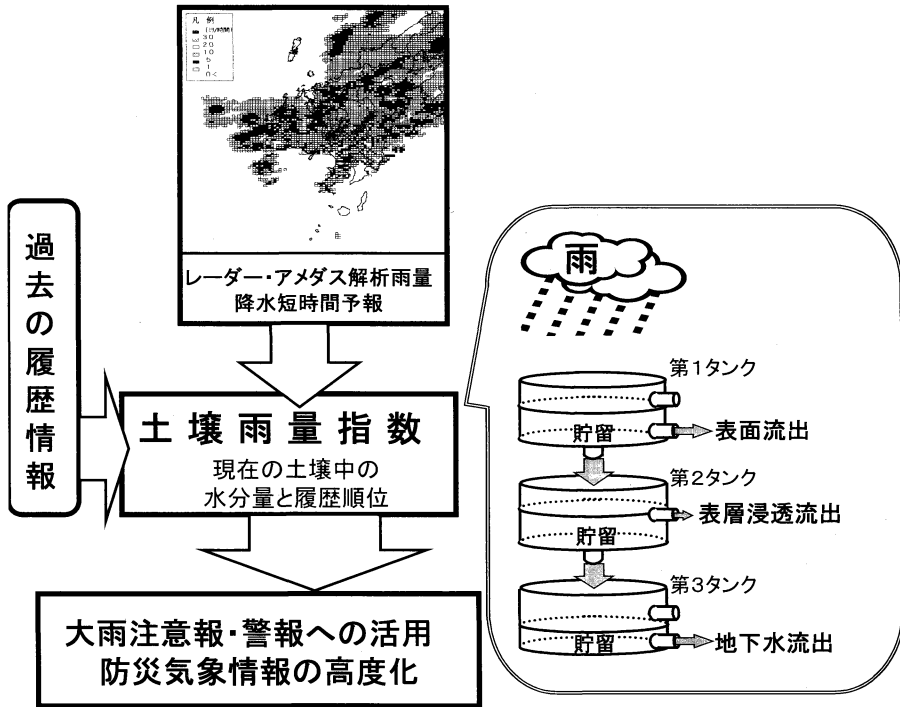
\*<sup>3</sup> Akihiko Shimpo, 気象庁気候情報課

\*<sup>4</sup> Kazuhiko Nagata, 気象庁予報課。

\*<sup>5</sup> Masashi Kunitsugu, 気象庁予報課。

\*<sup>6</sup> Kiyoshi Saitoh, 気象庁予報課。

© 2001 日本気象学会



第1図 土壤雨量指数の概念.

水短時間予報<sup>(注)</sup>として既に実用化している)

- ・土砂災害に関する研究開発・調査の推進

【先行降雨等を考慮した土砂災害の発生予測に有効な大雨予警報技術の開発・実用化】

このアンダーライン部に対して気象庁が取り組んでいるのが土壤雨量指数(概念は図1)の開発である。

## 2. 土壤雨量指数の概念

土砂災害のうち、山崩れ・がけ崩れの発生危険性は、降った雨が土壌中の水分として貯まっている量(土壌水分量)が多いほど高いことが知られている。また、雨が終わった直後も危険性が高いことも経験的に知られている。

しかし、現行の大雨注意報・警報は、過去1、3、24時間の雨量のどれかが予め定めた基準に達すると予測される場合に発表するため、梅雨期のように何日も前に降った雨(先行降雨)により地盤が緩んでいる場合にわずかの雨で発生したり、降雨終了後に発生する山崩れ・がけ崩れ等に対しては的確なタイミングでの発表・解除が困難な場合もある。また、土砂災害に対する危険の度合いを定量的に表現することも困難である。

気象庁では、前述の土砂災害対策推進要綱に沿って大雨予警報技術の開発を進めており、平成4年には過去10年間に全国で発生したがけ崩れを対象に、土砂災害が発生した市町村に最も近いアメダス雨量値を用い

的な雨を見逃さない気象レーダーと正確な地上雨量を観測するアメダスの長所を組み合わせ、局地的な雨も見逃さずに面的な雨量を算出するレーダー・アメダス解析雨量を開発し平成3年から運用しており、記録的短時間大雨情報の発表にも用いられている。緯度(南北)方向1°を20等分、経度(東西)方向1°を16等分した約5km格子毎に1時間毎の雨量を算出していたが、平成13年度から、これをさらに4分割した約2.5km格子単位での雨量の算出をしている。精度に

ついては、気象庁予報部予報課(1995)を参照していただきたい。過去のデータは、(財)気象業務支援センターで入手可能である。

†2 降水短時間予報：レーダー・アメダス解析雨量を用いて、3時間先までの1時間毎の雨量を5km格子毎に予測していたが、平成13年度から、数値予報の成果を取り込んで予測精度を高め、予測時間を6時間先まで延長している。

て、積算雨量、実効雨量、タンクモデル<sup>(13)</sup>の3者を比較し、全国的にタンクモデルが最も土砂災害との対応が良いことを見いだした(牧原, 平沢1993)。

その後、山崩れ・がけ崩れの予測精度をさらに向上させるために、アメダスの代わりに「レーダー・アメダス解析雨量」や「降水短時間予報」を組み合わせた「土壌雨量指数」を開発した。

なお、土壌雨量指数に用いている解析雨量が5km格子単位の情報であるため、土壌雨量指数も面的にこれ以上細かい情報を出すことは出来ない。そのため、個々の崖の危険性を示すものではないことに注意が必要である。

計算手法は、付録を参照してほしい。

土壌雨量指数は降雨による地盤の緩みの度合いを表しており、指数値が高いほど山崩れ・がけ崩れの発生危険性は高くなる。しかし、同じような高い指数値が出現した場合、普段から雨が多い地域よりも雨が少ない地域の方の発生危険性が高い。例えば、同一府県内で同じ指数値が出現しても、山間部では発生しにくく平野部では発生しやすいといった地域差があり、指数値だけで危険性を判断することは困難である。また、指数値の大小だけで2地点の危険性を比較することは無意味どころか、周辺よりも小さな指数値に安心してしまおうという危険性さえある。

そこで、土壌雨量指数に履歴順位という概念を導入した。これは、指数値の絶対値で危険性の大小を示す

ものではなく、その場所での過去の雨による指数値と比較して、現在雨による指数値が過去何番目の高さに相当するかというような相対的な順位で危険性の大小を示すものである。そのため、過去最も大きかった値を更新した場合、その値が新たに履歴1位となり、それまでの1位は2位となる。比較しているのは、平成3年からその年の3月末までの指数値である。

### 3. 土壌雨量指数の統計的精度

平成10年に、全国の気象台が平成3年から9年の間に全国で発生した約5万4千件の土砂災害事例を収集し、気象庁予報課ではその事例を用いて同期間の履歴順位の有効性を統計的に検証した。

履歴1位が出現した場合に必ず土砂災害が発生するとは限らないが、履歴順位が高位であるほど土砂災害の発生数は多く、約6割の土砂災害がその市町村で履歴1位の雨により発生しており、履歴1位の雨が出現した市町村の77%で土砂災害が発生している等、全国的に履歴順位と土砂災害発生との関係の深さが見出された。

例えば、東京都(23区、多摩東部、多摩西部)では、がけ崩れの9割は同じ区市町村内で履歴第3位以内(1位から3位)の指数値が出現した雨で発生していることが判明した(第2図)。一方、道路損壊はがけ崩れよりも低い指数値で発生することも判った。これは、自然斜面よりも人工斜面の方が雨に弱いことを示して

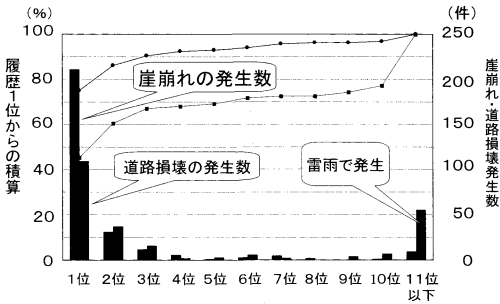
<sup>13</sup> タンクモデル：河川の水位予測(流出解析)のために、国立防災科学技術センター(現：文部科学省防災科学技術研究所)で開発されたモデル(原理は菅原(1972)に紹介されている)。ある流域に降った雨が時間的遅延をもって川に流れ込む状況を、雨量(入力値)と川の流量(出力値)の関数で表現している。降った雨から地面を流れたり地下水となって川へ流れ込んだ雨を引けば、土壌中(タンク)に残っている雨となる(第1図)ことから、昭和50年頃から土砂災害の分野でも用いられている。昭和58年の山陰豪雨では、浜田測候所(鳥根県浜田市)のアメダス雨量計から算出したタンクモデルの値の大きさと、近傍で発生した200か所以上のがけ崩れの発生時刻との対応が良いことが京都大学防災研究所(柴田他1984)により報告されている。

災害を起こすような大雨は局地的なことが多いことから、災害現場から離れた雨量計を用いる解析が適切さを欠くことは明らかだが、実際には大雨が発生原因であっても、災害現場から離れた雨量計の値を使った

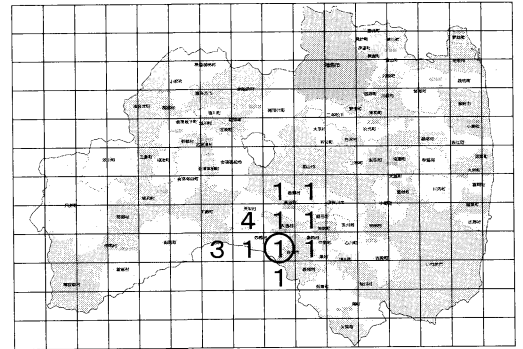
ため、弱い雨で発生したとか、原因が特定出来ない等の解析が行われた事例が少なくない。レーダー・アメダス解析雨量を用いることにより、タンクモデルの有効性が再認識されたとも言える。

タンクモデルには、流出孔の位置や段数に様々なバリエーションが存在するが、現在、土壌雨量指数にはIshihara and Kobatake (1979)の3段直列のタンクモデルを用いている。どのような観測機器で水分量を観測しているのかとか、観測機器をアメダスのそばに埋めているのか等の質問を受けることがあるが、あくまで仮想的なモデルであって実測している訳ではない。

Ishihara and Kobatake (1979)の3段直列タンクモデルのパラメータは地質の違いにより5種類あり、土壌雨量指数の値はそれぞれ異なる。しかし、値が異なるものの雨により履歴順位が入れ替わることは少ないため、現在は花崗岩を多く含む地層のパラメータを全国一律に採用している(付録参照)。



第2図 東京都の区市町村毎のかけ崩れ・道路損壊と履歴順位の関係。



1998(平成10)年8月27日5時

第3図 那須豪雨時の10 km 格子での履歴順位の分布(8月27日5時). ○印は西郷村を含む格子を示す.

いる。

ただし、東京都のように過去の土砂災害記録が保存されていた自治体では土壌雨量指数の有効性が確認できたが、保存が十分ではない自治体では土壌雨量指数の精度が芳しくなかった。このため、再度過去の土砂災害の掘り起こしに取り組んでいる。

また、最近3年間に死者が発生した土砂災害について分析した結果からは、土木工事現場や落石を除くと、死者数の93% (88人中82人) が履歴1位 (平成3年以来最も地盤が緩んでいた状況) の雨で発生している。逆に工事現場で発生した土砂災害は、すべてが履歴11位以下の雨で発生しており、履歴順位に明確な差が出ている。

一方、第2タンク (第1図の真ん中のタンク) の値がピークを過ぎると土砂災害の発生が激減することが判った。例えば、昭和58年山陰豪雨で島根県浜田市周辺で発生したがけ崩れ211件のうちピーク後の発生は5件であった。また、平成10年梅雨期では108件のうちピーク後の発生は13件で、平均してピーク後13時間以上して発生している。これら13件は雨が止んでからかなりの時間が経過して発生していることから、大雨注警報の対象とすることが困難と考えられる事例である。

通常、雨が弱まるか止んだ前後に指数値のピーク (最も大量の雨が土壤中に貯まっている状態) となり、その後数時間後に第2タンクのピークとなる。第2タンクのピーク直前に深い層から崩壊する大規模な土砂災害が多いことは、経験的に知られている通りである。

しかし、広島豪雨では、ほとんどの事例が第2タンクのピークでなく指数値のピークで発生した。広島豪雨は比較的もろい地層のマサ土地帯で発生しており、

例外的なのかも知れない。

第2タンクのピークは大雨警報の解除のタイミングとして使える可能性が大きいですが、地域ごとの特性を見極める必要がある。

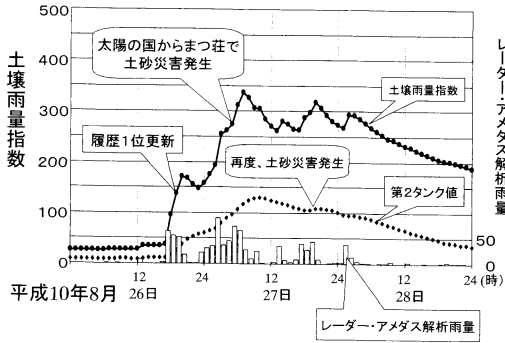
#### 4. 土壌雨量指数の具体例

平成10年の那須豪雨、11年の広島豪雨の土砂災害事例を示す。なお、引用した災害は、新聞記事で発生時刻、発生地点が明示された事例のみであることに注意していただきたい。現在は、発生地点、発生時刻を入力する手段の大部分が新聞記事であり、そのため人災や大規模な土砂災害等、一部の災害事例しか詳細な解析を実施することが出来ないのが現状である。

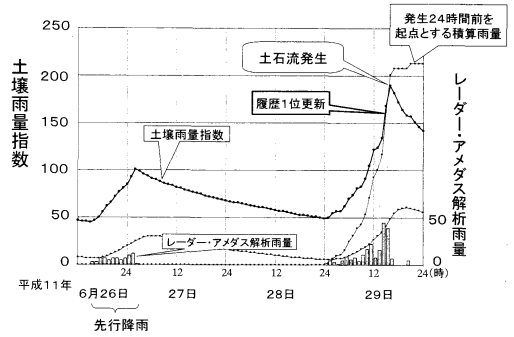
##### 4.1 那須豪雨

平成10年8月27日、福島県白河市と隣接する西郷村、大信村等で土砂災害が多発し、西郷村では8月27日4時から5時にかけて土砂災害が集中的に発生した。第3図は、4個の5 km 格子毎に平成3年1月から平成10年3月までの雨と比較して、その中で最も高い履歴順位を10 km 格子の代表値として10位まで示している。第3図を見ると、福島県南部の極めて狭い領域が危険だったことがわかる。

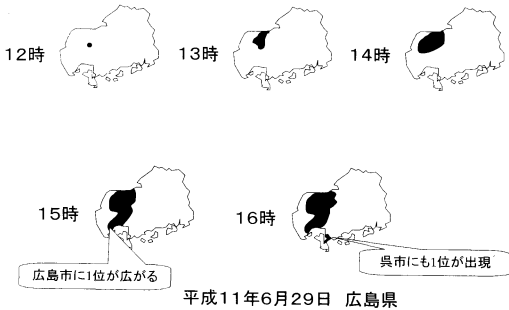
第4図は、西郷村におけるレーダー・アメダス解析雨量、土壌雨量指数及び第2タンク値の時系列を示したものである。26日18時には履歴10位近くまで指数値が高まり、19時には履歴1位を更新し、過去8年間で最も危険な状態となった。その後21時から23時まで雨は小降りとなったが、第2タンク値は上昇を続けており、小降りになっても危険な状態が継続中であつたと



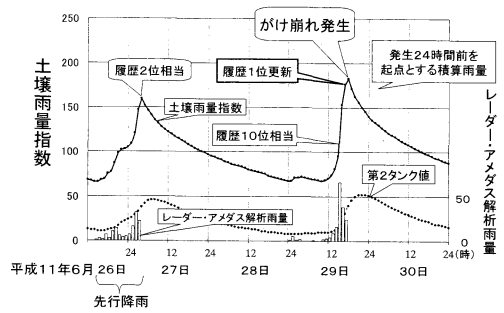
第4図 福島県西郷村の土壌雨量指数時系列.



第6図 広島市安佐北区亀山の土壌雨量指数時系列.



第5図 広島豪雨での履歴1位の広がり.



第7図 呉市清水の土壌雨量指数時系列.

考えられる.

災害が発生した27日5時以降も指数値は上昇を続け、7時には指数値が過去履歴1位のほぼ倍まで上昇したが、27日12時には第2タンク値が下降に転じ、危険な状態を脱したように見えた。しかし雨は、17時から20時にかけて再び強くなって第2タンク値が上昇に転じ、この頃西郷村付近で再度がけ崩れが複数発生した。

#### 4.2 広島豪雨

平成11年6月24日から7月3日にかけて、全国36の都道府県で、がけ崩れが504か所、土石流が205か所で発生した。特に6月29日は、福岡県から長野県にかけての広範囲で大雨となり、各地で土砂災害が多発した。中でも、広島県では、広島市及び呉市を中心に、がけ崩れ(186か所)や土石流(139か所)が多発し、24人の方が亡くなった(災害件数及び死者数は建設省調べ)。

この事例での履歴順位は、平成3年1月から平成11年3月末までの雨と比較した順位である。

##### 4.2.1 履歴1位の広がり

広島県で履歴順位1位を更新した領域の時間推移を

第5図に示す。広島県では6月29日には午前10時20分に大雨警報が発表されている。12時以降次第に1位の領域は広がり15時には広島市の西部、16時には呉市付近も1位を更新した。広島市や呉市周辺では、16時から18時にかけて土砂災害が集中的に発生していた。

##### 4.2.2 土砂災害事例の検証

第6図に、広島市安佐北区亀山(6人が生き埋め内、4人死亡)を含む5km格子のレーダー・アメダス解析雨量、土壌雨量指数及び第2タンク値の時系列を示す。6月26日に降った雨の影響が29日の降り始めでも指数値50と高く残っており、先行降雨により地盤が緩んでいたと考えられる。そこへ雨が降り、15時前に履歴1位を更新し、土壌雨量指数のピークで土石流が発生した。

広島市内で死者が発生した他の地点でも、安佐北区の事例と同様に履歴1位を更新した後、土壌雨量指数のピークで災害が発生していた。

第7図に呉市清水(死者1人)を含む5km格子の土壌雨量指数時系列を示す。2日前の先行降雨の影響が広島市安佐北区の例よりも大きく残っている。この事例でも履歴1位更新後のピークで災害が発生している。

平成12年09月11日 20時00分 名古屋地方気象台発表

西部に大雨・洪水警報発表中



名古屋市では任意の1時間(18時06分～19時06分)に97ミリ(観測史上第1位)の猛烈な雨を観測

第8図 愛知県気象情報

5. 平成12年7月からの土壌雨量指数を用いた大雨警報の切替え

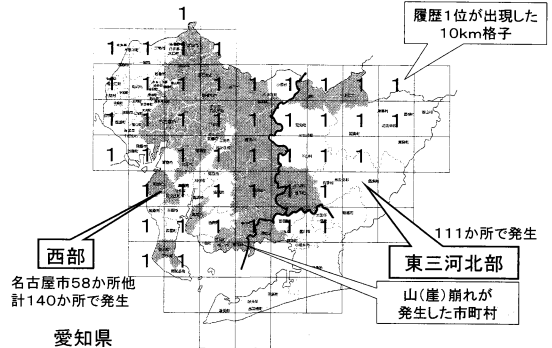
大規模な土砂災害が発生した場合には履歴1位が広範囲に出現していることが多いことから、気象庁は平成12年7月1日から、「土壌雨量指数」や気象状況から総合的に判断して、履歴1位が広範囲に出現して重大な土砂災害の危険性が高まった場合には、大雨警報を切替えて、警報の見出しや本文の中で、「過去数年間で最も土砂災害の危険性が高まっている」または「平成〇年台風第△号以来で最も土砂災害の危険性が高まっている」という表現(キーワード)を用いて、土砂災害に対するより一層の警戒を呼びかけている。

また、このような一層の警戒を呼びかける範囲が、大雨警報の対象区域(二次細分区域)よりも狭い範囲で特定できる場合には、見出しや本文の中で、例えば「〇〇市、△△町付近では、」のように、区域を絞って土砂災害に関する警戒を呼びかけている。

5.1 東海豪雨での大雨警報の切替え

平成12年9月11日から12日にかけて東海地方を中心とした大雨では、大雨警報を発表した25府県のうち8県の地方気象台(名古屋、津、岐阜、長野、静岡、甲府、前橋、宇都宮)で土壌雨量指数を活用した大雨警報の切替えを実施した。

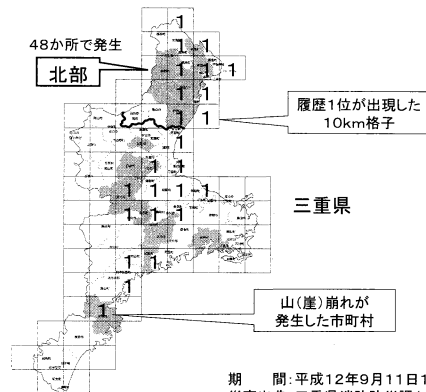
この大雨では全国で440件(警察庁集計)の山崩れ・がけ崩れが発生したが、内415件がこの8県内で発生していた。津地方気象台では11日15時35分、名古屋地方気象台は18時35分に土壌雨量指数を活用した大雨警報の切替えを実施した。第8図は名古屋地方気象台が緊急防災情報提供装置により発表した図による気象情報である。第9図は愛知県、第10図は三重県で履歴1位の格子と山崩れ・がけ崩れが発生した市町村を示しており、両者には良い対応が見られる。



愛知県

期間:平成12年9月11日12時～12日12時  
災害出典:発生市町村は、愛知県消防防災課(12月14日現在)及び新聞報道、件数は消防防災課

第9図 履歴1位が出現した格子と山(崖)崩れ発生市町村(愛知県)。



期間:平成12年9月11日12時～12日12時  
災害出典:三重県消防防災課(9月13日現在)

第10図 履歴1位が出現した格子と山(崖)崩れ発生市町村(三重県)。

一方では、平坦地では履歴1位が出現しても土砂災害の発生可能性は小さいという問題がある。第9図では名古屋市の西部、第10図では松坂市付近が該当する。このため、過去にまで遡って土砂災害の有無を確認した上で、土砂災害の発生可能性が小さければ、区域の絞り込みの際に除外することも検討している。

6. 融雪

前述の平成2年の調査ではタンクモデルの精度が最も良かったが、例えば新潟県では3月～4月の融雪期に年間の土砂災害の半数が発生しており、融雪も考慮しなければ土砂災害への対応は十分とは言えない。

このため、平成13年度からはアメダスの気温や積雪深計のデータとメッシュ統計値(積雪深)をもとに、

各5km格子毎の毎時刻の融雪量を算出し、解析雨量と一緒に土壌雨量指数に含む予定である。

現時点までの検証では、融雪期に上位の履歴順位(融雪も含んだ履歴順位)が出現した格子で土砂災害が多発した事例が確認されている。

7. まとめ

多くの事例検証により、土壌雨量指数が概ね下記の可能性を持っていることが確認出来た。

- ① 先行降雨による地盤のゆるみを定量的に把握出来るため、適切なタイミングで土砂災害の危険度を発表できる。
- ② 履歴順位が高いほど土砂災害発生の危険度(発生数、規模)が高いことから、土砂災害発生の危険度が高い市町村名や危険度を発表できる。
- ③ 降雨終了時に、その後の危険な時間帯を発表できる。

しかし、土壌雨量指数は土砂災害の危険度をポテンシャルとして示す情報であり、実際には高い履歴順位が出現しても土砂災害の発生が確認されない場合や、履歴順位外で発生する場合もあり、中には無降水期間に発生している場合もある。このため、各地の气象台では、土壌雨量指数を用いた土砂災害の地域特性の分析・解明を行い防災気象情報への活用を目指している。

付録：タンクモデルの構成と計算法

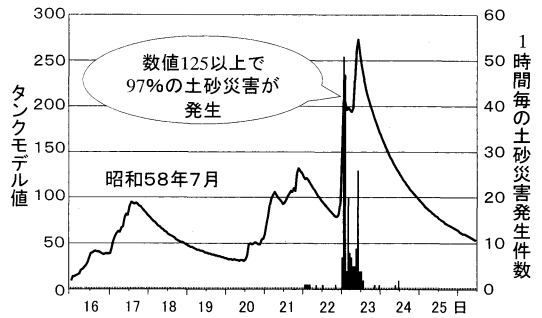
(1) タンクモデルの構成

用いている3段直列タンクモデルは、上から第1タンク、第2タンク、第3タンクと呼び、それぞれの底面の孔(浸透孔)からの流出は、表面流出、表層浸透流出、地下水流出(第1図では、地下水流出を説明するために第3タンクのみ浸透孔を横孔に変更している)に相当している。また、それぞれのタンクには横孔(流出孔)がある(例えば、第1タンクの横孔は豪雨時に地表を流れる雨に相当する)

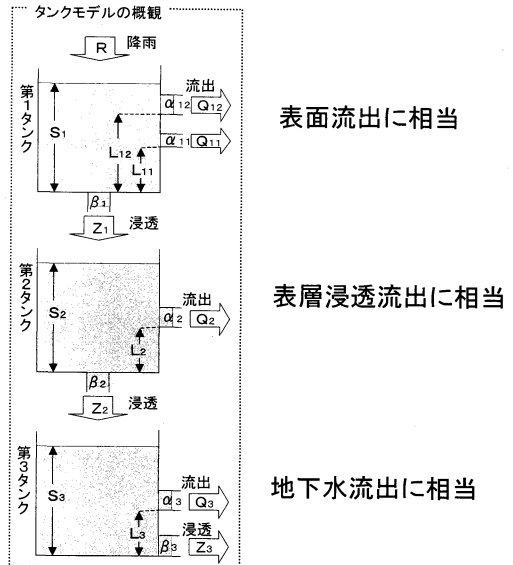
降水は、時間の経過と共に上から下のタンクへ移動し、時間当たりの移動量はタンク内の貯留量(水深)に比例する。また、豪雨時には横孔からも流出する(弱い雨はすべて浸透すると考えてもよい)。

線形である実効雨量と違い、タンクモデルは貯留量に比例するため非線形である。詳細な特性等は、菅原ほか(1986)を参照されたい。

第11図は、柴田他(1984)から再現した昭和58年山陰豪雨での島根県浜田測候所の雨量で計算した土壌雨量



第11図 京都大学防災研究所により確認されたタンクモデルの精度(昭和58年山陰豪雨時の浜田測候所の雨量から算出したタンクモデル値と、周辺で発生した土砂災害)。



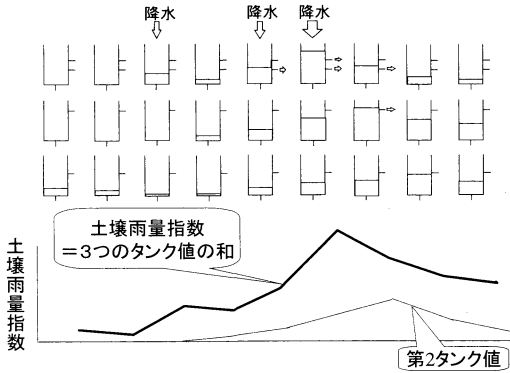
第12図 タンクモデルの各パラメータ。

量指数(折れ線グラフ)と、周辺の土砂災害発生日数(棒グラフ)の関係である。指数値が125以上で災害の97%が発生しており良い相関がある。

しかし、このように発生現場と雨量計が近接している事例とは限らず、発生現場から10kmも20kmも離れた雨量計を用いたため、雨が弱いのに発生したとか、発生原因不明等、タンクモデルの有効性を否定する検証結果も多かった(脚注参照)。

(2) 計算法

ある時刻をt、これからΔtだけ経過した時刻をt+Δtとすると、タンクモデルの各量は以下の式となる



第13図 3つのタンクに貯留する雨量の時間経過。

(第12図)。また、3つのタンクの推移を時系列的に示したものが第13図である。

●各タンクからの流出量  $Q$

$$Q_{11}(t) = \alpha_{11} \times [S_1(t) - L_{11}] \quad (S_1(t) > L_{11} \text{の時}) \\ = 0 \quad (S_1(t) \leq L_{11} \text{の時})$$

$$Q_{12}(t) = \alpha_{12} \times [S_1(t) - L_{12}] \quad (S_1(t) > L_{12} \text{の時}) \\ = 0 \quad (S_1(t) \leq L_{12} \text{の時})$$

$$Q_2(t) = \alpha_2 \times [S_2(t) - L_2] \quad (S_2(t) > L_2 \text{の時}) \\ = 0 \quad (S_2(t) \leq L_2 \text{の時})$$

$$Q_3(t) = \alpha_3 \times [S_3(t) - L_3] \quad (S_3(t) > L_3 \text{の時}) \\ = 0 \quad (S_3(t) \leq L_3 \text{の時})$$

●各タンクからの浸透量  $Z$

$$Z_1(t) = \beta_1 \times S_1(t)$$

$$Z_2(t) = \beta_2 \times S_2(t)$$

$$Z_3(t) = \beta_3 \times S_3(t)$$

●各タンク内の貯留量  $S$

$$S_1(t+\Delta t) = S_1(t) - [Q_{11}(t) + Q_{12}(t) + Z_1(t)] + R(\Delta t)$$

$$S_2(t+\Delta t) = S_2(t) - [Q_2(t) + Z_2(t)] + Z_1(\Delta t)$$

$$S_3(t+\Delta t) = S_3(t) - [Q_3(t) + Z_3(t)] + Z_2(\Delta t)$$

●パラメータ

$$L_{11}=15 \quad L_{12}=60 \quad L_2=15 \quad L_3=15 \quad (\text{mm})$$

$$\alpha_{11}=0.10 \quad \alpha_{12}=0.15 \quad \alpha_2=0.05 \quad \alpha_3=0.01 \\ (1/\text{時})$$

$$\beta_1=0.12 \quad \beta_2=0.05 \quad \beta_3=0.01 \quad (1/\text{時})$$

●計算上の注意

- (1) 貯留量の和  $[S_1(t+\Delta t) + S_2(t+\Delta t) + S_3(t+\Delta t)]$  を土壌雨量指数としている。
- (2) 指数という意味から単位は付けていないが、ミ

リ相当と考えて構わない。

- (3)  $\Delta t$  は20分とし、1時間の雨量を3等分して入力する。
- (4) 定常状態（先行降雨が第3タンクから流出）を再現するためには最低2週間遡って計算を開始することが必要。

参考文献

- Ishihara, Y. and S. Kobatake, 1979: Runoff model for flood forecasting. Bull. Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto Univ. 29, 27-43.
- 岡田憲治, 1999: 「土壌雨量指数」の開発 土砂災害軽減に向けた取り組み, 気象, No. 506, 4-7.
- 岡田憲治, 2000: 土壌雨量指数から見た豪雨の特徴, 「平成10年 新潟, 栃木・福島, 高知の豪雨」, 気象庁技術報告(121)号, 164-170.
- 岡田憲治, 2000: 「土壌雨量指数」の開発 土砂災害軽減に向けた取り組み, 気象年鑑, 大蔵省印刷局.
- 岡田憲治, 2000: 土壌雨量指数開発の現状, 気象, No. 521, 36-41.
- 岡田憲治, 2000: 土砂災害の軽減に向けた「土壌雨量指数」の開発, 消防科学と情報60, 22-28 [http://www.isad.or.jp/magzin/60\\_kishou.htm](http://www.isad.or.jp/magzin/60_kishou.htm)
- 牧原康隆, 平沢正信, 1993: 斜面崩壊危険度予測におけるタンクモデルの精度, 研究時報45, 35-70.
- 道上正規, 1982: タンクモデル法 集中豪雨の予知と対策, 文部省科学研究費自然災害特別研究成果, 63-66.
- 道上正規, 檜谷 治, 1990: タンクモデルによる崩壊発生時刻の予測 豪雨による土砂崩壊の予測に関する研究, 文部省科学研究費重点領域研究「自然災害の予測と防災力」研究成果, 94-96.
- 柴田 徹, 清水正喜, 八嶋 厚, 三村 衛, 1984: 浜田市の土砂災害の実態と中場崩壊地の土質特性 昭58年7月山陰豪雨災害の調査研究, 文部省科学研究費自然災害特別研究突発災害研究成果, 38-49.
- 菅原正巳, 1972: 流出解析法 水文学講座7, 共立出版.
- 菅原正巳他, 1986: パーソナル・コンピュータのためのタンク・モデル・プログラムとその使い方, 国立防災科学技術センター研究報告37.
- 予報部予報課, 1995: レーダー・アメダス解析雨量の解析手法と精度, 測候時報62-6, 306-318.
- 予報部予報課, 1988: 洪水・土砂災害の予測技術 測候時報, 55, 201-217.
- 国土庁, 1998: 平成10年度版防災白書, 127-149.
- 国土庁, 2000: 平成12年度版防災白書, 279-280.