

土砂災害警戒避難のための線状降水帯等の自動抽出システムの開発

野村康裕・神山嬢子・野呂智之

1. はじめに

平成 29 年九州北部豪雨、平成 26 年広島での豪雨など、近年、線状降水帯等の集中豪雨による土砂災害が頻発している。風上で発生した積乱雲が次々と流れ込むバックビルディング型の線状降水帯等が形成されると、強雨域が数時間にわたって停滞するため甚大な被害をもたらすことが多い。また、これら豪雨は台風等の降雨と異なり数値予報により量・場所・時間について正確に予測を行うのは困難であるのが現状である。土砂災害への警戒情報としては地方気象台と都道府県が共同で発表する土砂災害警戒情報がある。これは各地域の過去の災害を踏まえ設定した雨量基準を用い災害捕捉率がよく有用な情報であるが、線状降水帯のような局所的な集中豪雨の際は発表から災害発生までのリードタイムの確保が難しい。そのため、國友ら(2016)¹⁾、村田ら(2017)²⁾は気象庁数値予報 GPV を用いて、豪雨発生危険度を事前に評価する手法(豪雨ポテンシャル)について検討を行うとともに線状降水帯等に伴う集中豪雨の自動抽出手法の検討を行った。

本稿ではこれらの検討結果を踏まえ防災担当者に迅速な情報提供が出来るよう線状降水帯等の自動抽出システム(プロトタイプシステム)を開発し、平成 30 年 7 月豪雨等の近年土砂災害を発生させた豪雨に適用したのでその結果について報告する。また、本システムに実装されている線状降水帯抽出と同様のアルゴリズムを適用し国土交通省 X バンド MP レーダの 3 次元降雨データを用いた線状降水帯等の自動抽出手法についても検討を行った。その結果についても併せて報告したい。

2. 環境パラメータでの豪雨ポテンシャル評価

大気的不安定度合や水蒸気量に関する指標を組み合わせて豪雨ポテンシャルの評価を行った。検討に使用した環境パラメータを表-1に示す。使用した環境パラメータは、大気的不安定度を表す指標である KI と SSI、積乱雲の発達に不可欠な水蒸気に関する指標である PW と CFLX、線状降水帯が形成される

気象場の特徴的な指標である SREH の 5 種類である。また、環境パラメータ算出に利用する GPV は日本周辺に絞り 2km メッシュの局地数値予報を行う LFM モデルを用いた。

集中豪雨と短時間強雨を識別するために、環境パラメータにしきい値を設定し、しきい値を超えた場合の点数を KI、SSI、PW は各 1 点、両者の識別に特に有用な CFLX、SREH は重みを大きくし各 5 点として計 13 点満点で豪雨ポテンシャルを評価した。それぞれのしきい値は、國友ら(2016)が検討した値を用い、 $KI > 35$ 、 $SSI < 0$ 、 $PW > 50$ 、 $CFLX > 1000$ 、 $SREH > 90$ とした。

3. 線状降水帯の抽出

雨域の形状や降雨強度等から楕円形状として近似することで線状降水帯の抽出を行った。津口・加藤(2014)³⁾の線状降水帯の定義と國友ら(2016)での検討条件を基本としつつ近年の大規模な土砂災害が発生した際の雨量条件を考慮し、ここでは 50mm/h 以上の降雨を含みかつ 20mm/h の降雨領域が楕円に近似できることを線状降水帯の条件とした。楕円の大きさは強雨域を 95% の確率でカバーする楕円(確率長円)とし、軸比(長軸/短軸)は津口・加藤(2014)において線状降水帯の判定に用いられている値を参考にした。本検討ではバックビルディング型等の線状降水帯を対象とするため、中層風の風向と楕円の走向が同一となるような条件を設定した。線状でない形状の雨域にもかかわらず軸比等の要件を満たしてしまう楕円を棄却するため、楕円に占める 20mm/h 以上の面積割合を設定した。詳

表-1 豪雨ポテンシャルの検討に用いた環境パラメータ

環境パラメータ	指標の説明
可降水量 (PW)	大気に含まれる水蒸気に関する指標。値が高いほど積乱雲のもとになる水蒸気が多く、豪雨になりやすい。
シヨワルター安定指数 (SSI)	大気的不安定度を表す指標。値が低いほど下層が高温状態で大気が不安定であることを意味し、積乱雲が上空に向かって発達しやすい。一般に SSI が -3℃ 以下であれば、雷雨が発生しやすいとされている。
K 指数 (KI)	SSI と同じく大気的不安定度を表す指標だが、上空約 3000m までの大気の湿り具合を加味している。値が高いほど大気が不安定であることを意味し、積乱雲が上空に向かって発達しやすい。
ストームに相対的なヘリシティ (SREH)	風速と風向が上空に向かって変化する度合いを表し、積乱雲内部において回転する上昇気流のできやすさを表す指標。電巻発生ポテンシャルとしても使われる。値が高いほど線状降水帯が形成されやすい。
下層の水蒸気フラックスの収束量 (CFLX)	積乱雲の発達元となる大気下層(約 1500m 以下)の水蒸気が周囲から集まる強さを表す指標。値が高いほど、豪雨をもたらす積乱雲が発生しやすい。

表-2 入力データの諸元等（上）と線状降水帯の定義（下）

入力データ	気象庁レーダ(1kmメッシュ)の前15分平均値
更新頻度	5分間隔
情報内容	線状降水帯の領域を楕円表示
ランク	青:線状降水帯 赤:線状降水帯(高ポテンシャル域に存在)

項目	値
線状降水帯の面積	≥ 200km ²
線状降水帯を定義する雨量	≥ 20mm/h
線状降水帯内に必要な最大雨量	≥ 50mm/h
軸比(長軸/短軸)	≥ 2.4
長軸の長さ	≥ 40km
楕円の走行と雨域の移動ベクトル*の差	22.5度
20mm/h以上の面積 / 楕円面積	≥ 40%
高ポテンシャル域の定義	豪雨危険度12点以上の領域

細な判別条件を表-2に、実際に判定する場合の例を図-1に示す。

4. 近年の主要土砂災害発生への適用結果

4.1 平成26年8月広島市での土砂災害

平成26年8月豪雨による広島市での線状降水帯の抽出を行った結果を図-2に示す。8月19日21時頃に豪雨ポテンシャルが高い判定となり20日0時頃には線状降水帯と判定し3時頃まで停滞していた。その間、1時頃に広島市で土砂災害警戒情報が発表され3時頃に土砂災害が多発したと考えられる。大規模な土砂災害発生の約6時間前に豪雨ポテンシャルが高くなり災害発生の3時間前に危険な線状降水帯が現れたと判定した。

4.2 平成29年7月九州北部での土砂災害

7月5日9時頃に豪雨ポテンシャルが高い判定となり5日13時頃には線状降水帯と判定し20時頃まで概ね停滞していた。その間、14時頃に朝倉市で土砂災害警戒情報が発表され15時以降土砂災害が多発したと考えられる。大規模な土砂災害発生の約6時間前に豪雨ポテンシャルが高くなり災害発生の約2時間前に危険な線状降水帯が現れたと判定した。

4.3 平成30年7月西日本豪雨での土砂災害

平成30年7月豪雨による広島周辺での線状降水帯抽出を行った結果を図-3に示す。6日12時の時点で豪雨ポテンシャルの実況値は低いエリアも見られたが6時間先(18時)の予測値が高くなり18時頃に線

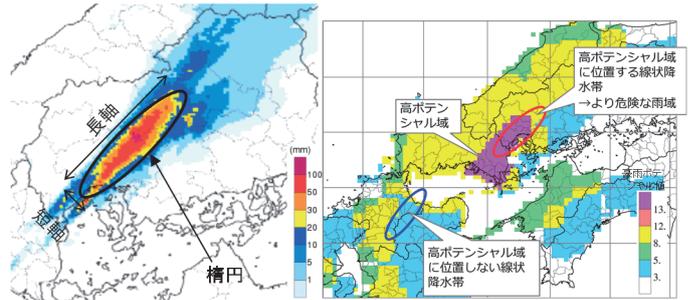


図-1 線状降水帯の抽出とランク

状降水帯が出現したと判定した。その後、他地域とは異なり22時頃まで継続的に停滞した。14時～19時頃に広島県内の各市町村で土砂災害警戒情報が発表され16時～翌未明に土砂災害が多発したと考えられる。豪雨ポテンシャルは広範囲で高い状態が長時間見られ危険地域の絞り込みは困難であった。また、同豪雨で愛媛周辺でも多くの土砂災害が発生した。愛媛周辺では5日22時頃、6時間先(6日4時頃)の豪雨ポテンシャルが高くなり実際に4時頃に線状降水帯が出現したと判定した。その後、6日12時頃までの約8時間にわたり線状降水帯が停滞したものの大規模な土砂災害の発生は翌7日0時～7時頃であった。

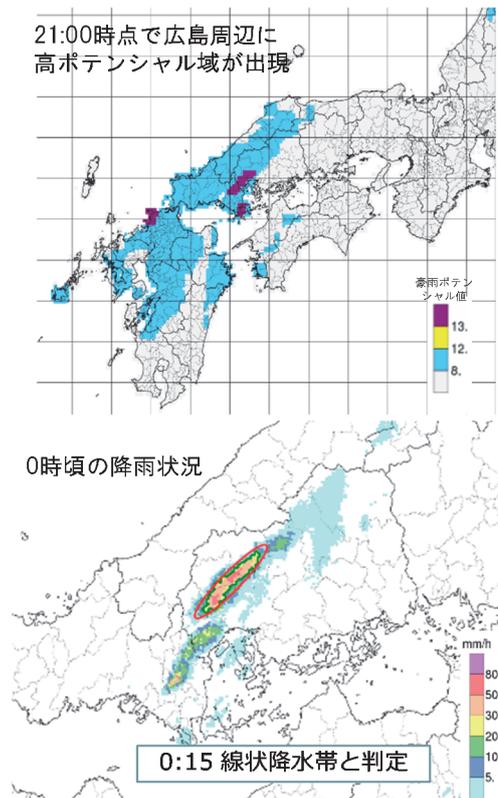


図-2 平成26年8月広島豪雨時の線状降水帯抽出事例

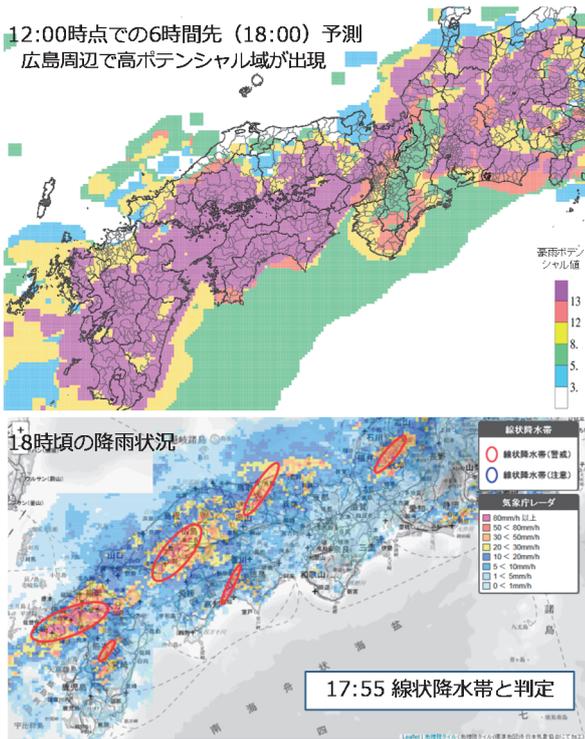


図-3 平成30年7月西日本豪雨時（広島周辺）の抽出事例

5. 三次元観測データによる線状降水帯の判定

バックビルディング型の線状降水帯等では風上側に新たな降水セルが発生し、発達しながら下流に移動する特徴がある。XバンドMPレーダの三次元観測値を活用することで、線状降水帯等の風上側に位置する降水セルの発達段階（ライフステージ）を判別することができ線状降水帯等の判定精度の向上が期待出来る。ここではMPレーダの観測値から推定した降水セル内部の粒子の構成状況から降水セルの発達段階の判別を行う増田(2016)⁴⁾の方法（図-4）を用いた。図-4（下）はセルが成長期から成熟期に移行するとセル内の高密度な粒子群（降水エコー強度の高い部分）が上昇から下降に転じ大粒子の割合が大きく減少することを模式図で示した。平成26年8月広島土砂災害での線状降水帯等の抽出を試みその結果を図-5に示す。0時の時点で小さな線状降水帯が存在しその風上側で新たな成長期の降水セルが現れ始めた。0時30分にはそれらが別の小さな線状降水帯となり1時に両者が合体し1つの線状降水帯を形成し、土砂災害警戒情報が発表された1時15分頃にはバックビルディング型の降水システムが形成されほとんど停滞している状態であった。広島市内で土砂災害が頻発したのは3時過ぎと考えられるが、この線状降水帯は4時前まで継続して線状降水

帯として判定された。その後、線状形状ではなくなり降雨域は北東方向に移動しながら衰退していった。MPレーダによる三次元観測データを用いることで、線状降水帯を構成する個々の降水セルについて発達段階にあるのか衰退段階にあるのかライフステージをリアルタイムで評価しつつ追跡することが概ね可能であることが確認された。

6. 考察

二次元観測データを用いた線状降水帯抽出のプロトタイプシステムについて、近年の主要な土砂災害を発生させた豪雨に適用したところ、豪雨生起ポテンシャルによる実況値もしくは予測値による評価によって大規模な土砂災害の発生もしくは線状降水帯発生のおおね4～6時間前に土砂災害の危険性の高まりを把握出来る結果となった。しかし、今年7月の西日本豪雨における愛媛周辺の土砂災害への適用結果では線状降水帯の発生について事前にポテンシャルの高まりを把握し線状降水帯の出現を判定・監視出来たものの土砂災害の発生までに約12時間のインターバルがあった。広島周辺では花崗岩、九州北部では花崗岩や安山岩等といった火山岩類が中

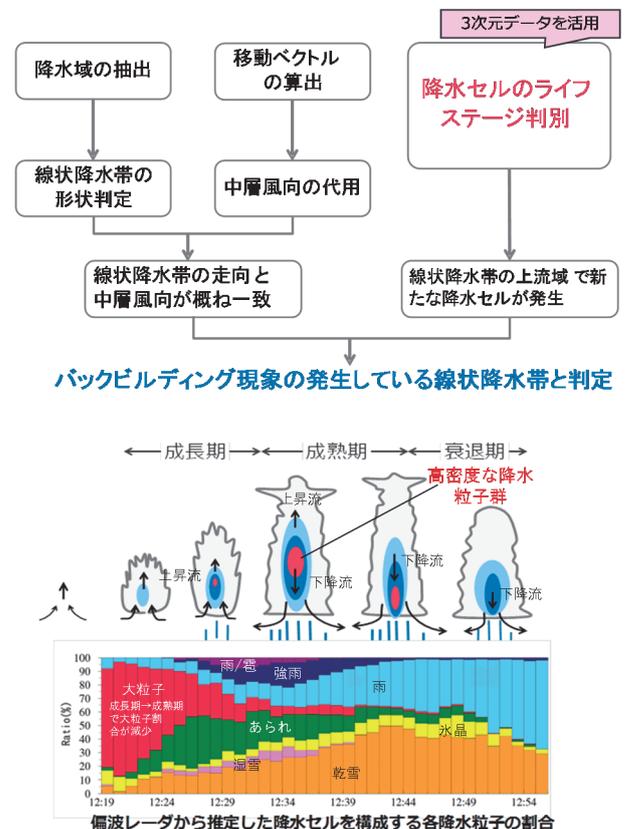


図-4 三次元観測データによる線状降水帯抽出手法（上）と降水セルのライフステージ判別（下、増田(2016)の図に加筆）

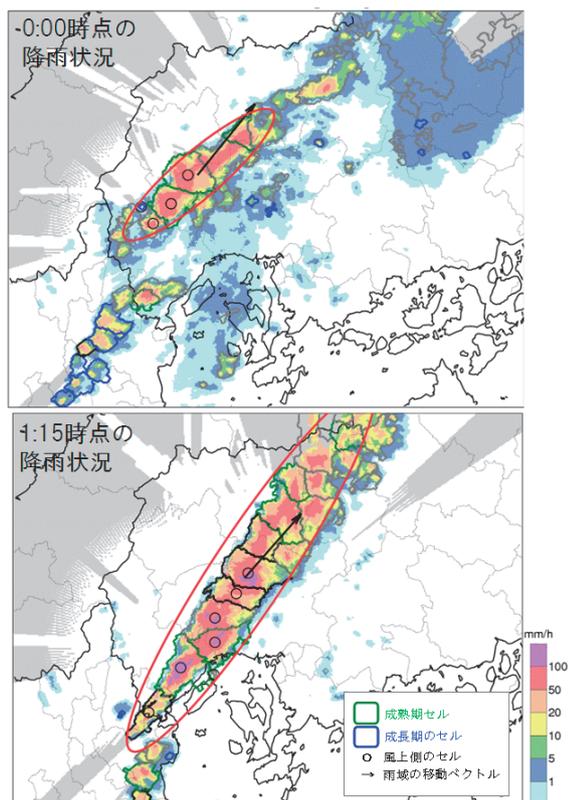


図-5 三次元観測データを用いた線状降水帯三次元観測データを用いた線状降水抽出の例（平成26年8月 広島災害時）

心であるのに対して愛媛周辺では付加体が中心となっており地質特性が異なる。これは地質に代表される地域特性によっては線状降水帯により短時間で土砂災害が発生しやすい地域と発生しづらい地域があることを示唆しているものと考えられる。

また、二次元観測データに加え、XバンドMPレーダによる三次元観測データを活用することで、線状降水帯の抽出だけでなくその停滞性について分析出来ると考えられる。現行システムでは二次元観測データから平面的な強雨域の形状等から概略的に線状降水帯を抽出しているがその時々々の雨域の形状等から線状降水帯を抽出するため、その後数時間、線状降水帯が停滞するかどうかの評価が難しいという課題がある。線状降水帯を構成する個々のセルの発達段階をリアルタイムで評価し風上側の成長期、

成熟期のセルを判別することで土砂災害危険度を分析する上で重要な線状降水帯の停滞性について評価出来る可能性がある。過去の事例検証を行うことで本手法による停滞性の評価の精度を確認していく必要がある。

7. おわりに

本稿では、国土技術政策総合研究所で開発中の線状降水帯の自動抽出システムの検討状況について紹介した。本システムは現在全国の地方整備局及び都県の土砂災害担当部局で土砂災害危険度評価の観点で実証実験を実施中で、今後、防災担当者に使いやすいシステムへと改良する予定である。三次元観測データによる線状降水帯抽出手法の高度化についてはより高精度なフェーズドアレイレーダ（MP-PAWR）の活用等についても検討を行っていきたい。

土砂災害の危険度評価の高度化については高精度な気象データの活用による線状降水帯抽出手法の改良等を進めるだけでなく、地形・地質等の素因を考慮する必要があり今後の検討課題と考えている。本研究は総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）によって実施された。

参考文献

- 1) 國友 優、渡 正昭、神山嬢子、池田 寛、増田有俊、片山勝之：土砂災害発生予測の精度向上に向けた集中豪雨生起ポテンシャル評価の試み、平成28年度砂防学会研究発表会概要集、B184～185、2016
- 2) 村田郁央、野呂智之、神山嬢子、池田 寛：環境パラメータを用いた同時多発的な土砂災害予測技術、土木技術資料、第59巻、第6号、pp.8～11、2017
- 3) 津口裕茂、加藤輝之：集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析、天気、No.61、pp.455～469、2014
- 4) 増田有俊：Xバンド偏波レーダによる積乱雲の構造解析を基礎にした降水セルのライフステージ判別と局地的豪雨予測手法の開発に関する研究、2016、京都大学学位論文

野村康裕



国土交通省国土技術政策総合研究所
土砂災害研究部土砂災害研究室 主任研究官
Yasuhiro NOMURA

神山嬢子



研究当時 国土交通省国土技術政策
総合研究所土砂災害研究部土砂災害
研究室主任研究官、現 土木研究所
土砂管理研究グループ火山・土石流
チーム 主任研究員
Joko KAMIYAMA

野呂智之



国土交通省国土技術政策総合研究所
土砂災害研究部土砂災害研究室長
Tomoyuki NORO