

降雨時列車運転規制に用いる危険指標の選択について

東日本旅客鉄道(株) 正会員 島村 誠
東日本旅客鉄道(株) 正会員 友利方彦

1 はじめに

降雨災害を予知し、警戒態勢を整えるうえで、既往の災害事例から災害発生の限界降雨量を推定することは重要である。本研究では、降雨を誘因として生ずる鉄道災害を対象に、災害発生と降雨の関係を整理し、降雨量の観測値から災害の発生を予測し適切な警報を発するためにはどのような方法を用いるのが最も有効であるかについて検討した。この検討は、災害の発生・非発生に対応する危険指標を探索各危険指標における災害発生警報しきい値を設定その適合性を従来基準と比較して評価という手順によって行った。

2 危険指標

本研究では、探索すべき危険指標を、これまでに提案されている降雨災害に対する代表的な危険指標である実効雨量のグループおよび土壌雨量指数¹⁾に限定し、これを従来JR東日本の降雨に対する運転規制等で用いられてきた危険指標である時雨量・連続雨量と比較した。

3 災害毎の最適半減期の分布

実効雨量を降雨災害に対する警報に用いる場合、災害発生に対する警報漏れ頻度と無駄警報時間かとともになるべく小さくなるように適切に半減期を選ぶ必要がある。そこで、JR東日本域内で発生した約1,000件の降雨災害(旧国鉄時代のものを含む)について、各災害の発生推定時刻において実効雨量による警報が正しく発せられているように警報しきい値を定めた場合に発生地点の降雨統計期間における警報継続時間が最小になる実効雨量の半減期(最適半減期)を調べた。この調査は、まず各災害の発生推定時刻における実効雨量値を候補となる複数の半減期のそれぞれについて計算し、ついでこれを超過する値が出現する単位期間当たり時間数を雨量統計にもとづいて算出し、さらにこれらを各半減期について比較することにより最適半減期を決定し、最後に各半減期を最適半減期とする災害数を集計するという手順で行った。結果を表1に示す。

表1 最適半減期の分布

半減期(h)	1.5	6	24	96
割合(%)	39	31	31	28

この結果から、最適半減期はある特定の値に集中するのではなく広い範囲にわたってほぼ一様に分布していることがわかる。これは、ひとくちに鉄道の降雨災害といっても、線

路冠水やのり面土羽の崩壊のような主として地表水や浅い層の浸透水が誘因となるものから深い層からの築堤崩壊や地すべりのように長い時間にわたって浸透した水に起因するものまで様々であり、さらにそこに関与する地形や地質、土質条件等の素因もそれぞれに異なるという要因の多様性を反映したものであると考えられる。

4 実効雨量による警報継続時間の短縮効果

実効雨量を用いた降雨警報の有効性を検証するために、JR東日本域内約200箇所の鉄道雨量計の観測対象区間にに関して収集されたデータにもとづいて、災害発生に対する警報漏れ頻度と警報継続時間の関係を調査し、これを時雨量・連続雨量を危険指標として用いる従来の警報基準と比較した。

表1で取り上げた4つの半減期について、警報漏れ頻度が従来基準と等しくなるように実効雨量の警報しきい値を定めた場合の警報継続時間を従来基準のそれとの比で比較した結果を表2(No.1-4)に示す。

この結果から、警報継続時間の短縮効果から見た最適半減期は6時間前後であること、24時間を超える長い半減期では、従来基準よりむしろ警報時間が増大してしまうこと、等がわかる。

5 実効雨量の組み合わせを用いた警報基準

従来の警報基準では、時雨量(過去1時間の雨量)と連続雨量(12時間以上の無降雨期間以降現在時刻までの合計雨量)のそれぞれに警報しきい値を設定し、どちらかの観測値がしきい値を上回った場合に警報を発令し、両方の観測値のいずれもがしきい値を下回った場合に警報を解除するようにルールを定めている。これは、前述のような鉄道降雨災害の発生要因の多様性を考慮して、短期的な降雨を発生要因とする災害にも長期的な降雨を発生要因とする災害にも適切な警報を発することができるようにするためのものである。実際、時雨量あるいは連続雨量のいずれかのみで警報基準を構成すると、警報漏れの発生頻度を同一とした場合の警報継続時間は、時雨量・連続雨量の組み合わせによる場合に比べて著しく長くなってしまふことが経験的に知られている。

同様に、実効雨量の場合でも、どれかひとつの半減期を単独で用いる場合には、警報すべき災害の最適半減期が警報基準を構成する実効雨量の半減期と大きく乖離していると警報時間が著しく長くなってしまふという不都合があり、それは現行に対する警報時間比の対数分散の

キーワード 実効雨量、運転規制、警報基準、危険指標

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目0番地 JR東日本研究開発センター 安全研究所 048-651-2668

増大となってあらわれる。この問題を軽減する方法として、現行基準と同様に複数の半減期の実効雨量を組み合わせさせて警報基準を構成することが考えられる。

表1に示したように、災害毎でみた最適半減期の出現確率の分布はほぼ均一なため、組み合わせる半減期の範囲と個数（間隔）をどのようにきめればよいかは自明ではない。

そこで、4つの半減期の様々な組み合わせについて、警報漏れ頻度が従来基準と同程度となるような警報基準を設定した場合の警報継続時間を従来基準のそれとの比の形で比較することにより、最適な半減期の組み合わせを探索した。なお、異なる半減期の実効雨量を組み合わせる場合の警報基準は、それぞれの半減期に対して降雨統計から推定される超過時間が等しくなるように警報しきい値を定め、実効雨量の観測値がそれらのいずれかを超過した場合に警報発令、すべてのしきい値を下回った場合に警報解除という警報ルールを仮定した。また、土壌雨量指標についても同様の方法で危険指標としての有効性について検討した。

表2に半減期の組み合わせとそれらを危険指標として用いた場合の警報継続時間を従来基準のそれに対する比で示す。

一般に複数の半減期を組み合わせることに、災害発生時において最適半減期に近い指標で警報を発することができる利点と、災害非発生時において無駄な警報が生じやすくなる欠点の両方が指摘できるが、表2の結果から、異なる半減期の実効雨量を組み合わせた警報基準の警報時間短縮効果は、おおむね、それら半減期の単独での警報時間短縮効果の平均に近いものとなっていることがわかる。

警報時間の比の平均に関しては、任意の半減期に対して比が0.5から2の範囲内の複数の半減期を組み合わせても殆ど影響がないが、それより短い半減期を組み合わせた場合には警報時間は短縮し、より長い半減期を組み合わせた場合には増大するという傾向が見られる。一方、警報時間の比の対数分散でみると、組み合わせる半減期の数が多いほど分散は小さくなり、警報基準としての有効性を平準化する効果があることが認められる。

また、土壌雨量指数については、警報時間比の平均では鉄道災害に対する危険指標としての有効性が大きい、単独半減期の実効量と同様、対数分散が大きいことから、あてはめるデータによる有効性のバラツキが大きいという問題点が指摘できる。

警報時間短縮効果の平均および分散を総合的に評価すると、今回調査の対象としたデータに関する限りでは、半減期1.5時間と6時間のふたつの実効雨量の組み合わせ(No.5)が最適な警報基準として選択される。

一方、大規模ながけ崩れや土石流を対象とした降雨警報に関する既往研究²⁾や実施事例³⁾においては、半減期24時間あるいはそれ以上の実効雨量を用いることが推奨さ

れていることが多い。本研究で導かれた実効雨量の最適半減期がこれらと比較して小さめなのは、おそらく大規模な災害の観察されることが比較的稀な鉄道のデータのみを対象として分析を行ったためであると考えられる。このことと、単に観測された災害のみでなく未だ発生したことはないが潜在的に発生する可能性のある災害に対しても適切な警報を発すべき警報基準の性質とを考え合わせると、24時間あるいはそれ以上の長期半減期の実効雨量を組み合わせる警報基準の冗長化を図ることは、若干の警報時間短縮効果の低下を我慢してもむしろ必要なことであると考えられる。

以上、JR東日本における過去の統計データならびに鉄道以外の分野における既往研究で得られた知見を情報源とした総合的評価として、No.5に半減期24時間を加えた3つの半減期(1.5h+6h+24h)の組み合わせ(No.11)が実用上最も適切な警報基準として提案できると考えられる。

表2 警報基準の警報継続時間短縮効果

No.	指標（半減期(h)） の組み合わせ	警報時間比 の平均	警報時間比 の対数分散
1	1.5	0.84	0.79
2	6	0.65	1.28
3	24	0.98	1.43
4	96	1.89	1.80
5	1.5+6	0.64	0.88
6	1.5+24	0.77	0.73
7	1.5+96	0.96	0.74
8	6+24	0.79	1.29
9	6+96	0.90	1.18
10	24+96	1.25	1.50
11	1.5+6+24	0.72	0.83
12	6+24+96	0.94	1.20
14	1.5+6+24+96	0.81	0.76
15	土壌雨量指数	0.69	1.26

6 まとめ

鉄道災害発生と降雨の関係について調査し、降雨災害に対する適切な警報基準を構成する方法について検討した。その結果、複数の半減期の実効雨量を組み合わせた危険指標を用いる方法が災害に対する警報漏れと無駄な警報時間を削減する上で有効であることが明らかになった。

参考文献

- 1) 岡田憲治ほか『土壌雨量指数』天気Vol.48, No.5, pp59-66, 2001
- 2) 鈴木雅一, 小橋澄治『がけ崩れ発生と降雨の関係について』新砂防 Vol.121, pp.16-26, 1981
- 3) 建設省河川局砂防部砂防課『土石流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)』pp.1-9, 1984