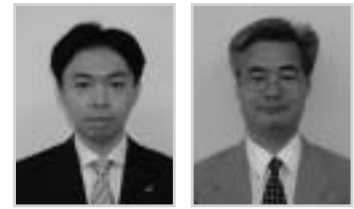


強風警報システムの研究



小林 範俊* 島村 誠*

強風による列車の脱線・転覆を防ぐため、JR東日本では強風時の列車運転規制を定めている。現在のルールには、強風が観測されてから運転規制が発令される点、強風が観測されなくなっても一律に30分間運転規制が継続される点など、必ずしも合理的とは言えない面がある。これらの課題を解決するため、線路沿線に設置されている風速計で観測された風速データの時系列のみを用いて、時系列解析の手法により30分程度の短時間先の風速を予測して運転規制を発令する強風警報システムの開発に取り組んでいる。これまでにモニターランの実施や気象官署の風速データを用いたアルゴリズムの検証により本システムの信頼性を確認できた。今後は列車運転規制への導入を目指す予定である。

キーワード：列車運転規制、風害、時系列解析

1 はじめに

強風による列車の脱線・転覆を防ぐため、列車の運転を中止するなどの運転規制を行なうことによって、列車が転倒限界風速を超える強風にさらされないようになっている。この運転規制決定を支援するため、JR東日本では、強風警報システムの開発を行っている。本稿ではこのシステムの概要を紹介する。

2 強風時運転規制決定ルール

JR東日本では線路沿線に雨量計や風速計などの防災用気象観測機器を設置し、これらの機器からの情報を輸送指令室等にリアルタイムに伝達して列車の運転規制や災害警備に反映させる防災情報システムを構築している。機器で観測されたデータが予め設定した規制値を超過すると、列車の運転を中止したり徐行(速度規制)したりする運転規制がルール化されている。

強風時の列車運転規制は、以前は10分間平均風速にもとづいて行われていたが、過去に発生した強風による列車転覆事故を踏まえ、現在では沿線に設置された3杯式風速計により観測された瞬間風速にもとづいて決定されている。現在、JR東日本で採用している強風時運転規制決定ルールは以下のとおりである。

- a 規制値(例えば一般区間の運転中止風速は30m/sec)
以上の強風を観測した時点で運転規制を発令

- b 連続した30分間に規制値を超える風速が一度も観測されなかった場合に、運転規制を解除

このルールはきわめて簡明なため、係員が取り扱いやすいという利点があるが、風速が急速に上昇していても実際に規制値を超過するまでは運転規制が発令されない点や、規制値を超過する時間がほんの一瞬でも、最低30分間にわたって運転規制が発令されてしまう点など、より安全で合理的な運転規制を実施するためには改善の余地がある。

これらを解決する方法として、列車が運転規制区間を通過中にある確率でさらされる可能性のある風速の上限を予測し、予測された上限風速が規制値を上回れば運転規制を発令し、そうでなければ通常運転を行なうというルールを採ることが考えられる。

そこで、予測対象が運転規制区間の通過に列車が要する数十分程度先までの風速であることや既存設備を有効活用する観点から、既設の沿線風速計で観測した風速データを用いて、時系列解析の手法にもとづきパソコンで将来風速を計算するプログラムを開発した。

3 風速予測プログラムの開発

3.1 アルゴリズム

このプログラムの具体的な計算のアルゴリズムは以下のとおりである。

- (1)連続的な観測風速データから、毎3分間の最大風速の

時系列を生成

- (2)カルマンフィルタを用いて、最大風速時系列のトレンド成分を推定
- (3)トレンド成分から予測期間内各時刻の最大風速の点推定値を算出
- (4)上記最大風速の点推定値と、実現風速に対する推定値の誤差分布から、予測期間内の最大風速の確率分布を推定
- (5)上記確率分布から、予め定めた超過確率に対応する上限風速を算出

この手法の特徴のひとつは、予測値から上限風速を推定し、これをもとに運転規制を発令する点にある。時系列解析から求まる予測値は、ある時間内に生じる風速の期待値であり、風速の実現値との間には誤差を伴う。予測が実測値より大きくなる側にはずれると誤警報、小さくなる側にはずれると警報漏れを引き起こすことになる。

そこで予測風速にもとづく運転規制ルールの構築にあたっては、予測風速の誤差分布にもとづいてある超過確率に対応する予測信頼区間の上限値を考え、この値が予め定めた規制値を超えれば運転規制を発令し、そうでなければ解除するというルールを採用することとした(図1)。

例えば列車が運転規制区間を通過するのに必要な時間が

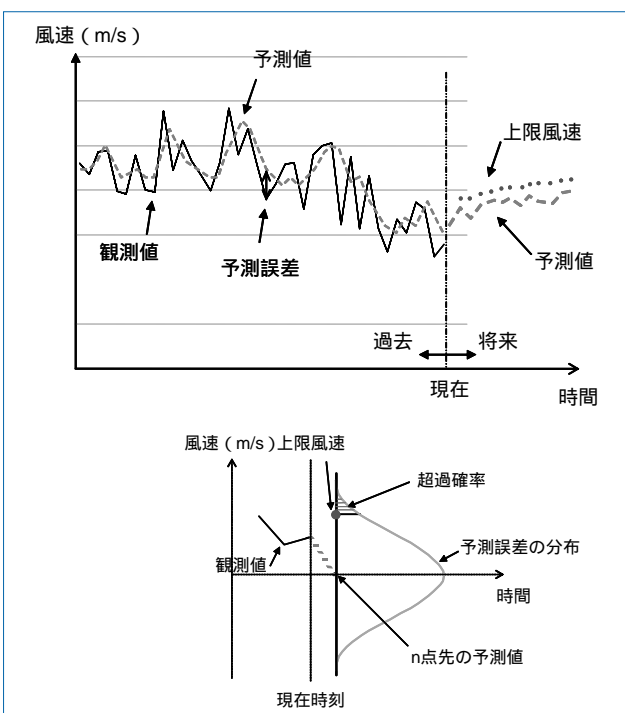


図1：時系列解析にもとづく風速予測

12分である場合、現在から12分先の上限風速(現在から12分先までに超過確率で発生する可能性がある風速)を計算し、この値を規制値と比較することにより、運転規制の発令・解除を判断する。

上限風速の算出に必要な超過確率は、自社の沿線風速計および自社エリア内外40箇所の気象官署に記録されている強風データを収集し、現行ルールと風速予測を用いた新しいルールの両者の運転規制パターンのシミュレーションを行った結果にもとづいて決定した。具体的には、規制区間内を列車が走行している状態で規制風速を超過する強風が出現するイベントに対し、その風速超過量の二乗で罰する損失関数を仮定し、予測を用いたルールでの損失関数の値が現行ルールでのそれより大きくなるように、かつできるだけ運転規制時間が短くなるように、上限風速の超過確率を定めた。

このようにして、観測データの時系列のみによって予測される将来の風速にもとづいて運転規制の発令及び解除の判断を下すことが可能となる。

3.2 プログラム

上記のアルゴリズムに基づき、風速計からのデータを取り込んでリアルタイムで予測演算を行ない、運転規制の発令・解除を自動的に行なうプログラムを、計測制御分野で定評のあるグラフィカル・プログラミング言語であるLabVIEW™(National Instruments社)を用いて作成した。LabVIEW™を採用したのは、C++などの開発環境を用いた場合に比べてプログラム作成にかかる時間が短くて済み、あとから第三者がプログラムの改変を加えるのも比較的容易なためである。

図2に通常表示される規制表示画面の一部を示す。風速計ごとの現在風速(観測値)、上限風速(予測最大値)、規制状態が表示されており、運転規制が発令されている間は、規制状態が赤ないし黄色に表示される。また、現行ルールとの比較のため、試作段階では現行ルールでの規制状態も合わせて表示



図2：規制表示画面(部分)

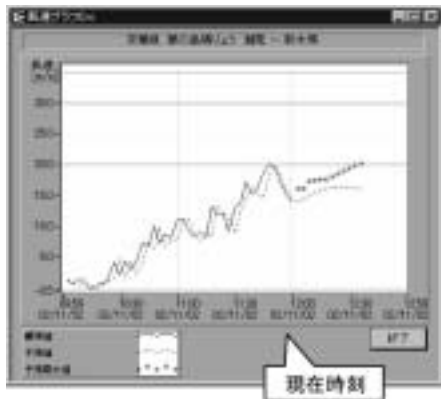


図3：風速グラフ表示画面

されている。

図3は風速計ごとの風速履歴と現在から36分先までの上限風速をグラフ表示する画面で、現在時刻より左側の実線は観測風速の履歴、点線は予測値、現在時刻より右側の丸は3分毎に36分先までの上限風速を表している。

4 適用事例

次に、いくつかの強風事例について、強風警報システムを適用した場合の効果を検討した。図4は現行ルールと予測ルールを用いた場合との運転規制パターンを示したもので、観測風速と上限風速及びそれぞれのルールを適用した場合の運転中止時間を示している。

a) の事例では観測風速が運転中止風速を超える以前に予測風速が運転中止風速を上回り、運転中止風速以上の強風に列車がさらされる前に予測による運転中止を発令できる。また台風通過後は予測風速が運転中止風速を下回った時点で規制を解除するため、一律に30分間以上規制する現行ルールと比較して無駄な規制時間を短縮できる。

b) は事前の風速時系列のパターンと無関係な大きな風速が突然ごく短時間だけ出現する突風の事例である。この場合、予測ルールを適用しても、現行ルール同様運転中止風速を超過する強風の出現前に運転中止を発令することはできないが、規制の継続時間は大幅に短縮できる。

一方、風のパターンによっては、予測を用いると現行ルールより厳しい規制になる場合もある。たとえば c) のように、風速が運転中止風速(この場合25m/s)付近で推移し、かつ最大風速が運転中止風速を超過しない場合には、予測ルールによる規制は現行ルールより安全サイドとなり、結果として無駄な規

制時間が生じる場合もある。

このように強風パターンにより違いはあるが、全体としての効果を示したのが表1である。この表は沿線及び気象官署で観測された数多くの風速データに対して予測計算を実行し、3.1で述べたように超過確率を現行ルールと同等以上の安全性を確保できるように設定した場合の運転規制時間を予測先時間ごとに示している。JR東日本管内の規制区間を列車が通り抜けるのに最大必要な36分先までの予測時間に対して、運転規制時間は2～5割程度短縮できることが分かる。

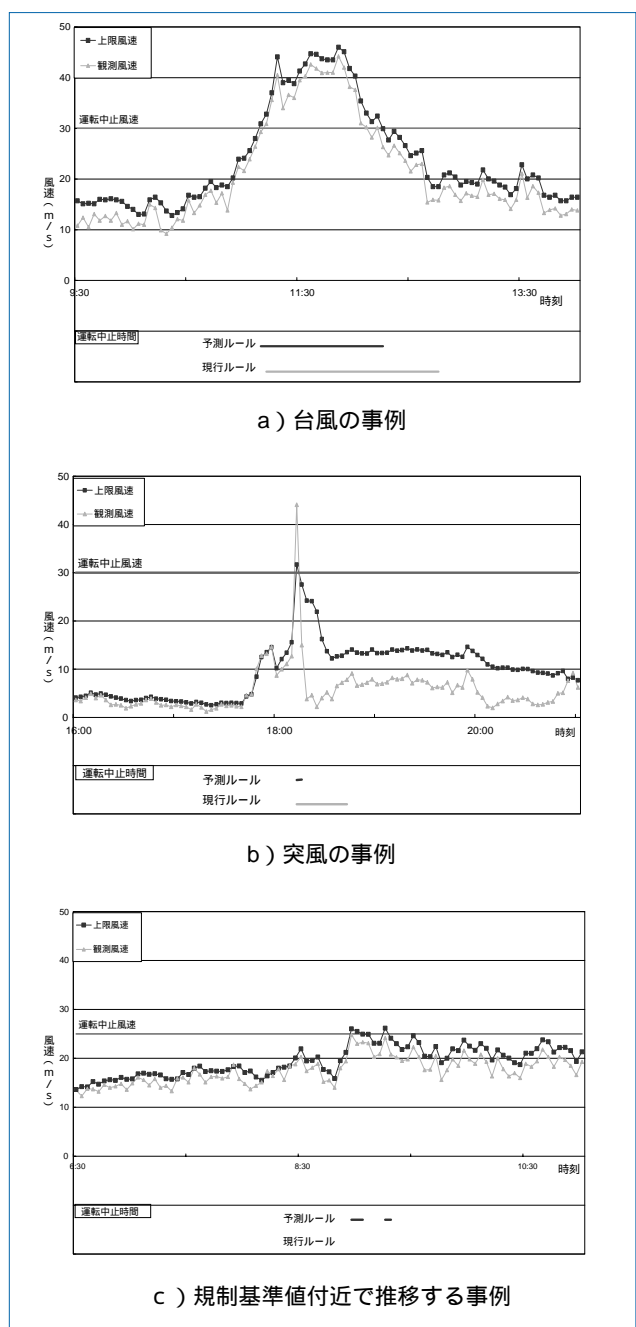


図4：適用事例

表1：予測を用いた場合の運転規制時間
(現行を100とする)

	規制時間		規制時間		規制時間
3分先	42	15分先	71	27分先	85
6分先	53	18分先	79	30分先	79
9分先	64	21分先	81	33分先	80
12分先	70	24分先	83	36分先	75

5 モニターラン

開発したプログラムの連続稼動状態での安定性、信頼性、及びユーザインターフェースの利便性を確認するため、実際の運用上必要となる風速データの送信、データ受信と予測解析のタイミング調整、規制情報の表示方法等を含めたトータルシステムを構築し、表2に示す4線区16箇所の風規制区間を対象に2年に渡りモニターランを実施した。すなわち、誤動作による列車への影響を防ぐため、防災情報システムで使用されている風速計及び通信回線を使用せずに独立した系として実施できるよう、風速計から指令室設置の予測結果表示装置までのトータルなシステムを新たに構築した(図5)。

データ伝送は、既存設備に余裕のある仙山線では自営回線を転用した有線回線型とし、その他の箇所ではNTTドコモのDopaを使用した無線回線型とした。いずれの型を採用しても適用可能となるように、また将来的に他の運転規制情報システムとの適合性を確保するために、通信制御プロトコルはTCP/IPを採用した。

表2 モニターラン実施箇所

システム設置箇所	線名	風速計設置箇所
千葉支社 輸送指令室	京葉線	夢の島橋りょう
		荒川橋りょう
		江戸川橋りょう
		江戸川放水路橋りょう
		海老川橋りょう
		花見川橋りょう
仙台支社 輸送指令室	仙山線	第二広瀬川橋りょう
		奥新川駅
盛岡支社 輸送指令室	大湊線	第2田名部踏切
		田名部川橋りょう
新幹線運行本部 総合指令室	東北新幹線	荒川橋りょう
		七北田川橋りょう
		鳴瀬川橋りょう
		江合川橋りょう
		瀬峰川橋りょう
		迫川橋りょう

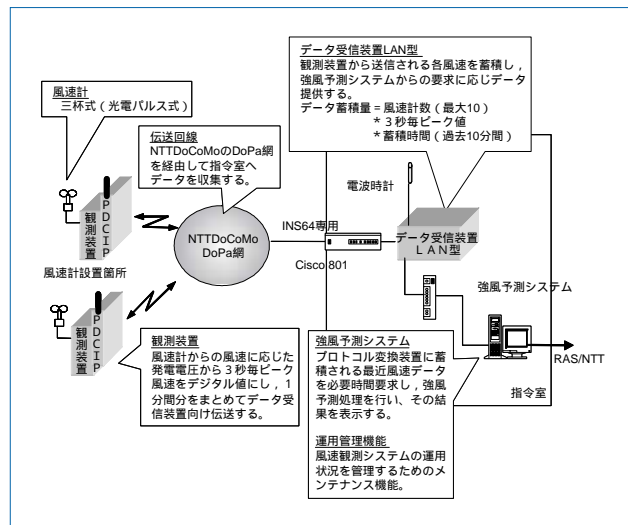


図5：モニターラン・システム構成（無線型）

モニターランの結果、長期間に渡り風速の予測計算やデータ表示などのシステムの機能が、実際に運用が想定される環境下で正常に稼動することが確認できた。また、モニターランは列車運行に直接反映されない試験試行であったが、3.2に示した画面を表示するモニターを輸送指令室に設置して実運用と同じ環境で情報を提供し、指令員の画面の見やすさ等について確認した。

6 おわりに

これまで数年に渡り本システムの開発を進めてきたが、気象官署等多くの風速データに基づくアルゴリズムの検証、及びモニターランを通じたプログラムの安定性の確認を踏まえて、実用化のレベルに達したと考えられる。

今後は本システムを実際に列車運行に反映させた場合の具体的な手続きについて社内で検討した上で、営業線に導入していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 北川源四郎：FORTRAN77 時系列解析プログラミング、(1993)、岩波書店。
- 2) SHIMAMURA, M; New Approach to Strong Wind Prediction and Its Use for Railroad Safety Management, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.1, Autumn, (1995)。