

東京都西部における鉄道の強風被害と観測データの利用への提案

○中央大学大学院 学生員 金子 貴裕 中央大学 正会員 佐藤尚次

1. はじめに

強風により列車に遅延や運休が生じることを輸送障害という。一般的に強風による輸送障害は、沿線に設置してある風速計の観測値が瞬間風速 25[m/s]以上を超えた際に発生する。現行の風観測環境では沿線全てに風速計を設置していないためすべての強風を捉えられていない。そこで、気流解析や統計的手法により強風を予測する必要がある。三須ら¹⁾は、力学統計的局所化手法(DSD: Dynamical Statistical Downscaling)と欧州で用いられている運転規制区間を細分化するサブ区間という手法を組み合わせた強風予測手法を用い、強風に対する新たな列車運行管理方法を開発した。

しかし、風速計は沿線全てに設置されていないため、三須らの手法では沿線全てに風速計を設置しなければ風速変化を捉えることができない。

そこで、本研究では輸送人員が多い東京都を対象として鉄道の強風被害を予測し、適切な列車運行管理方法を提案することを目的とする。ここでは、沿線に設置されている気象庁の観測データを用い、風速を予測することにより強風被害の頻度を予測する。また、Kriging 手法を用いて観測所以外での風速値を予測し沿線全体の列車運行管理方法を提案する。

2. 予測手法

2.1 路線選定

本研究では、東京都西部を運行している JR 中央線および京王線を対象とする。表-1 に両路線の区間や駅数などの基本情報を示す。表-2 に両路線の原因別輸送障害発生件数を、図-1 に両路線の原因別輸送障害発生分布を示す。選定理由は、表-1 より、両路線において風害が原因の輸送障害が最も多く発生していること。図-1 より、多摩川との交差点において JR 中央線では風害が発生している一方で、並行して運行している京王線では発生していないことなどが挙げられる。

2.2 使用データ

本研究で用いるデータとして、国土交通省発表の「運転事故等整理表」²⁾に記載されている、輸送障害の発生した場所、原因の項目を用いる。期間は 2002 年 4 月から 2013 年 9 月までを対象とする。また、気象庁設置の 2 つの観測所(府中、八王子)の 1 日の最大瞬間風速を用いる。期間は 2009 年 1 月から 2013 年 12 月までとする。

また、Kriging 手法を用いる際に東京都内の自動車排出ガス測定局(以下「自排局」)の最大風速データを用いる。期間は 2015 年 1 月から 2015 年 12 月までとする。

表-1 対象路線の基本情報

項目	中央線	京王線
区間	東京～高尾	新宿～京王八王子
路線長 (km)	53.1	37.9
駅数	24	32

表-2 対象路線の原因別輸送障害発生件数²⁾

原因	中央線	京王線
風害	5	5
水害	2	0
雷害	3	3
冷害	1	0
倒木	2	1
震害	1	1
雪害	0	1
気温上昇	2	0
その他	2	0
計	18	11



図-1 原因別輸送障害発生分布

2.3 予測方法

本研究では、気象庁の府中観測所と八王子観測所の最大瞬間風速データから確率紙を用いて分布形を決定して確率密度関数を求め、強風の発生確率を算出する。そして求めた強風の発生確率と対象路線で発生した風害の件数を比較して新たな列車運行管理方法を提案する。

3. 強風の発生確率

3.1 分布形の決定

本研究では、Gumbel 確率紙と対数正規確率紙を用いて分布形を決定する。図-2 に八王子観測所の最大瞬間風速データを Gumbel 確率紙にプロットしたものを図-3 に対数正規確率紙にプロットしたものを示す。図-2 と図-3 より Gumbel 確率紙と対数正規確率紙の両方とも最大瞬間風速が大きくなるにつれプロットが回帰直線から離れてしまっている。しかし、相関は両確率紙とも R^2 値が 1 に近く相関関係を見ることができる。Gumbel 分布は最大瞬間風速が大きくなるにつれ値を過小評価している。一方、対数正規

分布は値を過大評価している．本研究では，より安全側の評価を行っている対数正規分布を用いる．

3.2 最大瞬間風速の発生期待値

図-4 に対数正規分布に従う各観測所の最大瞬間風速の確率密度関数を示す．図-4 から，八王子観測所の方が府中観測所よりも最大瞬間風速が大きくなる傾向にあるとわかる．さらに，府中観測所では最大瞬間風速が 20[m/s]を超えることがほとんどないことがわかる．このようになる原因として，風の水平収束の影響が考えられる．河川などの開けた土地では周囲からの風が収束して風速が大きくなる．八王子観測所は河川の近くに位置しているためこの影響を受けたと考えられる．

図-4 の結果を用い，表-3 に各観測所における 1 年間にある風速以上の瞬間風速が発生する日数の期待値を算出したものを示す．表-3 から府中観測所では強風が吹きづらいことがわかる．

4. 沿線の風の状況

前章では，気象庁の観測所での強風の発生について検討した．しかし，両対象路線の沿線には気象庁の観測所は 2 箇所しかなく沿線の細かい風速が不明である．そこで，Kriging 手法を用いて既存の観測所で得られた風速データより沿線の風速を予測する．

4.1 自排局データの変換

Kriging 手法を用いる際に気象庁八王子観測所と府中観測所のデータでは，データ数が少ないため Kriging 法を適用できない．そのため東京都にある自排局の観測所 46 箇所と気象庁の羽田，江戸川臨海，東京観測所の計 49 箇所のデータを加えて Kriging 手法を用いる．また，表-4 に観測所名の一覧を示す．

しかし，自排局の風速データは 1 時間の最大平均風速である．鉄道では，瞬間風速を基に運転規制を行うかの判断をするので平均風速を瞬間風速に変換する必要がある．気象庁の HP によると，瞬間風速は平均風速の 1.5～3.0 倍に値すると記載されているため，本研究では瞬間風速は平均風速の 2 倍の値と仮定し，自排局での平均風速データを瞬間風速データに変換した．

表-4 より，観測所によって風速計の設置位置が異なり正確な結果を得ることができないため以下の式を用いて地表面高さ 10[m/s]の風速データへの変換を行った．

$$U_h = U_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^n \quad \cdots (1)$$

U_h : 高さ h における風速

U_0 : 高さ h_0 における風速

n : 指数 (= 0.25)

また，各観測所の位置関係を図-5 に示す．以上のように変換した自排局のデータや気象庁のデータを用いて ArcGIS (以下「GIS」) を用いて Kriging 手法を適用していく．

4.2 結果 GIS を用いて Kriging 手法を適用したデータは 2015 年の各月の八王子観測所での 1 時間最大

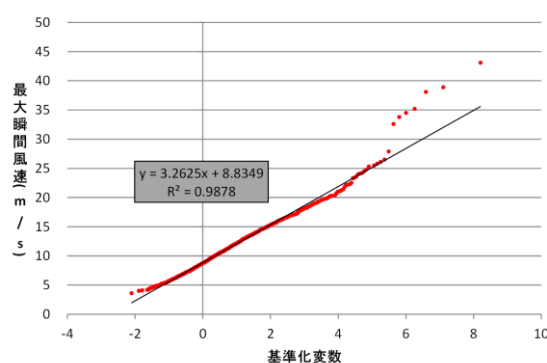


図-2 八王子観測所 Gumbel 確率紙

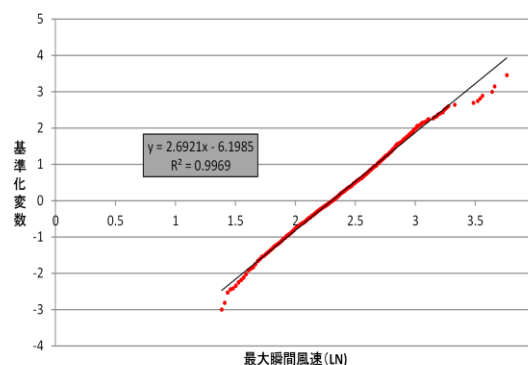


図-3 八王子観測所対数正規確率紙

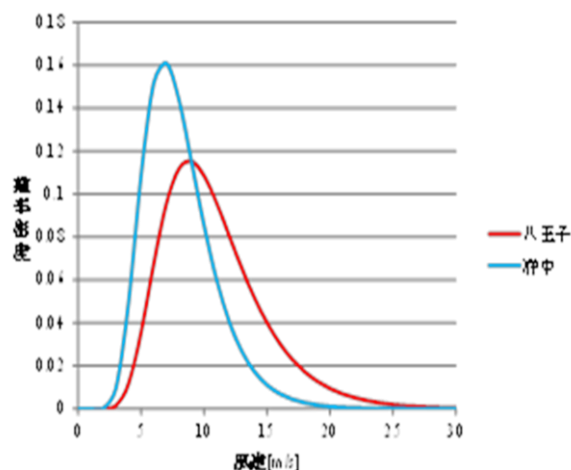


図-4 各観測点の確率密度

表-3 1 年間での風速の発生日数

風速[m/s]	八王子[日]	府中[日]
5	354.5	325.1
10	184.7	78.5
15	50.6	8.9
20	11.3	0.9
25	2.4	0.1
30	0.5	0.0

瞬間風速の上位 3 日のデータを適用した。本研究では、1, 4, 7, 10 月の最も八王子観測所での 1 時間最大瞬間風速が高かった日を例にして考える。

4.2.1 1月6日12時

1月6日12時の風速データを用いて Kriging 手法を適用した結果を図-6に示す。JR 中央線の三鷹～立川間、京王線の府中～聖蹟桜ヶ丘間で瞬間風速 10[m/s]以上を記録していることがわかる。また、中野駅付近では強風が発生していないことがわかる。

4.2.2 4月3日17時

4月3日17時の風速データを用いて Kriging 手法を適用した結果を図-7に示す。中野駅以西では瞬間風速 10[m/s]以上を記録していることがわかる。また、山手線の内側の都心部では強風が発生していないことがわかる。

4.2.3 7月22日14時

7月22日14時の風速データを用いて Kriging 手法を適用した結果を図-8に示す。三鷹駅や中野駅付近では、瞬間風速 15[m/s]以上を記録していることがわかる。その他の地域でも都心部を除き瞬間風速 10[m/s]以上を記録していることがわかる。

4.2.4 10月1日23時

10月1日23時の風速データを用いて Kriging 手法を適用した結果を図-9に示す。中野駅付近以西では瞬間風速 10[m/s]以上を記録していることがわかる。また、立川駅付近では局所的に他の地域よりも強い風が吹いていることがわかる。ここでも、都心部では他の地域よりも風が弱いことがわかる。

4.3 4例のまとめ

本研究では、春夏秋冬の季節別に各 1 例の Kriging 手法を用いた結果を示した。1月6日を除く 3 例では、中野駅以西では瞬間風速 10[m/s]以上を記録していることから、東京都では都心部よりも東京都西部の方が強風が吹きやすいことがわかった。また、JR 中央線と京王線を 7 月 22 日を例にとり比べると、JR 中央線中野駅などでは局所的な強風が発生しているが、中野駅から南下した京王線桜上水駅などでは中野駅と比べて風速が低い値を示すことがわかる。

また、一般的に多くの鉄道では鉄道会社設置の風速計で瞬間風速が 20～25[m/s]以上を超えた際に運転中止などの列車運行規制を行っている。その列車運行規制基準である風速値を上回った例はこの 4 例では見ることができなかった。さらに、この 4 例で強風による輸送障害が発生した例はなかった。

5. 新たな列車運行管理方法の提案

5.1 現行の列車運行管理方法

現行の列車運行管理方法は、4.3 で述べたように沿線に鉄道会社独自で風速計を設置して計測された瞬間風速が 20～25[m/s]を超えた際に運転規制を行っている。

表-3 より、気象庁八王子観測所と府中観測所の年間の強風発生日数は、八王子観測所では 2.4 日、府中観測所では 0.1 日となる。八王子観測所での年間強風

表-4 観測所一覧

高さ[m]	観測局名	高さ[m]	観測局名
9.3	気象庁府中	19.0	武蔵野市関前
49.8	気象庁八王子	28.8	青梅市東青梅
10.0	気象庁羽田	20.0	府中市宮西町
10.2	気象庁江戸川	16.0	調布市深大寺南町
35.3	気象庁東京	12.0	町田市金森
27.0	千代田区神田司町	25.0	小金井市本町
12.5	中央区晴海	22.0	小平市小川町
5.3	港区高輪	27.0	西東京市田無町
14.0	文京区駒込	25.5	福生市本町
29.0	江東区大島	9.0	狛江市中和泉
17.5	品川区豊町	13.0	東大和市奈良橋
20.0	目黒区碑文谷	10.0	清瀬市上清戸
24.0	大田区東糀谷	16.0	多摩市愛宕
31.0	世田谷区世田谷	10.0	港区台場
16.1	渋谷区宇田川町	13.5	練馬区練馬
17.5	中野区若宮	20.5	江戸川区春江町
12.0	杉並区久我山	11.0	西東京市下保谷
20.5	荒川区南千住	20.0	江戸川区南葛西
18.5	板橋区氷川町	10.0	葛飾区水元公園
15.0	練馬区石神井町	14.0	世田谷区成城
20.0	練馬区北町	19.0	足立区綾瀬
15.5	足立区西新井	13.0	町田市能ヶ谷
10.0	葛飾区鎌倉	19.0	品川区八潮
9.5	江戸川区鹿骨	15.0	八王子市片倉町
19.1	立川市泉町	12.4	八王子市館町
		6.0	八王子市大楽寺町



図-5 観測所の位置関係

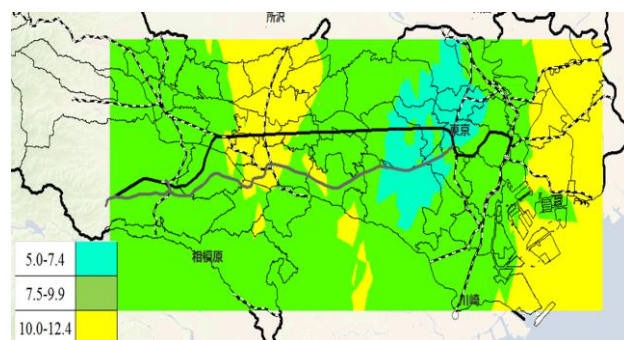


図-6 1月6日12時

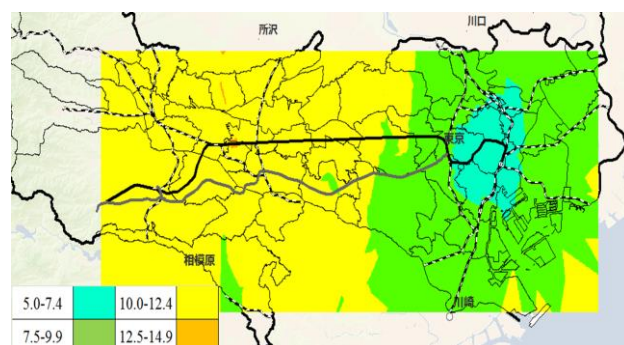


図-7 4月3日17時

発生日数 2.4 日と実際の年間の風害発生件(0.43[件]
=5/11.5)を対比すると、実際の発生件数は著しく少ないように思われる。このことから、鉄道の走行箇所
で運転規制を行う基準である瞬間風速 25[m/s]を超
えているにもかかわらず、風速計が設置されていない
ことにより観測ができずに輸送が継続されていると
考えられる。

しかし、対象期間内に JR 中央線と京王線において、
強風による列車の横転などの重大な事故は発生して
いない。このことから、現行の措置がただちに危険
というものではない。

5.2 新たな列車運行管理方法の提案

現行の列車運行管理方法はただちに危険ではない
が、安全性を向上させるため沿線に設置された気象
庁の観測所の観測データを参照データとして併用す
ることを提案する。新たな列車運行管理方法は、現
行の運行管理方法に参照値として瞬間風速 25[m/s]よ
りも大きな値を沿線にある気象庁の観測所が記録し
た際に運転規制を行うものである。これは、鉄道会
社が設置した風速計以外の強風情報を取り込むこと
により局所的な強風の発生を見落とさずに列車転覆
などの重大事故を防ぐためである。

例として、八王子観測所の風速データを用いて対
象路線に対する参照データを求める。両対象路線共
に風害が 5 件発生している。そこで年間超過日数が
0.5 日(11.5 年で 5.75 件)となる瞬間風速を参照デー
タのしきい値とする。表-3 に示すように、八王子観
測所では瞬間風速が 30[m/s]を超えた際に列車の運行
規制を行えばよいことがわかる。

5.3 部分的な列車運転規制

鉄道路線のある箇所運転規制基準を上回る強風
を検知した際に、全線で運転規制を行ってしまうと、
ホームが人で溢れてしまうことや、特定の列車への
集中混雑が発生し、より遅延が増大してしまうこと
や利用者が危険にさらされてしまうことが考えられ
る。そのため、強風による輸送障害が発生した際には
全線で運転規制を行うのではなく、部分的な運転
規制をすることを提案する。

JR 中央線を例にすると、図-7 から図-9 に示したよ
うに、冬を除いた季節においては中野駅以東の地域
では中野以西よりも瞬間風速値が低くなる傾向にあ
る。そのため、中野駅以西で強風による輸送障害が
発生した際には、東京～中野駅間での折り返し運転
を行い、利用者の集中などの危険な要素を取り除い
ていくことが可能であると考えられる。

しかし、部分的に運行を継続していると全線で運
転が再開されたときにダイヤの大幅な乱れや行先変
更などで利用者が混乱してしまうことなども考えら
れるため、どの程度の区間で運転を継続すればよい
のかを再検討する必要がある。

6. おわりに

本研究において、並行して運行している JR 中央線
および京王線での強風に対する列車運行管理方法に

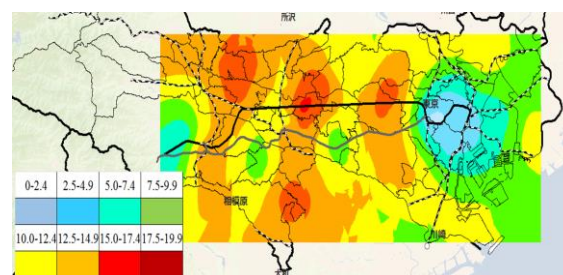


図-8 7月22日14時

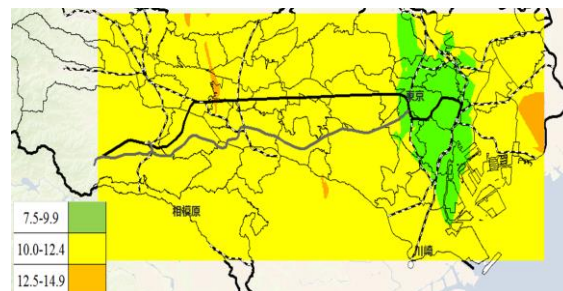


図-9 10月1日23時

着目し調査を行った。その結果沿線の一部にしか風
速計が設置されておらず、沿線で発生した強風を見
落としている可能性があることがわかった。そこで、
新たな風速計を設置するのではなく、気象庁八王子、
府中観測所の瞬間風速データから強風発生確率を算
出し列車運行管理の参照データとして利用すること
を提案した。また、自排局のデータも追加し GIS 上
で Kriging 手法を用いて東京都内の季節別の風況分
布を作成した結果、JR 中野駅を境に西側では強風が
発生しやすく、東側では強風が発生しにくいことが
わかり、中野以西で強風による運転規制を行う際に、
JR 中央線の場合は東京～中野間で折り返し運転を行
い、ターミナル駅などでの混乱を小さくすることを
提案した。

今後の課題としては、Kriging 手法を適用するデー
タ数を増やし、実際に強風による輸送障害が発生し
た日の風況や台風などの特定な気象条件が生じた場
合にどのようになるかの検討を行い、部分運転を行
う区間などを決めていくことや、折り返し設備や振
動設備などの折り返し運転が可能であるかを実際に
検討していく。さらに、部分運転を行った際と全線
運転規制を行った際の金銭的な損失を算出し比較し
ていくことなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 金子貴裕, 佐藤尚次: 東京都内における鉄道の自然災害に
対する脆弱性の検討, 第 42 回土木学会関東支部技術研究発表
会講演概要集(2015), IV-10
- 2) 国土交通省: 運転事故等整理表, 2002-2013
- 3) 荒木啓司, 日比野裕, 鈴木実: 列車運行と風規制, 日本風
工学学会誌第 40 巻第 I 号(2015), pp.10-16
- 5) 気象庁 HP: 風について,
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/faq/faq2.html>
- 4) 気象庁 HP: 各種データ・資料,
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>