

規制区間で列車が強風に遭遇する確率の評価方法

今井 俊昭* 荒木 啓司* 福原 隆彰**

An Estimation Method of the Probability that A Train Encounter the Gust in An Operating Section

Toshiaki IMAI Keiji ARAKI Takaaki FUKUHARA

The number of the train accidents due to strong gust has tendency of decreasing since 1872. Especially the number of accidents per train kilometer has remarkably decreased to 1/100 in 100 years. The decline of the number of the accidents is considered to be due to an effect of the regulation of train operation. It is possible that the probability of the train encounter with the critical wind velocity is reduced by the train operation suspension for certain minutes in a certain section. This paper introduces a method of calculation of the probability that encounters the critical wind speed in the case where the train follows the operation regulation rule strictly.

キーワード：風速変動，規制発令風速，強風発生確率，列車キロ，運転本数密度

1. はじめに

日本国内では1872年に鉄道が開設されて以来、強風による鉄道事故が起きるたびに段階的に運転規制ルールが整備されてきた¹⁾。運転規制ルールは基本的に規制区間、抑止（徐行）を発令する風速、運転規制継続時間（いわゆる様子見時間）、徐行時の制限速度で構成されている。近年では羽越線事故以降、規制発令風速を切り下げた区間で遅延が増大する傾向にあり、規制ルールの中で抑止発令風速に対する関心が高まっている。

これまでに筆者他は強風時に規制ルールに従って運行される列車が強風に遭遇する確率を指標とする安全性評価方法²⁾を提案した。本稿では、同じ評価手法を用い、仮定した条件による安全性指標の絶対値を試算する。また、列車脱線事故件数の調査結果や竜巻に遭遇する確率を試算した結果との比較を通じて絶対値で安全性を定量的に評価する意義を検討する。

2. 風による脱線転覆事故件数

2.1 過去に発生した事故件数

鉄道が開設されてから1994年末まで日本国内では27件の列車脱線転覆事故が発生した¹⁾とされている。しかし、「暴風による列車脱線転覆事故調³⁾（荒木毅男）」によれば、1872年から1936年までの間だけで34件の事故が報告されている。文献1では詳細な記述が残された事例に絞って記載されているが、本稿では事故発生箇所と発生時刻ならびに転覆両数が明記された資料を集計した

* 防災技術研究部（気象防災）

** 総務部（JR北海道出向）

結果、鉄道の開設から2007年末までに50件の列車脱線転覆事故が数えられた。発生件数の推移を見ると、1950年以前に多数の事故が生じていたことが分かる（図1）。

2.2 営業キロ及び列車キロ当たりの発生件数

線路延長および線路延長に運転本数密度を乗じた値としてそれぞれ営業キロと列車キロをとり、列車の運転状況と事故発生件数の関係を分析する。

営業キロは1910年以降に急増し、20世紀半ばにはすでに現在の路線網に匹敵する線路延長となっていた。また、列車キロはほぼ一定率で増え続け、20世紀後半の伸びが大きめであることが分かる（図1）。

次に、運転密度に応じた事故件数を見ると、営業キロ当たりと列車キロ当たりの事故件数はともに1940年代まで明確な減少が続いている（図2）。初期の運転規制ルールが整備された歴史を見ると、①鉄道運転規程（1900年）、②運転取扱心得（1924年）、③風速計二依ル列車運転取扱手続（1938年）が図2（①、②、③）に示した時期に定められている¹⁾。①における風監視は番人によるものであったが、③では風速計を用いた風監視が導入された。事故件数は運転規制ルールの整備と機を同じくして減少しており、約100年間で営業キロ当たりの事故発生件数はおよそ10の-2乗に、列車キロ当たりではおよそ10の-3乗に近い減少率となった（図2）。特

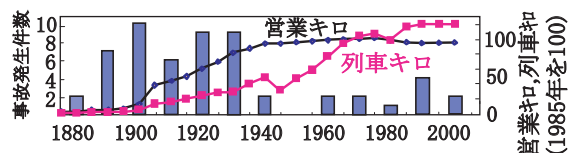


図1 強風が原因とされた脱線転覆事故発生件数の推移

特集：防災技術

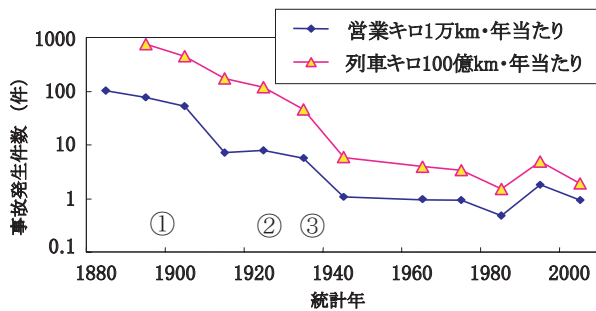


図2 営業キロおよび列車キロ当たり事故発生件数の推移

に風速計を導入し観測値に基づく運転規制がルール化された昭和初期（図2の③）以降の事故発生件数は、昭和以前に比べると少ない状態が持続している。

国内の在来鉄道は高速化と車両の軽量化が徐々に進んできた。これらの傾向はともに列車に危険が生じる風速を低下させる条件となる⁴⁾ことから、同一条件下であれば、事故件数はむしろ増加したはずである。事故件数が減少した理由には様々なものがあると思われるが、第一の理由として、運転規制がルール化されて天候状況に応じた選択的な運行がなされるようになったためと考える。但し、最近では減少傾向が明確ではなく、1960年以降は平均的に約33億kmの列車キロあたり1回の事故が生じている計算になる。ここで、列車キロは新幹線を除く旅客列車と貨物列車の列車キロの合計とした。ちなみに最近10年の列車キロを累計すると約110億kmとなる。

3. 強風遭遇確率のモデル化

車両に転覆の危険が生じる強風に列車が遭遇する確率を強風遭遇確率と呼ぶことにする。本稿では、転覆が生じる危険な風速がある区間のどこでも同じ値で、かつ風況が一樣な仮想線区における強風遭遇確率を試算する。仮想区間の風況は、長期間の風データが蓄積されている強風地のデータから得られる強風発生確率を用いてモデル化を行う。

なお、鉄道総研が算出する転覆限界風速は、様々な要素のそれぞれが最も厳しい条件で組み合わせられた場合の推定値として定義⁵⁾されている。従って、転覆限界風速を超える強風の発生確率に列車の運転密度を乗じても、事故発生件数と照査可能な強風遭遇確率にはならない。そこで、本論では危険な風速を U_c とし、 U_c はそのばらつきを含めて解明されていることを前提とする。

3.1 時間と空間のスケール

強風遭遇確率とは、ある時間・空間スケールを持つ強風域を、ある速度で移動する列車が通過する事象が生じる確率である。ここで、遭遇事象を計数する時間スケールについては以下の点で注意する必要がある。

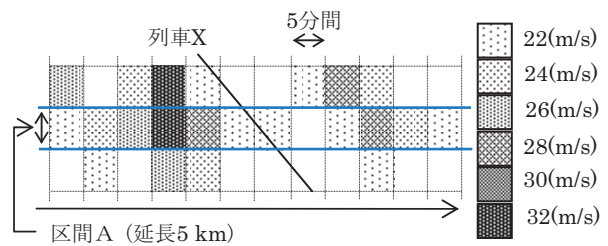


図3 遭遇確率を求める時間と空間の単位

まず、鉄道の運行は道路交通に比べて間歇性が強く、前後の列車とは距離も時間も大きな間隔がとられる。閑散線区であれば、仮に数km程度の強風域が数分間継続したとしても、複数の列車が相次いで強風に遭遇する事態を想定する必要はない。とはいえ、20～40m四方程度の狭い空間で2～3秒間という極めて短い時間でも危険な風速が継続すれば、偶然そこを通りかかった列車には危険な状態が生じるものとする（風速 U_c で転覆が生じる最小の時空間スケールは別の課題で研究中）。そこで、時間スケールとして首都圏における通常の運転間隔である数分間をとり、数分間の最大瞬間風速の階級別度数によって強風発生確率をモデル化する。

次に空間スケールとして数kmを単位とする。これは、数kmがほぼ在来線の1駅間に相当する距離であることから、運転規制ルールをモデルに取り込み易いためである。また、強風現象は他の気象現象と同じく、空間スケールと時間スケールに対応がある。気象において数分間と数kmはメソスケールとマイクロスケールの境界に位置しており⁶⁾、時間スケールと空間スケールがほぼ合致している。さらに現実的な問題として規制用風速計の配置密度は数kmに1箇所以下であり、1駅間を多数の小区間に分割して運転規制を行う状況にはない。そこで、数kmの区間の1点で生じる数分間の最大瞬間風速を単位として確率を試算する。標準的なスケールとして $m=5$ 分間、 $L=5$ kmの格子で空間を区分した場合の概念図を図3に示す。

3.2 m分間最大瞬間風速の発生確率

長期間観測された m 分間最大瞬間風速の階級別度数を観測期間の総度数で割って相対度数とすると、図4のような度数分布が得られる。この密度分布は式(1)で表現されるワイブル関数で近似することができる。ここで $P_w(u)$ は m 分間最大瞬間風速が風速階級 $(u, u + \Delta u)$ に入る確率、 c は風の強さのパラメータ、 k は分布形状に関するパラメータである。防災目的では図4の右裾部分が重要であり、縦軸を対数目盛にとると図5となる。列車の走行安全性が問題となる風速15m/s以上の度数であればワイブル分布ではほぼ近似できることが分かる。この観測例では、 $m=5$ と $m=30$ で同じ相対度数となる風速を比較すると、30分間最大瞬間風速は5分間最大瞬間風速を1～2m/s程度上回っている。また、同じ風速となる度

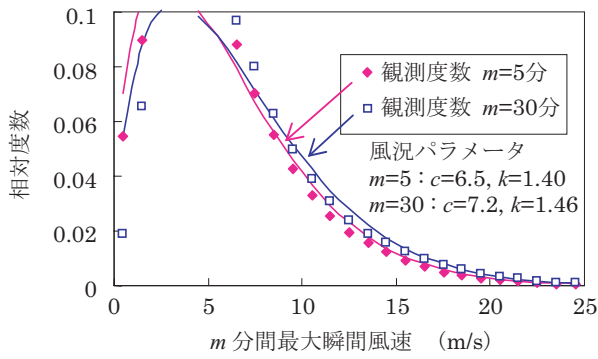


図4 m分間最大瞬間風速の出現確率

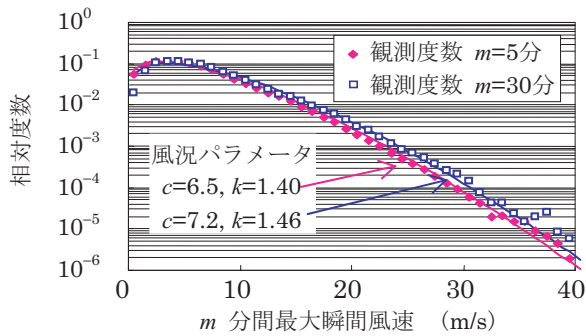


図5 m分間最大瞬間風速の出現確率

数を $m=5$ と $m=30$ とで比較すると、度数の比は m の比である6を大きく下回る。これらは強風発生がランダム現象ではなく、ある程度は連続して発生しやすい現象であることを反映している。

$$P_w(u) = k/c(u/c)^{k-1} \exp(-(u/c)^k) \quad \dots\dots(1)$$

3.3 列車が遭遇する風速に関する仮定

起伏がなく地表面粗度が均一な空間内(図6)では、A駅付近とB駅付近ならびに風速計地点で同じ風況パラメータ c と k が成り立つものと考えることができる。距離 L の線区がこの様な空間に含まれる時、式(2)で求められる確率分布関数 $PW(u > U_c)$ について以下を仮定する。

「風況が様な規制区間を m 分間かけて走行する列車が U_c 以上の強風に遭遇する確率は $PW(u > U_c)$ に等しい。」

$$PW(u > U_c) = k/c \int_{U_c}^{\infty} (u/c)^{k-1} \exp(-(u/c)^k) \cdot du \quad \dots\dots(2)$$

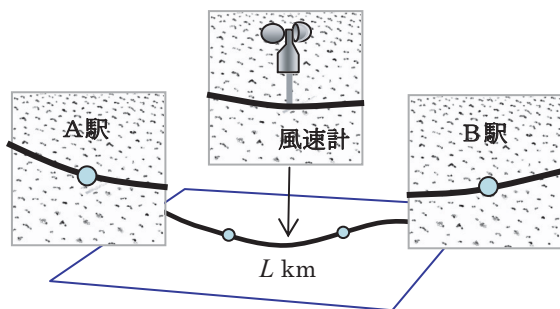


図6 モデルが対象とする空間と2地点

図5の風況となる長さ L の区間を例にとると、5分間で走行する列車が $20 \sim 30 \text{m/s}$ 程度のある風速 U_c に遭遇する確率は、同じ区間を30分間で走行する列車が $U_c + 1 \sim U_c + 2 \text{m/s}$ の風速に遭遇する確率に等しい。同じ風速 U_c に遭遇する確率についても、列車の通過時分が5分間の場合よりも30分間の場合が大きいが、希な強風といえどもランダム現象ではないために、通過所要時分の比である6倍よりも小さな違いとなる。

3.4 運転密度と遭遇確率

長さ L の区間を m 分間で通過する列車が危険な強風 U_c に遭遇する確率を考える。強風遭遇確率は結果的に極めて小さな値となるので、強風遭遇確率は列車密度に比例するものとして扱う。 m 分間を規制区間の通過所要時分として、列車密度は列車が m 分間隔で常時運行される場合を基準にとる(図7)。従って1年間に $60/m \times 24 \times 365$ 本の列車が運行された場合に遭遇する列車本数が基準となる。運転間隔が T 分間である線区では、ある風況の規制区間で風速 U_c に遭遇する列車の期待本数は $P_w(U_c) \times m/T$ にて計算される。ここで、 $P_w(U_c)$ は式(1)から算出される m 分間最大瞬間風速の発生確率である。

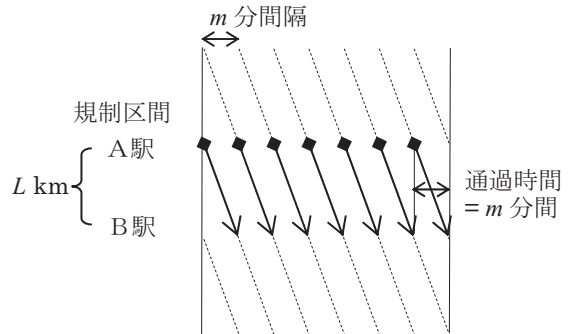


図7 モデルとする線区のダイヤ

4. モデル線区における強風遭遇確率の試算

4.1 運転規制を行わない場合

運転規制を行わない場合は前節のとおり、危険な風速の発生確率に運転密度を乗じて強風遭遇確率が求められる。例えば、比較的強風地で得られた5分間最大瞬間風速のワイブル係数 ($c=6.2, k=1.38$) を用いた上で、危険な風速値 U_c が 30m/s の場合には、式(2)より U_c 以上の最大瞬間風速となる5分間の年当たりの度数は、 30m/s 以上となる確率 $PW(u > 30)$ に1年分の5分間の度数を乗じて約16度数となる。そこで、平均運転間隔 T 分のとき、 30m/s 以上に遭遇する列車本数の期待値は $16 \times 5/T$ 本/年となる。

4.2 運転規制を行う場合

次に、前節と同じ風況下で運転規制を行う場合の遭遇

特集：防災技術

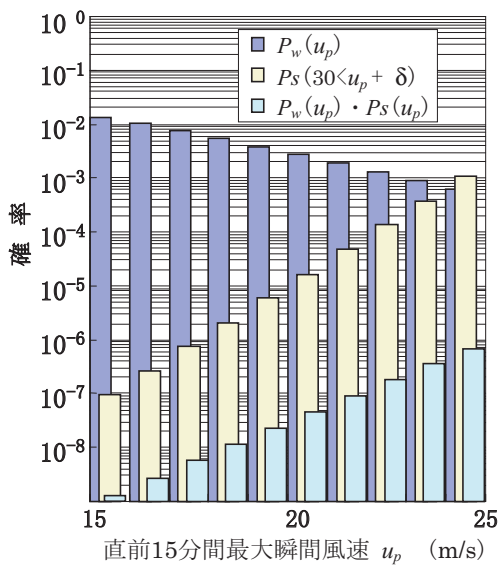


図8 25m/s 抑止の場合の遭遇確率

確率を試算する。運転規制ルールは、瞬間風速が 25m/s に達したら列車を抑止し、風速が 25m/s を下回ってから 15 分以上が経過した段階で運転を再開するものとする。従って、列車が A 区間を進行できる条件とは、A 区間に列車がさしかかった時刻の直前 15 分間最大瞬間風速が 25m/s 未満の場合となる。

長期間の風観測を行い、 n 分間最大瞬間風速 u_p に対して引き続き m 分間の最大瞬間風速 u_f から増加量 $\delta (=u_f - u_p)$ を求め、 δ の相対度数をモデル化すると、式(3)の形の指数関数で表すことができる⁷⁾。ここで、 a, b は長期の観測から得られるパラメータ⁸⁾ である。

$$Ps(\delta) = a \cdot \exp(-b \cdot \delta) \quad \dots\dots(3)$$

直前 15 分間の最大瞬間風速 u_p の出現確率を $P_w(u_p)$ 、風速 u_p に対して直後 5 分間の u_f が 30m/s 以上となる風速増加が生じる確率を $Ps(u_p)$ で表し、積 $P_w \cdot Ps$ とともに図 8 に示す。積 $P_w \cdot Ps$ をゼロから抑止発令風速まで u_p について累計すると 1.4×10^{-6} となり、これは直前 15 分間の最大瞬間風速が規制値以下である場合に、引き続き 5 分間の最大瞬間風速が危険な風速 $U_c (=30\text{m/s})$ を超える確率である。即ち、これは抑止されることなく A 区間に進入した列車が規制区間を走行中の 5 分間に 30m/s 以上の強風に遭遇する確率でもある。

この確率に年当たりの 5 分間の度数を乗じると 0.15 となり、この試算では強風遭遇確率は規制を行わない場合の度数 (16) に比べて約 100 分の 1 となった。

4.3 遭遇列車本数

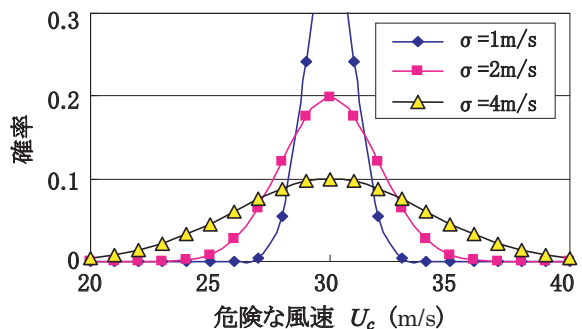
同じ風況で T (分) を平均的な運転間隔とすると、30m/s 以上の風速に遭遇する年当たりの列車本数の期待値は、運転規制をしない場合で $16 \times 5 \div T$ 本に、25m/s で運転

を抑止する場合には $0.15 \times 5 \div T$ 本となる。これを検討対象区間長さを 5km として列車キロに換算すると、それぞれ約 3.3 万列車キロ当たりと約 360 万列車キロ当たり

4.4 危険風速のばらつきの考慮

5 分間隔で常に運転がなされれば、年間の累計列車本数は約 10 万本となる。10 万本の列車それぞれの危険な風速 U_c がばらつく理由として、運用車両形式や乗客数に応じた重量のばらつきが考えられる。ここでは U_c が 3 種類の標準偏差 (1m/s, 2m/s, 4m/s) のばらつきを持つ密度分布 (図 9) に従うと仮定して、1 年間に U_c に遭遇する列車本数を試算する。規制区間で 5 分間最大瞬間風速が U_c 以上となる強風の発生確率を式(4)で求めて図 10 に示す。ばらつきが無い ($\sigma=0$) 場合と比べて確率は $\sigma=1\text{m/s}$ の場合で約 20%, $\sigma=2\text{m/s}$ の場合で約 50% 増大していた。 $\sigma=4\text{m/s}$ の場合には約 330% の増大であったが、それでも同じ確率となるばらつきの無い U_c の値とは 3m/s 程度の差にとどまる。このように、危険風速のばらつきの重み付きで遭遇確率を評価すれば、 U_c がいくぶん低い車両が混じっていたとしても、 U_c が低い車両の数が僅かであれば全体の遭遇確率に対する寄与度は低いことを確認することができる。

2.2 節で触れたとおり、1900 年当時には 1000 万列車キロあたり約 1 件の脱線転覆事故が起きていて、図 6 と同じ風況の 5km 区間であれば列車 200 万本が通過するたびに約 1 本の列車が風の事故に遭ったことになる。5 分間最大瞬間風速の発生確率が 200 万分の 1 となる風速 u は式(2)から約 43m/s となる。よって、1900 年当時を無規制状態と見なした上で、当時の各営業路線が今回モデルとした海上の強風地と同じ風況であったとすれば、当時の列車が転覆する危険な風速の平均値は 43m/s 程度で



危険な風速の最頻値が 30m/s の例
図9 想定する危険風速の頻度分布

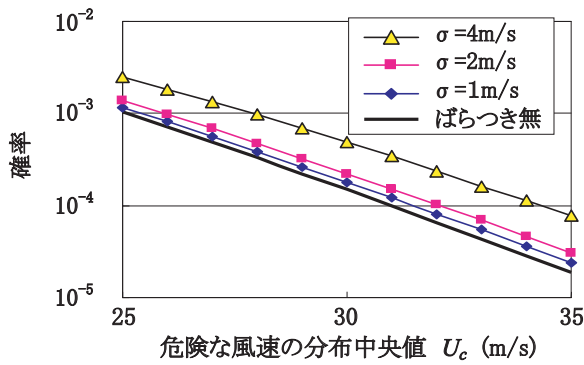


図10 危険な風速のばらつきを考慮した遭遇確率

あった計算となる。ただし、全国の平均的な風況を想定すると今回用いた風況よりも強風頻度は小さいことが予想できるため、危険な風速にばらつきがないものとするれば、危険な風速は43m/sよりも小さな値と考えられる。

$$PW(u > U_c, \sigma) = \int_{U_c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\left(\frac{u-U_c}{\sigma}\right)^2\right) - (u/c)^k \cdot du \dots (4)$$

5. 列車が竜巻に遭遇する確率

5.1 各地の竜巻発生確率

気象庁の竜巻等の突風データベース⁹⁾を基に、1961年～2008年11月の間に日本で発生した竜巻を藤田スケール {F} 別⁹⁾に集計したものが図11である。ここで発生件数は、発生場所が陸上である「竜巻」、「竜巻またはダウンバースト」、「竜巻または漏斗雲」について集計している。また、同データベースには「F0～F1」、「F1～F2」といった記載があるが、これらは当該スケールに該当した事例数を2分してそれぞれF0からF3の4つのカテゴリに分類した。日本では、F4以上の竜巻は確認されておらず、最も規模の大きいものでF3であり、2006年11月に北海道佐呂間町を襲った竜巻がこれに含まれる。また、F1の竜巻の発生が212件で最も多いが、データベース上では「スケール不明」あるいは、スケールに関する記載がない事例を合わせて327件で全事例690件の約半数を占めている。これらの中には竜巻の規模判定が困難なF0程度の竜巻も多く含まれているものと考えられ、実際に発生したF0の件数はもっと多い可能性がある。

図11より、わが国では年平均で約14個の竜巻が発生していることになる。また、都道府県毎に、発生件数の合計を統計年数と面積で割り、1年・1万km²あたりの発生件数を求め、上位5位を図12に示す。沖縄県が2.47で突出して多く、2位の東京都の2倍以上の発生件数となっている。2006年に日豊線南延岡駅構内で竜巻による脱線転覆事故が発生した宮崎県が3位で続いている。

5.2 列車が竜巻に遭遇する確率

ここでは、図12に示した東京都における0.89件/1年・

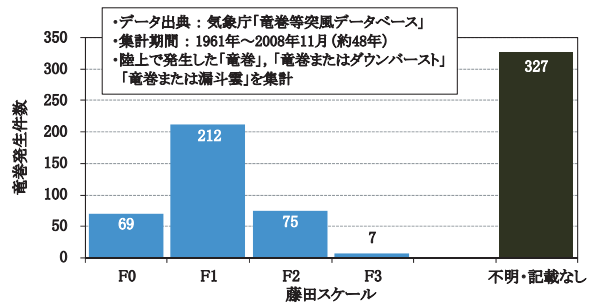


図11 日本における竜巻の規模別発生件数

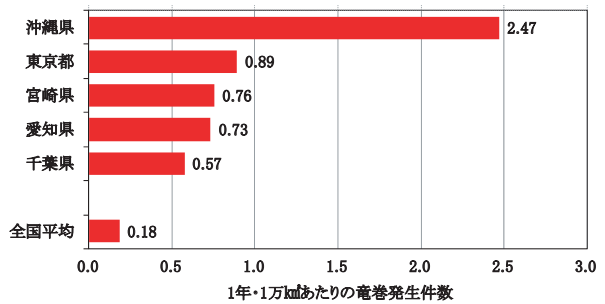


図12 都道府県別の竜巻発生件数上位5位

1万km²あたりの竜巻発生件数を使って、仮想的な線区として100kmの直線区間を走行する列車が竜巻に遭遇する確率を試算する。

新野ら¹⁰⁾によると、日本で発生する竜巻の平均的な諸元は直径 $d=100\text{m}$ 、寿命 $t=12$ 分、移動速度 $V=36\text{km/h}$ である。本試算では東京都内の発生頻度を使い、竜巻が100kmの直線と交差する確率を考える。なお、竜巻は $d=0.1\text{km}$ の幅をもって地表を直進するものとし、竜巻の移動距離 L を 7.2km ($=36\text{km/h} \times 0.2\text{h}$) とする。竜巻と線路が接する限界の状態は、図13のように被害範囲と線路が1点で重なった場合である。ここで、被害範囲の延長方向と線路とのなす角度を θ とすると、被害範囲の中心Cと直線との距離 D は、式(5)で算出することができる。

$$D = \frac{L \sin \theta + d \cos \theta}{2} \dots \dots \dots (5)$$

従って、被害範囲の中心Cが線路の左右 $D\text{km}$ 以内、すなわち長さ100km、幅 $2D\text{km}$ の長方形の範囲内に出現した時に、線路と被害範囲が交差すると考えられる。この長方形の範囲内にCが出現する確率 PI は、東京都内の竜巻発生頻度を使い、式(6)となる。

$$PI = \frac{0.89}{1\text{年} \cdot 1\text{万km}^2} \times (L \sin \theta + d \cos \theta) \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 θ は $0 \sim \pi/2$ までを考えればよい。また、 $\sin \theta$ の期待値は式(7)より $2/\pi$ となる ($\cos \theta$ の期待値も同様)。

$$\int_0^{\pi/2} \sin \theta \cdot d\theta = [-\cos \theta]_0^{\pi/2} = 1 \dots \dots \dots (7)$$

一方、平均速度 $W=50\text{km/h}$ で5分に1本の割合で列車が運行されていると仮定すると、100km区間の通過所要

特集：防災技術

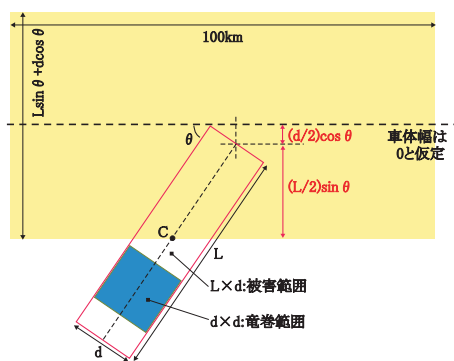


図13 竜巻が線路と交差する確率の概念図

時分は120分となり、100km区間内に120分÷5分/本=24本の列車が存在することになる。列車長さを120m(6両編成)とすると、複線の線路上を列車が占める割合は、0.12km/本×24本×2線÷100km=0.058となる。また、被害範囲のどこかに竜巻が存在し、その確率は被害範囲内で均一であるものとする、被害範囲内に竜巻が存在する確率は0.1km/(7.2-0.1)km=0.014となる。よって、東京都内の仮想的な直線100km区間を走行する列車が1年間に遭遇する竜巻の数Pは式(8)で求められる。

$$P = \frac{0.89}{1年 \cdot 1万km^2} \times \left(\frac{2 \times 7.2}{\pi} + \frac{2 \times 0.1}{\pi} \right) \times 100 \times 0.058 \times 0.014 = 3.35 \times 10^{-5} \dots \dots (8)$$

ここでPの逆数をとると、およそ3万年に1回程度の割合で東京都内の100km区間を走行中の列車が竜巻に遭遇する計算になる。100km区間を毎時12往復する頻度で3万年に1回という確率は、列車キロに換算すると6300億km走行につき1回となる。

6. まとめ

本論では以下のことを明らかにした。

- (1) 強風による脱線転覆事故件数は列車キロ当たりで100年間に10の-2乗以下に減少したが、一因として運転規制の効果と考えることができる。
- (2) 本研究で提示した評価方法を使って試算した結果では、25m/sで運転を抑止すると、強風地を5分間で走行する列車が30m/s以上に遭遇する確率は無規制の場合のおよそ10の-2乗以下に減少した。
- (3) 運転規制に徐行を取り入れると、30m/s以上の強風に遭遇する確率はさらに減少する。ただし、F1以上の竜巻(幅100m)に遭遇する確率はそれよりもさらに小さい。
- (4) 列車が強風に遭遇する確率は安全性の指標として対策の検討に使うことができる。また、運転の抑止や徐行の効果は対策前後の確率の違いで評価することができる。さらに、区間長、運転本数密度、危険な風速の中央値、およびその区間の風況が把握できれば、危険な風速に遭遇する年あたりの列車本数の期待値が

算出でき、その値は対策の緊急性の判断に役立つものと考えられる。

7. おわりに

今回の試算では、数kmの空間における一様な風況を仮定した。風速計が規制区間の中で最も強風頻度の高い地点に設置されていれば、運転規制を行った場合の遭遇確率は今回の試算よりも小さくなる。ただし、風速計地点と区間内の任意地点の風速に完全な相関性を仮定している点では逆の傾向をもたらす可能性がある。また、風の運転規制だけが隣接区間と独立に発令される条件で試算した。現実の強風時には、隣接区間で列車が抑止されて運休したり、時間雨量で規制されて、結果的に「早め規制」となる確率が平常時よりも確実に増している。この点では、運転規制の効果は控えめな評価となっているものと思われる。

線区の強風によるリスクを評価するために危険な風速の解明は重要であるが、同じく自然風の統計的な性質を解明することが重要である。そのために、規制用風速計による風速の出現頻度に関するデータを蓄積することが望まれる。

文献

- 1) 藤井昌隆, 藤井俊茂, 村石尚: 強風時の運転規制の歴史, 鉄道総研報告 Vol.9, No.3, 1995.
- 2) 福原隆彰, 島村泰介, 今井俊昭: 風速の時間変動を考慮した強風時運転規制の評価法, 鉄道総研報告, Vol. 21, No. 1, 2007.
- 3) 荒木毅男: 暴風による列車脱線転覆事故, 新線路, 1963年
- 4) 藤井俊茂: 強風災害防止に関する研究開発の現状と今後の展望, 鉄道総研報告, Vol. 19, No.10, 2005.
- 5) 日比野有, 石田弘明: 車両の転覆限界風速に関する静的解析法, 鉄道総研報告, Vol. 17, No.4, 2003.
- 6) Orlandi, L.: "A rational subdivision of scales for atmospheric processes". Bulletin of the A.M.S., Vol.56, pp.527-530, 1975.
- 7) 今井俊昭, 島村泰介, 藤井俊茂: 自然風風速の変動特性を考慮した実況風速の評価, 鉄道総研報告, Vol.17, No.8, 2003.
- 8) 島村泰介, 福原隆彰, 今井俊昭: 風速の時間変動に及ぼす気象条件と周辺地形の影響, 鉄道総研報告, Vol.19, No.10, 2005.
- 9) 気象庁: 竜巻等の突風データベース, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html>, 2008.
- 10) Niino, H., Fujitani, T., and Watanabe, N.: "A statistical study of tornadoes and waterspouts in Japan from 1961 to 1993", Journal of Climate, 10, pp.1730-1752, 1997.