

千葉支社管内の夏季の最高レール温度の分析結果について

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○吉田 尚

1. 目的

軌道の構成部材であるレールは、温度変化により伸縮するが、それが拘束された場合に生じる軸力により座屈が発生する可能性がある。そのため、ロングレール区間ではふく進量、定尺区間では遊間量を管理している。それらを管理する上で、想定される外力として、「予想される最高レール温度」を設定している。その設定値については、レール温度に関する観測システム網が無い時代に、気温に対するレール温度の関係から推定し、多くの地域で60℃という値が用いられてきた。

しかし、近年の極端な気象により、レール温度が60℃を超過する事例が発生しており、想定される外力が正しいかどうか、定量的な判断が必要となっている。一方で、観測システム網によるレール温度の観測データは、最近では10年以上蓄積している。そこで、観測されたレール温度データを統計的に分析することにより、予想される最高レール温度を定量化し、より安全な管理の導入に関する意思決定の指標とすることを目的として、夏季の最高レール温度の分析を行った。

2. 研究内容および理論的背景

最高レール温度のような極値に関する推測については、水文気象学や金融工学等におけるリスクの定量化で極値統計学が用いられている。極値データを扱う場合、ある期間(1年間等)ごとに分けたときの最大値データ(区分最大値データ)と、データ全体の中で十分大きな閾値を超えるデータ(閾値超過データ)の2種類があるが、標本数が少ない場合には閾値超過データを用いることが推奨されている¹⁾。千葉支社管内の観測所(計9箇所)で現在得られているレール温度のデータは、2002年4月22日が起点となっており、年最大値データを用いると標本数が

11個と少ないことから、本研究では閾値超過データによって日最高レール温度の極値を推定する。

推定にあたり、酷暑期(7/20~8/31)においては母分布が等しいと仮定し、用いるデータは酷暑期のものに限ることとする。なお、1年あたりの標本数は43個である。

閾値超過データは、一般パレート分布(以下、GPDとする)に従うことが知られている。日最高レール温度 x を任意に設定する閾値 u で足切りして得られる値 $y (=x-u; x>u)$ がGPDに従うとき、累積分布関数は次の式(1)で表せる²⁾。

$$G(y) = \begin{cases} 1 - \left(1 + \frac{\xi y}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{\xi}} & (\xi \neq 0) \\ 1 - \exp\left(-\frac{y}{\sigma}\right) & (\xi = 0) \end{cases} \dots (1)$$

$G(y)$ は、母数 ξ が負の値で推定される場合、分布の裾が厚く短くなり、1に収束しやすいことから、設定した閾値を大きく超過するリスクは小さい事がわかる。一方で、 ξ が正の値となると、分布の裾は薄く長くなり、設定した閾値よりも大きな値が発生する可能性が高くなる。

閾値の設定については、閾値を変化させた時に推定される母数が一定とみなせる最小値を採用する方法により求めた。例えば、図-1の例では σ の推定値が安定する51℃を閾値 u として設定する。なお、各母数の推定は、最尤法により行った。

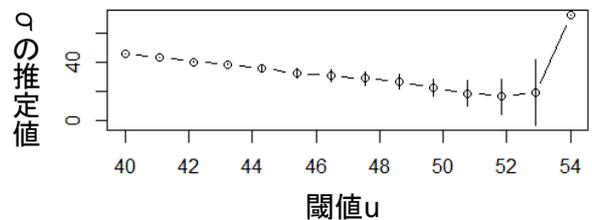


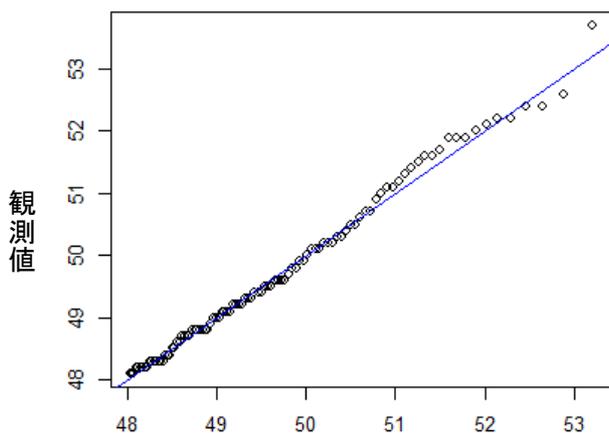
図-1 閾値 u を変化した時の σ の推定値の例

キーワード ロングレール、遊間、最高レール温度、一般化パレート分布

連絡先 〒260-8551 千葉県千葉市中央区弁天2-23-3 東日本旅客鉄道(株)千葉支社 TEL043-284-6764

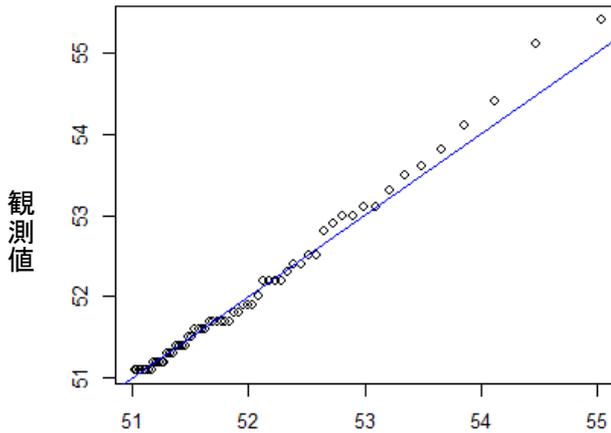
表-1 各観測点における母数および再現期間確率量の推定結果

	閾値 u	閾値超過数	σ		ξ		再現期間50年確率量			再現期間500年確率量		
			推定値	標準誤差	推定値	標準誤差	95%下限	推定値	95%上限	95%下限	推定値	95%上限
新小岩	50	36	1.7	0.34	-0.4	0.13	53.3	53.7	55.5	53.6	54.0	56.2
西船橋	50	57	2.1	0.35	-0.5	0.12	53.8	54.0	54.0	53.9	54.2	54.2
千葉	51	61	1.2	0.23	-0.1	0.14	54.9	56.1	59.0	55.4	57.5	61.2
銚子	49	101	2.8	0.32	-0.7	0.08	53.1	53.2	53.7	53.2	53.3	53.9
成田	49.5	103	2.5	0.28	-0.4	0.06	55.2	55.4	56.7	55.5	55.8	57.6
大網	51	74	2.1	0.28	-0.4	0.08	55.6	55.8	57.2	55.9	56.1	58.1
勝浦	48	41	1.2	0.23	-0.2	0.13	51.0	51.6	53.7	51.4	52.2	54.7
木更津	49	190	3.5	0.30	-0.5	0.06	55.7	56.0	56.9	55.9	56.2	57.3
館山	49	89	1.8	0.24	-0.4	0.08	53.1	53.6	55.1	53.4	53.9	55.8



モデルの推定値

(a) 新小岩



モデルの推定値

(b) 千葉

図-2 推定された母分布関数のQ-Qプロット

3. 結果

各観測点における母数および再現期間確率量の推定結果を表-1に示す。今回の推定結果では、母数 ξ は全て負の値となっており、分布の裾が厚く、比較的閾値に近い温度で頭打ちとなる母分布が推定された。

データに対する分布の適合度については、観測値の経験分布関数とそれに対するモデルの確率密度関数の分位数を比較するQQプロット等により確認しており、結果は概ね良好である。代表的なものを図-2に示す。(a)の新小岩については、ほぼ観測値と等しいモデル推定値が得られている。一方、(b)の千葉については、分布の裾の部分で全体的にモデルの推定値が観測値を下回り、乖離が見られている。ここで、閾値をさらに高く設定すれば、分布の裾の乖離は小さくなるが、一方で閾値超過データ数の不足からくるパラメータ推定値の不確実性が大きくなり、予測誤差が大きくなる。そのため、モデルの改良、更なるデータの蓄積等が必要である。

また、「予想される最高レール温度」の規模をどの程度で設定するべきかという問題があるが、表-1では50年に1度、500年に1度の発生確率の値を示している。これによると、千葉の観測地においては、500年に1度の発生確率で、推定結果の95%上限の場合に60°Cを超過する可能性が示されたが、それ以外の箇所では60°Cを下回る結果となった。

4. まとめ

以上の結果をまとめると、以下の通りである。

- ① 酷暑期の日最高レール温度について、ある閾値 u を越える値の分布をGPDにより推定した結果、概ね良い適合度を確認した。
- ② 一部、データに適合していないモデルがみられたため、モデルの改良・更なるデータの蓄積が必要である。

参考文献

- 1) 年最大値の極値統計量に及ぼす標本サイズの影響に関する数値実験 (合田, ECOH/YG 技術論文 No.14, 2010)
- 2) An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values (Coles, 2001)