

## 主成分分析とクラスター分析による軌道状態評価

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○川口 昭人

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 三和 雅史

## 1. はじめに

MTT保守については、軌道状態の悪い箇所に対して適切な時期に実施することで、良好な軌道状態を維持できることが期待されるが、現実には道床劣化等の原因により十分なMTT保守効果が得られない箇所や、軌道狂い進みが大きいために頻繁な保守が必要な箇所が存在する。よって、このような箇所を保守対象区間から抽出することは、MTT保守計画の作成や材料交換箇所を検討する上で、非常に有益であると考えられる。本稿では、多変量解析により各ロットの軌道状態推移データを分析してロットを分類した結果を報告する。

## 2. 分析手法の概要

本分析では、100mロットの様々な多変量データに対して、主成分分析を行って得られる主成分得点に対してクラスター分析を行うことにより、各ロットを分類する。

## (1) 主成分分析

主成分分析とは、多種類の特性を持つ事象がある場合、測定されたデータの相互関係を分析して、これらの特性を互いに無相関ないくつかの総合特性値(主成分)に合成・要約する手法である。

## (2) クラスタ分析

クラスタ分析とは、類似した個体あるいは変数のグループ化を行う手法である。データの類似性の判定基準としてはいくつかあるが、今回はユークリッド距離を用いるウォード法により分析する。

## 3. 分析データ

本分析では、あるJR在来線における3年間、12回の軌道検測データとMTT施工実績データを使用した。また、主成分分析に用いた変量は表1に示す通りであるが、軌道狂いに関する変量については、100mロット最大値、標準偏差の各変量についての平均値を用いた。

## 4. 分析結果

## (1) 主成分分析

図1に各主成分の固有値を示す。本分析は、規準化した変量の相関行列に対して主成分分析を行っているため、ここでの固有値は「各主成分が説明する元の観測変量の個数」を表していることから、以下では固有値が1以上である第4主成分までを考慮して分析する。表2は各主成分の因子負荷量であり、これは主成分と観測変量との相関係数に相当することから、この値の大小により各主成分の意味を解釈することができる。以下にその解釈を示す。

[第1主成分] 因子負荷量の値が大きいのは軌道狂い進みや軌道狂い標準偏差、最大値であることから、この成分は軌道状態を表していると解釈できる。

[第2主成分] 高低狂いに関する変量に対して正に大きく、水準狂い(カント)に対して負に大きい。また、通り狂いに関する変量と水準狂いとが同じ符号であることから、この成分は軌道線形を表していると考えられる。

[第3主成分] 改善率の値が際立って大きいことから、MTTの保守効果を表している。

[第4主成分] MTT保守率の値が際立って大きく、改善率の値もやや大きい。このことから、第4主成分は、MTTの頻度とその保守効果を表していると解釈できる。

キーワード: MTT, 保守効果, 主成分分析, クラスタ分析

連絡先: 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 Tel 042-573-7278

表1 変量リスト

変量	記号
高低狂い改善率	$\alpha \sigma_y$
高低狂い標準偏差 [mm]	$\sigma_{ya}$
高低狂い最大値 [mm]	$y_{max}$
高低狂い進み [mm/年]	$\Delta \sigma_{ya}$
通り狂い改善率	$\alpha \sigma_z$
通り狂い標準偏差 [mm]	$\sigma_{za}$
通り狂い最大値 [mm]	$z_{max}$
通り狂い進み [mm/年]	$\Delta \sigma_{za}$
水準狂い	CL
MTT保守率	MTT

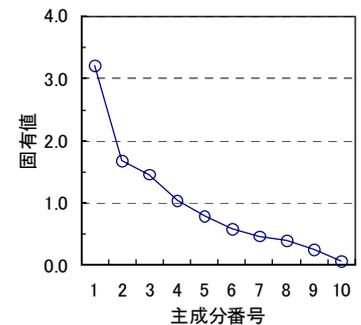


図1 各主成分の固有値

表2 因子負荷量

記号	主成分			
	1	2	3	4
$\alpha \sigma_y$	-0.25	0.04	<b>0.74</b>	-0.27
$\sigma_{ya}$	<b>0.65</b>	<b>0.52</b>	-0.17	-0.31
$y_{max}$	<b>0.72</b>	0.47	-0.15	-0.25
$\Delta \sigma_{ya}$	0.47	<b>0.52</b>	0.33	0.08
$\alpha \sigma_z$	-0.26	0.16	<b>0.71</b>	-0.20
$\sigma_{za}$	<b>0.86</b>	-0.39	0.06	-0.05
$z_{max}$	<b>0.85</b>	-0.37	0.06	-0.03
$\Delta \sigma_{za}$	<b>0.51</b>	0.07	0.40	0.27
CL	0.44	<b>-0.66</b>	0.27	0.16
MTT	0.09	0.41	0.10	<b>0.81</b>

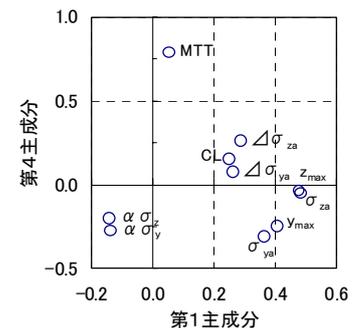


図2 固有ベクトル

今回の分析では、軌道状態とMTT保守効果の関係を対象とするため、以下では第1主成分と第4主成分について分析する。

まず、式(1)により主成分得点を算出する。式から明らかなように、主成分得点は変量と固有ベクトルとの積和であり、固有ベクトルは各変量に対する重み係数である。

$$t_{nz} = \sum_{p=1}^P w_{pz} X_{np} \quad (1)$$

ただし、 $t_{nz}$ : ロット  $n$  の第  $z$  主成分得点  $P$ : 変量数  
 $w_{pz}$ : 変量  $p$ , 第  $z$  主成分の固有ベクトル  
 $X_{np}$ : ロット  $n$  の変量  $p$  の規準化した値

ここで、固有ベクトル  $w$  と因子負荷量  $a$  との間には、 $a = \sqrt{\lambda} \cdot w$  ( $\lambda$ : 固有値) という比例関係があることから、固有ベクトルの大小関係は因子負荷量のそれと同じである。図2に第1, 第4主成分の固有ベクトルを示す。第1主成分については軌道状態を表す各変量に対して、第4主成分についてはMTT保守率に対して正の重み付けがされることが分かる。図3は、主成分得点をプロットしたものである。固有ベクトルとの関係から、第1象限は軌道状態が悪く、MTT保守回数が多いロットの集合、第2象限は軌道状態が良く、MTT保守回数が多いロットの集合、第3象限は軌道状態が良くMTT保守回数が少ないロットの集合、第4象限は軌道状態が悪く、MTT保守回数が少ないロットの集合であることが推察される。

(2) クラスタ分析

次に、主成分得点に対し象限ごとにクラスタ分析を行いグループ分けを試みる。図4は各クラスタの重心をプロットしたものであり、図5は、クラスタ別に規準化した各変量の値をプロットしたものである。なお、軌道狂い標準偏差と最大値は、ほぼ同じ傾向を示すため標準偏差のみ示している。これらの図から、象限ごとに特徴が異なることが確認できる。また、原点付近で隣接するクラスタ間の差異については、やや不明瞭なものもあるが、原点から離れたクラスタについては、それぞれ特徴的な差異が確認できる。ここで、①MTT回数が多いが軌道状態が悪い箇所、②軌道状態が良いがMTT回数が多いい箇所注目すると、該当するクラスタの内でも最も特徴的なのは、①についてはクラスタ2、②についてはクラスタ7である。これらの箇所の軌道状態を、時系列データにより確認する。

図6(a)はクラスタ2に属するロットの高低狂いの推移である。高低狂い進みが大きいのと改善率が小さいため、短い間隔でのMTT保守が実施されている。このような箇所についてはMTTによる保守よりも、劣化要因を究明して各種材料交換等による抜本的な対策を検討すべき箇所であると判断できる。同図(b)はクラスタ7に属するロットの高低狂いの推移である。高低狂い進みが小さいため期間を通じて軌道状態が良好である。一方で、MTT保守回数が多いがその効果は小さく、その必要性が極めて低いロットでありMTT保守回数や保守実施基準を見直すべきロットであると判断される。

5. まとめ

- (1) 100mロットごとの軌道狂いデータとMTT保守実績データに対して主成分分析を行うことにより、軌道状態とMTT保守効果の特徴を考慮してロットを分類することが可能である。
- (2) 主成分分析により得られた主成分得点に対してクラスタ分析を行うことにより、MTT保守箇所の見直しや材料交換検討箇所を抽出できる。

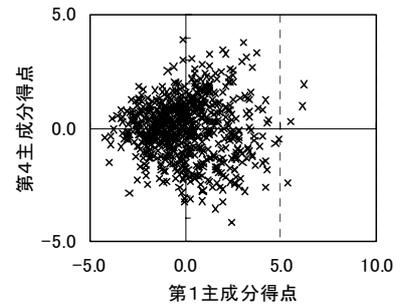


図3 主成分得点

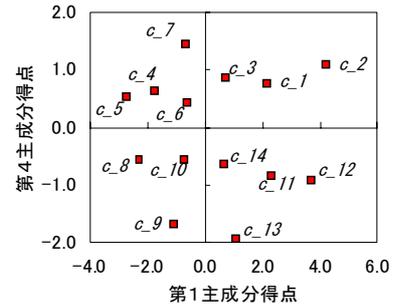


図4 クラスタ分析結果

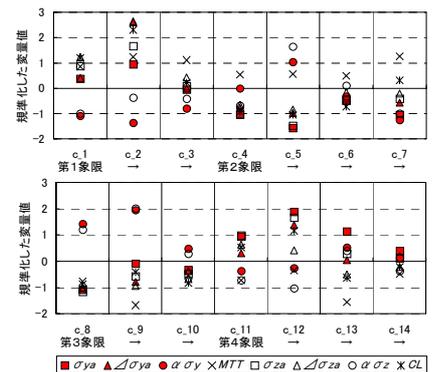
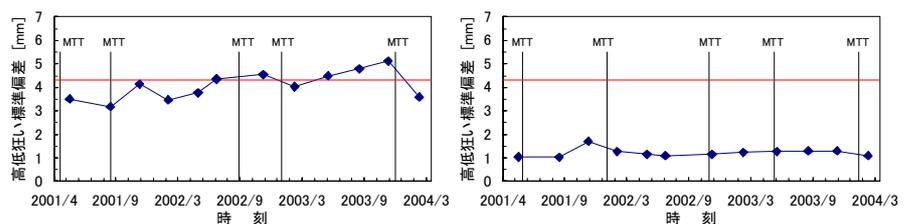


図5 クラスタ別各変量値



(a) クラスタ2

(b) クラスタ7

図6 軌道状態の推移