

S2-2-6 軌道狂い保守量推定のための軌道・輸送条件の要因分析

○ [土] 寺田 浩一郎 [土] 三和 雅史 ((財)鉄道総合技術研究所)

Multivariate analysis for estimating the amount of track tamping work
Koichiro Terada, Masashi Miwa (Railway Technical Research Institute)

In this paper, we describe the result of statistical analysis for estimating the amount of track tamping work. For the analysis, we use multivariate analysis method for data set of track structure, traffic and surface irregularity of railway divisions. We divide the data into some group by principal component analysis and cluster analysis. Then we can classify the divisions by considering the results of the analysis. Moreover, we propose the discriminant function based on the result of discriminant analysis. Finally, we propose the model for estimating the amount of track tamping work for each class by using multi regression model.

キーワード：軌道狂い、軌道保守、多変量解析

Keywords: track irregularity, track maintenance, multivariate analysis

1. はじめに

軌道保守費の多くは軌道狂い保守費であり¹⁾、必要な軌道狂い保守量を高精度で推定することは重要な課題である。これまでも、軌道破壊量を考慮して軌道保守人員を推定するY式²⁾や、つき固め率Aの推定式³⁾の検討例があるが、昨今のように特性が大きく異なる線区が混在する状況に対しても一律にこれらの式を適用することは推定精度上、適当ではないと考えられる。よって、特性を考慮して線区を分類した上で推定モデルを構築し、実務に適用することが考えられる。このことから、本研究では軌道狂い保守量に影響すると考えられる軌道構造、輸送条件、軌道状態⁴⁾、保守実績の要因データに対して多変量解析を実施して線区をグループに分類する。そして、各グループの軌道狂い保守量を推定するモデルを推計する。

2. 分析の概要

2.1 分析対象線区、データ

分析対象とする線区とデータを図1に示す。ここでは、23線区についてある年度における軌道に関する14要因(本線率[本線]、無道床軌道率[無道床]、砕石道床率[砕石]、PCまくらぎ率[PC]、木まくらぎ率[木]、軌道延長当たり分岐器数[分岐]、ロングレール率[ロング]、60kgレール率[60kg]、50Nレール率[50N]、50PSレール率[50PS]、50Tレール率[50T]、40Nレール率[40N]、37kgレール率[37kg]、30kgレール率[30kg])と輸送条件に関する2項目(最高速度[Vmax]、通過ト

ン数[通トン])、軌道状態として年間平均高低狂い標準偏差[σ]、軌道狂い保守量としてマルタイ保守率[MTT]の18要因の実データを用いて分析する(表1参照)。この他にも軌道狂い保守量に影響する要因が考えられるが、入手の困難性や精度に疑問があることから、ここではここに示すデータに対する分析とした。図中の各データは標準化(Z変換)済みのものであるが、いずれも在来線線区のもので通過トン数は最大約2200万t/年、高速線区からローカル線までを含んだデータである。

表1 分析対象要因

分類	項目
軌道構造	本線率,無道床軌道率,砕石道床率,PCまくらぎ率,木まくらぎ率,軌道延長当たり分岐器数,ロングレール率,60kg率,50N率,50PS率,50T率,40N率,37kg率,30kg率
輸送条件	最高速度,通トン
軌道状態	年平均高低狂い標準偏差
保守実績	マルタイ保守率(=突き固め延長/軌道延長)

2.2 分析の手順

分析手順を図2に示す。本分析は多変量解析のいくつかの手法を用いて実施される。まず、各線区のデータに対して主成分分析を実施し、得られる得点に基づく線区分類の可能性を評価する。次にクラスター分析により線区をグループに分類し、分類結果に基づいて判別分析を実施して分類基準となる判別関数を得る。最後に各グループにおける軌道狂い保守量の推定式を重回帰分析により推計する。

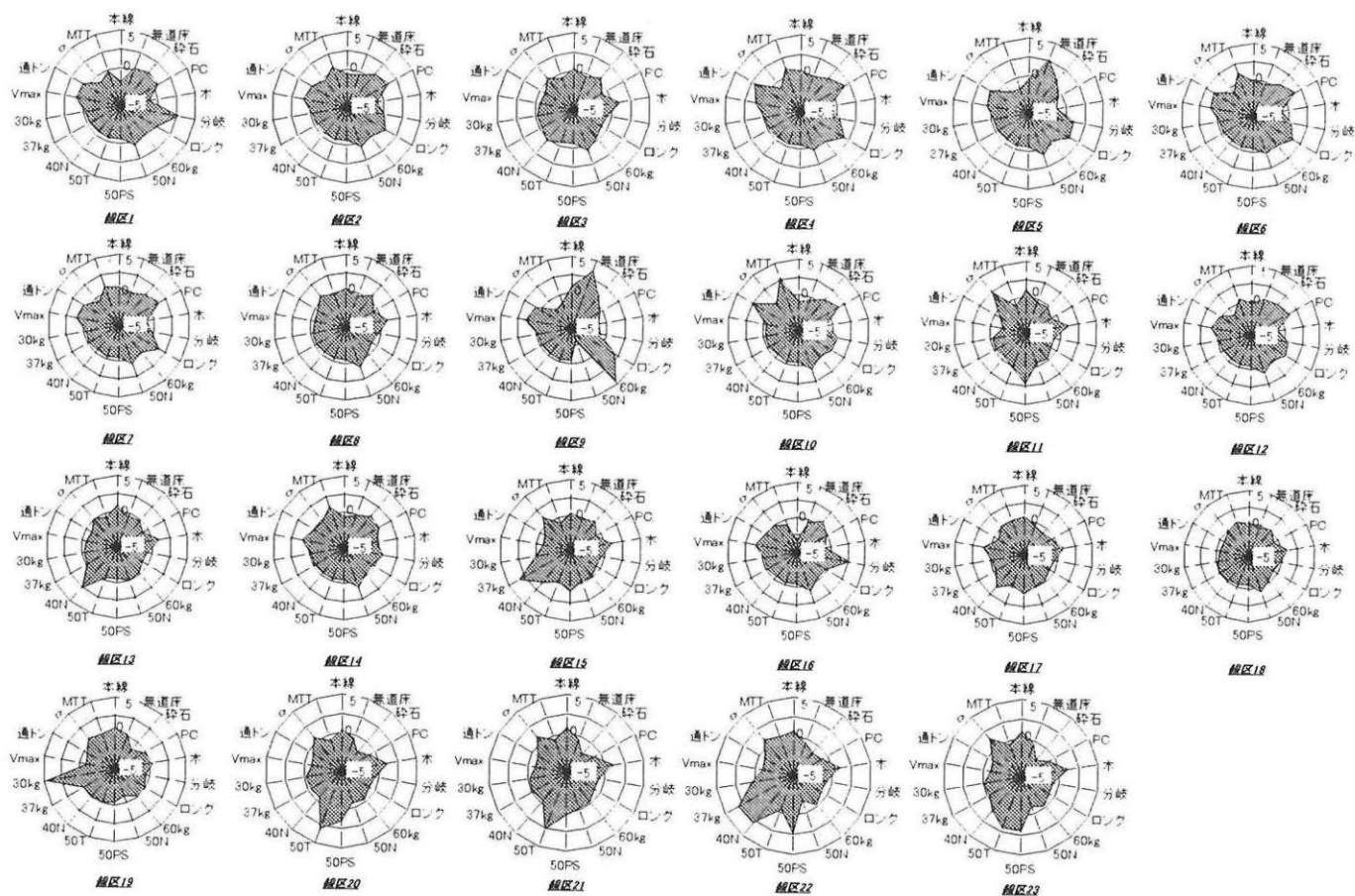


図1 分析対象データ (Z変換済み)

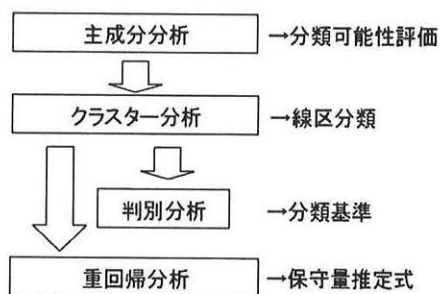


図2 分析手順

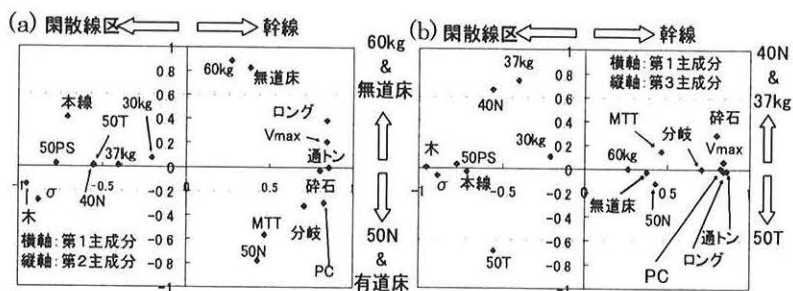


図4 主成分行列の関係

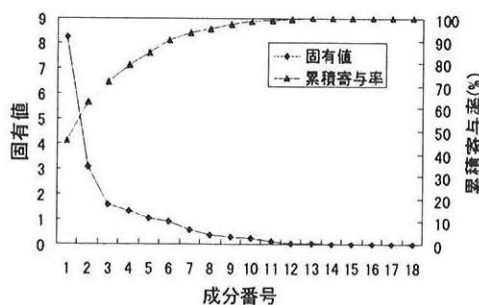


図3 スクリーテスト結果

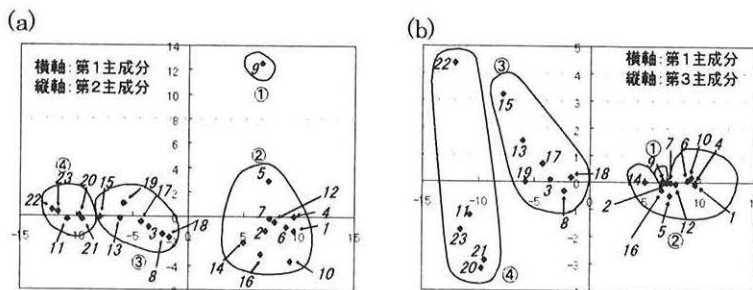


図5 線区毎の主成分得点

3. 分析結果

3. 1 主成分分析

主成分分析により得られるスクリーテストの結果を図3に示す。この図から固有値の減少傾向が変わる第3主成分までに着目することとする。

図4(a)に第1、第2主成分、(b)に第1、第3主成分の成分行列（因子負荷量）の関係を示す。(a)から、第1主成分は軌道、輸送条件とも幹線の特徴を有する項目が+の側に、閑散線区の特徴を有する項目が-の側に分かれる傾向を認めることができる。このことから、第1主成分は幹線と閑散線区の差を表すと解釈できる。第2主成分は60kgと無道床が+の側に、50NとMTTが-の側に大きく離れて存在する。MTT 保守は有道床軌道で用い

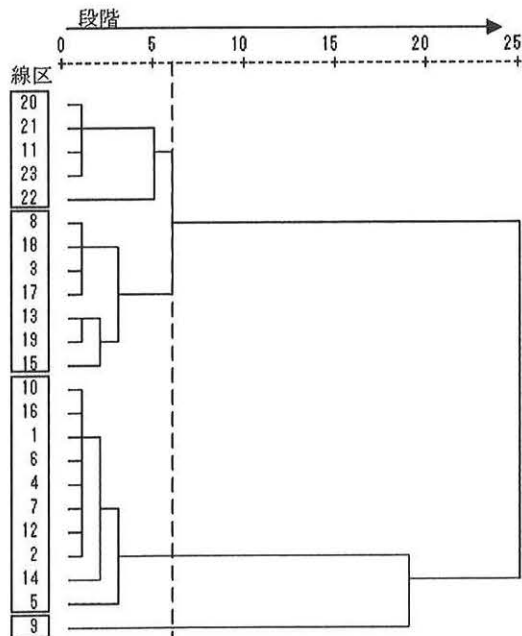


図6 デンドログラム（線区）

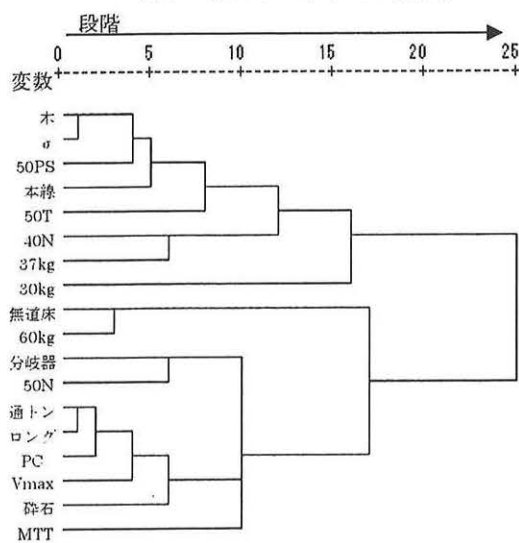


図7 デンドログラム（要因）

られることから、この MTT を「有道床」を読み替えれば、第2主成分は60kgと50Nのレールの違いと道床の有無を表すと解釈できる。(b)では、第3主成分は37kgと40Nが+の側に、50Tが-の側に大きく離れて存在する。よって第3主成分はこれらレールの違いを表すと解釈できる。

以上で得られた成分行列を用いて各線区の主成分（総合）得点を算出した結果を示したのが図5である。先述の各成分の解釈に沿って各線区の得点が異なり、いくつかのグループに分けられると推測できる。

3. 2 クラスタ分析

主成分分析の結果、線区の特徴を考慮して線区のグループ化が可能であるとの結論が得られたことから、先に得られた主成分得点についてクラスタ分析により定量的にグループ化する。

図6に分析により得られたデンドログラムを示す。特性が似た線区をいくつかの段階を経てグループ化される様子が分かる。ここで図中に破線で示した段階6を基準とすると4つのグループに分けることができる。このグループを図5に示す。得られたグループは主成分得点から想定されるグループと矛盾しない。グループ①、②は幹線で、①には60kgレールで無道床率が高い線区9だけが含まれ、②には他の幹線が含まれる。グループ③、④は閑散線区であるが、第1主成分で得点が低かった④として5線区が含まれ、残る7線区が③に含まれる。④に分類された線区は、いずれも通トン100万t/年以下で軌道構造も弱い線区であるのに対し、③に分類された線区は現在あるいは何年か前まで優等列車や貨物列車が走行していた線区であるために④に比べて軌道構造が強く、同じ閑散線区でもこのように2つのグループに分かれたと考えられる。

要因についても同様の分析を実施した結果を図7に示

表2 正準判別関数係数

変数	関数		
	1	2	3
本線	0.51	-4.74	2.53
無道床	-2.58	11.26	-2.16
砕石	-3.97	-8.58	-2.35
PC	4.01	17.02	-1.97
木	18.85	32.78	-9.41
分岐	4.35	1.72	1.08
ロング	9.23	3.36	-0.86
60kg	-30.23	14.25	4.45
50N	1.55	7.98	4.90
50PS	0.14	4.32	3.29
50T	-2.17	-2.65	0.70
40N	-1.25	0.16	0.64
37kg	0.80	0.09	0.37
Vmax	0.95	-4.78	-2.26
通トン	0.86	-1.90	-1.39
MTT	-2.16	-1.03	0.24
定数	0.13	-1.07	-0.03

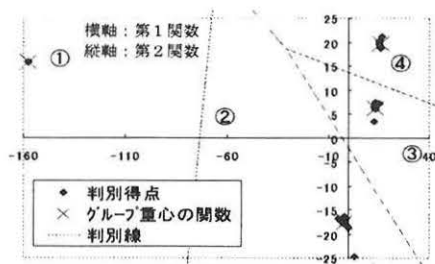


図8 領域マップ

す。図から要因間の類似性を把握できる。図中上半分の要因は第1主成分で閑散線区の特徴を表すと解釈されたものであり、ここでもこれらとそれ以外（図中下半分）に分かれた。

以上より、線区を4つのグループに分けて分析することとする。

3.3 判別分析

先に示した4つの線区グループに分類するために用いる判別式を判別分析により推計する。判別分析における変数の選択方法としては、種々の方法を試した結果、強制投入法を用いることとした。

得られた結果を表2に示す。4グループであることから3つの判別関数の係数が得られる。この係数を用いて各線区の判別得点を算出した結果を図8に示す。また、各グループの重心と判別関数から得られる判別線を図中に示す。得られた判別関数により、全ての線区の判別が成功している。よって、本関数により妥当な判別ができると考えられる。

3.4 軌道狂い保守量推定モデル

以上で得られた4つのグループ各々について軌道狂い保守量の推定モデルを推計する。ここでは、各グループにおいてマルタイ保守率との相関がある要因を選択し、標準化を行わないデータについて重回帰分析することによりマルタイ保守率を推定する。なお、重回帰分析の場合、説明変数間に高い相関が存在すると回帰式の信頼性が低下する問題（多重共線性）があることから、このことを考慮して変数を選択する。また、グループ①については1つの線区しか存在しないことと無道床率が高い線区であることから推計対象としない。

推計により得られた回帰式を以下に示す。式の下（）内の値は、各変数や定数のt値である。また、多重共線性の存在を確認するために各式の固有値を表3に示す。

$$y_{G2} = 0.03x_t - 0.81x_s - 1.55x_{60} + 0.30 \quad [R = 0.85]$$

(2.03) (2.47) (-2.91) (-0.89)

$$y_{G3} = -0.22x_\sigma + 0.10x_t + 0.79 \quad [R = 0.72]$$

(2.08) (-1.55) (1.68)

$$y_{G4} = -0.07x_\sigma - 0.54x_{50N} + 0.78 \quad [R = 0.86]$$

(3.08) (-0.98) (-1.94)

$y_{G2} \sim y_{G4}$: 各グループにおけるMTT保守率

x_t : 通トン, x_s : 無道床, x_{60} : 60kg, x_{50N} : 50N, x_σ : σ

説明変数として、グループ②では通トン、無道床率、60kgを用い、グループ③では通トンと σ を用い、グループ④では50Nと σ を用いた。いずれのt値も比較的大きく、固有値が0に近い次元が複数存在しないことから、統計的には適切と考えられる。各変数の係数から、②では無道床率や60kg率が増加すると保守量が減少し、③では維持する σ を下げたり通トンが増加すると保守量が増え、④では維持する σ を上げたり50N率が増加すると保守量が減ることが分かる。以上の式から得られる推定値と実測値とを比較したものを図9に示す。いずれの線区においても、推定値は実測値に近く、適切な精度であると判断できる。

表3 回帰式の固有値

グループ	次元			
	1	2	3	4
2	2.835	0.837	0.250	0.078
3	2.819	0.176	0.005	
4	2.966	0.024	0.010	

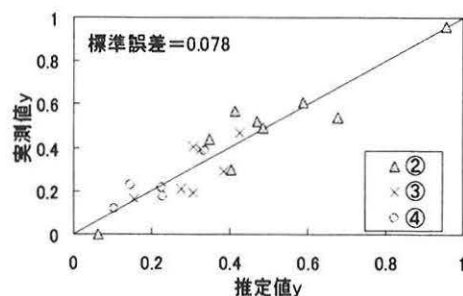


図9 推定モデルの精度

4. おわりに

本研究では、軌道狂い保守量に影響すると考えられる軌道構造、輸送条件、軌道状態、保守実績データに対して多変量解析を実施して線区をグループに分類し、重回帰分析により各グループの軌道狂い保守量を推定するモデルを推計した。推計した保守量推定モデルについては、更に考慮すべき要因等を検討し、構成の妥当性と精度の向上について分析を進める予定である。

参考文献

- 1) 安藤勝敏, 関根悦夫: 保守を軽減する軌道構造, RRR Vol.56 No.7, 1999, pp12-15
- 2) 佐藤裕: 軌道力学, 鉄道現業社, 1964, pp61-62
- 3) 佐藤吉彦, 梅原利之: 線路工学, 日本鉄道施設協会, 1987, pp217-220