

## 軌道保守計画支援システム開発の過去、現在、そして将来

2602780 (公財)鉄道総合技術研究所  
1002750 政策研究大学院大学

\*三和雅史  
大山達雄

MIWA Masashi  
OYAMA Tatsuo

### 1. はじめに

安全で快適な列車運行のためには、何 km にも及ぶ線路(軌道)の保守が必要である。よって、レール、まくらぎ、道床等の材料の状態検査や、列車の繰返し通過により成長する軌道面の不整(軌道狂い)の検査が行われ、保守が実施される。これらの作業には、多くの人手・費用を要してきたが、熟練担当者や多くの作業員を要する従来型の管理は、人口減少に伴う労働力不足や収入減少の時代を迎え、継続が難しくなりつつある。そのため、軌道の管理では、人に依存した管理からの脱却が大きな課題である。

このことから、効率的で高品質な保守の実現のために、ORを応用した軌道保守計画支援システムを開発し、実用されている。本稿では、本システム開発の過程と経緯を振り返りつつ、将来の本研究の方向を探る。

### 2. 軌道保守計画支援システム開発の開始

本研究を開始した1990年代では、専用の検測車(ドクターイエロー等)により、新幹線では10日、在来線では3ヶ月に1回程度の頻度で、また線路方向に0.25~1m間隔で軌道狂いが得られ、多くのデータが存在していた。現在も検測車が用いられているが、近年、営業車による高頻度な検測が実用化され、データ量は益々膨大になりつつある。一方、実務上は、直近の検測値と管理値を照査し、保守の是非を判断する形態が一般的であり、履歴データによる予測が行われないう等、データの活用は十分ではなく、また保守計画支援システムも未整備であった。そこで、軌道狂いの予測モデルと保守計画モデルを構築した。

最初に発表した文献(1998)では、まず、軌道狂いデータを分析し、確率分布を想定した軌道狂い状態モデルや推移予測モデルを構築した。これにより、各箇所の軌道狂いの将来推移の予測が可能になった。

次に、軌道狂い保守に用いられる大型機械(MTT)は、

線路上を移動して保守箇所の軌道狂いを修正するが、一定エリアに1台ずつしか配備されない他、回送可能範囲等の制約がある。そこで、MTTを効率的に運用する保守計画(スケジュール)の作成モデルを構築した。本モデルでは、線区を分割した保守候補区間(ユニット)に保守時期を付与する全整数型計画モデルとし、当時の鉄道会社の考え方に近い「総保守量上限下で線区全体の軌道状態をできるだけ良好に維持する」軌道状態最良化を目的関数としたが、経費削減のニーズを受け「目標軌道状態をできるだけ少ない保守量で維持する」コスト最小化も適用可能とした。一方、本モデルは数千~1万程度の整数変数を有する大規模モデルであり、計算時間の短縮が実用化の最大の課題であった。

### 3. 軌道狂い保守計画モデルの改良過程

#### 3.1 最適解探索の性能向上

スケジューリングモデルの求解を高速化するため、各箇所の軌道狂いの予測値が大きな区間だけを限定的に切り出してユニットを選択するモデルを構築した。また、一部変数の整数条件を緩和可能なモデル構造に改良した。更に、この時期、PCやWSの性能も大きく向上した。この結果、多くの線区で5分以内に最適解を得られるようになり、これらの成果については、論文等にまとめた。

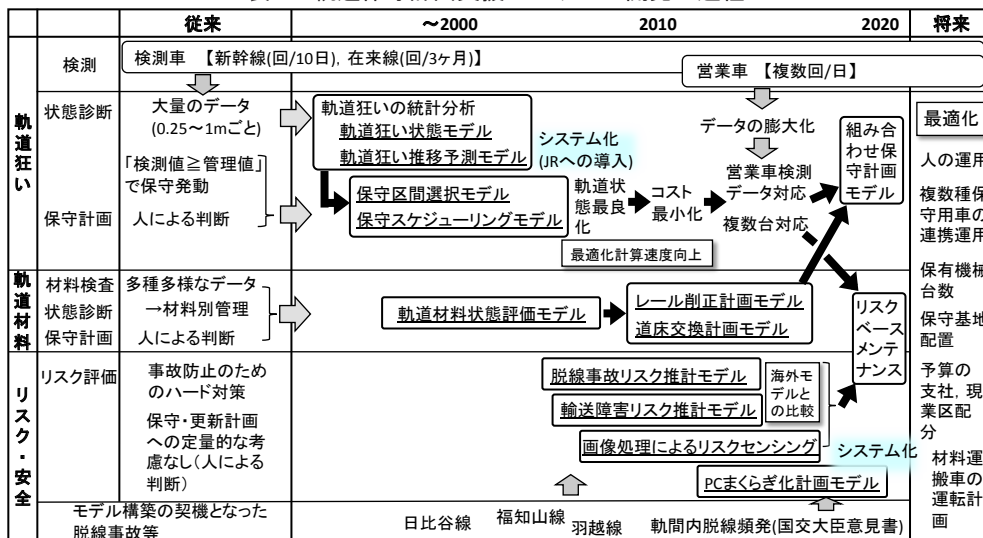
本モデルは、2000年代にシステム化され、現在、JR5社に導入されている。こうした保守のシステム化は、この時期、海外でも進んだが、MTTのスケジューリングまで行うのは、本システムだけであった。

本システムの導入前後の軌道状態、保守量の推移を図1に示す。導入後、保守量は年々減少したが軌道状態は良化し、システムの導入効果が現れている。

#### 3.2 影響要因のモデルへの導入の検討

構築したモデルにより、保守効率化のための種々の検討が可能となった。例えば、ユニット長や年間保守延長、

表1 軌道保守計画支援システムの開発の過程



担当エリア等を変えた場合の費用低減や軌道状態改善の効果を把握できる。また、複数台のMTTを複数保線区で共用し、広範囲に運用する実状に対応し、複数台MTTの運用に対応したモデルにも発展させた。表2はモデルの構造と適用例である。表から、MTTの長距離移動が発生することなく、短時間で計画を作成できることが分かる。

#### 4. 材料保守計画システム（レール削正、道床交換）への展開

軌道狂い保守計画システムの開発の後、軌道材料保守計画の最適化が課題となった。そこで、検査データ等から、軌道狂いの多頻度保守・急進箇所を選択、レール・道床の状態評価を行い、保守工種を提案する軌道状態評価システムを開発した。また、騒音等の発生原因となるレール表面凹凸を削る削正車の運用を考慮した削正計画モデルを構築し、システム化した。更に、列車通過や経年により細粒化等した道床の交換作業に用いられる道床交換機 [NBS]、道床安定作業車 [DGS] の運用計画を作成するモデルを構築し、システム化した。各モデルの構造と適用例を先掲の表2に示す。実績に比べて十分に良好な計画を作成できる。

ところで、軌道狂い保守とレール削正を同時期に行うと車両通過時の軌道への作用力を減らせるため、次の軌道狂い保守までの期間を延伸できる。そこで、MTTと削正車の運用を連携させた組み合わせ保守計画モデルを構築し、システム化を進めている。こうした複数種保守用車の連携運用は、今後の保守の効率化において重要な課題である。

#### 5. リスクや安全性を考慮した軌道保守・更新計画モデル

軌道管理の目的の1つは安全性の維持、即ち脱線事故防止であるが、稀に事故が起きて社会問題化する。表1に示した脱線事故は、脱線後の車両挙動により重大に至った例である。これらを機として、従来の「検測値と管理値の照査」に基づくだけでなく、事故リスクが高い箇所の保守優先度を高める「リスクを考慮した保守」が必要と考えた。

##### 5.1 脱線事故被害、リスクの推計

海外の研究例を考慮しつつ、我が国の事故・輸送障害の実態に応じた脱線事故の被害やリスクの推計モデルを構築した。この際、沿線の被害拡大要因を把握するため、画像処理技術を活用したセンシングシステムも開発した。

##### 5.2 リスクを考慮した軌道保守・改良計画モデルの構築と検証

従来の軌道狂い保守計画モデルにリスク推計モデルを組み合わせ、保守費用とリスクを考慮した保守計画作成の他、軌道狂い管理値や軌道検測周期の最適値を算出した。

また、木まくらぎの軌道では、その腐朽によるレール締結力の低下に伴う軌間内脱線が毎年発生しており、運輸安全委員会から国土交通大臣宛に防止を求める意見書が出された。対策としてコンクリートまくらぎ化があるが、多

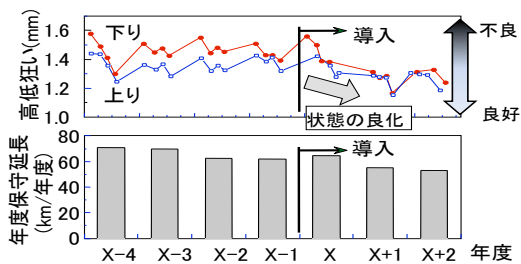


図1 軌道狂い保守計画モデルの実証試験結果

額の費用を要するため、安全性向上効果が高い箇所を優先的に施工する必要がある。そこで、軌道の設計で考慮される4項目の安全性に基づく優先度を曲線別に算定し、施工する曲線の総延長や予算の上限制約下で効果が最大の施工対象曲線群を選ぶ数理計画モデルを構築し、システム化した。本システムは地域鉄道を中心に活用されている。

#### 6. おわりに～将来に向けて～

人、機械、予算、設備の配置・配分・規模の最適化等、軌道には未解決の課題が多く残されている。解決においては、要因として考慮すべき範囲、また保守や事故のコストの考え方等の検討が必要である。更に、AIや画像処理技術との融合可能性についても、今後検討する必要がある。

なお、紹介したシステムでは(株)NTTデータ数理システム社製の Numerical Optimizer が最適化エンジンとして使われている。開発当初からの同社の協力に深謝する。

##### [参考文献]

三和, 石川, 大山 [1998] 「軌道状態推移予測モデルの構築に関する基礎的検討」 J-RAIL' 98.

三和, 石川, 大山 [2001] 「軌道状態推移予測モデルの構築と最適保守計画作成のための全整数型数理計画モデル分析」 土木学会論文集, No. 681/IV-52.

Miwa, Oyama [2004] "All - integer Type Linear Programming Model Analyses for the Optimal Railway Track Maintenance Scheduling", OPESEARCH, Vol.41.

Oyama, Miwa [2006] "Mathematical Modeling Analyses for Obtaining an Optimal Railway Track Maintenance Schedule", Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics, Vol.23.

Miwa, Brian, Oyama [2006] "Statistical Data Analyses to Elucidate the Causes and Improve the Countermeasures for Preventing Train Accidents in Japan", ITOR, Vol. 13.

Oyama, Miwa [2013] "Developing Optimal Track Maintenance Scheduling Model Taking Train Derailment Accident Risk into Consideration", Railway Engineering 2013, London.

三和, 大山 [2013] 「最適軌道保守計画作成モデルの実施検証に基づく性能評価と運用実施の汎用化」 土木学会論文集 D3, Vol.69.

Katayama, Miwa [2015] "Developing Track Maintenance Planning System for Replacing Ties & Rails", Railway Engineering 2015, Edinburgh.

Miwa, Oyama [2018] "An Optimal Track Maintenance Scheduling Model Analysis Taking the Risk of Accidents into Consideration", ITOR Vol. 25.

表2 各計画モデルの構造と試算結果の例

対象保守用車	保守箇所選択	計画作成		年度計画試算	
		主な制約	目的関数	移動距離	計算時間
MTT	軌道狂い予測値大 道床交換 PCまくらぎ連続交換	台数 検査 軌道狂い管理値, 保守基地配備, 保守期限	総移動距離(回送ロス)最小化 ↓ 軌道状態最良化 or コスト最小化	7台 対実績比 -30% 71%	7秒 保線区配備計画作成時
削正車	凹凸量予測値大 通トン 環境	各機械稼働可能範囲 凹凸, 通トン保守期限, 保守基地配備		2台 -20% 87%	2865秒 保線区配備計画作成時
NBS	道床不良(NBS可能)	時期, 区間, 所要日数	総移動距離最小化	3台 -50% 作業日決定モデルの場合	3600秒 打ち切り
DGS	道床不良	全作業割り付け		4台 -3.6% 作業日所与モデルの場合	3秒