アベイラビリティを用いた鉄道の運行品質の評価手法

○升谷 悟　藤田 健治　安岡 和恵　松本 雅行（東日本旅客鉄道株式会社）

The evaluation method of the train operation quality using availability

○Satoru Masutani*,Kenji Fujita ,Kazue Yasuoka and Masayuki Matsumoto(East Japan Railway Company)

In a construction or maintenance of railway systems, it is essential to apply the RAMS[1] method throughout their life cycle. Since the valuation method of availability is not specified in detail by RAMS, the method of evaluating "operation quality of railway system" is examined. In order to evaluate the quality of operation, we define "availability of railway operation." which is calculated from "recovery time from the accident". Moreover, analyzed the actual data and we propose to evaluate the quality of operation by "availability of railway operation."

キーワード：RAMS，アベイラビリティ
(RAMS, availability)

1.　はじめに

RAMS 規格とは，鉄道システム全体の安全性・信頼性の評価を行う手法を規格化したものであり，2002 年 IEC 国際規格（IEC62278）として制定された．RAMS 規格は，安全とアベイラビリティの柱によって構成されている概念である．安全に関するリスクについては詳細に記述されているがアベイラビリティに基づく評価方法については詳しく言及されていない．鉄道事業者としては，アベイラビリティに基づいて，鉄道運行の品質を定量的に評価することができれば運行の品質改善に寄与するものと考えられる．

そこで，本稿では，鉄道運行の品質を評価するための手法として，運転を支障する事象が発生してからダイヤが平復するまでの時間（以下，平復時間）に基づく「鉄道運行のアベイラビリティ」を定義することにより，運行の品質を評価する手法を提案した．また，運行のアベリラビリティの算出にあたり，これまで列車遅延の評価指標として用いてきた総遅延時分の応用についても検討を行った．

2　鉄道システムの運行の品質評価における課題

当社では，装置に求める信頼性について，要求仕様を策定し，管理を行っている．例えば，装置の信頼性については装置に不具合が発生した場合には，原因を特定し，必要により水平展開をするという対応を行っている．これを RAMS の 14 段階のサイクルに当てはめて考えた場合，第 11 段階（運用と保全），第 13 段階（改修と追加）のサイクルを繰り返すことで対応している．しかし，アベイラビリティについては，仕様上の要求項目とはしていない．

しかし，現在では輸送サービスの安定性が重要視されている．そのため，輸送の安定性を定量的に評価していくためアベイラビリティにより運行の品質を定量的に評価する手法が重要であると考える．これを RAMS の 14 段階のサイクルに当てはめて考えた場合，アベイラビリティ評価の結果に基づいて必要により第 4 段階（システム要求事項），に戻って第 12 段階（性能の監視），第 13 段階（改修と追加）のサイクルを回すという取り組みが必要となる．

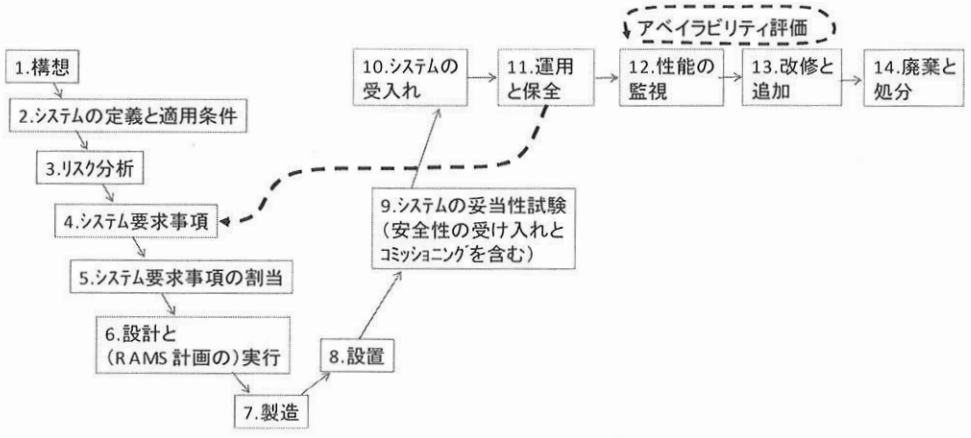

図1　システム検討におけるRAMSのプロセス

3. 運行の品質評価手法

3. 1 用語の定義

基本理論を説明する前に，その中で用いられるパラメータを以下のように定義する．

「平復時間」：設備の故障等により，列車の運行が乱れてから，列車ダイヤが回復するまでに要する時間．

「総遅延時分」：鉄道の運行支障の度合いを表すための目安として用いられる値で，以下の式で表される．

$$\text{総遅延時分} = \text{遅延列車本数} \times \frac{(\text{最大遅延時分} + \text{最小遅延時分})}{2}$$

「運行のアベイラビリティ」：列車の運行における稼働率で，1 年間において列車の運行が乱れていない時間の割合．

「年間支障発生率」：1 時間当たりの支障の発生率を表す．

3. 2 基本理論

鉄道の支障の度合いを評価する指標としては総遅延時分が良く使われており平復時間は毎回蓄積しているデータではない．このため，今回は平均平復時間だけではなく，平均総遅延時分を適用する方法についても検討を行った．

(1) 運行のアベイラビリティ算出

運行のアベイラビリティは 1 年間（8760 時間）の支障発生件数と支障 1 件あたりの平均平復時間を用いて以下の式で表すことができる．

$$\text{運行のアベイラビリティ} = \frac{8760 - \text{年間支障発生件数} \times \text{平均平復時間}}{8760}$$

年間支障発生件数を 8760 時間で割ったものは年間の支障発生率を表しているので，上式は以下のよう変形できる．

$$\text{運行のアベイラビリティ} = 1 - \text{年間支障発生率} \times \text{平均平復時間}$$

これより，年間支障発生率は以下の式で表すことができる．

$$\text{年間支障発生率} = \frac{1 - \text{運行のアベイラビリティ}}{\text{平均平復時間}}$$

しかし，平復時間は毎回蓄積をしている値ではないためデータ取得が難しい．その代わりに，鉄道の運行支障を示す値として蓄積をしている平均総遅延時分を用いて平均平復時間を表す方法についても検討する．下記のとおり，定数 k を用いると年間支障発生率は以下の式のとおりとなる．

$$\text{年間支障発生率} = \frac{1 - \text{運行のアベイラビリティ}}{k \times \text{平均総遅延時分}}$$

ただし，$k = \dfrac{\text{平均平復時間}}{\text{平均総遅延時分}}$ とする．

(2) 運行のインテグリティレベルによる評価方法

年間支障発生率と平均平復時間のグラフに対して，運行のアベイラビリティが等しくなる点の軌跡を描くと下のような双曲線で表すことができる．（図 2）

図 2 に対して，実際の線区における年間支障発生率と平均平復時間をプロットする．そしてプロットされた点と事業者が求める運行のアベイラビリティの双曲線との関係を見ることによって，線区における運行のアベイラビリティを評価することが可能となる．さらに，事業者が求めるアベイラビリティにいくつかの階層に分けることによって，実際の線区の運行のアベイラビリティの位置付けを表すことも可能となる．例えば，運行の品質（OIL；Operation Integrity Level）を運行のアベイラビリティの幅によって，レベル 1（98.0%以下），レベル 2（98.0～98.5%），レベル 3（98.5~99.0%），レベル 4(99.0%～99.5%)，レベル 5(99.5%以上）というように分類する．さらに，各線区の運行のアベイラビリティをプロットすることにより，運行の品質の位置づけを評価することができる．その結果，運行の品質改善を戦略的に行うための材料として使用することができるようになる．（図 3）

また，このとき，図 3 の横軸は平均平復時間であるが，k の値が 1 つの値に決まるのであれば，平均平復時間の代わりに平均総遅延時分を用いて運行インテグリティレベルを表すことが可能となる．

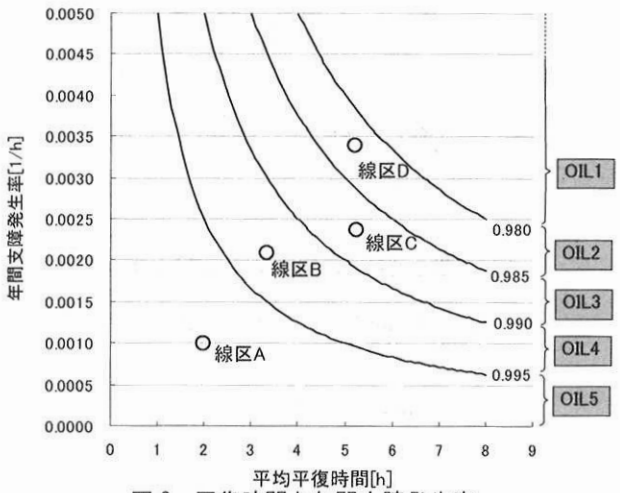

図 2　平復時間と年間支障発生率

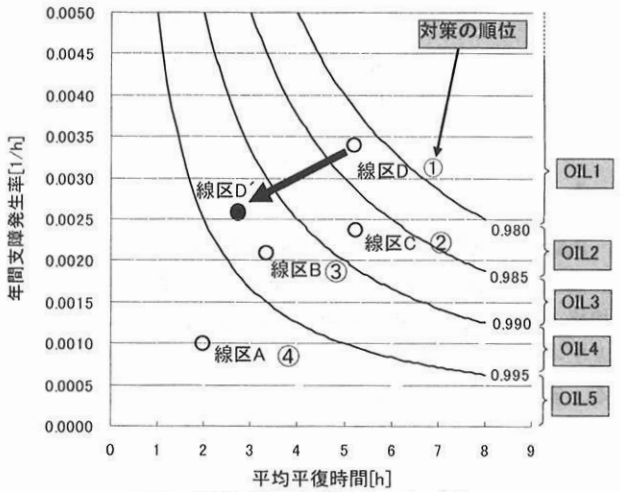

図 3　運行インテグリティレベル

4. 実データによる分析

4. 1 解析方法

首都圏の 19 線区において，過去 2 年間で設備故障や事故等により輸送に支障が発生した輸送障害を対象とした．支障における平復時間及び総遅延時分から運行のアベイラビリティ，年間支障発生率を算出した．ただし，データ蓄積の運用上，全支障件数に対して，平復時間は記録がないものがある．そのため，今回は平均総遅延時分から平均平復時間を推定するために両方の記録が残っているものを有効データとして取り扱うこととした．

4. 2 平均平復時間と平均総遅延時間の関係式

今回は，平均総遅延時分を適用した運行のアベイラビリティの評価を行う手法についても検討を行うため，実験的に平均平復時間と平均総遅延時分の関係を求めた．以下にその方法について述べる．まず，線区ごとに平均平復時間と平均総遅延時分の値をグラフにプロットした．（図 4）

そして，線区の特徴が類似している A～D のグループごとに最小二乗法による線形近似を行い，その直線の傾きから k の値を算出した．このように，平復時間のデータ蓄積がない場合には，線区の特徴を分類することにより，総遅延時分から k の値を推定する方法が考えられる．

次に，検討対象とした 19 線区において，A～D のグループに分類をしたことについて分析を行った．支障が発生したときに在線している列車本数は，線区の営業キロに比例するものと考えられる．ここで，各線区の運転形態に合わせて，線区自体の営業キロと乗り入れ区間の営業キロを影響区間とすると，表 1 に示すような 4 つのグループに分類することができる．その結果，山手線を除いては線形近似における分類と同じになった．但し，山手線（営業キロ 35km）は，影響区間で分類すると B に分類されるところであるが，実験の結果は D の分類となった．これは，山手線が環状線であるため，影響区間が長く連結されているものと推定される．

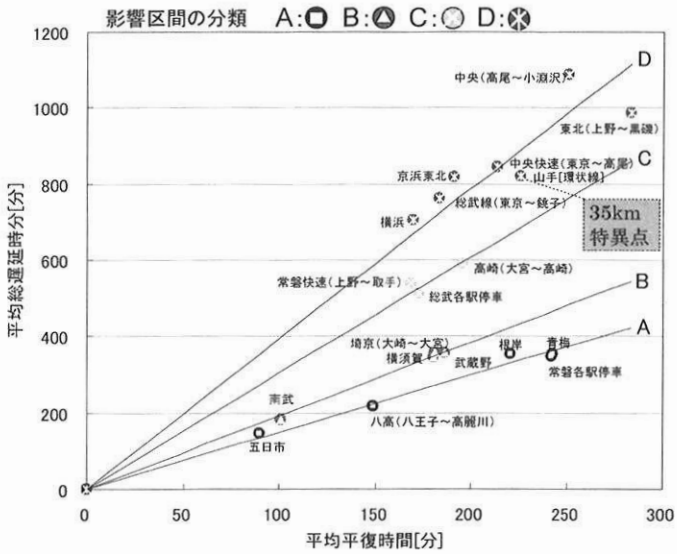

図 4　各線区の平均平復時間と平均総遅延時間の関係

表 1　線区の分類

分類	影響区間	k
A	30km 未満	0.66
B	30km 以上～60km 未満	0.52
C	60km 以上～80km 未満	0.33
D	80km 以上	0.25

5. データ分析結果

5. 1 実験結果

基本理論に基づいて算出した線区ごとの年間支障発生率と平均平復時間の関係を図 5 に示す．また，平均総遅延時分と k を用いて計算した擬似平均平復時間と擬似年間支障発生率をあわせてプロットした．

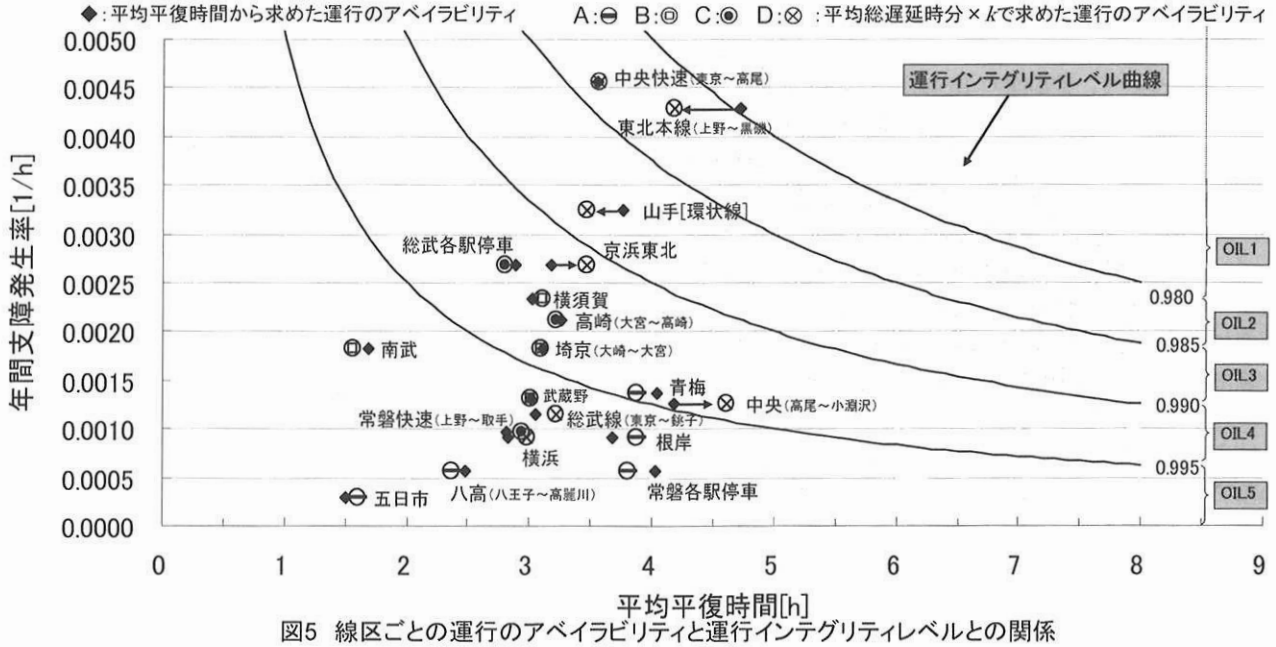

図5　線区ごとの運行のアベイラビリティと運行インテグリティレベルとの関係

線形近似の際に k の値に誤差（最小 0%，最大 10.1%）が含まれるため，平均平復時間とアベイラビリティは真値に対して誤差を含んだ値となる．

今回インテグリティレベルの幅をアベイラビリティ 0.005 の単位で設定した．このとき，システムの停止時間は 1 レベルあたり 8760[h]×0.005＝43.8[h]の幅となる．

今回，全件数に対する平復時間の平均値は 3.2[h]であった．支障の件数として 1 レベルあたり約 13 件となる．支障件数が 10 件程度の幅であれば，具体的に線区ごとの運行品質のレベルを比較することができるので実用的なレベル範囲の設定であるといえる．

また，今回の実験の結果，アベイラビリティの誤差は東北本線を除いて±0.001（±0.10%）以内に収まっている．最大の誤差は±0.0024 であった．誤差が含まれていたが，運行のインテグリティレベルが 2 ランク変動することが無いので，実験の範囲では，線区ごとの位置付けを比較する用途では実用的に使用することができる．

5. 2 一般化のための検討

本手法を一般化するための方法について検討した．平均総遅延時分と年間支障発生率の関係において，総遅延時分を横軸にとる方法を考えた．しかし，実験の結果，k の値が 1 つの値には収束しないことが分かった．このことから，今回，実験を行ったように線区の特性を評価して分類をする手法について，更なる検討を行う必要がある．また，k の値の精度を向上するため，継続して平復時間のデータ蓄積を行うことが必要であるといえる．

6. まとめ

本稿では RAMS におけるアベイラビリティの評価を行うための方法として，平復時間に基づく運行のアベイラビリティを定義した．そして，鉄道事業者が求める運行のインテグリティレベルを設定し，線区ごとの運行のアベイラビリティを並べることにより，運転の品質を評価する手法について提案した．

また，上記について，首都圏の 19 線区において過去 2 年分のデータを用いて，実験的に各線区の運行のアベイラビリティを算出したところ，インテグリティレベルを 0.005 程度の幅で設定することが妥当であることを示した．

また，当社では，列車の遅延の影響を表すためによく用いられている指標に総遅延時分を用いている．即ち，平復時間はすべてにおいて蓄積しているデータではないことから，総遅延時分から平復時間を推定し運行のアベイラビリティを算出する方法の適用が可能であるかということについても検討を行った．

その結果，運行のアベイラビリティの誤差は，平復時間で求めたアベイラビリティに対して，実用上問題がない程度の範囲に収まっていることが確認された．これにより，誤差が限定されている範囲においては本手法をとることが可能であるといえる．

しかし，平復時間が分からない状態で平均総遅延時分の値を推定する方法については検討の余地がある．本手法を一般化するためには，線区の特性を評価して分類をする手法について更なる検討を行うことが必要である．また，k の値の精度を向上するために，今後は輸送障害のデータ蓄積の際に総遅延時分と平復時間の両方のデータ蓄積を継続して行うこととしたい．

最後に，本研究において協力頂いた，公益財団法人 鉄道総合技術研究所 信号通信技術研究部 列車制御研究室　室長 平栗滋人氏と同主任研究員岩田浩司氏に謝意を表する．

7. 参考文献

(1) Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety IEC 62278 Ed. 1.0:2002 / EN 50126(1999)
(2) 平栗滋人：「RAMS 指標に基づいた鉄道信号システムの構成法」，鉄道総研報告，vol.23，No.1，pp.11-16(2009)
(3)南谷崇：「フォールト・トレラント・コンピュータ」，オーム社(1991)
(4)真壁肇：「信頼性工学入門」，日本規格協会(2000)
(5)岩田浩司，平栗滋人，渡辺郁夫：「鉄道信号設備のアベイラビリティ評価方法についての検討」，電気通信学会IEICE Technical Report SSS2007-25 (2007)