

## S1-5-4 方向別複々線区間において線路変更を活用した運転整理 ～3線運行のために設置する渡り線の数について～

[電] ○水野 健司, [電] 曾根 悟, [電] 高野 奏 (工学院大学)

Rescheduling by Moving Trains to the Other Line on a Quadruple-Track Line  
—About Distance between Crossovers to be Equipped for Triple-Track Operation—  
Kenji MIZUNO, Satoru SONE and Susumu TAKANO (Kogakuin University)

**Abstract:** Japanese passengers are confident in punctuality of train operation. So in case of disruption, rescheduling to continue railway service is important to keep the confidence. The authors propose an advanced rescheduling method on a triple-track line instead of original quadruple-track operation. In this method, the number of crossovers to be equipped for triple-track line operation is important for the efficient rescheduling. This paper studies the influence that the relation between the space density of trains and the spacing of crossovers exerted in the efficient rescheduling.

**キーワード:** 運転整理, 複々線運行, 3線運行, 渡り線

**Keywords:** Rescheduling, Quadruple-Track Operation, Triple-Track Operation, Crossover

### 1. はじめに

日本の鉄道は世界屈指の高い定時性で利用者の信頼を得ている。しかし、何らかの事故や障害が発生すると、ダイヤが乱れ利用者の利便性は著しく損なわれてしまい、これを最小限に抑えるのが運転整理の役割である。

本稿では複々線に着目して提案した複々線区間で1線に障害が発生した際に3線運行を行う運転整理手法で重要となる、運転整理のために設置する渡り線の数について、列車の空間密度と渡り線の空間密度との関係から、運転整理の効果に及ぼす影響を検討した。

### 2. 複々線における運転整理

#### 〈2.1〉従来の運転整理と問題点

複々線とは上下の線路を2本ずつ敷設した線路形態で、同一方向の2本が隣り合う方向別複々線と、通常の複線を2組並べた線路別複々線とがある。

従来の運転整理では事故や障害が発生すると、その付近では後続の列車は各駅で順次抑止をし、障害が回復した後は詰めダイヤと呼ばれる可能な限り短い時隔で列車を運行してダイヤ回復を図る手法を採るのが一般的である。複々線の場合では、障害の発生していない線路で運行を継続して輸送を行える場合もあるが、障害が発生した線路の

みにしかプラットホームのない駅では、障害が回復するまで輸送を停止せざるを得ない問題がある。また、障害発生が1線のみであっても、列車の偏在を防ぐために反対方向も抑止または折返し運転により輸送が停止してしまうことも問題である。

#### 〈2.2〉3線運行を用いた運転整理

方向別複々線では同一方向の線路が隣り合っていることから、適切な位置に渡り線を設ければ、事故や障害が発生して1線が不通になった際にも同一方向のもう一線を

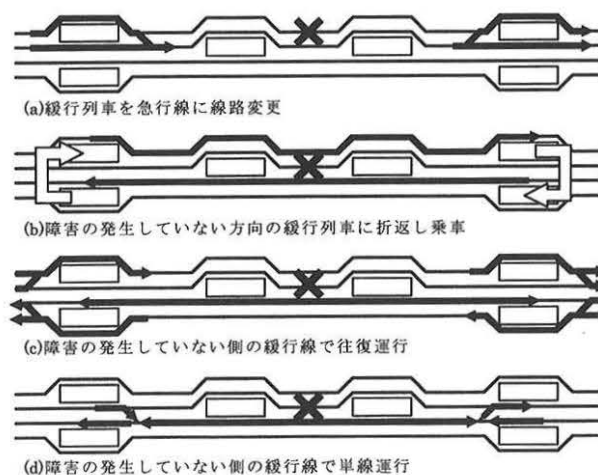


図1 複々線路線での3線運行

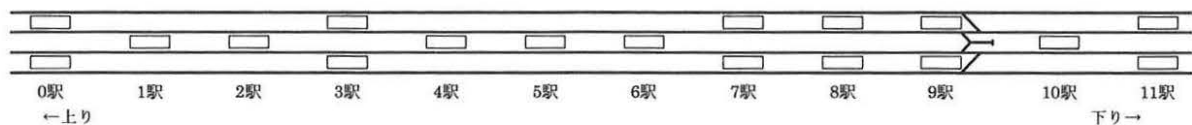


図2 複々線路線モデル

用いて運転を継続できる。しかし、一般に方向別複々線の2線ともに全ての駅にプラットフォームが設備されていることは極めて稀である。プラットフォームのある緩行線で障害が発生し、一線が不通になった場合、上下の急行線と運行継続が可能な反対方向の緩行線の3線を用いて3線運行を行えば、障害の発生した緩行線でしか到達できない駅への輸送の継続を図り、障害発生時の輸送サービスの低下を抑えられることが分かっている。

運転整理における3線運行では以下の(a)～(d)の手法が考えられる。

- (a)緩行列車を急行線に線路変更
- (b)障害の発生していない方向の緩行列車に折返し乗車
- (c)障害の発生していない側の緩行線で往復運行
- (d)障害の発生していない側の緩行線で単線運行

緩行線で障害が発生した場合は、(a)線路変更+(b)折返し乗車、(a)線路変更+(c)往復運行、(a)線路変更+(d)単線運行の何れかの手法を採用することになる。

#### 〈2・3〉列車と渡り線の空間密度

ここで、(a)線路変更+(b)折返し乗車では、渡り線の設置間隔が乗客が折返し乗車をする距離に関係し、(a)線路変更+(c)往復運行と(a)線路変更+(d)単線運行では、渡り線の設置間隔が3線運行をする区間での緩行列車の時隔に関係する。折返し乗車をする距離が長いほど乗車時間が長くなり、時隔が長いほど待ち時間が長くなるので、何れも所要時間が延びてしまう。渡り線を数多く設置すれば、3線運行の際の所要時間も短くなるが、コストが増加する。従って、渡り線の数が3線運行を用いた運転整理に及ぼす影響を検討することは重要といえる。また、(a)線路変更+(c)往復運行と(a)線路変更+(d)単線運行を用いた手法では渡り線の間隔と列車密度で時隔への影響が決まる。即ち、同じ渡り線間隔でも列車の空間密度が密であれば3線運行により時隔が延び、疎であれば時隔は余り延びない。つまり渡り線の空間密度と列車の空間密度との関係が運転整理に影響を及ぼすと言える。

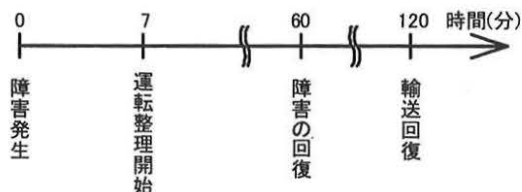


図3 タイムチャート

### 3. 運転整理評価と評価ツール

運転整理の評価は待ち時間や乗り換え時間を考慮した乗客の所要時間、乗客の体感混雑度を平均した実効混雑度、最混雑列車の混雑度、ダイヤ回復に要する時間、ダイヤ乱れの範囲などが評価項目として挙げられる。計画ダイヤの評価で重要である運転に掛かるコスト(車両コスト、乗務員人件費)は運転整理の場面ではあまり議論されない。本稿では最高混雑度、実効混雑度、平常時よりも余計にかかる所要時間を示した損失時間について議論する。

列車ダイヤ評価ツール「すうじっく」は、旅客需要を表わすOD表と列車ダイヤを与え、簡単な乗客の行動仮定の下で各列車に乗客を割り付けるプログラムである。このプログラムは本来、計画ダイヤの評価ツールであり、評価するダイヤは周期性があることを前提としている。しかし、運転整理の場面では一般にダイヤに周期性はない。そこで、本稿では障害発生前から輸送回復までを周期として扱うことで運転整理の評価を行った。

### 4. 複々線路線モデル

本稿では、緩行線で障害が発生した場合に3線運行を行うが、3線運行の制約が比較的少ない外側急行線の一般的な路線の一部分をモデルとした(図1参照)。平常ダイヤで必要な場所以外は渡り線を設置しておらず、3線運行を行う際は必要に応じて適切な場所に設置が可能とした。区間内に0駅から11駅までの12駅があり、9駅には緩行線の折返し設備と渡り線がある。ダイヤは、各駅停車が9駅折返し、急行が0, 3, 7, 8, 11駅停車、準急が0駅から7駅までが急行運転で7駅から各駅停車で、1周期に各1本の運行とした。また、9駅での各駅停車の折返しには10分を要するとした。

### 5. 3線運行のケーススタディ

#### 〈5・1〉運転整理への3線運行の適用

複々線路線モデルを用いて、平常時と従来の手法である詰めダイヤによる運転整理、(a)線路変更+(b)折返し乗車、(a)線路変更+(c)往復運行、(a)線路変更+(d)単線運行による運転整理の5種類の手法について、図1で下り緩行線の5駅で障害が発生し、3駅から7駅の間で線路変更を行ったものとしてケーススタディを行った。運転整理の時系列は、近い将来実現されるであろう指令員と乗務員の通信

表 1 下り緩行線 5 駅障害発生時の運転整理手法と時隔が評価値に及ぼす影響

| 運転整理<br>手法        | 時隔        | 最高混雑度[%] |        |        |        | 実効混雑度[%] |       |       |       | 平均損失時間[%] |       |       |       |
|-------------------|-----------|----------|--------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
|                   |           | 5 分      | 10 分   | 15 分   | 20 分   | 5 分      | 10 分  | 15 分  | 20 分  | 5 分       | 10 分  | 15 分  | 20 分  |
| 平常時               | 下り線のみの評価値 | 76.79    | 81.84  | 84.98  | 84.98  | 39.83    | 39.92 | 39.81 | 39.72 | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
|                   | 上り線のみの評価値 | 68.04    | 59.93  | 55.27  | 56.08  | 48.65    | 40.86 | 39.18 | 39.65 | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
|                   | 上下線での評価値  | 76.79    | 81.84  | 84.98  | 84.98  | 44.17    | 40.39 | 39.50 | 39.68 | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 従来手法<br>(詰めダイヤ)   | 下り線のみの評価値 | 517.30   | 282.70 | 162.30 | 140.50 | 56.02    | 49.69 | 44.06 | 42.60 | 43.08     | 38.14 | 28.78 | 23.67 |
|                   | 上り線のみの評価値 | 557.20   | 301.80 | 337.00 | 276.10 | 87.25    | 61.10 | 63.25 | 59.10 | 43.15     | 38.75 | 36.73 | 33.73 |
|                   | 上下線での評価値  | 557.20   | 301.80 | 337.00 | 276.10 | 71.44    | 55.33 | 53.65 | 50.85 | 43.12     | 38.44 | 32.74 | 28.73 |
| 線路変更<br>+<br>折返乗車 | 下り線のみの評価値 | 116.00   | 102.50 | 95.40  | 95.40  | 41.05    | 40.24 | 40.78 | 40.20 | 5.65      | 5.61  | 7.20  | 5.65  |
|                   | 上り線のみの評価値 | 97.20    | 93.72  | 97.97  | 115.40 | 47.25    | 43.30 | 42.43 | 44.01 | 0.47      | 0.00  | 0.62  | 2.48  |
|                   | 上下線での評価値  | 116.00   | 102.50 | 97.97  | 115.40 | 44.14    | 41.77 | 41.61 | 42.12 | 3.08      | 2.79  | 3.92  | 4.06  |
| 線路変更<br>+<br>往復運行 | 下り線のみの評価値 | 185.10   | 141.00 | 84.98  | 121.20 | 44.12    | 42.68 | 39.47 | 41.33 | 7.11      | 6.50  | 4.48  | 6.85  |
|                   | 上り線のみの評価値 | 144.20   | 116.10 | 120.40 | 167.60 | 48.81    | 42.00 | 39.97 | 43.64 | 5.96      | 2.79  | 3.71  | 8.10  |
|                   | 上下線での評価値  | 185.10   | 141.00 | 120.40 | 167.60 | 46.43    | 42.34 | 39.72 | 42.48 | 6.54      | 4.64  | 4.10  | 7.48  |
| 線路変更<br>+<br>単線運行 | 下り線のみの評価値 | 145.90   | 107.60 | 107.40 | 95.40  | 44.36    | 41.52 | 40.71 | 40.55 | 5.22      | 3.60  | 2.83  | 3.88  |
|                   | 上り線のみの評価値 | 142.40   | 122.80 | 125.00 | 131.80 | 50.21    | 42.93 | 41.10 | 44.52 | 4.30      | 2.39  | 2.53  | 5.60  |
|                   | 上下線での評価値  | 145.90   | 122.80 | 125.00 | 131.80 | 47.24    | 42.22 | 40.90 | 42.54 | 4.76      | 2.99  | 2.68  | 4.75  |

システムや運転整理支援システムを前提とし、車両故障を想定して図 2 のタイムチャートに従うものとした。図 2 で輸送回復とは乗客にとって見かけ上ダイヤのパターンが平常時と同じになり、輸送が正常に戻ったことを指す。

#### 〈5・2〉列車と渡り線の空間密度

先に〈2・2〉で 3 線運行を用いた運転整理では渡り線の空間密度と列車の空間密度との関係が折返し乗車する距離や、3 線運行を行う区間での緩行列車の時隔に影響することに触れた。これらの影響を評価するためには、渡り線の位置と列車密度の何れか一方、もしくは両方を変化させて運転整理の評価を行うことになるが、渡り線の間隔を変化すると、ダイヤの形態や OD の値が評価に影響を及ぼすので、ここでは渡り線の位置を固定として列車の時隔を変化することで、渡り線の空間密度と列車の空間密度との関係を変化することとした。

### 6. 列車時隔と 3 線運行の効果

日中閑散時を想定した OD で、時隔を 5 分、10 分、15 分、20 分と変化させた場合で、平常時と従来の手法である詰めダイヤによる運転整理、(a)線路変更+(b)折返乗車、(a)線路変更+(c)往復運行、(a)線路変更+(d)単線運行による運転整理の 5 種類の手法について評価した。折返し乗車や上り緩行線を用いた往復運行や単線運行を行っているから、評価は障害が発生した下り線のみでは不十分であるので、上り線、下り線、上下線についてそれぞれ評価した結果を示す(表 1 参照)。OD は時隔ごとに平常時の輸送力に比例した数値としており、各 OD ペアは上下で同じ旅客需要があるものとしている。

表 1 及び図 4～5 より 3 線運行を利用した運転整理は、実効混雑度、最高混雑度、平均損失時間のいずれの点でも効果が認められる。(a)線路変更+(b)折返乗車は他の手法

と較べて、評価値に時隔が及ぼす影響が小さい。これは、折返し乗車をする乗客の OD が全 OD に占める割合が一定で、折返し乗車による所要時間の増大も OD ごとに一定であり、逆方向ではあるものの乗車機会が平常時並みであるためと考えられる。(a)線路変更+(c)往復運行と(a)線路変更+(d)単線運行については、往復運行を行っている区間の時隔 20 分 40 秒で、単線運行を行っている区間の時隔 16 分 40 秒となっていることから、この数値に近い時隔 15 分及び 20 分で評価が良くなると考えられるが、運転整理のダイヤに依存した評価のバラつきが大きい。また、損失時間では、(a)線路変更+(b)折返乗車の場合は、折返し乗車を行う下り線の評価が悪く、ほぼ平常どおりの上り線の評価は良い。また、(a)線路変更+(c)往復運行と(a)線路変更+(d)単線運行を較べると、時隔が短くなる単線運行を行う場合の方が損失時間も少なくて済んでいる。

以上より、渡り線の空間密度に対して列車の空間密度が高い場合や、旅客需要の小さい方向で障害が発生した場合には、(a)線路変更+(b)折返乗車による運転整理が適していると言え、渡り線の空間密度に対して列車の空間密度が低い場合や、旅客需要の大きい方向で障害が発生した場合には、(a)線路変更+(c)往復運行か(a)線路変更+(d)単線運行の方が良いと言える。

### 7. まとめ

本稿で行った検討により、3 線運行を用いた運転整理で渡り線の空間密度と列車の空間密度との関係が少しずつ分かってきた。今後はプラットフォーム間の移動を伴う場合の乗客の不効用や折返し乗車による不効用を考慮し、また、各種の不効用の非線形性を考慮したより詳しい研究を行い、複数線区間における運転整理の質の更なる向上の可能性を探りたい。

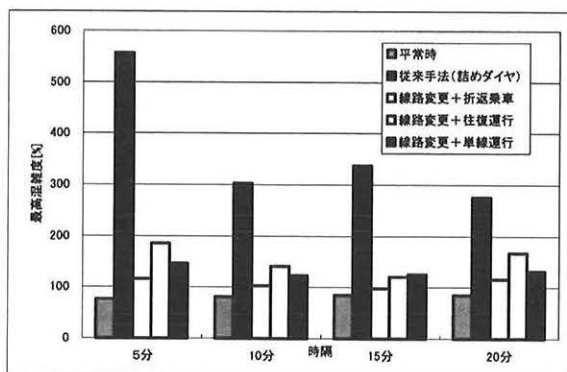


図4 上下線での最高混雑度

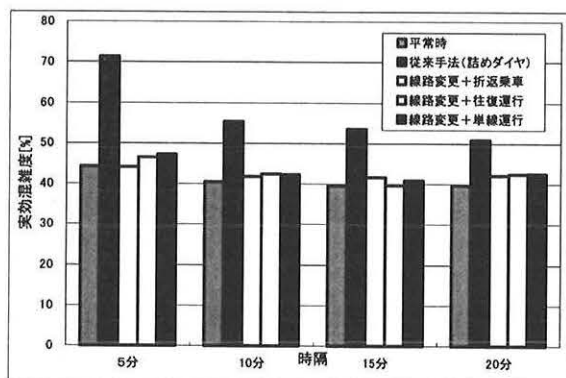


図5 上下線での実効混雑度

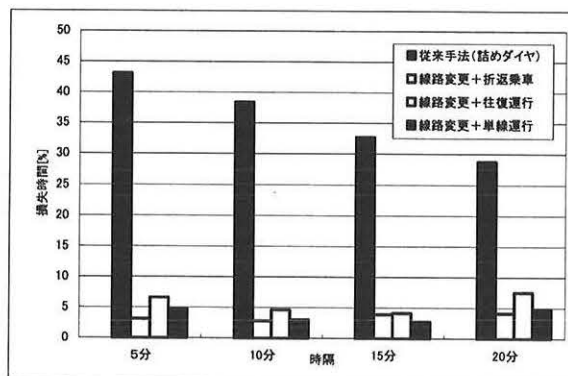


図6 上下線での平均損失時間

on a Triple-Track Line and Appropriate Train Scheduling", Japan Industry Application Society Conference, Vol.3, No.307 pp.313-314, Nagasaki (1999.8)

勝田・古関・曾根:「3線運行方式と適した運行計画」,平成11年電気学会産業応用部門大会, Vol.III, No.307 pp.313-314, 長崎 (1999.8)

(3) K.Katsuta, T.Koseki, and S.Sone: "Rail service on triple-track lines: proposal and benefits", COMPRAIL 2000 Bologna, Computers in Railways VII pp.415-424, Italy (2000.9)

(4) K.Sakai, M.Watanabe, T.Ichihara, and S.Sone: "Rescheduling by Moving Trains to the Other Line on a Quadruple-Track Line", Summary of Graduation Theses, The Department of EE, Kogakuin University, pp.53-55 (2005.2)

酒井・渡辺・市原・曾根:「方向別複々線区間において線路変更を活用した運転整理」, 2004年度工学院大学電気系学科卒業論文要旨集, pp.53-55 (2005.2)

(5) K.Mizuno, S.Sone, and S.Takano: "Rescheduling by Moving Trains to the Other Line on a Quadruple-Track Line —Possibility of Continuing Train Operation on a Triple-Track Line—", IEEJ, TER-05-34/LD-05-37 (2005.7)

水野・曾根・高野:「方向別複々線区間において線路変更を活用した運転整理 ～3線運行の可能性～」,平成17年電気学会研究会, TER-05-34/LD-05-37 (2005.7)

## 文献

- (1) S.Sone: "New Methodology of Train Scheduling and Dispatching", The Social Science Review, Vol.99/100 pp.19-54 (2000.3), The Economics Society of Saitama University  
曾根:「新しい列車ダイヤと運行管理の手法について」,社会科学論集, 第99・100合併号 pp.19-54(2000.3), 埼玉大学経済学会
- (2) K.Katsuta, T.Koseki, and S.Sone: "Proposal of Railway Service