

木構造を持つ鉄道網における列車順序変更提案アルゴリズムの研究

光瀬 彦哲* 後藤 浩一 (電気通信大学)

平井 力 (鉄道総合技術研究所)

An algorithm for changing train departure order in a tree-structured train network

Hikotetsu Mitsuse*, Koichi Goto, (The University of Electro-Communications)

Chikara Hirai, (Railway Technical Research Institute)

When an accident occurs in a railway line, the order of train departure is changed to restore the train traffic. We propose an algorithm for changing train departure order in a tree-structured railway network based on a framework of distributed control systems. We also show some numerical results for a simplified railway network model, and confirm that the algorithm can make an efficient plan for train departure order.

キーワード：列車順序変更，運転整理，マルチエージェント，分散制御システム

(Keywords : train order change, re-scheduling, multi agent, distributed control systems)

1. はじめに

事故等により列車ダイヤに乱れが生じると列車の運行を正常に戻すために運転整理と呼ばれる再スケジュールリングが行われる^{(1) (2) (3)}。これは担当者の手作業で実施されており、必ずしも定量的な尺度に基づく最適な手順に従っているとは言えないのが現状である。よって、そのような再スケジュールリングを情報システムで効率的に支援する手法の研究を行う。

運転整理においては、列車発着時間の変更や運休・行き先変更など、多くのダイヤ変更手段を組み合わせるが、列車順序の変更もまた、重要な意思決定を伴う作業である。本研究では、JR 東日本の新幹線ネットワーク⁽⁴⁾の形状をモデルとして、具体的なダイヤ乱れの状況や旅客の需要に適した列車順序変更案を提示するアルゴリズムの構築を目指す。

2. 基本的な考え方

ダイヤ乱れが生じた際に、鉄道ネットワーク全体の遅れを最小とするような順序変更をリアルタイムに提案するアルゴリズムを開発する。

現在は中央の一括管理による運転整理を行う形が主であるが、路線の長距離化やダイヤ設定の複雑化などにより、可能な範囲で意思決定を分散させることで、局所的なニーズをより仔細に反映させる枠組みを考えることができる。そこでマルチエージェントの枠組み^{(5)~(8)}を持たせること

で、個々の駅で、駅独自の情報を隣接する駅とやり取りしながら運転整理を行うことを考える⁽⁹⁾。

対象としては、JR 東日本の新幹線ネットワークのように、木構造を持つ鉄道ネットワークを想定する (図 1)。イメージを明確にするため、実際の駅目に対応させることとする。このネットワークでは、木構造の根 (東京) 付近で、各方向に向かう列車に対するダイヤ変更を行う際、各地の特情を勘案した総合的な判断が必要と考えられる。木構造の葉に位置する地域で、ある特別なイベントがある場合には、それが判断材料になり、その地域に向かう列車を優先する結果になることもあり得る。



図1 JR 東日本の新幹線ネットワークを元に作成したモデル

3. 問題へのアプローチ

ある駅における列車順序を決めるための手順を次のように考える (図 2)。

- I 下流にある各駅のコストを集約する (コストは、所定ダイヤからの遅れや列車接続等の情報を数値化したもので〈3・1〉に記述する)。
- II 下流から集約したコストと、当該駅のコストを上流に伝達する。
- III 上流の順序変更決定を待機する。
- IV 上流で定められた列車順序および、IIで集約した下流からのコストを組み合わせて自駅の列車順序を決める (この決め方を〈3・2〉に記述する)。
- V 自駅の決定した順序を下流に伝達する。

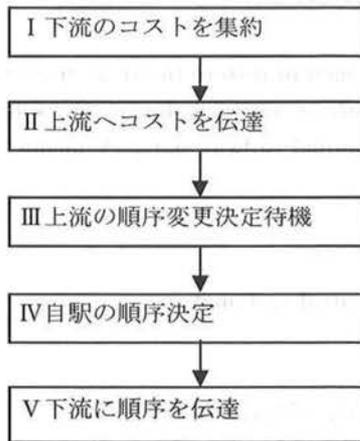


図 2 列車順序決定の手順

- ⑤ 21→13→23→11
- ⑥ 11→13→21→23
- ⑦ 11→13→23→21
- ⑧ 11→21→23→13

4 本の列車を順序変更する際に 1 本待機で実現可能なのは上記の 8 通りである。これらに対し、順序変更した際のコストをそれぞれ計算し、値が最小の結果を採用する。

上流側から送られてきた到着順と当該駅で計算した順序が一致した場合、それ以降の駅での計算は行わない。また、4 本の列車で順序変更を行うのは、利用者の立場を考慮し、自分が抜かれる際に許容できる本数は 3 本が限界と考えたためである。

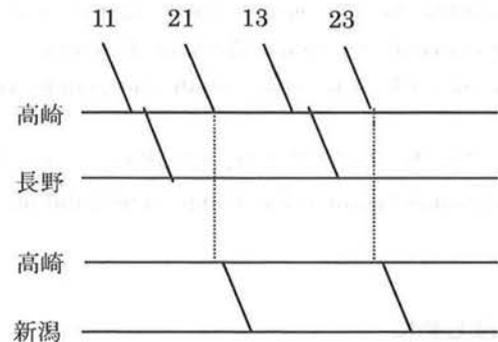


図 3 列車ダイヤ図

〈3・1〉 コスト

- i : 到着する列車番号
 - j : 駅番号 (図 1 参照)
 - $T_{i,j}$: 時刻表通りに列車 i が駅 j に到着した際の接続先列車の発車時刻
 - $T'_{i,j}$: 遅れが生じた際に列車 i が駅 j に到着した際の接続先列車の発車時刻
 - $t_{i,j}$: 時刻表通りに列車 i が駅 j へ到着する時刻
 - $t'_{i,j}$: 遅れが生じた際に列車 i の駅 j へ到着する予測時刻
 - α_j : 駅 j における在来線列車への重み付け
 - β_i : 到着する新幹線列車 i への重み付け
- 以上よりコストを次のように表す。

$$\alpha_j(T'_{i,j} - T_{i,j}) + \beta_i(t'_{i,j} - t_{i,j}) \dots\dots\dots(1)$$

〈3・2〉 順序変更 (高崎駅の例)

高崎に長野行きの 11,13 列車と新潟行きの 21,23 列車が 11→21→13→23 の順に到着してくる場合を考える (図 3)。高崎駅は 2 面 4 線 (ホーム 2 つ線路 4 本) なので、列車を 1 つ待機させて他の列車を先に出発させることができる。まず考えられる順序を列挙する。

- ① 11→21→13→23
- ② 21→11→13→23
- ③ 21→11→23→13
- ④ 21→13→11→23

〈3・3〉 実験環境

実験にあたっては、Excel VBA でプログラムを作成した。身近な Excel を用いて簡易に製作したものが妥当な解決案を提示できることを確認する。

使用した PC は OS:Windows7, CPU:Intel® Core™ i3 で、次節のケーススタディにおける計算時間は数秒程度の時間であった。またダイヤ図表示に関してはフリーソフトである Oudia⁽¹⁰⁾を使用した。

4. ケーススタディ

市販の時刻表を参考に独自に時刻表を作成し、遅れのケースを設定したケーススタディを行った。

〈4・1〉 与えるパラメータ

(1)式の α_j 及び β_i に入る重みを入力

- α_j … 終端駅における在来線への接続や駅での重要度をそれぞれ数値化して設定する。今回のケーススタディでは、次のように設定した。
八戸…4、秋田…1、盛岡…3、
新庄…1、新潟…2、長野…2.5
- β_i … それぞれの列車における乗客の満足度や混雑率 (乗車率) などを数値化して設定する。今回のケーススタディでは、すべて 1 とした。
- どの駅のどの列車が何分遅れたか

〈4.2〉 対象とした事象

午前 10 時 15 分上野を発車するつばさ 221 号が車両故障で 40 分遅れた状況を考える。ただし、線路等に支障はなく、順序変更を行うことで、当該列車以外は、上野から先も運行できる場合を考える。

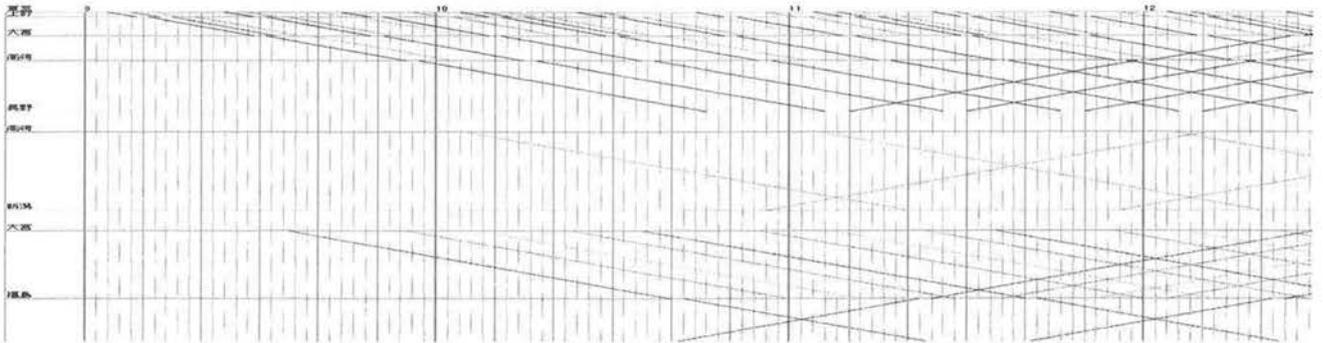


図 4 所定ダイヤ図

つばさ 221 が遅れたため後続列車にも影響が生じている。

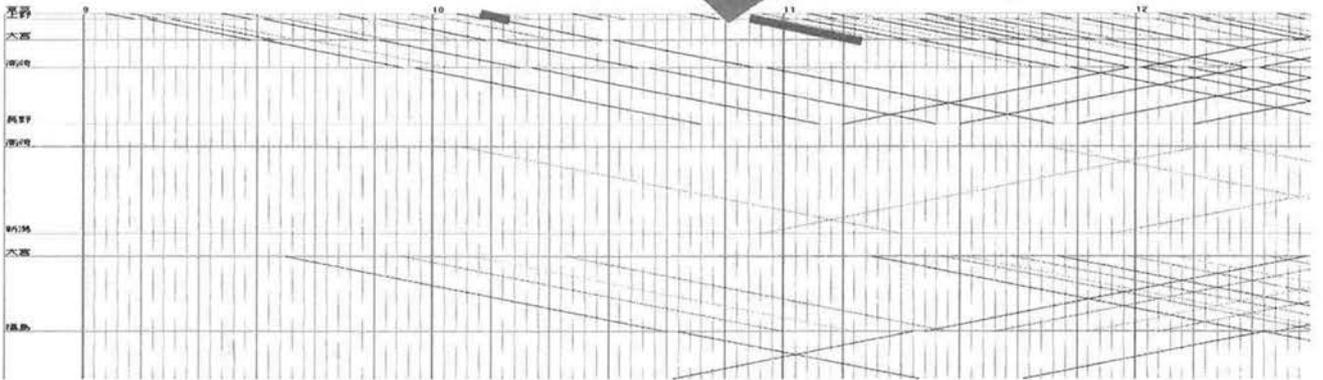


図 5 順序変更前ダイヤ図

つばさ 221 の発車順序が変更された

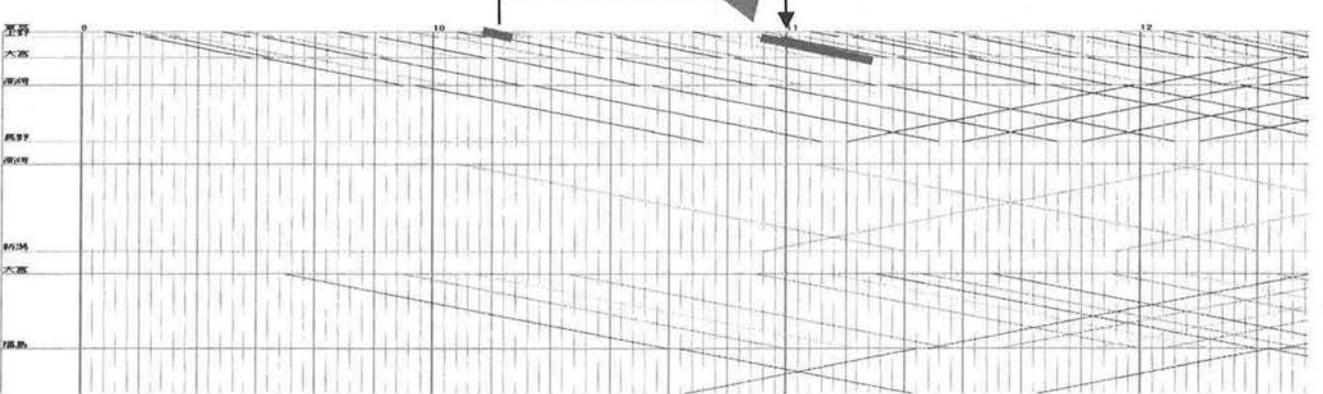


図 6 順序変更後ダイヤ図

図4は所定のダイヤ図を示す。

図5は午前10時15分に上野を発車するつばさ221号が、40分遅れた場合、変更を加えないときの予測ダイヤ図である。

図6は午前10時15分上野を発車するつばさ221号が40分遅れた際に列車の順序変更が行われた場合のダイヤ図である。

次に、順序変更決定までの手順を示す。

・ 順序変更について

午前10時15分以降に上野駅を発車する列車はつばさ221号→とき321号→あさま123号→はやて421号の順である。〈3・2〉と同様にまず考えられる順序を列挙する

- ① つばさ221→とき321→あさま123→はやて421
- ② とき321→つばさ221→あさま123→はやて421
- ③ とき321→つばさ221→はやて421→あさま123
- ④ とき321→あさま123→つばさ221→はやて421
- ⑤ とき321→あさま123→はやて421→つばさ221
- ⑥ つばさ221→あさま123→とき321→はやて421
- ⑦ つばさ221→あさま123→はやて421→とき321
- ⑧ つばさ221→とき321→はやて421→あさま123

この8通りに対して全て(1)式の計算を行う。この結果一番(1)式の値が小さくなった⑤を採用し、順序変更を行う。

さらに⑤の順序の4番目の列車とその後ろ3つの列車はつばさ221号→やまびこ621号→あさま125号→はやて423号となっているので、これについて順序変更を行う。同様に考えられる順序を列挙する。

- ① つばさ221→やまびこ621→あさま125→はやて423
- ② やまびこ621→つばさ221→あさま125→はやて423
- ③ やまびこ621→つばさ221→はやて423→あさま125
- ④ やまびこ621→あさま125→つばさ221→はやて423
- ⑤ やまびこ621→あさま125→はやて423→つばさ221
- ⑥ つばさ221→あさま125→やまびこ621→はやて423
- ⑦ つばさ221→あさま125→はやて423→やまびこ621
- ⑧ つばさ221→やまびこ621→はやて423→あさま125

この8通りに対して全て(1)式の計算を行い、この中で一番値が小さくなった②を採用し、順序変更を行う。

この事象は一つの列車にトラブルが起きた場合であり、その場合には遅れた列車のみを退避させておき他の列車を先に発車させ、遅れた列車が復旧し次第発車させるという結論に至る。

5. 今後の予定

前の事象と異なり線路等の故障により上野から先の区間では、どの列車も運行できない場合を考える。

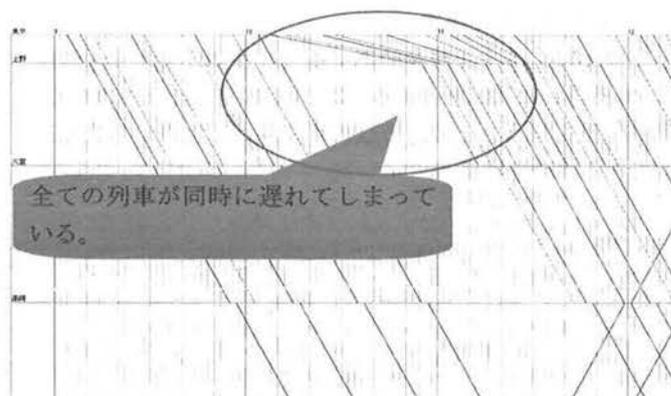


図7 順序変更前ダイヤ図

この状況においては40分後一斉に列車が所定の順序で動き出すため、単純に(1)式のように所定からの遅れ時間で考えると、順序変更は提案されないことになる。

しかし、ある方面で重要なイベント等がありなるべく列車を早く到着させなくてはならない、又はある方面への列車は乗客率が非常に高く遅れると乗客に不満が生じるなどの場合には(1)式の α_j 、 β_j の値を適切に設定することで順序変更を提案することが可能となる。

6. おわりに

今後は利用者の満足度や列車の乗車率等の情報を(1)式の α_j 、 β_j 様々な遅延パターンを試し評価することで、どの程度の数値を与えれば良いか尺度を見極める。

文 献

- (1) 富井規雄, 田代善昭, 田部典之, 平井力, 村木国満, 利用者の不満を最小にする列車運転整理アルゴリズム, 情報処理学会 Vol.46 No.SIG2 (TOM11), 2003
- (2) 鉄道総研運転システム, 鉄道のスケジューリングアルゴリズム, NTS 出版, 2005
- (3) 電気学会・鉄道における運行計画・運行管理業務高度化に関する調査専門委員会, 鉄道ダイヤ回復の技術, 株式会社オーム社, 2010
- (4) 清水宏之, 野末尚次, 制約プログラミングによる鉄道計画システム・新幹線運転整理プロトタイプシステム, 鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, 2002
- (5) 伊藤孝行, 新谷虎松, 協調的なスケジューリングのための交換条件の提示による説得手法, 電子情報通信学会論文誌 D-I Vol.J81-D-I No.9 pp.1099-1106
- (6) 兼丸陽司, 高橋和子, マルチエージェントの連鎖的交渉を用いたスケジューリング作成と調整, 信学技報 IEICE Technical Report AI2007-32, KBSE2007-42(2008-1)
- (7) 宮崎信介, 藤代隆正, 岩倉成志, 都市鉄道の路線内混雑に着目した列車速度の推定・エージェントモデルによるアプローチ, J-RAIL2007 第14回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp365-368, 2007.12
- (8) 川村隆浩, 加瀬直樹, 荒木大, 大須賀昭彦, スケジューリングエージェント間の調整交渉に基づく分散協調型スケジューリングシステムの開発, 電子情報通信学会論文誌 D-I Vol.J81-D-I No.5 pp.505-513
- (9) Y. H. Chou, P.F. Weston and C.Roberts, Collaborative Scheduling in a Distributed Railway Control System, RailZurich2009
- (10) <http://homepage2.nifty.com/take-okm/oudia/>