

CA を用いた乱れた列車ダイヤの自動復旧シミュレーション

藤井健介¹, 飯田晋司¹, 西成活裕²

¹龍谷大学 理工学研究科

²東京大学 工学系研究科

概要

折り返し駅を含めた路線全体をシミュレートできるモデルを使い、信号故障で乱れたダイヤを列車の運休と、列車の種類変更で、自動復旧させることができたので、結果を報告する。

CA simulation of Railroad traffic and Automatic Restoration of Delayed Schedule

Kensuke Fujii¹, Shinji Iida¹, Katsuhiko Nishinari²

¹Department of Applied Mathematics and Informatics, Ryukoku University

²Department of Aeronautics and Astronautics, Tokyo University

Abstract

Railroad traffic is simulated with use of CA for a simple linear double-track railroad. Intervals for passengers to get on and off the trains are taken into account. We found suspension of trains and change of train-level (eg. from local to express) at the terminal stations are effective to restore the delayed schedule due to signal breakdown. We made comparison among various patterns of level changing rule.

1 はじめに

セルオートマトン(CA)[1]を用いた交通流の研究は、車やバスでは数多くなされているにも関わらず、重要な交通手段の1つである鉄道の研究はあまりなされていなかった。現在の鉄道では、事故や故障などで列車のダイヤが乱れた時、ダイヤの復旧はその路線のダイヤや車両、運転手まで熟知した人の手によって行われている所がほとんどである[2]。コンピュータを用いたダイヤの復旧は複雑な上にリアルタイム性や正確性が求められるため、現状では難しいとされている。本研究では、CAによる列車の運行モデルを作り、信号故障によるダイヤの乱れがどのように発生し、拡大していくかのメカニズムを調べ、そこからダイヤの自動復旧についての研究を行った。CAを用いた場合、複雑な系の本質を損なわず簡単に、様々なモデルをシミュレートできるため[3]、交通流や、生態系の研究などで、成果をあげている。鉄道の線路という複雑な空間をセルに分け、ルールを決めて各列車を動かし、信号の色を変えることによって、列車の動きを単純化してシミュレートできるので、様々な状況を作り出し、その後の動きなどを調べることが容易にできる。車と比べ鉄道は、信号の使い方が全く違う、同じ種類の列車は追い越さないなどの違いがある。

2 モデルについて

両端に折り返し駅があり、往路と復路のある直線状の線路をセルの配列でモデル化した。駅周辺以外の信号は3セル毎に1箇所、駅は14セル毎に1箇所設置した(図1)。ルールの詳細は以下の通りである。

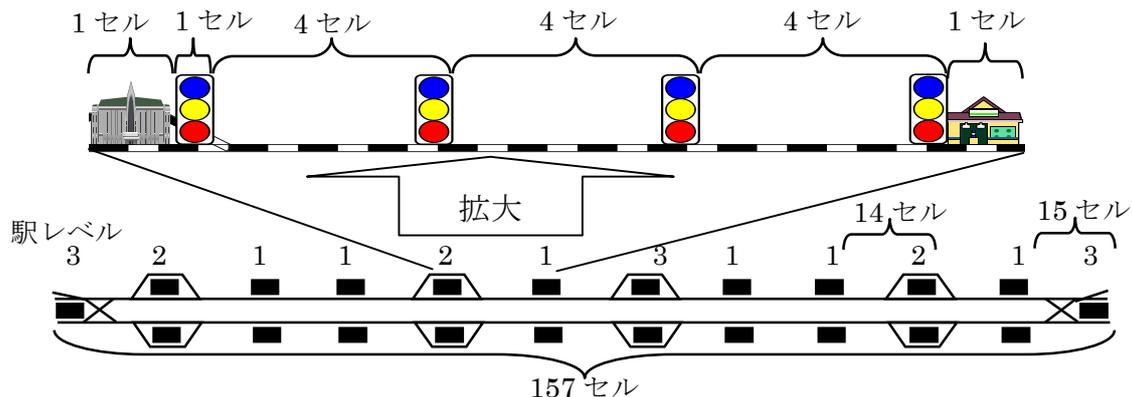


図1: シミュレーションモデルの設定

現在、多くの鉄道は閉塞というものを使用し、そのルールに従って運行されている[4]。このモデルでも、列車の動きと信号の変化は、基本的には閉塞のルールに従っている。閉塞とは、線路をある区間ごとに信号で区切り、その1区間に1列車しか進入することができないようにするシステムである。今回、使用したのは図2のような閉塞システムである。

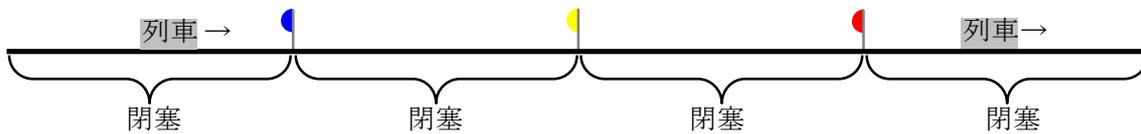


図2：閉塞システム

2.1 列車のルール

列車には普通(レベル1)、急行(レベル2)、特急(レベル3)の3つのレベルを設定し、レベルに関係なく全ての列車の最高速度は2セルとした。また、段階的な加減速を設け速度0→2、2→0にはならないようにした。列車は2セル前方までにある信号を見て速度を決め、信号が見えない所では、現在の速度を維持するよう設定した。青信号なら速度2、黄信号なら速度1、赤信号なら速度1で信号の1セル手前まで進み、信号が赤以外に変わるまで停止するようにした。

2.2 信号のルール

青信号：1つ前の信号が、青又は黄で、その信号との間(前の閉塞区間)に列車がない。

黄信号：1つ前の信号が、赤で、その信号との間に列車がない。

赤信号：1つ前の信号との間に列車がある。

2.3 途中駅のルール

駅には、普通列車のみ停車(レベル1の駅)、急行と普通列車が停車(レベル2の駅)、全ての列車が停車(レベル3の駅)の3つのレベルがあり、各駅にはその駅以下のレベルの列車が停車するようにした。また、レベル2以上の駅には待避線を設け、各レベル別の列車のダイヤが設定されている。列車が駅まで3セル未満になると、その列車を判断して、停車させるか通過させるかを決定し、停車させる場合は駅直前の信号を黄(駅に停車中の列車が無い時)、駅直後の信号を赤に変更する。待避線のある駅に停車させる場合は、その列車が駅まで1セルになると、その列車の後方8セルを確認し、停車列車よりもレベルの高い列車がある場合は、待避線へ入れる。また、待避した列車は、駅の本線と前の閉塞区間に列車が無く、後7セル以内に退避列車よりもレベルの高い列車が無い時に発車させる。

2.4 折り返し駅のルール

折り返し駅では、駅直前にポイントを表すセルがあり、そのセルには列車は1台のみしか進入できないものとした。左端の駅では、普通を時刻 $t=0$ の時に、急行を $t=16$ の時に、特急を $t=26$ の時に、右端の駅では、普通を $t=0$ の時に、急行を $t=7$ の時に、特急を $t=15$ の時に発車させ、時刻 t が30(サイクル時間)たつごとに、各レベルの列車が発車するよう設定した。また、平常運行時の停車時間は、左端の駅では、普通：26、急行：26、特急：16、右端の駅では、普通：24、急行：8、特急：24となっている。

2.5 乗客について

乗客は、「乗車駅のレベル」×「目的駅(降車駅)のレベル」の人が、各駅に目的駅別に毎時間ごとに発生するものとした。また、乗客がどの列車に乗るかは、なるべく先着の列車に乗ることを考慮し、レベル3⇒レベル3の乗客は急行か特急、その中でも折り返し駅⇒折り返し駅の乗客は特急のみに乗車するようにした。それ以外の乗客は、目的駅以前の駅に停車する列車の中で先発の列車に乗り、目的駅に一番近い停車駅で降りる(乗り換える)ことを繰り返し、目的駅に到着するものとした。列車の退避時に連絡する場合は、列車同士の乗り換えも起こる。

また、(降りる乗客数+乗りたい待乗客数)÷600を列車が駅に停車する時間とし、その数値が6以上の時と、積み残しが発生する場合の停車時間は、5とした。列車の定員は、3000としている。

3 ダイヤの自動復旧について

信号故障で乱れたダイヤを自動復旧させるルールとして以下の2つを用いた。

3.1 列車の運休について

あるレベルの列車について、全ての駅でサイクル時間以上の遅延が発生していると、そのレベルの列

車を 1 本運休させることを、毎時間各レベルに対して調べて行うものとした。例えば、 $t=11$ に発車予定だとすると、 $t=41$ に発車予定の列車に変更する。また、以後の同レベルの列車も全て同様に変更する。

3.2 列車のレベル変更について

レベル変更は、折り返し駅の 1 セル手前のみで行うこととした。変更方法は、折り返し駅の 1 セル手前をそれ以前に通過した列車の情報と、折り返し駅に停車中の列車、折り返し駅の待ち乗客の情報を用いて行う。また、5 つのレベル変更パターンを作成し、比較を行った。また、全てのパターンで、折り返し駅のホームに停車していないレベルに変更を行うものとした。

- 1：列車の遅延時間が最も大きいレベルに変更。
- 2：待ち乗客数が最も多いレベルに変更。
- 3：前にここを通過してからの時間が最も長いレベルに変更。
- 4：前に駅を発車してからの時間が最も長いレベルに変更。
- 5：次の発車時刻までの時間が 5 以下で、前に駅を発車してからの時間が最も長いレベルに変更。

4 結果

図 3a は、信号が故障していた時間と、列車の運行が正常に戻るまでの時間の関係を表している。列車の運行が正常に戻るまでの時間の候補は、

- ：列車の遅延時間の平均が 1 以下になるまでの時間。
- ◆：全ての列車の遅延時間が 0 になる(ダイヤが復旧する)までの時間。
- ：目的駅への総到着乗客数が平常時 ± 100 になるまでの時間。
- ▲：目的駅への総到着乗客数が平常時と同じになるまでの時間。

の 4 つを考えた。図 3a よりどの候補をとっても傾向は同じなので、以下はダイヤが復旧するまでの時間を用いた。

図 3b は、運休有り無しそれぞれの場合に、レベル変更無しとレベル変更パターン 1 と 5 を比較したグラフである。これを見てみると、信号故障していた時間が 90 辺りまでは、各レベル変更パターンにやや差が見られるが、運休有り無しによる差は見られない。90 を越えた辺りからは、各レベル変更パターンによる差も、運休有り無しによる差も見られる。運休無しよりも運休有り、レベル変更無しよりも有りの方が早くダイヤが復旧しているのが確認できる。

図 3c と 3d は、運休有りの場合の、各レベル変更パターンによる違いを比較したものである。これを見てみると、信号故障していた時間が 1500 辺りまではレベル変更無しと各レベル変更パターンの差が大きく見られるが、1500 を越えた辺りからは、レベル変更無しと各レベル変更パターンの差はあまり見られない。

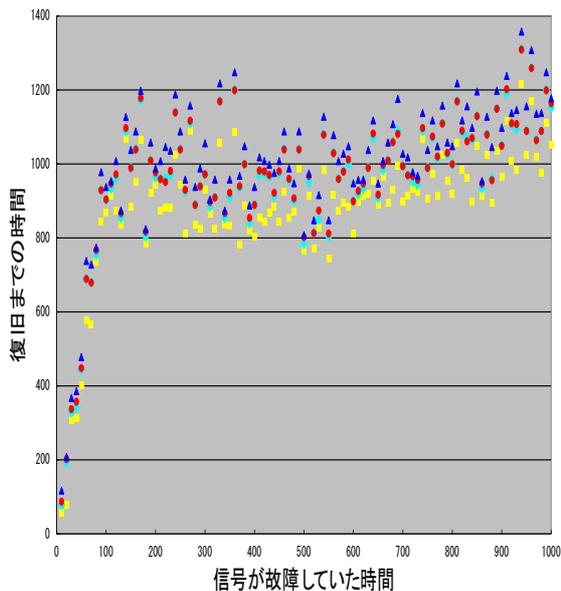


図 3a：ダイヤと乗客の比較($t:0\sim 500$)

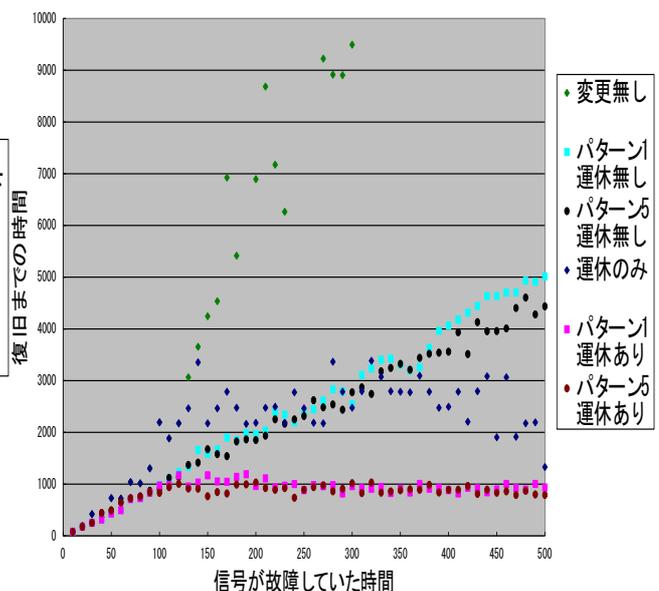


図 3b：運休有り無しとの比較($t:0\sim 500$)

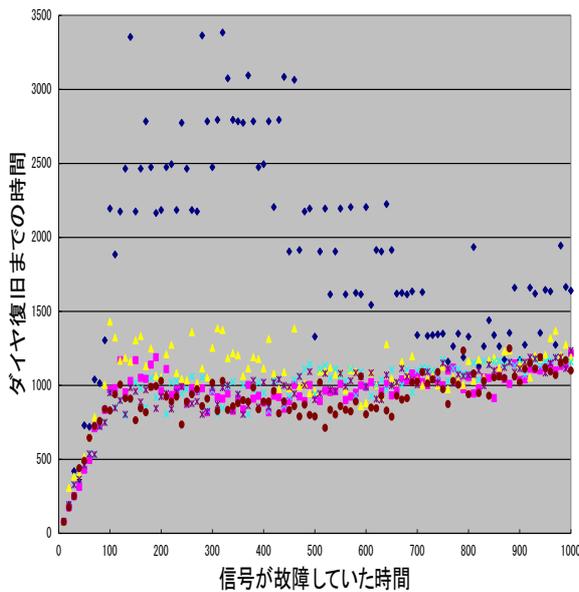


図 3c : レベル変更パターンの比較(t:0~1000)

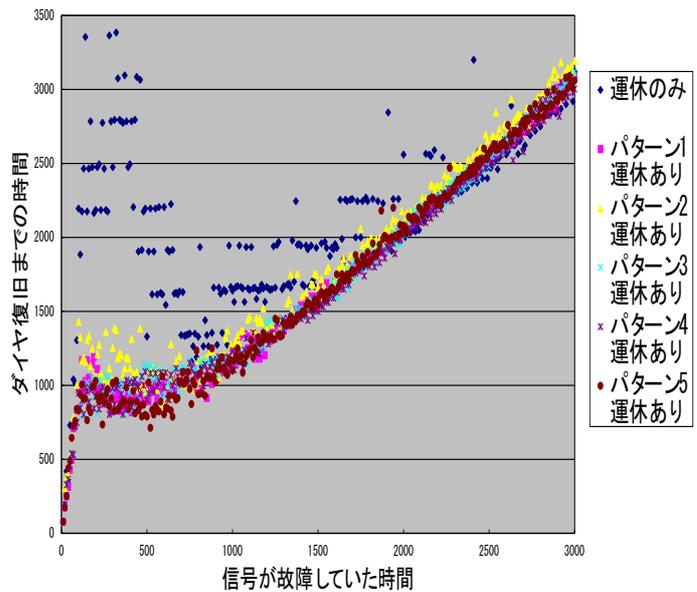


図 3d : レベル変更パターンの比較(t:0~3000)

5 考察

ダイヤが乱れだしてからそのまま放っておくと、各レベルの列車毎にクラスタが形成される[5]。よってそのクラスタが形成されないようにレベルを変更してやると、ダイヤの乱れの拡大を抑えられ、ダイヤを自動復旧させられることがわかった。列車の速度や停車時間などからこのモデルの時間の単位は、30秒と考えることができる。30分の信号故障に対して故障回復後約260分、60分の信号故障に対して故障回復後約450分でダイヤが復旧したと考えられる。

図 3a で、さほど差が見られなかったのは、ダイヤが復旧するには、総到着乗客数がほぼ平常時に戻っていないといけないからだと考えられる。それは、乗客の積み残しが発生していたり、待ち乗客数が平常時よりも多かたりすると、停車時間が平常時より増え、列車に遅延が発生するため、ダイヤが乱れたままになるからだと考えられる。それが、ダイヤが復旧するまでの時間と、列車の遅延時間の平均が1以下になるまでの時間の差として表れている。

図 3b より列車の運休は、ある程度ダイヤの乱れが大きく(各列車の遅延時間が大きく)なると、有効であることが確認できた。「*本の列車が運休」しましたなどニュースで流れ印象は悪いが、積極的に運休させた方がダイヤ復旧に有効であり、乗客にも良いと思われる。

また、様々なルールを作成したが、運休と組み合わせた場合には、復旧までの時間に大きな差は見られなかった。このことからクラスタを形成させない、つまり同じレベルの列車をなるべく続けて運行させないことや、同じレベルの列車同士の間隔を開けることが、ダイヤ復旧には重要であると考えられる。

6 今後の課題

今後の課題としては、以下が考えられる。

- ・環状線や、複々線のある場合などより複雑な形の路線に対応できる復旧ルールを作る。
- ・途中駅でのレベル変更や、折返し運転など復旧ルールに取り入れる。
- ・ダイヤの復旧時間を短縮させる。
- ・復旧までの時間のグラフの傾きなどと、各パラメータとの関係を調べる。

参考文献

- [1] S.Wolfram, "Theory and Applications of Cellular Automata", (World Scientific, Singapore, 1986).
- [2] JR EAST Technical Review No.05 - Autumn2003
- [3] D.Chowdhury, et al, Physics Reports Vol.329 (2000) pp.199-329.
- [4] 三戸祐子「定刻発車 ～日本社会に刷り込まれた鉄道のリズム～」(株交通新聞社, 2001)

[5] 藤井健介, 第 11 回交通流のシミュレーションシンポジウム予稿集 2005 pp.17-20.