

# マン・マシンによるシミュレーション — 運転整理シミュレーションを具体例とする —

佐藤 章, 池田 宏, 小野耕司, 八木雄策  
(日本国有鉄道)

数理的解析手法の適用が困難な問題解決に対して、一般に、シミュレーションが有効であるといわれている。これらシミュレーションでは、コンピュータの性能や対象とするシステムの複雑さ加減などにより、これまではバッチ処理による場合が多かったが、最近では、マン・マシン協調によるシミュレーションが行なわれるようになってきた。いわゆるオンラインによるシミュレーションである。

オンライン・シミュレーションはつぎのように定義される。シミュレーション実行中に、シミュレートされるシステムの動作内容が細部にわたり観測でき、随時、モデルの変更ないし修正、データおよびパラメータ値の変更や修正ができるシミュレーション。具体的には、

- (i) シミュレーションの途中でモデル(プログラム)を変えることができること
- (ii) シミュレーション・モデルを形成するデータやパラメータ値を変えることができること

これらの取扱いと可能とするには、

- (iii) シミュレーションの実行過程もしくは結果をシミュレーションの進行に合わせて表示できること
- (iv) シミュレーションを随時中断し、人間の介入を許したのちに、シミュレーションをその時点から再開できること

が必要となる。

また、シミュレーションの対象となるシステムの特性によっては、試行錯誤によるシミュレーションの実行が要求される。この場合には、上記の機能のほかに

- (v) シミュレーションの中断時点以前の、任意の時刻における状態を再現し、そこからシミュレーションを再開できること
- (vi) 数ケースにわたる複数のシミュレーションと、あたかも同時並行的に実行することができること
- (vii) 複数ケースにわたるシミュレーション結果を、ある種の評価関数で容易に比較検討できること

が必要である。

新幹線の列車トラフィックの解析と主目的として、新幹線列車トラフィック・シミュレーション・システム(STRAITS)を開発したが、上記(i)を除くほとんどの機能を備えている。これのマン・マシンを中心とした概要を以下に紹介する。

## (1) 運転整理シミュレーションの特徴

列車がなんらかの理由によって障害を受けて遅延した場合に、少しでも早く正常の運転状態に復旧するためにスケジュールの変更を行なう。これを運転整理と一般に呼ばれている。運転整理を行なうにあたっては、列車の運転状況を正確に把握する必要のあることはもちろんのこと、各列車の種別、使命、行先、前途に

おける列車の接続、線路状態、関係駅設備状態など列車の運転に必要とするあらゆる事柄を考慮しながら、列車の運転順序、運転時刻、列車の休泊、列車の使用設備、車両運用、乗務員運用などの変更を行なうことになる。

したがって、運転整理ではできるだけ早く正常ダイヤに戻すべく、上記の変更を加えた整理(修正)ダイヤを作成し、それにしたがって列車を走行させることになる。しかし、現在のように過密化した列車ダイヤでは、輸送需要に応じて、運転設備、車両および乗務員などの資源を有効に活用して作られており、列車ダイヤの変更によって生み出される冗長度は一般にかなり小さいものになっている。

遅れの程度が大きい場合には、トラフィック(旅客)の輸送の犠牲において妥定をとり戻すこともある。

こうした事情から考えると、運転整理とは、ダイヤ乱れによる輸送損失をできるだけ小さくしつゝ、できるだけ早くもとの正常ダイヤに回復させること、ということが出来る。つまり、運転整理(スケジュールの変更)に対する評価は、輸送の犠牲(サービス低下)がどれだけあったかということと、いかに早く正常ダイヤに復帰したかという2つの基準で行なう必要のあることがわかる。

しかし、これら2つの基準は相反する関係にあり、しかも、輸送損失の許容限度と、正常復帰への早さがどの程度であればよいかは、旅客流動状況、輸送資源の使用状況、さらには社会環境などの条件によってなかなか決めにくい状況にあり、現在では、運転指令員の経験に依存しているのが実情である。

参考までに、現在、運転整理の判定基準と称されているものを羅列すると以下のようになる。

- (i) 総遅延時間が少ない
- (ii) 輸送使命の喪失(優等列車など)が小さい
- (iii) 払い戻しが小さい
- (iv) 目的地到着遅延や大混雑による旅客とのトラブルが少ない
- (v) 正常ダイヤに短時間で復旧した
- (vi) 運休列車本数が少ない
- (vii) 翌日以降の運転に対する影響が少ない

このような運転整理を解明するのに、シミュレーション手法は有効である。そのシミュレーションでの主目的は、列車運行が乱れたときの運転整理が、その後の列車運行にどのような影響を及ぼすか、であり、その効果を評価することにある。

列車ダイヤの変更は、乱れの状況に依存するが、一般的には線区全体にわたり広域的に行なわれるが、これは、例えば、ある駅での2列車間の待避変更のような局所的な変更の積み重ねとして実現する。

シミュレーションでは、これらの措置の効果を実際に験して見ることになるが列車ダイヤそのものが複雑な要素をもっているために、試行錯誤による複数回のシミュレーションが必要となる。この場合、

- (i) 1回の変更にもとづいた列車運行の結果を観察してみると、その上に再び変更を加えた方がよい場合になることが予想される
- (ii) 一連の変更の効果が思わしくないときには、時系列的に前半の変更をベースに、別の変更を加えた方がよいと判断できる場合がある。
- (iii) 広域的な一連の変更が行なわれると、その度ごとに修正ダイヤ(整理ダ

ダイヤと呼ぶ)が作られることになる。そのとき、どの整理ダイヤがより効果的なのか、複数の案を比較検討する必要がある。

## (2) STRATSの機能

新幹線列車トラフィック・システムのダイナミックスを定量的に把握し、評価する1つの手段として開発したのがSTRATSであり、つぎのような使用目的をもっている。

- (i) 運転設備との関連をもって、列車ダイヤの動的特性と比較評価する
- (ii) 運転整理方法の最適化とそのアルゴリズムの開発を行なう
- (iii) 運転指令員に対する教育と訓練の場を提供する

このような目的を達成させるために、STRATSにはつぎのような機能をもたせた。

### (i) 列車ダイヤの入力

列車ダイヤをそのままの形で入力しようとする膨大なデータ量となるので、新幹線の列車ダイヤがある程度パターン化されている特性を利用した簡易な入力方式にしてある。

### (ii) 列車運行乱れの発生

列車運行に乱れを与える機能で、列車の到着や出発が遅れる、駅間の走行時間が伸びる。着発線などの線路が使えなくなる、の3つのタイプがあり、この組合せ入力が可能である。

### (iii) 運転整理(スケジュールの変更)

これには2通りの入力方法がある。1つはマン・マシン方式で局所的に18項目の変更を行なうことができる。もう1つは、一定のアルゴリズムに基づく自動的な判断整理である。また、運転整理の試行錯誤ができる。

### (iv) 列車運行の模擬

列車の運行を模擬させる機能で、列車運行が乱れたときに列車がどのように走るのか、その状況を人間が観察できるようになっている。

### (v) 結果の出力

シミュレーション結果の解析を容易にするために、生の結果および統計的なものを編集して出力する。図1はグラフィックディスプレイ上に表示した実績ダイヤ(列車の運行軌跡)である。

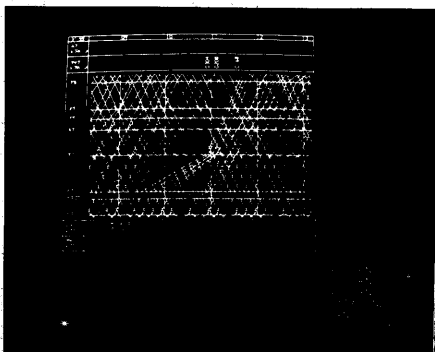


図1 実績ダイヤの例

## (3) マン・マシン処理方式

### (a) 試行錯誤によるシミュレーション

運転整理のシミュレーションでは(1)項で述べたように、一度変更が加えられた列車ダイヤ(整理ダイヤ)に再度の変更を加えるといった、変更の上乗せ、また前の状態(上乗せの変更を取消して)に戻って、別の変更を新たに加えなおす、といった方法が有効である。その結果、数ケースにわたるシミュレーション

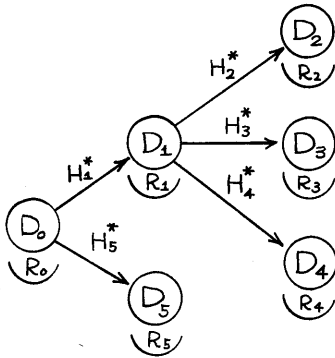


図2 シミュレーションの例(試行錯誤)

$$\begin{aligned}
 H_1^* &= H_1 \\
 H_2^* &= H_1 + H_2 \\
 H_3^* &= H_1 + H_3 \\
 H_4^* &= H_1 + H_4 \\
 H_5^* &= H_5
 \end{aligned}$$

結果が残されることになるが、これらと相互比較検討することにより、より最適な案を選択的に決定することになる。

一連のシミュレーション手続きの例を図2に示す。

ここで5ケースにわたるシミュレーションが行な

われ、その順序関係が示される。整理ダイヤが6つ、それにもとづくシミュレーション結果(6つの実績ダイヤ)が残されていることを示している。

これらを実現させるためには、以下のような変更データとはじめの列車ダイヤの管理が必要である。

$D_0$  : はじめの列車ダイヤ(=  $R_0$ )

$H_i$  :  $i$ 番目に加えられた一連の変更内容

$H_i^*$  :  $i$ 番目までに加えられた全体としての変更内容(図4参照)

$D_i$  :  $H_i^*$ の変更が加えられた整理ダイヤ

$R_i$  :  $D_i$ にもとづくシミュレーション結果で、実績ダイヤと呼んでいるものである

$S(D_i)$  :  $D_i$ にもとづくシミュレーションの実行を意味する

これらの記号の導入により、つぎの関係式が成立する。

$$H_1 = H_1^*$$

$$H_0 + H_{i_1} + \dots + H_{i_i} = H_i^* \quad (i_i = i)$$

$$D_0 + H_i^* = D_i$$

$$S(D_i) = R_i$$

図4の例では、はじめ $H_1$ の変更を加えてシミュレーションを行なったが、思わしい結果が得られなかったので、 $H_1$ の変更をベースにさらに $H_2$ の変更を上乗せして再度シミュレーションを行なっている。この結果も思わしくないので $H_1$ をベースに、それぞれ $H_3$ 、 $H_4$ を加え、 $D_3$ 、 $D_4$ が得られている。一方、 $H_1$ をベースとしたものが思わしくないということで新たに $H_5$ を行なったのが $D_5$ である。これらの5ケースに対する比較検討は $R_1$ 、 $R_2$ 、 $\dots$ 、 $R_5$ をもとにして行なわれる。

#### (4) 入出力オペレーション

マン・マシンのシミュレーションを実施する上では入出力のオペレーションが重要なポイントになる。入出力の端末はグラフィック・ディスプレイ装置(E&S picture system)によって行なわれている。画面は見易いものであることは当然であるが、操作が容易であることもさらに重要である。

STRATSにおけるマン・マシンに対する基本的な考え方をまとめると以下のようになる。

(i) 画面操作を階層的にした

画面操作の階層を3段階に分け(図3, 図4), ルートを実行コントロール画面とした。階層構造の上から下へは順次, 下から上へは容易に行なえるようにLE (RETURN 0, RETURN 1, RETURN 2)。

(ii) 画面操作を統一化した

項目の選択をライトペンによるピックで行ない, データ入力はすべてキーによるものとした。また, カナ文字入力を必要とする項目については, コードで入力し, 表示はカナ文字にした。

(iii) 入力操作の軽減をはかる

シミュレーションの結果は十数種類にわたる。必要に応じて選択して出力することになるが, 標準的なメニューを用意することにより入力操作を軽減した。標準以外のものについては, 適宜, 追加・削除とすることになる。

(iv) 誤った入力への対応を容易にした

全データを入力した後に, 誤って入力した項目に気がついたときには, その項目をピックして再度入力しなおしてから「DATA END」をピックすればよい。また, 気が付かずに「DATA END」をピックすると, 誤って入力した項目がブリンクするので, 再度上記と同じ操作を行なえばよい。最初から全データを入力しなおす場合には, 「CANCEL」を, 入力を中止する場合には, 「RETURN 0」または「RETURN 1」をピックすればよい。なお, グラフィック・ディスプレイ装置(GDと略称)の表示画面に対する使用割当てを示すと図5のようになる。

(v) GD機能の活用

GDには, E&S Picture system 2 を用いた。この特徴を十分に活用するようにした。これにはつぎのものがある。

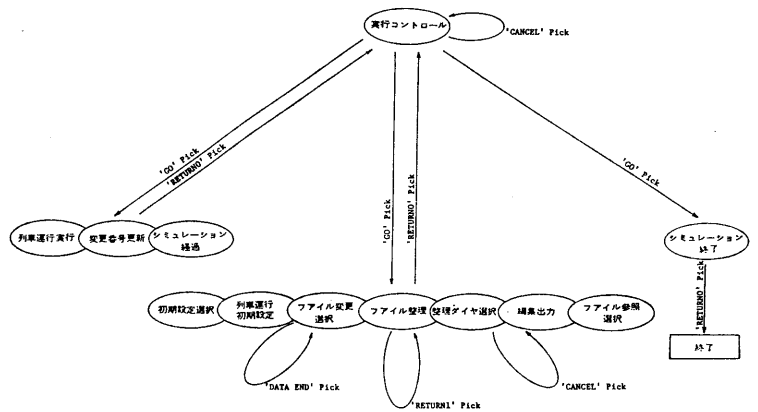


図3 実行コントロールからのオペレーション手順

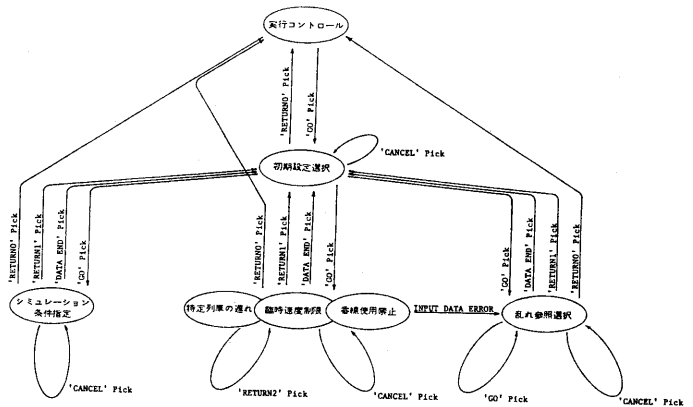


図4 初期設定のオペレーション手順

- 遠近法と輝度変化による3次元画像
- データスペースにおける可視領域(ウィンドウ)の自由な設定
- CRTの多分割利用(マルチビューポイント)
- オンラインでのハードコピー(VERSATEC 静電プリンタ)

おわりに  
STRATSは現在IBM 4341と  
PDP 11/70 にインプリメントされ

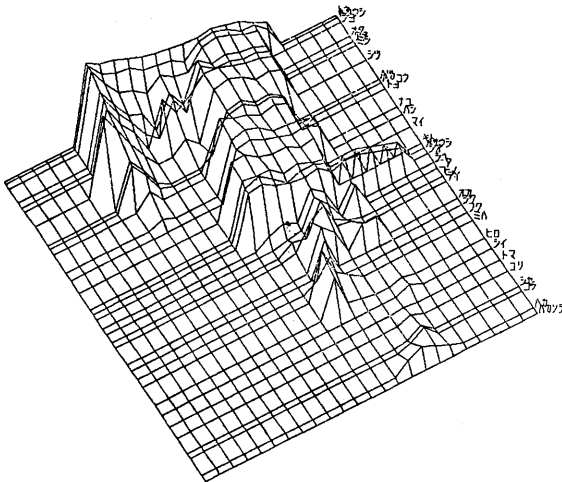


図6 GDによる遅延伝搬の立体表示  
トラフィックシミュレーション・システム, 計測と制御, Vol.19, No.7,  
昭和55年7月

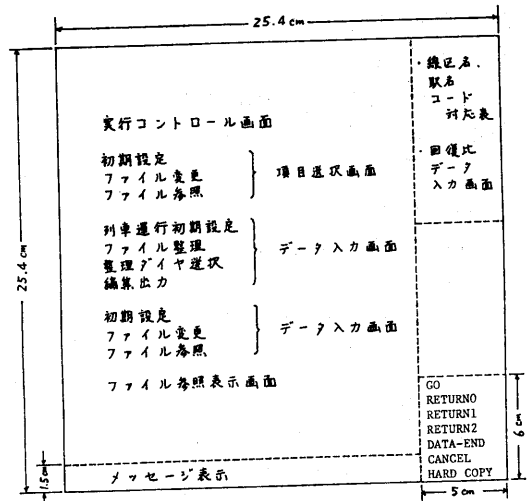


図5 GD画面の使用割当領域

ており, 研究にまたは実用に使用されている。マン・マシンに対する改良という観点から通常のCRTをも付加した構成を検討している。

[参考文献]

- (1) 列車群管理プロジェクト研究室 : 列車トラフィック・シミュレーション・システムの研究, 鉄道技術研究所報告, No. 1140, 1980年3月
- (2) 佐藤ほか : 新幹線列車トラフィックシミュレーション・システム, 計測と制御, Vol.19, No.7,