

# パソコン版ダンプトラック運行シミュレータの開発と走路区間のモデル化

中野 一夫\*, 相沢 りえ子\*, 会田 朋子\*, 矢崎 義行\*\*, 森戸 晋\*\*

## 1. はじめに

ダム建設のような土木工事現場や採石場においては、複数のダンプトラックが稼働するが、その走行スピードのばらつきや、積込機のサイクルタイムのばらつきにより走行状態が一様でなく、あるときはダング走行が発生し、あるときはしばらく到着間隔があくという状態になる。また車の投入台数が比較的少ない現場や、短い工事期間に限りて使用される暫定的な道路では道路建設費低減のために走路幅を一車線にし、ところどころに待避所を設置することが多いため、道路上でのすれ違い待ちが発生し稼働状況が複雑になる。さらに採石場では、ホッパーの処理能力の変動による制約が加わり排土待ち時間が発生するため、稼働状況を理論的に解析することは困難になる。

このような工事現場において、積込場と排土場を往復するダンプトラック、積込機、およびホッパー等の重機の性能が既知で走路区間の環境条件が与えられたときに、重機および設定される走路区間の組合せによる待ちの発生や相互干渉によるロスを評価し、作業能力を評価するためにはシミュレーションが有効な道具となる。

本論文のねらいは、このようなシステムの評価・分析のために開発されたダンプトラック運行シミュレータの走路区間サブモデルを用いてモデル化の違いがシミュレーションプログラムとその処理効率におよぼす影響を分析し（第5節）、併せて、シミュレーション言語の機能を十分に活用したダンプトラック運行シミュレータの概要を紹介することにある。

本事例のシミュレータと類似のシミュレーションの研究開発には中沢 [1]、栗原他 [2] によるものがある。中沢 [1] は本事例と同様建設工事用車両の運行シミュレーションを、一方、栗原 [2] は新交通システムなどで注目されている個別軌道システムのネットワーク・シミュレータを対象としている。これらの文献には、さらに関連の文献が紹介されている。なお、最近製造業を中心に無人搬送車の導入がさかんに行なわれ始めているが無人搬送車の運行システム開発のためにも同種のシミュレーションがさかんに行われている。

対象となるシステムは、ダンプトラックが積込場で積み込んだ土砂を、一方通行路を含む道路を通過して排土場まで運搬するシステムである。図1に示すように、このシステムは積込エリア、走路区間、排土エリアの3つに分割することができる。

## 2. 対象となるシステムの概要と規模

対象となるシステムは、ダンプトラックが積込場で積み込んだ土砂を、一方通行路を含む道路を通過して排土場まで運搬するシステムである。図1に示すように、このシステムは積込エリア、走路区間、排土エリアの3つに分割することができる。

なかの かずお, あいざわ りえこ, あいだ ともこ,  
やざき よしゆき, もりと すすむ

\*構造計画研究所

〒160 新宿区西新宿2-7-1 新宿第一生命ビル

\*\*早稲田大学 理工学部 工業経営学科

〒160 新宿区大久保3-4-1

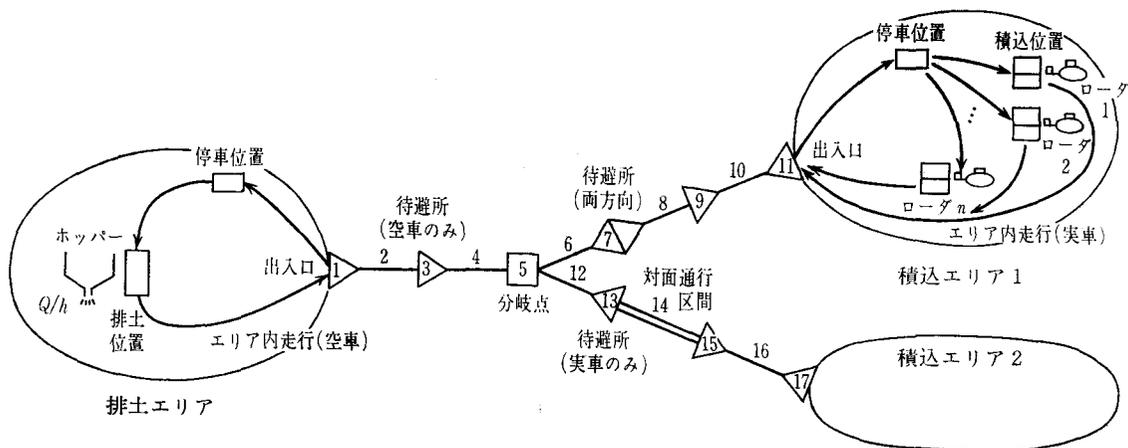


図 1 問題状況の概要

(1) ダンプトラック

ダンプトラックがシステム内を動き回る要素となり、この動きを追うことによりシミュレーションが実行される。トラックは容量の異なる最大10機種に分類され、システム内には最大100台のトラックが許される。

(2) 積込エリア

積込エリアにおいてトラックは積込機を選択し、土砂を積み込む。積込エリアは最大2エリアまで許される。また、積込機は最大5機種、10台が許される。トラックの機種に応じて適合する積込機の機種は限定され、特定の積込機を選定するルールは、

- ①初期配置の積込機へ行く
- ②空いている積込機へ行く

の2通りが許される。

(3) 走路区間

走路は必要に応じて下に示すタイプに分け、最大30の区間(待避所を含む)に分割する。

- ①一方通行路                      ②対面交通路
- ③実車専用待避所                ④空車専用待避所
- ⑤再方向待避所

走路には以下のような制約を考える。

1) 対面交通路区間は遅延することなく走行可能、また、

次の区間に入れない場合は路上に停車も可能。

2) 一方通行路区間は停車することはできない。一区間に同時に同一方向トラックの走行しか認められない。

- 3) 待避所は必ず一方通行路に接続している。
- 4) 全走路上で、車間は最低3秒間空ける。

(4) 排土エリア

排土エリアにおいてトラックはホッパーに土砂を捨てる。ホッパーの土砂処理速度にはばらつきがある。土砂を捨てたトラックは再び積込エリアに向かう。排土エリアおよびホッパーは1つであり、排土エリア内に入れるトラックの台数および同時排土可能台数は制限される。

### 3. シミュレーション言語

シミュレーションは、システムの状態が離散時点において変化することを想定する離散型、より正確には離散事象型シミュレーションと、システムが連続的に変化することを想定し、システムが微分/差分方程式で規定される連続型シミュレーションとに大別される。離散型にせよ、連続形にせよ、シミュレーションを行なうに当たっては行ないたいシミュレーションに向けた専用言語、すなわちシミュレーション言語を用いるアプローチと FORTRAN 等の一般言語を用いるアプローチと

がある。離散型シミュレーション言語の代表としてはGPSSとSIMSCRIPTがあげられる。GPSSでは、システム内を駆けめぐるトランザクションと呼ばれる「もの」がいかにかシステム内を動かかを一定の規則にしたがって記述する「もの中心」のモデルを構築するのに対して、SIMSCRIPTでは従来システムの状態変化、すなわち「事象」発生時にシステムがいかに変化するかを記述する「事象中心」のモデルを構築する。他方、連続型の専用言語にはCMSP、CSSL等がある。

シミュレーション言語には、典型的な状況を簡単に表現できるようなモデル化機能が提供され、同時に標準的な結果レポートを簡単に出力できる等の利点がある、中沢[1]のように一般言語(FORTRAN)を用いてシミュレータを開発するのも1つの方法ではあるが、シミュレーション言語を活用することによりシミュレーションの作業効率の向上を期待できる場合も多く、近年シミュレーション言語の普及および性能向上にともない、シミュレーション言語を用いてシミュレーションを行なうことが多くなっている。

本事例では、SLAM II (以下本稿でSLAMとはSLAM IIをさすものとする)を用い、パソコン版SLAMを想定したシミュレータを開発した。以下にSLAMの特徴を示す。

- 1) 離散型、連続型両用のFORTRANベースの言語で、離散型ではGPSSに類似した「もの中心」のモデル化機能と、「事象中心」のモデル化機能が兼備されている。「もの中心」のモデルはSLAM ネットワーク・モデルと呼ばれる。
- 2) 「事象中心」の離散型と連続型では、ユーザのFORTRANサブプログラムによりモデルが記述され、これをSLAM提供のルーチンとリンクするという形式をとる。
- 3) SLAMでは、何らかの原因で停滞する要素をいったんファイルに挿入する。ファイルは、その中に納めるべき要素の性質に応じて複数個に分割され、またモデル設計者が、要素をどの

ファイルに納め、待たせるかをファイル番号の指定という形で定める。SLAMにおけるファイルはGPSSにおけるユーザ・チェーンに相当する。

- 4) 汎用機版とパソコン版とが提供されており、両者のプログラムの互換性がある。

離散型シミュレーションにおいて、SLAMのように「もの中心」と「事象中心」のモデル化機能を兼備する言語を使用する場合の一般的かつ効率的戦略として、

GPSSタイプの「もの中心」のモデル化機能を用いて自然に表現できる部分は「もの中心」のモデルで表現し、「もの中心」のモデルとして扱いにくい側面にはFORTRAN等の一般言語にもとづき、主として「事象中心」のモデルとして表現する

というアプローチが良い。

ダンプトラック運行シミュレータはSLAMのもつモデル化機能をフルに活用して開発されている。すなわち、上述の戦略にもとづき、積込エリア、排土エリアのように「もの中心」のモデル化機能を用いてごく自然にSLAM ネットワーク・モデルとして表現できる部分はネットワーク・モデルで表現する。図2は積込エリアのネットワーク・モデルであり、ここでは積込機をリソースと見なしてダンプの動きを記述している。

他方、一方通行や待避所の存在により複雑なロジックが組み込まれる走路区間についてはユーザ記述のFORTRANサブプログラムにもとづく「事象中心」のモデル化を採用する。走路区間のモデルについては次節で詳述する。

また、排土エリアのホッパーの動きは、簡単な差分方程式で表現されるので連続型モデルとして表現する。差分方程式は離散型モデルで表現できないことはないが、連続型としてとらえる方がむしろ簡単に表現できるのでこの部分に連続型の機能を採用する。図3はホッパー内の残土量の動きを規定するユーザ記述のサブルーチンSTATE

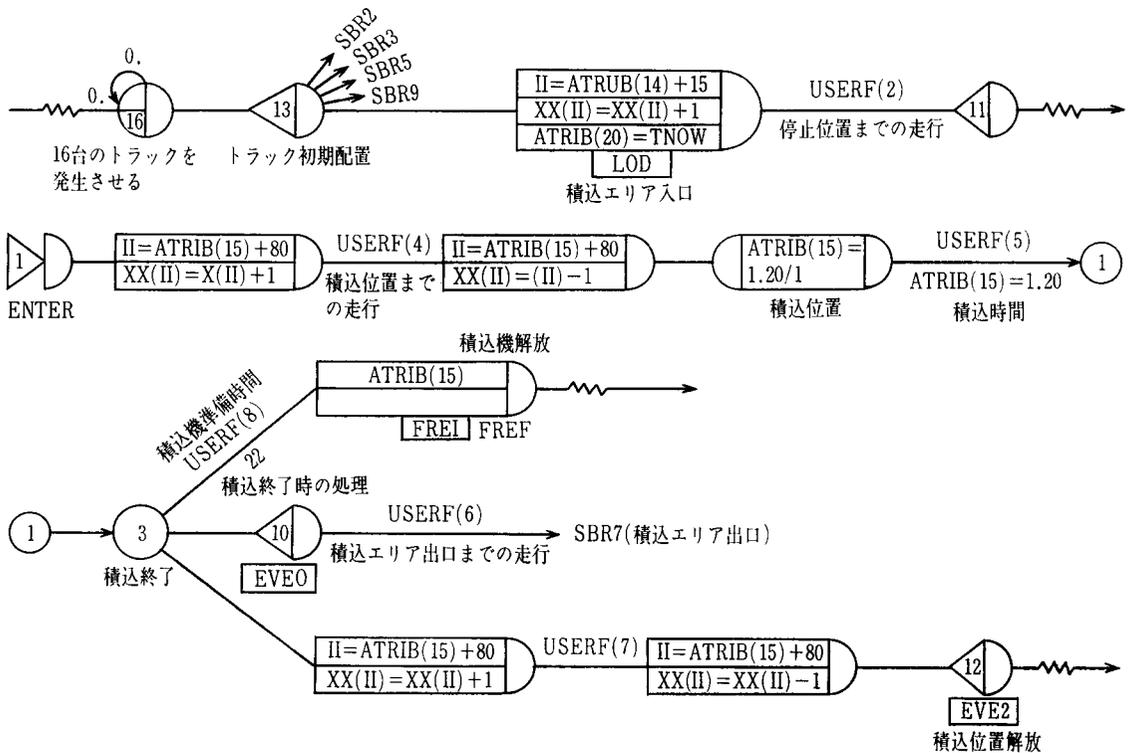


図 2 積込エリアの SLAM ネットワーク・モデル

である。ここで、変数 SS(1)は残土量を示す状態変数であり、このサブルーチンが原則として一定時間間隔ごとに呼ばれて残土量が更新される。このサブルーチンが基本的に 2 行(本質的には 1 行)で実現されていることに注意されたい。

#### 4. 走路区間のモデル化

走路区間のモデルは複雑であるためユーザ記述の FORTRAN サブプログラムによる「事象中心」

のモデル化を採用した。走路区間の詳細を述べる前に一般的立場から離散型シミュレーションのモデル化について考えることにする。

##### 4.1 離散型モデル化の一般的アプローチ

システムの動きを規定するロジック、たとえばトラック走行のロジックと走路・待避所の環境条件が定めれば、これに対応するシステム(トラック)の動きは一意に定まると考えられる。ところが、こうして定まるシステムの動きを忠実に表現

```

SUBROUTINE STATE
COMMON/SCOM1/ ATRIB(100), DD(100), DDL(100), DTNOW, II, MFA, MSTOP, NCLNR
1, NCRDR, NPRNT, NNRUN, NNSET, NTAPE, SS(100), SSL(100), TNEXT, TNOW, XX(100)
EQUIVALENCE(XX(29), Q)
SS(1)=SSL(1)-DTNOW*Q
IF(SS(1).LE.0.0) SS(1)=0.
RETURN
END

```

図 3 ホッパーの連続モデル (サブルーチン STATE)

するシミュレーション・モデルが一意に定まるとは限らない。これは、数理計画法の分野において巡回セールスマン問題 (TSP) のいわゆる部分巡回路除去制約の表現 (定式化) の仕方にくつかの代替的な方法があるのと似ている。TSP の場合、部分巡回路制約の表現のしかたが TSP の解法やその効率に影響をおよぼす。同様に、シミュレーションの場合も、いかにモデルを構築してシステムの動きを表現するかがシミュレーションの作業効率や処理効率に影響をおよぼす。

与えられたシミュレーション言語の機能を用いて、あるシステムの動きを表面的には異なるが等価な動きを示すモデルで表現できる場合には、どのようなモデルを作るかがモデル設計者の「腕」の見せ所となる。モデルを設計するさいに考慮すべき基本的な決定項目は、

- 1) 何をシステムを駆けめぐる要素 (GPSS で言うトランザクション, SLAM で言うエンティティ等) とみなすか?
- 2) システムに存在する限られたリソースを言語のいかなる機能を用いて表現するか?
- 3) システム中に何らかの理由で発生する停滞現象をどのように表現するか?

である。これらの決定項目を変化させることによりできるさまざまな代替的モデルを

- A) モデルの作りやすさ
- B) モデル検証の容易さ
- C) モデルのわかりやすさ, 修正のしやすさ
- D) モデルに必要な記憶容量の大きさ
- E) モデルの実行の速さ

の視点から評価し、適正なモデルを選定すべきである。これら5つの評価項目はA~Cまでのシミュレーション・プロジェクトの作業量と関連する評価項目グループと、残るD, Eの、シミュレーションを実行する計算機の能力を考慮した評価項目グループとに大別できる。

現時刻=10

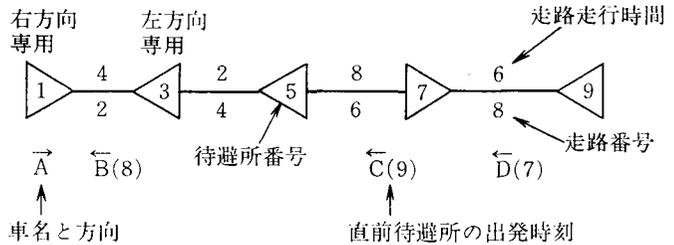


図4 走路区間の例

シミュレーション・プロジェクトの作業量のかなりの部分がモデルの作成 (プログラミング), 検証, デバッグ, 修正に費やされていることを考えると、実務的には評価項目A~Cを念頭においてモデルを設計することが重要である。計算機の大型化・高速化にともなって、計算機の制約が問題になることが少なくなってきたために、第2グループの評価項目の重要性は相対的に低下しつつある。しかし、解析したいモデルの大規模化 (たとえば、10000ステップ前後のGPSSモデルが実際に作成・実行されている) や性能的に制限があるパソコンによるシミュレーションの普及を考えると、第2グループの評価項目を念頭においてモデルを設計することも重要である。

使用するシミュレーション言語によって多少の違いこそあれ、シミュレーション・モデルの初期設計あるいは基本設計がこれらの評価項目に大きな影響を与えることは経験的には明らかである。しかもその影響度はモデルの規模が大型化・複雑化すればするほど大きくなる。

本事例で扱う走路区間モデルは、一方通行路の存在のために発生する停滞をいかに表現するかなどによりさまざまなモデル化が考えられる。そこで以下でSLAMの機能を用いた2つの走路区間モデル化の代替的アプローチを提示し、それらを比較検討することにより、モデル化の違いが作業効率や処理効率に与える影響を分析することにする。なおモデルの複雑さは主として一方通行区間と方向指定のある待避所の存在によると考えられ

るので以下の説明は図4のように、これら2つから構成される走路区間を考える。

#### 4.2 走路区間モデルA

はじめのモデルはGPSSを使い慣れた人が自然に考えるモデルである。SLAMでは要素をシステム内で停滞させるために原則として要素を「フェイル」に格納し、ここで時間遅延を起こさせるのが普通である。しかし本当は待っているにもかかわらず、モデル上では「ちょっと暇をつぶしてくる」という形でアクティビティを行なうかのごとき処理をして時間経過を起こさせ、「暇つぶしから戻った」ところで、さらに待つべきか否かを判定するというアプローチが考えられる。このアプローチでは、「どれだけ暇つぶしをした後に様子を見に戻らせるか」、すなわち暇つぶし時間を定める必要がある。モデルAでは、一方通行区間で正面衝突を起こさず、かつ車間条件を満足する運行が確保できるよう必要に応じて出発を遅らせる。

図4の例において、現時刻を仮に10（時間の単位については、仮に分としておく）とし、待避所1にきた右へ向かう車Aの出発の可否を考えよう。車Aが次に停車できるのは待避所7であるから、走路2, 4, 6を左へ向かう車は衝突チェックの対象となる。さらに、走路8を左へ向かう車は待避所5まで止まれないため走路6で車Aと衝突の可能性があり、これまたチェックの対象となる。一般に、出発しようとする待避所（車Aの場合は待避所1）から、次の自方向待避所（待避所7）以遠の最初の対向待避所（待避所9）までの間の走路を動く対向車がチェックの対象となる。

図4ではチェック区間内に3台の対向車B, C, Dが走っている。図のカッコ内の数字は対向車が直前の待避所を通過・出発した時刻とする。待避所1の車Aの出発可否チェックは以下の手順にしたがう。

i) 走路2上の車Bは待避所3を時刻8に出発しているの、この車が待避所1を通過する時刻12までは車Aは出発できない。したがって車Aは少

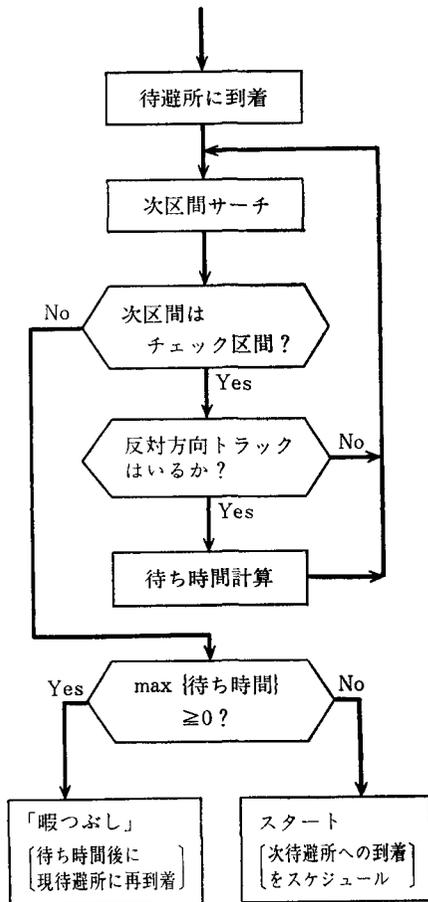


図5 モデルAによる処理の流れ

なくとも2分出発を見合わせる。

ii) 走路6上の車Cが待避所5に着くのは時刻17であるため、車Aの出発は早くとも時刻11（=17-6）である。

iii) 走路8上の車Dは時刻13に走路6に入り時刻21に待避所5に到着する。したがって車Aの待避所5通過は早くとも時刻21であり、車Aは待避所1の出発を少なくとも5分見合わせる。

iv) 以上i)~iii)より、車Aはチェック区間内の対向車との正面衝突を防ぐために出発を5分遅らせる必要がある。

以上の手順で出発待ち時間5分が算出されると、モデルAでは車Aに「暇」を与え5分後の時刻15に再度車Aが待避所1に到着するよう5分間の「暇つぶし」のアクティビティを行ない、時刻

15の再到着時に同様のチェックをくりかえす。

車が待避所に到着したときのモデルAによる処理の流れを図5に示す。

### 4.3 走路区間モデルB

モデルBは、停滞=ファイルというSLAMの一般的考え方にとったモデルで、一方通行区間入口の待避所に交通を制御する信号機があるかのごとく考える（実際に信号機があるかどうかは問題ではない）。この信号機によって、待避所に到着するトラックをファイルに入れて待たせる（赤）か、あるいはそのまま進ませるか（青）を判定する。さらに、信号機の赤青切替も能動的な要素とみなし、トラックが待避所を出発するに当たって対向方向のチェック区間の待避所の信号機を必要期間だけ赤にする。一方、信号機が赤から青に変わるといふ事象が発生すると対応するファイルを調べ、待機中のトラックがいればこれを進める、という考え方である。

モデルBのSLAMモデルのおもしろさは、信号切替要素の処理に当たって、将来事象としてすでに登録されている赤から青への切替事象を書き換えて赤の期間を延長したり、一時期青になる形、すなわち、赤→青→赤→青と予定されているものうち中間の青の期間を削除する（すなわち、赤→青ならびに青→赤の2つの切替事象を削除）などを考えている点である。SLAMではユーザの事象ルーチンを介して事象カレンダーの参照のみならず変更・削除等が可能であり、モデルBはこの機能を活用したものである。

たとえば、図4の状況では、時刻10において、待避所1の信号は赤になっているはずである、ここで、仮に、時刻が15になったところで待避所1の赤→青への信号切替事象が生起（すなわち、青になる）すれば、車Aが出発可能になる。車Aの出発にともないチェック区間の対向待避所3, 5, 9の信号を以下のように赤にする信号処理を行う。

i) 待避所3の信号を時刻15から20まで赤にす

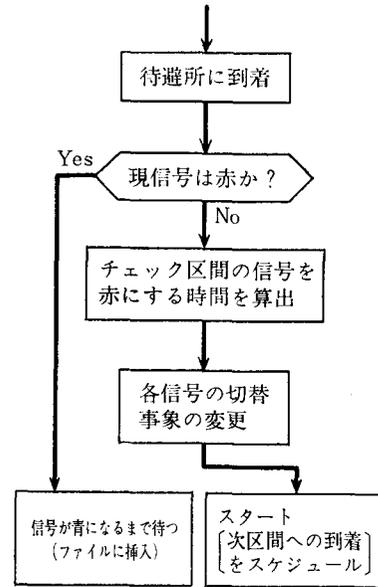


図6 モデルBによる処理の流れ

る。換言すれば、信号の現状態を赤にし、時刻20に赤→青切替事象を予定する。

ii) 待避所5の信号を時刻17から21まで赤にする。時刻17以前に待避所に入れることに注意されたい。

iii) 待避所9の信号を時刻23まで赤にする。

車が待避所に到着したときのモデルBによる処理の流れを図6に示す。

### 4.4 2つのアプローチの比較検討

2つのアプローチを比較したのが表1である。表に若干のコメントを加えよう。

1) プログラムの作りやすさ：モデルAの待ち時間算出とモデルBの赤信号設定期間算出とは実質的に等価である。これに加えてモデルBでは、信号処理が必要であり、これがモデルBのプログラムを複雑化し、ステートメント数をモデルAより15%ほど多くしている。

2) プログラム検証の容易さ：両モデルとも、プログラムが正しく動いていることを検証するためには、車が衝突しないことを確認する必要がある。この検証作業は時間を要する大作業である。

またモデルAはモデルの構造上、衝突の他に待

表 1 モデル A とモデル B の比較

	モデル A	モデル B
モデルの考え方	車の待避所到着時にチェック区間の対向車を調べ必要ならば待ち時間に相当する「暇つぶし」アクティビティを行なわせる	車の待避所出発時にチェック区間の対向車と衝突しないように区間内の対向待避所の信号を一定期間赤にする
モデルの特徴	対向車中心 対向車の現在位置の情報が必要	出発しようとする車中心で、対向車がどこにいるかを知る必要なし
プログラムの複雑さ	比較的単純	信号切替のプログラムは複雑
FORTRAN のステップ数 (デバッグ、入出力コメントは除く)	295 ステップ	342 ステップ
処理スピードに影響する要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同じ対向車に対してチェックがくりかえされる可能性有</li> <li>• 待ち状態の車が「暇つぶし」アクティビティをくりかえすと効率が悪くなる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 対向車がなければ信号をセットしても無意味</li> </ul>
落とし穴	追い抜き心配有り	
ファイルの数	一方通行走路区間の数	待避所の数 (ただし、両方向待避所は 2 と数える)
ファイルに格納する情報	走路を走行中の車が直前の待避所を出発した時刻を格納 (衝突チェックで利用)	待避所に待避中の車を格納
余分に必要な要素属性値	待避所出発または通過時刻	
システム中の要素数	車の数	車の数 + 信号切替事象の数 車要素と信号要素と 2 種類の要素有

避所における同一方向の車の追い抜きが発生する危険があり、追い抜き防止の対策（紙面の関係で省略）が必要となる。すなわち、モデル A において 2 台以上の車が待避所で待つ場合、それらの車は同時刻に暇つぶしから戻ることになり、注意しないと先着順に出発せず追い抜きが起こり得る。したがって、モデル A では衝突に加えて追い抜きも監視する必要がある。モデル B では待ちを先入れ先出しのファイルで処理するため追い抜き現象を心配する必要がないことから、追い抜きはモデル A 固有の問題と言える。

3) 処理速度：車が通行していない時の信号が意味を持たないように、モデル B の信号処理は交通量が少ない走路区間では無駄な（しかし省くことのできない）処理となる。しかし、モデル B では待避所を出発する車の情報が出発時に信号事象

に変換されるため、次の待避所に着くまでの途中の情報が必要になることはない。これに対してモデル A では、走行中の特定の車の情報が逆方向の待避所を出発しようとする車の出発チェックにくりかえし参照される可能性がある。反復参照の度合いは交通量が増え混雑度が増すに連れて増大し、この傾向は表 2 の計算時間からも読み取ることができる。すなわち、トラック 3 台では両モデル

表 2 モデル A とモデル B の実行時間比較 (CPU SEC.)

期間の長さ (分)	トラック 3 台		トラック 6 台		トラック 9 台	
	モデル A	モデル B	モデル A	モデル B	モデル A	モデル B
100	1.31	1.25	1.60	1.40	2.03	1.47
500	2.54	2.24	4.08	3.01	6.25	3.35
1000	4.12	3.50	7.19	5.01	11.52	5.69

(使用計算機：IBM3081)

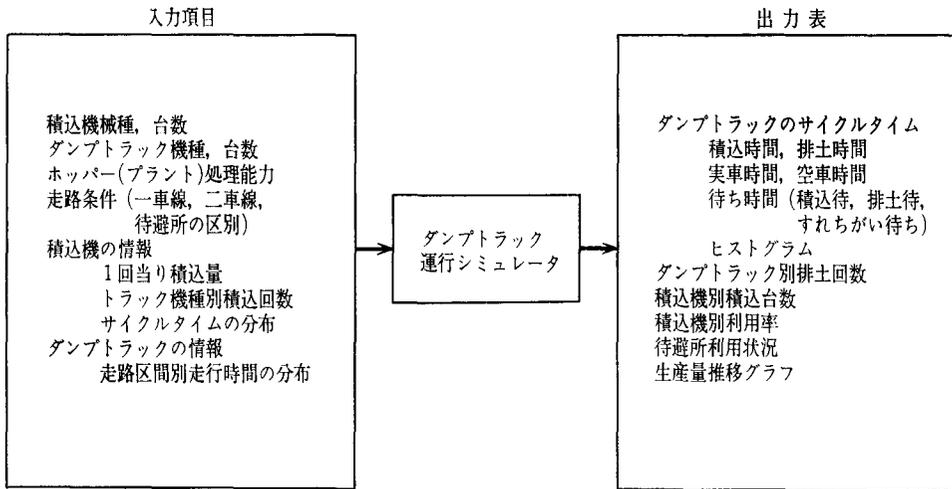


図 7 ダンプトラック運行シミュレータの入出力

ルの計算時間に大差がないのに対して9台ではモデルBの実行時間がAの半分程度に短縮されている。なおモデルAの計算速度の遅さは、同一車の反復参照の他に、暇つぶしから戻った車が再度暇つぶしに出る場合があることにも起因する。

4) 記憶容量：モデルの規模はシステム中の要素数と各要素の属性数の積で評価できる。モデルBでは、モデルAの車に対応する要素に加えて信号切替に対応する要素がある。信号切替要素の数は、走路区間の構成、車の走行状況に依存するが、待避所数の3～4倍程度で抑えられると考えればよい。モデルBの信号要素の属性数が車要素の属性数より少なく、またモデルAの車要素の属性数がモデルBの車要素の属性数より少なくてすむことを考慮しても、モデルBがモデルAよりかなり余分な記憶容量を必要とすることは明らかである。

紙面の都合で省略するが、この他、統計収集のしやすさ、デバッグのしやすさ、等の側面でもモデルAとBとで差異が生じることを付記しておく。このように、モデル化の違いがシミュレーションの作業効率や処理効率に影響を与えることが多い。実際に複数のモデルをプログラム化して比較検討することはまずないと考えられるが、モデ

ル設計者が、モデル化の代替的アプローチを検討・評価した上でモデルの基本設計を行なうことがシミュレーション・プロジェクトの作業効率をあげる上できわめて重要である。

開発されたシミュレータの走路区間モデルはモデルAにもとづいている。これは、このシミュレーションが記憶容量の限られるパソコン用に作られたため、要素数の少ないモデルAが採用されたことによる。

## 5. シミュレータの入出力と実行

図7はダンプトラック運行シミュレータの入出力項目を示している。ユーザ記述のプログラムにより積込/排土エリアや走路区間の諸条件が読み込まれた後にシミュレーションが実行され、終了時に標準的な結果要約レポートとともにユーザ記述のサブルーチンによるユーザ独自のアウトプットが作成される。標準出力としては、トラックのサイクルタイムのヒストグラムや各待避所での待時間、積込機の利用状況などが出力される。

開発されたプログラムの規模は、ネットワークモデルが約170ステップ、ユーザ記述のFORTRANが約3,000ステップである。FORTRANプログラムの大半は走路区間モデルと入出力処理に

費やされている。

開発されたダンプトラック運行シミュレータは640K バイトのコア容量を有する パソコンを用いて 2. で示した規模のモデルのシミュレーションができる。積込エリア 2 つ、排土エリア 1 つ、積込機 1 エリア当り 4 機種 5 台、ホッパー 1 台、18 走路区間、トラック 16 台の規模のモデルを NEC-9801 E (ハードディスクは使用せず) で実行したところ、3 時間分のシミュレーションに約 120 分を要した。

## 6. おわりに

本稿ではパソコン版の SLAM で動くダンプトラック運行シミュレータの概要を解説し、走路区間モデルにおいてモデル化の違いがシミュレーション・プログラムとその処理効率に大きな影響を与えることを見、シミュレーションモデル作成における基本設計の検討の重要性を明らかにした。

従来、この種のシミュレーションは大型計算機に頼ることが多く、稼働現場と計算機屋との間の意志疎通に難点があったが、本シミュレーションはパソコンで動くため稼働現場でより現実的な解析が可能となる。パソコンの実行速度の制約からシミュレーションの実行に結構時間がかかっているが、昨今のパソコン性能の向上や徹夜でパソコンを動かす可能性などを考えあわせると大きな障害とはならないであろう。しかし、シミュレータの開発をすべてをパソコンで行なうとなると、開

発者にとって実行速度の遅さが問題となる。本シミュレータも開発の効率化という観点から、大型計算機で開発しパソコンに移植するという形をとった。これを可能にしたのが、大型計算機用のプログラムを修正なしにパソコンでも利用できるという SLAM の特徴である。大型計算機を用いて開発された特定用途の専用シミュレータを、パソコン上で動かし特定のシステムを分析するという形がパソコンの長所を生かし短所を表面に出さないシミュレーションの利用の方向と考えられる。

謝辞：本稿では、(株)小松製作所が(株)構造計画研究所に委託して開発したプログラムの結果を引用させていただきました。(株)小松製作所の本プログラム開発担当者 亨保太郎氏、桜井秀郎氏のご協力を得たことを深く感謝いたします。また、矢崎と森戸は早稲田大学特定課題研究(61B-8)の助成を受けました。

## 参考文献

- [1] 中沢喜久夫：「建設工事車両の運行シミュレーション」, オペレーションズ・リサーチ, 30, 10 (1985), 620-626.
- [2] 栗原正仁, 加地郁夫他：「個別軌道システムのネットワーク・シミュレータ」, シミュレーション, 4, 1 (1985), 52-60.
- [3] Pritsker, A. A. B: *Introduction to Simulation and SLAM II*, 3rd ed., Halsted Press, 1986.
- [4] 森戸晋, 相沢りえ子：SLAM II によるシステム・シミュレーション入門, 構造計画研究所, 1986.

## 学会到着図書 (ご利用希望の方はご連絡ください)

書名	著者	発行所	頁数	価格
SASによるデータ解析入門	竹内 啓 監修 市川 伸一 著 大橋 靖雄	東大出版会	P. 241	¥2,800
線形計画法	今野 浩	日科技連	P. 266	¥3,600
調査の技術	浅井 晃	日科技連	P. 291	¥3,400
境界要素法の基礎	登坂 宣好 著 中山 司	日科技連	P. 237	¥3,400
ソフトウェアの計画と管理 5	花田 収悦 編集責任	日科技連	P. 397	¥3,800
〃 生産技法 6	菅野 文友 〃	〃	P. 416	¥4,000
信頼性ワークブック	野中 保雄	日科技連	P. 184	¥3,500
講座・数理計画法 7	伊理 正夫 著 藤重 達	産業図書	P. 242	¥3,200
グラフ・ネットワーク・マトロイド	大山 達雄			