

IV-13 平面交差点における Traffic Simulation について

名古屋工業大学工学部 正員 渡辺新三
建設省九州地方建設局 正員 ○藤井崇弘

1. はじめに 近年自動車交通は年々激増し、今や全国各地で交通遅滞(Traffic Delay)の現象を誘発させている。この交通遅滞の現象は国民の生産活動にとっていわゆる時間損失という形であらわれ、有形無形のマイナスの影響を与えている。われわれはこれを身近に体験するとき、この交通遅滞の現象を解明し、その打開へ工学的施策を樹てねばならぬが、本研究では交通遅滞の主因ともいふべき平面交差点について Simulation 解析の手法を導入して、交通量と待ち行列との関係・交通量の動的変化に伴う交通遅滞時間の変動などについて一つの解明を与えんとした。

2. Traffic Simulation の実際 Simulation 解析とは 研究対象を模型化して解析すること、極言できる。すなわち研究対象となるべき社会現象や自然現象についての模型となる体系をつくり上げ、この取組みやすい模型体系の動作の観測によつて、本来人に不慣れな特に不確実性を多くふくむ非決定論的・確率論的現象を分析・把握し、さらに将来にわたって予測・推定しようとするものである。そしてこの Simulation 実験を通して現在実用に供すべき実行可能な最適解を見出すことを目的としている。本研究では Simulation の Model に数値模型(Numerical Model)を用いる Digital方式もと、Digital型計算機に

(1) FACOM-128B (富士通信機), (2) KDC-I (京都大学計数型電子計算機-I) の2基を採用し、これら計算機内に実際の交通現象を数値模型して再現させた。

3. モンテカルロ法の適用 街路や都市間道路でみうける実際の交通現象は、車の多様性(従つて車長がある分布を構成している)、車頭時隔のランダム性(非定常の Poisson 分布)、交通量と車速との Non-linear 性、交差点における右・左折・前進車の任意性、交差車線間の車の先行順位の不確実性など数多くの確率論的諸因子をふくんでいる。そこでこれら確率論的問題の処理に乱数(従つて、無作為抽出)を用いようとするわけだが、この乱数処理という基本概念がモンテカルロ法(Monte Carlo Method)のゆえんである。モンテカルロ法の基本的道具は区間[0,1]に等分布する一様乱数であるが、こゝでは算術的方法により擬似乱数(Pseudo Random Number)を発生させた。その発生法を表-1に示す。

4. 交通発生の機構 計算機内で交通発生ルーチンを組む場合、ある確率量が必要である。今 Input data として交通量 C_x を与え、次の手続きによつて[0,1]に分布する確率量 P_x を導入し、これを X 車線における

- (1) 合同法 $r_{n+1} = k \cdot r_n$
(FACOM-128B) $k=23, \text{ mod } M=10^8+1$.
(2) 相積法 $r_{n+2} = \text{shift}(r_n \cdot r_{n+1})$
(KDC-I) $(r_n \cdot r_{n+1})$ 20桁の中央
10桁 $\rightarrow r_{n+2}$.

表-1. 擬似一様乱数の発生法

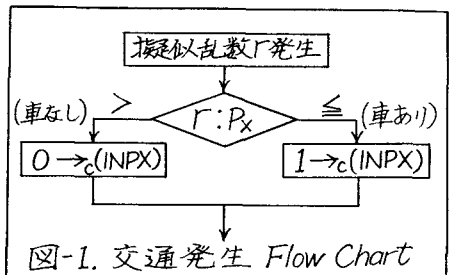


図-1. 交通発生 Flow Chart

交通発生率と名づけた。すなわちX車線(1車線)の1時間当りの交通量を C_x 台とする。一方、交通流の車頭時隔の最小単位を τ (sec)とし、この τ 単位で1時間を時分割(Time Shearing)すれば、X車線の交通発生率 P_x は $P_x = C_x / N$ で与えられる。こゝに $N = 1\text{時間}/\tau(\text{秒}) = 3600/\tau$ である。(たとえば $C_x = 1,200$ 台/時・車線 を与えて、 $\tau = 2.0$ 秒 で時分割すれば、 $N = 3600/2.0 = 1800$ 。従って $P_x = 1200/1800 = 2/3$ となる)

この交通発生率と擬似乱数発生ルーチンによって得る乱数 r との大小比較によって図1.のような交通発生Flow Chartを得る。こゝに[1]は車の存在を示し、[0]は車がないことを示す。またc(INPX)はSymbolic Address (INPX)番地の内容を示す。

5. 平面交差方式の決定 平面交差点に流入してくる交通量が増すと、その交差点では数方向から2台以上の車が流入しようとする。この場合いずれかの車が従行あるいは停車して、他車に先行通過をゆずり、みずからは他車の通過を待ち合わせねばならない。こゝに交通遅滞の発生する原因があるが、このときどの車が先行しどの車が交通遅滞するかを現実の交差現象と矛盾することなく適確にsimulateせねばならぬ。この方法には、(1)数式の計算によって交差方式を決める方法。(2)乱数仕分け(モンテカルロ法の原理)によって交差方式を選ばせてそれを読み込む方法。(3)交差方式そのものをFlow Chart化しこれをprogramして計算機に投入する方法。の3通りが考えられるが、本研究ではT字型平面交差点に(2)を用い、十字型平面交差点に(3)の方法を採用した。

6. 交通待ち行列および交通遅滞時間の算定 時刻 t におけるX車線の待ち行列の車数を $Q_x(t)$ で表わすと、今X車線の先頭車が平面交差点に到着して $n\tau$ だけ交通遅滞を強いられたとすれば、X車線においては合計 $D_x(n)$ の交通遅滞を余儀なくされたことになる。このとき待ち行列車数 $Q_x(t)$ と交通遅滞量 $D_x(n)$ (単位:時間)との間には

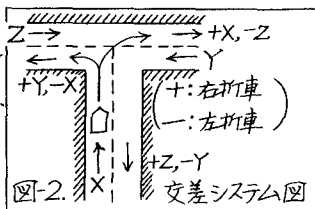
$$D_x(n) = \int_{t_0}^{t_0+n\tau} Q_x(t) dt = \sum_{t=t_0}^{t_0+n\tau} Q_x(t) \cdot \tau = \tau \cdot \sum_{t=t_0}^{t_0+n\tau} Q_x(t)$$

が成立つ。こゝに時刻 t_0 における初期待ち行列車数は $Q_x(t_0)$ で与えられる。 $Q_x(t)$ の値は交通が発生して待ち行列に到着するたびに+1ずつ加算されるようProgrammingがされており、それぞれ指定された番地にstoreされている。

7. T字型平面交差点における Traffic Simulation

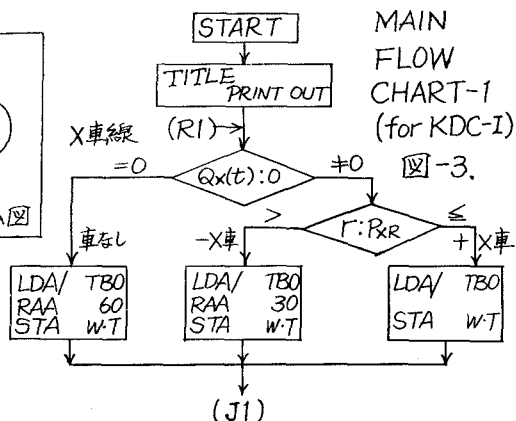
システムの原則を把握し、これをもとに各車線

間の待ち時間表を、右折(+1), 左折(-1), 車なし(0)の車線間組み合わせ($=3^3=27$ 通り)および各待ち行列の先頭車の交差先行順位($=6$ 通り)の2要因に



じて case by case にあらかじめ記し Simulation によって作成する。この個々の待ち時間(W_x, W_y, W_z)を「待ちベクトル」と称しておこう。この待ちベクトルで構成された待ち時間表

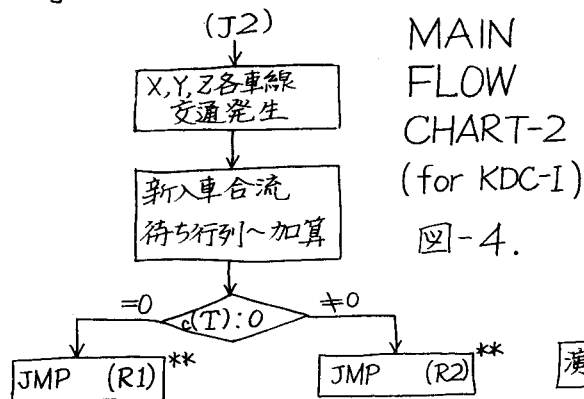
現地における観測によって交差



を計算機内に store する (FACOM-128B では N-11 紙テープに記憶, KDC-I では Storage Register (= 磁気ドラム access time は normal band で 5 msec. 回転数 6,000 RPM) に記憶させた)。
 しかるのち X, Y, Z 各待ち行列の先頭車は乱数仕分けに応じて, 待ちベクトル (W_x, W_y, W_z) を読み込んだのち, 1 ごとに W_x, W_y, W_z から 1 ずつを減じてゆき, かつ $Q_x(t), Q_y(t), Q_z(t); D_x(n), D_y(n), D_z(n)$ を算出して, 印刷出力として print out させ, 1 ごときの待ち行列の変動, 交通遅滞量の変化をとらえた。こゝに Input data は

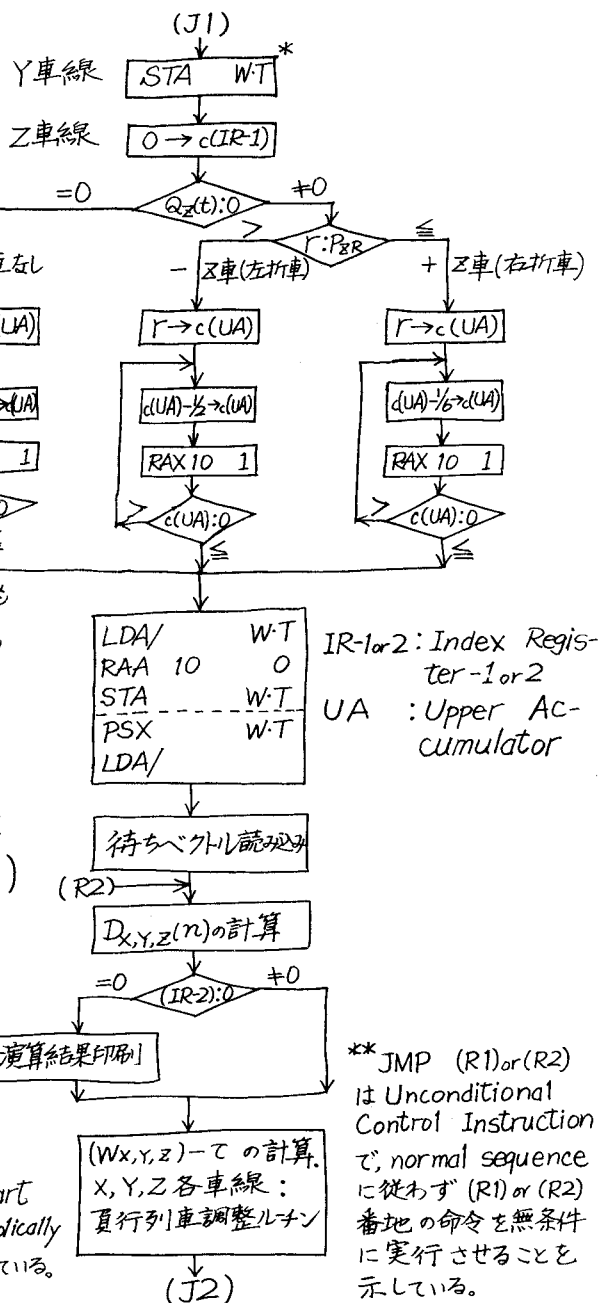
- (1) 交通発生率: $P_x, P_y, P_z (\leq 1)$
- (2) 各車線右折率: $P_{xR}, P_{yR}, P_{zR} (\%)$
- (3) 初期条件: $Q_{x,y,z}(t)=0, D_{x,y,z}(n)=0$.
- (4) 既成乱数表から得た乱数
 FACOM-128B r_1 (1コ)
 KDC-I r_1, r_2 (2コ).
- (5) 待ちベクトル表: 90 steps.

の 5 項を与えた。以上, T 字型平面交差点における Traffic Simulation の MAIN FLOW CHART を示せば, 図 3, 4 の通りである。FLOW CHART 中, LDA/, RAA, STA, RAX, PSX など KDC-I 特有の命令語をふくんでるがこゝではその説明を割愛することにした。FACOM-128B による FLOW CHART もこれとほとんど変りはない。いずれの場合にも Program は省くことにした。



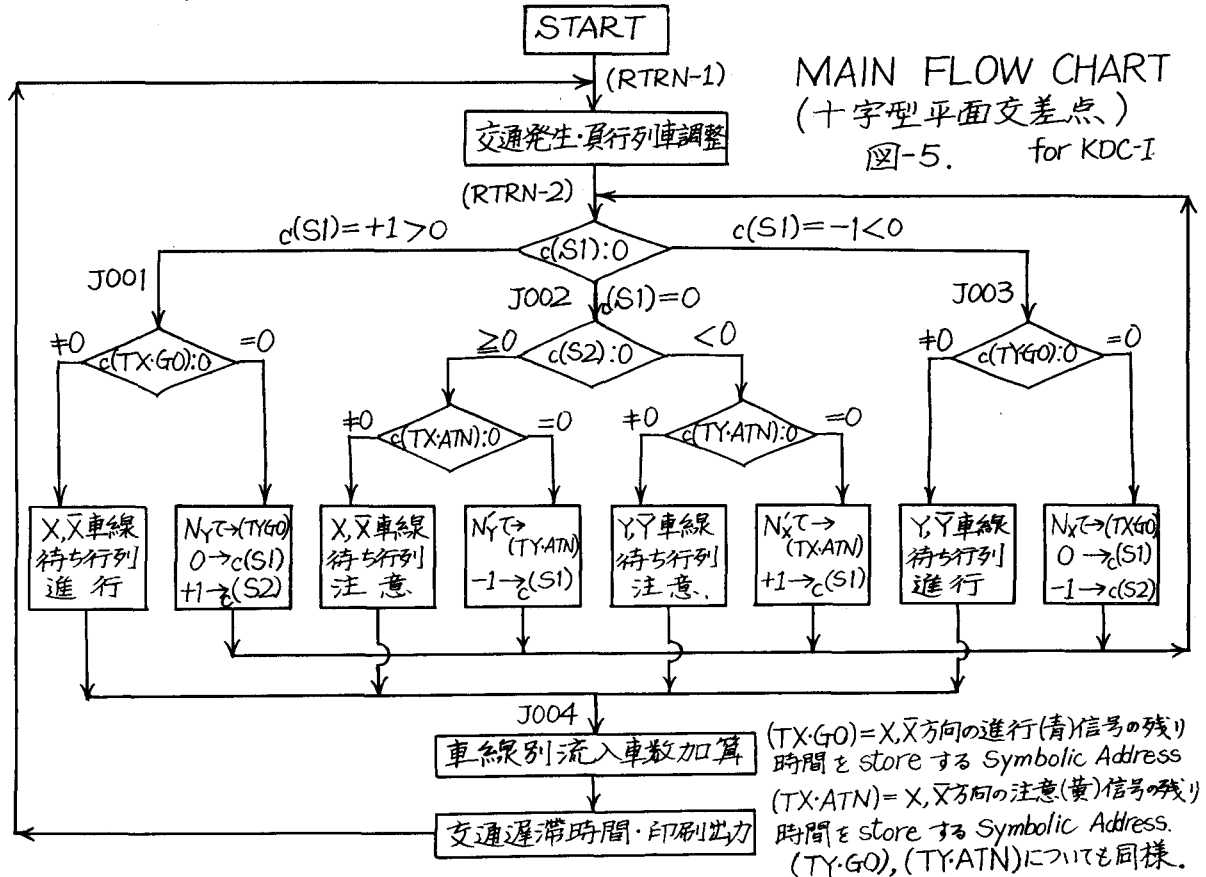
MAIN
FLOW
CHART-2
(for KDC-I)
図-4.

* 待ちベクトルのアドレス選択ルーチンとして Y 車線においても X 車線と同様の Flow Chart を書くべきであったが, 紙面の都合で symbolically に "STA W-T" (Store Address W-T) と示している。



** JMP (R1) or (R2) は Unconditional Control Instruction で, normal sequence に従わず (R1) or (R2) 番地の命令を無条件に実行させることを示している。

8. 十字型平面交差点における Traffic Simulation わが国の交通事情では主要な十字型平面交差点は多く交通信号装置が取付けられている。これを simulate するためにここでは、流入車線2車線、交通信号(進行・注意・停止)付きの十字型平面交差点について、交差システムそのものを Flow Chart 化して(5.の(3)の方法)、Programming をおこなった。その Main Flow Chart は下の通りである。X, Y 車線 待ち行列進行ルチン



など、これ自体で数100 steps におよぶ Program を組んでいるが、ここでは省略する。

9. 結 語 以上一見複雑に見える交通現象も、その交差システムを Flow Chart 化し、乱数発生 Routine から供給される擬似乱数を用いモンテカルロ法を駆使すれば、高速度電子計算機による Traffic Simulation が可能であり、交通遅滞解消のための工学的施策(車線数の増加・道路幅員の拡張・街角剪除・大都市交通混雑部における市電の撤廃ないし時差運行・バイパスの新設・立体交差方式の採用など)の最適実用解も見出されるであろう。

【参考文献】 1) 佐佐木 綱・藤井 崇弘: Weaving Section における Traffic Simulation, 第15回年次学術講演会講演概要第IV部, 土木学会, 1960.5 2) 宮武 修・中山 隆: モンテカルロ法, 日刊工業新聞社, 1960.11 3) 京都大学プログラム研究小委員会, KDC-I の命令語, 1959.10 および KDC-I のプログラミング, 1960.2 4) D.L. Gerlough: Traffic Inputs for Simulation on a Digital Computer, Paper to the Annual Highway Research Board Meeting 1959.1, ITTE, UCLA.