

電子計算機による自動車交通流模型の作成について*

小 堀 炳 雄 吉 田 博

Simulation Research of Traffic Load Series
by High Speed digital Computer
by

Tameo KOBORI and Hiroshi YOSHIDA

This study has been made to project a probability model of a traffic flow at a certain point in a certain period.

We have observed and collected data from the actual traffic flows along National Highways, Route 1 and Route 8.

With the assistance of the high speed digital computer of the Kanazawa University (NEAC-2230), we have statistically conducted the data to some conclusions which we think are of some importance;

- 1°. The distribution of center to center of vehicles is a Poisson's distribution.
- 2°. The distribution of weight of vehicles is a normal distribution.
- 3°. The distribution of the traffic group is a Poisson's distribution.

1. まえがき

本研究は道路橋など道路構造物を設計する際の自動車荷重（例えば道路橋では活荷重など）を究明するために、実際の自動車交通流を自動車荷重列とみなし、この荷重列の個々の荷重の重さ、車頭間隔はそれぞれまったく *at random* であり、これを確率変数とみなし、さらに、自動車は道路の線型、交通信号等により 3 台、5 台、10 台といった集団をなして走行していることに注目して、これを車群とし、これに含まれる自動車台数（以後車群台数という）もまた確率変数であるとみなして、ある交通流のある地点、ある時刻における自動車荷重列模型を電子計算機の中で simulation しようとするものである。

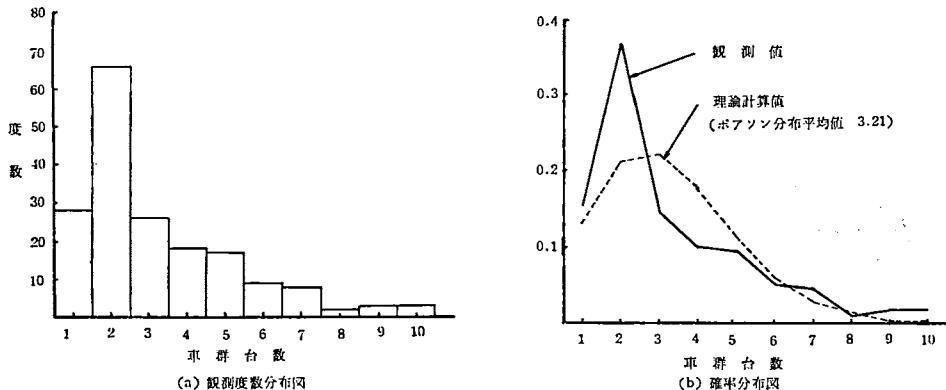
2. 調 査

まずわれわれは、実際の交通流の実態を調べる目的で昭和38年12月16日国道8号線の金沢市・小松市間手取大橋附近と富山市・高岡市間高岡大橋附近（いづれも北陸の中心都市間で12時間交通量は、4500 台前後であり後者は新産業都市に指定された。）および昭和39年3月19日国道1号線草津附近と逢坂山附近で観測を行った。

その観測結果の集計を第1, 2 図、第4, 5 図のヒストグラムに示す。自動車は道路の線型（カーブ、勾配等）、交通信号、運転者の技能等によってある群をなして走行していることに注目し、また道路橋など道路構造物に適応する活荷重を考えると、ある程度の間隔がある場合はこれを同一と考えず、それぞれ独立していると考える方が合理的であろう。まず、車頭間隔が 70m を越える時にはその自動車の所属する車群をわけることにしてヒストグラム第1図 (a) を作成した。この図で横軸

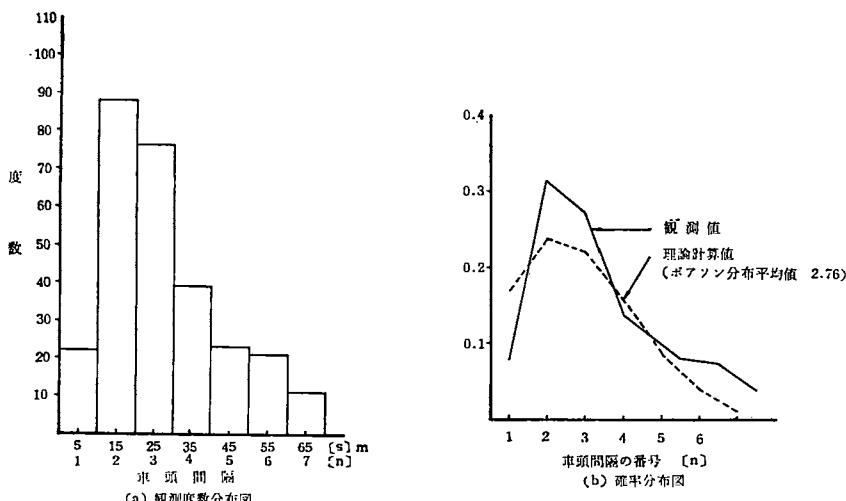
* 土木学会第19回年次学術講演会 I-78 (昭和39年5月) で発表

はある車群に含まれる自動車台数であり、縦軸にそのような車群が起生する回数を示した。この図から車群の平均台数は 3.21 台であり、この分布を ポアソン分布とみなし 平均値 3.21 のポアソン分布とした確率曲線が第 1 図 (b) の破線で示され、観測値の確率分布曲線である実線と多少のずれが認められるが、今回は研究の第 1 段階としてポアソン分布と仮定する。



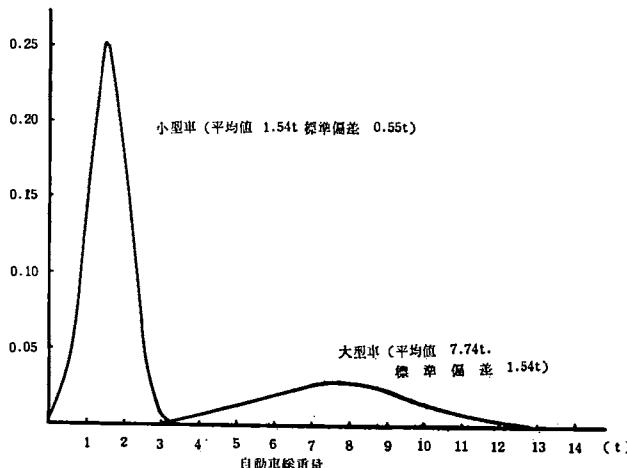
第 1 図 国道 8 号線車群分布図

つぎに第 2 図 (a) に示す車頭間隔であるが、これはある車群に含まれる車頭間隔を階級の中央値 5m, 10m, … となるように選んでその起生する回数を縦軸にとったヒストグラムである。この図からわれわれは第 1 図の車群の場合と同様にポアリン分布であるとして、これを車頭間隔のそれぞれの階級の中央値を S とし、その間隔を τ とすると、それぞれの中間値は $S=n\tau$ となる。この場合の確率曲線を描くと第 2 図の実線のように表わされる。さらに平均値 2.76 (n になおした値) のポアソン分布曲線を描くと破線のようになる。



第 2 図 国道 8 号線車頭間隔分布図

さらに、自動車重量についてであるが、今回の観測では調査できなかったので西村昭氏の論文¹⁾中の昭和30年近畿地方建設局が行った資料にもとで、大型車、小型車の割合を $p:q (p+q=1.0)$ としそれぞれ正規分布しているものとして、すなわち双峰性確率曲線とし第3図のように表わされたものとした。なお観測では p 、および q の値を知るにとどめた。それらの値を第1表に示す。

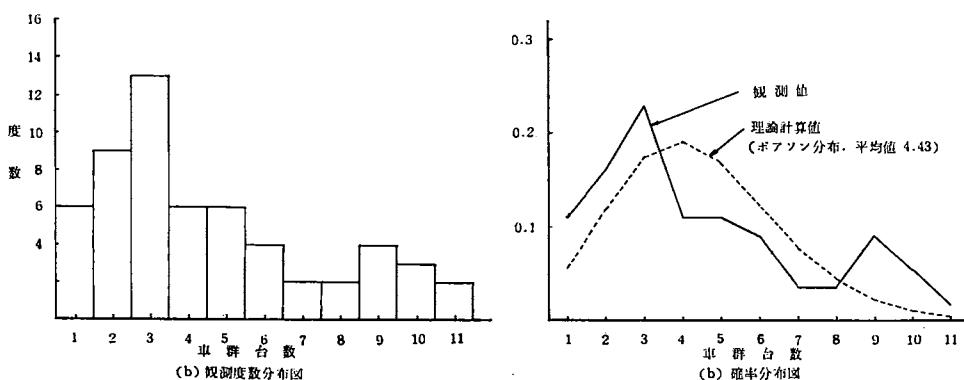


第3図 自動車重量の分布図 ($p:q=3:7$)
近畿地方建設局調査 (昭和30年)¹⁾

第1表 観測値の小型車、大型車の比

		小型車 (q)	大型車 (p)
国道 1 号 線		上り 0.594	0.406
		下り 0.549	0.451
逢 坂 山		上り 0.748	0.252
		下り 0.689	0.313
国道 8 号 線		上り 0.745	0.255
		下り 0.743	0.257
手 取 大 橋		上り —	—
		下り 0.670	0.330

国道1号線の観測結果についても8号線の場合と同様に集計しその代表的結果を第4図、第5図に示す。



第4図 国道1号線車群分布図 (逢坂山附近)

以上の観測結果からわれわれは交通流の確率模型を電子計算機の中で Simulation しようとするものであり、以下にそのプログラムの作成の過程を述べ、フローチャートを示す。

3. プログラム作成の過程

われわれは自動車荷重列模型の番号を与えることにより電子計算機の中である荷重列模型が自動的に作成され、車群、車頭間隔、重量およびそれぞれの平均値、標準偏差が印字され、または、次の計算（例えば橋梁の設計）の Load Data となるよう Input Tape を作成するようプログラムした。そのフローチャートは第 6-1, 2 図のとおりであるがその主な項について説明する。

1. Input Data

自動車荷重列模型番号 N (2 行の整数を Key Board より入れる)

全自動車台数 (固定小数点数)

車群平均値 (浮動小数点数)

車頭間隔平均値 (浮動小数点数)

自動車の大型車と小型車の比 ($p:q$)

(浮動小数点数)

自動車重量の平均値、および標準偏差（それぞれ、小型車、大型車について） (浮動小数点数)

車頭間隔を計算する際の間隔 τ (浮動小数点数)

自動車重量を計算する際の間隔 dx (浮動小数点数)

2. 乱 数

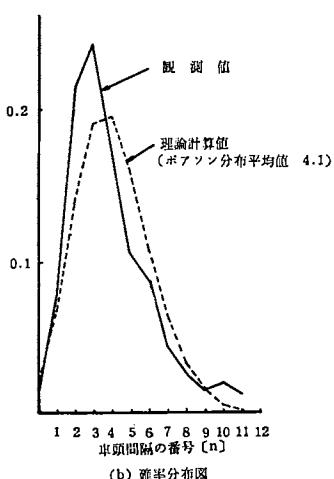
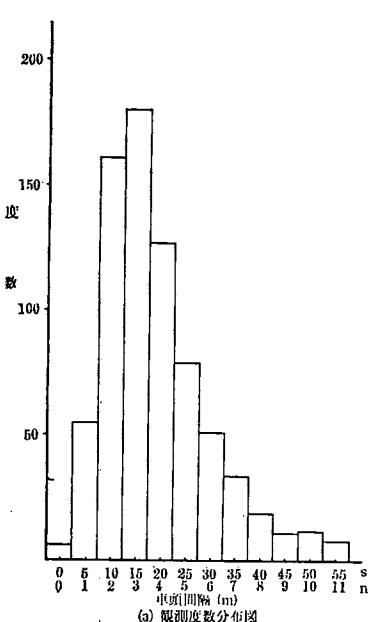
われわれは電子計算機の中で自動的に模型番号を基に平方採用法により乱数を発生させるようプログラムしたのであるが、その発生した乱数が十分な一様性が得られなかつたので、今回は乱数発生機の中は前もって北川乱数表を記憶させ、模型の番号によってその抽出方法を定めるようにした。このようにすることにより、01番から99番まで99通りの異った乱数列を発生できるようになっている。

このようにして得られた乱数は十分な一様性を持っていた。

3. ポアソン分布および正規分布のサブルーチン

前記のようにわれわれは観測結果から車群台数および車頭間隔についてはポアソン分布を、自動車重量については正規分布を適用することにしたので、まずそれぞれのサブルーチンを作成した。

それぞれの分布は次式で表わされる。



第 5 図

国道 1 号線車頭間隔分布図
(逢坂山附近)

$$\text{ポアソン分布} \quad P = \int \frac{m^x}{x!} e^{-m} dx, \quad (1)$$

$$\text{正規分布} \quad P = \int \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (2)$$

上の計算を行うために Σ の型式にあらため

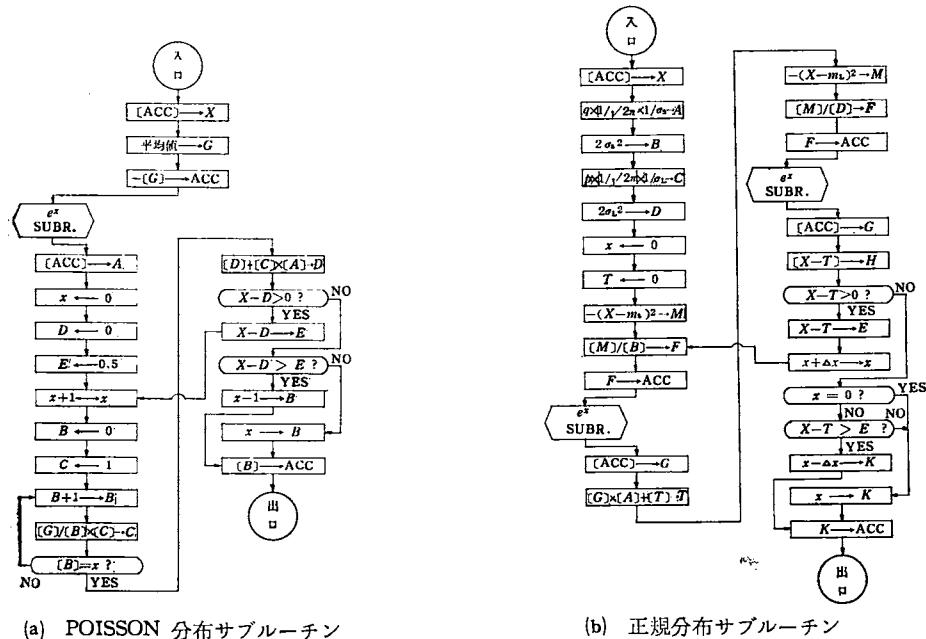
$$\text{ポアソン分布} \quad P = \sum \frac{m^x}{x!} e^{-m} dx, \quad (3)$$

$$\text{正規分布} \quad P = \sum \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (4)$$

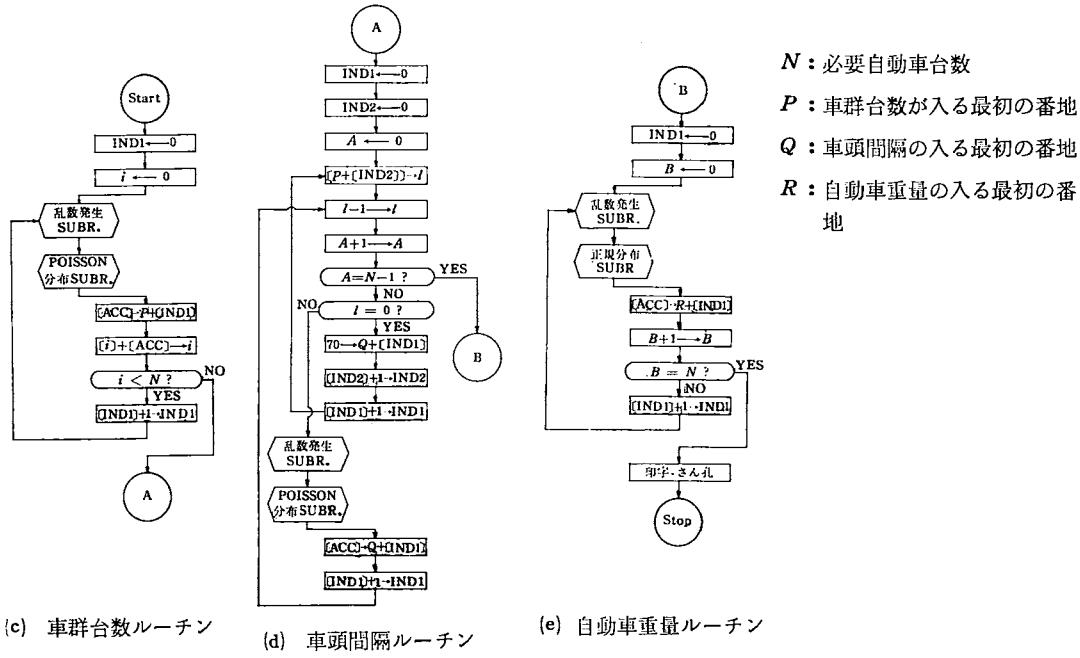
としている。ここでポアソン分布であるが平均値 m は小数点以下の数であってもよいが求まる x は整数である。それ故に車群台数を求める時は何ら不都合は生じないが、車頭間隔を求める際ある間隔 τ を考えなければならない。そしてこのサブルーチンで求められるのは模型の車頭間隔を S とした場合 $S=n\tau$ であり、この整数 n を求めることになる。このことから車頭間隔を求めようとする際の精度によって τ の大きさを定めなければならない。ただ、あまりこの τ を小さくとると平均値 m の値が大きくなつて、ポアソン分布は正規分布に近づくことになるため、この点を十分注意する必要がある。

さて演算は前記の乱数発生ルーチンより $0 \sim 1.0$ までの乱数 X を取り出し、式(3)により $x=0$ から 1 づつ x を増し、加算を行つて X に最も近い x の値を求める事になる。

次に正規分布であるが、式(4)よりわかるように平均値 m と標準偏差 σ が定められれば小数点以下の数字も容易に求めることができる。



第6-1図 電子計算機のためのフロー・チャート



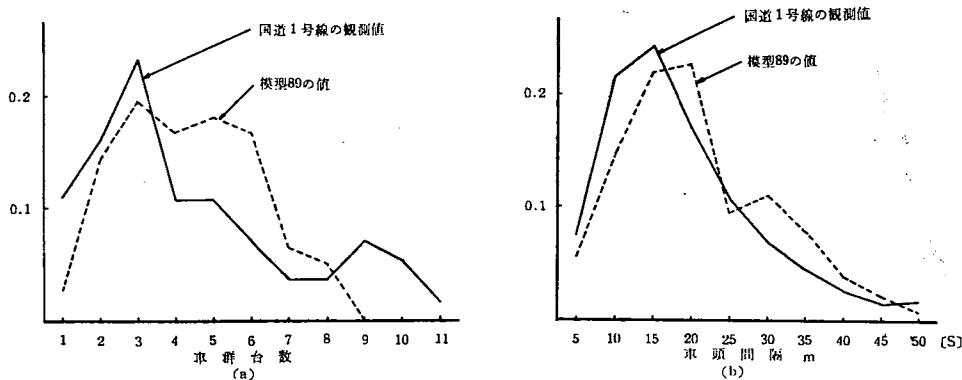
第6-2図 電子計算機のためのフロー・チャート

4. 計算とその応用の1例

さて、このようにプログラムされた演算で、まずその信頼度を調べるためにわれわれは国道1号線で行った観測結果から得られた平均車群台数4.42台、平均車頭間隔 $n=4.17$ 、大型車と小型車の比3:7、および自動車重量については西村昭氏の研究¹⁾より大型車平均重量7.74ton、標準偏差1.54ton、小型車平均重量1.54ton、標準偏差0.55tonをInput Dataとして、300台の自動車を含む自動車交通流模型No.89を作成した。その車群台数、車頭間隔、自動車重量の1部を第2表に示す。これを統計的に整理すると第7図のとおりである。車群の方があまり良く一致しないのは車群数が少ないためである、が車頭間隔の方は良く一致している。したがって所定の模型が電子計算機の中で作成されたものと思われる。

第2表 自動車荷重模型

車群台数	5				5				3				3								
自動車重量 (ton)	2.1	2.9	1.4	8.3	2.3	2.5	2.5	2.1	2.5	8.6	1.6	2.4	1.4	2.4	1.6	1.6	2.3				
自動車車頭間隔(m)	15	35	20	30	~	5	45	30	15	~	20	5	~	20	25	~	25				
6				2				6				4				5					
7.0	7.2	3.2	8.8	2.8	8.2	1.7	2.3	1.9	5.7	2.5	1.0	2.1	6.9	2.2	1.4	7.4	2.2	2.6	2.2	1.5	1.8
35	35	20	10	~	15	~	20	15	20	20	25	~	35	15	20	~	25	10	5	15	~
3	6				4				6							
2.1	1.9	1.7	2.3	8.4	2.4	2.7	2.0	8.1	2.2	2.7	2.1	8.2	2.3	1.7	2.7	9.0	7.2	2.5	1.5	2.5	...
15	20	~	20	20	10	30	40	~	10	40	30	~	30	35	35	15	35	~	20	45	...

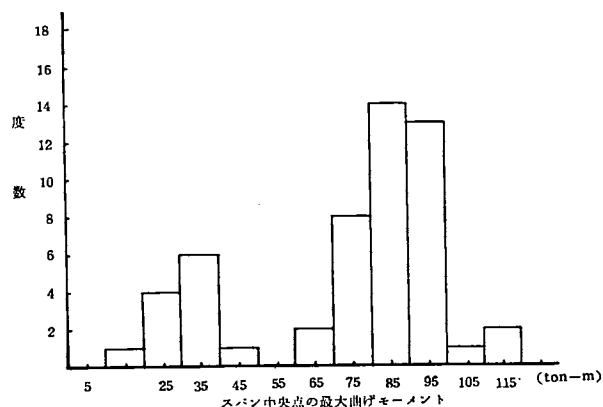


第7図 電子計算機の中で作成した荷重列模型89の車群および車頭間隔の分布図

しかし、確率変数にとった個々の起生する車群台数（例えば最初3台、次に5台……など）、自動車重量のならぶ順序、個々の自動車車頭間隔などは模型番号により異なる。すなわち一様乱数のとり方により異なるわけである。このことは実際の交通流にあっても、ある短い時間毎隔をとって交通流を見ると、個々の荷重により異なるが、ある長時間を持って考えると一定の傾向が見られると同じである。以上一応の信頼度を有するこのプログラムを用いて、これまでの交通調査や地域産業の調査から、ある地点、ある時間の交通流模型を適宜電子計算機の中で作成することができる。

次にわれわれはこの作成された模型の各車群がスパン40mの単純桁橋に載荷した場合の最大曲げモーメントを求め、その最大曲げモーメントとその度数をヒストグラムで表わすと第8図のとおりである。このことから、われわれが交通流そのもの例えば、各道路網における特性、その地域の産業構造などから3.1のInput Data（車群平均値、車頭間隔平均値、重量に関する係数）を知ることができればこれよりその路線の交通流模型を電子計算機の中で作成することが可能となり、さらにこれらの自動車荷重列による桁の曲げモーメントが出来、電子計算機の中で将来起りうるであろうあらゆる荷重に対する載荷実験を行うことが可能となる。今後、種々の支間についても数多くの数学的実験を行い多くの第8図の如きヒストグラムを書き、各スパンに対して例えば非超過確率（信頼係数）0.9となる曲げモーメントを決め、これに安全率を乗じて設計曲げモーメントとして橋梁を設計するといった事も考えられる。しかしこの場合は計算機の中で作成される荷重模型について、より多くの調査の結果からより正確な将来荷重の推計がなされなければならず、さらに多くの実験的計算がなされなければならない。

引き続きこのような自動車荷重模型を利用して走行連行荷重列による桁の振動の問題をも究明するよう研究を行っている。

第8図 模型の各車群によるスパン ($L=40m$) 中央点の最大曲げモーメントとその度数分布図

5. む　す　び

本研究では、道路交通流の模型を電子計算機の中で Simulation する目的で、実際の交通流を国道 8 号線（手取大橋附近、高岡大橋附近）、国道 1 号線（草津附近、逢坂山附近）で観測し、これらを統計的に整理して、自動車はあるポアソン分布の車群をなして走行し、さらにそれぞれの自動車の車頭間隔もまたポアソン分布していると仮定し、自動車重量については従来の研究より言われているように小型車と大型車の 2 つのモードを持ち、それぞれ正規分布していると見なして、それぞれの分布の平均値と標準偏差を Input Data として与えて自動車交通流すなわち、自動車荷重列模型を電子計算機の中で Simulation するプログラムを完成した。この simulation された将来起うるであろう数多くの荷重列模型を用いて、例えば道路橋の種々のスパンに働く最大曲げモーメントについて、電子計算機の中で数学的実験を行い設計曲げモーメントを知ろうとする方法を提案した。

さらにこの模型の利用としては、道路網の交通計画などが考えられ、現在種々の実験を計画中である。なお使用した計算機は金沢大学電子計算機（NEAC-2230）である。

参 考 文 献

- 1) 西 村 昭：自動車荷重のばらつきについて、建設工学研究所報告、第 2 号、昭 36 年 3 月。
- 2) 西 村 昭：荷重列としての自動車交通流の二、三の解析、土木学会誌 46-2、昭 36 年 2 月。
- 3) 西 村 昭：道路橋の設計活荷重について、日本道路会議論文集、第 6 回。
- 4) Aaron Glickstein : Analytical Methods in Transportation, Digital Simulation of Traffic, A. S. C. E., vol. 89, No. EM6, DEC., 1963.