

## 道路網における交通渋滞の信号制御

長瀬 久明\*

(昭和59年1月17日受理)

### 1. まえがき

自動車交通の著しい発達はいわれわれの日常生活を非常に便利にしている。ところが、一方では交通事故、排気ガスなど、多くの問題が生じている<sup>(1)</sup>。通勤ラッシュなどによる交通渋滞もそのひとつである。これに対して大都市では電子計算機システムによる交通管制が行われている。すなわち、交通管制センターに電子計算機を設置<sup>(2)</sup>、この計算機と交通信号機や車両検出器などを通信回線で結び<sup>(3)</sup>、交差点などの交通状況の把握、制御方式の決定、信号機の駆動などの作業を時々刻々、自動的に行わせているのである。たとえば、幹線道路に沿って多数の信号機が狭い間隔で設置されている場合、車の流れに合わせて順次、下流の信号を青にすれば、赤信号で止められることはない。しかし、一方だけを優先することは不公平であるから、公平でかつ信号待ちを最小にするような制御方式が種々と考案され、実施されている<sup>(4)(5)</sup>。ところが、それらの研究は主として交通渋滞を生じない場合を対象にしており、渋滞時については近隣の交差点を塞がないような制御が実施されているにすぎない<sup>(6)(7)</sup>。

交通渋滞時の制御を研究する場合、一般的形状の道路網を対象とすることは容易ではない。そこで従来、一、二の交差点<sup>(8)</sup>、交通流が集中し渋滞が生じやすい一区域<sup>(9)</sup>、格子状の道路網<sup>(10)</sup>などについて研究がなされてきた。

筆者は前に格子状の道路網について、渋滞量の最小化問題を定式化し、簡単な道路網についての数値計算例を示した<sup>(11)</sup>。本論文ではその問題と、改良された新解法を述べる。さて、一回の信号待ちでは通過できない車がある場合を交通渋滞と定義し、格子状道路網の中で生じる渋滞の総量を最小化するための手法を考える。したがって、渋滞の発生時刻から解消時刻までについて考える。さらに、各交通流が目的地に至るために利用可能な経路が複数本ある場合を考え、交通需要の各経路への配分比率をも制御する。これを動的な経路配分というが、われわれは信号と配分とを同時に最適化する問題を定式化する。

動的な経路配分を主題にした研究に文献(11)がある。文献(11)は都市内の交通の混雑緩和を目的とした研究であり、道路網の形状については一般的であるが、信号制御は考慮されていない。また、1信号機区間(ある信号から次の信号まで)の中に存在する車の台数を変数とし、区間内での位置(区間の途中を走行中であるか、それとも区間の端で信号待ちの状態であるか)は考慮されておらず、われわれのアプローチよりもマクロな定式化といえよう。

次章以降で、まず問題を数式化し、次にそれが拘束条件付きの最適制御問題となることを示す。そしてそれが容易に線形計画法の問題に帰着できることを示し、従来の解法および新しい解法を述べる。

\* 兵庫教育大学第5部(生活・健康系教育講座)

## 2. 道路網の数式化

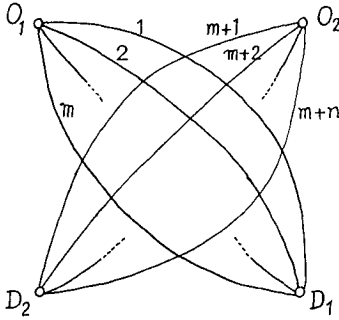


図2.1 対象道路網の略図

図 2.1 のような形状をもつ格子状道路網を考えよう。地点  $O_1$  と  $D_1$  を結ぶ道路に、図 2.1 のように  $1, \dots, m$  と番号をつけ、地点  $O_2$  と  $D_2$  を結ぶ道路には  $m+1, \dots, m+n$  と番号をつける。交通流としては、地点  $O_1$  を出発地点 (Origin) とし地点  $D_1$  を到着地点 (Destination) とするものと、地点  $O_2$  から地点  $D_2$  へ至るものの 2 種類を考える。このように、交通流にその出発地点と到着地点をあわせて考えるとき、これを OD 交通という。上述の 2 種類の OD 交通を以後  $OD_1, OD_2$  と呼ぼう。

交通流  $OD_1$  は経路  $1, \dots, m$  のどれかを利用し、 $OD_2$  は経路  $m+1, \dots, m+n$  のどれかを利用する。したがって、交通量がある程度を越えると交差点に渋滞が生じる。次に、地点  $O_1, O_2$  で発生する交通需要  $Q_1 = Q_1(p \cdot \Delta t)$ ,  $Q_2 = Q_2(p \cdot \Delta t)$  を定義しよう。これらはそれぞれ、 $O_1, O_2$  で単位時間あたりに発生する交通需要 (台数) である。ここで、考える時間区間を  $[0, T]$  とし、これを  $N$  等分して  $\Delta t = T/N$  とした。また  $p$  は  $0 \leq p \leq N-1$  をみたす整数である。したがって、OD 交通需要は時間間隔  $\Delta t$  ごとに計測できればよい。

われわれが考えるのは渋滞時間帯であるから、時刻  $0, T$  はそれぞれ、渋滞の発生時刻、解消時刻である。また、車の台数は本来、離散量 (整数) であるが、取扱いの都合上、連続量とみなしている。また、交差点における右折、左折はないと仮定している。

さて、地点  $O_1, O_2$  において各々の車はひとつの経路を指定されるから、単位時間あたりに経路  $k$  へ流入する車の台数を  $q_k$  とすると、

$$Q_1(p \cdot \Delta t) = \sum_{i=1}^m q_i(p \cdot \Delta t) \quad (2.1)$$

$$Q_2(p \cdot \Delta t) = \sum_{j=m+1}^{m+n} q_j(p \cdot \Delta t) \quad (2.2)$$

がなりたつ。ただし、 $0 \leq p \leq N-1$  である。

また、各経路の容量は限られているから、流入量  $q_k$  は

$$0 \leq q_k^{\min}(p \cdot \Delta t) \leq q_k(p \cdot \Delta t) \leq q_k^{\max}(p \cdot \Delta t), \quad k = 1, \dots, m+n \quad (2.3)$$

のように、その最大値と最小値が限られている。

経路  $i$  ( $i=1, \dots, m$ ) と経路  $j$  ( $j=m+1, \dots, m+n$ ) が交差することは図 2.1 から明らかなので、その交差点を  $(i, j)$  と表そう。ある交差点から隣の交差点までの道路区間をリンクと呼んでいる。車がリンクを走行するには時間がかかる。この時間は車の密度によって異なるが、われわれは渋滞が生じている時間帯のみを考え、すいている時間帯は考えていない。そこで、この時間は各々のリンクに固有な定数と仮定しよう。さらにそれが  $\Delta t$  の整数倍であると仮定する。この仮定は  $\Delta t$  をある程度小さくすれば満た

される。この時間を次の記号で表す。

$\xi_{i,m+1} \cdot \Delta t$  :  $O_1$  から  $(i, m+1)$  までの所要時間。  $i = 1, \dots, m$

$\xi_{i,j} \cdot \Delta t$  :  $(i, j-1)$  から  $(i, j)$  までの所要時間。  $i = 1, \dots, m, j = m+2, \dots, m+n$

$\eta_{1,j} \cdot \Delta t$  :  $O_2$  から  $(1, j)$  までの所要時間。  $j = m+1, \dots, m+n$

$\eta_{i,j} \cdot \Delta t$  :  $(i-1, j)$  から  $(i, j)$  までの所要時間。  $i = 2, \dots, m, j = m+1, \dots, m+n$

ここで  $\xi_{i,j}, \eta_{i,j}$  は正の整数である。記号  $\xi$  は  $OD_1$  が走行するリンクに、また記号  $\eta$  は  $OD_2$  が走行するリンクに対して用いられている。

次に、交差点  $(i, j)$  に設置された信号機について考えよう。信号は周期的動作をするが、その1周期を、各方向への実効青信号時間とむだになる時間に分割して考えよう。交通流  $OD_1, OD_2$  に対して与えられる実効青信号時間の信号周期に対する割合をそれぞれ、 $g_{ij}(p \cdot \Delta t), h_{ij}(p \cdot \Delta t)$  と表すと、それらの関係は

$$g_{ij}(p \cdot \Delta t) + h_{ij}(p \cdot \Delta t) + l_{ij} = 1 \quad (2.4)$$

と表される。ここに  $l_{ij}$  はむだになる時間が信号周期の中で占める割合である。この  $l_{ij}$  は信号周期に依存するが、われわれが考えている時間帯では信号周期は固定されていると仮定し、 $l_{ij}$  も定数とする。

特定の方向に対して過度に青信号を長くすることはできないから、通常は

$$0 < a_{ij} \leq g_{ij}(p \cdot \Delta t) \leq b_{ij} < 1 \quad (2.5)$$

のような制限が課されている。ここに  $a_{ij}, b_{ij}$  は定数である。式(2.4)、(2.5)から  $h_{ij}$  もまた

$$1 - l_{ij} - b_{ij} \leq h_{ij}(p \cdot \Delta t) \leq 1 - l_{ij} - a_{ij} \quad (2.6)$$

なる制限を受けることがわかる。

次に信号待ち行列について考えよう。交通流  $OD_1$  が交差点  $(i, j)$  の手前に作る信号待ち行列の台数を  $x_{ij}(p \cdot \Delta t)$  とする。また、 $OD_1$  が交差点  $(i, j)$  を通過する際の最大流量を秒あたり  $r_{ij}$  台とする。これは交差点の形状から決まる定数である。さて、待ち行列を形成している車の台数  $x_{ij}$  は次の差分方程式をみたす。

$$\begin{aligned} x_{ij} \{ (p+1) \Delta t \} = & x_{ij} (p \cdot \Delta t) + \Delta t [ r_{i,j-1} g_{i,j-1} \{ (p - \xi_{ij}) \Delta t \} \\ & - r_{ij} g_{ij} (p \cdot \Delta t) ], \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$i = 1, \dots, m, j = m+2, \dots, m+n.$$

この式の右辺の〔 〕の中の第1項は到着台数、第2項は流出台数である。ただし、第2項は「実効青信号時間  $g_{ij}$  の間は常に秒あたり  $r_{ij}$  台の割合で車が排出されている」ときに流出台数を表す。同様に第1項もまた、「上流の交差点  $(i, j-1)$  で同様のことが成立する」ときに到着台数を表す。すなわち、信号が青であっても車が最大流量で流れない時には式(2.7)は成り立たない。たとえば交通需要が殆ど無い場合などである。

ところで、交差点  $(i, m+1)$ ,  $i=1, \dots, m$  については、式の形が少し式 (2.7) と異なる。すなわち、交通流  $OD_1$  が  $O_1$  を出発した後、時間  $\xi_{i, m+1} \cdot \Delta t$  だけ経過してこの交差点に到着するため、

$$x_{i, m+1} \{ (p+1) \Delta t \} = x_{i, m+1} (p \cdot \Delta t) + \Delta t \{ q_i \{ (p - \xi_{i, m+1}) \Delta t \} - r_{i, m+1} g_{i, m+1} (p \cdot \Delta t) \}, \quad i = 1, \dots, m \quad (2.8)$$

となる。交通量  $OD_2$  についても式 (2.7), (2.8) と同様な式

$$y_{1j} \{ (p+1) \Delta t \} = y_{1j} (p \cdot \Delta t) + \Delta t \{ q_j \{ (p - \eta_{1j}) \Delta t \} - s_{1j} h_{1j} (p \cdot \Delta t) \}, \quad j = m+1, \dots, m+n \quad (2.9)$$

$$y_{ij} \{ (p+1) \Delta t \} = y_{ij} (p \cdot \Delta t) + \Delta t \{ s_{i-1, j} h_{i-1, j} \{ (p - \eta_{ij}) \Delta t \} - s_{ij} h_{ij} (p \cdot \Delta t) \}, \quad i=2, \dots, m, j=m+1, \dots, m+n \quad (2.10)$$

がなりたつ。ここで変数  $y$  は  $x$  に、変数  $s$  は  $r$  に対応している。

これらの式 (2.7) ~ (2.10) は待ち行列の長さの変化を表す式であるが、成立しない場合については、以下に述べる拘束条件によって、それを回避できる。

交通需要を処理し切れない時、その交差点は過飽和であるといい、青信号時間を適当に調節すれば、各方向の需要をちょうど通過させることができる時、その交差点は飽和しているという。また、需要がそれ以下の時は不飽和であるという。

たとえば、両方向とも待ち行列がある場合は過飽和であり、両方向とも待ち行列がない場合は飽和かあるいは不飽和の状態である。

式 (2.7) ~ (2.10) の変数  $x_{ij}$ ,  $y_{ij}$  は正、負いずれの値をもとりうる。現実には待ち行列の長さの負の値は考えられないが、たとえば、初期行列長が0で、かつ交通需要も0の場合、左辺の値は負になる。それを避けるために、次節で問題を定式化する際には

$$x_{ij}(p \cdot \Delta t) \geq 0, \quad y_{ij}(p \cdot \Delta t) \geq 0 \quad (2.11)$$

のように、変数  $x$ ,  $y$  を非負に制限している。この制約をおけば交差点が不飽和な状態にはならないことが保証される。

また、信号が青であっても、前方のリンクが車で一杯の場合には車は進むことができない。このような状態が生じてても式 (2.7) ~ (2.10) は使えない。それを避けるためには、変数  $x$ ,  $y$  を条件

$$x_{ij}(p \cdot \Delta t) \leq M_{ij}, \quad y_{ij}(p \cdot \Delta t) \leq N_{ij} \quad (2.12)$$

で制限する必要がある、ただし定数  $M_{ij}$ ,  $N_{ij}$  はそれぞれ、待ち行列  $x_{ij}$ ,  $y_{ij}$  が存在するリンクの容量である。

### 3. 問題の定式化と解法

前節の式を用いて広域的な交通渋滞の制御問題を定式化しよう。

まず、制御の目的であるが、われわれが考えている時間帯は交通渋滞の発生時から解消時までであるから、『各々の車が道路網の内部で信号待ち行列に加わっている時間の総和』すなわち総渋滞量を評価量とし、その値の最小化について考える。ところがこの量は『信号待ち行列長の時間積分』に等しい。これは次の式(3.1)で表され、われわれの問題は次のように記述される。

問題：

$$\text{評価関数 } J = \Delta t \cdot \sum_{p=0}^{N-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=m+1}^{m+n} \{ v_{ij} x_{ij}(p \cdot \Delta t) + w_{ij} y_{ij}(p \cdot \Delta t) \} \quad (3.1)$$

を、次のシステム方程式、等式および不等式拘束条件のもとで最小化せよ。

$$\begin{aligned} x_{i, m+1} \{ (p+1) \Delta t \} &= x_{i, m+1} (p \cdot \Delta t) + \Delta t [ q_i \{ p - \xi_{i, m+1} \} \Delta t \\ &\quad - r_{i, m+1} g_{i, m+1} (p \cdot \Delta t) ], \quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (3.2a)$$

$$\begin{aligned} x_{ij} \{ (p+1) \Delta t \} &= x_{ij} (p \cdot \Delta t) + \Delta t [ r_{i, j-1} g_{i, j-1} \{ (p - \xi_{ij}) \Delta t \\ &\quad - r_{ij} g_{ij} (p \cdot \Delta t) ], \quad i = 1, \dots, m, \quad j = m+2, \dots, m+n \end{aligned} \quad (3.2b)$$

$$\begin{aligned} y_{ij} \{ (p+1) \Delta t \} &= y_{ij} (p \cdot \Delta t) + \Delta t [ q_j \{ (p - \eta_{ij}) \Delta t \} - s_{ij} h_{ij} (p \cdot \Delta t) ], \\ &\quad j = m+1, \dots, m+n \end{aligned} \quad (3.2c)$$

$$\begin{aligned} y_{ij} \{ (p+1) \Delta t \} &= y_{ij} (p \cdot \Delta t) + \Delta t [ s_{i-1, j} h_{i-1, j} \{ (p - \eta_{ij}) \Delta t \} \\ &\quad - s_{ij} h_{ij} (p \cdot \Delta t) ], \quad i = 2, \dots, m, \quad j = m+1, \dots, m+n \end{aligned} \quad (3.2d)$$

$$\begin{aligned} 0 \leq x_{ij} (p \cdot \Delta t) \leq M_{ij}, \quad 0 \leq y_{ij} (p \cdot \Delta t) \leq N_{ij}, \\ i = 1, \dots, m, \quad j = m+1, \dots, m+n \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$Q_1 (p \cdot \Delta t) = \sum_{i=1}^m q_i (p \cdot \Delta t) \quad (3.4a)$$

$$Q_2 (p \cdot \Delta t) = \sum_{j=m+1}^{m+n} q_j (p \cdot \Delta t) \quad (3.4b)$$

$$q_k^{\min} (p \cdot \Delta t) \leq q_k (p \cdot \Delta t) \leq q_k^{\max} (p \cdot \Delta t), \quad k = 1, \dots, m+n \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} g_{ij} (p \cdot \Delta t) + h_{ij} (p \cdot \Delta t) + l_{ij} &= 1, \\ i = 1, \dots, m, \quad j = m+1, \dots, m+n \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} 0 < a_{ij} \leq g_{ij} (p \cdot \Delta t) \leq b_{ij} < 1, \\ i = 1, \dots, m, \quad j = m+1, \dots, m+n \end{aligned} \quad (3.7)$$

ただし、初期行列台数は

$$\begin{aligned} x_{ij} (0) = x_{ij}^0 \geq 0, \quad y_{ij} (0) = y_{ij}^0 \geq 0, \\ i = 1, \dots, m, \quad j = m+1, \dots, m+n \end{aligned} \quad (3.8)$$

と与えられ、交通流の初期状態は

$$q_i(p \cdot \Delta t), p = -\xi_{i,m+1}, \dots, -1, i = 1, \dots, m \quad (3.9a)$$

$$q_j(p \cdot \Delta t), p = -\eta_{1j}, \dots, -1, j = m+1, \dots, m+n \quad (3.9b)$$

$$g_{ij}(p \cdot \Delta t), p = -\xi_{ij}, \dots, -1, i = 1, \dots, m, j = m+2, \dots, m+n \quad (3.10a)$$

$$h_{ij}(p \cdot \Delta t), p = -\eta_{ij}, \dots, -1, i = 2, \dots, m, j = m+1, \dots, m+n \quad (3.10b)$$

と与えられ、最終行列台数は

$$x_{ij}(N \cdot \Delta t) = 0, y_{ij}(N \cdot \Delta t) = 0, \\ i = 1, \dots, m, j = m+1, \dots, m+n \quad (3.11)$$

と指定され、OD 交通需要は

$$Q_k(p \cdot \Delta t), k = 1, 2 \quad (3.12)$$

と与えられているものとする。ただし、ここで  $p = 0, \dots, N-1$  である。

この問題は変数  $q_k, g_{ij}, h_{ij}$  を操作して目的関数  $J$  の最小値を求める最適制御問題である。ただし、操作変数  $q_k$  には等式拘束条件 (3.4) および不等式拘束条件 (3.5) が付与されており、操作変数  $g_{ij}, h_{ij}$  にも等式拘束条件 (3.6) および不等式拘束条件 (3.7) が付与されている。さらに、システム方程式 (3.2) はむだ時間  $\xi_{ij}, \eta_{ij}$  を含んでおり、システム変数  $x_{ij}, y_{ij}$  には不等式拘束条件 (3.3) が付与されている。

目的関数 (3.1) の係数  $v_{ij}, w_{ij}$  はそれぞれ  $x_{ij}, y_{ij}$  に対する重みを表す正定数である。したがって、どの交差点の待ち行列も同等に考慮する場合は  $v_{ij} = w_{ij} = 1$  でよい。

さて、次にこの問題の解法について述べよう。出発点となるデータは OD 交通需要 (3.12) である。この需要を実際の道路網における流量から求めることも研究課題であるが、本論文ではそれは既知とする。そのデータのうち、特にすべての交差点で待ち行列が生ずるような時間帯を考える。いわゆるラッシュアワーなどである。ラッシュアワーに入ると、各交差点は次々と飽和するであろう。ここで、最後まで不飽和の状態であった交差点がちょうど飽和した時刻を、われわれの問題の初期時刻とするのが適当である。それよりも早い時刻は式 (3.2) のどれかが成立しないので採用できない。また、それ迄は適当な信号制御および経路配分が行われていたものとする。

初期時刻における交通流の状態はデータ (3.8) ~ (3.10) で表される。初期行列長 (3.8) 以外に、式 (3.2) に含まれているむだ時間のため、(3.9), (3.10) のデータが必要である。これらは初期時刻においてリンクを走行中の車の台数を指定するために用いる。

次に最終時刻  $T = N \cdot \Delta t$  は最終条件 (3.11) をみたく解が存在するような時刻で

あればよい。ラッシュアワーが終わる頃がわれわれの問題においても最終時刻となるであろうから、妥当と思われる時刻 $T$ を採用して問題を解いてみる。明らかに、時刻 $T$ が早すぎてもまた遅すぎても解は存在しない。早すぎた時は渋滞は解消しないから最終条件(3.11)が成立せず、他方、遅すぎた時は交差点は不飽和となり、拘束条件(3.3)がみたされないからである。道路網が大規模になると、いかなる $T$ を用いても解が存在しない可能性がある。その場合は最終条件(3.11)を

$$x_{ij}(N \cdot \Delta t) = x_{ij}^N, \quad y_{ij}(N \cdot \Delta t) = y_{ij}^N, \\ i = 1, \dots, m, \quad j = m+1, \dots, m+n \quad (3.13)$$

と一般化すればよい。ここに $x_{ij}^N, y_{ij}^N$ は適当な定数である。このようにして初期時刻および最終時刻が定められると、問題を解くことができる。この問題は最適制御問題であるが、むだ時間と拘束条件のため解析的に解くことは困難である。そこで、むだ時間を除けばすべての式が線形であることに着目し、線形計画の問題とみなして解くことにする。

目的関数(3.1)はそのまま線形計画問題の目的関数とみなす。等式および不等式(3.2)~(3.7)はすべて拘束条件とみなす。また、変数 $x_{ij}, y_{ij}, g_{ij}, h_{ij}, q_k$ はすべて未知変数とみなす。このようにみなせば、この問題は $N(3mn+2)$ 個の等式拘束条件、 $N(4mn+m+n)$ 個の不等式拘束条件、および $N(4mn+m+n)$ 個の未知変数をもつ線形計画問題であり、簡単に解くことができる。

## 4. 考察

### 4.1 計算時間

われわれの問題はすべての関係式が、むだ時間を除いて、線形の式で表現されたため線形計画の問題とみなすことができ、数値解は容易に求められる。ところが、計算時間が相当かかる。これがこの方法の弱点である。シンプレクス法を用いて線形計画問題を解く場合、計算に要する時間は(i)シンプレクス表の更新回数と、(ii)その一回の更新に要する時間、とに比例するが、前者(i)はほぼ未知変数の数に比例し、後者(ii)は(ii-A)シンプレクス表の行数、と(ii-B)列数、とに比例する。シンプレクス表の行数や列数は3節で定式化した拘束条件の数などによって決まる。これらにより、計算時間はほぼ $(Nmn)^3$ に比例することがわかる。ただし、次数の低い項を省略した。ここで、 $N$ は $[0, T]$ の分割数、 $m, n$ は経路の数である。一例<sup>(13)</sup>として $m = n = 2, N = 9$ の場合を考えると、未知変数180個、拘束条件316個の線形計画問題となる。この問題をシンプレクス法を用いてACOS 77 NEAC/700で解くと約230秒を要する。

### 4.2 初期時刻および最終時刻の自由化

われわれが3節で行なった定式化のうち、式(2.4)

$$g_{ij}(p \cdot \Delta t) + h_{ij}(p \cdot \Delta t) + l_{ij} = 1 \quad (2.4)$$

を少し変更すると、計算時間がやや多く必要になるかわりに解法が簡潔になることを示そう。式(2.4)では「実質青信号時間の信号周期に対する割合」を $g_{ij}, h_{ij}$ とし、これを用いて定式化した。しかし青信号時間に実際に車が流れるとは限らないという問題

点があった。そこで、実質青信号時間から実際に車が流れた時間だけを取り出し、その信号周期に対する割合を  $G_{ij}$ ,  $H_{ij}$  としてみると、式(2.4)に対応する式は

$$G_{ij}(p \cdot \Delta t) + H_{ij}(p \cdot \Delta t) + l_{ij} \leq 1 \quad (4.1)$$

となる。不等式となっている点が式(2.4)と異なる。第3節において変数  $g_{ij}$ ,  $h_{ij}$  にかえて  $G_{ij}$ ,  $H_{ij}$  を用いても、式(3.6)以外はそのままの形でありつ。さらに、交差点が不飽和であってもシステム方程式がなりつ。このため、問題の初期時刻および最終時刻を、それぞれ渋滞の開始時刻および解消時刻に限る必要がなくなり、渋滞時間帯を含んでいけばよい。このことにより、渋滞量を最小にするような制御と時刻が一回の計算で求まり、試行錯誤の必要がなくなる。ただし、時間帯を長くとることにより、前項で述べたように計算時間が余計にかかることになる。

## 5. あとがき

ある道路網全体にわたって交通が渋滞しているような場合の制御について考えた。格子状の道路網を対象とし、この道路網を、右左折なしに通過するような2種類のOD交通を考えた。この道路網内での信号待ちの総合計を最小にするような制御問題を定式化し、線形計画法を用いると簡単に数値解が求まることを示した。さらに、信号についての定式化を変更すれば、一層簡潔な手続きで解が求まることを示した。

交通管制センターは今後、大都市から順次地方の中核都市にも建設される予定である<sup>(7)</sup>。このセンターで1都市全体の交通状況を把握することにより、広域的な交通制御が可能になる。特に渋滞時間帯には道路網全体を考慮して渋滞の早期解消、渋滞の集中防止など、種々の対策が必要となる。本研究はそのような対策のための一つのアプローチとなっている。最後に、本研究を進めるにあたって、終始御指導頂きました、大阪大学基礎工学部、坂和愛幸教授ならびに坂和研究室の皆様へ心から感謝の意を表します。

### 参考文献

1. 山本阿母里編：現代日本の交通問題（ジュリスト増刊総合特集，No.2）有斐閣（1975）
2. 服部良之他：警察本部センタ交通管制システム，National Technical Report, 23-5, 766/778（1977）
3. 鎌田健司：マイクロコンピュータのトラフィックカウンタへの応用，National Technical Report, 23-6, 1055/1060（1977）
4. 越正毅：系統交通信号におけるサイクル制御の研究，土木学会論文報告集，241, 125/133（1975）
5. 枝村俊郎他：DPによる系統信号の最適化とシミュレーションによる検討，土木学会論文報告集，209, 115/122（1973）
6. 長谷川利治：プロセスの計算機制御実施例，交通関係，システムと制御，18-10, 567/573（1974）
7. 計測自動制御学会編：自動制御ハンドブック，機器・応用編，722（1983）



8. D. C. Gazis : Optimum Control of a System of Oversaturated Intersections, *Operations Research*, 12, 815/831 (1964)
9. H. Tamura : Multistage Linear Programming for Discrete Optimal Control with Distributed Lags, *Automatica*, 13, 369/376 (1977)
10. 奥谷巖 : 街路網における複数信号機の周期およびスプリットの最適化, 土木学会論文報告集, 234, 121/130 (1975)
11. 安西祐一郎, 林喜男 : 都市交通流の動的配分問題, 計測自動制御学会論文集, 13-1, 28/34 (1977)
12. J. L. Kuester, J. H. Mize : Optimization Techniques with Fortran, McGraw-Hill (1973)
13. H. Nagase : Modelling and Optimal Control of Oversaturated Transportation Networks, *Appl. Math. Modelling*, 4-1, 101/108 (1980)

## Optimal Control of Road Traffic in Oversaturated Networks

HISAAKI NAGASE

An optimal control problem of automobile traffic flows is formulated. An oversaturated road network with a rectangular grid of intersections and two O - D (Origin-Destination) flows are considered. Each traffic flows is divided into portions at some rates at the origin and one route for travelling to the destination is assigned to the each portion. The traffic flows are also controlled by the traffic signals placed at each intersection. By these rates and signals, the amount of traffic congestion is minimized. It is shown that this problem can be solved numerically by applying Linear-Programming Technique.