

駐車場案内システムのための シミュレーションモデルの構築

福井大学工学部 正会員 本多義明
福井大学工学部 正会員 川上洋司
㈱日本総合研究所 正会員 ○三上功二

1. はじめに

地方都市においても、都心部の交通渋滞は駐車場問題によるところが大きく、都心部での駐車サービス向上だけでなく、道路交通の軽減という面からも、既存駐車場の有効利用を図る必要性は高い¹⁾。こうしたことから各地で駐車場案内システムの導入が図られつつあり、その効果も報告されている^{2) 3)}。しかしながらシステム導入にあたっては事前にその導入効果を予測し、それを踏まえてシステム構成を検討する必要があるが、そのための手法に関しては確立されたものはない。そこで本研究では、駐車場有効利用を狙いとする駐車場案内システムの導入効果を事前に検討するためのシミュレーションモデルを作成し、実際に福井市都心部に適用することによってモデルの有効性を確認する。

なお駐車場問題に関しては、上述の交通渋滞以外にも再開発等の新規都市開発部周辺での交通処理問題⁴⁾あるいは新規駐車場配置計画問題等が考えられるため、以下のモデルではこれらの問題への適用をも考慮し、道路ネットワーク・セクションと駐車場セクションの二つのシミュレーションモデルを統合させた構造とする。

2. 駐車場案内システムのためのシミュレーション・モデル

本モデルは、案内システム導入の有無に対して、駐車場の利用率、空き待ち行列や駐車場探しの自動車の有無、さらには周辺の道路交通流の混雑状況を出力することにより、導入効果を把握するものである。

2-1 シミュレーション・モデルの概要

ここで構築したモデルの基本構造を次頁図-1 (a)、(b) に示す。このモデルは道路ネットワーク上の交通流をシミュレーションする”ネットワーク・セクション”と、各駐車場内の駐車状況をシミュレーションする”パーク・セクション”の2つのサブモデルにより構成されており、それぞれを独自に使用することも可能である。

2-2 ネットワーク・セクションモデル

ここで作成する駐車場案内システムのためのシミュレーション・モデルは基本的には巨視的モデルとして構築するが、駐車場へ流入したり、案内表示板の指示に従うなどの車両1台ごとの挙動を把握するため、微視的モデルの考え方も取入れ、個々の車両の追跡も可能なものとする。

(1) 基本ブロック

このモデルは、図-2に示すような基本ブロックを組み合わせて道路ネットワークを構成する。

基本ブロックは、図に示すような延長 L 、車線数 N の道路ブロックであり、ABより車両が流入しCDから流出する。CDには、信号機を設定することができ、必要に応じて信号制御を行うことができる。

基本ブロックは、道路条件、交通条件がほぼ一定の単路と考える。従ってブロックの延長は実際の道路状況により一義的に決定され、最長時でも交差点間距離になる。

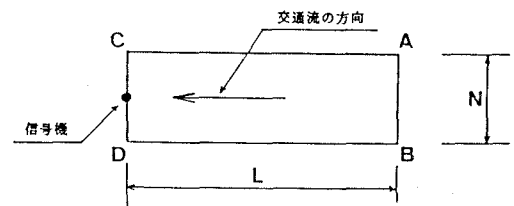


図-2 基本ブロック図

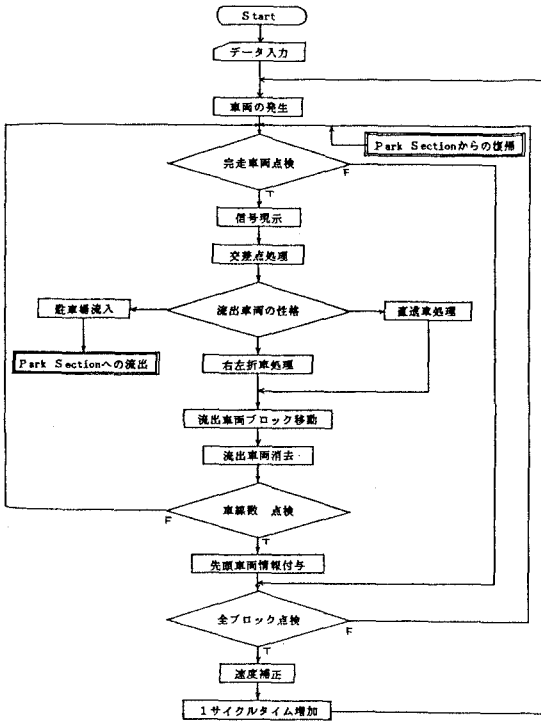


図-1 (a) ネットワーク・セクションモデル

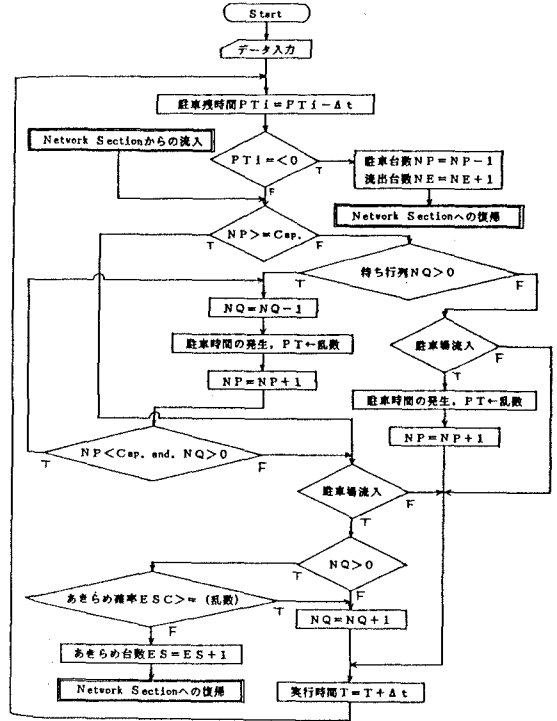


図-1 (b) パーク・セクションモデル

ブロック延長が交差点間をとる場合は、交差点中心間距離とする。また、基本ブロックはK-V曲線により走行速度を求めるため、ブロック延長が短くなると誤差が大きくなるので、特別の場合を除いてブロック延長は100m以上となるように設定することが望ましい。

車両の動きは、基本ブロック内を走行している状態と基本ブロックを完走した状態および基本ブロックの先頭で停止している状態の3つに分けて考える。

(2) ブロックの接続

基本ブロックを接続して道路ネットワークを構成するために、各基本ブロックの接続状態を入力する必要がある。このブロックの接続状態を示すものが、ブロック接続表である。このブロック接続表は、最左列に対象地区内に存在する基本ブロックの番号を、最上列に着地番号を記入したマトリックスであり、この接続表の行列要素に次に流入すべき基本ブロックの番号を記入する。これにより、それぞれの目的地に到達するためには、車両は次にどのブロックへ流入すれば良いかを指示される。例として、図-3に示す道路ネットワークのブロック接続表を表-1に示す。このように、このモデルでは車両の走行経路をそのODと基本ブロックの番号で指示することができ、ブロックを完走した車両が着地に対して複数の経路を選択できるときは、それぞれの選択確率により乱数処理して決定することができる（経路は最大3経路まで設定可能）。

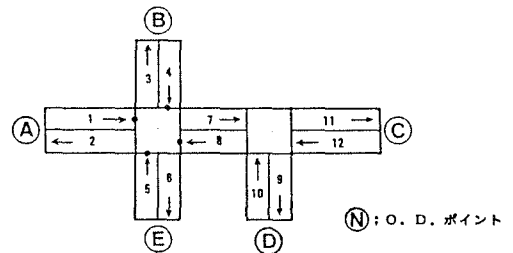


図-3 道路ネットワークの例

表-1 ブロック接続表

O.D.	A	B	C	D	E
1	-	3	7	7	6
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	2	-	7	7	6
5	2	3	7	7	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	11	9	-
8	2	3	-	-	6
9	-	-	-	-	-
10	8	8	11	-	8
11	-	-	-	-	-
12	8	8	-	9	8

(3) 右左折直進表

ブロックを完走した車両は、ブロック接続表により次に流入すべきブロックが指示されるが、そのブロックに流入するために車両がとるべき挙動（右左折、直進）を指示する必要がある。この挙動を指示するものが右左折直進表である。この表は、先のブロック接続表と同様の形式である。また、この情報は交差点における右折可否判断や歩行者横断妨害に対する点検にも利用される。

(4) ブロック接続状況表

完走した車両が次のブロックに流入する場合、その右左折直進情報とともにブロックの接続状況の情報も必要となる。この場合、ブロックがどのような方法で他のブロックと接続しているかを示すために、以下に示す6つの接続状況を定義する。

- ①直結・・・・・・交差点以外での接続。
- ②信号・・・・・・信号交差点での接続。そこに設置されている信号機の現示により制御される。
- ③優先・・・・・・無信号交差点での接続。優先道路側であり、同時到着の場合優先される。
- ④停止・・・・・・無信号交差点での接続。優先道路側の車両と同時到着の場合、一時停止する。
- ⑤駐車場流入・・駐車場と接続しており、駐車場流入のための行列に加わり、パーク・セクションへ渡される。
- ⑥流出・・・・・・対象外へ流出するブロック。

(5) ネットワーク・セクションの入力データ

ネットワーク・セクションの入力データは、以下に示すものである。

- ①リンク数、ゾーン数
- ②リンク・データ（ブロック延長、車線数等）
- ③ブロック接続表、右左折直進表、接続状況表
- ④各リンクの信号現示
- ⑤流入流出ブロック数
- ⑥OD表
- ⑦流入ブロック番号、流出ブロック番号
- ⑧大型車混入率、横断歩行者無条件待ち行列、横断歩行者存在率、発進遅れ時間、限界車頭時間、停止時車頭間隔等の各種パラメータ
- ⑨シミュレーション実行時間、スキヤニング・タイム

(6) 車両の発生

流入交通流は乱されない交通流とし、 $[0,1]$ の一様疑似乱数を発生させて、次式(1)より車頭間隔を求め、各車線ごとに流入ブロックへ流入させる。

$$HT = TL - (TM - TL) \times \log_e(1 - R) \quad \cdots (1)$$

ここで HT；車頭時間(sec) TL；限界車頭時間(sec)

TM；平均車頭(=3,600/Qj) Qj；流入部jの1車線あたりの流入交通量(台/h)

R； $[0,1]$ の一様疑似乱数

(7) 車両固有情報

道路ネットワーク内を走行している各車両は、以下の5つの情報を基本ブロックに流入してから流出するまで持っている。

- ①ブロック完走予定時間(t)
 - t>0のとき・・・・基本ブロックを走行中
 - t=0のとき・・・・基本ブロックを完走
 - t<0のとき・・・・停止中
- ②発地；流入ブロック番号
- ③着地；流出ブロック番号
- ④車種；ネットワーク流入時に大型車混入率を用いて乱数処理を行い決定
- ⑤流入経過時間；基本ブロックに流入したときからの経過時間

各基本ブロック内の車両は、流入時刻の早いものから順に各配列データに格納される。また、基本ブロック内の先頭車両（車線数に見合う台数）には、上記の固有情報の他に先頭車両情報として、以下の3つの情報が付与される。

- ①流入予定ブロック番号；次に流入すべき基本ブロック番号
- ②右左折直進情報；次に流入すべき基本ブロックへ流入する場合にとるべき挙動を指示
- ③発進遅れ時間

(8) 車両の走行

基本ブロック内に存在する車両台数（各車種を乗用車当量に換算した台数）から交通密度を求め、その基本ブロックの道路規格や交通条件に適合したK-V曲線から、その交通密度に対応する走行速度を求める。なお、各スキャニング・タイムごとに交通密度が変化するので、当然走行速度も変化させる必要がある。そこで、各スキャニング・タイムごとに、K-V曲線より走行速度を求め、完走予定時間を補正する。この速度補正は、次式(2)より補正される。

$$RT = T \times V / RV \quad \dots (2)$$

ここで RT ; 補正後の完走予定時間 (SEC) T ; 補正前の完走予定時間 (SEC)
 RV ; 補正後の走行速度 (m/sec) V ; 補正前の走行速度 (m/sec)

(9) 完走車両の点検

基本ブロック内の先頭車両について、基本ブロックを完走したか、つまり完走時間 $t \leq 0$ になったかを点検する。完走車両が存在するならば、次のブロックへ流入させるための処理を行う。

(10) 信号現示

シミュレーション経過時間と信号周期、現示時間、オフセットにより現時点における信号現示を計算する。ここで、無信号交差点、交差点でない接続、流出ブロックにおける信号現示は、つねに青現示とする。

(11) 信号交差点における処理

信号交差点における処理は、まず基本ブロックの信号現示を判断し、通行可能であれば車両の流出挙動によりそれぞれの処理に分岐する。信号現示判断において通行不可であれば、そこに停止させられ、発進遅れ時間が付与される。

(12) 右左折処理

右折処理は、右折可否判断を行い右折可能であれば、さらに横断歩行者妨害判断を行う。そこで、通行可能であれば次のブロックへ流入し、通行不可であれば停止させられ発進遅れ時間が付与される。右折不可の場合も同様の処理を行う。

左折処理は、横断歩行者妨害判断を行い、通行可能であれば次のブロックへ流入し、通行不可であれば停止させられ発進遅れ時間が付与される。

ここで右折可否判断は、対向車線の直進車両（速度V）と交差点までの距離GLが、

- ① $GL < \text{最小右折距離} STD$ の場合 右折不可
- ② $GL \geq \text{安全右折距離} ATD$ の場合 右折可能
- ③ $STD \leq GL < ATD$ の場合 乱数処理により $[0,1]$ の一様疑似乱数Rが次式(3)を満たすとき、
右折可能

$$(GL - STD) / (ATD - STD) \quad \dots (3)$$

なお、STDは次式(4)より求められる。

$$STD = 0.019958V^2 + 0.6696V + 5.0 \quad \dots (4)$$

横断歩行者妨害判断については、基本ブロックの青現示開始時間から右左折判断時間までの経過時間CTが、

- ① $CT < \text{横断歩行者のための無条件待ち時間} WWT$ の場合、通行不可
- ② $CT \geq WWT$ 場合、乱数処理によりRが次式(5)を満たすとき、通行可能

$$(CT - WWT) / (青現示時間BT - WWT) \geq R \quad \cdots (5)$$

なお、右左折方向に横断歩道がない場合はこの処理は行われない。

(13) 無信号交差点における交差点処理

無信号交差点では基本的に到着順に処理されるが、交差点内で複数の車両が同時到着した場合は優先道路側の車両を優先させ、一時停止側の車両はブロックの先頭で停止し発進遅れ時間が付与される。

また、一時停止側の右左折可否判断については、対向車線だけでなく優先道路側の全てのギャップを判断し、右折可能であれば次のブロックへ流入し、右折不可であれば停止させられ発進遅れ時間が付与される。

横断歩行者妨害判断については、横断歩行者存在率PWにより乱数処理を行い、 $PW \leq R$ のとき、通行可能とする。

(14) 直進車処理

次のブロックへ流入する場合、次のブロックの乗用車当量に換算した交通密度が飽和密度以上の場合には流入不可となり、現在いるブロックの先頭で停止して発進遅れ時間が付与される。

(15) 駐車場流入処理

駐車場流入ブロックを完走した車両は、その駐車場に空きスペースがあれば、そのまま駐車場流入部へ流入し、パーク・セクションへ受け渡される。空きスペースがなく待ち行列が形成されている場合には、待ち行列台数NQの収容台数Cap.に対する割合によって、次式(6)および図-4に示すようなロジスティック曲線となる駐車場変更確率(あきらめ確率)ESCを仮定し、これと[0,1]の1様疑似乱数Rにより、待ち行列に加わるか、他の駐車場を探すかを判断する。

$$ESC = 102.0 / (1.0 + 550.0 \times \exp(-109.2 \times (NQ / Cap.))) \quad \cdots (6)$$

$ESC \geq R$ のとき、次の駐車場を探す。

なお、パーク・セクションへ受け渡される車両固有情報は、発地、着地、および車種の3つの情報である。

(16) 流出車両ブロック移動

流入が許可された車両は、流入するブロックの各配列データの末尾に固有情報とともに格納される。さらに、流出したブロックから流出車両の固有情報および先頭車両情報を消去する。

(17) 先頭車両情報付与

全車線について、ブロックから流出した車両があれば、ブロックの配列データの順位を繰り上げ、あらたに先頭車両の性格により先頭車両情報を付与し直す。

(18) 1スキャニング・タイム進める

全ブロックについて完走車両時間を点検し終え、全ブロックの速度補正を行ったら、シミュレーション経過時間、流入経過時間に1スキャニング・タイムを加え、完走予定時間、発進遅れ時間より1スキャニング・タイム減じ車両を進める。

なお、出力時間になったら全ブロックのデータを出力する。出力データは

- ①シミュレーション経過時間 ②各ゾーンの流入・流出台数
- ③各ブロックの流入・流出台数、存在台数、走行速度、平均旅行時間、平均区間速度、延べ停止回数、流出車両1台当り平均停止回数、混雑度 である。

2-3 パーク・セクションモデル

(1) 入力データ

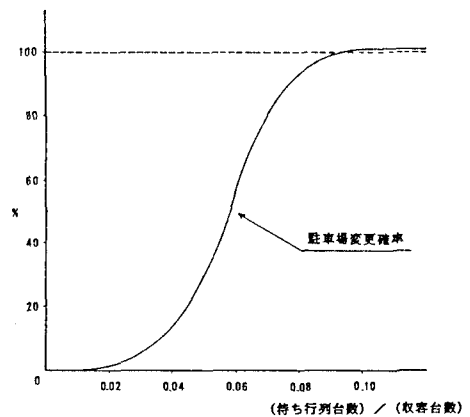


図-4 駐車場変更(あきらめ)確率

パーク・セクションモデルの入力データとしては、以下のものが必要である。

- ① 駐車台数
- ② 各駐車場の収容台数および単純回転率
- ③ 各駐車場の時間帯別到着率（パーク・セクション単独で利用の場合のみ必要）
- ④ 各駐車場の駐車時間分布累積率

(2) 駐車場からの流出

駐車残時間 PT が、 $PT \leq 0$ になった車両を駐車場から流出させる。

(3) 流入車両の入庫

収容台数 $Cap.$ が駐車台数 NP に対して、

$$Cap. - NP > 0$$

であれば、流出部で待機している待ち行列車両の先頭車両から順次入庫させ、駐車時間分布累積率により乱数処理を行い駐車時間を与える。この手順を、 $Cap. = NP$ または待ち行列台数 $NQ \leq 0$ になるまで繰り返す。

(4) 1 スキャニング・タイム進める

駐車場内の全駐車車両の駐車残時間から 1 スキャニング・タイム減ずる。

(5) 出力データ

パーク・セクションモデルの出力データは、各駐車場の入庫台数、出庫台数、駐車台数、待ち行列台数および駐車場変更台数である。

2-4 駐車場案内システムのモデルへの導入方法

駐車場案内システムを導入しない場合においては、駐車場を利用しようとする車両を、駐車場の利用状況にかかわらず、集中ゾーンの駐車場の収容台数の割合で配分する。集中ゾーン内に駐車場がない場合には、対象地区全体の駐車場で配分する。

駐車場案内システムが導入されている場合においては、任意の基本ブロックに案内表示板を設置することができ、利用者はその案内表示板をみて、目的地とする駐車場が利用不可能な場合、その着ゾーンの中で最も利用率の低い駐車場を新しい目的地として着地を変更する。着ゾーンの中に利用可能な駐車場がない場合には、対象地区全体の駐車場の中で最も利用率が低い利用可能性の高い駐車場を目的地として着地を変更する。

2-5 シミュレーション・プログラム

シミュレーション・モデルのプログラムは FORTRAN 77 で書かれており、プログラムの修正やパラメータの変更は比較的容易に行うことができる。また、各セクションごとにサブモデル形式をとっているため、それぞれのセクションを独自に使用することも可能である。

プログラムの容量はコンピュータ・システムの容量により制限されるが、比較的大規模なネットワークでも使用可能である。なお、プログラム全体のステップ数は、約 1,400 ステップである。

3. 福井市中心部における駐車場案内システム導入効果の検討

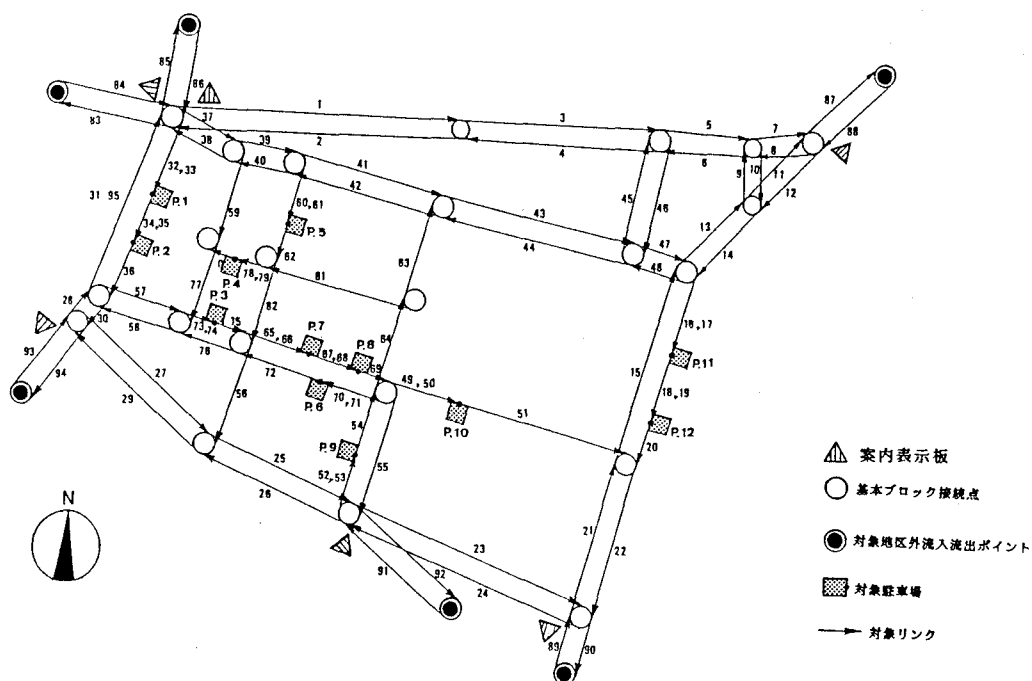
ここでは、先に作成したシミュレーション・モデルを用いて、福井市中心部、特に駐車場が集中的に設置されている中央一丁目地区を対象地区として、シミュレーションを行い、駐車場案内システムの導入効果を検討する。

3-1 入力データおよび入力条件

対象とする道路ネットワーク及び駐車場を図-5に示す。

(1) ネットワーク・セクションモデルの入力データ

対象地区内道路ネットワークにおける、各リンクのリンク長や車線等のリンク・データ、各リンクの K-V 式、信号現示データは、現況の道路規格、交通条件、運用条件に基づいて設定した。



図－５ 適用対象地区の道路ネットワーク及び駐車場位置

また対象地区内に関連するゾーン間自動車○D量、その流入・流出リンクへの配分についても、既存道路交通センサデータ及び実測データ¹⁾に基づいて設定した。

その他の各種パラメータや入力条件は以下の通りである。

- ・大型車混入率；５％
- ・横断歩行者無条件待ち時間；青現示開始から１０秒間
- ・横断歩行者存在率；５％
- ・安全右折距離；５０ｍ
- ・限界車頭時間（流入時）；１．５秒
- ・発進遅れ時間（先頭車両）；３．０秒

表－２ 対象駐車場の概要

駐車場番号	収容台数	規模別	方 式	営 業 時 間
P. 1	35台	中規模	機械式タワー	24時間営業
P. 2	35台	中規模	機械式タワー	am 8:00～pm10:00
P. 3 (層)	150台	大規模	自走式立体	am 9:00～pm10:00
P. 4	22台	小規模	屋 外	am 9:00～pm 9:00
P. 5	42台	中規模	屋 内	24時間営業
P. 6	18台	小規模	屋 外	am 9:00～pm10:00
P. 7 (層)	300台	大規模	自走式立体	24時間営業
P. 8	23台	小規模	屋 外	am 8:00～pm10:30
P. 9	22台	小規模	屋 外	am 8:00～pm12:00
P.10 (層)	70台	中規模	機械式タワー	am 8:00～am 2:00
P.11	31台	中規模	屋 上	am10:00～pm 8:00
P.12	22台	小規模	屋 外	am 8:00～pm11:00

※ (層) ……層出駐車場

- ・停止時車頭間隔（飽和密度の逆数）；５．０ｍ／台
- ・スキャニング・タイム；１．５秒

(2) パーク・セクションモデルの入力データ

パーク・セクションモデルで対象とする１２の駐車場の概要を表－２に示す。

各駐車場の駐車特性（入庫率、単純回転率及び駐車時間分布累積率）については、駐車場利用実態調査結果¹⁾に基づいて、駐車場規模別（収容台数３０台、３０台～１００台未満、１００台以上）に設定した。なお、目的地とする駐車場が満車の状態であり、待ち行列に加わずに次の駐車場を探す場合の駐車場探しの循環は一意的に決まるものとし、地区内の駐車場立地状況、交通規制状況を考慮して設定しておく。

また、対象地区内へ集中する交通量の７０％が対象駐車場内へ駐車するものとする。

パーク・セクションモデルのスキャニング・タイムは１５．０秒とする。

3-2 駐車場案内システムに関するデータ

地区内の対象駐車場の満空状態を表示する案内板の設置ポイントは、リンク84, 86, 88, 89, 91, 93の各流入部、6ポイント(図-5参照)とする。ここで駐車場案内システムが導入された場合には、案内表示板の情報を利用者全員が信頼し、その表示に従うものとする。

3-3 シミュレーション・コントロール・データ

シミュレーションは、実行時間1,200秒(20分)とする。

ここで、ネットワーク・セクションおよびパーク・セクションともに、ある程度の車両をあらかじめ走行させ駐車させておき、定常状態にしておいてからシミュレーションを実行する必要がある。そのため、各セクション独自にプレ・シミュレーションとしてパークセクションは8時から12時まで駐車場内部のプレ・シミュレーションを行い、ネットワーク・セクションでは300秒間のネットワーク内部のプレ・シミュレーションを行なってから、実際のシミュレーションとして、12:00~12:20まで対象地区全体のシミュレーションを行うものとする。なお、シミュレーションは、案内表示システム導入有無の2つのケースについてそれぞれ3回ずつ行うものとし、各ケースの入力条件は表-3の通りである。

表-3 各ケースの入力データ

入力データ	Case-I	Case-II
大型車混入率	5%	5%
無条件待ち時間	10秒	10秒
歩行者存在率	5%	5%
安全右折距離	50m	50m
駐車率	70%	70%
案内システム	無	有
案内表示板	—	6
表示ポイント	—	84,86,88,89,91,93
案内表示信頼率	—	100%

3-4 シミュレーションの結果

ケース別(案内システム導入の有無別)

表-4 出力結果

のシミュレーションの出力結果の主なものを示すと、表-4の通りである。地区内での駐車場待ち台数及び駐車場変更台数の減少、平均区間速度の増加がみられ、駐車場の満空状態を利用者に知らせることによる駐車場付近の交通緩和、駐車場探しによる交通量の減少、地区全体での交通円滑化効果が明らかである。

指標	Case-I 案内システム無	Case-II 案内システム有
駐車場待ち台数	14台	4台
駐車場変更台数	74台	4台
地区内平均区間速度	17.5 Km/h	19.5 Km/h

* リンク15,37,38,40,41,42,51,57,58,63の平均区間速度

4. おわりに

道路ネットワークセクションモデルとパークセクションモデルとを統合することによって、駐車場案内システムの導入効果を、駐車場の利用効率増大だけでなく地区内交通の円滑化という面も含めて幅広く捉えることが出来るシミュレーションモデルを構築することが出来た。本モデルは、二つのセクションモデルから構成されていることにより、新規都市開発周辺部での交通処理問題あるいは新規駐車場配置計画問題への適用可能性を持っており、今後こうした問題への有効な計画情報提供に向けての改良が課題である。

(参考文献)

- 1) 本多義明、佐藤秀樹、三上功二:福井市都心部における駐車場案内システムのための基礎的考察、福井大学工学部研究報告、Vol.33, No.2, pp229-239, 1985
- 2) 栗本譲、荻野弘、野田宏治:駐車場案内・誘導システム、国際交通安全学会誌 Vol.12, No.2, pp98-105, 1986
- 3) 栗本譲、荻野弘、野田宏治:豊田市中心市街地の駐車場案内・誘導システム導入実験と駐車場利用実態調査、都市計画論文集 No.24, pp547-552, 1989
- 4) 宮城俊彦、本部賢一:路外駐車場の容量解析とその応用に関する研究、交通工学Vol.25, No.3, pp17-26, 1990