

ビジュアル化を目指した 交通流シミュレーションシステム

(株)大林組 浜嶋鉦一郎

1. はじめに

都市施設の拡充やモータリゼーションの進展に伴い、各所で道路が混雑し、将来の交通に対して検討が必要とされている。また、駅や市街地の再開発事業を進めるにあたって、工事中的車線減少による近隣地区に対する混雑の影響や工事車両が及ぼす影響、あるいは完成後の道路交通の変化などの予測が必要である。計画手法には、交差点における交通量を数値で検討する方法とシミュレーションによる方法がある。交通量だけでは、明らかに問題が発生しない場合は別に、発生交通量に対して道路施設に余裕が少ない場合に、計画案についての適確な判断資料や説明資料を作成することは難しい。また、シミュレーションには、離散型のシミュレーション言語であるGPSSが利用されている。これは、シミュレーションモデルを記述することにより、簡単にシミュレーションができることが特徴とされていた。しかし、現在コンピュータの利用環境は、対話処理、図形処理などが取り入れられ、データ入力の効率化や計算結果のビジュアル化が様々な分野において進められている。シミュレーション言語についても、SLAM IIのように離散型だけでなく、連続型シミュレーションを同時に考慮でき、対話処理の入出力やアニメーション処理と結び付ける言語も開発されている。

今回、交通流のシミュレーションについて、実際にGPSSを利用した経験から、①作業効率の大幅向上、②従来以上に設計者が分かりやすいシミュレーションの方法の開発、③プレゼンテーションの方法として、第三者に分かりやすく説明できる資料の作成などを目指して、交通流計画専用の総合的シミュレーションシステムを開発した。

本システムの特徴は、コンピュータ・グラフィックスを取り入れて、シミュレーションモデル図の作成やシミュレーション結果のビジュアル表示を行うこと、また、交通流のシミュレーションモデル図を用いてGPSSのシミュレーション言語の記述を自動化し、ユーザーに対してシミュレーション言語をブラックボックスにしていることなどである。

2. 交通流シミュレーションの目的と方法

(1) 交通流シミュレーションの目的

道路の混雑具合は、現実の交通状況をみて混雑していると感じるか、普通なのか、あるいは混雑していないと感じるかは、個人の経験による。いつも混雑しているところで生活している人は、いつもよりも交通量が少なければ空いていると感じるであろうし、その反対の場合もある。しかし、大多数の意見によれば、ある程度の基準が設定できる。このように交通流の混雑具合は、個人の経験の違いはあっても、実際の交通流に対しては判断が可能であるが、現在の交通量が増加する数年先の交通流やまったく新しい道路の交通流に関してどのように感じるかはかなり曖昧であろう。これは実際の状況がビジュアルに表現されず、個人の予測により判断されるからである。交通流が具体的にどのような状況になるのかを交通量の数値から関連づけることは困難である。

したがって、都市再開発事業などで将来の交通計画を考えると、現状の道路施設に大量の交通量が発生するような場合は、具体的な状況を予測し説明することは難しい。具体的な表現を用いなければ、主観的な判断とならざるを得ず、事業者と地域住民の間での話し合いは、状況を確認することに相当な時間が費やされる。

この問題を解決する1つの方法として、シミュレーションがある。シミュレーションの方法は、実際の状況のイメージをできるだけ表現できる方法を取り入れる必要がある。そのためには、個々の車が三次元で動いて見えることが理想的である。

ここでは、シミュレーションの条件を明確にし、信頼できるシミュレーションを行い、その結果を分かりやすく見せることができるシステムを考えている。シミュレーション結果の表示は、時刻毎に平面図上で車を動かしたり、ある時刻の状況を透視図で表現する方法を実現した。

(2) 現況調査

実際にシミュレーションを行う場合、シミュレーションの条件を明確にしなければならない。現在の道路施設の将来交通計画であれば、現況調査が必要

である。現況の交通流がピークになる時刻およびそのときの交通量を調べる。実際の車の動きをシミュレーションするには、車の動きのモデルが必要となり、現状の車の動きをいくつかの似通った動きにパターン化する。具体的には、バスやタクシーなどは比較的同じ動線上を走行する。これらでも、ターミナルにおいては、数種類のパターンが必要となる。一般車では、目的地別によりいくつかのパターンに分けられる。この場合、一般的でない車線変更や追越などの動きは、大勢に影響が少ないため無視する。このように車種別に走行路をモデル化すると、それぞれの車種毎に交通量が必要である。さらに、走行速度を測定する。同じ場所を同じ速度で走行する場合は容易であるが、速度の変化が大きいとモデルの作成が複雑になる。たとえば、信号機がある道路では、青信号と赤信号では速度は極端に異なる。これらを正確に表現するほどモデルは複雑になる。現況調査では、モデル作成を考慮して情報を得る。

(3) 動線計画

現況のシミュレーションでは、現況の動きをモデル化したものにより動線を決める。再開発事業により、新たな道路施設が計画されると、もっとも快適で便利な車の流れを検討する。車の流れは、分岐や合流などが入り組み、分岐の比率および右折や左折の条件や優先順位などの細かい走行ルールが必要である。信号の切り換え時間も交通流に影響する。シミュレーションによる検討作業の効果は、いくつかの動線計画の比較あるいは同一の動線計画においても様々な条件の比較が可能となることである。

動線計画においては、計画案の構想は概略図の作成程度にとどめる。ここでは、コンピュータ処理せず、動線の正確な位置の設定などは、シミュレーションモデルの作成のなかで検討する。

(4) シミュレーションモデルの作成

動線計画を具体化するのが、シミュレーションモデルである。シミュレーションの計算および結果の表示を個々の車の動きで表わすには、モデルの表現も実際の道路上の車を想定する。車の動線および想定した走行速度となるように平面図上に車の形（ファシリティ）を描き、車の交差具合や隣同士の車がぶつからないようにチェックする。これらは、対話処理により図形で表現される。まず、動線の中心線を画面上でフリーハンドで作図する。動線のネットワークを作図したあと、修正機能を用いて、線の移動や

平行線作図機能により調整する。走行速度はファシリティを通過する時間とファシリティの間隔により決められる。これを考慮して線上に一定間隔でファシリティを自動的に配置する機能をもつ。ここで、ファシリティの並びを整理する。ファシリティの他に多数の車が停車するストーリッジを追加する。これで、動線の図形表示が完成する。

シミュレーションモデルは、これらのファシリティやストーリッジを移動しながら走行する各種の車の経路、交通量および分岐地点の方向別分岐確率や優先順位などを設定して作成する。シミュレーションは、シミュレーション言語により計算される。そのために、交通の流れを記述する作業を行う。このシステムでは、ファシリティおよびストーリッジに通し番号がつけられており、経路の設定時に車がファシリティおよびストーリッジを移動するデータが作成される。これらの条件で、自動的にシミュレーション言語の記述を行う。したがって、シミュレーション言語の記述方法を知らなくても、図形の作成および交通計画の作業の中で作成できる。また、機械的に処理されるため、大量のデータを誤らずに作成できる。このように、シミュレーションモデルは図形で作成し、経路の確認機能もあり、チェックが容易で作業も簡単である。

(5) シミュレーションの実行

シミュレーションの計算は、自動的に作成された記述データで即座に実行される。計算結果の表示に必要なデータが、シミュレーション言語の実行によりファイルに作成される。これをさらに、処理が容易なデータに変換する処理を実行すると、計算結果だけを随時表示できる。従来の手作業による記述データは、データエラーを多数含むため、この処理だけに多くの時間が費やされた。

(6) シミュレーションモデルの評価

シミュレーションの計算は、通常1時間（3600秒）行う。この膨大な結果をチェックすることに変な時間を要する。シミュレーションモデルの評価は、まず計画したモデルが正しく計算されていることを確認する。初歩的なエラーの1つに、車の流れが止まるようなモデルがある。これは、ある時刻の車の滞留台数が急激に増加するため統計処理したグラフを作成すると分かる場合がある。グラフに異常がない場合、平面図の動的表示により確認する。全部の時刻を表示しないで数秒置きにデータを飛ばして表

示すると、効率的である。

モデルに間違いがないと確認されたら、そのモデルによる交通流の特徴を観察し、交通計画案として適切であるかどうかを検討する。

(7) プレゼンテーション

プレゼンテーションは、想定した交通計画案の妥当性を説明する。これには、シミュレーションが行われた条件の説明、さらに分析的な統計グラフにより、全体のシミュレーション結果の特徴を説明し、具体的には平面図の動的表示により交通の流れを示す。また、具体的なイメージを説明するために、透視図により表現する。シミュレーション結果は、各時刻毎に平面図を作図することもできるが、動的表示の画面を直接ビデオ撮影し、ビデオによる資料を作成する方がわかりやすい。

3. シミュレーションシステムの概要

シミュレーションシステム構築の考え方は、図-1に示されるように、汎用シミュレーション言語をシステムの中に置いて、モデルを作成する前処理部分と結果を表示する後処理部分を効率化すべく、多くのチェック機能等をビジュアル化するプログラムの開発にある。

(1) シミュレーションモデル作成プログラム

本プログラムは、交通流の動線計画を車が動いて見えるような形にモデル化するためのファシリティとストーリーを対話処理により作図し、走行経路を指定する。最後に、GPSSのシミュレーションの記述を自動発生させる。図-2は、一連の作業過程のグラフィック表示画面を示している。

(2) 統計処理プログラム

シミュレーション結果から、①各車両の滞留時間、②滞留時間別車両台数、③滞留台数の時間変動などのグラフを作成する。

(3) シミュレーション結果の平面表示プログラム

本プログラムは、車の動きを平面図上で動的に表示する。表示方法は、等時間間隔あるいは等間隔データで表示する方法がある。たとえば、1秒毎のデータを0.2秒間隔で表示すると実際の5倍の速度で車を動かすことができる。また、1秒間隔で、2秒置き of データを表示させることもできる。これは、各車を識別するためカラー表示している。

(4) シミュレーション結果の作図プログラム

本プログラムは、シミュレーション結果をプロットするものである。このとき、平面表示の結果をA1サイズ用紙に36秒分づつ出力する。また、透視

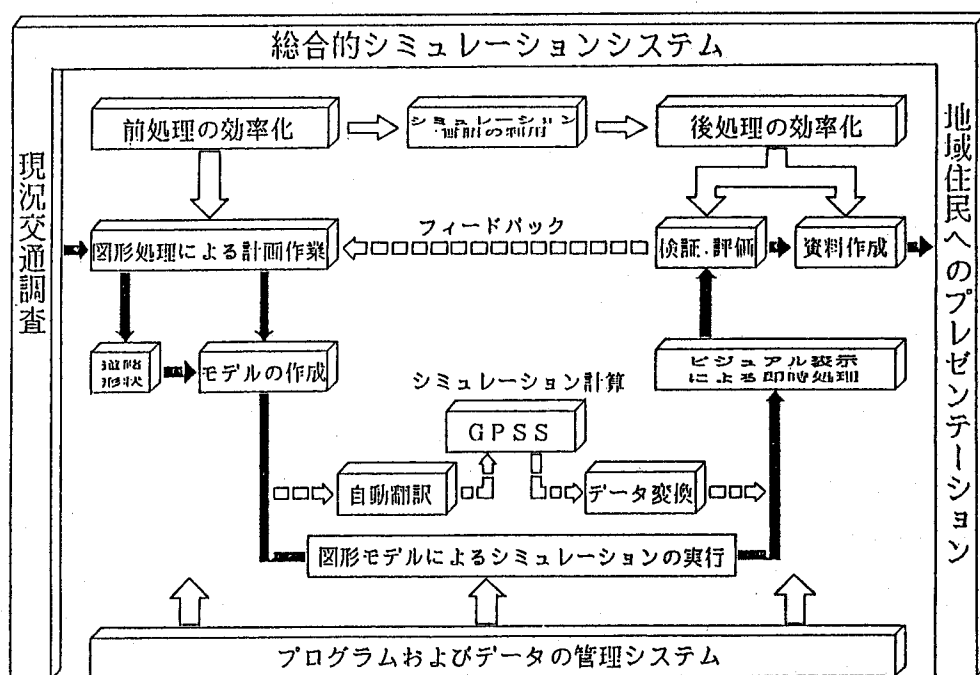
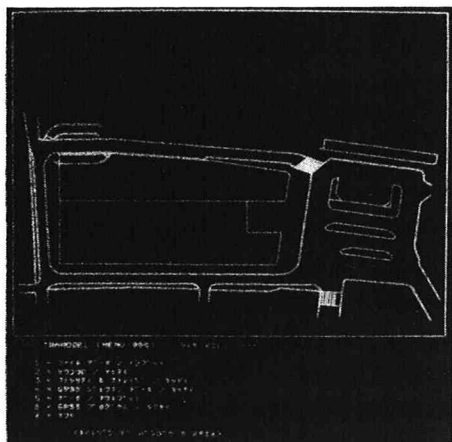
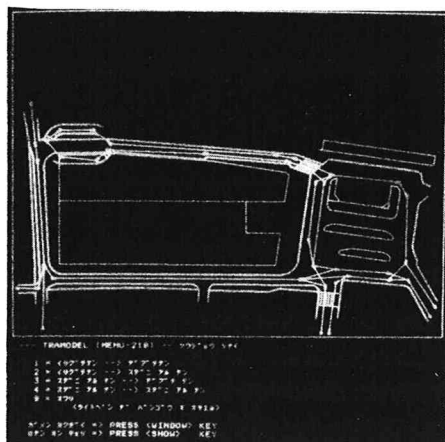


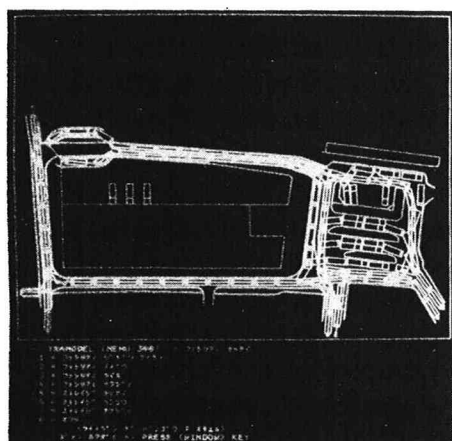
図-1 システム構築の考え方



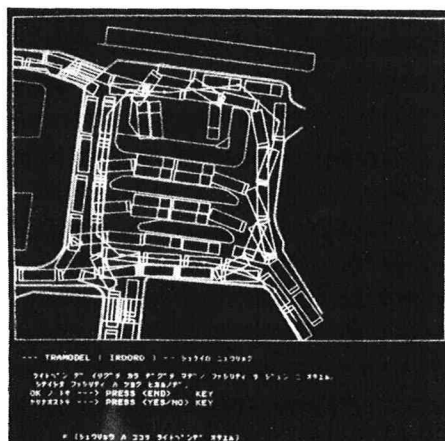
(1) 地図データの表示と操作メニュー



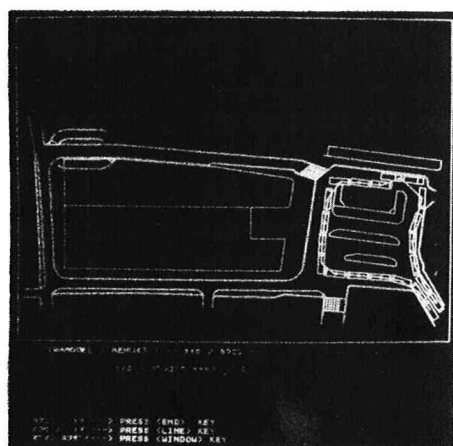
(2) 動線の作成



(3) ファシリティおよびストーリーッジの作成



(4) 走行経路の指定



(5) 走行経路の確認図

図にも車を表現してA1サイズ用紙に1秒分づつ出力する。これを画面に表示して撮影するとアニメーションができる。

(5) その他のプログラム

シミュレーションと直接関係ないが、プレゼンテーションのためには、建築の透視図作成プログラムなどが利用される。

4. 实施例

(1) 駅前再開発での利用例

これは、再開発計画事業による集合住宅およびショッピングセンターの建設に伴い、鉄道駅の駅前ターミナルおよび建物周辺の交通計画が行われ、その交通流計画案の検討に利用したシミュレーションの事例である。

図-2 シミュレーションモデル作成の画面表示

ショッピングセンターに来店する車は、これまでこの地区で発生しない新しい交通量であり、これらの車の進入路および退出路の動線により、建物周辺の生活道路への影響が問題となった。特に、生活道路は狭く、人の往来も多い道路であるため、多量の車の進入は、安全性の面でも問題であった。

これについて、4つの交通計画案が作成され、それぞれのシミュレーションを行った。このシミュレーションモデルの基本となったのは、現在の駅前ターミナルの交通流である。現況調査により車の走行パターンおよび交通量を把握し、さらにショッピングセンターに来店する交通量を市場調査により想定し、年間30番目の交通量としている。

(2) 計画案の概要とシミュレーション結果の評価

交通計画案は、図-3に示される。計画案-1は、当初の計画案で、来店する車の進入路は駅前ターミナルから生活道路を通り、ショッピングセンターに入る。帰りは、新設した道路を通り駅前ターミナルを抜けて、外部に出る動線計画である。交通計画の問題点は、前述の通りであり、ショッピングセンターの入口で待行列が発生すると、鉄道の踏切りの待行列が生活道路での影響である。

これの代替案として他の計画案を考え検討した。

計画案-2は、進入路を逆回りにし、ショッピングセンターの入口の待行列を避けた。しかし、駅前ターミナルで動線が交差し、生活道路の出口で停滞が発生した。ここは、バスの降車位置になっており、

そこでの車の交差に問題がある。

計画案-3は、計画案-2と同様に進入するが、踏切りを渡り生活道路に入らずに退出する動線である。これは、踏切りの待時間が長い場合、車の退出に待行列が発生しショッピングセンターから出られない結果となった。

計画案-4は、同様に進入するが、両方通行の道路として同じ道を帰る動線とした。これは、まったく生活道路を通過せず、住民に直接影響を与えない。もう1つショッピングセンター入口での待行列が駅前ターミナルに及ばないことが必要条件であり、バスの運行に影響を与えないことが確認された。

以上の結果、計画案-4が採用されることになった。

(3) 地域住民への説明

地域住民への説明は、このシミュレーションシステムの出力図により行われた。ここでは、シミュレーション結果の平面図および透視図により行われた。平面図は、計画案-1および計画案-4のすべての時刻の出力図を参考にした。他の計画案については、滞留台数の時間変動のグラフを用意した。

(4) 出力例

図-4に、各計画案についての滞留台数の時間変動グラフを示す。計画案-3は滞留台数の増加が顕著であるが、他の計画案では、滞留台数の変化はたいした相違はない。図-5および図-6は、動的表示および透視図の表示例である。

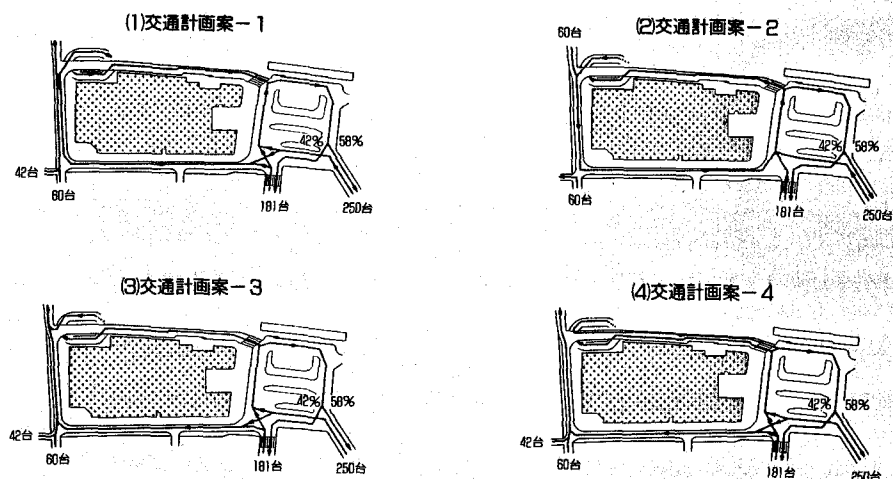
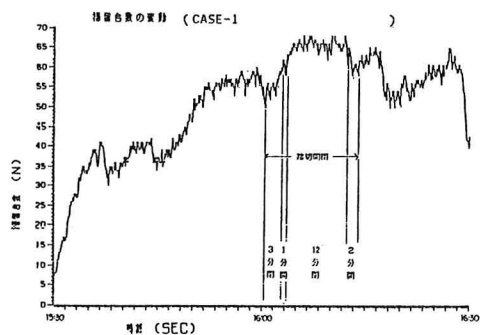
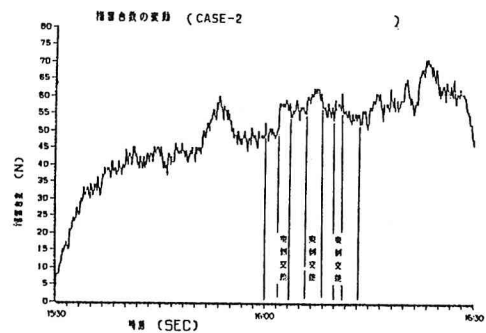


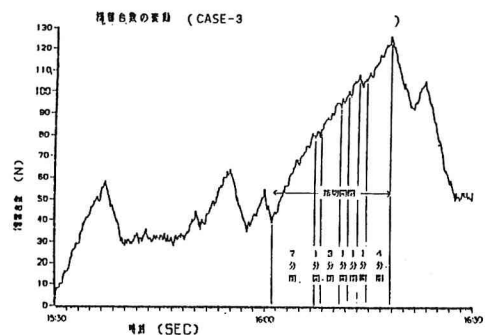
図-3 交通計画案の説明



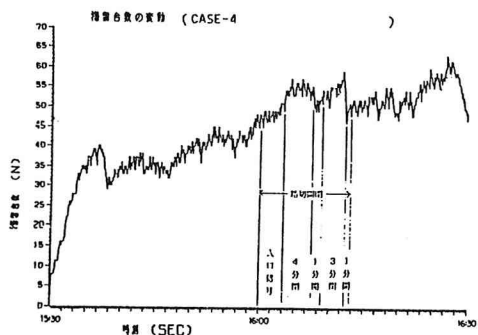
(1) 交通計画案-1



(2) 交通計画案-2



(3) 交通計画案-3



(4) 交通計画案-4

図-4 交通計画案の滞留台数の時間変動グラフ

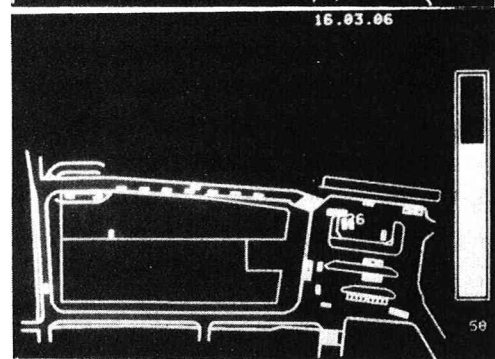
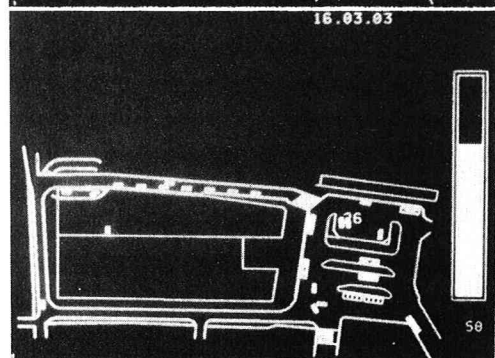
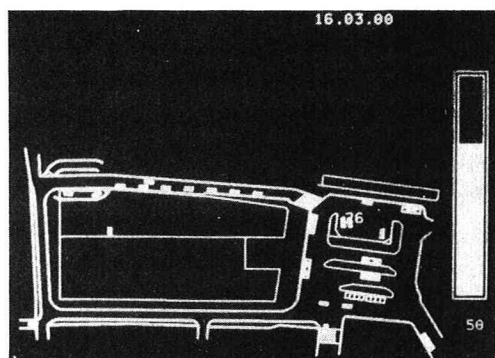


図-5 交通計画案-4の動的表示例

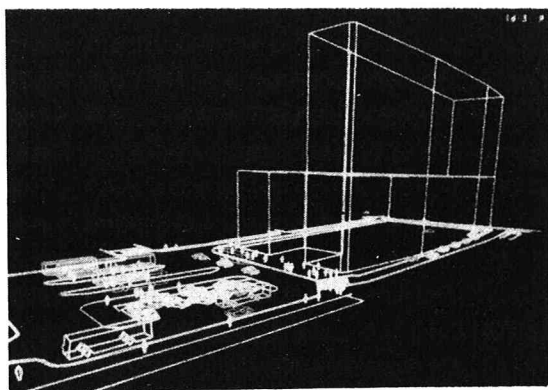


図-6 交通計画案-4の透視図表示例

5. シミュレーションモデルの作成について

本文は、本システムがシミュレーションモデルの作成の効率化とプレゼンテーションのビジュアルな表現に特徴があり、システムの紹介に重点が置かれている。交通流の正確なシミュレーションモデルをどのように作成するかは、それ以前の重要な問題である。これについては、理論的に整備していないのが現状である。これまでの実施例では、個別に現地の交通流の調査によりモデルを作成している。

これにより、車の速度の表現、信号制御の方法など十分表現できない点が明らかにされた。駅前広場のシミュレーションでは、広場内での速度はほぼ等速度でそれほど速くない。しかし、片側3車線の市街地道路では、現状は制限速度以上のスピードで走っている車が多く、赤信号の時のスピードはそれの半分以下となる。ここで、交通量がさらに増加すると同一モデルでは表現できなくなる。この経験から、ある交通量で渋滞が起きるようであれば、渋滞の状態をシミュレーションできるようなモデルを作成すること、逆も同じで、交通量が少ないときは、走行速度が速くなるようなモデルを作成することが必要となる。現在使用しているGPS Sでは、このような方法が適している。

将来は、シミュレーションモデル作成のノウハウもシステムに組み込むことを考えている。

6. システムの特徴と今後の問題

本システム構築の考え方についての特徴を考察し、今後の問題を論じる。

(1) シミュレーション言語のブラックボックス化

シミュレーションの記述を自動化する考え方は、以前からもある。ただし、汎用シミュレーション言語の範囲内であるため、ネットワーク図によりシミュレーションの流れを示す図形処理を用いており、交通流など具体的な専用シミュレーションまでに対応できない。本システムは、完全に交通流の車の流れを主体に考え、それとシミュレーション言語のインターフェイスを作成している。そのため、設計者まったくシミュレーション言語のモデル作成ルールを知らなくてもよい。さらに、この作業で作成した車の位置図のデータは、プレゼンテーションにそのまま使用できる。

現状のシミュレーションでは、モデル作成において、交通流の表現上の問題は発生していない。これ

は、これまでのシミュレーションモデルが単純であるとか、実績が少ないこともある。しかし、将来何等かの機能追加に対してはインターフェイス部分の変更が必要となる。また、本システムはGPS Sとのインターフェイスであり、他のシミュレーション言語を利用する場合は再度作成する必要がある。

(2) シミュレーション結果の表示と評価

初期の開発段階では、シミュレーションを手作業で記述したが、それを平面表示プログラムでチェックすると、シミュレーション結果は正常でも、モデルの条件に誤りが発見された。たとえば、車の交差条件の記述を忘れたため、車の交差が発見された。ビジュアルに表現しないと見落としがあるため、平面表示機能は、シミュレーションデータの正確性とシミュレーションモデルの考え方をチェックできる特徴となり、信頼性が高くなる。このようなチェックを行わない大規模なシミュレーションにおいては、シミュレーション結果の信頼性を保証することが難しい。

本システムの問題点は、システム実行上は便利である半面計算費用が高いことである。現在の処理能力は、1秒間に10画面の表示を行えるが、計算機的能力に依存する。3600秒のデータを数多く表示すると、相当な費用になる。シミュレーションモデルの検討では、同じ結果を何回も見ることが多く、ビデオへの録画を有効利用する工夫が必要である。この他プレゼンテーションにも利用し、ビデオ装置を常時設置することが必要である。

(3) モデルの評価

シミュレーションの目的は、動線計画や交通施設計画の評価である。結果の良し悪しを考察することは、難しい点が多い。動的な表示は、問題点を見つけるのに有効であるが、どのような基準により良し悪しを判断するかは明確でなく、統計処理による資料をもっと整備する必要がある。たとえば、車ごとに走行時速を追跡し、時速10km以下で走行した時間がどの程度続くか、あるいは車が渋滞する距離の変化など様々なものが考えられる。

平面表示においても、時速により車の表示の色を変えとか、停車時間の長さにより色を変えるなど、問題点の視覚的なチェックを行うと客観的になる。何れにしても、人間の主管により判断することになる。交通問題に関してこのような結果の評価指標はなく、今後の研究が必要である。指標が明確になれ

ば、システムに判断機能をもたせるとさらに充実する。

(4) プレゼンテーションのビジュアル化

シミュレーションのプレゼンテーションとして、平面図の動的表示と透視図の作成がある。透視図の作成データは、アニメーションを作成できる。このアニメーションのプレゼンテーションは、平面図の動的表示よりも非常に分かりやすく効果がある。しかし、透視図の動的表示は、車のリアルな形状表現に問題がある。車のグラフィック表示はデータ量が多いため、表示時間が長くなり、動的に表現されない。平面表示のような箱型ではイメージがでないことや、複雑な形状の車では、カラー表示の面画処理では、表示量の制限を越えるなどの制約条件もある。このような問題を含んでいるが、プレゼンテーションの資料作成時間を短縮するには、画面上で透視図の動的表示が行える方法を開発する必要がある。

7. おわりに

本システムは、実際の道路地図上での図形によるモデル作成およびシミュレーション言語への自動変換さらにシミュレーション結果の動的表示などを可能にした。また、システム全体にわたり、コンピュータ・グラフィックスを用いてビジュアルに表現している。作業処理の効率化はシミュレーション作成期間を大幅に短縮し、タイムリーに問題を解決できるため、交通問題はシミュレーションを適用する機械がこれまでより増えることになろう。しかし、交通

流のシミュレーションモデルについては、より正確なモデルをどのようにつくるかという点は、たいして進歩していない。今後の問題として、交通流の動線計画および動線上の車の走行の仕方あるいはシミュレーション結果の評価の方法など、研究すべき点が多い。また、より安価に作業できるようワークステーションによる専用システムとして利用できる必要がある。

これらの技術が発展することにより、この分野、とりわけ地域社会の交通問題を解決する立場でのコンピュータ利用が一般化することを目指したい。技術分野でのコンピュータシステムが、一般社会での利用にも貢献できるようにシステムの表現方法の改善をさらに進めている。

最後に、本論文の作成にあたり、(株)大林組電子計算センター八上純子氏には資料を準備していただいた。また、日本アイ・ビー・エム(株)の横地夏樹氏にはシミュレーションの動的表示のカラー化に御協力頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 浜嶋鉦一郎・森本康博・山田茂文・荒巻正宣：交通流計画の総合的シミュレーション・システムー利用例と可能性ー，IBNユーザー・シンポジウム論文集，pp.1-27，1987-7。
- 2) 浜嶋鉦一郎：交通流計画の総合的シミュレーション・システム TRAFFIC PLAN, PIXEL, pp.94-99, 1987-7。