

広域幹線道路網計画へのコンピュータ・グラフィックスの応用に関する研究

Study on an Application of Computer Graphics
to Regional Trunk Road Network Planning

小谷 通泰*・白尾 克己**・小牟田 治***

By Michiyasu Odani, Katumi Shirao and Osamu Komuta

This study aims to establish an efficient and effective visual presentation method of Computer Graphics System for transportation planning. Firstly, some basic presentation techniques using computer graphics are explained. Secondly, visualized information is shown in each process of Regional Trunk Road Network Planning in Keihanshin Metropolitan Area; analysis of present road network and distribution of population, specification of traffic assignment model and evaluation of future trunk road network. Finally, further subjects on the visual presentation techniques proposed in this study are examined.

1. はじめに

従来より、都市・地域計画や交通計画の分野でもCADと同様の概念のもとに計画のプロセスの中へ電算機を組み込んでいく試みがなされており、これは電算機支援システムの開発として成果がみられる。¹⁾こうした電算機支援システムの開発では計算機と人間との対話の手段として視覚的な情報は必要不可欠である。すなわち、計画者の必要とする判断資料を視覚化して理解しやすいかたちで提供すれば、評価、判断、意志決定を手助けできる。また分析過程で得られる中間情報を視覚化して分析者以外の第3者へも明示することにより、得られた分析結果の説得力や信頼性を高めることができる。そしていま一つ重要なこととして、地域住民をはじめ計画に関わる人々に、計画者の意図や構想をわかりやすく伝達し、社会的な合意を得るため

の一つの手段として役立たせることができる。

こうした計画情報の視覚化を進める上で、コンピュータ・グラフィックス（以後、CGと略す）はそのための有用な道具となる。そこで本研究は、京阪神都市圏を対象とした広域幹線道路網計画を通じて、CGの活用方法を検討することを目的としている。すなわち、現況道路網の整備状況や人口の分布、交通需要の特性を分析するとともに、交通量配分モデルを組み込んだシミュレーションシステムの作成、シミュレーションによる計画道路網の影響評価を試みる。そしてこうした計画プロセスのなかで計画情報の内容に応じたCGによる効率的かつ効果的な視覚化の方法について検討する。

2. CG応用の基本的考え方

2-1 視覚化の方法について

本研究では視覚化の方法として、カラー表示、立体表示、アニメーションの3通りの方法を取り上げる。

* 正員 工博 神戸商船大学輸送科学科
(〒658神戸市東灘区深江南町5-1-1)

** 神戸日本電気ソフトウェア

***学生員 神戸商船大学大学院

(1)カラー表示…表示色は、R(赤色)、G(緑色)、B(青色)の各要素の強度(たとえば、8bit/画素、の場合は256段階)を指定することによって決定できる。図-1はRGBによるカラー表示の基本的考え方を示したものである。²⁾ RGBの組合わせによる表示色は、図-1a)に示すように、立方体(color cube)の中の1点に相当し、原点と原点から最も遠い点を結ぶベクトルはRGBの最強度の組合せであるため白色となる。こうしたRGBの組合せを考える今一つの方法として、明度、色相、彩度を考える方法がある。これは、図-1a)に示すように、グレイラインと直交する平面上へのcolor cubeの射影によって表現するもので、六角錐モデルと呼ばれる。このモデルでは、明度、色相、彩度が、それぞれ図-1b)c)に示すように定義され、これによって、それぞれを独立した要素として考えることができる。

(2)立体表示…X、Y、Zの3次元で表現されたものを2次元に投影して表示するにはいくつかの方法があるが、代表的なものに図-2に示す平行投影と透視投影がある。³⁾ 平行投影は、奥行きのZ座標を無視し、(X、Y)をそのまま表示するものである。これに対して透視投影は、手前のものは大きく、遠くのは小さく表示させるもので立体感を得やすい。

(3)アニメーション…時系列的に変化していく状態を把握しなければならない場合、時間の流れに従って表示を連続的に変化させる必要がある。こうした場合、コンピュータにより動画(アニメーション)を作成すれば有効である。従来のセルアニメーションは、少しずつ動かした絵を1枚1枚アニメーターが手で描き、それをコマ撮りすることによって作成された。これに対

し、コンピュータアニメーションでは、アニメーターの代わりにコンピュータに絵を描画させる。そして描画された画像の信号を、デジタルスキャンコンバーターを用いて直接NTSCビデオ信号に変換しVTRでコマ撮りすればアニメーションを作成できる。

2-2 使用する電算機システム

使用した電算機のハードウェア構成を図-3に示す。ハードウェアの構成にあたっては、計画作業に必要な3つの作業、①地形図や道路ネットワークなどの地図情報の入力、②大規模なネットワークシミュレーションの実行、③シミュレーション結果の図化出力および記録・保存、を考慮した。

そこで、図に示すように、エンジニアリング・ワークステーション(主記憶容量および演算処理速度はそれぞれ8MB、4.3 MIPS)を中心に、必要な周辺機器、すなわち大型座標読み取り装置、グラフィックディスプレイ、XYプロッター等を配した。ディスプレイ装置は、画面のサイズが20インチで、画素数は1024*1280の高解像度な装置を用いた。表示画像は、ハードコピー装置を利用して記録、保存を行った。またXYプロッターは、パソコンを通じて利用した。

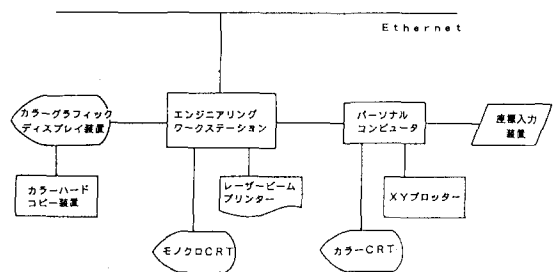


図-3 ハードウェアの構成

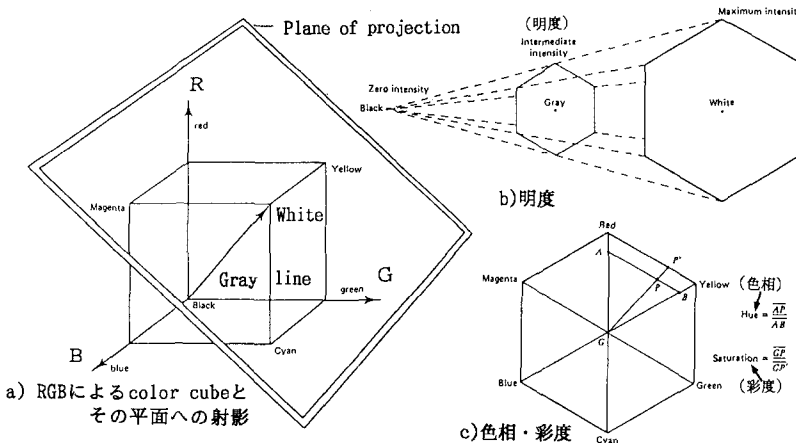


図-1 RGBによるカラー表現の考え方(文献1)より転載)

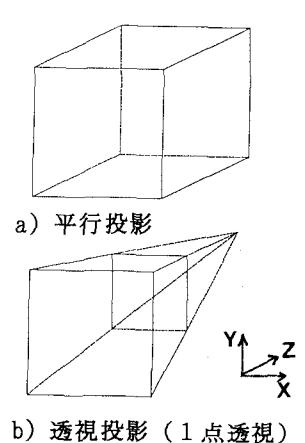


図-2 立体表示の方法

3. 計画対象地域の概要と計画のための基礎データ

3-1 対象地域の概要

図-4は、計画対象地域である京阪神都市圏と、その周辺地域を図示したものである。図中では全域を市区町村を基本として431ゾーンに分割しており、高速道路および一般国道についてのみ地図上に重ね合わせて表示している。また、図-5は対象地域から大阪府のみを取り出して、ゾーン区分とゾーン名を表示させたものである。

図-6は、昭和60年の対象地域の人口密度を暖色から寒色まで10段階の色相変化により図化したものである。域内では、京都、大阪、神戸の3都市を結ぶ軸と大阪湾に沿って南に延びる軸上に密度の高いゾーンが集中しており、特に大阪市における人口の集中が著しいことがわかる。また図-7は、昭和40年から60年までの大阪府内における人口の増減の経年変化を動画として示したものである。これらの表示は昭和40年の人口密度を基準として、増加については赤色で、また減少については青色で、それぞれ彩度の変化により表現した。このような動画の作成によって、大阪市内中心部では人口が減少し、周辺部では増加するという都市部の空洞化現象を動的に把握することができる。

3-2 交通量配分用ネットワークの作成

配分対象とする道路ネットワーク(一部フェリー航路を含む)を以下の基準に従って作成した。

1)対象地域内における全ての高速自動車国道と有料道路、一般国道

2)実測交通量が1万台/日以上のも主要地方道

3)ネットワーク形成上必要な道路区間

4)本州と四国・淡路島を結ぶフェリー網

また各ネットワークには以下の属性情報を付加した。

1)道路種別(高速自動車国道、都市高速道路、一般国道、主要地方道、府県道、市町村道など)

2)交通規制(一方通行規制、制限速度など)

3)区間別の距離・車線数

4)フェリー航路別の航路長、航行速度、車の積載可能台数、便数。

このようにして作成したネットワークは、ノード数にして1461点、リンク数にして2388本であり、リンクの総延長は9321Kmである。図-8は京阪神都市圏を中心に、作成した道路ネットワークの一部を模式図として出力したものである。

3-3 実測交通量データとOD交通需要

後に作成するシミュレーションシステムの検証用データとして実測交通量データを用いる。ここでは、建設省によって実施された昭和60年度全国道路交通情勢調査の24時間交通量観測地点のうち、配分用ネットワークと対応する287地点の交通量データを用いた。

一方、将来の自動車交通量としては、京阪神都市交通計画協議会によって、1980年度のパーソントリップ

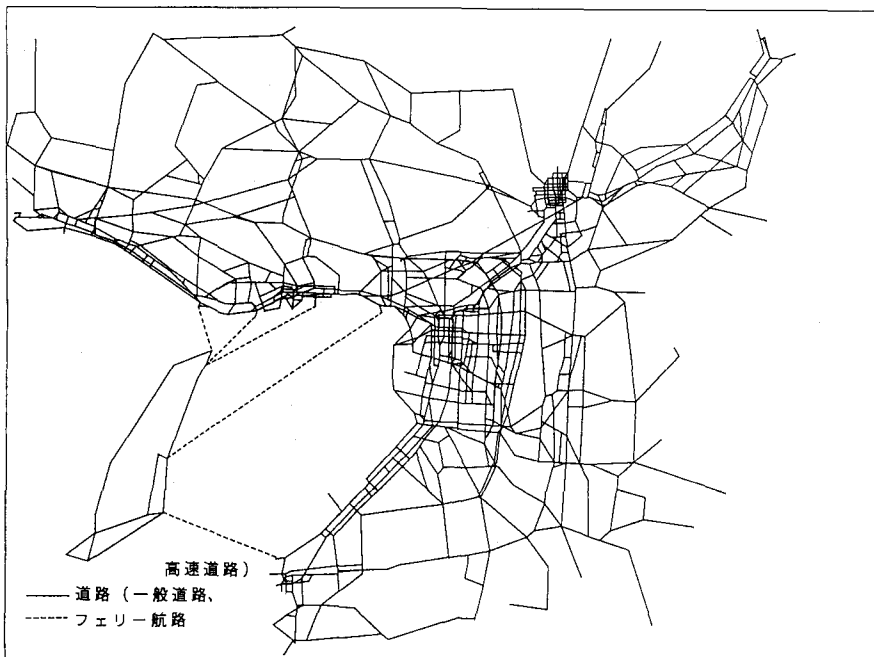


図-8 配分対象とする道路ネットワーク

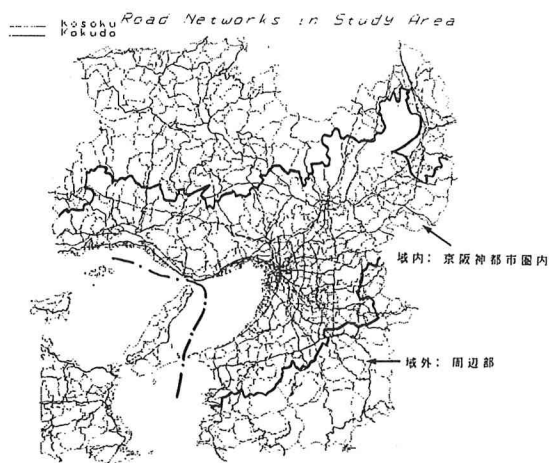


図-4 計画対象エリア



図-5 大阪府とゾーン区分

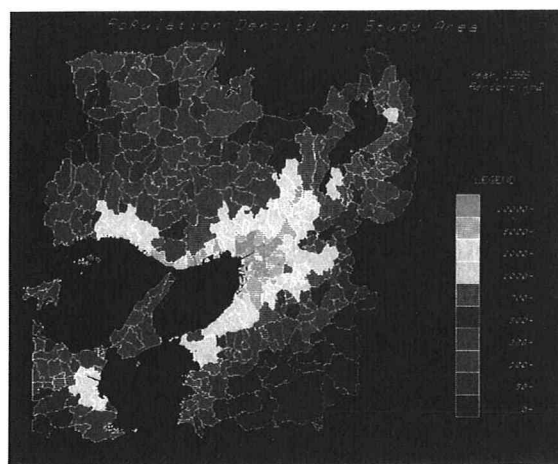


図-6 人口密度の分布

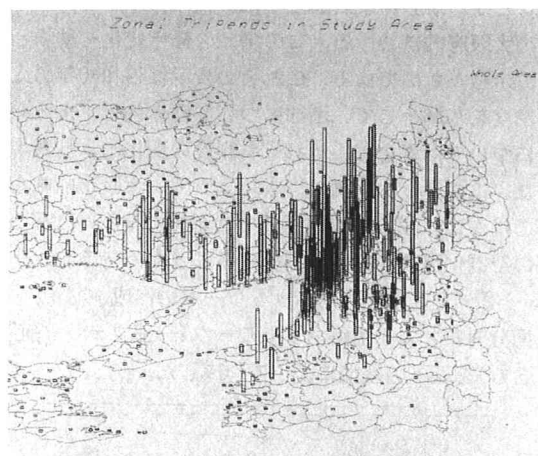
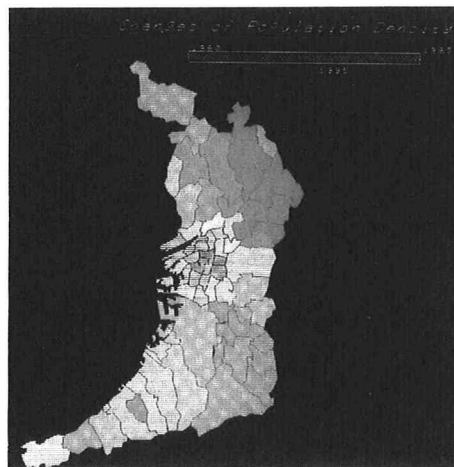
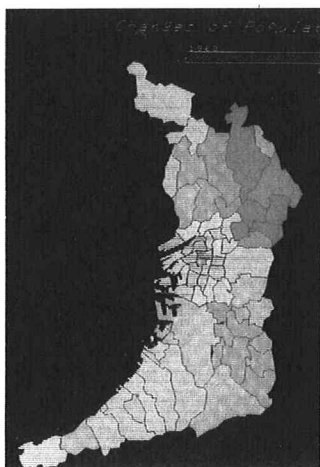


図-9 ゾーン別のトリップエンド数



a) 1965年

b) 1975年

c) 1985年

図-7 人口増減の経年変化 注)作成した動画の中から3コマ分の画像を示す。

調査等をもとに推計された2000年将来自動車OD交通量を用了。これによると2000年の京阪神都市圏における総自動車交通量は、3438万台トリップエンド／日であり、1980年の1.46倍となるとされている。なお、現況のOD交通量データは、1980年から2000年までの自動車交通の地域別成長率から1990年における成長率を補完して求めた。

もとの交通量データは、京阪神都市圏域内については市区町村単位に、また圏域外については複数の市町村を1ブロックとして、交通量が集計されている。そこで本研究では、周辺部については、ブロックを構成する各市町村の人口の比率で交通量を分割し、各ブロックを市区町村単位に修正した。この結果、最終的には、都市圏域内259ゾーンおよび圏域外157ゾーンの計416ゾーン間において交通量配分を試みることにする。図-9は、現況のゾーン別トリップエンド数を棒グラフの高さで平行投影法により立体的に示したものであり、大阪市域にトリップエンド数が集中している様子がわかる。

4. 広域幹線道路網シミュレーションシステムの提案

4-1 シミュレーションシステムの開発手順

本研究では、図-10に示す手順に従ってシステムの開発を進める。

[Step.1] 対象地域とその周辺地域の現況道路網から配分用ネットワークを作成する。具体的には、域内における道路網について、リンクとノードからなるネットワーク情報と、距離、道路種別、交通規制、車線数からなる属性情報を収集する。

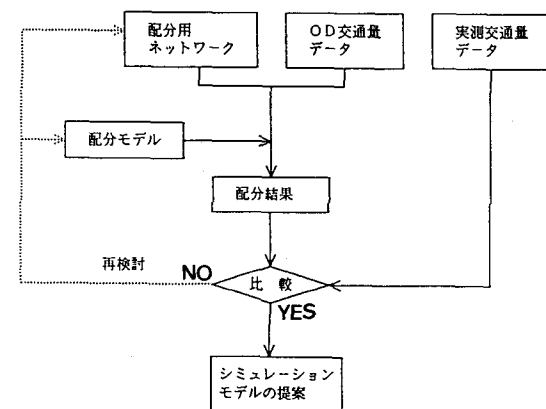


図-10 シミュレーションシステム
開発の手順

[Step.2] 交通量配分モデルを作成し、モデルを用いてネットワーク上に現況OD交通量を配分する。交通量の配分モデルとしては等時間配分原則を適用し、この状況を近似的に作り出すために分割配分法を用いる。なお道路の混雑状況を配分に反映させるために道路区間ごとにQ-V曲線を設定した。

[Step.3] ネットワーク上に配分された交通量と実測交通量を比較し、シミュレーションシステムの現況再現性について検討する。

[Step.4] 比較・検討の結果、配分交通量と実測交通量との間に大きなずれがある場合は、ネットワークや配分モデルを再調整する。

[Step.5] 実測交通量と配分交通量とのずれが妥当な範囲におさまるまで、Step.1-5の手順を繰り返し、シミュレーションシステムを完成させる。

4-2 モデルの調整

上述の手順に従いシステムのキャリブレーションを行った。その内容は以下の通りである。なお配分モデルはFORTRAN言語を用いて作成し、実行はすでに述べたワークステーションにより行った。配分に要した演算処理時間は、分割配分の1分割あたり約5時間である。

①交通量配分における分割回数を、1回、3回、5回に変化させた場合について検討した。

②ゾーン内における交通量の発生・集中ノードを一点に集中させると、そのノードの周辺部に交通量が集中するので、3点に分散させた場合も検討した。

③配分交通量と実測交通量を比較し両者に著しい差がある場合には、必要に応じて道路リンクの修正・追加を行った。

④Q-V曲線の設定は道路種別ごとに機械的に割り当てたが、実測交通量と設定した交通容量に大きな差がみられる場合には、その道路区間のQ-V曲線を再評価した。

図-11、12は、上述のような調整を経ることによって得られた配分交通量(発生・集中ノード3地点、分割回数3回)と実測交通量を比較したものである。まず図-11は、縦軸に実測交通量、横軸に配分交通量をとって各観測地点別に交通量をプロットしたものである。これによると配分交通量は全般に実測交通量を上回っており、その比率(配分/実測)の平均値は1.41で分散は1.40となった。一方、図-12は、実測交通量の観測地点ごとに、配分交通量と実測交通量の比率を

3色に色分けして示したものである。この図から、都市圏域内については、各観測地点の比率は1.4を中心に±1の範囲内に比較的収まっているが、周辺地域での両者のずれは大きくなっている。

このように最終的に配分交通量と実測交通量は、必ずしも良好な精度では一致しなかった。この要因としては、対象地域内の限られた道路網(交通量1万台以上の道路)を配分対象としたこと、さらに用いたOD交通需要の精度や配分モデルの妥当性、等が考えられる。これらの問題については今後さらに詳細に検討する必要がある。

5. 将来道路網計画の影響評価

5-1 計画道路網の概要と影響評価の考え方

4. で作成したシミュレーションシステムを用いて、現在、計画・建設の進められている計画道路網の影響評価を試みた。

まず計画道路網は、将来のOD交通量データにあわせて、2000年前後までに開通の見込まれているものを対象とした。図-13はこうした計画道路網を示したものであり、その主なものとしては、関西新空港へのアクセス道路となる阪神高速道路湾岸線や近畿自動車道、また本四連絡橋の一つである明石大橋等がある。なお新たに計画道路網として付加したネットワークは、ノード数131点、リンク数236本である。

計画道路網の影響評価はWith-and-Without分析により行った。ここで、Withケースは計画道路網で将来交通量を配分する場合、またWithoutケースは現況道路網のみで将来交通量を配分する場合である。

5-2 交通流動からみた影響評価

図-14は、計画道路網が存在する場合(Withケー

ス)の配分結果を大阪府内の部分について図示したものであり、交通量の大きさを各道路区間上に描いた矩形の高さで立体的に表示している。また図-15は、計画道路網が存在する場合としない場合の交通量の増減を図示したものである。ただし、交通量の±10%の増減は無視し、交通量が増加したリンクは青色、また減少したリンクは赤色(点線)で示した。

これらの図によると、道路網上の交通流には次の変化が見られる。計画道路網の整備により、大阪府内では阪神高速道路湾岸線と近畿自動車道が並走している大阪市・泉南間で交通量が減少している。一方、大阪市内で、湾岸道路へアクセスする新たな交通の流れが生じている。

さらに図中には含まれていないが、対象地域全体としても、湾岸線により阪神間で、また山陽自動車道、明石大橋等についてもその周辺部を中心に交通量の減少がみられた。

5-3 最短所要時間からみた影響評価

計画道路網のうち、阪神高速道路湾岸線や近畿自動車道は京阪神地区から関西新空港へのアクセス道路として計画されている。そこで特にそれらの効果を見るために、まず計画道路網に対して関西新空港を起点とした場合の各ゾーンへの最短所要時間を求めた。図-16はこれをカテゴリー分けして暖色から寒色の色相の変化により図示したものである。なお所要時間は、配分交通量にもとづき各道路区間の混雑状況を考慮して算出した。また図-17は、現況道路網に対する計画道路網による最短時間の短縮率((Without-With)/

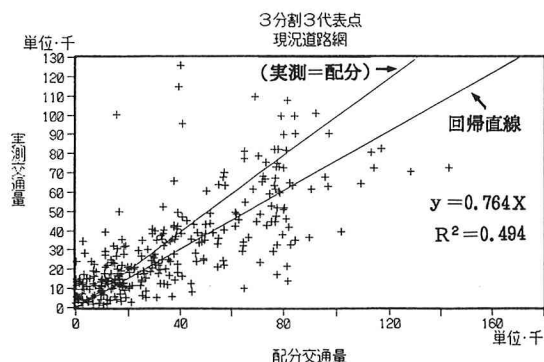


図-11 配分交通量と実測交通量の相関図

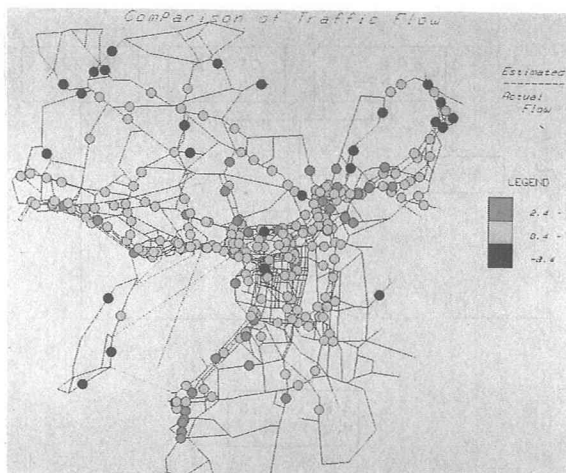


図-12 配分交通量と実測交通量の地点別比較

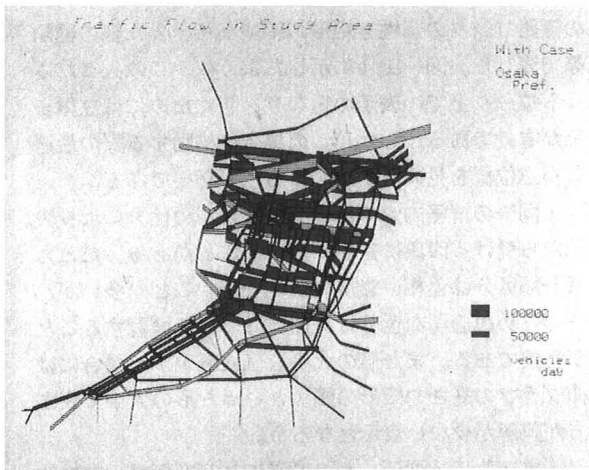


図-14 交通量の配分結果 (Withケース)
 注)高速道路の交通量にはハッチをつけ、
 他の一般道の交通量とは区別している。

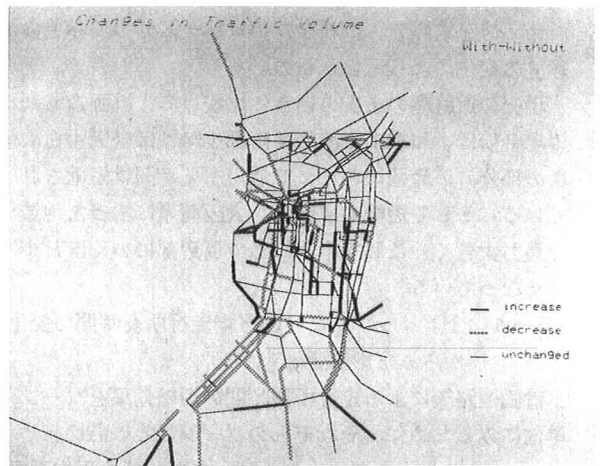


図-15 配分交通量の比較
 (Withケース-Withoutケース)

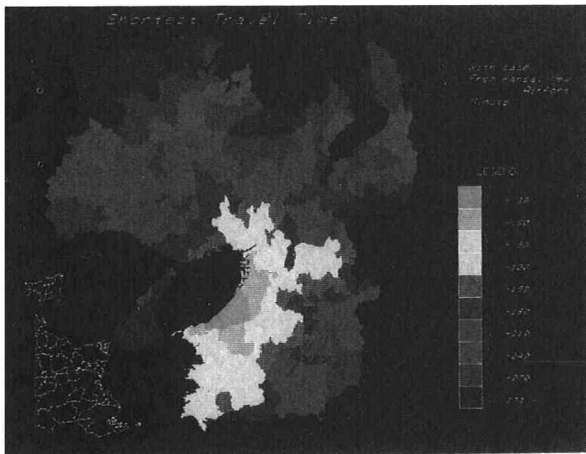


図-16 関西新空港を起点とした最短所要時間
 (Withケース)

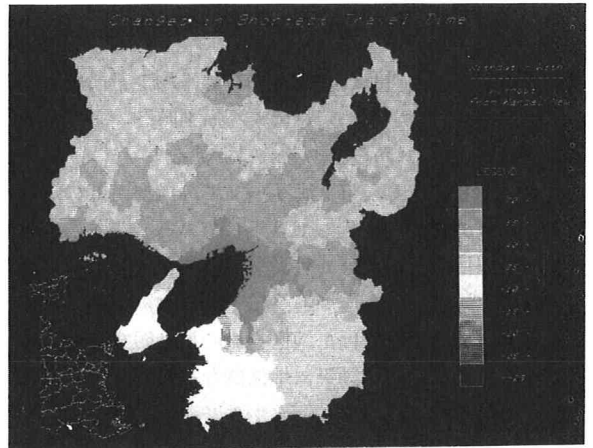


図-17 関西新空港を起点とした最短所要時間
 の比較 (Withケース/Withoutケース)

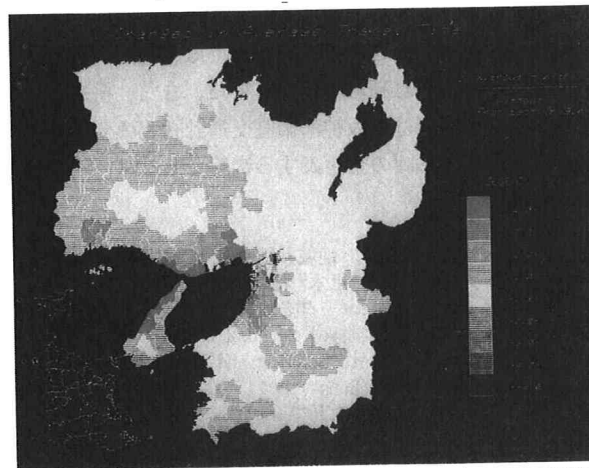


図-18 ゾーン別の1トリップあたり走行所要時間
 の比較 (Withケース/Withoutケース)

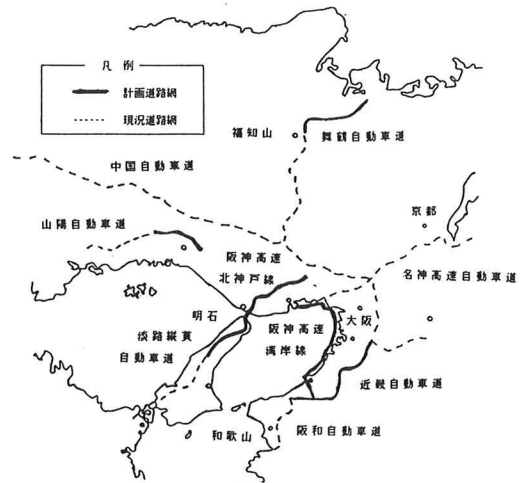


図-19 計画道路網

Without)を求めて、これをカテゴリー区分して赤色の彩度の変化により示したものである。

現況の道路網のままの場合に比較して、計画道路網の場合には、和歌山や淡路島南部を除けば(図中白ぬきの部分)広範囲にわたって最短所要時間は短縮されている。そして短縮の度合は、大阪湾岸に沿った地域で最も大きく、これを中心にして周辺部にいくほど小さくなっている。

5-4 1トリップあたりの平均走行所要時間の変化からみた影響評価

計画道路網による走行所要時間の短縮効果をゾーン単位にみるために、それぞれのゾーンごとにWith、Withoutの各ケース別に、1トリップあたりの平均所要時間を次式により求めた。

$$\bar{t}_{ij} = \frac{\sum_j t_{ij} \cdot OD_{ij}}{\sum_j OD_{ij}}$$

$\bar{t}_{ij}$:ゾーンiを起点とするトリップの平均走行所要時間

t_{ij} :ゾーンiからゾーンjへの走行所要時間

OD_{ij} :ゾーンiからゾーンjへのトリップ数

図-18は、算出した両ケースでの所要時間の短縮率を赤色の彩度の変化により示している。これによると図中で白ぬきの部分では顕著な差異がみられないが(短縮率1%以下)、湾岸道路にそった大阪湾岸地域、明石大橋の影響を受けた地区を中心に、短縮率が大きくなっており、短縮効果に地域的な差異が見られることがわかる。

6. おわりに

本研究では、京阪神都市圏を対象として、幹線道路網計画の策定過程で得られる様々な計画情報をCGを用いて効果的かつ効率的に視覚化する方法について検討してきた。以下では、本研究の成果をふまえてCG応用上のいくつかの課題を述べる。

・本研究での表示は大別して、ゾーンをベースとした表示と、ネットワークをベースとした表示に分けられる。ゾーンベースの表示では、人口密度や走行所要時間などのゾーンのもつ属性値をゾーンの色わけや棒グラフで表した。ゾーン単位で集計し表示することはゾーン内は均質であることを仮定しているが、ゾーン境界を一律市区町村区分とするには不適切な場合もあり、必要に応じてゾーンの細分化等が必要である。

一方、ネットワークベースの表示では、交通量など

の道路リンクの属性を矩形の幅や高さ、また線の種類等で表した。図-14に示したように、こみ入ったネットワーク上での表示の重なりを防ぐためには立体表示が有効である。しかしこの場合、描画する際の最適な視点位置を見いだすための方法が必要である。

・同一の情報内容であっても、表示の仕方により表示から受ける印象に差異が生ずることがある。たとえば分類区分は色相や彩度の変化で表すことが多いが、そのための適切な色分けの仕方について検討することが必要である。また値の大小を直接表現する場合には棒グラフの高さや矩形の幅、といった形の大小で表す方が誤解が少ない表示となろう。

・単なる時系列データの表現にとどまらず、立体的な表示を様々な角度から連続的に眺めることができるようにしたり、表示を段階的に行いそれを連続的に示したりするために、アニメーションの方法を用いると一層効果的な画像を作り出すことができる。

・画像の記録には、管面のハードコピー、写真、ビデオ等があるが、精度のよい安価な手段が必要である。またカラーで表示された画像をモノクロとして表示した場合もその内容のある程度判別できる表現上の工夫が必要である(たとえば図-14のように、色わけと、ハッチング等の表示パターンを組み合わせる)。

またこのようなプレゼンテーションの課題に加えて、シミュレーションシステムそのものの予測精度の向上を図っていくことが必要である。このためには、配分用ネットワークの追加拡充や配分モデル(Q-V曲線の再評価、高速道路の通行料金の考慮)、将来OD交通需要の見直し、評価指標の充実(車種別や時間帯別の評価)などを行う必要がある。

最後に、本研究を進めるにあたっては、神戸商船大学輸送科学科新居雄高君の協力を得た。また、将来自動車OD交通需要は京阪神都市圏交通計画協議会より提供を受けた。感謝の意を表する次第である。

<参考文献>

- 1)たとえば、・小谷：都市・地域計画の分野における電算機支援システムについて、土木計画学研究・講演集6、1984
- ・鹿島：マイクロコンピュータを用いた都市交通計画作成支援システム、交通工学、Vol. 24、No. 2、1989
- 2)T. M. Lillesand他：Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons
- 3)たとえば、・中前他：3次元コンピュータグラフィックス、昭見堂、1986
- 4)京阪神都市圏交通計画協議会：第2回京阪神都市圏パーストリップ調査―総集編、1983