

流体モデルによる交通流シミュレーションのための オブジェクト指向モデリング

鈴木 尊人

主査：石黒 美佐子

副査：城 道介，坪井 一洋

1. はじめに

自動車産業の発展に伴い，現代社会は複雑な車社会の様相を呈している．そのため社会において交通が果たす役割は大きく，交通流を安全で円滑にするための都市計画や道路設計は非常に重要である．

そこで，本研究では市街地を対象とした大域的な交通流シミュレーションを試みる．そのために，偏微分方程式の数値計算に関して提案された「領域オブジェクト」^[1]を交通流へ応用し，道路上の分岐から分岐までの単路部をひとつの領域オブジェクトとみなすことで「Roadオブジェクト」を定義する．領域オブジェクトは領域分割法のオブジェクト指向モデリングによる表現であり，複雑な計算領域を効率的に構成することができる．したがって，複数のRoadオブジェクトを組み合わせることで様々な道路交通網を表現できる．

Road オブジェクトの主要な役割は交通方程式を解き車の密度分布を得ることである．交通方程式は流体力学における連続の式と車の速度密度関数により与えられる．ここで，交通容量の概念から Road オブジェクトごとに車の速度密度関数を定義することで，Road オブジェクトごとに固有の交通処理能力を表現する．これによって，Road オブジェクトごとに異なる交通処理能力が表現できるので，これらの相互作用による交通流の変化を調べることができる．

以下では，Roadオブジェクトを構成単位として道路交通網を構成するためのクラスを階層的に設計する．また，交通容量の概念を用いて一般道における速度密度関数を導出する．さらに，茨城大学日立キャンパス周辺の道路交通網を構築し，この道路交通網において実施した交通調査と関係機関^[2,3]から得られた交通情報を基に入力データを変え，交通流のケーススタディを行う．最後に，日立市全域の道路交通網を実現した結果も簡単に紹介し，今回行ったオブジェクト指向モデルによる交通流シミュレーションの有効性を示す．

2. クラス構成

道路交通網の構造を階層的に表現したクラス図を Fig. 1 に示す．

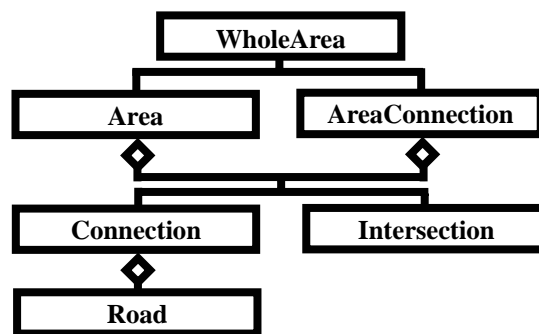


Fig. 1 道路交通網を構成するクラス図

道路交通網のモデル化に際し，地図上の信号機および分岐点を Road オブジェクトの流出入境界とみなし，それらの間の単路部を Road オブジェクトとする．ただし，交通量が少ない道路や需要が低い道路のモデル化は行わない．これは実際の道路交通網上の分岐がモデル化によってなくなることの意味する．このような場合，Road オブジェクトを接合するオブジェクトとして Connection オブジェクトを設計する．Connection オブジェクトは Road オブジェクトを 1 対 1 に繋ぎ，その境界にある信号を制御する．また，Connection オブジェクトはモデル化された道路交通網上の分岐間に含まれる Road オブジェクト全ての接合を受け持つ．

Intersection オブジェクトはモデル化された道路交通網上の分岐地点に位置する．このとき，Road オブジェクトは Connection オブジェクトに含まれているので，Intersection オブジェクトは Connection オブジェクトのみを接合する．

Road オブジェクト，Connection オブジェクト，Intersection オブジェクトを複数接合し道路交通網が大きくなると個々のオブジェクトの管理が困難となる．このような場合，構築された道路交通網をオブジェクト化する．これを Area オブジェクトとする．AreaConnection オブジェクトは Area オブジェクト間の接合地点に位置し，Connection オブジェクト，Intersection オブジェクトを用いて Area オブジェクトを接合する．

WholeArea オブジェクトは Area オブジェクトおよび AreaConnection オブジェクトを生成し管轄する．WholeArea オブジェクトは道路交通網を

構成するクラスの中で最上位に位置し、道路交通網上の密度分布を出力する。

3. 一般道の交通流モデル

交通容量とは、道路上のある地点において車両を通過させる能力をいう^[4]。交通容量は道路条件と交通条件によって、基本交通容量 C_B と可能交通容量 C_L に分けられる。可能交通容量は基本交通容量に各種補正率を乗じることにより求められる^[5]。補正率とは交通容量を低下させる種々の要因であり、主に車線幅員、側方余裕幅、沿道状況、勾配、大型車混入率などが挙げられる。具体的には、補正率は1.0以下の実数である。

ここで、臨界密度 ρ_c と臨界速度 V_c を考える。臨界密度と臨界速度は、それぞれ交通量が最大となる時の密度と速度である。また、交通量は密度と速度の積より求まる。これより、臨界状態の交通量をその道路における可能交通容量と考えれば、可能交通容量は臨界密度と臨界速度の積で表される。つまり、臨界密度、臨界速度の設定ができる速度密度関数を用いることによってRoadオブジェクトごとに異なる交通処理能力が実現できる。この速度密度関数はJ.Drakeの速度密度関数を改良することで得ることができる。以下に改良された速度密度関数を示す。ここで、 V_{max} は最高速度、 ρ_{max} は最大密度を表す。

$$\begin{cases} V = V_{max} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\rho}{\rho_c} \right)^2} & (\text{自由流領域 } \rho \leq \rho_c) \\ V = V_{max} \left(e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\rho}{\rho_c} \right)^2} - e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\rho_{max}}{\rho_c} \right)^2} \right) & (\text{渋滞流領域 } \rho > \rho_c) \end{cases} \quad (1)$$

なお、この速度密度関数は実測データの形状に近く、数値シミュレーションで必要となる条件を満足している^[6]。

4. 交通流シミュレーション

茨城大学日立キャンパス周辺の交通流シミュレーションを行うにあたり、まず、常陸多賀電鉄プラザ前の交差点において交通をビデオ撮影し、次に、対象となる道路交通網における補正率要因を測定した。さらに関係機関から交通情報を収集した。道路交通網における主要な入力値は Roadオブジェクトの補正率、流入交通量、交差点における分配率、信号時間である。実測値に基づくシミュレーション結果を Fig. 2 に示す。

これらの実測値に基づいて入力データを変え、ケーススタディを行った。その結果、交通に大きく影響を与える要因は補正率と信号時間であることが分かった。また、6号線における交通が今回対象としている道路交通網の交通に大きく影響していることも分かった。これらの結果から、日立市の交通を改善する方法として、青葉団地入口付近(6号線)の道路の勾配を小さくすることと

信号時間の周期を長くすることが挙げられるが、現実性やコスト面を考えると、後者が实际的である。

日立市全域の道路を対象とした交通流シミュレーションの結果を Fig. 3 に示す。ただし、この計算に実際の交通情報は反映されていない。

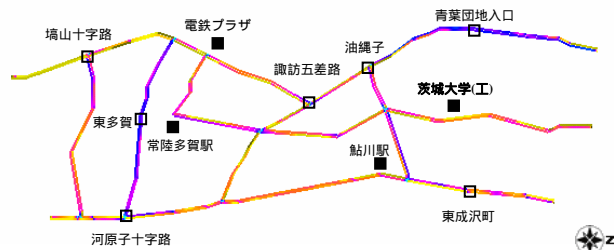


Fig. 2 実測値状況下での密度分布

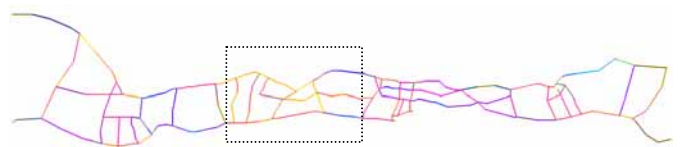


Fig. 3 日立市全域の交通流シミュレーション結果

5. まとめと今後の課題

道路交通網を構成するクラスを階層的に設計し、一般道に対応した速度密度関数を導出した。これにより、市街地の大域的な道路交通網の例として茨城大学日立キャンパス周辺の交通流シミュレーションを行い、交通に影響を与える要因を調べることができた。また、日立市全域の道路を対象とした道路交通網を構築し、今回行ったオブジェクト指向モデルによる交通流シミュレーションの有効性を示した。

今後の課題として、日立市全域の交通調査を行いシミュレーションへ反映させることや道路交通網へ新たな道路を造ったときの波及効果について調べることが挙げられる。また、既存のモデルの最適化や新たなオブジェクトの分析と設計を行うことが挙げられる。

参考文献

- [1] 籠島 高, 金田 豊, 坪井 一洋, 領域オブジェクトを用いた非圧縮性流れの計算, 第14回数値流体力学シンポジウム, C04-2, 2000.
- [2] 日立市役所, 県北臨海都市圏総合都市交通体系調査(パーソントリップ調査), 2001.
- [3] 茨城県土木部道路維持課, 全国道路交通情勢調査結果表(一般交通量調査), 1999.
- [4] 佐左木 綱 監修, 飯田 恭敬 編著, 交通工学 第5章, 国民科学社, 1995.
- [5] 元田 良孝, 岩立 忠夫, 上田 敏, 交通工学 第4章, 森北出版株式会社, 2001.
- [6] 鈴木 尊人, 坪井 一洋, 流体モデルによる交通流シミュレーションへの領域オブジェクトの応用, 第22回日本シミュレーション学会大会, 2-2, 2003.