

エネルギー消費の観点からのエゴ運転とエコ運転の比較

津川 俊輔^{a)} 鈴木 貢^{b)}

概要: CO₂ による地球温暖化は人類の危急の問題であり、わが国ではその排出量の約 16%を自動車が占めている。運転の特性によって排出量に違いが出ることは公知であるが、急加速急ブレーキの荒い運転（エゴ運転）と先の道路状況を予測してそれらを控えた運転（エコ運転）では、個々の車両や交差点レベルではなく、地域全体でどのくらい CO₂ 排出量に差が生じるのであろうか。我々は、交通流シミュレータの 1 つである SUMO をベースとしたシミュレーション環境を構築し、上記の疑問に対する答えを得ようとしている。本稿では、その途中結果を報告する。

キーワード: CO₂ 排出量, 交通流シミュレーション, 運転特性

Comparing EGO driving and ECO driving on a view of energy consumption

SHUNSUKE TSUGAWA^{a)} MITSUGU SUZUKI^{b)}

Abstract: Global warming caused by CO₂ is a matter of human being's urgency, and the automobile occupies 1%-16% of its emissions in Japan. It is a well-known fact that the amount of emissions varies depending on the characteristics of driving style. That is to say, rough driving with sudden acceleration and braking (EGO driving) and smooth driving with predicting the road conditions ahead (ECO driving) are thought as emit different amount of CO₂. To investigate the difference in town level not in individual vehicle level, we constructed a simulation environment based on SUMO which is one of the traffic flow micro simulator. In this presentation, we will report our current results.

Keywords: CO₂ emissions, traffic simulation, driving style

1. はじめに

少しずつ見直しされつつあるものの、CO₂ 排出による地球温暖化は依然として世界全体の大きな問題であり、2015 年の COP21 で、京都議定書以来となる気候変動の国際的取り決めであるパリ協定が採択され、世界中でそれに向けた様々な取り組みが進められている。

一方、日本では、CO₂ 削減のために様々な政策・対策が行われているものの、CO₂ 排出量が未だ世界 5 位と高い水準にある [1]。さらに、そのうち約 16%が運輸部門による

排出量であり [2]、交通環境負荷の低減が日本のクルマ社会における重要な課題の 1 つになっている。また、日本だけではなく、他の国でも自動車による CO₂ 排出量の削減は大きな課題となっている [3][4]。

個々の車の CO₂ 排出量はドライバーの癖によって決まる運転特性によって違いが出ることは明らかである [5]。そこで、本研究の最終目標は、人の運転特性に注目して、大規模な交通網において、人の運転特性が結果的に環境へ与える影響を比較的大規模、かつ定量的に調べ、車の環境負荷の低減させるような最適な交通制御を模索することである。

その第一歩として本論文では、一般道路の状況における 2 つの運転特性、つまり、先頭を走ろうとして急加速急ブレーキを繰り返す荒い運転をエゴ運転、制限速度を守りな

¹ 島根大学 総合理工学研究科
Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

^{a)} s179509@matsu.shimane-u.ac.jp

^{b)} suzuki@cis.shimane-u.ac.jp

がら急加速急ブレーキを控えたおだやかな運転をエコ運転と定義し、両者の車が一般の道路の状況で走行する様子を交通流シミュレータで模擬し、街規模のシミュレーションによる CO₂ 排出量を比較する。

2. 関連研究

加藤らは、交通流マイクロシミュレータを用いて環境に考慮した運転を行う車（エコドライブ車）とそうでない運転を行う車（非エコドライブ車）の走行をモデル化し、それらの運転が混入した状況下を交差点のシミュレーションで模擬することで、エコドライブによる CO₂ 削減効果の定量的な結果を明らかにした [6]。一方で、本研究では、運転特性としてエコ運転とエゴ運転を定義し、対照的な運転スタイルでの CO₂ 排出量を交差点も含む街全体の交通網でシミュレーションを行って比較している。

Qian らは、我々が想定しているエコドライブの条件下で、マイクロシミュレーションを用いて、単純な交差点モデルを用いて所要時間と燃料消費（CO₂ 排出量）を評価した結果として、自動車の流量が 1,000 台/時を超えると逆にエコドライブの方が両者とも大幅に悪化するという結果を得た [7]。この結果は、車の密度が高まった際の我々の結果と同じ傾向を示している。

Berry は修士論文 [8] で、実測値を基にしたシミュレーションを行い、高速道路で経済速度を維持した運転と、穏やかな加減速の運転は同じ効果をもつと結論している。これは Mierlo らの 2004 年の、道路上の計測やテストベンチでの計測とそれにそれらを基にしたシミュレーションから得られた結果を基にした報告 [5] と大筋で一致するが、両者共にあくまで巡航時の自動車の振る舞いに焦点を当てているに過ぎない。

Ahn らは、オークリッジ国立研究所 (ORNL) で小型乗用車と小型トラックを使って燃費と排ガス中の成分を測定したデータを基にして、乗用車やトラックの燃費と排出量を推定する回帰モデルを構成した [9]。彼らは、その結果は ORNL の実測値よりも正確だと主張している。

Stevanovic らは、信号制御レベルの交通コントロールの最適化を行い、燃料消費と CO₂ は排出を減らすことを提案している [10]。この研究では、VISSIM, CMEM, VISGAOST というシミュレータを併用している。

3. 本研究のシミュレーションの前提

この節では、本研究のシミュレーションに用いるシミュレータ、機能について説明する。

3.1 本研究の交通流シミュレータ

交通流シミュレータには、個々の車両に注目して細かな車両の挙動を模擬するマイクロモデルと、複数の車両から成る群に対する模擬を行うマクロモデルの 2 種がある。当然

のことながら、前者は後者に比べて計算負荷が大きいが、最近の計算機の能力向上にとシミュレーション規模の適切な選択によって前者が多く利用されるようになってきている。

本研究では、SUMO(Simulation of Urban Mobility)[11] というマイクロモデルの交通流シミュレータを、以下の利点に着目して、利用することにした。

- (1) オープンソースであり、常に改良が行われており、導入が比較的簡単である。
- (2) 車両の挙動を定義して、個々の車両にそれを割り当てながら大規模な道路網のシミュレーションが可能である。
- (3) GUI の道路ネットワーク作成ツールや外部の地図データを SUMO の道路ネットワークに変換するツールといった SUMO の利用を支援する多彩なアプリケーションが用意されている。
- (4) シミュレーション結果として様々なデータを出力可能であり、車両毎の CO₂ 排出量も確認できる。

3.2 交通流シミュレーションの構成

交通流シミュレーションを構築する要素は、道路ネットワークと車両である。SUMO で道路ネットワークを作成するには、決められた形式に従って、車線、交差点、信号、道路規制等を設定し記述したファイルを入力として渡す必要がある。あるいは SUMO が用意した GUI の道路ネットワーク作成ツールを用いて視覚的に編集することもできる。

また、外部から地図データをインポートし、道路ネットワークに変換するアプリケーションも利用可能である。その 1 つに OpenStreetMap[12] から地図データをインポートする方法がある (図 1)。OpenStreetMap は自由に利用でき、なおかつ編集機能のある世界地図を作るための共同作業プロジェクトであるため、地図データは常に更新され、最新の状況を維持している。

走行する車両は、本来なら個々に走るルートや速度等のパラメータを設定する必要がある。しかし、本研究に必要な車両数は膨大であり、車両 1 つ 1 つのルートを設定していくのは難しい。そして、本論文のシミュレーションでは、車両が決まったルートを通る必要はなく、ランダムな走行を行わせるために、ランダムに複数の車両のルートを生成するスクリプトを使用し、台数、時間を指定することで車両をランダムに走らせるようにした。

3.3 交通流シミュレーションの出力

シミュレーション結果として道路ネットワーク上での車両位置やその時間における車両速度等の様々なデータを出力することができる。デフォルトではすべての出力が無効になっており、必要な出力を個別に設定する必要がある。各車両の CO₂ 排出量を得るように設定すると、図 2 のよ



図 1 OpenStreetMap 地図と変換した SUMO ネットワーク
Fig. 1 OpenStreetMap map and converted SUMO network

うな出力から得られる。左から、車両の ID, 車両の y 座標, x 座標と続き, "CO2" が各車両の CO₂ 排出量を表している。

4. 本研究のシミュレーションの実現

本研究では, OpenStreetMap から地図データをインポートして, 道路ネットワークを構築した。インポートした道路ネットワークは現実の道路の信号配置も含んでいるため, より現実的な交通環境をシミュレートできる。今回のシミュレーションは, 主に片側 1 車線の道路から構成されている島根大学周辺 (図 3) と, 片側 2~3 車線の道路から構成されている名古屋駅周辺 (図 4) の道路網をシミュ

表 1 運転特性とパラメータ

Table 1 Driving characteristics and corresponding parameters

運転特性	maxSpeed	accel	decel
eco (エコ運転)	60km/h	2.6m/s ²	4.5m/s ²
roughA (エゴ運転)	100km/h	2.6m/s ²	4.5m/s ²
roughB (エゴ運転)	60km/h	4.5m/s ²	4.5m/s ²
roughC (エゴ運転)	60km/h	4.5m/s ²	4.5m/s ²
roughD (エゴ運転)	100km/h	4.5m/s ²	7.5m/s ²

レーション用の道路ネットワークとして使用した。

次に, エゴ運転とエコ運転の設定は, SUMO の maxSpeed, accel, decel の 3 つのパラメータを用いて実現した。maxSpeed は車両が道路ネットワーク上で出せる最大の速度を表す。accel は車両の加速度を表し, 大きいほど急加速のアクセル操作になる。decel は車両の負の加速度つまりブレーキングの激しさを表し, 大きいほど急ブレーキということになる。

表 1 は今回の実験で設定した 5 つの運転特性を示す。上から順に, 基本とするエコ運転車の eco, 最大速度が大きいエゴ運転車を roughA, 急加速を伴うエゴ運転車を roughB, 急ブレーキを伴うエゴ運転車を roughC, 最大速度が大きく・急加速・急ブレーキのエゴ運転車を roughD という運転特性になる。

シミュレーション時間は 1 ステップを 1 秒とし, 各々で 3600 ステップ (つまり 1 時間) のシミュレーションを行った。追従走行モデルは SUMO のデフォルトのものをそのまま使用し, 投入する車両台数を変えながら, それぞれの道路ネットワークでこの 5 つの自動車タイプの走行のシミュレーションを行った。

5. 結果と考察

ここでは, 交通流シミュレーションによる結果を示し, その考察を行う。

5.1 結果

5 つの自動車タイプの島根大学周辺と名古屋駅周辺のそれぞれの道路ネットワークで, 投入する車両台数を变化させた CO₂ 排出量を求めた結果を, それぞれ図 5, 図 5 に示す。

図 5 の島根大学周辺のシミュレーション結果を検討する。eco に対し, roughA の CO₂ 排出量に約 9% から 80% の増加が見られた。次に, roughB では, 約 9% から 29% の増加が見られた。一方で, 車両台数が 7000 台以上の場合, eco の CO₂ 排出量を下回り, 約 7% から 45% の減少も見られた。roughC ではほとんど増加が確認できなかった。ただ, roughB 同様に, 車両台数が 7000 台以上では約 1% から 16% の減少が見られた。最後に, roughD では, 約 20% から 49% の増加があり, 車両台数が 9000 台以上では

```

- <timestep time="28.00">
  <vehicle id="veh0" y="-1.65" x="290.70" angle="90.00" speed="13.90" pos="290.70" lane="1to2_0"
    waiting="0.00" type="Car" route="route0" noise="64.57" electricity="0.00" fuel="0.85" PMx="0.14"
    NOx="3.59" HC="0.33" CO="0.00" CO2="2137.93" eclass="HBEFA2/P_7_7"/>
</timestep>
- <timestep time="29.00">
  <vehicle id="veh0" y="-1.65" x="304.60" angle="90.00" speed="13.90" pos="304.60" lane="1to2_0"
    waiting="0.00" type="Car" route="route0" noise="64.57" electricity="0.00" fuel="0.85" PMx="0.14"
    NOx="3.59" HC="0.33" CO="0.00" CO2="2137.93" eclass="HBEFA2/P_7_7"/>
</timestep>

```

図 2 SUMO の出力の例
Fig. 2 SUMO output examples

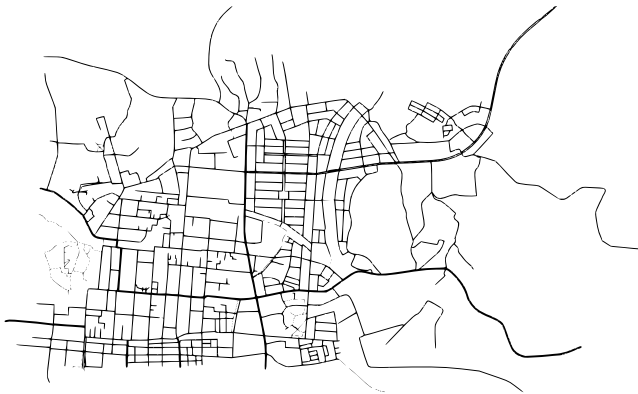


図 3 島根大学周辺の交通ネットワーク
Fig. 3 Traffic network around Shimane University

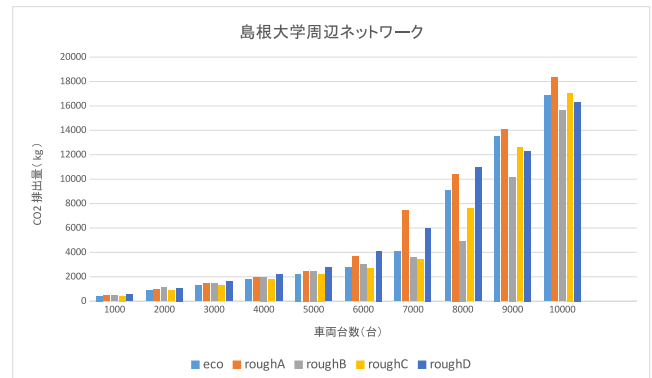


図 5 CO₂ 排出量/島根大学周辺
Fig. 5 CO₂ emissions/Shimane University

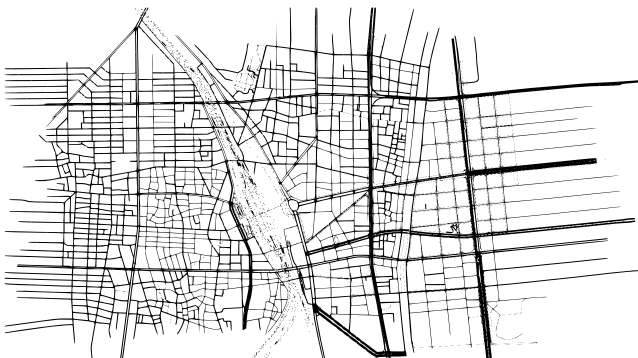


図 4 名古屋駅周辺ネットワーク
Fig. 4 Traffic network around Nagoya Station

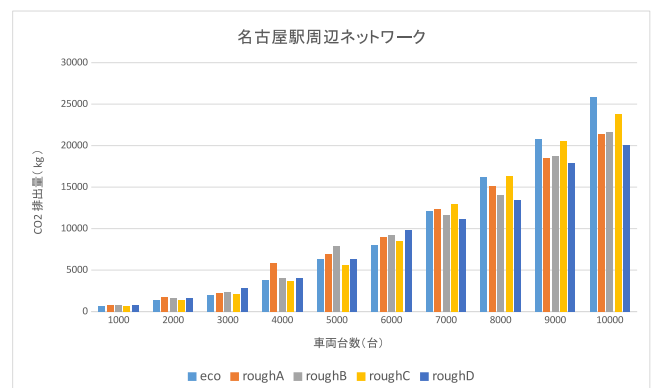


図 6 CO₂ 排出量/名古屋駅周辺
Fig. 6 CO₂ emissions/Nagoya Station

約 3%から 8%の減少が見られた。

図 6 の名古屋駅周辺のシミュレーション結果を検討する。eco に対し、roughA の CO₂ 排出量に約 2%から 56%の増加が見られた。一方で、島根大学周辺とは異なり、車両台数が 8000 台以降から約 6%から 17%の減少が見られた。次に、roughB では、約 7%から 24%の増加が見られ、車両台数が 7000 台以降から約 3%から 16%の減少が見られた。roughC では、約 3%から 7%の増加が見られ、約 1%から 9%の減少が見られた。最後に、roughD では、約 1%から 41%の増加が見られ、約 7%から 22%の減少が見られた。

5.2 考察

島根大学周辺ネットワークと名古屋駅周辺ネットワークの両方で最大速度の変動による増加が一番大きいため、最大速度の変動が車の CO₂ 排出量に大きく影響している。すなわち、最大速度が CO₂ 排出量を決める大きな要因であることが明らかとなった。

反対に、負の加速度（ブレーキング）による増加はほとんどなかったため、負の加速度の変動による CO₂ 排出量への影響は小さいと結論できる。ただ、本研究のシミュレーションは、道路ネットワーク上に 1つの自動車タイプのみが走行するシミュレーションであるので、走行する車両すべてが同じ最大速度、加速度、負の加速度であるため、減

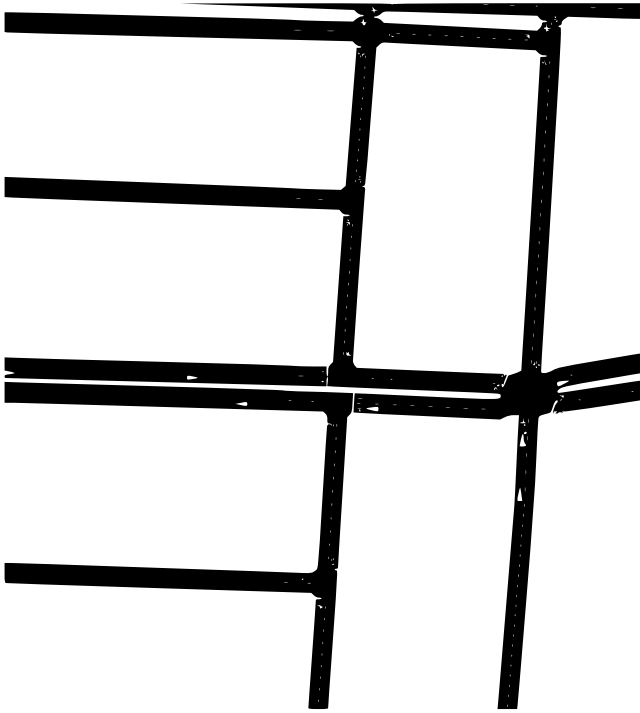


図 7 車両台数 5000 台での島根大学周辺ネットワークの様子
Fig. 7 Traffic around Shimane University with 5000 vehicles

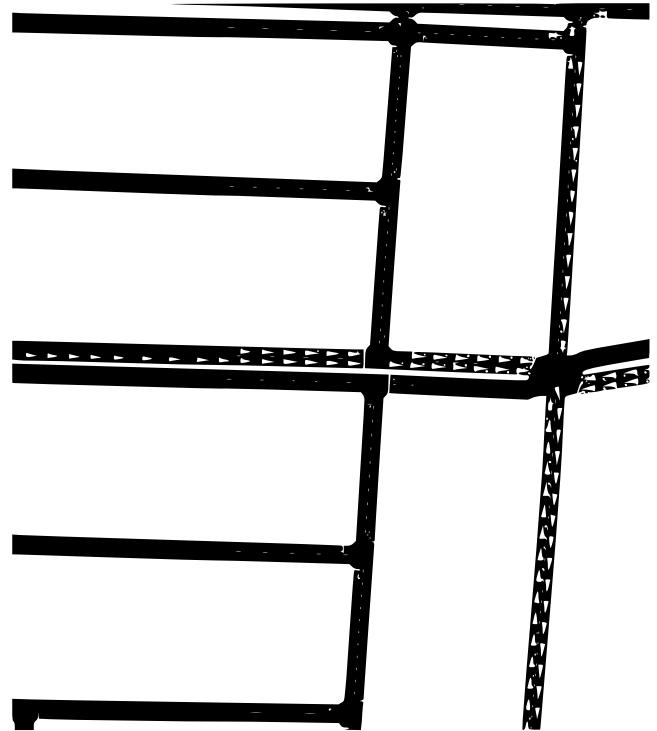


図 8 車両台数 8000 台の島根大学周辺ネットワークの様子
Fig. 8 Traffic around Shimane university with 8000 vehicles

速する機会が少なくなった影響ではないかと考えられる。

今回のシミュレーションでは、車両台数を推移させて、1000 台から 10000 台まで 1000 台刻みでシミュレーションを行っているが、両方の道路ネットワークで車両台数が増えるにつれて、エコ運転車の CO₂ 排出量がエゴ運転車を上回るようになった。この原因として考えられるのは、交通渋滞の影響である。交通渋滞が起きると、その交通渋滞に巻き込まれた車両が道路上で停滞し、その影響で全体の CO₂ 排出量が増えてしまうことが推察される。そして、エゴ運転車とエコ運転車を比較した際、エゴ運転車のほうが道路ネットワーク上を通過する速さは早いため、エコ運転車だけのシミュレーションのほうが先に交通渋滞が発生し、その影響で増えた CO₂ 排出量が今回のエゴ運転車を上回るという結果になったのではないかと考えられる。

実際に、車両台数が 5000 台と 8000 台のシミュレーションで道路ネットワークのある地点の交通量を視覚的に比べたところ、車両台数が 5000 台のネットワーク (図 7) では交通渋滞は起こらず、各車両が各々走行しているのに対し、車両台数が 8000 台のネットワーク (図 8) の同じ地点では渋滞が発生し、ほとんどの車両が停止している。

6. まとめと今後の課題

本研究では、街規模の交通網において人の運転特性が環境へ与える影響を、交通流シミュレータを使って定量的に調べた。車の環境負荷の低減を目指して、交通流シミュレータ SUMO を用いて、エゴ運転とエコ運転の走行を比較して、CO₂ 排出量を定量的に調べた。

2つの道路ネットワークのシミュレーションで最大速度の変動による CO₂ 排出量の増加が一番大きく見られ、最大速度変動が環境負荷への重要な要因となっていた。

一方で、負の加速度の変動による CO₂ 排出量の増加はあまり見られず、環境負荷への影響は小さかった。ただ、本発表のシミュレーションは、道路ネットワーク上に1つの自動車タイプのみが走行するシミュレーションであり、走行する車両すべてが同様の最大速度、加速度、負の加速度であるため、減速する機会が少なくなった影響ではないかと考えられる。また、車両台数が増えるにつれてエコ運転車の CO₂ 排出量がエゴ運転車を上回るという結果が出た。原因としては、車両台数増加による交通渋滞の影響が考えられる。

現実の交通環境を模擬した上で、エコ運転のみ、エゴ運転のみの道路ネットワークでのシミュレーションの比較によって、その2つの自動車タイプの差を定量的に調べたが、今後の課題として、1つの自動車タイプのみネットワークだけではなく、エコ運転とエゴ運転両方の自動車タイプが入り混じった道路ネットワークでのシミュレーションも行っていく必要がある。そうすることで、各自動車タイプでの混入率による影響も定量的に測ることができる。また、データの偏りを考え、今回シミュレーションを行った道路ネットワーク以外の道路ネットワークでのシミュレーションを行うことやシミュレーションの試行回数を増やすことも考慮していく必要がある。

参考文献

- [1] 国立環境研究所：“日本の温室効果ガス排出量データ (1990～2014 年度) 確報値”，
http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/data/2016/L5-7gas_2016-gioweb_J1.0.xlsx. (2018.2.12 取得)
- [2] 環境省：“世界のエネルギー起源 CO2 排出量 (2013 年)”，http://www.env.go.jp/earth/cop/co2_emission_2013.pdf. (2018.2.12 取得)
- [3] Brand C., Morton C. and Anable J.: “Lifestyle, efficiency & limits:modelling transport energy and emissions using a socio-technical approach”,
http://www.tsu.ox.ac.uk/news/170612-Brand_accepted.pdf,(2017).
- [4] Anable J., Brand C., Tran M. and Eyre N.: “Modelling transport energy demand: A socio-technical approach”, *Energy Policy* 41, pp.125138(2012).
- [5] Mierlo J.V., Maggetto G., Burgwal E.V. and Gense R.: “Driving style and traffic measures—influence on vehicle emissions and fuel consumption”, *Proc. Institution of Mechanical Engineers, Vol.218, Part D* (2014-2).
- [6] 加藤秀樹, 鈴木勉, 佐藤祥路, 安藤良輔, 近藤美則：“交通ミクロシミュレータを用いたエコドライブによる CO₂ 削減効果分析”, *エネルギー・資源学会論文誌, Vol.37, No.1*, pp27-33, (2015).
- [7] Qian G. and Chung E.: “Evaluating effects of eco-driving at traffic intersections based on traffic micro-simulation”, *Proc. Australasian Transport Research Forum 2011*, pp.1-11(2011-9).
- [8] Berry I.M.: “The Effects of Driving Style and Vehicle Performance on the Real-World Fuel Consumption of U.S. Light-Duty Vehicles”, Master thesis of Massachusetts Institute of Technology,
http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/research/beforeh2/files/IreneBerry_Thesis_February2010.pdf, (2010-5).
- [9] Ahn K., Rakha H., Trani A., and Aerde M.V.: “Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions Based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels”, *J. of Transportation Engineering, Vol.128, Issue 2*(2002-3)
- [10] Stevanovic A., Stevanovic J., Zhang K., and Batterman S.: “Optimizing Traffic Control to Reduce Fuel Consumption and Vehicular Emissions Integrated Approach with VISSIM, CMEM, and VISGAOST”, *J. of Transportation Research Board, No.2128*,pp.105113(2009).
- [11] “SUMO User Documentation - Sumo”,
http://sumo.dlr.de/wiki/SUMO_User_Documentation. (2018.2.12 取得)
- [12] “Open Street Map”,
<https://www.openstreetmap.org/>. (2017.11.20 取得)