

環境に配慮した交通行動を市民に促す情報提供システムによる CO₂ 排出 8%削減の社会実験

小野 晋太郎* 大口 敬 池内 克史 (東京大学)

花房 比佐友 飯島 護久 堀口 良太 (株式会社アイ・トランスポート・ラボ)

田村 勇二 光安 皓 市川 博一 (パシフィックコンサルタンツ株式会社)

8% Reduction Challenge of CO₂ Emission by Providing Regional Transport Information for
General Citizens and Promoting Their Eco-Friendly Travel Behavior – Social Experiment 2013

Shintaro Ono*, Katsushi Ikeuchi, Takashi Oguchi (The University of Tokyo)

Ryota Horiguchi, Hisatomo Hanabusa, Morihisa Iijima (i-Transport Lab. Co. Ltd.)

Hirokazu Ichikawa, Yuji Tamura, Akira Mitsuyasu (Pacific Consultants Co., Ltd.)

For reducing CO₂ emission from road traffic, we constructed a social system to make regional citizens aware of CO₂ emissions and to promote their eco-friendly travel behavior. First, regional traffic situations are discretely observed through monitoring cameras and probe information, and the whole situation in the region is estimated by interpolating simulation. Then, the CO₂ emission is calculated, visualized into the "Regional Transport Information", and displayed to the citizens through web. As a result of field experiments in Kashiwa City in Chiba Prefecture, we could recognize the possibility of roughly 8% reduction of CO₂ emission with the change of travel behaviors.

キーワード: 交通ビッグデータ, サイバーフィジカルシステム, 可視化, 複合現実感, 画像による交通モニタリング, データベース, ナウキャスト交通シミュレーション, 地域市民, 行動変容, パーソンプローブ

(Keywords: Transport Big Data, Cyber Physical System, Visualization, Mixed Reality, Video-based Traffic Monitoring, Database, Nowcast Traffic Simulation, Regional Citizen, Travel Behavior Change, Person Probe)

1. はじめに

運輸部門からの CO₂ 排出量は全体の約 20%を占め、その 9 割は自動車交通からの排出であり、官民挙げてその削減に取り組まれている。自動車交通からの排出量の削減対策として、環境対応車両の普及に期待が寄せられ、低環境負荷ルート算出などに関する研究も盛んであるが、従来型の施策は自動車単体あるいは運転者を対象とし、自動車利用の利便性を高めることに主眼を置かれている面が強い。

これに対し本研究では、運転者以外も含めた地域の市民全体を対象に、自動車利用・交通混雑による CO₂ の排出などをわかりやすく実感できる情報を提供することで市民に「気づき」を与え、経路や出発時刻の変更、低燃費走行、公共交通への乗り換えなど、環境負荷の低い交通行動をとるように促す。さらには、情報提供を通じて地域の交通・環境問題への意識を高めてもらうことで、エコドライブ機器の装着や環境対応車両への買換えなど、直接に移動に関わら

ない分野においても環境負荷を低減させる行動を促す。このような社会的な仕組みを構築し、評価することが狙いである。

本研究の概要を図 1 に示す。近年では、路上・路側センサなどの「分散型センサ群」から交通状態を観測できるようになっている。これらを統合・補間し、交通状況・CO₂ 排出状況を算出・可視化することにより、前述のような情報提供を実現し、市民の交通行動変容や意識改革を効果的に促すことを期待するものである。

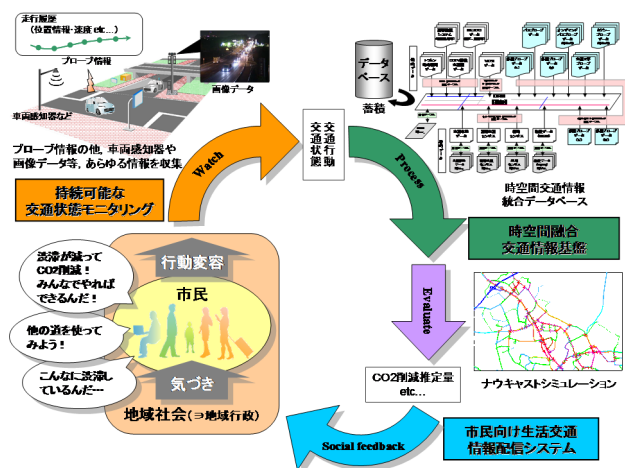


図 1 本研究の概要図 (社会フィードバックシステム)

Fig. 1. Overview – A social feedback system.

2. システムの概要

〈2・1〉 収集：交通観測 収集段階においては、以下のような様々な手段により、交通状況のオンラインおよびオフライン情報を獲得する。

(1) 路上・路側カメラの活用 通常は監視カメラとして用いられる路上・路側カメラの画像に、時空間 MRF 技術を活用することにより車両の交通流をリアルタイムで継続的に観測する [1,2]。図 2 に動作例を示す。今回構築したシステムにおいては、車両 1 台ごとの識別・速度計測・2 車種分類、5 分あたりの交通量、1 分に 1 枚程度の静止画を後述のデータベースサーバに自動的に蓄積可能とした。また、未設置箇所への展開も考慮し、IP カメラと WiMAX 回線を活用した過般型システムでも動作検証を行った。

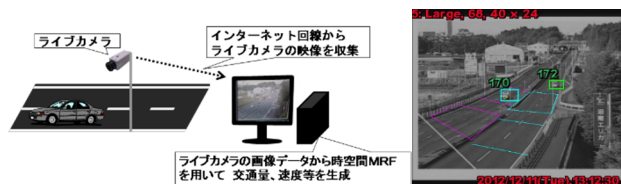


図 2 既設カメラを活用した交通観測

Fig. 2. Traffic monitoring using surveillance camera.

(2) ナンバープレート調査機器の活用 道路の主要箇所などでナンバープレート調査機器を活用することにより、各地点で車両を識別し、更に個人情報情報を排除した上でリアルタイムに照合する。これにより、起終点ペア(OD)ごとの交通量・旅行速度を時間帯別に把握し、交通流動・利用特性を推定することを可能とする。今回のシステムにおいては、千葉県柏市内の国道 6 号・16 号上の 4 断面上下線、計 8 台を設置し、OD 毎の速度データを後述のデータベースに蓄積可能とした。

(3) ライブシチュエーション型道路実況画像の収集

一般市民が交通状況を分かりやすく把握するためには、より直接的に「見た目」の状況を実感できることが効果的と考えられる。そこで、地域内の道路の擬似的な実況画像を取得・配信する。今回のシステムにおいては、計測車両に全周囲カメラと GPS を積載し、WiMAX/Xi 回線を通じて毎秒 1 枚程度の全周囲画像をサーバに蓄積することを可能とした。

地域内のあらゆる場所・時刻において実況画像が参照できるのが理想ではあるが、これは極めて高コストとなり現実的ではない。そこで、低頻度ながらも長期間にわたって様々な状況下(曜日・時間帯・交通量別など)で各地の全周囲画像を収集しておき、必要に応じて時間帯や交通量がもっとも近い状況の全周囲画像を提示する仕組みを構築した [3,4]。図 3 に概要を示す。



図 3 ライブシチュエーション型道路実況画像

Fig. 3. Providing “live-situation” road image.

(4) その他の入力情報 これら以外にも、車両感知器・光ビーコンによる地点交通量、プローブによる速度・旅行時間、ETC による OD 交通量、国土交通省の ITS スポット、バスロケーション、信号制御データなどから、さまざまな条件における道路交通状況を収集する。

また、時刻表、事故データ、気象データ、OD センサデータなどの統計的情報も、後述のナウキャストシミュレーションに対する補足的な入力情報として利用される。

〈2・2〉 統合：時空間融合交通情報基盤

統合段階においては、2・1 の入力情報を共通のデータベースに集約・蓄積したうえで、交通状況を補間推計し、CO₂ 排出量を推定する。

(1) ナウキャスト交通シミュレーション 収集段階で得られるデータは時間的にも空間的にも不連続・部分的であり、データの種類によってその解像度(密度・頻度)もまちまちである。これらのデータから補間処理により地域内の各地点・時刻における完全な交通状況を推計する [7, 8]。

一般街路の単路部 (DRM (Digital Road Map) のリンク) においては、区間への流出入交通データ、信号制御データ、プローブデータから、区間内の全車両軌跡を補間モデルにより推定する手法を開発した。図 4 に補間推計の例を示す。

より広域なエリアに関しては、基本となる現況再現ケース (ベースシミュレーション) を構築しておき、交通量や旅

行速度が実測値と整合するようにシミュレーションのパラメータを校正し、推計することとした。

今回構築したシステムでは、柏市および周辺 7 市を対象範囲とし、15 分周期で算出する。

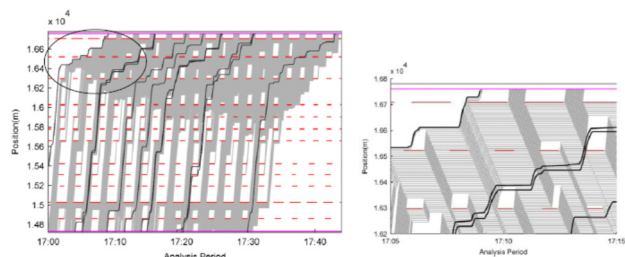


図 4 ナウキャストシミュレーションによる
車両軌跡の補間推計結果の例

Fig. 1. An example of estimating vehicle trajectories
by nowcast simulation.

(2) CO₂ 排出量の推定 CO₂ の排出量は、DRM のリンク毎に、ナウキャストシミュレーションにより推定した交通量、CO₂ 排出係数原単位 (EF)、リンク長を乗じて換算する。排出係数原単位とは、走行距離または走行距離重量あたりの CO₂ 排出重量 (g/km, g/km・t) を表す係数であり、今回は以下の算出式[11]を用いることとした。

$$EF = a/v + bv + cv^2 + d \dots \dots \dots (1)$$

ここで v は平均旅行速度であり、ナウキャスト交通シミュレーションで推定したリンク旅行速度を用いる。 a, b, c, d は、[11]に示される車種別 (小型・大型) の回帰係数である。

(3) 時空間交通情報統合データベース 収集段階で得られた情報はすべて共通の基盤データベースに蓄積される。データベースは各種入力データの受信、フォーマット変換、時刻・場所 (緯度経度、DRM リンク) ごとのデータ管理機能を有し、交通シミュレーションや可視化など、他のモジュールからのクエリに応じてデータを送信する[5,6]。

〈2・3〉 加工・配信：市民向け生活活動情報システム 加工・配信段階においては、地域市民向けの生活活動情報を生成し、Web やスマートフォン等を通じて広く情報配信する。

(1) 生活活動情報の生成と配信 2・2 の結果から、一般市民が地域の交通状況・CO₂ 排出状況などを分かりやすく可視化した情報 (生活活動情報) を生成し、環境負荷の低い交通行動をとるよう促す[9]。図 5 に今回構築したシステムにおいて提供されるコンテンツの一覧を示す。

広く市民全体を対象とした情報として、メッシュ別・道路別の CO₂ 排出状況、排出履歴と目標値の差の情報、さらに交通状況と CO₂ 排出状況を仮想化空間で可視化したイメージが Web サイトを通じて提供される。この仮想イメージは、

地域内の主要箇所において、CO₂ の発生量に比例したパーティクルをコンピュータグラフィックスにより描き、さらに図 3 のライブシチュエーション型道路実況画像と重ね合わせたものである。

また、個人毎に異なるコンテンツとして、エコルート (CO₂ 排出の少ない経路) の検索や一定時間内の到達圏、運転中のエコドライブ診断、他経路・手段を選択した場合の削減効果が、スマートフォンアプリを通じて提供される。

さらに、後述の社会実験への参加者向けには、CO₂ 排出抑制への貢献度とランキング、ポイントの獲得情報も提供される。

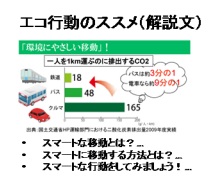
A. 地域全体のCO₂排出情報



B. 特定地点の交通・CO₂排出情報



C. 学習のための情報

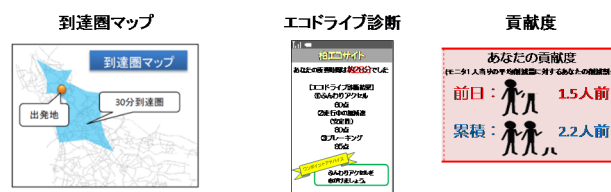


(a) 全体向け情報 (Web で提供)

D. 移動支援情報



E. 自分自身の行動・CO₂排出状況



(b) 個人向け情報 (スマートフォンアプリで提供)

図 5 生活活動情報のコンテンツ一覧
Fig. 5. Contents of the regional transport
information.

(2) 複合現実感技術による現場型提示システム 図 5 中 B の仮想イメージを更に発展させたシステムとして、実際の風景を背景として CO₂ の排出状況を提示する仕組みも提供される。これは、現場においてデジタルサイネー

ジ、タブレット等の表示装置を適当な方向に向け、その方向のCO₂の排出状況を複合現実感(Mixed Reality, MR)技術により重畳表示するものである(図6)。

今回は地域市民への常時サービス提供は行わなかったが、2013年10月の東京大学柏キャンパス公開に合わせて、柏の葉地区の国道16号においてサービス提供を行った。



図6 複合現実感技術による現場型コンテンツ
Fig. 6. On-site visualization using mixed-reality technology.

3. 社会実験

〈3・1〉 手法 千葉県柏市と周辺7市を対象地域として以下の実験を行った。評価の対象とする交通行動変容の種別は、X: 公共交通利用への転換、Y: エコルートの選択、Z: エコドライブの実施、の3種類とした。

(1) 調査1: パーソンプローブ調査 対象地域に居住し、車を運転する機会のある被験者131名を募り、2013年9月1日~12月6日の移動履歴を調査した。実験用のスマートフォンアプリにより移動時の目的地・移動方法・目的等と、GPS機能により計測した移動経路を送信してもらった。

生活活動情報の提供およびインセンティブの有無による影響を調べるため、期間中、9月は移動履歴調査のみで生活活動情報の提供なし、10月以降は情報提供あり、11月以降はさらに実験への参加と自身のCO₂削減量に応じてポイントが得られる仕組みとした。付与レートは、被験者を2群に分け、高・低2種類(0.1円/g, 0.05円/g)を設定した。

なお、これとは別に実験への参加登録に対しても基本謝礼としてポイントを付与した。

この移動履歴より、行動変容の実行頻度 f が以下の通りに変容種別X, Y, Zごとに求められる。

$$f = \text{行動変容の実行回数} / \text{全移動回数} \dots \dots \dots (2)$$

(2) 調査1': 交通行動変容の意向と受容性の調査 調査1の被験者に対し、実験期間前に交通行動変容X, Y, Zの意向があるか、期間後に実際に変容があったかを尋ねた。

さらに、このような取り組みの受容性を考慮するため、実験謝礼が無い場合やサービスが向上した場合(提供する情報の改善など)でも実験参加の意向があるか、期間終了後でも生活活動情報の提供があれば行動変容を続けるかを尋ねた。

(3) 調査2: 交通行動変容の意向調査(大規模) 対象地域に居住し、運転機会のある1,193人を対象にWebアンケートを行い、生活活動情報の提供により交通行動変容X, Y, Zの意向があるかをそれぞれ尋ねた。

(4) 交通行動変容割合とCO₂排出削減率の算出 変容割合は、意向の有無、実際の変容の有無、実行頻度を考慮するため、以下のように算出した。

$$R(X) = r(X) r(x'|x) f_{x'|x} + r(\bar{X}) r(x'|\bar{x}) f_{x'|\bar{x}} \dots \dots \dots (3)$$

ここで $r(X)$ は調査2でXの意向ありと答えた人の割合、 $r(x'|x)$ は調査1'で意向ありと答えた人のうち実際に変容したと答えた人の割合、 $f_{x'|x}$ はそれに対応する被験者らの実行頻度である。 $\bar{X}, \bar{x}, \bar{x}'$ は意向なしまたは変容なしの回答を表す。Y, Zについても同様に変容割合 $R(Y), R(Z)$ が求められる。

CO₂排出削減率は、 $R(X), R(Y), R(Z)$ の割合で交通行動変容が生じたと仮定した条件下で交通シミュレーションを行い、(1)式より求めた。

この他、生活活動情報の提供により環境意識が高まり、節電など交通以外の個別対策にも波及する効果が考えられる。これについても同様の方法により調査1'・2を行う際に実施状況や関心の有無を尋ねて変容割合を求め、排出原単位よりCO₂排出削減率に換算して加算した。

〈3・2〉 実験結果

(1) 交通行動の変容割合 交通行動の変容割合を表1上段に示す。種別は高い順にエコドライブ実施>エコルート選択>公共交通転換であり、インセンティブによらず同順位であった。また高インセンティブを付与した場合は変容割合が約2倍に増加したが、公共交通転換については1.6倍に留まった。

表1 交通行動の変容割合と継続以降

Table 1. Rate of travel behavior change and will to continue it after the experimental period.

	情報提供のみ (インセンティブなし)	情報提供+ インセンティブ(低)	情報提供+ インセンティブ(高)
公共交通への転換 $R(X)$	3.1%	5.1%	5.0%
エコルートの選択 $R(Y)$	3.5%	5.4%	7.4%
エコドライブの実施 $R(Z)$	9.2%	11.1%	20.6%

	情報提供のみ (インセンティブなし)	
公共交通への転換 b_X	83%	↑ 交通行動の変容割合
エコルートの選択 b_Y	91%	
エコドライブの実施 b_Z	95%	← 実験終了後の継続意向割合

(2) 基本ケースにおけるCO₂排出削減率の推定結果 ここまでの手法による基本的な推定(ケース①)の結果を図7に示す。インセンティブの有無に関わらず、10%以上の削減効果が見込まれ、削減目標の8%に到達していることが分かる。

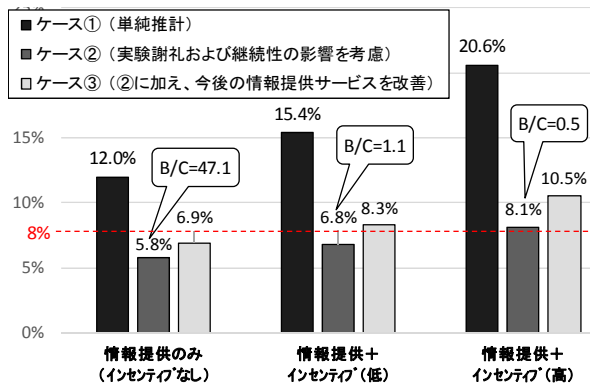


図 7 推定された CO₂ 排出削減率と費用対効果(B/C)

Fig. 7. Reduction rate of CO₂ emission estimated and cost effectiveness (B/C).

(3) 謝礼バイアスと継続性を考慮した推定結果 調査 1' の受容性に関する調査の結果を表 2 および表 1 下段に示す。表 2 より、 $a_2=30\%$ は、「謝礼がない場合」でも参加意向があることが分かる。これを予測ケース②とする。また、回答 7. はすべてスマートフォンアプリの操作性が向上すれば参加するとの意見であった。従って $a_3=45\%$ は、「謝礼がなくても今後のサービス向上がある場合」に参加意向があることが分かる。これを予測ケース③とする。

これらに更に表 1 の継続意向割合 b を乗じた $R_2 = a_2 b R$, $R_3 = a_3 b R$ を予測ケース②③における行動変容割合とし、改めて交通シミュレーションにより CO₂ 排出削減率を推定した。その結果を図 8 に重ねて示す。インセンティブを付与することにより、概ね 8% の削減目標を達成できる可能性があることが分かる。

表 2 今後の実験参加に関する意向調査の結果
Table 2. Rate of will to participate in this kind of experiment in the Survey 1'.

1. 今回と同様のポイントがもらえるなら参加する	52%
2. 今回以上のポイントがもらえるなら参加する	3%
3. 今回よりも役に立つ情報提供があるなら参加する	6%
4. 今回と同様の情報提供があるなら参加する	18%
5. ポイントや情報提供がなくても社会貢献などの趣旨に賛同できれば参加する	12% a_2
6. 参加したくない	0% a_3
7. その他	9%

(4) 費用対効果の評価 本システムにより直接的に得られる便益としては、CO₂ 削減そのもの、渋滞緩和による走行時間の短縮、走行燃料の節約が挙げられる。これらはそれぞれ、単位 CO₂ 削減あたり貨幣価値、時間の評価原単位、単位 CO₂ あたり燃料価格（普通車はガソリン、大型車は軽油）により貨幣換算が可能である。

一方、生活活動情報を提供するための費用としては、シス

テム開発費、維持費、インセンティブ費、さらに予測ケース③では追加開発費が挙げられる。

これらの比より算出した費用対効果 (B/C) を重ねて図 8 に示す。インセンティブを付与せず、提供サービスのレベルを据え置く場合でも、削減目標には達しないながら、非常に大きな費用対効果（約 47）が得られた。また、追加投資により削減目標を達成させる場合は、高いインセンティブを与えるよりも、サービスレベルの向上に投資した方が、社会的な価値が高くなることも分かる。

4. 柏 ITS スマートシティへの展開

本研究は、より包括的なプロジェクトである「柏 ITS スマートシティ」街作りの一部として位置付けられるものである。ここで、その背景と全体像について簡単に紹介する。

都心の北東 30km 圏に位置する千葉県柏市は、放射状・環状の幹線道路・鉄道が交差する要衝であり、事故・渋滞や CO₂ の排出、高齢化や鉄道新線の開業に伴う都市構造の変化など、新たな課題が生じている。これらの課題に対応するために ITS 技術の活用が望まれており、また一方で ITS の研究開発における様々な実験には行政の協力が得られる実証フィールドも必要となるため、ここに相互の連携が見出されている。

同市は 2009 年 6 月に ITS 実証実験モデル都市、2011 年 12 月に環境未来都市構想のモデル都市として内閣府より選定を受け、2010 年に設立された柏 ITS 推進協議会¹を中心に、以下の理念に基づいて「柏 ITS スマートシティ」(図 8) の街づくりを進めている。

- ・カーボンフリー：低炭素で環境に優しい人・車・自然の共生
- ・ストレスフリー：便利で快適なモビリティの利用
- ・モードフリー：個人に適した移動手段選択

同市に柏キャンパスを有する東京大学では、柏 ITS 推進協議会の活動を主導し、以下のような様々な ITS 技術の社会実装による地域の課題解決を目指している。

- ・交通情報の利活用：プローブやシミュレーションによる交通状況の把握・集約、仮想化空間における地域の交通状況・CO₂ 排出状況の可視化・配信
- ・ICT による中心市街地活性化：鉄道・バスのリアルタイム乗換情報提供、駐車場の利便性向上、観光・地域情報提供
- ・公共交通の再編検討と効果検証：高効率オンデマンドバス、ガソリン車・電気自動車・電動バイク・自転車などを利用できるマルチ交通シェアリング、省エネ型軌道交通（エコライド）
- ・次世代車両の研究開発：キャパシタ蓄電とワイヤレス給電を用いた電気自動車、自動走行カート、超小型モビリティ、パーソナルモビリティ

本研究で開発したシステムやサービスは、地域の情報拠

¹ 柏市、千葉県、国土交通省、経済産業省、東大、千葉大な

ど産官学 50 以上の団体が参画

点である「ITS 地域研究センター」発足させたうえで引き続き運用・展開する予定である。同センターは、主に大学および地域自治体が地域のステークホルダーとの連携を行う体制とする（図 8）。



図 8 柏 ITS スマートシティ
Fig. 8. Kashiwa ITS smart city.

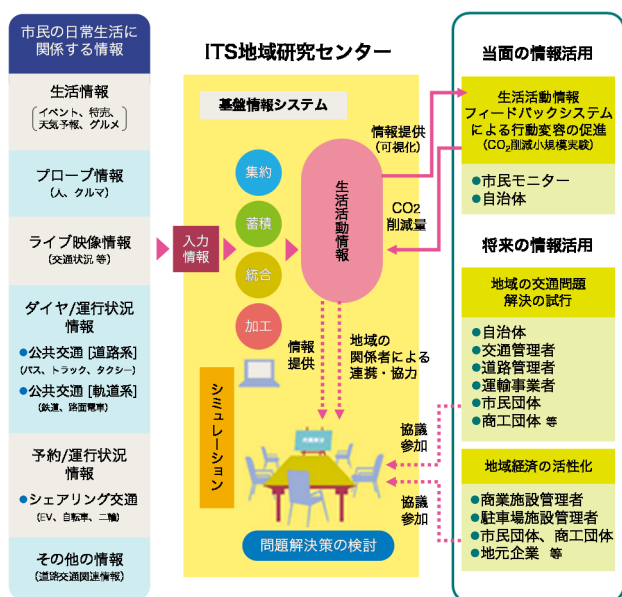


図 9 地域 ITS 研究センターの展開構想
Fig. 9. Concept of regional ITS research center.

5. おわりに

本研究では、地域の交通状況を可視化し、交通行動変容を促すことで道路交通からの CO₂ 排出削減を目指す仕組みを構築し、その効果を確認した。本技術の意義として、ナウキャスト交通シミュレーションと情報収集・配信の連携により、一般市民を対象とした交通施策の定量的・合理的な効果予測が迅速に可能となった。

従って今後は、災害時の交通状況把握や効率的な避難指示、二国間排出権取引制度における戦略策定などへの活用が考えられる。また、システムの基幹部分がすべてクラウド上で実現されるため、他地域への水平展開も推進しやすく、

今後も交通量の増加が続くアジア諸国を含む海外へも国際的な展開が期待できる。

謝辞 本内容は、総務省戦略的情報通信研究開発制度(SCOPE)「市民の交通行動変容を促進する持続可能な生活交通情報フィードバックシステムの研究開発」の委託に基づき、著者を含む次の 9 機関の皆様による共同研究として実施されました。東京大学：(池内克史、小野晋太郎)、上條俊介、大石岳史、小出公平、東北大学：桑原雅夫、株式会社アイ・トランスポート・ラボ：堀口良太、花房比佐友、飯島護久、アジア航測株式会社：吉村方男、亀田佳靖、森一夫、株式会社オリエンタルコンサルタンツ：田中淳、松沼毅、後藤秀典、株式会社国際情報ネット：長谷川雅人、須田昌仁、株式会社長大：佐々木卓、萬沙織、パシフィックコンサルタンツ株式会社：(市川博一、田村勇二、光安皓)、大島大輔、山下浩行、柏市：佐々木政秀

文 献

- (1) T. Matsunuma, A. Tanaka, H. Goto, S. Kamijo: 「既設カメラの画像センサ化と実フィールドへの展開」, 11th Symposium on ITS (2012)
- (2) T. Matsunuma, H. Goto, A. Tanaka, S. Kamijo: "Development and Field-Testing of an Image Sensor System with Existing Cameras", 20th World Congress on ITS (2013).
- (3) M. Yoshimura, "A Study on the role of information services to facilitate the transformation of the behavior of citizens", GITA-JAPAN 地理空間情報技術論文集 (2013)
- (4) M. Yoshimura: "A study on information services contributing to analysis of the traffic conditions through spatial technologies", 22th Oil & Gas Pipeline Conference (2013).
- (5) S. Sasaki, K. Kishi, S. Yoroazu, A. Tanaka, T. Matsunuma, H. Goto, R. Horiguchi, M. Iijima, H. Hanabusa, M. Yoshimura, M. sasaki: "A study for Development of Spatio-Temporal Fusion Traffic Information Infrastructure in the Sustainable and Regional Transport Information Feedback Systems", 11th Symposium on ITS (2012)
- (6) S. Yoroazu, S. Sasaki: "The Development of Kashiwa Cyber Physical Database to Integrate Time-Space Traffic Data", 20th World Congress on ITS (2013)
- (7) H. Hanabusa, M. Kobayashi, K. Koide, R. Horiguchi, T. Oguchi: "Development of the Nowcast Traffic Simulation System for Road Traffic in Urban Areas", 11th Symposium on ITS (2012)
- (8) H. Hanabusa, M. Kobayashi, K. Koide, R. Horiguchi T. Oguchi: "Development of the Nowcast Traffic Simulation System for Road Traffic in Urban Areas", 20th World Congress on ITS (2013)
- (9) M. Iijima, R. Horiguchi, T. Komiya, K. Koide, M. Kobayashi: "The development of regional transport information distribution system for citizens", 11th Symposium on ITS (2012)
- (10) A. Mitsusyasu, H. Ichikawa, Y. Tamura, D. Oshima, H. Yamashita, M. Hasegawa, M. Suda, H. Hanabusa, Mo. Iijima, S. Ono, T. Oguchi, K. Ikeuchi: "環境に配慮した効率的な交通行動への変容を促す生活活動情報フィードバックシステムの実証実験", 12th Symposium on ITS (2014)
- (11) 大城温: 「自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数」, 土木技術資料 vol. 43, no. 11, p. 50-55 (2001)