

# IoT 車両情報の社会応用に向けて

高原 勇

自動車は大いなる技術革新に直面している。現在最も注目される自動車の技術革新は自動運転であろう。自動運転の社会実装によりもたらされる IoT 車両情報は、新たな社会計測機能として活用され、さらには新たな社会サービスの創出が期待されている。Society5.0 のシステム基盤技術の実現とともに、IoT 車両情報は従来の時空間的常識を超える社会課題の把握を可能にする。同時に、その課題解決に向けた社会応用を可能とするであろう。

キーワード：IoT 車両情報、自動運転、社会計測機能、社会応用、システム基盤技術

## 1. はじめに

自動車は大いなる技術革新に直面している。化石燃料による内燃機関を動力源とする自動車が発明されて以来約 130 年間さまざまな技術の進化があり、現在に至っている。たとえば、自動車排出ガス規制への対応としては、内燃機関の改善からハイブリッド車両や電気自動車、さらには水素による燃料電池自動車へと環境対応技術は飛躍的に進んだ。

そして、現在、最も注目されている自動車の技術革新が、高度自動運転支援・自動運転（以下、自動運転と略す）である。自動運転の社会実装はさまざまな社会課題の解決に大いなる可能性を有している [1-3]。交通事故死傷者数を減じることに始まり、高齢化に対する高度運転支援や人口減少に伴う労働力減少下での物流支援、さらには過疎化が進む地域の公共バス等の公共交通機関の補完と都市においての公共交通との連携による次世代都市交通システム等の社会応用が直ちに想起される。さらに言えば、これまでにない新たな社会サービスの具体的な創出の契機と知能化が予測される。

自動運転の社会実装は本稿の主題である IoT 車両情報の活用という好機をもたらす。この IoT 車両情報については、筆者が「第 5 期科学技術基本計画 (2016)」[4] の中核となる「Society5.0」のユースケースとして内閣府システム基盤技術検討会 [5] ならびに内閣府エネルギー戦略協議会 [6] にて社会的応用に向けた可能性を提唱してきた [7]。Society5.0 とは世界に先駆けた超スマート社会を実現するためにサイバー空間とフィジカル空間が高度に融合する未来の姿の実現に向けた一連の取り組みを意味する新たな造語である [4]。

IoT 時代を迎え即時的で大規模な情報掌握は従来の時空間の常識や研究領域を一変させることになる [8-10]。加えて、膨大な情報量をもとにした知能化が加わることで、研究領域は境界なく広がり、あるいは境界を消失していくことであろう。公益性や利便性を追求した社会応用や社会実装には、多くの新たな課題をも発生させるが、新たな社会サービスの実現がさらなる高度な技術革新、要素技術開発の要請を生む。それは、物理的な空間とサイバー空間さらには社会サービス層をつなぐ情報精度とシステム基盤の追求が進展するであろう。その実現を掲げた施策こそが本稿の根幹となる Society5.0 である。

そこで、豊田市実証という具体例を通して、IoT 車両情報の定義や考え方ならびに社会応用の可能性について論じていく。Society5.0 との関係、ユースケースへの関心が深まり、今後のより多くの研究に資する契機となることを期待し論じていく。

## 2. 豊田市実証実験

### 2.1 IoT 車両情報とは

IoT 車両情報の定義ならびに社会応用への提言の大ききけ的な取り組みの一つとして、2011 年から経済産業省の次世代低炭素都市構築プロジェクトとして豊田市実証実験でのサンプリングデータを例示して説明する [11]。当時の実証実験では、開発された新型トヨタプリウス PHV が東山・高橋地区の住民を対象に 63 台供試された (図 1, 図 2)。個々の車両から現在の IoT 車両情報の骨格といえる走行情報・操作情報を約 5 年間にわたり、同一車種、同一地域でサンプリングを継続実施した。PHV の利用者へのご理解とご協力を得て、無線通信でリアルタイムにサンプリングされたトリップデータの蓄積と解析が大きな特徴である。

自動車で収集される情報を IoT 車両情報として定義してさまざまな利活用が考えられる。たとえば、走行速

たかはら いさむ  
筑波大学大学院システム情報系社会工学域  
〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1  
takahara.isamu.fn@u.tsukuba.ac.jp



図 1 実証実験に用いたプリウス PHV [16]



図 2 実証実験対象地域

度と位置情報を抽出し地図プロットしたものが図 3 となる。該当地域での交通流の円滑さを表すことができるであろう。また、瞬間燃費量と位置情報を同様に地図にプロットしたものが図 4 となる。同様に該当地域でのエネルギー消費量の算出、検証等に有用であろう。

2016 年熊本地震では、道路の通行可否情報を収集できた。このことも含め車両の走行時には極めて多くの情報を得ることが可能であり、IoT 車両情報は今後さらなる発展と収斂が進み変貌していくものと思われる。Society5.0 で提唱されるシステム基盤技術のプラットフォームが進展し、その代表的なユースケースである自動運転が社会実装されると、本稿の IoT 車両情報の収集・蓄積・分析・利活用ができる時代になっていく。

そうなれば、さまざまな社会課題をより広範囲で明らかにできるようになり、自治体や国家視点での社会課題への検討や対応のあり方に大きな影響を与える時代を迎えるであろう。同時に社会工学に代表される都市計画から地域再生さらにはインフラ監視や被災時の避難対応等さまざまな革新的な研究対象の創出につなげることが期待できる [12-14]。

一方で、その利活用には社会制度としての整備と規定が当然必要となる。マイナンバー制度との連動等の社会的便益の拡大とサイバーセキュリティへの担保等、法

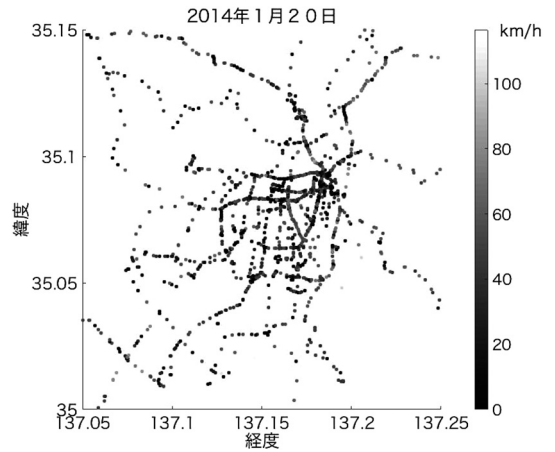


図 3 走行速度の空間分布

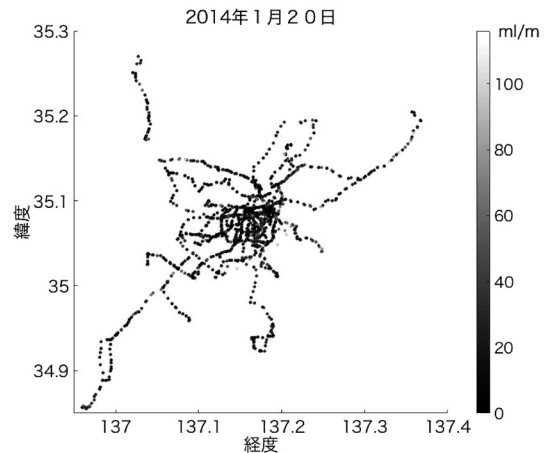


図 4 瞬間燃費の空間分布

制度の改正まで及ぶさまざまな課題も想起される [15]。

このように、車はこれまでの安全で快適な移動機能に加えて、移動媒体という特長を活かし IoT 車両情報として社会計測機能を持つことになる。地域にとって、社会全体にとって重要な役割と機能を持つことになる。そして人々の暮らしをよりよくしていく大きな役割と可能性を秘めている。

## 2.2 実証実験の概要と使用データ

本実証実験では、2011 年 10 月 20 日～2015 年 1 月 22 日にわたり、同一車種、同一地域でサンプリングを継続実施した。無線通信でリアルタイムにサンプリングされたトリップデータは走行累計距離 77 万 km 超、有効走行計測時間 33 万時間超に及んでいる。トリップデータとして今回は、始動時刻、出発位置（緯度・経度）、経路、走行距離、走行速度、走行終了時刻、到着位置（緯度・経度）、消費ガソリン量、消費電力量、回

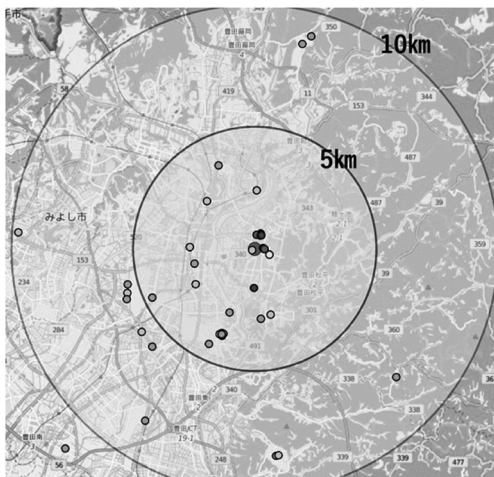


図5 自動車の空間分布

生電力量、航続可能距離の全11項目のデータを抽出してIoT車両情報として基礎的な例示をしている。トリップデータ数は12万件を超えるデータで検証している。

まず、はじめにIoT車両情報として、日々の自動車の利用実態の定性的な把握を試みる。駐車位置、走行距離、走行時間等からみていくと、まずある時刻の自動車の所在、駐車位置を時刻と緯度経度情報からプロットしたものが図5である。時刻別にIoTでつながっている自動車の所在把握が可能である。これはたとえば今後実装が検討される遠隔操作による自動運転と組み合わせれば、被災地での避難活動、または救援活動、さらには避難所への電源利用として応用が有効であることを示している。この地域では1回の運転距離が約20km以下の利用が多いことや、一日の利用時間は60分以下であることなどの実証結果や駐車所在情報と組み合わせることで、シェアリングカーシステムの潜在性評価につなげられる。また、同地域でのトリップ単位での走行速度と燃料消費の情報を組み合わせることで、渋滞とは異なる自由走行できるときには道路ごとに適正な燃費となる推奨速度等の検証も可能となる。この件について筆者は内閣府エネルギー戦略協議会にてDepend on Energy方式として制限速度の可変性や信号制御への利活用を提言した[6]。

### 2.3 トリップデータと基礎的な分析手法

次に実証実験でサンプリングされたデータを切り出してIoT車両情報としての静的な分析と活用事例を例示する。一般的に冬季のエネルギー消費量が多くなることは知られているが、5年間に及ぶ実証期間通期での同一車両、同一時期取得のトリップデータにおける燃費・電費の変動を明らかにする。同時にこの実証地

域での実測燃費・電費の予測式を導出する。

続いて、走行終了時点の後続可能距離と燃費・電費の予測式を用いて燃料タンク、蓄電池の残量の変動量の推移を分析する。個々の自動車の燃料残存の変動からエネルギー保有量、給油時期を見いだした結果と推定式との整合を検証する。結果の安定性に関しては中心極限定理を用いて説明する。

2011年発災の東北地方太平洋沖地震により被災地でのエネルギー補給が大きな課題となった。そこで、本研究では残量推定値を用いて、南海トラフ巨大地震による被災予測地域1都13県において、自動車が保有するエネルギー量を推定する。このような分析から、いざれ動的情報としてリアルタイムで大量のデータが収集・分析ができる環境を想定することで、IoT車両情報の機能と役割について、その利活用のあり方を明示している。

## 3. トリップデータの分析

### 3.1 利用実態とエネルギー消費量

本節では、大量のトリップデータを単純集計し可視化することで、本対象地域での交通行動の振る舞いを把握するとともに、データの確からしさを確認することでさらなる分析につなげる。以降、図6から図11までは全トリップ、つまり126,638個のデータのプロット図となる。

まず、図6に走行時間と走行距離との関係を示す。原点を通る右上がり直線が等速度となる。図から、ほとんどのトリップが平均時速100km以内で移動し、また、トリップ長も80km以内に収まっていることが読み取れる。

図7に、横軸に計測日、縦軸に走行時間を示す。

図8では、縦軸のみ変更し走行距離を示す。この二つの散布図からは、ほとんどのトリップが60分以内、20km以内であることが読み取れる。図9では、横軸に平均速度、縦軸にエネルギー消費量を示す。この図から時速50kmを超えると、エネルギー消費量が増大することがわかる。図10には、時間帯別のエネルギー消費量を示す。移動経路や日常性という観点でデータの質を保つために、全トリップから、通勤のトリップを抽出してエネルギー消費量を出発時刻別にプロットしている。往路として13,236トリップ、復路として7,439トリップを図化している。朝の通勤時にあたる往路のエネルギー消費量はばらつきも大きく、効率が悪いことが読み取れる。逆に瞬間燃費量と走行速度のIoT車両情報から正確な渋滞状況をリアルタイムで知り得るこ



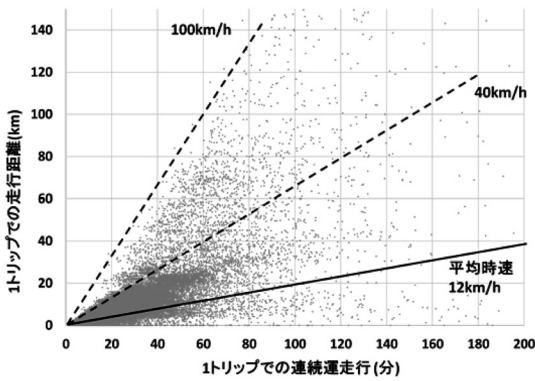


図 6 走行時間と走行距離 (トリップ単位)

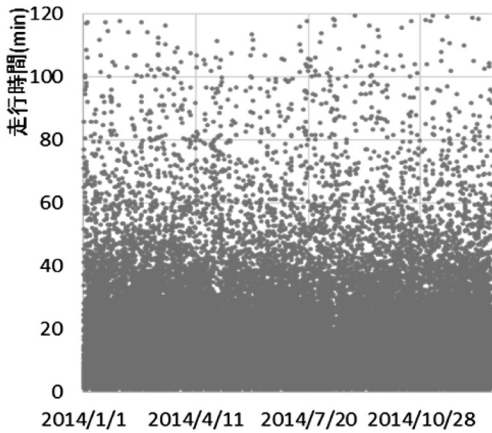


図 7 走行時間 (日単位)

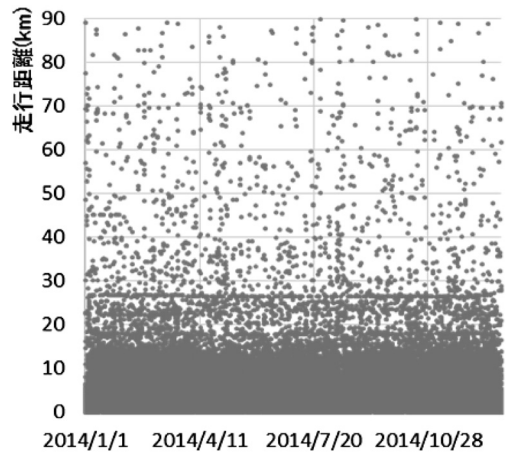


図 8 走行距離 (日単位)

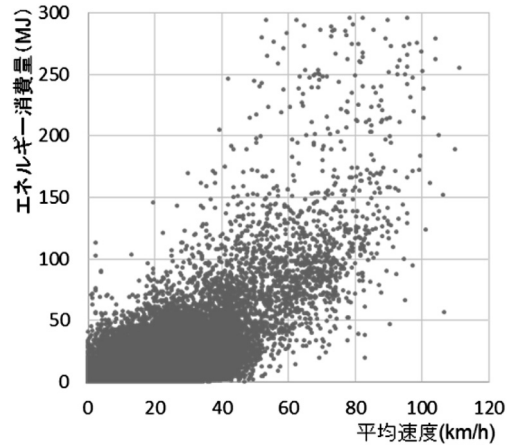


図 9 平均速度とエネルギー消費量

とができれば経路選択の誘導等がより精緻にできることになるであろう。

これらの情報は事後となってもさまざまな研究に活用できるが、広域かつ大量にデータサンプリングがなされ即時的に解析されていけば、時空間の情報掌握は大きな変貌を遂げて、社会課題の発見やその解決に大いなる可能性を持つことは理解いただけるかと思う。

### 3.2 電費・燃費の単回帰分析

燃料消費量に着眼して、実証地域での実測燃費と実測電費を時系列で表示すると、図 11 のようになる。全トリップを日単位で集計しグラフの上部のプロットが燃費、下部のプロットが電費を表す。この図から、両プロットともに逆 U 字型の繰り返しであり明らかに季節変動の影響があることが見て取れる。

この結果を踏まえ、横軸に豊田市の外気温、縦軸に燃費・電費をプロットすると、図 12 のようになる。これらプロットに単回帰分析を適用すると、燃費では  $R^2=0.41$ 、電費では  $R^2=0.31$  の次の回帰直線が得られた。

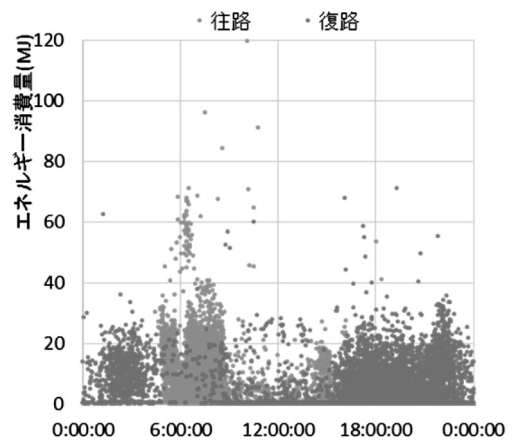


図 10 通勤時間帯のエネルギー消費量

$$Y = 17.25 + 0.236 * T,$$

$$Z = 2.93 + 0.064 * T.$$

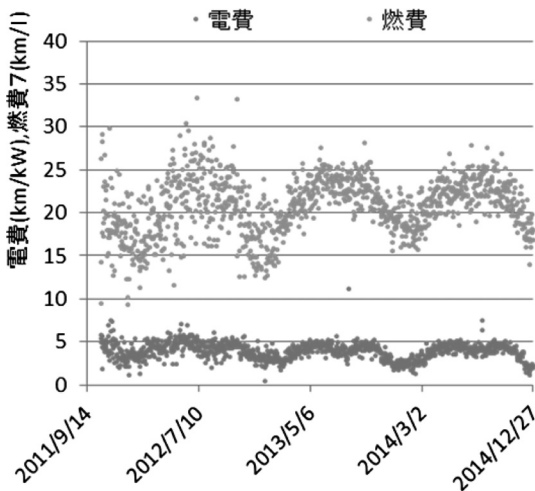


図 11 電費・燃費の時系列変化（日単位）

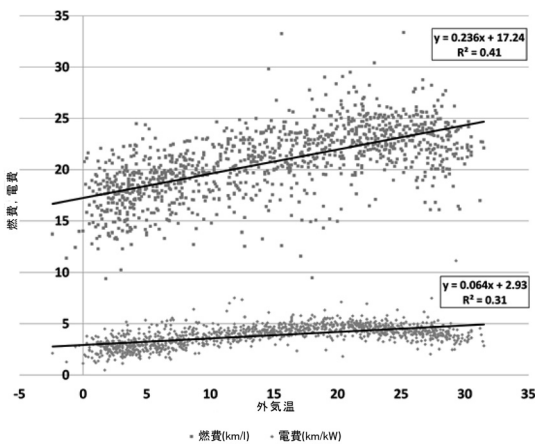


図 12 外気温と燃費・電費の関係（日単位）

説明変数  $T$  は豊田市温度（単位は摂氏）、被説明変数  $Y$  は燃費（単位は km/l）および  $Z$  は電費（単位は km/kWh）である。燃費は摂氏 0 度で 17.25 km/l であり外気温上昇とともに燃費が伸びる。また、電費も摂氏 0 度で 2.93 km/kWh であり外気温上昇とともに電費も向上する。サンプル数の大きさを鑑みると必ずしも精度が高くなく、一本の直線だけでは説明力は弱い。しかし、道路環境等の要因を除外せずとも、外気温が実測燃費に大きな影響を与えることが確認できるとともに、この地域での実質的な燃料消費量をリアルタイムで把握することの有用性、さらには、経路別等に精査を重ねれば、重回帰式の精度向上が見込まれ、気候の予測から地域でのエネルギー消費量を予測する等地域のエネルギー需給予測等の可能性を示唆している。

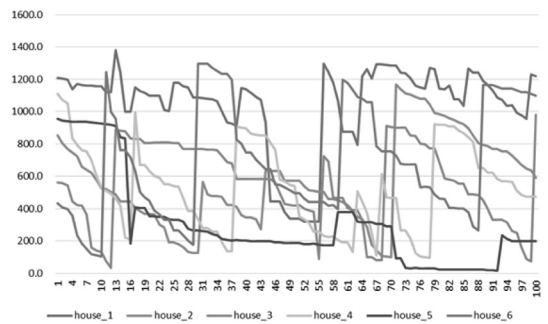


図 13 個車のエネルギー残存量の時系列変化

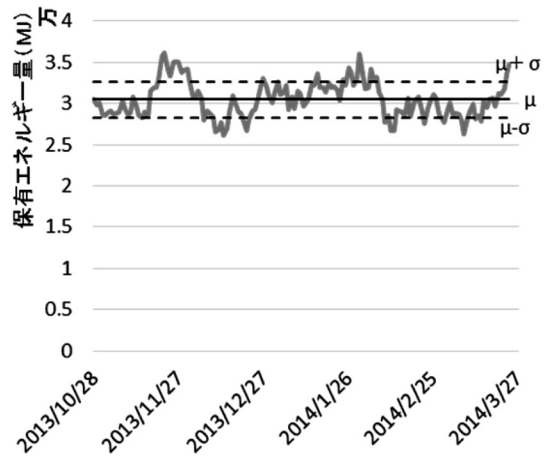


図 14 対象地域の総残エネルギー量 (MJ)

### 3.3 自動車保有エネルギー残量

#### 3.3.1 中心極限定理による区間推定

自動車エネルギー残存量について考察する。2011 年 10 月 20 日～2015 年 1 月 22 日のデータから、6 台のプリウスの時系列変化を抽出すると、図 13 のようになる。横軸が時間、縦軸がエネルギー残存量を表す。給油すると関数は上昇し、燃料を消費すると下に向かう。すべての自動車（サンプル数 60 台）で合計すると、日別の平均は  $\hat{\mu} = 30485$ 、分散は  $\hat{\sigma}^2 = 4801249$  となった。平均  $\mu$  を実線にて、 $\hat{\sigma}^2$  を用いた 1 シグマ範囲を点線にて図 14 に示す。これは台当たり  $\hat{\mu} = 508.3$  MJ となり、ガソリンの保有量に換算すれば約 15 L/台である。換算はガソリン燃焼熱量から 34.6 MJ/L として算出している。図 14 より、日別変動が少なく、エネルギー残存量が時間軸に対し比較的安定していることが確認できる。この安定性を中心極限定理を用いて説明する。

$n$  台の自動車を保有する地域を考える。 $x_i$  を自動車  $i$  のエネルギー残存量を表す確率変数、 $f_i(x_i)$  をその確率分布とする。もし  $f_i(x_i)$  が同一、 $x_i$  が互いに独

立だとすると、 $f(x)$  をそれら共通の確率分布とし平均を  $\mu$ 、分散を  $\sigma^2$  と定義すると、中心極限定理から、 $\sum_{i=1}^n X_i/n$  は平均  $\mu$ 、分散を  $\sigma^2/n$  の正規分布に従う。したがって、ある時点において一台の自動車が保有する平均ガソリン量も正規分布に従うといえる。

図 14 データでは、サンプル数が 60 と比較的多い。そして、図 13 に示す 6 本の関数形状が個車のエネルギー残存量の時系列変化を示している。また、給油タイミングも自動車毎に独立だと考えられる。以上から、中心極限定理が適用可能であり、個車が保有するガソリン量が精度付き区間として推定できる。具体的には、個車のガソリン量は 1 シグマ範囲には 68%、2 シグマ範囲には 95%、3 シグマ範囲には 99.7% の割合で含まれる。このように、平均値による点推定に加え、自動車エネルギー残存量が区間推定で可能となる。これは地域のガソリンステーションへの需給予測につながる。ことや将来の水素ステーションの整備計画において地域で必要となるエネルギー需要量の予測等の社会応用に有用であるといえる。

### 3.3.2 南海トラフ巨大地震

自動車の保有エネルギーの利用のあり方として水素による燃料電池車両やプラグインハイブリッド車による移動分散電源機能が注目されている [12]。燃料電池車の MIRAI [16] であれば最大出力 9 kw、給電器 (V2H) を接続して直流電源を交流電源とすることで最大 60 kWh の電力を有している。同様に PHV でも 40 kWh とされている (図 15)。すなわち、移動できる電源体と考えれば車両の位置情報とエネルギー保有量という IoT 車両情報に新たな社会応用の可能性に注目できる。すなわち、地域における移動できる電力保有量の確保の可能性である。直ちに想起できるのが震災の多いわが国での被災地での初動電源確保である。南海トラフ巨大地震への具体の備えはわが国の防災・減災政策の大きな柱である。そこで、この政策への応用を試みる。図 16 は、南海トラフ地震が発生したと想定したときに甚大な被害を生じると予測されている 1 都 13 県である。被災時に、自動車がどの程度のエネルギーを保有するのかを推定する。多くの方々の情報共有を狙い、算出の際には次のような仮定を設定する。まず、平成 27 年度の登録自動車がすべて、本研究の PHV 相当であるとすると。次に、被災時でも同数の自動車および住民数が存在するとする。

その結果、自動車が保有するエネルギー量を図示すると図 16 のようになる。愛知県が突出しており、次に東京都となっている。人口では東京都が愛知県より多



図 15 プリウス PHV の蓄電池機能 [16]

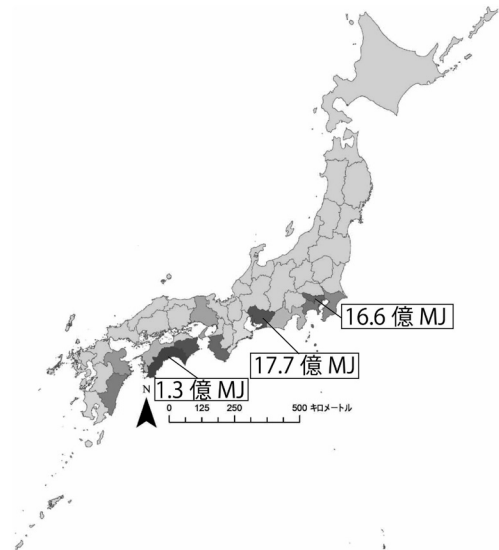


図 16 総エネルギー保有量

いが、自動車保有数が逆に小さいのでこのような結果となった。自動車保有数に比例するため東海エリアでは保有量は高く、一方で、和歌山、徳島、高知、大分、宮崎等の地方部では値が小さく、最小は高知県となっている。安政南海地震により、和歌山や高知が甚大な被害を受けたが、総量で見ると、保有量は小さい。

防災対策は行政や専門家だけではなく市民との協働が不可欠であり、そのためには単純な形での情報共有が必要である。ここでの試算は、現時点でのデータを利用し、人口減少、自動車所有率減等の将来値は含まないなど大雑把な分析である。一方で単純だからこそ理解しやすく多くの方々と情報共有が図れる。

## 4. おわりに

本稿では、IoT 車両情報として豊田市実証実験でサンプリングされた自動車の走行情報から社会応用の可能性について論じてきた。第 5 期科学技術基本

計画の第2章「未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組」で重要な施策として挙げられる Society5.0 による重要なユースケースとして挙げられた自動運転がもたらす IoT 車両情報としてのさまざまな社会応用の可能性についてご理解いただけたのではないと思う。以上から、IoT 車両情報の有用性とこれからのクルマのもつ社会的共通資本としての発展的可能性を示すことができた。

最後に産学連携について触れておきたい。今回の第5期科学技術基本計画においても大学改革の議論はもとより、産学連携のあり方についてはたいへん注目を集めまた期待もされている。トヨタ自動車株式会社は平成27年度より筑波大学システム情報系社会工学科と共同研究を締結している。これからの自動車の変革期にあたり、その技術革新を先読みして、本論のIoT車両情報の基本構想、社会応用、利活用への課題等を社会工学の視点で多面的に研究開発を進めている。共同研究にあたっては、研究・教育・社会実装の3面強化での推進を目指しており、新たな世代と新たな産学連携のモデルケースづくりも目指している。持続的な研究基盤を築き上げていくうえでも、産学連携において基礎理論と産業形成に必要な応用理論は社会実装への重要な両輪である。大学の持つ学際的な視点と産業界の新たな技術革新を融合することから、新たな価値を創出して、社会応用と産業形成を図る。同時に、若手人材を育成して未来を開拓していくことが、産学連携の重要な使命と考えている。

謝辞 本研究の一部は応用地域学会（2015年11月29日、慶応大学）、都市のOR研究会（2015年12月

12日、南山大学）で発表を行い多くのコメントを頂いた。筑波大学社会工学科、大澤義明先生、谷口守先生、吉瀬章子先生、藤川昌樹先生との情報交換は刺激的であった。記して感謝を表します。

## 参考文献

- [1] 内閣府、平成28年内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)自動走行システム研究開発計画、2016。
- [2] 鶴原吉郎、仲森智博、『自動運転—ライフスタイルから電気自動車まですべてを変える破壊的イノベーション—』、日経BP社、2014。
- [3] 保坂明夫、青木啓二、津川定之、『自動運転—システム構成と要素技術—』、森北出版、2015。
- [4] 内閣府第5期科学技術基本計画、2016。
- [5] 内閣府システム基盤技術検討会、第3回議事配布資料、2016。
- [6] 内閣府エネルギー戦略協議会、第10回議事録、2015。
- [7] 内閣府科学技術イノベーション総合戦略2016、2016。
- [8] 桑津浩太郎、『2030年のIoT』、東洋経済新報社、2015。
- [9] 小林純一、『勝者のIoT戦略』、日経BPマーケティング、2016。
- [10] 桃田健史、『IoTで激変する車—自動車業界に押し寄せるモビリティ革命—』、洋泉社、2016。
- [11] 一般社団法人新エネルギー導入促進協議会、愛知県豊田市における「家庭・コミュニティ型」低炭素都市実証プロジェクトのマネジメント、「次世代エネルギー・社会システム実証事業成果報告」、2015。
- [12] 高原勇、大澤義明、“自動車に残るエネルギー量の推定と被災地域への応用。”計画行政、2016（掲載決定）。
- [13] 高原勇、赤澤邦夫、大澤義明、“時空間アクセスから見た移動サービスステーションの効果。”計画行政、2016（掲載決定）。
- [14] 高原勇、大澤義明、湊信乃介、“矩形都市移動時における太陽光逆光割合。”GIS—理論と応用、24(2)、2016（掲載決定）。
- [15] 栗野盛光、高原勇、“走行情報に関するモニタリング選択問題。”応用地域学研究、20、2016（掲載決定）。
- [16] トヨタ自動車株式会社、トヨタ自動車WEBサイト、<http://toyota.jp/>（2016年7月29日閲覧）