

[フェロー記念講演] パラダイムシフトと ITS

長谷川 孝明[†]

[†] 埼玉大学大学院理工学研究科数理電子情報部門 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

E-mail: [†] takaaki@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿はフェロー記念講演のための原稿であり、ITS 分野を概観し、電子情報通信学会の ITS 分野の活動、近年のパラダイムシフトの引き金、ITS 分野とパラダイムシフトをいくつかのトピックスを挙げて論じている。

キーワード ITS, パラダイムシフト, モビリティ, IT 三大インパクト

[Fellow Memorial lecture] Paradigm shifts and ITS

Takaaki HASEGAWA[†]

Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

255 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama 338-8570 Japan

E-mail: [†] takaaki@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

Abstract This paper is for a fellow memorial lecture of the IEICE. An overview of the ITS field is mentioned, and the activities of the ITS research technical committee of the IEICE is introduced. After referring triggers of recent paradigm shifts, several topics on the ITS field and the paradigm shifts are discussed.

Keywords ITS, Paradigm Shift, Mobility, Three major impacts in IT

1. はじめに

昨年 9 月に電子情報通信学会からフェローの称号をいただいた。「情報技術に基づく ITS の基盤技術研究においてきわめて顕著な功績」という大変光栄な授与理由で、ご推薦いただいた方、ご審議いただいた方、ご尽力いただいた方はもとより、共同研究や意見交換頂いた方々へ心より感謝している。

モビリティとは人間がいきいき生きる上で最も基本的かつ重要な事項のひとつであり、モビリティ環境の充実は、一人一人の心身の健康を維持し、収入を支え、消費を促進することで社会の経済活動を活性化させる。サイバー空間のビットの移動とリアルワールドの人と物の移動は相乗的に作用する社会の要といえる。

筆者は ITS の研究を 1996 年より進め、道路交通に限らず、「IT (情報技術) で高度化する人と物の移動システム」とモビリティ・オリエンテッドな定義で研究を展開し、2000 年ごろよりシステム創成論的観点を加えた ITS を研究対象とし、さらに 2010 年ごろより QoS (Quality of Spatial Comfort; 空間的心地よさの質) を加えて、リアルワールドの IT によるモビリティの高度

化と経済活性化への工学的寄与を考えてきた [1]-[12].

本稿では、まず、ITS 分野と電子情報通信学会の ITS 研究専門委員会について簡単に述べ、次に、パラダイムシフトの引き金に簡単に触れ、次にいくつかの ITS 分野のパラダイムシフトに関して要点を述べる。最後に今後の展開を考えてゆく。

2. ITS 分野と電子情報通信学会の ITS 研究専門委員会

2.1. ITS 分野の歴史概観

毎年行われる World Congress on Intelligent Transport Systems (以降世界会議と略す) の第 1 回は 1994 年パリ、翌年第 2 回が横浜での開催となる。正確には会議の名称に ITS とつくのは第 2 回の横浜以降であり、第 1 回の世界会議と位置付けられている会議は“The first World Congress on Advanced Transport Telematics and Intelligent Vehicle-Highway Systems”という呼称であるが、その世界会議のテーマが“Towards an intelligent highway transport system”であった [13]. 日本では、1995 年の横浜の世界会議以降大きく盛り上がり、1996 年に当時の関係 5 省庁により「高度道路交通システム (ITS)

推進に関する全体構想」が策定され、活発にこの分野が推進された。図1はこれ以降の流れを示している。ここから2004年半ばまでをITSファーストステージと後に呼ぶようになる。今では広く利用されるVehicle Information and Communication system (VICS)に代表されるナビゲーションの高度化やElectronic Toll Collection (ETC)自動料金収受システム(当時の呼称)等、9分野21サービスが設定され進められてきた[14]。

2004年、日本ITS推進会議で「ITS推進の指針」が示され、その柱は「安全・安心」、「環境・効率」、「快適・利便」4)等上位の目的オリエンテッドな表現がなされ、個別のシステムの統合やプラットフォーム化が前面に出された。各種プロジェクト等は文献[12]を参照されたい。実用化の推進のファーストステージ、普及と社会還元加速のセカンドステージ、そして2010年以降は、社会課題への対応の次世代ITSとして持続可能なモビリティ環境の実現が謳われている。特に今後のITSについて、社会背景の変化、技術的背景の変化を踏まえて、地域ITSの拡大、次世代モビリティ社会の実現に向けて努力が続けられている。その方向性は、(1)安全・安心な交通システムの構築、(2)次世代型自動車社会の構築、(3)環境への対応、(4)情報通信技術発展への対応、(5)次世代型の人や物の移動への対応、(6)地域と一体となったITS導入促進、(7)災害時への対応、(8)国際化への対応、の8点にまとめられている[14]。

ITSという名称が使われたのは前述の通り1994年からであるが、センシングや情報通信、信号処理、情報処理を用いて、特に道路交通の高度化を図るITS分野の源は、米国カリフォルニア州のPATH (Partners for Advanced Transportation Technology) プログラムや欧州のPROMETHEUS (PROGRAMME for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety) 計画等、1980年代まで遡れる。さらに自動運転、経路誘導、交通情報提供等のプロジェクトを含めれば、欧米日(原文の表記順を尊重)で1950年代まで遡れる[15]ことを付記しておく。

2.2. ITS 研究専門委員会

1997年電子情報通信学会の第二種研究会としてITS基盤技術研究会がスタートした。1999年には第一種の研究会として高度交通システム研究専門委員会が発足している。その設立趣意書の最後には、「ITSの研究は個別にはこれまでも発表されているが、発表・議論の場が従来のそれぞれの分野に基づいてしまい、限られた議論しかできなかった。いまこそこれらの個別の発表・議論の場を集約し、従来から見れば異分野の研究者・技術者の有機的な連携を促す場を提供すべき時であり、それによりITS技術の研究開発の発展を促すこ

とが本研究専門委員会の設置目的である。」の記述の通り、ITSという視点で、従来の細分化された個別分野を眺め、異分野のITSに関する有機的連携を目指して活動が開始された。

著者は2003年には、ITS JapanのITS基本戦略委員会の答申に深くかかわるITSプラットフォームに関する文献[1]を発表し、また、2005年には、ITS Japanなどでもその後が長らく使われたITS分野の体系化の図[2]を発表している。

3. パラダイムシフトの引き金

社会のいろいろな分野で何年か毎にパラダイムシフトが起こっている。ITSに深く関わる情報通信技術ICTに関するものを挙げれば、第一に種々のプラットフォーム化がある。ワープロ専用機からOSの上のアプリとして動作するワープロへ、フィーチャーフォンからスマートフォンへ、システム・バイ・システム(専用機)からプラットフォーム上のアプリとして実現されるシステムへの流れである。ITS分野直接的な例では、専用カーナビからスマートフォンのiOSやAndroidの上を実現されるカーナビアプリへの変化である。

ITS関連のシステムの多くは、種々の情報通信機能と位置特定機能の備わったプラットフォーム上のアプリとして実現が可能であり、それこそが社会的なコスト削減につながるのと考え方から、前述のITSプラットフォームが提案されている。プラットフォーム化の流れが2004年に共有され、セカンドステージに繋がっている。

著者は1980年のPCインパクト、1995年のネットインパクト、2010年のスマホ・クラウドインパクトを、IT三大インパクトと呼んでいる。ダウンサイジングにより個人でコンピュータを持つようになり始めた80年にはもちろんのこと、多くのPCがインターネットで繋がるようになった95年でさえ、Location Based Services (LBS)[16]などITのリアルワールド性は大きくはなったが、2000年代に入り携帯電話に位置特定機能がつくようになり、リアルワールド性が急速に拡大し、2010年に多くの人がスマホを持つようになると、時空間を超えるITが中心であった20世紀に対し、ITのリアルワールド性は極めて大きな意味を持つようになった。

ところで、日本では1995年ごろ多くの人が携帯電話を持つようになった。その後米国FCCの勧告によるところが大きい。2000年代に入り多くの携帯電話に位置特定機能が加わるようになった。さらに2010年にはそれにスマートフォンの特徴である各種センシング機能が加わった。これは、人々の持つ携帯機器すなわち社会インフラが95年以来の情報通信という単基軸

のインフラから、2000年を超えて位置特定という二次元基軸の存在に変容し、さらに2010年を超えると、センシングなど三次元基軸の存在に大変身を遂げた。

2003年「情報通信機能」と「位置特定機能」が主な機能であったITSプラットフォームは、2010年「情報通信機能」と「位置特定機能」と「センシング機能」を主な機能とするスマートフォン・プラットフォームが社会に浸透すると、元々プラットフォーム化と軽量化が押し寄せていたITSの世界にも大きな影響があった。次節ではITS分野とパラダイムシフトを、軽量化、プラットフォーム化、三次元基軸化の各点から考えてゆく。

4. ITS 分野とパラダイムシフト

ERPやETCは、TDMや建設費用や保守費用の捻出のため、当初ゲート（道路上の特定箇所）を通過する車両に通信やカメラを使い課金を行うシステムとして世界各地で展開されてきたが、これらの目的であれば、必ずしも昔の人手による料金収受の自動化のかたちこだわらなければならない。料金収受には二つの実現のかたちが考えられる。すなわち、インフラ設置ゲート型と、経路追跡課金型である。後者は、GPSなどにより特定される各車ごとのデータの確実な吸い上げが必要となる。これが成り立つには、技術的な側面のほか、不正に逃れた場合の罰金の扱いなど、社会的な習慣やコンセンサスなど社会的な側面も大いに関係する。数年前に、世界のETCの潮流は後者の方に潮目が変わったと考えている。

それではどちらが優秀か。それは一概に言えない。きっちりした課金のしやすいゲート型は、狭い国土の中で道路の出入りの場所の数が限られ、罰金に頼る国民性でない場合は合理性が高いであろうし、人口密度も低く広い国土で道路の出入り口も多数存在するような国では、インフラコストの点から後者の方に合理性があるともいえよう。

さて、地図の意味について考えてみたい。Wikipediaによれば、「地図とは地図（ちず）とは、地球などの地表、あるいは架空の世界の全部または特定の一部分を縮小表現したもの」とある[17]。絵地図やデフォルメ地図に代表されるように、全体のおおよその位置あるいはつながりの関係を示したような地図もある。いずれも相対的に位置関係を表しているものである。

全地球的測地系の一つ世界測地系1984(WGS84)はGPSで利用される座標系だが、宇宙空間に飛ぶ軌道の既知の衛星（時刻 t における i 番目の衛星の位置 $(x_i(t), y_i(t), z_i(t))$ の既知の）からのPN信号を受信し、その発信位置からの伝搬遅延時間から i 番目衛星との距離（擬似距離）を算出して、連立二次方程式の解の一

つとして受信者の位置を推定している。すなわちこれは宇宙空間をベースとした測位方式（天ベース）であり、大規模地震で短時間の地殻変動により数mずれても、あくまで天が基準で受信者の位置が推定される。

一方、車は天ベースの位置に基づき動くものではなく、明らかに地面ベースで対地、対建物、対障害物、對他者に基づき動くものである。すなわち、周囲の近隣の環境に対する相対位置で動く。相対位置は絶対位置のベクトルの引き算でも求まるし、Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR)のようなもので直接求めることも可能である。

人間は天ベースの位置などはまったく気にすることなく、相対位置のみで車を動かしていることは明らかであり、地図も全体に対する経路と自位置を認識することに用いている。すなわち、天ベースで大まかな位置は捉えるが、地面ベースで最終位置を決定することがやはり理に適っている。

Connected Vehicles(CV)の議論が極めて盛んであるが、著者らが文献[18]や[19]ほかで整理している通り、VISにはいろいろなサービスや要求事項、実現方法がある。車車間通信(V2V)の目的は多くは、お互いの車の位置など各車の情報を、レイテンシ(latency)や遅延の極めて小さな通信で瞬時に交換し合い安全運転や自動運転に利用することであろう。また、V2Vや路車間通信(I2V)により、CVを形成するとメンテナンスなどにも利用されるようになるだろうが、この場合情報量は大きくともレイテンシや遅延の許容範囲は大きい。全く性質が異なるので一律の議論は不毛である。上位レイヤのサービスから下位レイヤの要素技術まで同時に考える必要がある。

歩車通信(P2V)もしばしば話題になる。これもサービスを考えれば、車上の人と通りすがりの歩行者が会話をする訳もなく、歩車それぞれの情報、特に位置情報を交換して接触事故を防ぐというサービスを目的としているシステムがほとんどである。位置情報の交換に絞って考えれば、前述の通り相対位置の推定に他ならず、このためには、相対位置の直接取得か、または間接取得、すなわち、歩車それぞれの絶対位置の推定値の通信による交換である。

GPSでは各衛星からのPN信号の伝播時間で位置を推定しているのであるから、反射波は擬似距離を長くし、位置の誤差を発生させる。高層ビルなどによる鏡面反射や直接波の遮蔽は深刻な問題になることはよく知られている。接触の可能性は10cmの誤差でさえ問題である。人体も電波の吸収をする。平原で長時間の観測を許される条件ならmm単位の地殻変動が分かるとしても、動いている車の短時間計測による現在時刻の位置情報の確度の担保、動いている歩行者の短時間

観測による現在時刻の位置情報の確度の担保は技術的に困難を極める。間接取得（歩車通信による相対位置の取得）は、これらの移動体の短時間観測位置情報確度確保問題に加えて、確実かつ遅延の極めて小さな通信の三者の同時成立が要求される。

V2V で接触事故を防ごうとする場合も同様である。相対位置を LIDAR などで直接取得することは、車の走行に必要な範囲の情報取得であれば比較的容易であるのに対し、それぞれの絶対位置情報を通信で交換する間接取得は、前述の三要素の同時成立が必須である。

高層ビル街の GPS の位置特定は、しばしば受信機から見える衛星の数が問題にされる。平原であっても、高層ビル街であっても、幾何学的測位精度劣化度 (GDOP) は計算に利用する衛星の幾何学的位置関係で決定し、また、計算に利用できる衛星（求める GPS 受信機の位置とその時計の GPS 衛星のシステム時計とのオフセットの 4 つの未知数 $(x, y, z, \Delta t)$ を求めるため最低 4 機）が多いほど有利であるのは当然であるが、PN 符号の遅延時間推定の精度の決定要因はそのほかにも多数存在する。ここでは、地上に静止状態の測位と移動状態の測位の大きな違いとなる点を述べる。

静止状態では受信機の位置 $(x(t), y(t), z(t))$ は当然ながら t に依存しない。動いている場合、衛星からの受信は同様に行える（ドップラーは静止時とは異なる）が、得られた位置の時刻は位置特定の一回の観測時間中の中のある時刻の位置であり、最終的に計算後に出力される時刻より前の位置である。誤差がなければ結果として得られる軌跡は正しい。

さて、ここまでは建物の環境によらず移動に伴う誤差であり、通常の利用環境では大きな誤差ではない。大きな誤差は別の理由で生まれる。PN 符号の同期捕捉（同期引き込み; acquisition）と同期追従（トラッキング; tracking）の 2 つのモードがあることに起因する問題である。PN 符号の位相（タイミング）を、雑音を抑制し正確に測るには、雑音の影響は大きく受けてもまず大まかな同期引き込みを行い、次いで、雑音を十分に抑制した追従を行い、高精度の遅延時間推定を行う。ある衛星がビル陰に隠れ、再び見えた時に、良好に追従したままかぎりぎり追従モードのままか捕捉モードに戻ってしまうかは大きく位置情報の確度が異なる。また追従モードで帯域を絞れば、追従は続く可能性は高いが、変化には対応できない。移動しながら見え隠れする場合、定常状態の議論だけは済まず、過渡状態の議論が必要になり、受信機のアルゴリズムやパラメータにより性能が大きく変わってくることは明らかである。自位置の絶対位置の通信による交換で相対位置を得る方法の難しさは多岐に及ぶと著者は考えている。

昨今話題である自動運転にも GPS のような絶対位置の取得機構がおおよその位置の取得目的に必要であることは疑いないが、LIDAR のような相対位置の直接取得システムの低価格化も欠かせないことは明らかであろう。

以上、地図は最終的な利用の観点から、天ベースの存在というより地面ベースの存在で、建物の 3D 情報から自位置を決めてゆくような新しい 3D 地図の作製、**ranging and mapping** は ITS の分野でも、特に自動運転の高度化、実用化のためにも急がれよう。

ところで、「ナビゲーションに自位置は必要か?」という問いかけに対し、読者はどうお答えになるだろうか。著者の答えは否であり、そんな論文を本学会に書いたことがある [20]。もちろん大まかな位置まで不要な訳はないが、本当に必要なことは「自位置ではなく指示位置である。」というものである。たとえば運転者のフロントガラスにヘッド・アップ・ディスプレイ (HUD) で右折の位置を知らせる場合、まさに曲がるべき位置に矢印などの記号を表示すればよい。助手席で指示する人が「そこ右に曲がって!」と言うように。指示する人は車の正確な現在 WGS84 の位置などは意識して指示している訳ではない。右に曲がるまさにその位置（指示位置）を運転者に分かるように伝えているだけである。

さて、位置特定基盤に関する話に移そう。GPS が第一の位置特定社会基盤になったことは誰の目にも疑いのないことであろうが、フィーチャーフォンからスマートフォンに移った 2010 年以降急速に Wi-Fi が第二の位置特定社会基盤となったという認識に異論を唱える人は少ないだろう。GPS と Wi-Fi のスイッチを同時にに入れてスマートフォンを持って街の中を歩き回れば、せっせと GPS の位置情報と Wi-Fi のアクセスポイント (AP) 情報 (MAC アドレスと RSSI) がサーバにアップされ、ひもつけされて、やがて AP 情報だけで、位置が分かるようになる。Big data としてサーバに溜められ、精度は日に日に向上する。アーケード街など場所によっては GPS より確度の高い位置情報が得られる場合もある [21]。GPS の見えない地下や屋内でも位置情報を提供することは可能である。ただしこの場合は、AP の情報とそのひもつけすべき位置情報は別途データベースに教える必要はある。こういった第二の位置特定社会基盤の Wi-Fi も、多数設置されている AP の利用のため社会的なコストは低いことは魅力であるが、欠点がないわけではない。モバイルルータもあれば、引越しもあり、機器の交換もある。電波の遮蔽、反射、回折はもとより、時間的に発信の電力が大きく変わることは扱いを難しくする。

その点 Blue tooth Low Energy (BLE) は発信電力を一

定にできる点で使いやすいが、発信機をインフラ設備としてわざわざ用意する必要がある。一台の発信機のコストは小さくても、わざわざ用意する点で Wi-Fi とは大きく異なる。

JAXA 考案の Indoor Messaging System (IMES)は、GPS のファームウェアの切り替えだけで GPS チップの屋内利用が可能になる点は魅力的であるが、基本的に GPS の PN 符号の SIK で乗せる航法メッセージの代わりに屋内に取り付けた衛星に変わる発信機からの当該位置情報を乗せる方式、すなわち位置情報を GPS チップに情報通信で届ける方式であり、発信機を取り付けるコストはかかることと、屋外に出た時、完全な再引き込みの必要もある。また、近年のスマートフォンはフィーチャーフォンと異なり複数の比較的近距離の通信手段を持つため、スマートフォンを前提とするならば、必ずしも GPS チップの通信機能に頼る必要もない。

さて、ITS 分野は初期のウェアネスエンハンスメントから積極的なシステムの関与に広がり、安全の世界でも、衝突安全から予防安全への流れは鮮明である。シートベルトからエアバッグに移り、自動ブレーキに至っているが、明らかにビジネス上の変化もある。話題は尽きないが、本稿ではここまでとしたい。

5. むすび

Big Data は科学技術の潮目を変えた。すなわち、専門家のメカニズム解明による技術の進化から、機械学習とデータ駆動型イノベーション(DDI)へ大きくパラダイムシフトが起こった。医学、音声認識など分野を問わず起っているが、モビリティ分野も例外ではない。また、近年は自動運転を筆頭に FCV の水素自動車、立ち乗り座り乗りの PMV、EV など様々なプレーヤーが様々な活動を展開し、モビリティ分野が複雑かつ広範な分野であるがゆえに興味深い議論はあるが、本稿では言及せず、講演の時の議論に任せたい。

文 献

- [1] 長谷川孝明, "ITS プラットフォーム"EUPITS"~実現へのアプローチ~, "信学技報, ITS2003-8, pp.41-47, 2003.
- [2] 長谷川孝明, "ITS 分野の体系化について, "信学技報, ITS2004-97, pp.47-52, 2005.
- [3] 長谷川孝明, "システム創成と空間的心地よさの質について~IT による QoS の向上とモビリティ~, "信学技報, ITS2010-67, pp.287-292, 2011.
- [4] 長谷川孝明, "生活者 ITS プラットフォームと PDA について, "信学技報, ITS2004-27, pp.71-77, 2004.
- [5] Takaaki HASEGAWA, "Diffusion of Electric Vehicles and Novel Social Infrastructure from the Viewpoint of Systems Innovation Theory," IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol.E93-A, no.4, pp.672-678, 2010.
- [6] 長谷川孝明, "システム創成論とその応用としての超小型電気自動車「イヴ」, "IATSS Review, vol.36, no.3, pp.16-26, 2012.
- [7] 長谷川孝明, "モビリティと経済活性化システム創成, "信学総大, no.BI-6-6, 2012.
- [8] 長谷川孝明, "スマホ・プローブ・システム, "信学ソ大, no.AP-2-1, Sept. 2012.
- [9] 長谷川孝明, "新しい交通システムのデザイン論, "IATSS Review, vol.37, no.3, pp.224-232, 2013.
- [10] 長谷川孝明, "IT で高度化するモビリティのシステム創成論的観点からの研究開発, " IEICE Fundamentals Review, vol.7, no.2, pp.133-139, 2013.
- [11] 長谷川孝明, "IT で高度化するモビリティのシステム創成論的観点からの研究開発, " IEICE Fundamentals Review, vol.7, no.2, pp.133-139, 2013.
- [12] Shunsuke FUJITA, Takaaki HASEGAWA, and Tetsuya MANABE, "Ubiquitous Clerk and Virtual Planning Office -Significance of Actual Products-, " Proc. of the 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Seoul, Korea, pp.394-399, 2014.
- [13] European Commission. "Towards an intelligent transport system." Community Research and Development Information Service. http://cordis.europa.eu/news/rcn/3704_en.html.
- [14] ITS Japan, 日本の ITS—ITS 年次レポート 2014 年版, ITS Japan, 2014 年
- [15] 津川定之, "高度道路交通システムにおける通信システム, "信学論(B) Vol.J82-B, No. 11, pp. 1958-1965, 1999.
- [16] Axel. Location-based Services: Fundamentals and Operation. Wiley. 2005.
- [17] <http://ja.wikipedia.org/wiki/地図>, (2015 年 2 月 11 日閲覧)
- [18] Takaaki HASEGAWA, Kiyoshi MIZUI, Kaoru SEKI, "A Concept Reference Model for ITS Communication Systems - View from Vehicle Information Sharing -, " Proc. of the 13th World Congress on Intelligent Transportation Systems, CD-ROM, 2006.
- [19] Takaaki HASAGAWA, Kiyoshi MIZUI, Haruki FUJII, Kaoru SEKI, "A concept reference model for inter-vehicle communications," Proc. of World Congress on ITS CD-ROM, 2003.
- [20] 増田亮, 金帝演, 長谷川孝明, "指示位置指向の M-CubITS 車両 WYSIWYAS ナビゲーションについて, " 信学論(A), vol.J91-A, no.1, pp.11-20, Jan. 2008.
- [21] 長谷川孝明, 間邊哲也, 細江克治, 水野一男, "位置特定社会基盤のシステム創成論的考察—GPS/Wi-Fi/携帯電話基地局によるスマートフォン位置特定とアプリケーション—, " 信学技報, ITS2013-76, pp.69-78, March 2014.