

5 プローブ情報システム：車載センサを活用した環境情報の取得

植原 啓介¹

¹ 慶應義塾大学環境情報学部

■はじめに

「最近の自動車は、メカというよりはアクチュエータを備えた情報機器である」と言うのは言い過ぎかもしれないが、かなりの部分がコンピュータによって制御されているのは、まぎれもない事実である。車種にもよるが、1台あたりの自動車が扱う情報は、センサ情報と人間が操作するスイッチ情報等を合わせると100～300種程度になる。また、それを扱うプロセッサの数も自動車1台あたり100個程度になる。スイッチ類も周囲の状況に対する人間のリアクションを反映していると考え、巨大なセンサノードの集合が、我々の生活する空間を動き回り、絶えずスキャンしていることになる。

一方で、自動車のネットワーク化も進んでいる。近年では、多くのカーナビゲーションシステム(以下、カーナビ)が通信オプションを有している。これらのオプションを使うと、ネットワーク上のサーバから交通情報や気象情報、POI情報(Point of Interest情報: ランドマークとなる施設の情報や観光地情報など)等を入手することができる。さらには、スマートフォンにダウンロードして使うタイプのカーナビも存在する。当然のことながら、スマートフォンのアプリケーションとして存在するカーナビはネットワーク連携を得意とし、インターネット上のさまざまなコンテンツを利用することが可能である。

巨大なセンサノードの集合と通信ネットワークを合わせたシステムが「プローブ情報システム」と呼ば

れるシステムである。プローブ情報システムでは、自動車が持つセンサ情報をネットワークを介して共有することによって、生活に役に立つ情報を作り出す。すでに国内における大手自動車メーカーはこのようなシステムを実用化している。ホンダのインターナビプレミアムクラブ、トヨタのG-BOOK mX、日産のカーウイングスなどがこれにあたる。また、パイオニアのスマートループのようにカーナビメーカーが独立して運用するシステムも存在する。

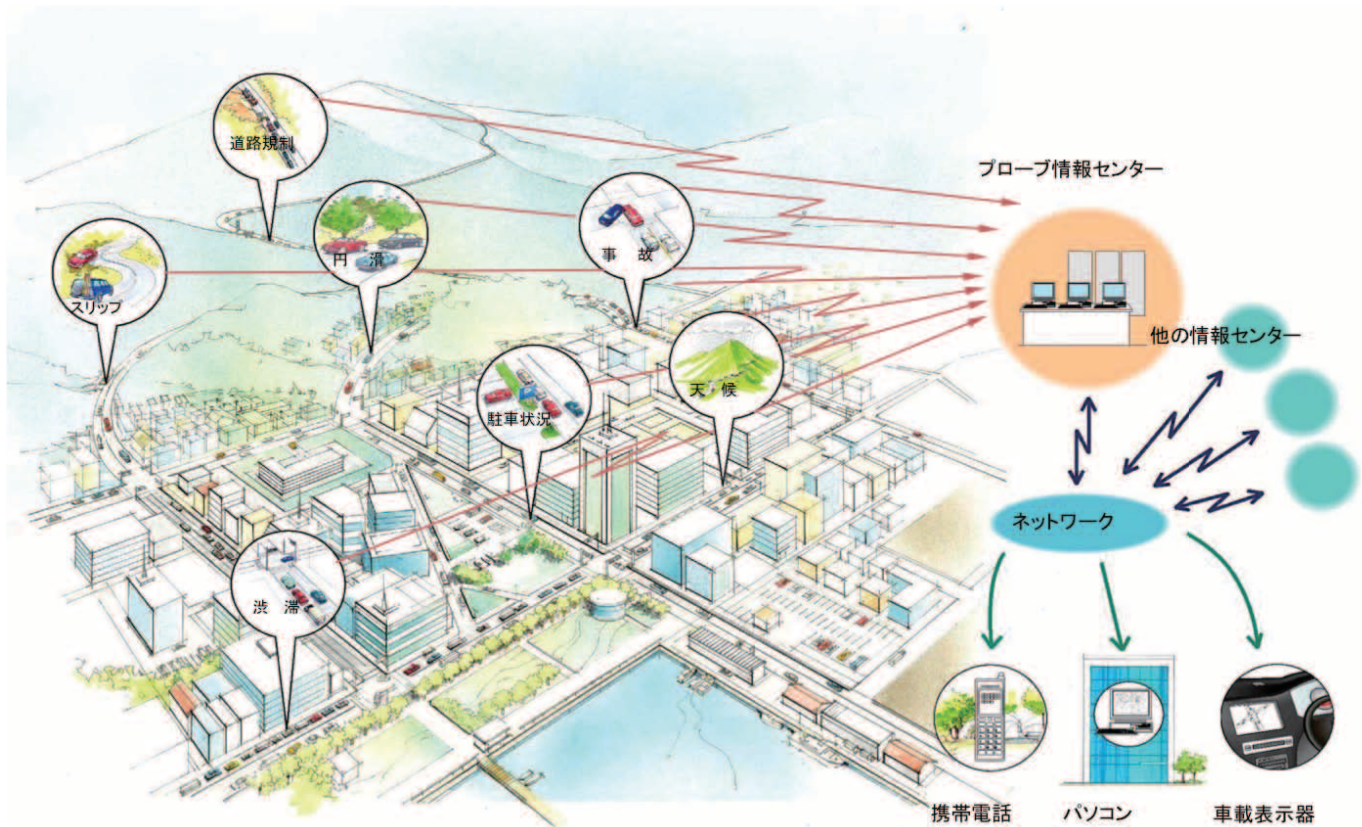
本稿では、まず、このようなプローブ情報システムの概念について紹介し、車両情報の収集のための技術、解析の技術等を俯瞰する。その後、新たな試みとして分散型のプローブ情報システムについて紹介し、本稿をまとめる。

■プローブ情報システム概要

前章でも述べた通り、プローブ情報システムは、自動車が持つセンサ情報をネットワークを介して収集し、これを統計処理などの適切な処理を行うことによって生活の役に立つ情報を生成するシステムである。プローブ情報のシステムの概念図を図-1に示す。図では、自動車が渋滞中である事実や「スリップした」といったイベントを、ネットワークを介してプローブ情報センタに収集し、これを携帯電話や家庭のパソコン、カーナビ等の車載表示器に提供している様子を示している。

プローブ情報システムによって生成される情報

5. プローブ情報システム：車載センサを活用した環境情報の取得



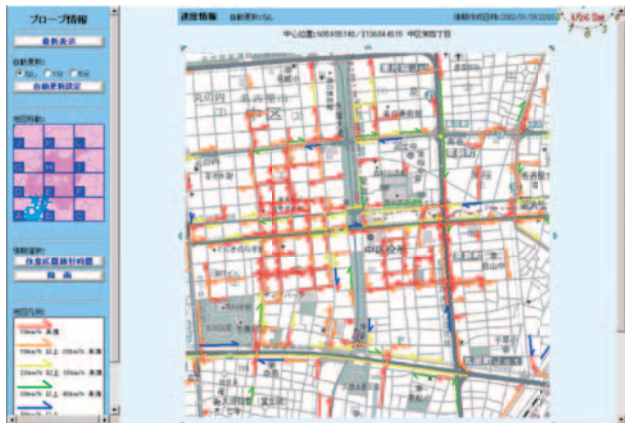
自動車走行電子技術協会（現日本自動車研究所）作成

図-1 プローブ情報システムの概念図

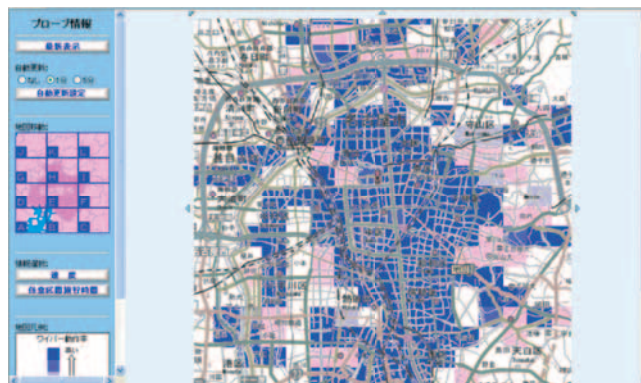
は、個々の自動車が持つセンサ情報をどのように活用するかというアイデアによって実にさまざまである。一番需要が多いとされるのは、すでに実用化されているように、交通情報である。交通情報の場合、基本的には車両の走行速度と走行位置をプローブ情報センターで収集することによって、道路ごとの走行状況が把握できる。また、安全走行情報としては、アンチロックブレーキシステム（Antilock Break System：ABS）の動作状況を収集することによって凍結している場所を認識できたり、ワイパーの動作状況を収集することによって降雨情報を知ることができる。さらには、エンジンを制御している電子制御ユニット（Electronic Control Unit：ECU）の情報を利用することによって、エンジン負荷の大きい経路を知ることができ、エコ運転に役立てることができる。図-2に実際のアプリケーション例を示す。これは2002年に筆者らが名古屋において実施したタクシーを使ったプローブ情報システムの表示例である。1500台を超えるタクシーから、位置、走行速度、ワイパーの動作状況

等をプローブ情報センタに収集し、このような情報を生成している。

図-2に示したようなプローブ情報システムの大規模実験を実施するに先立って、いくつかの実証実験が行われた。1998年度には筆者らのチームは人手によるプローブ情報システムの実現可能性検証を行った。自動車のセンサから直接情報を取得することが難しかったため、通過時刻等をストップウォッチで測り、机上計算によって最終的に交通情報が生成できるかといった検証を行った。その後、自動で車速等のデータを、携帯電話を介してプローブ情報センターに送る装置を開発し、開発した車載器を約300台のタクシーや塵芥車、トラックやバス等に設置し、横浜において実証実験を行った。その結果、塵芥車やトラック、バス等は一般の自動車と走行パターンが異なるため、交通情報を生成するためのプローブ情報システムのデータ収集にはあまり向かないことが分かった。一方で、タクシーを使った場合、駅前等に滞留する傾向は見られるものの、それ以外の場所では良



(a) 交通情報



(b) 降雨情報

図-2 プローブ情報システムの例

好に交通情報を生成できることが検証された。

また、独自に実験用の車両を仕立て、実験車両を交通流に乗って走らせることによって、車載器を搭載した車両の混入率によってはVICSなどのすでに一般的になっている交通情報提供システムとおおむね同じくらいの精度の交通情報が生成できることも確認した。このような努力や社会的要請によって、2002年6月には道路交通法の改正が行われ、民間においても届出を行うことによって予測交通流情報を提供する事業を行うことができるようになった。実は、上で触れた名古屋の1500台強のタクシーから収集した交通情報は、国内において初めて届出を行って交通情報を提供した事例である。

センシングネットワークの視点から見たプローブ情報システムの特徴は、すでにセンサが敷設されている点にある。もともと別の目的で使われていたセンサを、新たな目的のために転用することにより、安価に短期間でセンシングネットワークを実現することを可能としている。

■ プローブ情報システムの技術

プローブ情報システムは、大きくデータ収集部、データ処理部、情報提供部からなる。ここでは、プローブ情報システムにおいて特徴的なデータ収集部からデータ処理部までの処理の流れを概観する。

■ データ収集部

データ収集部の大きな役割は、自動車のセンサから適切なタイミングで情報を読み取り、読み取ったデータを正規化することである。自動車のセンサは、基本的には自動車の走行を支援するために敷設されているものであり、車両内で処理できればよいとの考え方に基づいて実装されている。このため、必ずしもプローブ情報システム、あるいはセンシングネットワーク向きではない。たとえば、車速を計測するにも、GPSから車速を収集したり、車輪に設置されたセンサから車輪速を計測したりするなど、複数の方法がある。また、車輪速は、車輪が1回転したときに決まった数のパルスが発生させる仕組みによって計測されるため、1回転当たりのパルスの発生数や車輪の半径が異なるなど、車両ごとに正規化する必要がある。このような問題を解決するために、ISOにおいてデータ辞書の標準化が行われている。

また、センサからデータを取得するタイミングや、これをセンタに送信するタイミングも重要である。定期的にさまざまなセンサのデータを収集した場合、自動車がプローブ情報センタに送信するデータ量は膨大なものになる。このような状況は、通信路にもプローブ情報センタの処理設備にも高負荷をもたらす。そのため、最終的に生成する情報に合ったデータ収集が必要となる。たとえば、筆者らが開発したシステムでは交通情報を生成するにあたって、定期的に車速を収集するのではなく、[図-3](#)に示すように自動車は

5. プローブ情報システム：車載センサを活用した環境情報の取得

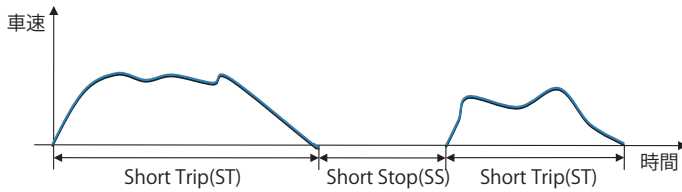


図-3 自動車走行パターンのセグメント化

「走っては止まる」の繰り返して走行していることに着目し、ショートトリップ (Short Trip : ST) の間の平均速度とショートストップ (Short Stop : SS) の停車時間を収集することとした。これにより、大幅なデータ量削減とST/SSのパターンを見ることによる渋滞検知を両立させることに成功した。

実際には、センサ情報をどのように収集するかは、収集したデータの汎用性とデータ量のトレードオフである。将来的にデータをどのように利用するかも含めて、データ収集手法を検討する必要がある。また、センサから取得したデータは、多くの場合ノイズが入っている。特異なデータは収集した時点で削除しておくことが有用である。このようなデータの異質部分を取り除く処理のことをクレンジング処理と呼ぶ。クレンジング処理では、特異なデータの削除のほかに、時系列で不足しているデータを補間したり、ノイズまじりのデータをスムージングしたりする処理を行う。このようにして収集されたデータは、あるタイミングでプローブ情報センタに送られる。

■ データ処理部

各車両からプローブ情報センタに送られたデータは、生成する情報に合わせて処理される。たとえば情報を0次元情報、1次元情報、2次元情報、3次元情報に分類することができる。0次元情報は、ある点で発生する事象である。道路の凍結や陥没などがこれにあたる。1次元情報は道路に沿った情報であり、代表的なものとして交通情報を挙げることができる。2次元情報および3次元情報は空間に面的、立体的に広がる情報である。プローブ情報システムの場合、自動車は地表面しか走行しないため、3次元情報に分類されるものはあまり存在しないと考えられるが、

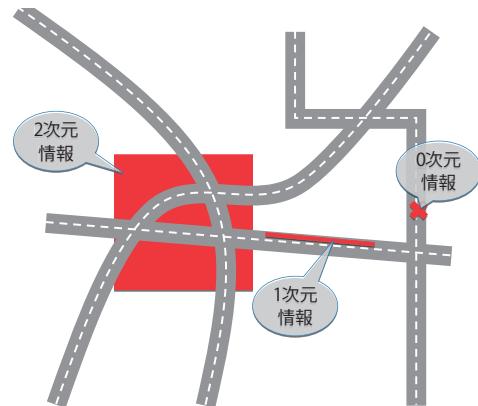


図-4 生成する情報

2次元情報としては降雨情報などが考えられる。図-4にそれぞれの情報のイメージを示す。

0次元情報とは、点の情報である。自動車からプローブ情報センタに送られてきたセンサデータの位置情報には、一般的にある程度の誤差が含まれている。0次元情報を生成する場合はこのことを鑑みて、データのクラスタリング処理等を行い、同様の情報を1点に集約する必要がある。その上で、実際にイベントが発生したのか、あるいはセンサによる誤検知なのかを検出する。

1次元情報の場合は、プローブ情報センタにおいて、送られてきたプローブデータを道路リンクにマッチングさせる必要がある。いわゆるマップマッチングと呼ばれる処理で、カーナビ等でGPSやジャイロによって取得した位置を道路に乗せる技術と同等のものである。道路リンクにマッチングされたデータは他の同等なデータとの間で統計処理等を施されて道路の属性を示す情報として昇華される。

2次元情報の場合は、1次元情報に比べて簡単な処理となることが多い。一番簡単な方法は、空間をメッシュに区切って、メッシュごとに統計処理等の演算を施す方法である。前述の降雨情報の例は、正にこの方法によって処理されている。ほかにも、データが発生した点を中心に統計を取る方法や、メッシュをオーバラップさせながら処理を行う方法など、さまざまな処理手法が考えられる。

また、情報を生成する際には、特異な値を廃棄し、ある程度確実な情報のみを使って処理をする必要が

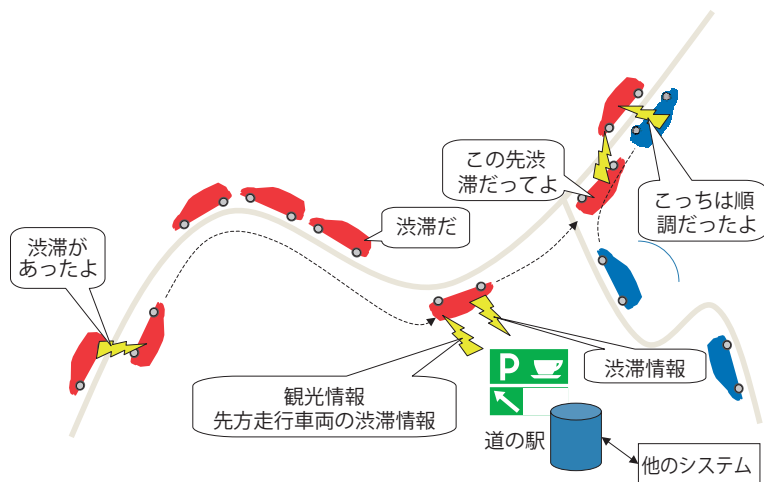


図-5 センタレスプローブ情報システム概念

ある。明らかなセンサの誤検知は、自動車がプローブ情報センタに情報を送信する前に廃棄することができるが、たとえば、乗降待ちのために車両が停車しているのか、本当に渋滞によって自動車が停車しているのかは、周囲の他の自動車の挙動と比較をしなければ判断ができない。プローブ情報センタでは、このような判断を行うための仕組みも必要となる。

■分散型のプローブ情報システム

現在、実用化されているプローブ情報システムは、いずれもプローブ情報センタに情報を集約し、処理を行う。このような場合、プローブ車両が増加したときの通信容量や処理負荷の増大が懸念される。そこで、筆者らは現在、プローブ情報システムを分散型で実現するためのプロジェクトを進めている。センタレスプローブ情報システム¹⁾と呼ばれるこのシステムでは、図-5に示すように、各車両がセンシングしたセンサデータを、車車間通信(すれ違い通信)を使って周囲の車両と共有する。センサデータを格納したメッセージの送信はブロードキャストによって行う。周囲の車両から同種の情報がある程度の数収集できたら、車両において統計処理などの処理を施し、交通情報などのプローブ情報を生成する。生成された情報もセンサデータと同様に車車間通信によって周囲の車両に伝達され、それぞれの車両においてカーナビなどで活用される。

センタレスプローブ情報システムは、大きくプラットフォーム部とアプリケーション部から構成される。図-6にセンタレスプローブ情報システムの車載システム構成を示す。センタレスプローブアプリケーションと書かれている部分がアプリケーション部で、それ以外の部分がプラットフォーム部である。アプリケーションは、交通情報や降雨情報、安全走行情報などたくさんのアプリケーションが同時に動作することが可能である。アプリケーションによ

ってセンサから収集されたセンサデータは、メタ情報を付加したメッセージに加工され、いったん自車両のメッセージプールに格納される。その後、情報伝達アルゴリズムによって選択されたメッセージが、車車間通信機能を使って車外にブロードキャストされる。ブロードキャストメッセージを受け取った車両は、受信したメッセージをメッセージプールに格納する。アプリケーションは、自車両でセンシングしたセンサデータと他車両から受信したメッセージ内のセンサデータの双方を使って、より確度の高い情報を生成し、もう一度メッセージプールに格納する。

このシステムでは、どのような戦略で周囲の車両に情報を伝達するかが重要となる。各車両が持つメッセージプールには多くのセンサデータと生成された情報が格納されたメッセージに入っている。ここでいう戦略とは、メッセージプールに格納されているメッセージから、どのメッセージを選択してブロードキャストするのかが決定するためのアルゴリズムである。筆者らの研究によると、このアルゴリズムを工夫することにより、メッセージプールに格納されているメッセージからランダムに送信メッセージを選択するのに比べて、交通情報を生成するまでにかかる時間を大幅に削減することが可能になる。

また、センタレスプローブ情報システムは、センタ型のプローブ情報システムと排他的な関係にあるわけではない。センタレス型で交換した情報を、広域通信網を備えた車両がまとめてセンタに送る仕組みや、

5. プローブ情報システム：車載センサを活用した環境情報の取得

交通情報などの生成された情報のみをセンタに送る仕組みなど、いくつかのセンタレス型—センタ型連携の仕組みを取り入れることが可能である。また、道路の周囲にある自動販売機や信号機等にセンタレスプローブ情報システムの車載器と同様のものを設置して、システムの動作安定度の向上を図ることも考えられる。このような、センタレスプローブ情報とセンタ型システムの連携やセンタレスプローブ情報システムの機能強化を図るための仕組みについては、未だ研究段階であり、今後の研究成果が待たれる分野である。

■ 標準化の動向

プローブ情報システムは、多数の車両が参加することによって成立する協調型のシステムである。このため、標準化が重要となる。現在、国際標準化機構 (International Organization for Standardization : ISO) の技術委員会 204 (Technical Committee 204 : TC 204)、作業部会 16 (Working Group 16 : WG 16) において、プローブ情報システムの標準化が進められている。ISO/TC 204/WG 16 では、日本からのメンバを中心に、欧米やアジアからのメンバが参加して、プローブ情報システムのアーキテクチャやデータ辞書、プライバシー保護ガイドライン等について標準化が進められた。すでに、プローブデータ標準や個人情報保護に関する基本原則等は国際標準として発行されている^{2), 3)}。また、基本的なプローブ情報システムアーキテクチャでは、センサから得られるデータをプローブ情報センタにおいて収集し、処理することによって実現されているが、車両で渋滞等のイベント情報に処理した後にプローブ情報センタに情報を送るイベント型のプローブデータについても検討されている。さらには、プローブ情報センタに集まるデータがあまりにも多くなり、センタ設備が高負荷になることを避けるためのプローブ報告制御方式についても技術仕様として取りまとめられつつある。

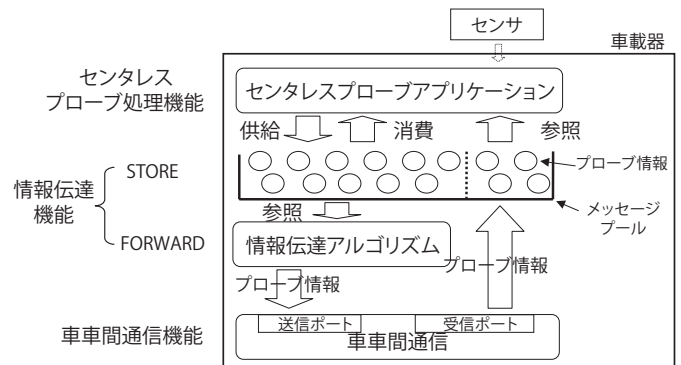


図-6 センタレスプローブ情報システムの車載システム構成

■ おわりに

本稿では自動車を使ったプローブ情報システムについて紹介した。プローブ情報システムは、すでに敷設されているセンサを活用するタイプのセンシングネットワークの1形態と見ることができる。ここで使われている情報処理の仕組みは、多くのセンシングネットワークの仕組みと共通に利用できる部分もあるであろう。今後、自動車のみではなく、家電等のさまざまなセンサを搭載した機器がネットワークに接続されることになり、プローブ情報システムのようなセンシングネットワークの可能性は多いに拡大すると考えられる。このような将来を鑑みて、センシングネットワークの拡張性や相互運用等について横断的に議論していく必要があるであろう。

参考文献

- 1) 佐藤雅明, 石田剛朗, 堀口良太, 清水克正, 春田 仁, 和田光示, 植原啓介, 村井 純: 実車両を用いたセンタレスプローブ情報システムによる道路交通情報生成アルゴリズムの提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1, pp.253-264 (Jan. 2008).
- 2) ISO 22837:2009, Vehicle Probe Data for Wide Area Communications.
- 3) ISO 24100:2010, Intelligent Transport Systems — Basic Principles for Personal Data Protection in Probe Vehicle Information Services.

(平成22年7月14日受付)

植原 啓介 (正会員) kei@wide.ad.jp

2003年慶應義塾大学より博士(政策・メディア)の学位を取得。現在、慶應義塾大学環境情報学部准教授。インターネット移動体通信やITS、位置情報に関する研究に従事。