

# スマートなモビリティ社会を目指して

— IBM の交通社会問題への取り組み —

加藤 整 竹内 淳一

## How Cities can Transform into Mobility Societies

- IBM Technologies for Intelligent Transportation Systems -

Sei Kato and Junichi Takeuchi

本稿は、交通社会問題解決に向けた IBM のソリューションを、戦略策定からソリューション構築、運用まで局面ごとに紹介する。IBM が提供するソリューションではまず ITS 成熟度モデルで現況を分析、将来の ITS 戦略策定を支援する。続くソリューション構築、運用局面では、グローバルのアセットや IBM 基礎研究部門で開発されたツールを利活用することにより、複雑な ITS の構築、運用サービスを提供する。これら end-to-end のソリューションによって、IBM は都市におけるモビリティ向上をサポートする。

We introduce IBM solutions that address traffic problems in cities, such as traffic congestion and environmental issues. The solutions first assess a city's progress by the use of the IBM Intelligent Transport Maturity Model, and these assessment results contribute to the development and implementation of comprehensive ITS strategies. In successive phases, IBM offers ITS development, delivery and operation solutions, which are based on IBM global assets and tools developed in the IBM Research. These end-to-end ITS solutions support improved mobility in cities.

Key Words & Phrases : モビリティ社会, 高度道路交通システム, 交通社会問題

Mobility Society, Intelligent Transportation Systems, Traffic Problems

### 1. はじめに

人間の移動は、人間社会を構成する根源的な要素の1つである。とりわけ陸上交通では、自動車の発明以降、モータリゼーションの進展と共に移動が高速化し、輸送効率が飛躍的に向上した。一方で、モータリゼーションは、多くの問題を引き起こしている。自動車が過密している都市は、慢性的な渋滞、騒音、自動車排気ガスによる大気汚染に悩まされ、郊外化した自動車中心の社会においては、移動手段を持たない交通弱者の問題も生じている。またグローバルにみれば、移動のためのエネルギー資源の確保、枯渇問題、自動車排気ガスに含まれる自動車二酸化炭素が引き起こす地球温暖化問題など問題は山積している。人間の移動、すなわちモビリティを持続可能なものにするためには、これらモータリゼーションによって引き起こされている交通社会問題の解決が必要不可欠である。

これまでに交通社会問題解決に向けた幾つかの取り組みがなされてきている。表1に示されるように、ポスト・モータリゼーション社会では、社会的アプローチとして自動車排気ガス規制、道路課金といった政策措置や、公共交通へのモーダルシフト、交通需要マネジメントといった取り組み、軽量軌道交通（Light Rail Transit：LRT：都市内交通に対する施策によって裏付けられた新世代の路面電車）、共用自転車、オンデマンド・バスなど公共交通中心の街づくりなどが実施されてきた。また技術的には、情報技術を活用した高度道路交通システム（Intelligent Transportation Systems：以下、ITS）の構築、低燃費、低公害型エンジンの開発が進められている。これらは一定の成果を上げているものの、依然根本的な問題解決には至っていない。

将来のモビリティ社会では、さらなる新技術の利活用により、交通社会問題の解決、豊かな社会の実現を指向する。この社会の特徴は、以下の2点に集約される。1点目は、モビリティの多様化である。これまでの交通社会では、主に内燃機関を主とした車両構成であったのに対して、モビリティ社会では、電気自動車、プラグイン・

提出日:2009年11月30日 再提出日:2009年12月12日

表1. 交通社会問題への取り組みの変遷.

	ポスト・モータリゼーション社会	モビリティ社会
社会的アプローチ	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動車排気ガス規制</li> <li>交通需要マネジメント</li> <li>公共交通中心の街づくり</li> <li>モーダルシフトの推進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GPSベース道路利用課金制度</li> <li>モビリティ・マネジメント</li> <li>スマート・グリッドによるEV・pHV普及推進</li> <li>リアルタイム交通管制システムの構築</li> </ul>
技術的アプローチ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ITSの構築</li> <li>低燃費エンジンの開発</li> <li>低公害エンジンの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>次世代ITSの構築</li> <li>EV・pHVを含めた多様なモビリティの開発</li> <li>プローブカーデータ・システムの構築</li> <li>インフラ協調システムの構築</li> </ul>

表2. 各局面におけるITSソリューション・ポートフォリオ. 括弧内は本稿内の該当する章番号.

	戦略策定局面	ソリューション構築局面	運用局面
サービス	<ul style="list-style-type: none"> <li>現況分析 (3章)</li> <li>交通戦略の策定 (3章)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ITSシステム構築 (4章)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ITSシステムの運用 (4章)</li> <li>コール・センター (4章)</li> </ul>
アセット	<ul style="list-style-type: none"> <li>ITS成熟度モデル (3章)</li> <li>交通流シミュレータ (5.1章)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>システム統合</li> <li>情報統合</li> <li>プロジェクト管理</li> <li>パフォーマンス管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通量予測ツール (5.2章)</li> <li>IBM InfoSphere™ Streamsによるデータ・ストリーム処理 (5.3章)</li> <li>ナンバー・プレート認識技術</li> </ul>

ハイブリッド車、燃料電池車といった新世代自動車、自動走行、隊列走行など周囲の車両と協調して走行する車両、一人乗り用自動走行車両など多様な車両によって交通流が形成されると思われる。これら車両の普及によってそれぞれ自動車二酸化炭素排出量の削減、渋滞解消、交通弱者への支援が期待されている。

モビリティ社会の2つ目の特徴は、政策措置のようにポスト・モータリゼーション社会では技術と結び付いていなかったソフト施策がより一層、情報通信技術と融合してきているという点にある。例えばドイツのアウトバーンでは2005年以降トラック向けに全地球測位システム（Global Positioning System：以下、GPS）を利用した道路利用課金が運用されている [1]。このようにGPSを利用して得られる膨大な位置情報を分析することにより、一般道を含むすべての道路において課金するGPSベースの道路利用課金システムの実証実験も現在進められている [2]。またプローブカーデータ・システム、交通流シミュレーションといった大量の交通流に関するデータを処理する大規模情報処理技術を活用した次世代ITSも将来のモビリティ社会の特徴の1つである。

IBMはこのような将来のモビリティ社会の実現を目指し、交通社会問題への取り組みを進めている [3]。では、IBMのソリューションはいかにして課題解決につながっているのだろうか。本稿の目的は、IBMの提供するソリューションを紹介することにより、それらが交通社会問題解決につながっていく過程を見ることにある。

本稿の構成は以下の通りである。まず2章において

IBMのソリューションを俯瞰し、カテゴリ化する。続く3章から5章で各ソリューションを詳細化する。まず3章においては、ITS成熟度モデルを紹介する。続く4章では、世界各国におけるITS構築事例、特に課金システムに焦点を当てて述べる。5章でIBM基礎研究部門における交通問題に関する取り組みの最新事例に関して述べる。6章に今後の技術的課題をまとめる。

## 2. IBMのITSソリューション・ポートフォリオ

さて、IBMは交通社会問題に対してどのようなソリューションを提供しているのだろうか。表2に、これら各局面でのソリューションのポートフォリオをまとめる。IBMは世界各国の都市交通問題に対して、ビジネス・コンサルティング部門の持つ分析手法、テクノロジー・サービス部門の持つアセット、デリバリー技術など、グローバルに展開された高い技術を活用することで問題解決に取り組んでいる。IBM基礎研究部門の持つ先進的な要素技術が積極的に活用されている点も、IBMの取り組みの特徴である。

以降、現況分析からITS構築、運用までの一連の過程を追いながら、3章においてコンサルテーション局面で利用されるITS成熟度モデル、4章において世界各国における課金システム構築事例、5章においてIBM基礎研究部門が有するアセットについて述べる。

## ガバナンス

## 交通網の最適化

## 交通サービスの統合

	レベル1 単一モード	レベル2 調整されたモード	レベル3 部分的に統合	レベル4 マルチモードの統合	レベル5 マルチモードで最適化済み
戦略的 プランニング	機能分野の プランニング (単一モード)	プロジェクト・ベース のプランニング (単 一モード)	統合されたサービス提 供機関規模のプラン ニング (単一モード)	統合された主要ルー ト・ベースのマルチ モード・プランニング	統合された地域のマル チモード・プラン ニング
パフォーマンス 測定	最小限	モードごとに規定さ れた測定基準	組織のサイロ全体に わたって限られた統合	共有されたマルチモ ードのシステム規模の測 定基準	継続的なシステム全体 のパフォーマンス測定
需要管理	個別の静的な手段	長期変動制のある個 別的手段	短期変動性のある調 整された手段	動的な料金設定	マルチモードの動的な 料金設定
データ収集	限定的または 人手による入力	主要路線に関しては ほぼリアルタイム	複数の入力を用いて、 主要路線に関してはリ アルタイム	主要ルート、すべて の重要モードに対する リアルタイムでのカバ レッジ	すべてのモード全体に わたるシステム全体の リアルタイムでのデー タ収集
データの統合 および分析	限定的で、その場 しのぎの分析	ネットワーク化されて いるが分析は定期的	高度な分析を伴う共通 のユーザー・インター フェース	双方向のシステム統合 とリアルタイムでの 分析	リアルタイムでのマル チモードの分析を伴 う、広範囲にわたる 統合
ネットワーク 運営の対応	その場しのぎの 単一モード	集中化された単一 モード	自動化された単一 モード	自動化されていてマル チモード	マルチモードのリアル タイムでの最適化
インシデント 管理	人手による検知、 対応、および復旧	人手による検知、調 整された対応、人手 による復旧	自動化された検知、調 整された対応、人手 による復旧	自動化された事前計 画的なマルチモードの 復旧プラン	リアルタイムのデータ に基づく動的なマルチ モードの復旧プラン
カスタマー・ リレーション シップ	最小限の機能で顧客 アカウントなし	それぞれのシステム /モードごとに、顧 客アカウントが別個 に管理されている	モードごとのマルチ チャンネルでのアカウン トのやりとり	各種のモード全体にわ たって統合された顧客 アカウント	マルチモードの使用を 最適化するための、統 合されたマルチモード のインセンティブ
決済システム	人手による 現金徴収	自動現金徴収機	電子決済	マルチモードの統合料 金カード	マルチモードでマルチ チャンネル (料金カード、 携帯電話など)
旅行者情報	静的な情報	リアルタイムでの警報 が限られた静的なト リップ・プランニング	マルチチャンネルのト リップ・プランニング とアカウント・ベース の警報サブスクリプ ション	旅行者に対する場所 ベースのマルチモード の情報	場所ベースの先行的 なマルチモードの旅 程変更

図1. 一般的な都市と世界の先進的なレベルの進捗比較. 文献[4][5]より転載.

図で実線は世界の一般的な都市の現状, 破線が世界の先進的なレベルを示す.

### 3. 交通戦略の策定

交通社会問題に取り組むには、まず現況を分析し、将来の交通戦略を策定する必要がある。IBMはこのために、ITS成熟度モデル、ITS戦略策定の提言を提供している。IBMは2020年のモビリティに関し世界の50を超える都市の上級交通当局者と議論し、これらを策定している[4][5]。本章では、それぞれを簡単に紹介することにする。詳細に関しては、文献[4][5]を参照されたい。

#### 3.1 ITS成熟度モデルを用いた現況分析

世界各地域における交通社会の課題、達成レベル、優先事項は異なっており、単純な比較が困難である。そこで、IBMは都市の成熟度を評価するための基底と

して、ITS成熟度モデルを策定、提供している。都市は、ITS成熟度モデル上に現状を位置付けて、自らの現在の進捗状況を評価、ITS戦略策定に向けたロード・マップを作成することができるようになる。

では具体的にITS成熟度モデルによってどのように進捗状況が評価可能になるのかを見ていこう。図1にITS成熟度モデルを示す。本モデルでは、ガバナンス、交通網の最適化、交通サービスの統合という3つの観点から、都市のITS成熟度を5つのレベルで評価する。図で左から右へレベルが上がるにつれて、より成熟した都市であることを意味する。レベル1は1つの交通手段に対する個別モードの運営であり、データは時限的に人手によって収集されている状態を示す。一方レベル5では複数のモードにおいて最適化され、データ収集もリアルタイムに自動的に収集されるレベルである。図にお

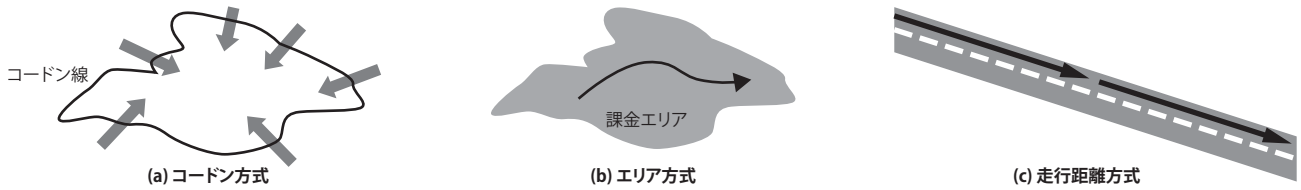


図2. 課金方式の種類. 図で矢印は車両の移動経路を示す.

いて破線で示されているのが世界の先進的レベル、実線で示されているのが世界の一般的な都市の現状である。都市は、図上に成熟度を位置付けることにより、都市のITS進捗状況を複数の観点から現状とあるべき姿のギャップを視覚的に把握できるようになる。

IBMが行った分析により幾つかの知見が得られている。まず実線より、一般的な都市においては、データの統合および分析に関する進歩に問題を抱えていることが分かる。一方で、世界の先進的なレベルでは、データの収集、統合および分析が進んでおり、この点で大きなギャップがあることが分かる。このことは、交通戦略において、ITSによるデータ統合が重要な役割を果たしていることを示している。

### 3.2 ITS戦略策定に資するIBMの提言

3.1では、ITS成熟度モデルによって都市のITS進捗度合いを評価する手法を見た。さて、ここで評価した現状分析からITS戦略を策定するとした際に、モビリティ向上を効率的に実現させる戦略を策定するにはどうすべきだろうか。IBMは、ITS戦略策定に資する以下5つの提言を提供している。

1. 包括的なITS戦略の策定および実施
2. 顧客中心のアプローチの採用
3. サービス提供の統合
4. 財源の確保および革新的なビジネス・モデルの適用
5. 実施の効果的な管理

1は、ITS戦略が長期的で総合的な交通戦略の一環として策定、実施されるべきであることを提言している。交通機関の利用者は、これまで身に付いた行動パターンがあり、そうした利用者に移動手段の切り替えを促すにはさまざまなインセンティブが必要となる。2は、そうした利用者のニーズを理解し、行動の変化を誘導することの重要性を提言している。3は鉄道、航空を含めた各種の交通のモード全体にわたる統合的なサービス提供、最適化を提言している。これは野心的な取り組みであり、IBMが調査した都市の中でも満足のいくレベルまで実

現している都市はごくわずかしかない。4のビジネス・モデルの構築は、ITS戦略策定にとって特に重要になる。1の包括的なITS戦略の策定および実施、2の顧客中心のアプローチという観点にもつながるが、社会問題解決というだけでなく、ビジネス的に持続可能なシステムでないと、市民からの同意を得ることが困難である。そのような中でロンドン、ストックホルムのいずれも、料金収益が交通インフラに再投資されることになることを強調して課金プランを促進したことは特筆すべき点である。実際ストックホルム市では、単に渋滞税を課税するというのではなく、課税収入を公共交通の改善や、道路開発への投資に利用するなど、道路利用者と道路提供者がお互いにwin-winになるようなビジネス・モデル構築を実現した。これによってストックホルムでは、ITSのスムーズな導入が実現した。5では、ITSプロジェクトの複雑さに留意し、導入を効率的に管理することの重要性を提言している。

## 4. ITSの構築、運用

3章では、現況分析、ITS戦略の策定の過程を見てきた。ITSは多数の要素からなる複雑なシステムであり、ITS戦略が策定されたからといって、出来合いのソリューション・パッケージで構築できるものではない。本章では、IBMがこれまでに構築してきた課金システム構築事例を技術的な観点から見ることによって、複雑なITSがどのように構築されているかを見ていくことにする。ここでは、IBMがこれまでに構築したスウェーデンのストックホルム市における渋滞課金システム、オランダにおける道路利用者課金システムについて紹介する。表2に示されたようなグローバルのアセットを活用して、複雑なITSが構築されていることに留意してほしい。

### 4.1 渋滞課金システム

具体的な事例を見る前に、渋滞課金システムに関して軽く触れておこう。各国の渋滞課金システムには図2に示される3通りに大別される。コードン課金方式は、コードン線と呼ばれる境界を外側から内側に進入する車両に対して課金される方式で、シンガポール、オスロ、スト

クホルムで実施されている。この課金方式では、区域境界線上に課金のためのガントリー（道路にまたがって設置されたゲート状の構造物）が設けられている。エリア方式はロンドンで実施されている方式で、内々交通を含む課金区域内を走行する車両に対して課金される。一方、最近着目されているのが走行距離方式で、この方式では走行距離に応じて課金される。ドイツのアウトバーンですでに運用されており、アメリカのオレゴン州、オランダにおいてパイロット・プロジェクトが実施されている。

## 4.2 ストックホルム市における渋滞課金システム実証実験

2006年1月から7月まで、スウェーデンのストックホルム市は、市中心部の渋滞解消を目的とした、渋滞課金システム導入の実証実験を行った。本実証実験で導入された渋滞課金システムは、主に市中心部に流入する道路利用者（車両保有者）を特定する路側システム、道路利用者から渋滞税を徴収する課金システム、支払いシステム、コール・センターからなり、IBMはend-to-endで本システムを構築している [6]。

このような複雑な渋滞課金システムを構築するには、機能要件を実現するインテグレーション能力だけでなく、高い信頼性、大規模トランザクション処理のための性能といった非機能要件の実現が課題になる。実際1日当たり、35万の車両を特定し、85万の撮影画像を処理する必要がある。IBMがいかにしてこのシステムを構築したのか、順に見ていく。

複雑な要素機能を統合するために、IBMはゼネラル・コントラクターとしてプロジェクトを管理した。路側機器ベンダーからコール・センターの人材派遣会社まで、多数の企業群の持つ機能のインテグレーションを担当し、“共同企業体”を新たに結成することで、インテグレーションを実現している。また、IBMは行政への一本化した窓口となることにより、200にも上る変更要求を管理し、短期間でのシステム構築を実現した。

本プロジェクトで求められたのは上述の機能要件の実現だけでなく、システムには道路利用者特定、大規模トランザクション処理といった高いサービス・レベルが求められている。本システムの道路利用者特定には、オン・ボード・ユニット（On Board Unit：以下、OBU）に取り付けられた無線ICタグ（Radio Frequency Identification：RFID）読み取りと、車両ナンバー・プレート認識が同時に利用されており、高い車両ナンバー・プレート認識率が、システムの信頼性向上の重要な鍵となる。IBMはこの車両ナンバー・プレート識別

にハイファ研究所の光学文字読み取り技術を転用することで高い認識率を実現することに成功した。また、本システムでは、1日当たり35万の道路利用者を特定する必要があり、利用者のアカウント数は100万にも上る。さらに24時間以内に複雑なバッチ処理を完了する必要がある。このような大規模システム実現のために、通信・金融業界を担当するチームが参加し、経験・アセットを活用することで大規模なトランザクション処理、請求入金など信頼性の高いシステムを実現した。これにより99.96%という高い可用性が実現されている。

以上見てきたように、本プロジェクトにおいては、ITS戦略策定、ITS構築、ITS運用の全段階にわたりIBMのグローバルのアセットがうまく活用されているのが分かる。このようなアセットをベースにIBMはストックホルム市以外にも、イギリスのロンドン市においても渋滞税課金システムの再構築に深くかかわり [7]、ヨーロッパに拠点を置くIBMグローバルITSチームが世界中の都市の交通社会問題に対して提案、コンサルティング、構築活動を行っている。

## 4.3 オランダにおける道路利用者課金システム実証実験

前述の通り、ドイツのアウトバーン（2007年以降は一部の連邦道でも）では、GPSを利用したトラックに対する道路利用課金のためのシステムである道路通行料自動徴収システム（LKW-MAUT）が2005年1月より運用を開始している。このシステムでは、トラックに搭載されたOBUがGPS衛星からの発信電波を受信し、走行距離、道路料金を計算し、徴収センターにGSM（Global System for Mobile Communications、第二世代携帯電話の規格の1つ）方式で送信される仕組みになっている。このシステムは、路側のインフラ投資が少ないという点で画期的であったが、OBU上で計算を行うため、OBUにハードウェア的、ソフトウェア的な欠陥があった場合には、それらを回収もしくは、プログラムの更新を行う必要が出てくるという課題があった。実際、本システム導入においては、当初2003年11月から本格運用の予定が、2005年1月まで導入が延期されている。

この問題の解決策は、OBUをシン・クライアント化し、実装する機能を必要最低限に抑えることである。このためには、OBUには、位置情報を特定、バック・オフィスに送信する機能だけを持たせればよい。2009年6月、IBMとオランダNXPセミコンダクターズはオランダにおける道路利用課金の実証実験を行うことを発表した [8]。この実証実験では、アインドホーヘン市

High Tech Campus の従業員 50 名が 6 カ月間、実証実験システムを利用する。このシステムのポイントは、マップ・マッチングや道路利用料金の計算をすべてバック・オフィスにおいて処理するという点にある。これにより OBU に必要な機能が、GPS 受信機による車両位置の特定および、モバイル汎用パケット無線システム (General Packet Radio Service : GPRS : GSM のパケットデータ通信) ・ネットワークを通じたバック・オフィスへの送信の 2 つに限られたことにある。これにより OBU の軽量化が図られ、搭載を容易にすることが実現した。IBM クラウド・コンピューティング・プラットフォーム上で稼働するバック・オフィス・システムでは全車両の位置情報の管理、マップ・マッチング処理、道路利用料金の計算、Web を通じたユーザーへの情報提供、課金などを行っている。

OBU のシン・クライアント化は、カーナビゲーション・システムに関してもいえる。実際、これまでカーナビ主体に計算していた最適ルート計算を、高性能サーバー主体のルート計算、配信で行うことにより、全体最適なルート計算を実現しているという報告もある [8]。

これらは、今後の WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access : 中長距離エリアをカバーする無線 MAN) といったさらなる無線通信技術の発展に伴い、従来の OBU、カーナビはシン・クライアント化し、高性能のバック・オフィス・システムが大量の位置情報データをストリーミング処理するモデルが加速することを示唆している。

## 5. IBM 基礎研究部門における取り組み

4 章では、グローバルなアセット活用が複雑な ITS 構築に貢献していることを見てきた。IBM 基礎研究部門では、このような ITS 構築、交通社会問題解決に資する基礎研究を行っている。本章では、その幾つかを紹介することとしたい。

### 5.1 大規模交通流シミュレータ

日本 IBM 東京基礎研究所は京都大学大学院情報学研究科との共同研究で、研究所の排出権取引やオークション・シミュレーションのために開発したエージェント・シミュレーション技術を活用し基盤大規模マルチエージェント交通シミュレータ [9] を開発した。本章では大規模マルチエージェント交通シミュレータと、今後の研究開発の方向性について見ていく。

日本 IBM は、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度委託事業 (SCOPE) において、数百万台も

の車両が複雑に影響し合う大都市圏の広範囲な交通を車両 1 台 1 台の動きまでマイクロにシミュレートする大規模マルチエージェント交通シミュレータ “IBM Mega Traffic Simulator” を開発した。IBM Mega Traffic Simulator の特長は 2 つある。1 つ目はその大規模性であり、マルチエージェント・シミュレーションを大規模かつ高速にシミュレートするための大規模マルチエージェント・シミュレーション環境 “IBM Zonal Agent-based Simulation Environment” の活用により、数百万台もの車両からなる交通流を高速にシミュレートすることを可能にしている。2 つ目の特長はさまざまな異質の運転者のモデルを取りこんで交通流をシミュレートする点である。現実の運転者は例えば、高齢者、若年者ではその平均速度が異なることが知られおり、タクシー、バス、一般車、貨物車ではその経路選択方法、起点終点の位置が大きく異なっている。IBM Mega Traffic Simulator はこのようなさまざまな異質の運転者の挙動のモデルを取り込みながらシミュレートすることができ、より現実に近い交通流をシミュレーション可能にするための基盤を提供している。

加藤らは、交通シミュレータを活用し、京都市の交通流を解析している。京都市は、御池通り、河原町通り、四条通り、烏丸通りに囲まれた歴史的都心地区において “歩いて楽しいまち” の実現を目的として、2007 年 10 月に四条通りのトランジット・モール化を含めた社会実験を実施している。この社会実験においては、四条河原町 - 四条烏丸間で、一般車両の通行を禁止し、車道 4 車線のうち外側 2 車線を歩行者用に、内側 2 車線を路線バス、タクシー専用の道路にする。このような交通規制を敷くことにより、周辺道路に迂回交通が発生し、交通渋滞が波及することが予想される。このように四条通りをトランジット・モール化した時に、周辺道路でどの程度渋滞が発生するか、旅行時間が変化するかを予測、検証するため、IBM Mega Traffic Simulator を用いて、その時の交通流を再現した。

ここでのポイントはこのような交通流シミュレータを活用して、実際の社会実験では測定困難な指標を評価できる点にある。現実の社会実験では、例えばトランジット・モール化することによる二酸化炭素排出量の変化や、旅行時間の変化などを測定することは困難である。一方、交通流シミュレータはこのような指標を容易に評価することが可能だ。逆に、計算機上では測定困難な指標もある。例えば今回の社会実験において実施された歩行者へのアンケート結果などは交通流シミュレーションでは評価できない。このように社会実験でないと結果を集計できない

データと、社会実験では測定困難なデータの双方を突き合わせ検討することにより、交通施策をより詳細に評価することが今後の交通施策評価の方向性になると期待される。

## 5.2 交通量予測ツール

シンガポール中心ビジネス地区の交通量予測試験運用では、T.J. ワトソン研究所の時系列データ解析技術が活用されている。ここでは、そこで利用されている交通量予測アルゴリズム [10] について紹介する。

ある道路ネットワークと、そのネットワークの各辺上の交通量の過去の時系列データが与えられたときに、1時間後の交通量を精度良く予測せよというのが、解くべき問題である。この問題のアルゴリズムを現実世界に実装する際には2つの制約が生じる。1つは計算時間の制約であり、実時間より速く計算できなくては、情報に意味がない。2つ目は、利用できる交通量データの欠損に関するデータである。運用上では、道路ネットワークのすべての辺における交通量データが取得できるとは限らない。

前者の制約に関するアイデアは非常にシンプルである。まず、時刻  $t$ 、辺  $i$  における交通量を  $X_{i,t}$  と置き、空間方向の相関を考慮した  $p, q$  次の自己回帰移動平均 (Autoregressive Moving Average Model, ARMA) モデルを構築する。すなわち、

$$X_{i,t} - \sum_{d=1}^p \sum_{j=1}^N \phi_d \psi_{i,j} L^d X_{j,t} = a_{i,t} + \sum_{d=1}^q \sum_{j=1}^N \theta_d \psi_{i,j} L^d X_{j,t}$$

ただし、ここで  $L^d, \psi_{i,j}, \phi_d, \theta_d$  はそれぞれ時間  $d$  のラグ作用素、空間方向の相関行列、自己回帰係数、移動平均係数を示す。空間方向の相関行列をパラメーター推定は、計算コストがかかり、またネットワーク規模にスケールしない。そこで、彼らのアイデアは、各タイムラグにおける空間方向の相関をあらかじめ持つておくことで、計算量を減らすことにある。すなわちある辺  $i$  に時間  $d$  で到達できる辺の要素を1とし、到達できない辺の要素を0とする行列をあらかじめ用意しておく。これをピーク時、オフピーク時といったように時間帯ごとに持つておき、利用することで、実時間での交通量推定を実現している。後者の制約に対しては、利用者均衡配分モデルに基づく配分交通量計算をオンラインで行うデータ拡張アルゴリズムを開発することにより対応している。

これら交通量予測ツール、データ拡張アルゴリズムを基礎として、データ統合、データ蓄積コンポーネントと統合し、管理コンソールに予測結果を表示するシステムの

開発が現在シンガポール陸上交通省と共同で進められている。

## 5.3 自動車位置情報のデータ・ストリーム処理技術

Koutsopoulos らは、ストックホルム市におけるプローブカーデータの実データを用いて、車両位置情報のストリーミング・データ処理に関する性能を評価した [11]。ここでは、IBM InfoSphere Streams [12] を活用し、位置情報に関する処理を複数の部分処理に分割、部分処理を各ノードに配置、処理フローに従って、部分処理を逐次的に処理している。具体的には、位置情報の変換処理、マップ・マッチング、旅行速度の計算、データ集約などの部分処理の一連の処理を連結処理している。これにより、4台の x86 ブレード・サーバーにて毎秒 25 万件もの高速な位置情報処理を実現している。

この結果は、将来的に大量の自動車位置情報を含めたロケーション情報がストリーミング処理され、フィードされる世界が実現可能であることを示している。

## 6. 今後の技術的課題

本稿を終えるに当たり今後の関連技術の展開の可能性について述べることにしたい。

### 6.1 交通流シミュレーション

今後の交通流シミュレータの研究の方向性は大きく2つある。1つはプローブカーデータの活用であり、もう1つは超実時間シミュレーションの実現である。現在、衛星測位システム、移動体通信システムの普及により各地域において、車両の位置情報、走行状況が取得されつつある。これらプローブカーデータを解析し、起点終点情報、経路選択、速度決定のより精緻なモデルを構築、シミュレータに投入することにより、より精緻な交通流シミュレーションの実現が期待される。またこれらプローブカーデータをリアルタイムに取得し、実時間を超える計算速度で交通流をシミュレーションすることにより、例えば1時間後の都市全体にわたる交通流を10分以内にマイクロに予測することが可能になると期待される。IBM 東京基礎研究所では、総務省地球温暖化対策 ICT イノベーション推進事業 (PREDICT) の平成 21 年度採択課題「自動車二酸化炭素排出量削減のための大規模モビリティ社会シミュレータの研究開発」において、このための基盤技術を研究開発している。

## 6.2 大量位置情報のデータ解析

前述の通り、従来の狭域通信（Dedicated Short Range Communication：DSRC：狭域を対象とした無線通信）方式、カメラ方式に続く方式としてGPSを用いた道路利用課金が有望視されているがGPS方式実現には、例えば、道路利用者のプライバシー保護、通信コストの負担問題、大量の車両の位置情報の処理技術の開発などの残された課題も多い。これらのうち技術的課題に関しては、例えば、個人を特定しないデータ・マイニング技術、ペタバイト・スケール・データベース、大規模データ・ストリーム処理技術などの適応により解決されることが期待される。

一方で、プローブカーデータ・システム、GPS方式の課金システムなどにより収集された車両位置情報により、人間の交通行動情報が得られるようになってきた。これら大量の車両位置情報のデータ解析により、経路選択行動、発生などといった交通行動の分析、モデリングの解明が進むものと期待される。

## 7. まとめ

以上、本稿では、モビリティ社会に向けたIBMのソリューションを、現況分析からITS構築、運用まで、局面ごとに見てきた。来るべき少子高齢化社会における持続可能なモビリティ社会の実現のためにも産官学が連携してこのような課題解決に資する技術開発を行い、情報技術を活用したスマートで、豊かなモビリティ社会を実現することが求められている。

### 謝辞

本研究は、総務省の地球温暖化対策ICTイノベーション推進事業(PREDICT)の助成により行われました。

本稿執筆に当たり有益なコメントをいただいた日本アイ・ビー・エム未来価値創造事業 事業開発担当 天野修氏に深く感謝します。

### 参考文献

- [1] ドイツ連邦運輸建設省物資輸送局：“LKW-Maut,” [http://www.bag.bund.de/nn\\_46218/DE/LKWMaut/lkwmaut-node.html](http://www.bag.bund.de/nn_46218/DE/LKWMaut/lkwmaut-node.html)
- [2] IBM：“NXP and IBM Launch First Practical Test of Road User Charging in the Netherlands Trial Aims to Demonstrate Feasibility of New Technique,” <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/27842.wss> (2009).
- [3] IBM：“Smart Traffic,” [http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/traffic\\_congestion/ideas/index.html](http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/traffic_congestion/ideas/index.html)
- [4] Jamie Houghton, John Reiners and Colin Lim：“Intelligent transport. How cities can improve mobility,” <ftp://ftp.software.ibm.com/common/ssi/pm/xb/n/gbe03232usen/GBE03232USEN.PDF> (2009).

- [5] Jamie Houghton, John Reiners and Colin Lim：“インテリジェント・トランスポート 都市はモビリティをどのように向上させることができるか,” [http://www-06.ibm.com/services/bcs/jp/industries/gvmnt/pdf/intelligent\\_transport.pdf](http://www-06.ibm.com/services/bcs/jp/industries/gvmnt/pdf/intelligent_transport.pdf) (2009).
- [6] IBM：“IBM Continues to Help City of Stockholm Significantly Reduce Inner City Road Traffic,” <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/24414.wss> (2009).
- [7] IBM：“Transport for London announces new Congestion Charge service provider,” <http://www-03.ibm.com/press/uk/en/pressrelease/24544.wss> (2007).
- [8] 本田技研工業：“ニーズに合わせたルート配信サービス「インターナビ・ルート」を発表,” <http://www.honda.co.jp/news/2008/4080828a.html> (2008).
- [9] Sei Kato et al.：“Simulating whole city traffic with millions of multiple vehicle agents,” IBM Research Report, RT0759, (2009).
- [10] Wanli Min, Laura Wynter, and, Yasuo Amemiya：“Road Traffic Prediction with Spatio-Temporal Correlations,” IBM Research Report, RC24275, (2007).
- [11] Haris N. Koutsopoulos et al.：“Stream Computing for Smarter Traffic Management,” ITS World Congress, Stockholm, (2009).
- [12] Kun-Lung Wu et al.：“Challenges and Experience in Prototyping a Multi-Modal Stream Analytic and Monitoring Application on System S,” In Proc. of the 33rd international conference on Very large data bases, Vienna, (2007).



日本アイ・ビー・エム株式会社  
東京基礎研究所  
主任研究員

加藤 整 Sei Kato

【プロフィール】

博士（数理学）。2002年日本IBM入社。東京基礎研究所において、リスク解析、マルチ・エージェント・システムの研究に従事。



日本アイ・ビー・エム株式会社  
未来価値創造事業  
理事

竹内 淳一 Junichi Takeuchi

【プロフィール】

1977年日本IBM入社。製造業のソリューション・ビジネス責任者として活動後、現部門にてITS、省エネルギー分野のビジネス開発に従事。ISO/TC204/WG5国内分科会委員。