

博士論文

路車協調 ITS の開発と実証

牧 野 浩 志

目次

第1章	序論.....	1
1-1	研究の背景と目的.....	1
1-2	研究の構成.....	3
第2章	ITS 研究開発のレビューと本研究の位置づけ.....	5
2-1	はじめに.....	5
2-2	世界の路車協調 ITS 研究開発のレビュー.....	6
2-2-1	米国の路車協調 ITS 研究開発のレビュー.....	6
2-2-2	欧州の路車協調 ITS プロジェクトのレビュー.....	15
2-2-3	世界の路車協調 ITS 研究開発の特徴整理.....	20
2-3	日本の ITS 研究開発のレビュー.....	21
2-3-1	路車協調 ITS コンセプト「スマートウェイ」の登場.....	21
2-3-2	VICS 研究開発のレビュー.....	29
2-3-3	ETC 研究開発のレビュー.....	37
2-3-4	AHS 研究開発のレビュー.....	40
2-4	日本の ITS の特徴と課題の整理.....	49
2-4-1	社会を変え始めた日本の ITS.....	49
2-4-2	実現された路車協調 ITS の共通事項と課題の整理.....	51
2-4-3	日本の ITS 研究開発の教訓のまとめ.....	53
2-5	本研究の位置づけ.....	57
第3章	路車協調 ITS の開発.....	63
3-1	はじめに.....	63
3-2	路車協調 ITS に関連する情報通信技術の状況.....	63
3-2-1	移動のオートメーション化と情報通信技術.....	63
3-2-2	路車協調 ITS に必要となる情報通信技術の動向.....	64
3-3	路車協調 ITS 開発の基本的考え方.....	71
3-4	都市・交通問題の解決からの路車協調 ITS のリクワイアメント.....	74
3-4-1	道路交通を取り巻く都市・交通問題に関する課題の整理.....	74
3-4-2	路車協調 ITS へのリクワイアメント.....	78
3-5	最先端技術の動向を踏まえた路車協調 ITS の開発.....	82
3-5-1	路車協調 ITS に必要なプラットフォーム機能の整理.....	82
3-5-2	路車協調 ITS のアーキテクチャ.....	83
3-5-3	路車協調 ITS が実現するアプリケーション.....	87
3-6	3章のまとめ.....	90
第4章	路車協調 ITS による安全運転支援サービスに関する実証的検証.....	93
4-1	はじめに.....	93
4-2	安全運転支援サービスのコンセプト.....	93

4-2-1	直前対策としての路車協調 ITS の考え方	93
4-2-2	前方障害物情報提供サービスの設計と検証	98
4-3	ドライビングシミュレータによる事前効果検証	101
4-3-1	実験の概要	101
4-3-2	実験の結果	103
4-4	参宮橋における実道実験による効果検証	108
4-4-1	実道実験の概要	108
4-4-2	実道実験の結果	110
4-5	モニタ調査による長期的な評価	116
4-5-1	調査の概要	116
4-5-2	モニタ調査結果	117
4-5-3	パス解析による分析結果	120
4-6	4章のまとめ	123
第5章	路車協調 ITS による円滑化サービスの実証的検証	125
5-1	はじめに	125
5-2	路車協調 ITS 円滑化サービスのコンセプト	126
5-3	車線変更行動に着目したサグ部の交通現象解析とサービスの設計	129
5-3-1	サグ部における時空間連続的な交通現象解析	129
5-3-2	追越車線への車線変更行動に起因する減速波発生・伝播状況の分析	132
5-3-3	アグレッシブ走行による時間短縮効果の分析	136
5-3-4	車線利用適正化サービスの設計	142
5-4	車線利用適正化サービスの実用化に向けた効果検証	144
5-4-1	実道走行実験による車線利用適正化サービスの受容性評価	144
5-4-2	交通シミュレーションを用いた車線利用適正化サービスの効果評価	145
5-5	5章のまとめ	155
第6章	総合考察	157
6-1	はじめに	157
6-2	路車協調 ITS がもたらす変化	157
6-2-1	ETC2.0 がもたらす ITS のセカンドステージ	157
6-2-2	路車協調 ITS がもたらす変化	161
6-3	路車協調 ITS から自動走行システムへ	166
6-3-1	自動走行システムの研究開発動向	166
6-3-2	路車協調 ITS から自動運転への進化の方向	169
6-4	道路交通行政の改革	172
6-4-1	道路行政に活用が期待される路車協調 ITS の要素技術	173
6-4-2	路車協調 ITS を活用した業績評価手法の改革	176
6-4-3	プローブ情報を活用した新しい道路パフォーマンス指標	179
6-5	人間中心都市へのイノベーション	183

6-5-1	賢い都市の成長へ交通を進化させる路車協調 ITS.....	183
6-5-2	人間中心都市づくりと路車協調 ITS	189
6-5-3	ITS を使いこなすための仕組みづくり	192
6-6	ITS による安全・安心な国土づくり	196
6-6-1	地球環境時代とモビリティ	196
6-6-2	いざというときに使える路車協調 ITS とは.....	200
第 7 章	本研究の結論と今後の課題.....	209
7-1	結論	209
7-2	今後の課題	211
謝辞	217

第1章 序論

1-1 研究の背景と目的

19世紀前半の蒸気機関車の登場によって工業都市の形成が促されたように、20世紀最大の発明である自動車は、個人のモビリティを飛躍的に向上させ、都市の形態をそれ以前のものから大きく変質させた。1世帯に1台という自動車型社会の到来は、人間の行動様式に画期的な変化をもたらした。工業都市の弊害であった公害やスラムという課題を解決し、緑と空間と太陽にあふれる新しい都市に変えた。

具体的な数字を使って考えてみると、人間が20分の歩行で到達できる距離は約2km程度であるが、自動車を使えば同じ20分で都市部では10km程度の地点までも到達できるのである。面積にすると25倍のエリアが行動可能圏となることになる。郊外や農村部では到達距離がさらに2倍以上になり、行動可能圏は益々広くなる。郊外という未開の地が、人間の利用できる土地としての価値を持つことができたのは、まさに自動車による行動圏の拡大のお陰であるといえよう。交通手段の新しい発明はイノベーション（新結合）となり都市や人間社会を変化させていくのである。そういった意味で、交通は人間社会の下部構造であるといえる。

現在の我々の生活を支えているものが都市生活であり、その都市生活を快適なものにするためには、それを支えている交通との関係を正しく把握し、適切に機能するようにしなければならない。日本の都市だけでなく世界の都市も、中心市街地の空洞化、郊外のスプロール、自動車の氾濫という問題に直面し、交通事故による死傷者、渋滞による経済損失、環境の悪化にさいなまれ、それを解決するためのさまざまな試みを続けている。都市の発展の過程や自動車への依存度の差はあるものの、世界の都市は、自動車をもたらした革命的な変化に対応すべく、さまざまなチャレンジを繰り返しているのである。

この自動車のもたらした負の遺産を解決する革新的な技術として登場したのがITSである。ITSは、Intelligent Transport Systems（高度道路交通システム）の略であり、最先端の情報通信技術等を用いて人と道路と自動車とを一体のシステムとして構築することで、これまで解決が困難であった様々な社会的課題を解決し、社会や生活の変革に貢献していくというものである。

日本のITSは、実用化という意味で世界の最先端を走っているとあってよい。VICS（Vehicle Information and Communication System：道路交通情報通信システム）のように、自動車では把握できない前方の渋滞情報などを、情報通信技術を活用して道路側から自動車のナビゲーションシステム（カーナビ）に届けるシステムを世界に先駆けて開発してきた。ETC（Electric Toll Collection system：自動料金収受システム）も全国統一の仕組みとして構築され、広く普及し、一時的な空間への集中による渋滞の解消や環境負荷の軽減等の社会的効果も現れ始めている。VICSカーナビやETCといったITS商品の販売台数は年間400万台を超え、スマートフォ

ンとモバイルパソコンと合わせてモバイル三種の神器ともいえる電化製品の主要なマーケットを形成し、テレビのそれを凌駕するに至っている。

しかしながら、この VICS や ETC にも課題があった。VICS は道路管理者や交通警察が把握した道路情報や渋滞情報をカーナビに提供するのみであり、ETC は高速道路の料金を決済するのみの単機能のシステムであり、ユーザは車載器やアンテナを個別に買わなければならなかった。また、渋滞情報を把握するためには、路側機の設置や維持など多大なコストがかかっているのが実態である。一方、最先端の情報通信技術の進化は早く、自動車には様々なコンピュータやセンサが搭載され、それらを活用した自動運転の実現についても議論がなされている。自動車の自動運転の実現と道路運用の効果的な実施は、「道路をスマートに使う」上で非常に重要な開発分野である。

自動車の持つ情報と道路管理者の持つ情報を融合して両者が活用することで、自動車をもたらした負の遺産を精算し、人間社会の下部構造に変革をもたらそうというのが本論文の目的とする「路車協調 ITS」の開発である。路車協調 ITS で重要な役割を担うのが情報通信技術である。ETC に使われている 5.8GHz 帯域の DSRC (Dedicate Short Range Communication : 境域通信) 方式は、世界標準の通信方式であり、交通専用確保された帯域である。これまで ETC のみで活用されていた DSRC を拡張し、マルチアプリケーションを動かすことのできる機能を持つことができれば、交通問題解決のためのアプリケーションを開発できるようになるだけでなく、決済やインターネット接続を通じてさまざまな民間レベルのビジネスのためのアプリケーションも開発できることになる。

また、情報通信技術を活用する場合に必ず生じる「鶏と卵」問題も重要である。携帯電話でもそうであるが、会話できる相手がいなければ普及しない。ITS の場合は、路側機と車載器をどのように普及させ、プラットフォームとして機能させていくかという戦略が不可欠である。

本論文では、これまでの世界と日本の ITS の研究開発をレビューし、普及戦略も加味しながら路車協調 ITS に必要な機能のリクワイアメントを抽出し、道路と自動車が連携するというシステムの特徴を踏まえて、路車協調 ITS の基本機能を絞り込みプラットフォームを構築する方法論を整理した。そのうえで、路車協調 ITS が問題解決のツールであることを実証的に検証するため、社会ニーズが高い交通安全と渋滞解消のサービスについて実証を行った。さらに、路車協調 ITS が都市交通の様々な分野の問題解決に活用でき、国土イノベーションにつながっていく方向性について総合的に考察を試みた。

1-2 研究の構成

本研究の構成については、具体的に以下に示す内容である。これをフローチャートにして流れを整理したものが図 1-2-1 である。

第 1 章は、序論として、本研究の背景、目的を示す。

第 2 章では、世界と日本の ITS の研究開発の歴史と現状についてレビューを行い、その課題と解決すべき方向について整理した。

第 3 章では、第 2 章の整理を踏まえ、ITS に関係する関連技術の動向について分析を行い、最先端の情報通信技術を活用した路車協調 ITS についてアーキテクチャを整理し、持つべき基本的機能を定めた。そのうえで、路車協調 ITS による都市・交通問題の解決方向について整理を行った。

第 4 章では、路車協調 ITS による交通安全対策の実証的検証を行い、路車協調 ITS の交通事故防止に対する効果を、ドライビングシミュレータ、実道社会実験、長期モニタへのアンケートにより検証した。

第 5 章では、路車協調 ITS による渋滞対策について実証的検討を行い、自動車専用道路の主要な渋滞であるサグ部での渋滞対策の効果についてマイクロ交通シミュレーションを活用した検証を行った。

第 6 章では、路車協調 ITS の課題と今後の展開について、路車協調 ITS がもたらす様々な変化について整理し、自動運転への影響、道路行政の改革、都市問題の解決、災害時にも機能する ITS に関して総合的に考察を行った。

第 7 章では、本研究の結論と今後の課題をとりまとめた。

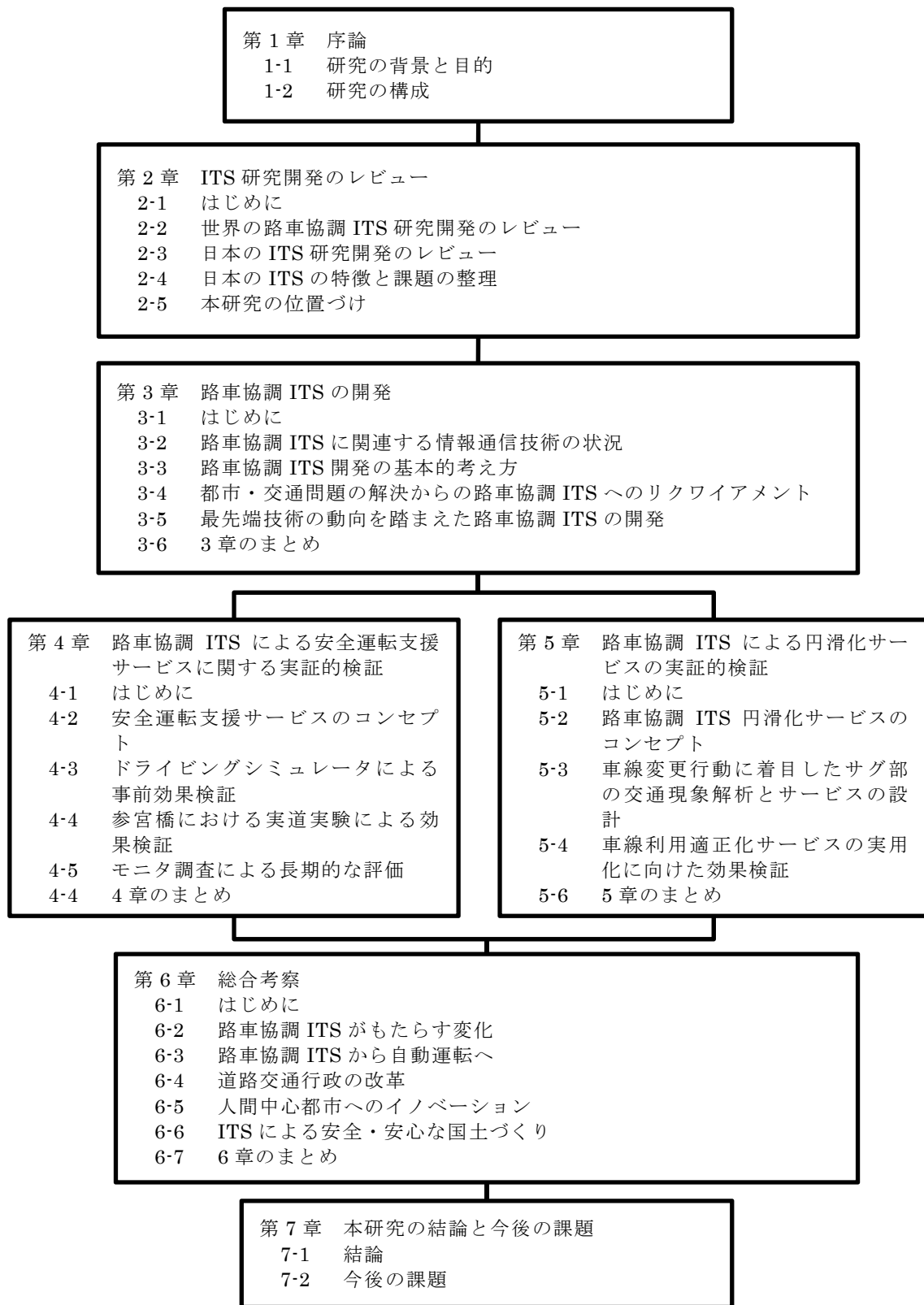


図 1-2-1 本研究のフローチャート

第2章 ITS 研究開発のレビューと本研究の位置づけ

2-1 はじめに

人類の学名は「ホモ・サピエンス（知恵のある人）」だが、「ホモ・ムーベンス（移動する人）」と呼ぶ人もいる。数十万年前にアフリカの地で誕生したといわれる人類は地球上を移動し続け、現在では宇宙にまで向かっている。移動手段も徒歩、馬、簡単な船から産業革命以降、大型船、鉄道、自動車、航空機など急激に進化し、その進化は生活、経済、都市、さらには国という形までも変えてきた。移動が新しい発明を活用してイノベーションにより進化すると、国土の利用形態もそれに呼応して進化してきたのが人類の歴史である。移動は社会の下部構造であるといっても過言ではない。

オーストリアの経済学者であるシュンペーター（1883 - 1950）によると、景気循環の一番大きな波はコンドラチェフの波と呼ばれ、革新的な技術の登場が経済を進化させ社会を変えていくという。革新的技術について分類したのが以下で、これまで人類は大きな五つの技術革新の波を経験していることになる。

第1波（1780～1840年代）：紡績機，蒸気機関（産業革命）

第2波（1840～1890年代）：鉄道，蒸気船，製鉄

第3波（1890～1940年代）：電気，化学

第4波（1940～1980年代）：自動車，石油，電子

第5波（1980～20xx年代）：情報，知識，生物

これらの革新的な技術の登場は、産業だけでなく、人や物の移動手段を変化させ、都市や社会の仕組みを変えてきた。産業革命の原動力になった蒸気機関は、鉄道という大量輸送が可能な交通手段を生み出した。内燃機関を活用した自動車という発明と大量生産による低価格化は、自動車を個人の足として普及させたのである。

しかしながら、自動車という大発明は、さまざまなメリットを社会にもたらしたが、一方で交通事故、渋滞、環境という問題も社会にもたらした。近年では地球規模の環境問題という制約も加わり、世界的な課題となっている。

ITS は、情報通信技術という新しい「こと」を移動という行為に新結合させ、自動車交通がもたらした世界共通の課題を克服するという、社会や国土のあり方を大きく変革するツールである。

本章では、路車協調 ITS を中心に世界と日本の ITS 研究開発の歴史をレビューし、日本の ITS の特徴と課題を抽出する。そのうえで、本研究の位置づけを明確にする。

2-2 世界の路車協調 ITS 研究開発のレビュー

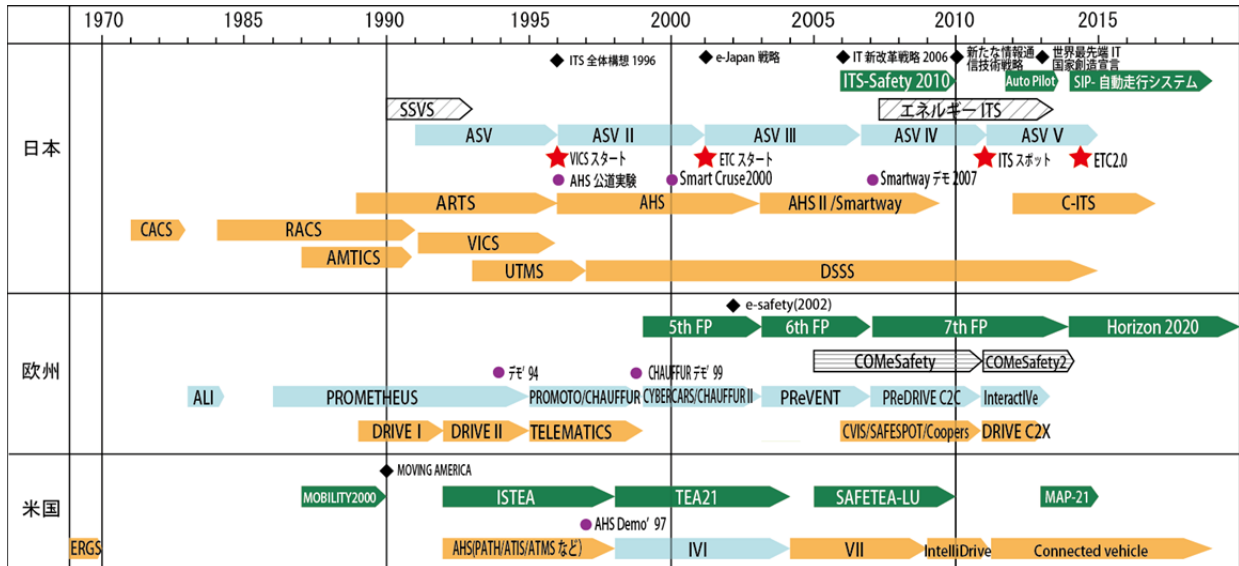


図 2-2-1 日米欧の ITS プロジェクトの歴史

2-2-1 米国の路車協調 ITS 研究開発のレビュー

世界の ITS 研究の先鞭をつけたのは米国であった。1967 年に ITS 関連の研究開発の原点と位置づけられる ERGS (Electric Road Guidance System, 電子経路案内システム)プログラムが米国 DOT(Department of Transportation:交通省)の FHWA (Federal Highway Administration:連邦道路庁)によって進められた。ERGS は、路側の通常の道路案内標識の表示内容を電波によって車両に送信し、車載ディスプレイにより表示するというものであった。残念ながら、ワシントン DC での実験計画は、議会が必要、ニーズ、コストの面で疑問視した 1971 年に中止された。

長期間の研究開発の中断を挟み、1988 年に「Mobility 2000」という非公式のスタディチームにより IVHS (Intelligent Vehicle Highway Systems) と呼ばれる ITS の研究分野の検討が行われた¹¹⁾。これらの検討を背景にして、1990 年 3 月に US DOT (US Department of Transportation, 米国連邦交通省)のサミュエル・スキナー長官による議会報告書「MOVING AMERICA: New Directions, New Opportunities, A Statement of National Transportation Policy, Strategies for Action」¹⁰⁾が議会に提出された。交通分野の将来展望から国家プロジェクトとしての自動車と道路の知能化、IVHS の技術開発が重要であると説いたレポートは世界に大きなインパクトを与えた。これを機にモビリティ 2000 のメンバーによって「IVHS AMERICA (1994 年 9 月から「ITS America」に名称変更)」が組織され、政官民による一大ムーブメントが動き出したのである。

(1)ITS を国家目標に据えた米国「ISTEA」

Mobility 2000 や MOVING AMERICA のような産官学が一体となった活動の結果、1991 年 12 月に議会で承認され、ジョージ・ブッシュ大統領の署名により発行したのが「ISTEA(Inter-modal Surface Transportation Efficiency Act : 総合陸上輸送効率化法)」である。12 月 18 日にテキサス州のインターステート 360 号の工事現場で行われた署名式で、ブッシュ大統領は、「ISTEA は、35 年前アイゼンハワー大統領がインターシステムを始めて以来、最も重要な交通法案である。そしてアメリカの将来の経済への投資でもある。なぜなら、効率的な交通システムは生産的かつ効率的な経済のために絶対的に不可欠だからである。アメリカの交通の未来が今日から始まる」¹²⁾という言葉を残した。

この法律の登場で、アメリカの ITS は実現に向けての明確な方向性を持つことになった。ISTEA の 6 カ年計画に投じる予算は、総額で前回の 1987 年連邦補助道路法 (5 カ年計画) を 44% も上回る 1,553 億ドルとされた。そして、環境面に配慮しながら、エネルギー効率が高く、経済的かつ効率的な全国総合輸送システムを開発する以下の目的を持っていた。

- 旧来のインターステートハイウェイシステム (HIS) の完成とメンテナンス
- ナショナルハイウェイシステム (NHS) の構築
- IVHS の開発と導入
- 交通安全対策
- 大気浄化法に基づく混雑緩和・大気汚染改善プログラムへの資金導入
- 橋梁の架橋と補修
- 有料道路制度の拡充

NHS (National Highway System) とは、160,000 マイル (約 256,000km) を NHS として指定、集中投資を行うことで質の高い全国的なネットワークを作り上げようとする計画である。NHS の構成は、現在も建設が続く 45,000 マイル (約 72,000km) のインターステートハイウェイ (高速道路) に 220,000 マイル (約 352,000km) のプライマリーハイウェイ (一級道路) の重要路線を組み込んだものである。州が力を入れられない州際移動、国防上最重要の道路、他の交通手段に持続する道路、国際的な通商に不可欠な道路が指定された。これまでのインターステートハイウェイでは不十分で準高速道路も組み込んだネットワークで国土を再構成しようという目的であった。

ITS に関しては 6 年間で約 6.6 億ドルが設定され、互換性のある標準とプロトコルづくりの推進、評価ガイドライン作成、および情報クリアリングハウス構築を行うとされた。US DOT はゴールの設定、マイルストーン、プログラム内容を定めた戦略的計画を議会に提出することとされた。加えて、完全自動化のハイウェイと車両システムのプロトタイプ開発も明記された。自動運転の実現が国家プロジェクトとして明示された世界で最初の計画であった。

ITS への投入予算は、ISTEA 特別会計からは 6.6 億ドルであったが、特別会計とは別に DOT の一般会計の GOE(General Operating Expense)による予算があり、さ

らに州政府や企業、大学からも予算が提供されており、全体ではそれをはるかに上回る 5 年間で 12.9 億ドルの投資が確保された。

(2)IVHS 戦略計画が描く近未来構想

US DOT は ISTEA で義務づけられた戦略計画の策定を進めた。1992 年 5 月、IVHS AMERICA により今後 20 年間にわたる ITS 推進のグランドデザインとして「IVHS 戦略計画 (Strategic Plan for Intel, ligent Vehicle-High-way Systems in the United States)」¹³⁾が策定された。その後 6 月の NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) による「IVHS Plan」も含めて、12 月に「Intelligent Vehicle-Highway System (IVHS) Strategic Plan」として議会に提出された。

「アメリカで我々が重要としているモビリティが脅かされている」という言葉から始まる計画の前提は、米国の陸上交通は岐路にきているという認識である。1991 年に交通事故で 41,000 人が死亡し、500 万人以上が負傷している。渋滞による生産性の低下により経済損失は年間 1,000 億ドル。渋滞によって引き起こされる交通事故でさらに年間 700 億ドルが流出している。車の無駄な走行や無用なアイドリングによって 10 億ガロンの燃料が消費され、何トンもの汚染物質が排出されている。

これらの交通問題の解答は簡単ではないが、情報処理、通信、制御、エレクトロニクスなどの技術から構成される IVHS により、生命と時間、お金を救うことができる。

戦略計画は、IVHS の目標と目的、導入に関する問題点とその解決方法、産学官に期待する役割、行動指針、コストについて記述されている。

IVHS の目標としては、安全性向上、渋滞低減、モビリティの増大と質の向上、環境保全、燃費向上、経済生産性向上、米国 IVHS 産業の育成が掲げられている。その上で IVHS のもたらす便益として以下のように整理している。

- 安全に関しては、1991 年に 41,000 人の死者と 500 万人の負傷者という犠牲を払い、事故による賃金を含む直接コストとして年間約 700 億ドルの出費を国に支払わせている。交通事故による経済損失は、米国の GDP の 2% であり、1 台の車が 1 マイル走るごとに 0.5 ドルの出費であり、年間 1 台につき 600 ドルの出費である。IVHS により 2011 年までに死亡事故の 8% (毎年 3,300 人の死者と 40 万人の負傷者) 減少させる。
- アメリカ人が移動の主要手段として自動車を望んでおり、ハイウェイの交通量は年々増加している。1988 年の 1.9 兆台マイル (台数×走行マイル数) は、2020 年には 3.8 兆台マイルに倍増することが予想される。2011 年までに 20% の交通渋滞を減らすことができる。
- 今後 30 年間でトラックの交通量は倍増すると予測される。IVHS の技術は商用分野における荷主へのサービス向上やトラック業者の操業に効率化をもたらす。輸送システムの効率を上げれば経済生産性を向上できる。
- 自動車交通からの排気は全米の窒素酸化物の 43%、炭化水素の 31%、一酸化炭素の 66% に達する。エネルギー消費も 1989 年の米国のエネルギー消費の 27% を占める。また、年間 20 億ガロンの燃料が渋滞により消費されている。

IVHS による渋滞の最小化と相乗りや公共交通機関の利用促進は、大気浄化と燃料消費量節減に効果を発揮する。

その上で、IVHS の 5 つの機能分野を定義し、特徴と必要要件、計画内容を定めている。

- Advanced Traffic Management Systems (ATMS) 先進交通管理システム
- Advanced Traveler Information Systems (ATIS) 先進交通情報システム
- Advanced Vehicle Control Systems (AVCS) 先進車両制御システム
- Commercial Vehicle Operations (CVO) 商用車運用
- Advanced Public Transportation Systems (APTS) 先進公共交通システム

IVHS に必要なコストの見通しも検討され、戦略計画の目標を達するためには公共のインフラ投資が 20 年間で 400 億ドル程度必要であるとした。これは、地上交通に使われる年間予算の 1.6 兆ドルの 3% 以下である。また、エンドユーザが製品やサービスに使う支出は 1,700 億ドル以上となる。

最後に、当面の行動として、研究開発から導入の行動計画、統合のための試験方法のガイドラインづくり、システムアーキテクチャの開発、基準やプロトコルの作成、必要とされる無線周波数の明確化、体制づくり、教育と訓練などが記述されている。

(3) 国家 ITS プログラムプラン

1995 年 3 月には US DOT と ITS America により国家的な計画として「国家 ITS プログラムプラン (National ITS program Plan)」¹⁴⁾が策定された。2005 年までに基本的な ITS のサービスを乗用車並びに貨物などの商用車について全米で配備を完了することを目標とした総合的な計画である。そのため、まず 30 項目のユーザーサービスを決め、それらを総合的にまとめたナショナルアーキテクチャを構築し、それに基づく標準化とモデル配備を行うという内容である。

さらに ISTEА の成立により具体的なシステム開発の推進が積極的に行われ、全米 80 カ所以上でフィールドテストが実施されているほか、GM をリーダーに産業界、大学、行政により構成された NAHSC (National Automated Highway System Consortium) による基幹プロジェクトである AHS (Automated Highway System) が政府の積極的な関与のもと推進された。

(4) システムアーキテクチャの構築と実配備

1993 年 9 月、US DOT が中心となってシステムアーキテクチャの開発を行う 33 ヶ月のプログラムが開始された。構築にあたってはフェーズ I とフェーズ II の 2 期に渡って複数の企業グループによる検討がなされた。1996 年 6 月、5,300 ページよりなる「ナショナルシステムアーキテクチャ (National System Architecture)」¹⁵⁾を公表した。

システムアーキテクチャとは、情報通信技術を活用したシステム設計には不可欠のものであり、システムを構成する要素 (技術や個別システムなど) とその関係を表現したシステム全体の構造 (骨格) を示すものである。特に、行政に関して州が

独立している米国では、各州が独自にシステム構築を行うと無駄が多いこともありナショナルシステムアーキテクチャの構築が望まれていた¹⁷⁾。

表 2-2-1 National System Architecture のユースケース

Bundle	User Services
1. Travel and Traffic Management	1. Pre Trip Travel Information 2. En Route Driver Information 3. Traveler Services Information 4. Route Guidance 5. Ride Matching and Reservation 6. Incident Management 7. Travel Demand Management 8. Traffic Control 9. Emissions Testing and Mitigation 10 High-way-Rail intersection
2. Commercial Vehicle Operations	11. Commercial Vehicle Electronic Clearance 12. Automated Roadside Safety Inspection 13. Commercial Vehicle Administrative Processes 14. On-Board Safety Monitoring 15. Commercial Fleet Management 16. Hazardous Material Incident Notification
3. Public transportation Management	17. En Route Transit Information 18. Public Transportation Management 19. Personalized Public Transit 20. Public Travel Security
4. Electronic Payment	21. Electronic Payment Services
5. Emergency Management	22. Emergency Vehicle Management 23. Emergency Notification and Personal Safety
6. Advanced Vehicle Safety Systems	24. Longitudinal Collision Avoidance 25. Lateral Collision Avoidance 26. Intersection Collision Avoidance 27. Vision Enhancement for Crash Avoidance 28. Safety Readiness 29. Pre-Crash Restraint Deployment 30. Automated Vehicle Operations

ナショナルシステムアーキテクチャ構築後、これに基づいて標準化活動、周知・広報活動を推進し、さらにはシステムの実配備を展開していった。現在もナショナルシステムアーキテクチャのメンテナンスが継続的に行われている。標準化活動としては、DSRC (Dedicated Short Range Communication : 専用狭域通信) に係る標準等 12 の標準化要件を提示した。その後、1996 年 7 月、ITS 標準化 5 年計画を公表し、システム間の連絡規約等、優先度の高い標準化項目 44 を抽出し、具体的な活動を開始した。周知・広報活動としては、米国において構築されたナショナルシステムアーキテクチャを積極的に米国内および諸外国へ公表し、地方政府や民間企業に対するセミナーなどを実施した。

また、ナショナルシステムアーキテクチャを活用した地域への ITS の実配備を念頭に、1996 年 1 月、US DOT は「新交通基盤 (ITI : Intelligent Transportation Infrastructure) の導入を目指す「Building the ITI」¹⁶⁾を公表した。ITI は 9 つの統合された社会基盤コンポーネントで構成される。

- Traffic Singal Control
- Freeway Management
- Transit Management
- Incident Management
- Electronic Fare Payment
- Electronic Toll Collection
- Railroad Grade Crossings
- Emergency Management Services
- Regional Multimodal Traveler Information

これらは基本的には行政サイドが都市部に導入を目指すのが、商用車や地方、さらには民間活用へ拡大していく考えであった。その後、1996年10月に策定されたモデル展開施策（MDI:Model Deployment Initiative）によって、フェニックス、シアトル、サンアントニオ、ニューヨーク・ニュージャージー・コネチカットの4都市・地域においてナショナルシステムアーキテクチャに沿ったITSに係るインフラの実配備が推進された。FM多重放送、ページングサービス、ケーブル・テレビ、インターネットやキオスクなどを通じて交通情報と旅行情報を提供することが各都市共通のテーマとしてシステムの導入が行われた。各都市に設置されたATMSシステムは全米に展開され、現在も各都市のTMC（Traffic Management Center）として交通モニタリングと交通情報提供を行っている。

(5)AHS Demo'97

ISTEAの最終年度である1997年8月、ISTEAの要求事項である技術実証実験として、NAHSCは、サンディエゴ北部の実道を使ってAHS Demo'97¹⁸⁾¹⁹⁾を行った。NAHSCからはBechtel, California Department of Transportation (Caltrans), Carnegie-Mellon University (CMU), Delco Electronics, General Motors, Hughes, Lockheed Martin, Parsons Brinckerhoff, University of California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH) Program, Federal Highway Administrationが中心となり、Eaton Vorad, Houston Metro, Honda, The Ohio State University/Transportation Research Center, ToyotaAHSが協力参加した。

インターステート15号線のHOV（High Occupancy Vehicle Lane）で行われたデモで、CMUはマシンビジョンを主体とした完全自動運転、障害物検知、事故回避、自動レーン移動のシナリオ、カルフォルニアPATHは、磁気マーカによる横制御とミリ波レーダによる立て制御などを組み合わせて時速60マイルで8台の乗用車のプラトウニング（電子牽引）走行のシナリオを行った。

技術的な特徴は、車両の位置制御として路面の磁気マーカ、レーダ反射性テープ、ビジョンシステム、また障害物検知のためにレーザレーダ、ビジョンシステム、ミリ波レーダ（77GHz、車間距離計測含む）などが開発された。

Demo'97は実証実験としては成功であった。しかし、完全な自動運転の実現までには時間がかかること、走行の効率性と安全性の両立を目指す研究方向が安全性を格段に優先すべきという連邦議会の意向とそぐわなくなり、計画は中止となった。

(6)TEA21 における ITS 関連プログラム IVI

1998年6月15日、クリントン大統領が TEA-21(The Transportation Equity Act for The 21st Century)²⁰⁾にサインした。ISTEA の後継法として議会で難産の末に可決されたのが、6カ年(1998-2003年)で総額2,864億ドルを陸上交通に投入する予算法案であった。「アメリカが21世紀に全速力で進んでいくために、我々の道路、橋梁、交通システムに再び歴史的、長期的な投資を進んで行う必要があることを確信した」というのはサイン時のクリントン大統領の言葉である。

基本的には ISTEA の骨格を引き継いだ形になっており基本的なプログラムは継続される形となった。ITS に関しては、ISTEA と同等の6カ年で約12.8億ドルの研究開発資金を確保した。大きく異なるのは、ITS 導入予算が確保された点である。NHS や陸上交通プログラムに関する社会基盤ベースの ITS による改善、渋滞緩和や大気質改善の改善のための ITS 活用が認められた。導入のインセンティブ予算も認められており ITS の導入を意識した法案といってよい。

新しい ITS 開発のプログラムとして提案されたのが IVI (Intelligent Vehicle Initiative)²³⁾²⁴⁾であった。1997年6月に開催された ITS America の年次総会で、National Science and Technology Council's (NSTC)のリサーチメンバによって提案された²⁰⁾²²⁾。AHS と比べると、衝突回避よりも衝突緩和、インフラベースよりも車両ベースにシフトしたものとなった。結果として、Forward Collision Warning (FCW), Adaptive Cruise Control (ACC), Lane Departure Warning (LDW), Lane Change Assist (LCA), Intersection Movement Assist (IMA), Vehicle Stability Systems for Commercial Vehicles が開発された²⁶⁾。一部の車両にシステムが装備され始めたが、目標としていた交通事故削減効果等は達成できなかった。インフラベースのものとしては、大都市圏での TMC や 511 の拡充と地方部での情報共有システム、商用車両情報システム・ネットワーク (CVISN)²⁷⁾の配備が進んだ。

(7)路車協調コンセプト VII

2005年8月10日、ジョージ W ブッシュ大統領の署名により、2005~2009年度までの5年間を計画期間とする米国の次期陸上交通長期法 SAFETEA-LU(Safe, Accountable, Flexible and Efficient Transportation Equity Act: A Legacy for Users)が成立した。リアルタイム情報収集・提供システムの整備に関して、陸上交通改善プログラム、ナショナルハイウェイシステム(NHS)等の多くの実配備プログラム予算の適用が可能となったなど、陸上交通システムをさらに安全に効率的に強化するため、ITS 研究開発だけでなくインフラベースの ITS の導入を強力に押し進める内容となった。

なかでも、2004年にスタートした VII (Vehicle Infrastructure Integration)²⁹⁾は、日本の VICS (道路交通情報通信システム)や ETC (自動料金収受システム)の成功を踏まえ、これまでの IVI の自動車中心のシステム開発から、路車協調 ITS へ大きく舵を切った点で注目された。

IVI は自動車の進化が問題解決に最も近い道であるとして、自動車メーカーを中心に進められたプロジェクトであった。しかし、自動車は、ドライバー、自動車、道路に

よって構成される社会システムの一部であり、自動車だけで問題解決するというのは不可能な部分が多かったのである。とくに、情報通信技術の特徴は、通信機器が普及しないと社会システムとして機能しないことである。携帯電話が分かりやすいが、対話する相手が携帯電話を持たなければ誰とも話せない。それに、当時は現在のスマートフォンのようにさまざまなアプリケーションが動くプラットフォームとなるような移動通信端末は存在しなかった。

VII は、全米規模の車車間・路車間通信ネットワークの導入により、モビリティの改善、車両安全および商用サービスの実現を図るという自動車と道路インフラを統合したシステムを作り出すプロジェクトである。安全運転支援に重点が置かれているが、旅行者情報の提供、天候情報、車両内標識、ナビゲーション、交通管理、電子決済（ETC、駐車場、ガソリン等）等の多様な運転支援のためのアプリケーション開発が行われた。GPS による位置特定、デジタル道路地図による位置表示、5.9GHz の DSRC（狭域通信）による路側と車両、車両同士の通信方式を活用したシステムにより構成される（図 4-3-1）。

FHWA は、VII の導入が決定した場合の計画として、主要都市部やフリーウェイなど全米で合計 20 万基～25 万基（初期導入時 8 万基～12 万 5 千基）の DSRC が設置される見込みと発表した。導入を判断するための実証実験が、2008 年にミシガン州、カリフォルニア州等の実道でのテストベッドで行われたが、メリットの有無、ビジネスモデル、技術開発、政府のリーダーシップなどの障害が乗り越えられず、実配備という決定には至らなかった³⁰⁾。

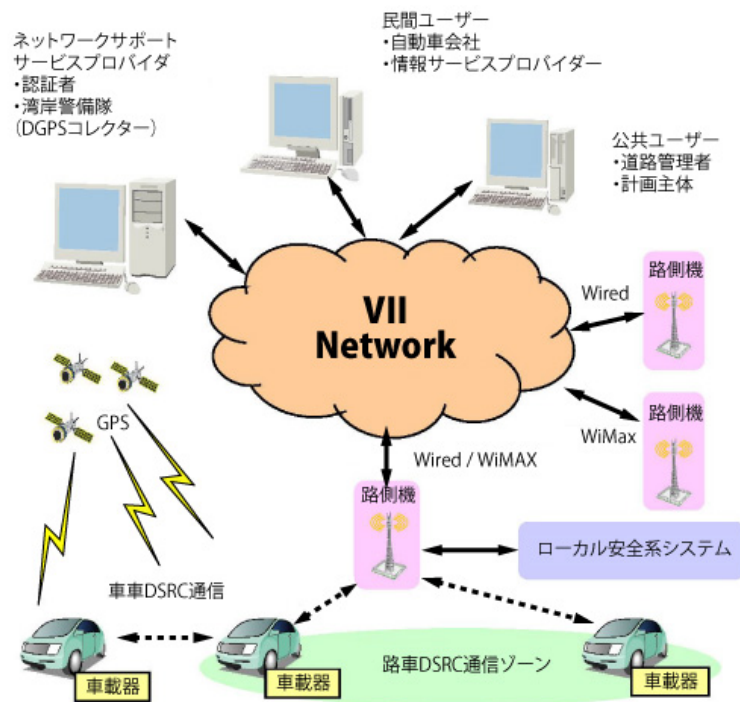


図 2-2-2 VII の概念図

(8)IntelliDrive から Connected vehicle へ

2007年にUS DOTのITS推進体制が変更された。FHWAからRITA (Research and Innovative Technology Administration)にITSのプログラムオフィス (ITS JPO)が移管された。RITAはVIIに関する意見を各界に求めた。その結果、VIIがインフラと自動車の通信の柱にしていた5.9GHz DSRCについては、長期的には安全アプリの実現に使用する立場は保持するものの、より早急にVIIの効果を挙げるために現状で入手可能な代替通信技術 (WiFi, WiMAX やセルラなど)による早期実現に力点を移し、多様な通信技術を利用可能とするための「オープン・スタンダード/プラットフォーム」の概念を提唱した。

2009年1月、オバマ政権発足に合わせてRITAは、VIIからIntelliDriveに発展的に名称を変更した。IntelliDriveでは、自動車とインフラ、自動車と自動車、自動車と人の多様な通信を活用した接続性(Connectivity)が協調されたが、アプリケーションについてはVIIのコンセプトと大きな違いはなかった。2011年3月からはConnected Vehiclesという名称に突然変更された。IntelliDriveの名称に商標上の問題があり、より一般的な呼称を採用したということのようである。

2009年12月8日、USDOTはITS戦略研究計画(2010-2014)³¹⁾を発表した。安全、モビリティおよび環境という3つの主要な課題に対して、Connected Vehiclesにより解決するため、研究開発、政策制度等に関して活動を行い、以下のアプリケーションを開発することを目標としている。

- Safety (安全): 安全のための車両間通信 (V2V), 安全のための車両からインフラへの通信 (V2I), および安全パイロット (Safety Pilot)
- Mobility (モビリティ): リアルタイム・データ取得と管理, およびダイナミックなモビリティ・アプリケーション
- Environment (環境): AERIS (環境のためのアプリケーション: リアルタイム情報合成), および道路気象管理

新しい技術開発ロードマップにより2013年に導入判断をすることとしていたが結局決まらなかった。

(9)ITS 戦略計画 2015～2019年

2014年12月10日、USDOTは2015～2019年のITS戦略計画³¹⁾を発表した。ITS戦略計画はConnected Vehiclesの実現とAutomationの促進の2つを優先プログラムとしている。ITS戦略計画は、安全な車両と道路の開発、モビリティの進化、環境影響の抑制、技術革新、交通システムの情報交換の支援という5つの戦略に基づき、以下の6つのプログラム分野を含む。

- コネクテッドビークル: システムの最終的な導入
- 自動化: 自動道路一車両システムに関連するテーマの研究の推進
- 新たに可能性検討: 次世代の交通システムの検討
- データ活用: データに関する新しいメカニズムの開発
- 相互利用性: デバイスとシステムの間接続性の確保
- 導入の加速: 開発技術の速やかな導入

2-2-2 欧州の路車協調 ITS プロジェクトのレビュー

(1) 初期段階の路車協調 ITS 研究開発

欧州では、自動車の発明をけん引してきたドイツで双方向通信による路車協調 ITS の取り組みが始まった。1975 年から始まった ALI(Autofahrer Leit und Informations System : 経路案内システム)の研究開発³⁴⁾は、Bosch/Blaupunkt、フォルクスワーゲンによるワーキンググループによって進められた。

システムは、出発前に車載器のテンキーから 7 桁の目的地コードを入力する。中央処理装置が交通流に応じて計算した最適経路が入手できる。情報提供は、高速道路の交差箇所の直近でループアンテナを通じて ALI ディスプレイに表示されるというものであった(図 2-2-3)。1979 年から 81 年までドイツのルール地方でフィールド実験が行われた。表示器は道路標識と誘導方向の矢印を表示するというものであった。

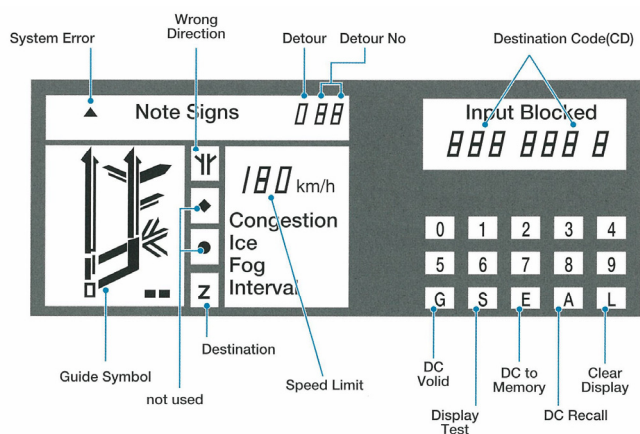


図 2-2-3 ALI システム表示装置およびキーボード⁵⁸⁾

1985 年、フランスのミッテラン大統領が提唱した EUREKA(European Research Coordination Agency) の運輸技術分野のテーマとして、1986 年に PROMETHEUS(Programme for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety : 欧州高効率・高安全交通プログラム)が開始された。このプロジェクトは、自動車市場に危機感を持つヨーロッパの民間企業からの強い要望を背景に、自動車メーカ 11 社(後に 14 社)を中心に行われた(表 2-2-2)。

1989 年には欧州委員会(EC)がリードする道路インフラストラクチャ指向の DRIVE(Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe: 欧州交通安全道路インフラストラクチャ)プロジェクトが開始された。これは、1984 年に欧州会議が EC に対して道路安全に関する研究開発を要請したことから始まる。1985 年から 1986 年にかけて、道路輸送に関する情報科学分野の現状と将来性について調査研究を行い DRIVE を提案した(表 2-2-2)。

これらの研究は EU(欧州連合)の研究開発基金(Framework Program : FP)によって研究開発費の半分程度が補助され、ITS 研究開発を支えてきた。PF2(1987-1991)

に DRIVE I が、FP3 (1991-1994) に DRIVE II が、FP4 (1994-1998) に T-TAP (Transport Telematics Application Programme) が位置付けられている。

DRIVE は、運転者への高度な情報を伝達し、インテリジェント化された車両同士、あるいは車両と道路インフラが相互に通信する新しい道路交通環境の構築を目標に、必要な通信技術や情報処理技術の開発と標準化を行うプロジェクトである。

DRIVE の成果を踏まえて、1992 年から 1994 年まで DRIVE II が実施され、DRIVE の成果の検証と実用化、標準化などを行った。また、1996 年からは、全欧的な交通ネットワークシステムの実現に向けたプロジェクト、TENT(TransEuropean Network for Transport : 欧州横断交通ネットワーク)も始まった。これはヨーロッパでの長距離路線と都市内の輸送を接続し、相互運用することで、全欧州の ITS 構築が目的である。

表 2-2-2 PROMETHEUS と DRIVE I & II の概要

プロジェクト名	開発内容
PROMETHEUS (1986～1994) 720M€	Goals <ul style="list-style-type: none"> • Improved driver information • Active driver support • Cooperative driving • Traffic and fleet management Demo <ul style="list-style-type: none"> • Vision enhancement • Emergency systems • Proper vehicle operation • Commercial fleet management • Collision avoidance • Test sites for traffic management • Cooperative driving • Dual-mode route guidance • Autonomous intelligent systems • Travel information systems • Cruise control
DRIVE I (1989～1992) 150M€	<ul style="list-style-type: none"> • General approach & modelling • Behavioural aspects & traffic safety • Traffic control • Services, telecommunications & databases
DRIVE II (1992～1994 年) 250M€	<ul style="list-style-type: none"> • Demand management • Traffic and travel information • Integrated urban traffic management • Integrated interurban traffic management • Driver assistance and cooperative driving • Truck fleet management • Public transit management

DRIVE II を引き継いだ T-TAP は、1994 年 10 月に採択され、情報・通信技術の応用に関する研究開発を支援する TAP の中で、交通運輸関連に取り組むプログラムである。道路交通だけでなく、道路・鉄道・海上交通間のインタフェース、マルチモーダルにも焦点が当てられ、全欧的な交通ネットワークの構築の研究開発を進めた。全欧の交通を対象に ITS の研究開発を推進する T-TAP は、4 分野 9 エリアに分類される (表 2-2-3)。

表 2-2-3 T-TAP の研究開発分野

T-TAP (1996~1998)	AREA1	Traveller Intermodality and Public Transport	
	AREA2	Freight Operations	
	AREA3	Road Transport	
		Area 3-1	Driver Information
		Area 3-2	Automatis Debiting and Toll Collection
		Area 3-3	Network and Traffic Management
		Area 3-4	Vehicle Control
	AREA3	Road Transport	
	AREA5	Railway Transport	
	AREA6	Maritime and Inland Waterways Transport	
	AREA7	Horizontal Activities	
		Area 7-1	User Needs
		Area 7-2	Evaluation
		Area 7-3	Standardisation
		Area 7-4	Human-Machine Interface
		Area 7-5	Elderly and Disabled Needs
		Area 7-6	Traffic Safety
	AREA8	Infrastructure and Common Services	
		Area 8-1	System Architecture
		Area 8-2	Communications Technologies
		Area 8-3	Data Exchange
		Area 8-4	Digital Road Map
		Area 8-5	Satellite Navigation
		Area 8-6	System Safety
	AREA9	Contribution to EU Policies	
		Area 9-1	Demand Management
		Area 9-2	Integrated Demonstrations
		Area 9-3	Deployment Issue

(2)本格的な路車協調 ITS 研究開発

FP5(1999-2002)から情報化社会の技術(IST)の項目に交通と旅行が追加され本格的な ITS の研究が進められた。システムの開発は、FP6(2003-2006)から本格的に動き出した。自動車単体の Active Safety を目指す PReVENT, 赤外線通信 (IR) 等による協調システムで安全サービスを目指す SAFESPOT, DSRC を活用した効率サービスを目指す CVIS (図 2-2-3) などである。

CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems) プロジェクトは、日本のスマートウェイや米国 VII と同様の路車協調 ITS であり、安全を主眼としているものの交通管理、物流支援等のサービスも含んでいる。車両間および車両・路側間のリアルタイムの道路・交通情報に基づく多くの新しいアプリケーションを創出し、道路の安全・効率の強化、環境影響の削減などの実現を目指した。

プロジェクトの目標は以下の通りである。

- すべての車両とインフラ構成要素が、多様な通信メディアと高度な位置特定機能を使用して連続的かつ透明な形で互いに通信する統合的な技術ソリューションを創造する
- 車両と路側装置におけるオープンなアプリケーションの枠組みを動かす可能性のある協調サービスを広範囲に利用可能とする
- 多くの協調システムのアプリケーションに対するオープンアーキテクチャとシステムコンセプトを規定し実証する。また、ドライバ、オペレータ、企業およびその他の利害関係者に対するリアルタイム・アプリケーションとサービスにおける協調モデルをサポートする共通のコア構成要素を開発する

- ユーザ受容性，データ・プライバシーとセキュリティ，システムの公開性とインターオペラビリティ，リスクと法的責任，国民と政策のニーズ，コスト・便益とビジネスモデルおよび実施の展開計画などの諸課題に対処する

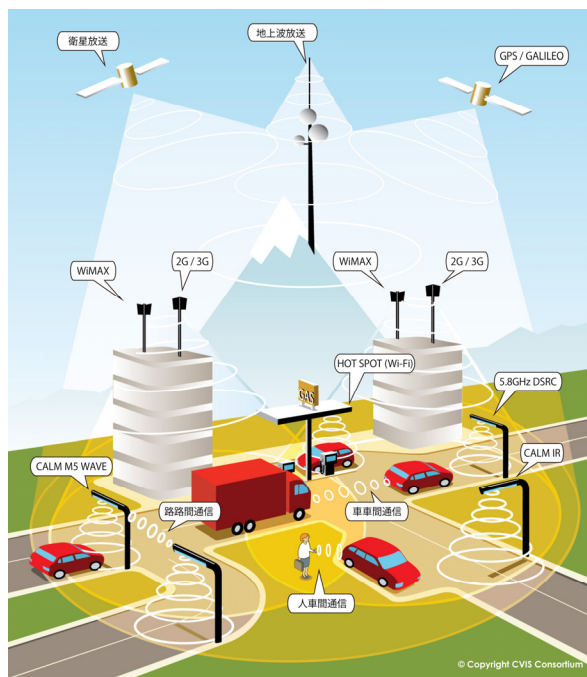


図 2-2-4 CVIS の概念図 (<http://www.cvisproject.org/>)

CVIS では，共通事項（IP 通信マネジメント，コアアーキテクチャ，開発実装），技術事項（COMM・COMO・POMA），アプリケーション（都市圏協調アプリ，都市間協調アプリ，貨物輸送アプリ，モニタリングアプリ）の 3 つを検討するサブプロジェクトが用意された．主要なアプリケーションは次の内容である．

- 都市圏協調アプリケーション：都市道路網の効率的な利用を改善するための協調的なサービス要素を開発し確認する
- 都市間協調アプリケーション：都市間道路網上の交通の効率，安全，および環境適合性を改善するための協調サービスを開発し確認する
- 貨物輸送アプリケーション：商用車向けの革新的な協調システムを開発が目的

CVIS のコア技術とアプリケーション・サービスは，インターオペラビリティの最大化を図り，個人に魅力的，メーカーには利益，道路管理者に対しては効率的な製品化を可能とするためにオープン・スタンダードを開発した．具体的には，通信・ネットワーク(COMM)，プローブやトラフィックカウンタ（トラカン）データなどの交通情報のデータモデリング(COMO)，地図・ポジショニング(POMA)の 3 つのサーバと HMI やセキュリティ(FOMA)によりシステムが構成される（図 2-2-5）．

また，車々間および路車間の通信に使用されるユニバーサル通信モジュールは，既存の 2.5/3G セルラや DSRC の外，車々間，路車間向けに ISO で標準化が行われ

た CALM(Communications, Air-interface, Long and Medium range)を採用した。具体的には CALM IR (赤外線) , CALM M5 (5GHz 帯マイクロ波) , CALM ミリ波 (40GHZ 以上) , CALM 2G/3G セルラなどが使用されている。

最終的には、欧州 6 ヶ国の試験サイト (フランス, ドイツ, イタリア, オランダ・ベルギー, スウェーデン, 英国および関連する試験サイトとしてノルウェー) でデモンストレーションして評価を行った。

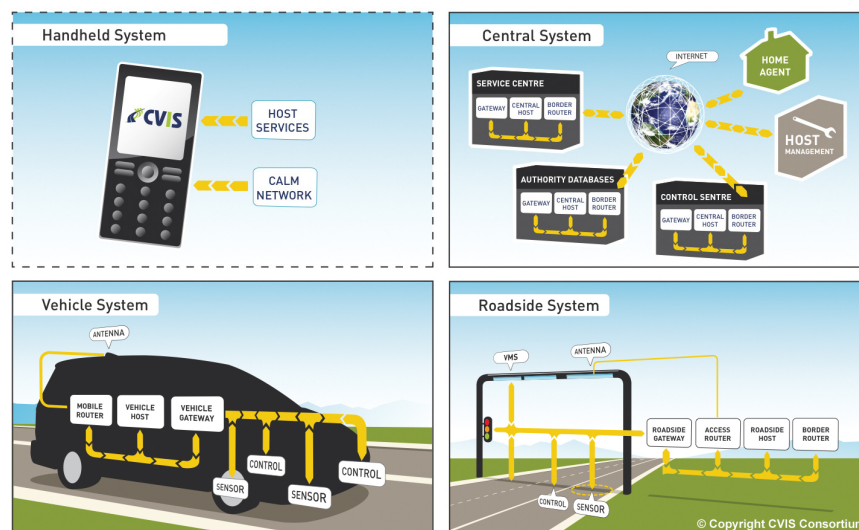


図 2-2-5 CVIS のアーキテクチャ (<http://www.cvisproject.org/>)

(3)協調 ITS の実用化を目指す FP7

FP7 (2007-2013) では、研究開発基金が全体で約 500 億ユーロと FP6 の約 6 倍に当たる総予算 532 億ユーロを投入して Cooperation, Ideas, People, Capacities Euratom, JRC の 6 つのプロジェクト進めることになった。ITS に関しては ICT と Transport の分野に関連し、Cooperative Mobility, Smart Cities, Green Car の 3 テーマで総額 80 億ユーロの募集が行われ、プロジェクトがスタートした。特に、実用化に向けた技術の適用や支援、実地試験に関するプロジェクトが多数採用されている点特徴的である。

2-2-3世界の路車協調 ITS 研究開発の特徴整理

米国の ITS 研究開発の動向をみると、2 大政党制による政権の交代により政策変更があることや道路の設備や交通規制は州の交通部 (State DOT) が所管していることなどから連邦政府の強力なリーダーシップが発揮できないこと、自動車メーカーであるピックスリーの力が強く自動車単体での対策に偏りがちであることなどが特徴である。自動車の大量生産を通じて自動車の大衆化を成し遂げた対向ではあるが、残念なことに国家レベルの実サービスとしての協調システムは登場していない。自動車の大衆化がもたらした課題を解決するための新しい社会システムを創造するという意味では大いに参考になる。

欧州の特徴は、EU という各国の連合体ということもあり各国の意向、地場の企業の意向に左右されやすく、さまざまなプロジェクトが林立している点である。ITS の推進体制としては、ITS 関連標準を策定する CEN/TC278 が 1990 年に発足し、1991 年には欧州における ITS の推進機関である ERTICO (ITS ヨーロッパ) が官民の参加により設立された。その後、欧州の標準を世界標準とする EU の国際戦略もあり、ERTICO は、ITS 関連技術に関する ISO 活動あるいは発展途上国への技術移転等主導的な役割を果たしてきた。とくに FP6 以降、同じようなコンセプトの協調システムに関するプロジェクトが複数立ち上がった。プロジェクト間の調和を図り、共通システムアーキテクチャを検討するプロジェクトである COMeSafety が設置され、欧州のプロジェクト共通の「欧州協調システムアーキテクチャ」を作成している。複数の国の連合体、企業の思惑が錯綜する欧州では、こういったアーキテクチャの議論がなければ社会システムを登場させることが困難なのである。

日本では合意が取れたところや動きやすいところからサービスが開始され、スピード感があるが、逆に包括的・横断的にシステム全体を整理することが不得意である。万国に通用することを考えたアーキテクチャの議論という意味では今後の欧州での研究成果が注目されるのではないだろうか。

以上を踏まえると、日本の強みは、産官学の連携が比較的やりやすく、機動力があるという点である。しかし、包括的・横断的なシステム全体からの整理が苦手であるという特徴が見て取れる。これからの路車協調 ITS では、産官学の連携による機動的な研究開発、包括的・横断的なシステム全体からの整理、普及戦略を見通した国家的な見地からのリーダーシップの発揮が求められるといえよう。

また、日本と同じ路車協調による問題解決を目指す CVIS や VII などのプロジェクトの特徴は以下に整理できる。

- 位置特定、デジタル地図、通信といった情報通信技術を活用する
- 様々な通信方式を組み合わせ活用する
- 車々、路車のシームレスな連携を目指す

これは、日本の VICS の成功が影響を与えているといえよう。欧米では、その成功のポイントを分析し、再整理してさらに進化させようとしている。

2-3 日本の ITS 研究開発のレビュー

2-3-1 路車協調 ITS コンセプト「スマートウェイ」の登場

(1) 道路整備の遅れと情報技術の活用

日本の道路建設は戦後からようやく始まったとあってよい。明治維新以降、日本政府は国土の交通に対して鉄道を主軸に整備を行ってきた。道路に関して国会の関心は低く、旧道路法は数回否決された。それほど国の将来を見極めるのは難しいのである。ようやく道路の計画が作られたのは、1919年（大正8年）旧道路法が成立し、30年計画の「第一次道路改良計画」が策定された時である。しかしながら、1923年（大正12年）9月に発生した関東大震災によりこの計画は中止せざるをえなかった。

道路を活用した国土開発の必要性を理解した技術者たちの運動が実り、1933年（昭和8年）に土木会議が設置され、20年計画の「第二次道路改良計画」が策定された。また、1943年（昭和18年）には世界の自動車専用道路を活用した国家改造の潮流に乗った日本版アウトバーンの計画である「全国自動車国道計画」が策定されている。総延長 5,490km、総幅員 20m、平たん部の設計時速が 150km という壮大な計画であった。この計画が実現されていれば、日本もドイツのように多極分散型の国土構造になっていたのではないかと悔やまれるが、戦争がこの計画を中止に追いやった。

戦後の復興を支えるための道路整備に関しては国会や政府の対応は早かった。敗戦という有史以来の一大事は、国民に世界との国力の差を強烈に意識させ、復興という目標に対して道路整備が不可欠であるという正しい選択をさせたのであろうかと思えるほどのスピードであった。皮肉なことに、1950年（昭和25年）に勃発した朝鮮戦争は、補給基地としての日本を必要とし、日本経済に特需をもたらした。経済活動の活発化は、自動車による物流を増大させ、結果として道路整備の必要性が広く一般に理解されたというのも歴史の側面である。1952年（昭和27年）には有料道路制度が、翌年の1953年（昭和28年）には道路特定財源が国会で成立した。

高速道路づくりはゼロからのスタートであった。「日本の道路は信じがたいほどに悪い。工業国にして、これほど完全にその道路網を無視してきた国は日本の他にない」という辛辣な言葉は、戦後の復興を目指した高速道路整備に対する米国調査団の調査結果であるワトキンスレポート 1956年（昭和31年）の一節である。調査結果を受け、荒廃した国土を立て直す大切なインフラとしての高速道路建設着手をようやく決定した。今では想像もつかないが、この高速道路建設は世界銀行からの融資を受けたものであった。当時のリーダの国土再興への思いと国民の幸福の実現という夢に向けた第一歩の原資として世界からお金を借りて高速道路建設に踏み切ったのである。翌年の1957年（昭和32年）に「国土開発縦貫自動車道建設法」が国会で成立し、世界銀行からの借款により名神高速道路の建設に着手したのである。道路整備の着手は、自動車の普及をさらに促し、物流という経済活動に不可欠な国土の血流を確保することとなった。高速道路という最先端のツールは高度成長を支

えるための国土の基盤となったのである。結果として高速道路建設と輸送手段別にみた道路交通のシェアは貨物輸送（トンキロ）で約 5 割強、旅客輸送（人キロ）で約 6 割強に上り、貨物と人の輸送の半分以上を自動車が担う、物流の主役となったのである。血管の機能改善は経済活動を活発化し国内総生産を増大させていった。

東京オリンピックに間に合わせるように首都高速道路が 1962 年（昭和 37 年）12 月に京橋から芝浦間が開通した。翌年、日本で最初の高速道路である名神高速道路が 1963 年（昭和 38 年）7 月、尼崎 IC から栗東 IC 間で開通した。これらの高速道路の開通は自動車時代の幕開けも意味していた。

高度成長による所得の増加は 3C（クーラー、カラーテレビ、カー）ブームといわれる消費ブームを生みだし、マイカーの爆発的普及の原動力になった。消費の増加は経済を活発化させ、よりよい生活を求めて人々は競って都市に流れ込みむようになる。人口の都市集中を支えたのがマイカーであった。マイカーやバスは郊外の開発を可能とし、都市の虫食いの拡大が急激に進んでいった。

道路や下水道のインフラ整備は郊外開発の勢いには到底追いつかず、急増する自動車で道路は溢れかえった。毎年跳ね上がる土地の高騰は、用地買収を困難にし、工事着手から 5 年程度でできるはずの道路建設も用地の売り惜しみのために着手できない状況が続いた。国家の発展に必要な準備段階の国家のあるべき姿に対するビジョンの欠落、その後の泥縄式な後追いの建設は、いわゆる乱開発を引き起こした。結果として、太平洋ベルト地帯の大都市へのさらなる人口集中、そして環境問題を引き起こすことになる。明治時代に世界を驚愕させた美しい日本の景色は消え失せた。

後追いとなった道路の整備の遅れは、1965 年以降、道路災害や交通事故の激増という形で顕在化することになる。国家ビジョンを持たない国の常であるが、現場で働く者が尻拭いをすることになる。技術者たちの努力で道路構造面での安全性を高める一方で、道路交通状況の常時監視、信号制御、利用者の安全性・利便性の向上を目的とした道路交通情報の提供など、ITS につながるソフト面での対策がようやく動き出すこととなった。

(2)異常気象対策として始まった日本の ITS

道路交通情報に注目が集まったのは異常気象対策からである。道路の整備の遅れは、豪雨に対する危険個所の対策の遅れでもあった。急峻な山地を多く持つ日本では、大雨が降ると斜面崩壊の危険性の高い個所が数多くある。1968 年（昭和 43 年）8 月 18 日の「飛騨川バス転落事故」は、そのような山の中の道路で発生した。観光バス 2 台が集中豪雨による土石流にのまれて飛騨川へ転落し、104 人の生命が奪われたのである。裁判では、事故現場付近で斜面崩壊が起きる危険性は予測可能であったとし、通行禁止などの措置をとらなかったことが瑕疵とされた。この事故を受け、異常気象時における道路通行規制要領が通達され、降雨量に応じて道路の通行止めを行うという道路通行規制が行われるようになった。

道路の通行規制の実施を判断するため降雨量を把握する気象センサの整備が始まった。旧建設省は昭和 44 年に道路情報センターを設置し、道路工事情報、自然災害

等による通行規制情報の報道機関への情報提供を始めた。1961年（昭和36年）に警視庁が東京都でスタートした交通情報センターの渋滞情報と一元的に集約して、道路利用者に提供するため(財)道路交通情報センター（JARTIC）が1970年（昭和45年）1月に設立され、ラジオや情報板による情報提供が行われるようになった。大阪万博という国を挙げた一大イベントの開催もJARTICの設立を後押しした。このラジオや情報板による情報提供は、技術的制約から道路側からドライバへの一方通行の情報提供が限界であったが、走り出したら外界から情報が遮断され、見える範囲や過去の経験からでしか判断できないという自動車の致命的欠陥を補うことが出来たという意味では画期的であった。

(3)渋滞・環境問題解決のための ITS

鉄道などの他の交通手段と違い自動車は、乗車人員あたりの乗り物の占める面積が大きく、道路という交通基盤が一般利用を認められているという特徴を有する。そのため、自動車が一方向に短時間に集中してしまうと、渋滞が生じ、結果として全員が渋滞に巻き込まれてしまうという致命的欠陥を持つのである。そしていったん渋滞が発生すると、解消には相当の時間がかかるのも特徴である。

渋滞情報は主にラジオによってJARTICから提供される仕組みができたが、渋滞情報そのものが少なかった。1970年（昭和45年）に制定された交通安全対策基本法に基づき交通安全施設等整備事業5箇年計画が実施され、都道府県警察に交通管制センターが整備された。高速道路に関しても高速道路の完成に伴い高速道路管制センターが整備され、超音波式やループ式の車両感知器、交通監視用CCTVカメラといった収集機器の配備が進んだ。

情報が充実してくるとラジオやテレビでの情報提供は利用者のニーズに合致した。しかし、都道府県全域の情報であり「今、この場所」の情報を知りたいというニーズにこたえられなかった。画期的なツールとして登場したのが路側ラジオ放送であった。漏洩同軸ケーブルを用いたアンテナによりAMラジオで受信できる仕組みである。1980年（昭和55年）12月、建設省が国道17号三国峠付近で積雪や路面凍結に関する情報を522kHzおよび1611kHzで提供したのが始まりである。現在では1620kHzに統一された路側放送により、ドライバは定時のラジオ放送による交通情報を待つのではなく、渋滞箇所等の前で渋滞の状況を把握できるようになったのである。また、渋滞を大きく減らす方法として信号制御の高度化も進んだ。信号が地域で連動して動き、渋滞を最小にするという地域制御の信号制御システムも導入されるようになる。

しかしながら、現在でも渋滞は解消できていない。渋滞による経済損失は日本全国で「年間約12兆円」（一人当たり「年間約30時間」、金額にして「年間約9万円」の損失）にも上ると試算されている³⁹⁾。これは単純に渋滞に巻き込まれて時間を浪費させられる経済損失を算出したものであり、経済活動への影響や都市の健全な発展の阻害といった外部経済的な損失の算出ではない点は注意してほしい。道路という国土の血流を確保する社会基盤の不足、その結果生じる渋滞という悪は、経

済活動や国民の生活の質の向上に対して大きな足かせとなっていることを認識しなければならない。

日本の CO₂ 排出量の約 2 割を占める運輸部門であるが、そのうちの大半は自動車交通によるものである。なかでも交通渋滞により自動車燃料消費量の約 1 割が無駄に消費されているといわれている³⁹⁾。渋滞を緩和することが、最初に取り組むべき CO₂ 削減施策である。また、近年電気自動車が実際に発売されるようになった。電気自動車は CO₂ 排出がゼロであり究極の環境問題解決のツールであるといえる。しかし、バッテリーが高価であり容量が限られることから航続距離が短いという欠点や普及段階では充電施設が少ないという普及期の課題もある。こういった問題の解決も ITS に期待されているのである。VICS や ETC の導入により、渋滞やそれに起因する環境問題の解決が始まっているが、本格的な解消には、路車協調 ITS による本格的な ITS 時代を待たなくてはならない。

(4)道路の情報武装「情報ハイウェイ構想」

マルチメディアの時代を国土イノベーションにつなげようとする構想が、1983 年（昭和 58 年）、日本の旧建設省が打ち出した「情報ハイウェイ構想」⁴⁰⁾である。道路情報を含む多様な情報を伝達するため大容量の光ファイバを高速道路の中央分離帯に施設し、道路利用者の利益増進と道路管理業務の合理化、さらに幅広く道路空間を電気通信事業の全国情報ネットワークとして活用しようという構想である。同年に財団法人道路新産業開発機構（HIDO）を設置し、高速道路網を利用した新情報システムの検討をスタートさせた。

翌年の 1984 年（昭和 59 年）、民間企業からの出資により光ファイバ等通信施設を敷設、管理する「日本高速通信株式会社」が設立された。高速道路における光ファイバ設置により、道路管理に必要なさまざまな情報の収集、道路利用者への情報提供、料金收受システムの合理化、関係機関との情報交換など世界に先駆けて道路のマルチメディア化が動き出したのである。その後、道路に敷設された光ファイバは VICS や ETC の路車間通信を可能にするプラットフォームとして機能していくことになる。

米国の「情報スーパーハイウェイ構想」は、日本の情報化の流れを受けて提唱されたものである。クリントン大統領とゴア副大統領は、1992 年の大統領選挙キャンペーンで、選挙公約に「2015 年までに家庭、オフィス、研究所、学校、図書館をネットワークで結び、種々の情報をオンラインで検索可能にするすべての家庭、企業、研究室、教室、図書館、病院を結ぶ情報ネットワークを作る」と公約した。大統領当選後の 1993 年、アメリカの産業競争力強化のための「情報スーパーハイウェイ」を 2015 年までに作るという技術政策大綱を発表した。その目玉の一つが、大量の情報を高速に処理できるスーパーコンピュータとそれにアクセスするための高速のネットワークである NII（National Information Infrastructure：全米情報基盤）の整備である。世界的に情報基盤の整備が動き出した。

(5)交通事故対策としての ITS のはじまり

自動車の急激な増加と道路整備の遅れ，とくに幹線道路の整備の遅れは，生活道路への通過交通流入を引き起こし，生活道路での交通事故の急増を招くのは火を見るより明らかであった．昭和 30 年代(1955-64)，交通事故死者数の水準が，日清戦争での日本の戦死者(2 年間で 17,282 人)を上回る勢いで増加したことから，この状況は一種の「戦争状態」であるとして，「交通戦争」と呼ばれるようになった．1970 年（昭和 45 年）がピークで，16,765 人もの尊い命を奪ったのである．

これは運転を個人が責任を持って行わなければならないという，自動車の持つ本質的な課題であった．結局，さまざまな一般ドライバが運転をするため，人と自動車や自動車と自動車の錯綜があった場合，ある確率で見落とし，勘違い，操作ミスなどのヒューマンエラーを起こす．自動車と歩行者の分離ができていない道路空間，信号機がない交差点という未熟なインフラの下では，自動車が増大すればするほど事故を増やしてしまうのであった．

交通事故対策は 3E といわれる **Engineering**（技術），**Enforcement**（規制）**Education**（教育）が大切で，対策としては大きく二つの方法に分かれる．

一つは，自動車専用道路化，自動車と歩行者の分離，ガードレールなどの交通安全施設の整備といったハード的対策で，交通事故の発生原因の芽を摘み取るという意味では根本的解決となる．とくに，自動車専用道路は，歩行者や自動車同士の錯綜が少なく，一般道路に比べて三分の一の事故発生率となるため，自動車専用道路化は非常に大きな効果があるが，日本の場合は自動車専用道路の整備のスピードが遅すぎた．現在でも自動車専用道路のネットワーク不足は大きな足かせとなっている．ハード的対策は大きな予算が必要なため，国家の指導者の資質により左右され，進捗に時間がかかることやその後の維持修繕にもコストがかかることが大きな課題である．

一方のソフト的対策は，信号の設置，道路交通標識・路面標示による交通規制，交通取り締まり，交通安全教育といったものである．とくに，信号機は 25 年間で約 7 倍になるような巨額の投資を行ってきた．これまでほとんどなにも対策がなされてなかったに等しい道路空間では，ソフト対策の効果は大きく，その後，1979 年（昭和 54 年）には交通事故死亡者を 8,466 人まで減らすことができた．

しかしながら，その後の高度経済成長は自動車の保有台数を爆発的に増大させ，後追いとなる道路整備を尻目に，再び交通事故を増加させるのである．とくに若者の乗車中の事故が増えたのが特徴で，1988 年（昭和 63 年）に 1 万人を超え，1992 年には 11,451 人まで増加した．1985 年(昭和 60 年)に実現したシートベルト着用の義務化や運転教育の拡充により，その後死亡事故は減少に向かうが，交通事故件数は増大していったのである．

シートベルトやエアバックという対策は，事故が発生した際の被害を最小限に抑えるという観点からの対策で，命を守ることは出来るが，事故そのものは減らすことが出来ない点に留意が必要である．事故を未然に防ぐことのできる事故予防策は，道路の線形改良，注意看板の設置といった方法であるが，道路の改良にはコス

トと時間がかかる，注意看板は時間経過とともに効果が減少していくという技術的課題があった。

交通事故の原因を分析したところ，発見の遅れ，判断の誤り，運転操作の誤りが全体の75%もあり，効果の低減は人間の慣れとミスが要因である。こういった人間のミスのなかでも事故につながるような危険なミスに対し，ITを活用してその直前に情報提供，警告，操作支援を行うことで，事故を回避させるというITSの導入が不可欠なのである。

こういったITSによる事故削減の対策の必要性がようやく日本で理解されたのは，2003年のことである。2003年1月，2002年の交通事故死者数が1970年代の最悪の頃より半減したことを踏まえ，小泉内閣総理大臣が「交通事故死者数半減達成に関する内閣総理大臣(中央交通安全対策会議会長)の談話」⁴¹⁾を公表し，今後10年間を目途に，交通事故死者数を更に半減し，「世界一安全」な道路交通の実現を目指すという決意を明らかにした。同月の第156回通常国会の施政方針演説においても，同様の決意が表明され，政府の目標としてセットされたことからITSによる事故削減対策が国家目標となった。

2006年1月19日，小泉内閣において「IT新改革戦略」⁴²⁾が策定され，今後のIT施策の重点として，インフラ協調による安全運転支援システムの実用化による「世界一安全な道路交通社会-交通事故死者数5,000人以下達成-」を現実のものにしていく具体的な活動が動き出すこととなった。実現に向けた方策として，2006年の早期に官民一体となった連絡会議を立ち上げ，2008年度までに大規模な実証実験を行い，2010年度から事故多発地点を中心に全国展開を図ると定められた。

2013年6月14日，安倍内閣は「世界最先端IT国家創造宣言」⁴³⁾を策定した。道路交通に関して，2018年を目途に交通事故死者数を2,500人以下とし，2020年までには，世界で最も安全な道路交通社会を実現する（交通事故死者数が人口比で世界一少ない割合になることを目指す）とともに，交通渋滞を大幅に削減することが目標とされた。そのために，車と車，道路と車，車と人等が相互にタイムリーな情報交換ができるようにするとともに，地図情報や車・人の位置情報等の地理空間情報（G空間情報），蓄積データを活用することなどITS技術の活用により，交通事故の危険や交通渋滞が回避される，安全で，環境にやさしく，経済的な道路交通社会を実現するとした。具体的には，安全運転支援システムの早期実用化，インフラ配備と車載器普及や歩行者端末の開発実用化，ETCの多目的利用，交通情報の集約・配信の取り組みなどを進めるとした。そして2014年度から実道上での実証実験等を通じて2020年代中には自動走行システムの試用を開始するとした。

(6)日本発の路車協調ITSコンセプト「スマートウェイ」の登場

スマートウェイとは，日本国内の産学官と欧米のITS専門家が参加したスマートウェイ推進会議が，1999年6月に提言「スマートウェイの実現に向けて～21世紀にふさわしい社会インフラの早期整備を～」⁴⁴⁾で打ち上げた構想である。VICSやETCなど，これまで個別に開発されてきたシステムを統合するためのシステムアーキテクチャの議論を通じ，多様なITSの個別サービスを汎用的に実現させる共通基

盤（プラットフォーム）の必要性を世界に先駆けて日本から発信したコンセプトである。

この構想では、「スマートウェイは、車やドライバ、歩行者等多様な利用者との間でさまざまな情報のやりとりを可能とする道路であり、利用者の安全性や利便性の向上、円滑な交通の確保による環境保全等、多様な ITS サービス展開の基盤であり、さらには快適で豊かな生活や社会の創出につながる基盤となるものである。具体的には、路車間の通信システム、センサ、光ファイバネットワークが組み込まれ、多様な ITS サービスが提供できるよう情報の共通利用や自由なやりとりを支えるための各種の決まりである。オープンプラットフォームの仕組みを持つものがスマートウェイである。そして、以下のような意義をもっているとされている。

①人・モノ・情報の移動の効率化

先端的な情報通信技術を活用することにより人・モノ・情報の移動の効率化を促進し、持続的な社会・経済・生活の発展を支える。さらに、スマートウェイは健全な交通システムを構築し、国際競争力の確保等を図る。

②快適な生活空間の実現

道路利用者の安全性の向上、高齢化社会におけるバリアフリー化の促進、道路交通の円滑化を通じて良好な環境を保全・形成し、道路空間を高度な情報空間として実現する。

③安全で安心な国土の形成

地域の情報ネットワークの形成などにより、地域内外の交流を活発化させ、活力ある地域社会の構築を支える。また、スマートウェイをはじめとした情報インフラは、国土構造の改編、あらたな地域社会の形成を支えるとともに、災害に強い社会インフラとして、国土管理の面で大きな威力を発揮することが期待されている。

④世界的な課題に対する国際貢献

世界的な課題に対応したあらたなコンセプトの社会システムとして、その実現を通じて国際社会に対して貢献する。とくに、スマートウェイの根幹となる技術分野において優れた技術や知見のストックを活かした貢献を行う。

(7)初期の ITS のまとめ

わが国が実施してきた道路交通諸問題への具体的な対応策と、それに対応した関連機器整備の変遷を表 2-3-1 に示す。

表 2-3-1 道路交通諸問題への対応策

テーマ	対応策		関連機器整備
渋滞対策 ・ 環境改善	・道路整備 (バイパス整備等)	・交通量・交通流データの収集・蓄積, 分析	・トラカン, CCTV ⇒プローブ情報収集
	・既存ストックの有効活用 ⇒料金施策や情報提供による交通分散の実施 ・ボトルネックの解消	・交通量・交通流データの収集・蓄積, 分析 ・路側センター間の通信 ・即時的な情報提供 ・データの統計解析による高品質な情報提供	・トラカン, CCTV ⇒プローブ情報収集 ・通信事業者の回線利用 ⇒光ファイバケーブルの整備 ・情報板, 路側放送 ⇒VICS, インターネット情報提供
		・料金収受方法の工夫	・ETC
事故対策	・道路線形見直し, 交差点改良等	・交通量・交通流データの収集・蓄積, 分析	・トラカン, 気象センサ ⇒CCTV+画像処理
	・危険箇所での情報提供による事故防止	・交通量・交通流データの収集・蓄積, 分析 ・路側センター間の通信 ・即時的な情報提供	・トラカン, 気象センサ ⇒CCTV+画像処理 ・通信事業者の回線利用 ⇒光ファイバケーブルの整備 ・情報板, 路側放送 ⇒VICS, センサ連動即時情報提供
治安テロ対策	・個別車両の監視	・通過車両の自動監視	・Nシステム
新産業の推進	・インターネットを利用した民間サービス提供	・双方向移動体通信媒体の整備	・音楽ダウンロード ・位置連動型情報提供

2-3-2VICS 研究開発のレビュー

(1)路車協調 ITS の実用化「VICS という夢の実現」

1)コンセプト研究段階としての CACS

日本の路車協調 ITS 研究は、1973 年、通商産業省工業技術院による CACS (Comprehensive Automobile Control System : 自動車総合管制システム)⁴⁵⁾⁴⁶⁾⁴⁷⁾というプロジェクトが始まりである。道路の混雑状況をモニタし、目的地に最も早く到達できるルートをループアンテナによる通信で車載器ディスプレイに表示させるというシステムであった。

システムは、中央処理機能、路側処理機能および車載処理機能の 3 つにより構成される。

- 中央処理機能は、個々の自動車の走行情報を集約・記憶し、時刻や状況に応じて目的地までの最適経路を計算し、交差点ごとに設置された路側処理装置に送信する。
- 路側処理機能は、交差点を通過する車両から目的地情報などを通信装置を用いて収集するとともに、目的に応じた最適経路情報を送信する。
- 車載処理機能は、表示部、操作部、アンテナから構成され、操作部より目的地を入力すると、アンテナを中継して交差点部に設置された路側処理装置に情報が送信され、中央処理機能に集約されたのち、折り返し路側処理機能から交差点形状・進行方向・車線変更などの情報が伝えられ、表示部に表示する。

そして、次の 5 つのサブシステムを有機的に連携させユーザにサービスを行うというものであった。

- 経路誘導サブシステム：経路誘導情報の提供
- 可変情報板サブシステム：推奨経路、渋滞地点、事故発生地点の情報板表示
- 走行情報サブシステム：横断歩道や種々の交通標識の車内表示
- 公共車優先サブシステム：救急車、パトカー、路線バス等を検出し、交差点において自動的・強制的に信号を調整し、優先的に通過させる
- 緊急情報サブシステム：災害や大きな交通事故などの緊急事態が発生した時、該当地区全体の自動車の車載ラジオに（割り込み）一斉同報する

東京の目黒区内に 131 機の路上機、1,330 台の実験車両による大規模実験が行われた。路側と車両の通信によって交通情報を提供する技術や道路区間や交差点に番号をふり、目的地の設定とそこへの経路を探索する概念、車をセンサとし、交差点間等の区間の旅行時間を収集するコンセプトを世界に打ち出したということは、イノベーションにとって大切なことであった。技術的には、車載器に地図を表示することが困難であり、道路標識と矢印で誘導方向を示すのが限界であった。

だが、コンセプトの提示だけでは不十分である。実用化しなければ研究開発の目的は達せられない。実用化をするためには、実際にサービスに関係する主体が中心となり社会ニーズと要素技術の擦り合わせである応用研究と具体的な社会実装を目指す実用化研究を行わなければならない。

2)本格的な応用研究としての RACS

1984 年から始まった旧建設省による RACS(Road/Automobile Communication System: 路車間情報システム) 48)・53)が基礎的技術の応用方法を検討する応用研究の先駆けとなった。HIDO に「路車間情報システム研究開発委員会 (主査: 高羽禎雄 東京大学教授 (当時))」が設置され, コンセプトの検討がなされた。1986 年には, 旧建設省土木研究所で自動車・電気メカ 25 社との官民共同研究 51)が開始され, 応用研究が行われた (図 2-3-1)。その結果, 1989 年 9 月には RACS 実用化促進協議会が設立された。

RACS の路車間通信では, CACS で使われた誘導無線方式 (IR 方式) と準マイクロ波方式の 2 方式が検討された。誘導無線方式は情報伝送容量の制約があり, 1999 年からは準マイクロ波方式を活用した総合実験システムの開発に着手した。準マイクロ波方式のビーコンでは 2.5GHz 帯の DSRC が用いられた。特徴的なのは, 間欠的な通信ゾーンを形成し, ビーコンの前後各 35m 程度の領域で情報伝送の極性を変えた二つの領域を構成したことである。これにより通信ゾーン相互の干渉がない安定した通信環境が確保できること, 通信ゾーンの極性の検知により車両の進行方向の判別が可能となることというメリットがあった。

準マイクロ波ビーコンの開発とそれに対応する車載機器の開発, デジタル道路地図や情報フォーマット, ビーコン設置基準等の検討をへて, 1989 年 11 月に総合実験が実施されて良好な結果をえた。2000 年 9 月には関東, 中部および近畿地方で最終実用化実験を実施した。

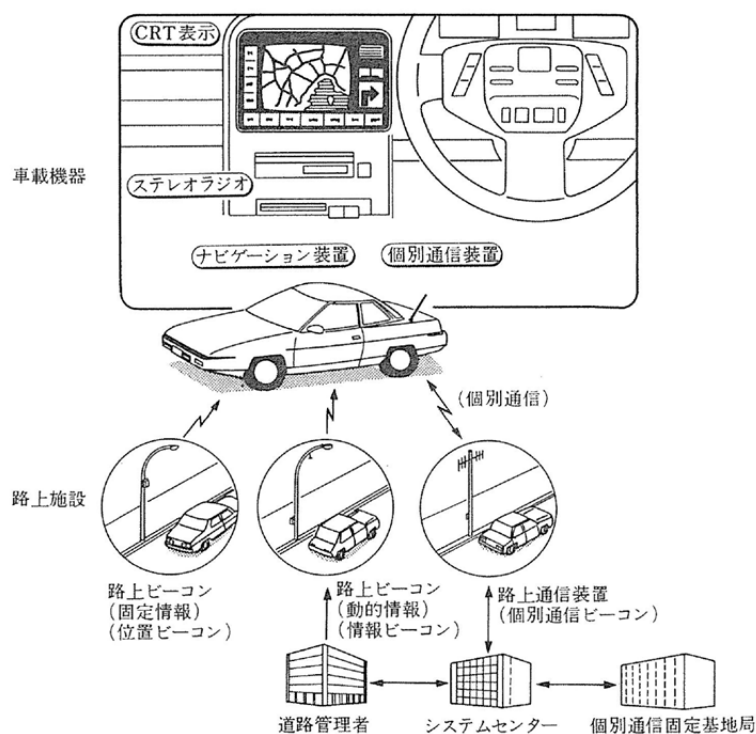


図 2-3-1 RACS のシステムイメージ図 51)

3)AMTICS というコンセプト

1987年4月、警察庁によるAMTICS(advanced mobile traffic information and communication system: 新自動車交通情報通信システム)⁵⁴⁾⁵⁵⁾⁵⁶⁾というプロジェクトも動き出した。自動車・電気メーカを会員とするAMTICS実用化推進協議会が設置され、同推進協議会から委託をうけた財団法人日本交通管理技術協会において具体的に研究開発がすすめられた。1988年には推進協議会委設置されたAMTICS開発委員会(警察庁、旧郵政省、民間企業)によりパイロット実験が行われた。

新宿、赤坂、芝浦の3局のテレターミナルセンターを使用して行われたパイロット実験のシステム構成は以下の通りであった。

- 交通管制センター：車両感知器で収集した交通量・速度などの情報をオンラインで集約する。事故・工事などの情報はオフラインで入力されて集約される。
- 交通情報処理センター：交通監視センターからオンラインで受けた交通情報と手動入力された駐車場満空情報を車載器に送信できるd-た形式に編集・変換を行う。
- テレターミナルセンター：交通情報処理センターの800MHz帯のデジタルMCA無線(Multi Channel Access)を使って車載器に一斉同報を行う。1つのテレターミナルは半径3kmのサービスエリアを持つ。
- 車載装置：テレターミナルセンターから送られてくる交通情報と車載器側で持つデジタル道路地図などのデータを重ね合わせて表示し、ドライバに情報提供を行う。また交通情報を加味した最適経路検索も行う。
- サインポスト：13GHz帯の周波数で位置情報を車載装置に送信する道標で、車載装置の位置特定誤差の補正や自動車位置の初期設定に用いる
- 交通情報ガイド装置：ガソリンスタンドや街頭に設置された情報キオスクターミナルで交通情報処理センターとオンライン接続され、交通情報をCRTディスプレイに表示する。

AMTICSは、1989年からUTMS(Universal Traffic Management System: 新交通管理システム)という形で研究開発が引き継がれた。

4)FM多重放送の開発

FM多重放送⁵⁸⁾は、FM放送の電波に、文字放送のための信号を追加することで情報提供を行う仕組みである。FM放送機に簡単な装置を付加するだけでシステム構成ができ、放送局の運用コストが低廉であること、受信機も小型化・低廉化が期待できることから、自動車などの移動体への情報提供に適していると考えられていた。

1985年頃からNHKで研究開発が行われ、1988年には固定受信方式が実用化し、2000年より電気通信技術審議会でも移動体用の技術基準の審議が行われた。マルチパス対策を施したL-MSKの変調方式が開発され実用化が可能となった。

表2-3-2に示すように日本のFM多重方式(DARC方式: Data Radio Channel方式)は、欧州で開発されたRDS(Radio Data System)の10倍以上の伝送容量を持

ち RDS も共存可能という特徴を持つ点で優れているが、国内利用だけにとどまっている。

表 2-3-2 DARC と RDS の伝送諸元の比較

	DARC	RDS
副搬送波周波数	76kHz	57kHz
多重レベル	4 - 10 %	2 - 3 %
変調方式	L-MSK	BPSK
情報伝搬速度	16kbps	0.7kbps
誤り訂正	(272,190)×(272,190)	(26,16)
サービス	文字, 交通情報 (VICS,見えるラジオ)	コマンドを繰り返して伝送

5) VICS の推進体制の構築

RACS や AMTICS が動き出した時期は、応用研究を実施するための「研究テーマの設定」の時期であり、大学や民間企業で発明された基礎技術を道路という社会基盤にどのように新結合させるのかというアイデアを出し合い、応用研究を進めるタイミングであった。実用化研究に向けた「推進体制の構築」は、RACS や AMTICS による官民連携が始まりとなる。実用化研究段階での官民の共同研究は、社会システムづくりの共通認識のためのデータ収集と技術検証の場を提供するという意味で非常に有用であった。実際にモノを作って試してみないと、説得力を持って世の中を動かすことはできない。その後、1991年10月に民間企業も含めた VICS 推進協議会が発足し、実運用に向けた産官一体となった推進体制が構築された。

同時に、省庁間の連携も不可欠である。省庁は法令で定められた枠組みの中で所管法に基づき社会の代理として利害関係の調整を行う必要があるからである。ITS のような社会にイノベーションをもたらす技術の導入には、生産要素の再構築が必要となり、必ず利害関係の調整が必要となる。ITS に関しては、利害関係省庁は、道路と交通という視点から旧建設省、産業育成という視点から旧通商産業省、自動車の保安基準という視点から旧運輸省、運転者という視点から警察庁、通信という視点から旧郵政省という 5 省庁の連携と調整が不可欠であった。

連携と調整を効率的に行うための体制として、1993年から「5省庁連絡会議」を随時開催するようになった。さらに1994年には、5省庁に加えて学識関係者・企業・関係団体で組織された産官学の推進体制として VERTIS (Vehicle, Road and Traffic Intelligence Society : 道路・交通・車両インテリジェント化推進協議会) が設立された。VERTIS は 2001年から ITS Japan に改称されて現在に至っている。

6) 方針の決定

つぎに、社会システムを実用化するという「方針の決定」が重要である。1995年2月に、高度情報通信社会推進本部（本部長：内閣総理大臣）が策定した「高度情報通信社会推進に向けた基本方針」⁵⁹⁾の中で、道路・交通・車両分野の情報化として ITS の推進が決定された。国家として ITS を推進することが決定された。指針を踏まえ、同年8月には関係 5 省庁が連携して ITS 推進のガイドラインとなる「道路・

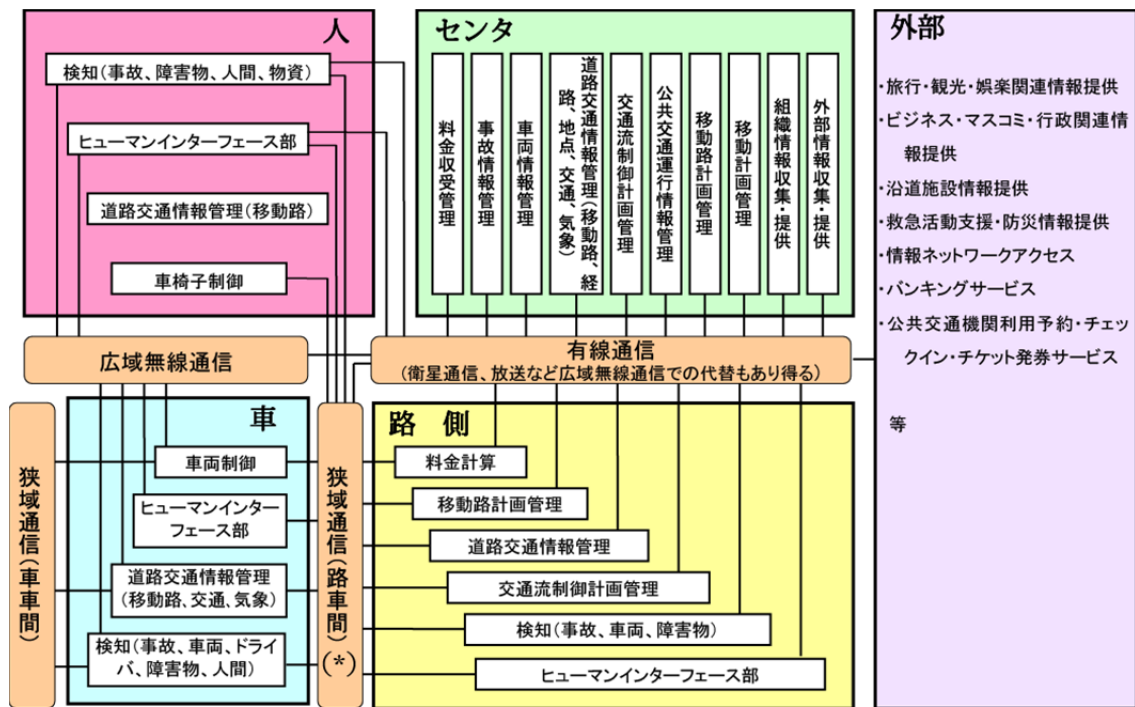
交通・車両分野における情報化実施方針」⁶⁰⁾を策定し、統一的な方針に基づく ITS の研究開発・実用化への取り組みがスタートした。

翌年の 1996 年には、ITS のマスタープランである「ITS 推進に関する全体構想」⁶¹⁾が策定された。本来であればこの段階で、日本の ITS に関するシステムアーキテクチャ (ITS 全体の概略設計図) が作成されなければならないはずであった。しかしながら、日本の道路交通インフラにおいてこのような革新的なプロジェクトの遂行は初めてのチャレンジであったため、関係者の調整等に手間取ることとなった。結局のところ、ITS 関係 5 省庁は VERTIS の協力をえて、1999 年によくシステムアーキテクチャ⁶²⁾を完成させた。表 2-3-3 に示すように、9 分野 21 の利用者サービスを定め、その下に 56 の個別利用者サービス、172 のサブサービスを体系的に設定した (表 2-3-3)。

表 2-3-3 日本の ITS における 9 つの開発分野と 21 の利用者サービス⁶²⁾

1. ナビゲーションシステムの高度化	1) 交通関連情報の提供 2) 目的地情報の提供
2. 自動料金収受システム	3) 自動料金収受
3. 安全運転の支援	4) 走行環境情報の提供 5) 危険警告 6) 運転補助 7) 自動運転
4. 交通管理の最適化	8) 交通流の最適化 9) 交通事故時の交通規制情報の提供
5. 道路管理の効率化	10) 維持管理業務の効率化 11) 特殊車両等の管理 12) 通行規制情報の提供
6. 公共交通の支援	13) 公共交通利用情報の提供 14) 公共交通の運行・運行管理支援
7. 商用車の効率化	15) 商用車の運行管理支援 16) 商用車の連続自動運転
8. 歩行者等の支援	17) 経路案内 18) 危険防止
9. 緊急車両の運行支援	19) 緊急時自動通報 20) 緊急車両経路誘導・救援活動支援 21) 高度情報通信社会関連情報の利用

システムアーキテクチャ (図 2-3-2) という設計図が必要なのは、自動車と道路が通信しながら情報をやり取りするとなると、パソコンと同じように統一的な基盤となるデバイスやそれら进行操作しアプリケーションを動かすためのオペレーションシステム (OS) というプラットフォームが必要なためである。ITS のシステムアーキテクチャ策定では、①統合的なシステムの効率的な構築、②システムの拡張性の確保、③国内・国際的な標準化の促進の 3 点に資することを目標とした。



(*)狭域通信(路車間)は、路側と車及び人で行われる狭域通信を示す。

図 2-3-2 システムアーキテクチャ (サブシステム相互接続図) 62)

OS以外にも大切なプラットフォームがVICSの情報を地図上に表示させるために不可欠なデジタル道路地図 (DRM:Digital Road Map) であり、その作成は建設省により1988年に着手された。1995年には2.5万分の1地形図によるDRMデータベースの全国整備が完了した。また、道路の付属物として整備される情報通信インフラの整備にも同年着手し、光ファイバ網の全国整備が開始された。自動車と道路を結び付ける通信のプラットフォーム用に、情報ビーコンおよびFM多重放送に関する電波法の整備などが1994年に行われた。

7)運用体制の構築

最後に「運用体制の構築」である。1994年、VICS推進協議会内に「道路交通情報通信システムセンター設立準備室」を設置し、20法人・団体が集結し、事業・システムについて検討を開始した。その成果を踏まえ、1995年7月にVICSサービスの運用を受け持つ社団法人道路交通情報通信システムセンター (VICSセンター) が設立されたのである。そして11月に横浜で開催された第2回ITS世界会議で、VICS車載端末の展示と試乗会を実施し、世界を驚愕させた。実運用は、1996年の4月の首都圏でのサービスを皮切りに全国に展開していった。

(2)VICSで得た教訓

VICSの実用化までの道のりを振り返ってみると、社会システムの分野で世界に向けてコンセプトを打ち出し、実用化していくという、イノベーションを最初から最後まで日本でやったというのは非常に珍しい事例といえよう。イノベーションを起

こすための研究開発の流れは、基礎研究→応用研究テーマの設定→研究体制の構築（官民、行政間）→法制度・方針の整備→アーキテクチャの策定→プラットフォームの整備→運用体制の構築→運用開始という形になる。基礎研究から応用研究を経て、実用化までの期間は、CACSの着手からは23年、RACSの着手からは12年が経ったことになる。基礎研究に5年程度、応用研究に5年程度、実用化研究に5年程度かかるのが社会システムの実用化の実際である。

VICSの特徴は、車に搭載されたカーオーディオのディスプレイ、カーラジオ、カーナビという文字、音声、画像という多様なHMIと、電波ビーコン、光ビーコン、FM多重放送の3つの通信方式が採用された点である。当時はGPSの精度が悪く、補正技術も登場していなかったこと、液晶ディスプレイやメモリが高価であったことなどから、自車の位置特定が不要なビーコン方式（高速道路は電波で3車線程度、一般道路は光で車線ごと）による文字表示型情報、音声情報、簡易図形が情報提供の中心となると予想されていた。しかしながら、ITの進歩は技術者たちの想定をはるかに超え、車載器が持つ全国地図とGPSや補正技術で自車の位置を特定できるようになり、地図表示型のサービスが一気に広がることとなった。情報通信技術のスピードの早さという意味では、ITを活用した社会システムの重要な教訓である。

世界初のITSの実用サービスであり、初めてのチャレンジという意味で数多くの課題があった。たとえば電波ビーコンに関しては、周波数帯を交通専用割り当てるという発想すらなく、2.45GHz帯の電子レンジ、自動ドア、Wi-Fi、Bluetooth、RFIDなどで使われているISM(工業、科学、医療)に使う出力が微弱であれば誰でも免許なく利用できる、いわゆる雑用周波数帯を使うこととなった点である。ISMという雑用帯域でありノイズが多く、混信などのトラブルも多い周波数帯であるが、普及するかどうか分からないITSのサービスに対して日本では専用の電波を割り当てると判断ができなかったのはしかたのないことであった。イノベーションは合議からは生まれないのである。その後、VICSの成功により情報通信分野でもITSの理解が進んだため、ETCに関しては5GHz帯に交通専用の帯域を確保できたのは興味深い歴史の一コマである。

また、一般道では混信や車線別のサービス提供を意識して光通信を採用し、高速道路と一般道で電波ビーコンと光ビーコンの設置の仕様が異なるということになった。結果として、受信機のコスト増となり、すでに音楽放送でデファクトのFM放送を活用したデータサービスしか普及しなかった。結局のところVICSでは、広域放送、狭域通信、超狭域通信を使い分けるという形にはなっていたが、ユーザの負担という視点から見ると、プラットフォームとなる通信技術は、ユーザの通信費の負担やメディアの普及状況、路側機などのインフラサイドのコスト等を含めて戦略的に検討し、産官の連携、なかでも省庁間の連携が不可欠であるということが明らかとなった。つまり、サービス提供者の理屈ではなく、ユーザの視点である「安い、便利、快適」というニーズに合致したもしか生き残らないということは大切な教訓である。

国際展開という点でも大きな課題が残った。VICS という渋滞情報を車の中に届けるという路車協調のコンセプトを広く世界に広めたという点では大成功であった。しかしながら、VICS 対応カーナビ搭載の車が世界を走って渋滞情報をえられるかというところはなっていない。VICS が世界で使えるようになるためには、地図、位置参照方式、通信方式、渋滞情報生成などさまざまな技術を国際標準にしていく戦略が不可欠なのであった。

携帯電話のガラパゴス化が話題となっているが、日本に特有の法律による規制や省庁の指導、ユーザや管理者が求める高い品質と信頼性、企業側の国内生産に固執した高コスト製品といった特殊事情をベースに作り上げた仕組みは、世界に通用しないというのは残念ながら事実である。VICS の場合は、旧日本道路公団が高速道路の交通管理用に設置したトラカンと、都道府県公安委員会が信号制御用に設置したトラカンによる情報収集が前提となっており、日本以外の国でトラカンが十分設置されている国はないのが現実であった。諸外国が VICS を導入したくても、渋滞情報の収集ができない限り渋滞情報というコンテンツが生成できないわけで、VICS は日本以外の国では実現できない仕組みなのであった。そういった世界の現実を正しく理解し、世界のニーズに答えられる研究開発を進めていく技術者の育成も大切である。

2-3-3ETC 研究開発のレビュー

(1)ETC の歴史

VICS の次の路車協調 ITS が ETC⁶⁴⁾である。ETC の仕組みは、自動車に装置した車載器と地上に設置された路側装置との間で無線通信を用い、料金所等で停止することなく通行でき、自動的に料金の支払いを行うシステムである。道路における渋滞の大きな原因となっていた料金所の渋滞解消、キャッシュレス化によるドライバの利便性の向上、管理費の節減等を図ることが目的であった。

ETC のコンセプトの提示は、1989 年に旧建設省が交通事故対策や輸送効率の向上を目指して研究を開始した次世代道路交通システム (ARTS : Advanced Road Transportation Systems)⁶⁶⁾である。ARTS に関しては、2-4-3(2)で詳しく説明する。

具体的な研究テーマの設定は、1993 年に旧建設省の「道路技術 5 箇年計画」に研究テーマとして位置付けられることから始まった。ETC は有料道路の通行料金を無線通信により路車間でやり取りし、徴収を自動化するシステムで、旧建設省が所管する道路整備特別措置法道路法と旧郵政省が所管する電波法が関係する。また、産業の育成という意味では、旧通商産業省が ETC の核となる DSRC 技術の開発に関連した。

研究体制は官が先導する形で動き出した。1994 年、旧建設省と旧道路四公団が「ノンストップ自動料金收受システム共同研究推進委員会」を設置し、共同で研究開発を実施したところから始まる。官民一体となった研究体制の構築は、1995 年政府公告に基づき選定された 10 社による共同研究がその場となった。1 年間という短期間の研究であったが、翌年の 1996 年には共同研究の成果が公表された。これらの民間から提案された研究成果を活用して基本的なシステム構成を検証するため、旧建設省土木研究所において検証実験を実施している。1997 年 3 月神奈川県の小田原厚木道路の小田原料金所で ETC 車線の交通運用の安全性・円滑性を確認するための試験運用を開始した。さらに同年の 12 月には管理車両ならびに路線バスをモニタとして東京湾アクアラインで試験運用を実施した。

ETC の場合は、旧建設省が導入を決めれば方針が決まるというものであったため、行政間の調整は、旧建設省と旧郵政省が調整すれば終わりであり、スピーディに進んでいった。

アーキテクチャやプラットフォームとしては、三つのポイントがあった。一つは、通信技術に関わるものである。1998 年 3 月に ETC の路側無線機器と車載器の仕様書案が作成され、官報公告・意見招請がなされた。1999 年 7 月に仕様書が完成した。二つ目は、情報セキュリティの確保である。1998 年 6 月にはセキュリティに関する意見招請が実施され、1999 年 3 月に「セキュリティ標準規格書 (評価版)」が開示された。1999 年 12 月に「セキュリティ標準規格書」が定められ、旧道路四公団から「ETC システム利用規程」が開示された。また 2000 年 3 月には「有料道路自動料金收受システムにおける個人情報の保護に関する指針」も定められている。三番目は、ETC 設備の設置に関する基準である。1999 年 3 月には、ETC の料金徴収施

設を設置するための「料金徴収施設設置基準（案）」が旧建設省道路局長から有料道路事業者等に通知された。

運用体制の構築に関しては、「有料道路自動料金収受システムを使用する料金徴収事務の取扱いに関する省令」が公布され、ETCを使用して料金を徴収する会社が行うETCに関する情報の安全確保の基準と識別処理情報付与の業務を行わせることができることと定められた。その会社として1999年9月に「財団法人道路システム高度化推進機構（ORSE）」が民間企業・団体の出資により設立され、運用体制が構築された。2000年4月から千葉地区の一部で試行運用が始まり、1年の試行運用を経て、2001年3月から一般運用が開始されたのである。

(2)ETCで得た教訓

ETCは1993年の研究テーマの設定から10年以内で実配備までたどり着いた。利害関係者が道路管理者、電波管理者、電機メーカという限られた分野であったのも功を奏した理由かもしれないが、一番大きい理由は、VICSで学んだ標準化やプラットフォームなどの考え方をうまく活用したことが大きい。ETCの特徴を整理すると以下になる。

- 国内どこでも使える統一のシステム
- 国際標準化対応を行った5.8GHzアクティブ方式
- 多様な利用に対応した2ピース方式の採用
- セキュリティとプライバシーの保護
- タグ方式より複雑な料金体系への対応が可能な仕組み

①国内どこでも使える統一のシステム

日本に限らず、世界の有料道路は多くの道路事業者により運営・管理されている。また、料金も均一料金・対距離料金等いろいろな料金体系が存在することもまれない。開発したETCは全国統一規格のシステムで、多様な料金体系への適用が可能である点で世界的にも展開できるものである。

②国際標準対応を行った5.8GHzアクティブ方式

ETCに使われている通信方式は、VICSの反省を踏まえ国際標準対応をしっかりとやってきた。DSRCという日本の通信アプリケーションインタフェースは、ISO14906として1998年に発行している。また、2000年にはITU（International Telecommunication Union：国際電気通信連合）の勧告として、5.8GHz DSRCがETCにおける推奨使用周波数帯として国際標準に認定され、世界に通用する規格となっている。

③多様な利用に対応した2ピース方式の採用

車両情報は車載器、個人情報にはETCカードに納めるという2ピース方式を採用し、車両の所有者と料金支払者を分離した。これにより、レンタカー等本人所有以外の車載器搭載車両でも利用できるのである。また、差し込むカードを他の交通カードと併用し、ポイントを共有するなどさまざまなサービスへの拡張も期待される。

④セキュリティとプライバシーの保護

ETC は、CPU 内蔵の IC チップを使った IC カードを使用しており、相互認証、記録データの暗号処理が可能であるため、磁気カードに比べ不正利用やプライバシー保護に対して高いセキュリティを持っている。

⑤タグ方式より複雑な料金体系への対応が可能な仕組み

欧米では、RF-ID 方式の簡便な車載器（タグ）をフロントガラスに貼り付けて料金所のアンテナと通信する方式が安価に提供されている。RF-ID の方式の場合、一回の通信でやり取りできる情報が少ない。RF-ID と比較すると、通信のセキュリティを確保するための路側と車載器の相互認証時間の確保が可能、多くの情報通信が可能で対距離課金、さまざまな割引制度、事業者間をまたがるような複雑な料金体系に対応が可能なのが日本の ETC なのである。とくに、双方向性を活かした自動車の位置情報のアップリンク機能は ITS が進化するうえで大切な機能として注目されている。

上述のような利点を持った ETC であるが、課題が残らなかったわけではない。日本の高速道路システムが世界に誇る利点が仇となったのである。日本の高速道路は全国ネットワークになっており、入口で発券、出口で一回の料金決済で済むという非常に便利な仕組みを構築している。そのため、長距離を走る車は一回の支払いが比較的高額となる。料金を徴収する側としては取り損ねると大きな痛手となるので、自動料金収受システムの誤作動やセキュリティへの要求が必然的に高くなってしまふ。結果として、通信のセキュリティを高くし、誤作動への信頼性を極端に高めたため、有料道路以外の決済システムとして使うことが不可能なスタンドアロンのシステムになってしまったのである。現在では、利用者番号サービスなど ETC を決済に使える仕組みが構築されてきたが、ETC を活用した決済サービスの民間への広がりには少ないのが現実である。

世界展開という視点では、せつかく国際標準を取得しておきながら、世界での規格採用はゼロである。ソフトウェアだけではなくハードウェアまで含めた使いにくいセキュリティの問題、車載器とカードを分けて使いやすくするためのツーピース方式採用によるコスト高などの日本のシステムの特殊性が、ライバルの諸外国のネガティブキャンペーンの格好の的となったのである。これに関しては、対距離課金の際の路側の処理が簡単になるという全体システムの簡易さ、プローブシステムを組み合わせることによる交通状態把握の重要性、汎用的な交通カードによるマルチモーダルの実現などが、交通問題の解決を図るために最終的には不可欠な技術であることを産官学が連携して説明することが大切である。安かろう悪かろうの仕組みではない使える ITS をしっかりと理解し、プラットフォームとして社会に組み込むための方法論も含めて議論していくことが重要である。

2-3-4 AHS 研究開発のレビュー

(1)安全走行を支援する世界最先端の路車協調 ITS「AHS」⁹⁾

AHS (Advanced Cruise-assist Highway System) は、スマートウェイというコンセプトのなかでも「道路およびその周辺に高度な検出機能と通信機能を有する施設を設置し、それらが収集した道路前方の障害物や路面状態の情報を車両に伝えることにより、道路交通の安全性と効率性を飛躍的に向上させる IT を活用したあらたな路車の協調による交通システム」と定義し、研究開発が行われたプロジェクトである。

研究開発の着眼点は、交通事故の死傷者数は減少傾向にあるが、交通事故件数そのものが年々増加傾向にある点であった。従来は規制・取り締まり、教育、安全施設の整備などの事前対策や自動車の車体構造の改善やエアバッグなど、事故直後の被害軽減対策（事後対策）が図られてきた。しかし、図 2-3-3 の事故要因の内訳が示すように、約 75%は認知、判断、操作のヒューマンエラーであり、ドライバーによる直前の事故回避を支援する対策が必要である。そのため、AHS では事故削減に有効な直前対策に取り組むこととした。

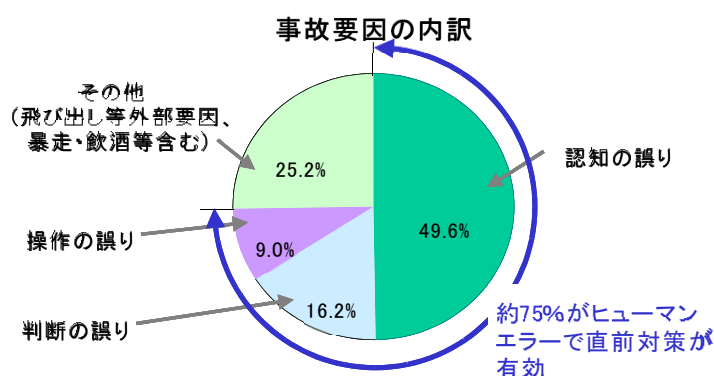


図 2-3-3 交通事故要因の内訳

これまで、実際の交通事故現場での対策にはジレンマがあった。本格的な事故対策は道路構造の改良であるが、それにはコストと時間がかかるし、すぐできる対策として注意看板を立てたととしても、時間経過とともに効果が減少していくという悩みであった。事故そのものを起こさせないようにするには、事前と直前の対策が効果が高いとわかっているにもかかわらず手立てがなかったのである。

それに対して AHS のコンセプトは、路側センサが収集した危険事象、自動車が収集した情報を組み合わせ、事故につながる発見の遅れ、判断の誤り、操作の誤りに対して、その直前に情報提供、警告、操作支援を行うことで、事故そのものを回避させるというものである。そのためには、路側のセンサが危険事象を正確に検知すること、特定の位置にいる車両に特定のタイミングで的確に情報を伝えること、自動車が受けた情報を用いて確実に操作支援を行うことが必要となる。それを可能にするのが ETC にも使われている DSRC という通信技術であった。交通に情報通信

技術を結び付け、道路と自動車を協調（路車協調）させることで、世界最高の安全な交通システムを生み出そうとする画期的なコンセプトが AHS なのである。

もう一つの特徴が、「AHS を現実的なレベルから進化させながら開発、実用化する」というコンセプトである。AHS の支援レベルは、ドライバとシステムのどちらかが運転に必要な情報を収集し、車両を操作し、運転に対する責任を負うかという分類により、図 2-3-4 に示す三つの段階に分類される。支援レベル i とは、ドライバの情報収集の一部をシステムが支援するレベルである（i=information：情報提供、警報）。支援レベル c とは、ドライバの情報収集に加えて運転操作の一部をシステムが支援するレベルである（c=control：操作支援）。支援レベル a とは、情報収集と運転操作および責任のすべてをシステムが負うレベルである（a=automated drive：自動運転）。1940 年に米国で作り出された自動化高速道路（AHS: Automated Highway System）という概念に対して、ドライバとシステムの責任分担を意識し、かつ社会システムとして世の中に受け入れ可能な導入発展プロセスを整理したものが、AHS-i, c, a という概念である。そして、現実的なレベルとしてまず AHS-i（情報提供）の早期実用化を図り、システムの性能や安全性・信頼性を向上させて AHS-c（操作支援）に展開し、最終的には AHS-a（自動運転）を目指すという進化のシナリオである。当面は現実的な情報支援から実用化し、利用範囲を拡大して効果を発揮させ、その後支援レベルを上げていくという開発と実用化のプロセスをとった点が特徴である。













	現状	支援レベル i	支援レベル c	支援レベル a
情報				
操作				
責任				

図 2-3-4 AHS の支援レベル

(2)ARTS から始まった AHS 研究開発のはじまり

日本の AHS 研究開発も ARTS⁶⁵⁾⁶⁶⁾が始まりである。ARTS は RACS を発展させたもので、道路安全システム(AHSS: Advanced Highway Safety Systems)と輸送効率の向上のための輸送効率化システム(ATES: Advanced Transport Efficiency System)、快適性向上のための高付加価値情報システムといった要素により構成されるものである。

AHSS は、路外逸脱警告（防止）システム、衝突危険警告（防止）システム、路面状況・道路構造警戒システム、事故通報システムといった個別システムがあり、

ワーニング、自動制御、自動操舵という三段階のステップでのシステム進化を考えていた。リアルタイム情報提供は、漏洩同軸ケーブル（LCX）を用い、将来的な自動運転を目指していた。

ATES は、高密度運行システム、トラック・バス連行管理システム、自動料金徴収システムなどの個別システムがあった。道路上を走る車両に ID 番号を付すことで個別の車両位置の把握や最適経路の指示、さらには個別メッセージ通信などを目指した。また、料金の自動支払いにより道路の効率的利用や輸送の効率化を目指した。このコンセプトは ETC や ETC2.0 を活用した特車マネジメントシステムにつながっていく。

1992 年には、官民共同で自動運転の研究開発に着手し、1995 年、旧建設省土木研究所のテストコースでレーンマーカ（磁気）を活用した自動運転の公開実験が行われた。翌年の 1996 年には、開通前の上信越自動車道で実道実験が行われた。大規模な実道における公開実験としては世界初で、世界 15 ケ国からの研究者を初め 1,300 名もの見学・試乗者があった。路車間の双方向の情報通信によって危険警告や運転制御を行う具体システムの登場に多くの参加者が感嘆の声を上げた。この段階が研究テーマの設定の時期であった。テーマの模索の段階で、コンセプトを世界にアピールし、問題解決の方向性を示し、研究開発や標準化のリーダーシップをとることで日本の企業等が活動しやすい枠組みを作っていくという日本の新しいアプローチが始まったのである。実道での実験の成功は実用化に向けた扉を開けることとなった。

(3)AHS 研究開発のはじまり

1996 年、鉱工業技術研究組合法に基づき建設大臣の認可をえて、走行支援道路システム開発機構（AHSRA: Advanced Cruise-Assist Highway System Research Association, 通称：AHS 研究組合）⁹⁾が設立される。自動車、電気、情報通信関連など民間 21 社、約 700 人の研究者が参加し、AHS の実用化を目的に、旧建設省との共同研究による AHS の実用化研究の体制が構築されたのであった。政府のリーダーシップ、研究開発テーマの設定、民間企業の参加と連携という官民連携の研究体制は世界的にも注目された。

研究開発目的として以下の 3 つを設定した。

- 道路交通の安全性と効率性を飛躍的に向上させる：道路に高度な検出と通信の機能をもたせ、収集した事象情報を車両に伝えることにより、IT を活用して道路交通の安全性と効率性を飛躍的に向上させる新たな交通システムを創造すること。
- ITS アプリケーションの共通基盤となるプラットフォームを構築する：様々な ITS のアプリケーションを効率的かつ有機的に連携させて大きな効果を発揮するための共通基盤となるプラットフォームを構築するために必要な検出技術や通信技術を創造すること。
- 道路管理の高度化・効率化などに資する：AHS 研究開発で創造した技術を多目的に活用して、道路管理の高度化・効率化などに資すること。

特徴的なのは、図 2-3-5 のような検討の進め方を行ったことである。とくに、アーキテクチャ設計ツールとして当時オブジェクト指向のモデリングツールの主流であった Rational 社の ROSE を採用した。モデリングツールはその後、UML(Unified Modeling Language)として標準化された。モデリングツールを活用することは、世界に新しいシステムを発信する際にはきわめて重要なことであった。

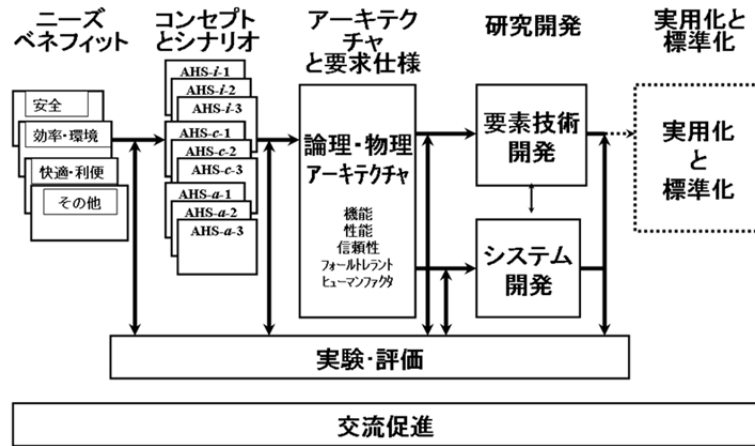


図 2-3-5 AHS 研究開発の進め方

- シーズ先行型の研究にならないように自動車交通に起因する社会のニーズを分析し、システムのベネフィットを明らかにした。そのうえで、実現のためのリクワイアメント（要求事項）を明確にした。
- リクワイアメントに応じたアーキテクチャ検討を行った。アーキテクチャは論理・物理両面から検討され、システムの構成要素に対する機能、性能、信頼性、ヒューマンファクタの影響なども検討し、具体的なシステム開発の目標要件としての各機能等に対する数値（スペック）を定めた。
- アーキテクチャに基づきシステムを構成する要素技術の開発を行い、それらを組み合わせて最終的なトータルシステムとして構築した。
- システムが当初のリクワイアメントに合致しているかどうかを実験・評価を行い、必要に応じて再設計を行った。
- システム内容やその考え方を社会に理解してもらうための交流促進を実施した。
- ISO (International Standards Organization : 国際標準機構) などにおける標準化活用や国際会議を通じた世界への情報発信、世界の研究開発の再先端情報を収集し、研究開発へのフィードバック。

(4)AHS の研究開発

最初に、幅広く適用できる基本的な事項を明確にして、共通的な技術を開発することにより、将来の発展進化を可能にするという理念に基づき、図 2-3-6 に示す基本ユーザサービスの体系化を行った。

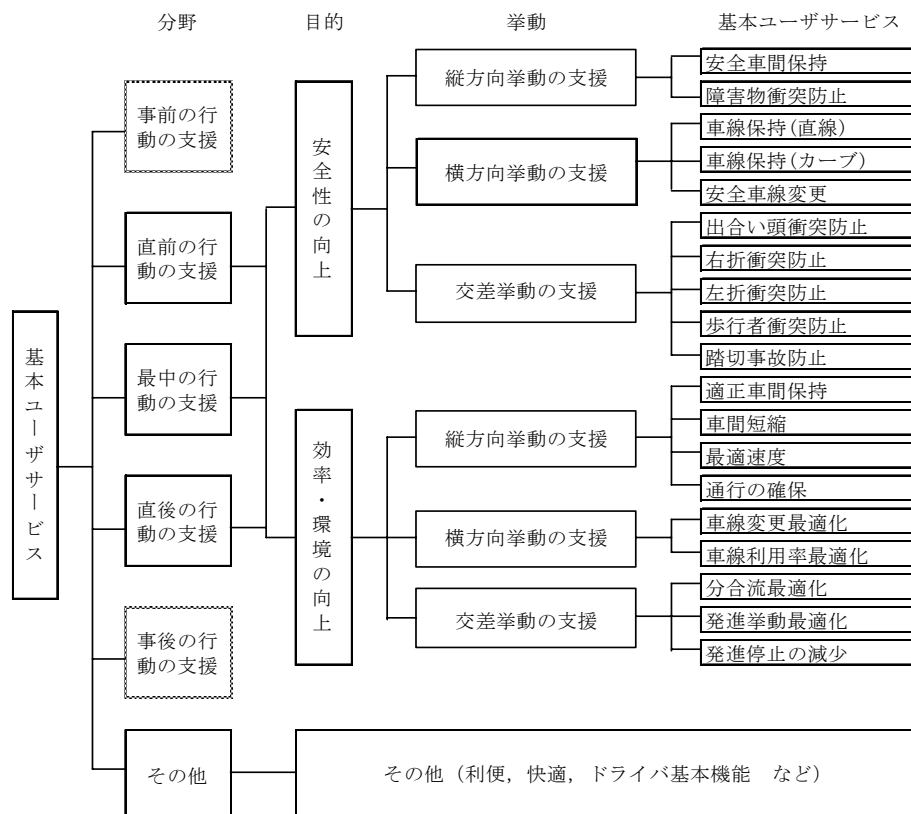


図 2-3-6 基本ユーザサービスの体系

次に、基本ユーザサービスの家で優先的に開発するべきものを設定するため、事故発生状況と人身傷害および社会的・経済的損失を、基本ユーザサービスに対応付けて分析し、とくに有効と考えられる単路系サービスの前方障害物衝突防止支援、車線保持支援（カーブ）、車線保持支援（直線）、交差点系サービスの出会い頭衝突防止支援、右折衝突防止支援、横断歩行者衝突防止支援、安全車間保持支援の 7 サービスを選定（図 2-3-7）し、優先的に開発することにした。

そしてその体系的に整理された路車協調 ITS というコンセプトを 2000 年の公開実験（Smart Cruise21-Demo2000-）で発表することで米国や欧州の ITS 開発に多大なインパクトを与えたとした。

その後、システムの開発を進め、2002～2003 年度に全国 7 カ所の実道で実証実験を行った。実証実験の結果から、自動車に搭載したセンサでは検知ができないブラインドカーブの前方にある渋滞末尾等の前方障害物の情報を道路が検知し、自動車に伝えて衝突防止を支援する「前方障害物衝突防止支援システム」の有効性が確認されたことから、首都高速道路 3 号線の参宮橋カーブで最終的な実証試験が行われることになった。

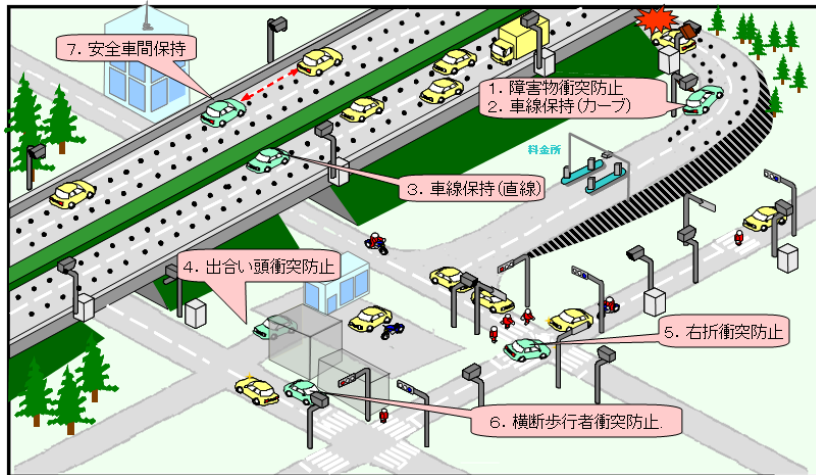


図 2-3-7 優先的に開発する安全 7 サービス

(5) 一番難しい実用化のステップ

実用化のためには研究開発だけでは不十分である。社会システムを導入するという政府の決定、それをふまえた上での事業者や民間企業がシステムを導入するための仕様の作成、実配備のための予算の確保、通信機器の形式認定の仕組み、通信の安全性を確保するための通信の暗号の管理運営組織など社会システムを運営するための仕組みづくりも同時並行で進めていかなければならない。AHS の第 2 期の実用化研究と同時に、そのための仕組みづくりが動いていった。ASV との共同の実証実験の結果を実用化の可能性が見えてきたタイミングが、方針の決定が必要な段階であった。

方針の決定に向けたキックオフは、2004 年 8 月、当時、日本経済団体連合会の名誉会長であった豊田章一郎博士を委員長とした産官学により構成されるスマートウェイ推進会議が検討した提言「ITS セカンドステージへ」⁶⁷⁾において 2007 年に本格的 ITS 社会を構築するという目標が提案されたところから始まる。

表 2-3-4 「ITS, セカンドステージへ」提言抜粋

<p>3.スマートウェイの推進方策</p> <p>(4) 2007 年に本格的な ITS 社会を実現</p> <p>1) 多様な ITS サービスの展開</p> <p>① 車両が有する情報を路側やセンターに送信し、これらの情報を活用、蓄積・加工してサービスを提供する「車両情報送信」サービス。バスロケなど。</p> <p>② 車に乗車している際に発生するさまざまな決済のキャッシュレス化を実現する「決済」サービス。キャッシュレス駐車場など。</p> <p>③ ドライバの運転を支援する警告やタイムリーな案内情報提供を行う「案内・警告」サービス。</p> <p>④ オンデマンドによる各種道路交通情報や沿道施設情報などの提供や車載器を通じたインターネット接続サービスを行う「情報提供」サービス。</p> <p>⑤ その他、歩行者を対象としたサービス、車々間通信や有線通信を利用したサービスを含むサービス。</p>

提言に基づき、2004年12月に国土技術政策総合研究所による「次世代道路サービスに関する共同研究」が公募され、AHS研究組合の加盟メーカーを含む自動車メーカー、電機メーカー等の民間23社による官民共同研究⁶⁸⁾が2005年3月から開始された。AHS研究開発の成果を活かし、1年という短期間の研究開発期間であったが、2006年3月には5.8GHzのDSRCを用いたマルチアプリケーション機能に関する技術基準が取りまとめられた。ETCの機能は当然として、非IPによる高速大容量かつ高信頼性通信によるAHS安全運転支援サービスや広域VICS情報提供の機能、停車中のIP接続による双方向通信機能、クレジットカード決済機能などが世界で初めて一つの車載器で実現する技術が完成した。

(6)政府の導入方針の決定

政府の導入の決定は、2006年1月、小泉内閣総理大臣を本部長とする高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT戦略本部）が決定した「IT新改革戦略」⁴²⁾でなされた。「世界一安全な道路交通社会―交通事故死者数5,000人以下を達成―」という政府目標を達成するため、「2008年度までに官民の大規模実証実験の実施を行い、その結果を判断して2010年度からシステムの導入と車載器の普及を促進する」ことが決定されたのである。政府の決定を踏まえ、2007年5月に「スマートウェイ2007」として国土交通省と民間企業による実道実験が行われた。2008年4月から関係省庁と産業界の代表で構成されるITS推進協議会が主体となった「ITS-Safety2010大規模実証実験」が全国9地域の一般道、高速道路において実施された。2009年、大規模実証実験の結果を受けて、民間企業によるITS車載器が市場に投入されたのである。それに呼応して2010年から国土交通省により高速道路や道の駅を中心に「ITSスポット」と命名された路側機の実配備が始まった。

(7)運用の体制づくり

政府の決定を受けて、サービスを実際に運用するための製品づくり、インフラづくり、運用の体制づくりが必要となってくる。基本的には、2006年3月に取りまとめられた共同研究の成果をベースに検討が関係機関によって行われ、道路の路側に設置される設備、車載器、通信関連の規格や仕様の策定が行われた。道路側の設備に関しては、道路管理者が設置することから、国土技術政策総合研究所によって無線装置、中央処理装置、音声処理装置、情報インタフェースなどの仕様書が準備された。HIDOにおいて路車間インタフェース仕様、ダウンリンク、アップリンクのデータ形式仕様・解説書が準備された。車載器の製造に関する基準は電子情報技術産業協会（JEITA）が検討し、ITS車載器標準仕様、DSRC部標準仕様、カーナビ部標準仕様が定められた。通信関連の基準類は、社団法人電波産業会（ARIB）からDSRCシステム標準規格、アプリケーションサブレイヤ標準規格、陸上移動局の接続性確認の試験項目・試験条件が整理された。ARIBのITS情報通信システム推進会議では、DSRC基本アプリケーションインタフェース仕様のガイドライン、DSRCシステム基地局設置のガイドラインが準備された。VICS情報の提供にかかわる仕様については、VICSセンターから電波ビーコン5.8GHzデータ形式仕様書、路車間インタフェース仕様書などが策定された。

こういった道路設備、自動車の車載器、それらの通信に関する情報提供や料金決済をはじめとするさまざまな基準やガイドラインが整備されることで、ようやく ITS スポットサービスが可能となる。また、サービスを快適にかつ安全に使ってもらうためには、路車間通信の相互接続性の確認、高い信頼性を備えたセキュリティの運用管理が不可欠であることから、2008年6月、民間企業が主体となり「ITS サービス推進機構（ISPA）」が設立され、運用の体制が立ち上がり、路側機の道路管理者による配備と車載器の民間事業者による販売が始まることとなった。

(8)AHS で得た教訓

1)AHS 研究開発の特徴

- 交通事故を劇的に減らすためには、交通事故の大半を占めるドライバーのヒューマンエラーに着目した IT を活用した路車協調システムを官民共同で進めた。
- システム設計に関しては、ヒューマンエラーの内容を分析し、発見の遅れに対して情報提供、判断の誤りに対して警告、操作の誤りに対して操作支援を行うという概念整理を行い、具体的な走行支援レベルに関してもドライバーとシステムの役割分担により情報提供、操作支援、自動運転の 3 つのレベルを設定し、開発と実用化のロードマップを設定したことにより現実に即したシステム開発を行った。
- 車両単独と道路インフラの特徴を分析して、車両単独では困難な遠方、死角の情報提供を基本として開発を行った。
- 事故削減効果の高い 7 つのサービス域（単路系：前方障害物衝突防止支援、カーブ侵入危険防止支援、車線逸脱防止支援、路面情報活用車間保持等支援、交差点系：出会い頭衝突防止支援、右折衝突防止支援、横断歩道歩行者衝突防止支援）で研究開発を行った。

2)AHS 研究開発の成果

- 単路系サービスに関しては、安全性と信頼性を加味したシステムを開発できた。
- 実用的な道路状況把握センサを開発し、前方障害物の路側からのセンシングを可能とした。加えて、センサの機能を活用することで事故分析が可能となることを明らかにした。
- 路面の状況を乾燥、湿潤、水膜、積雪、凍結の 5 状態で把握可能な路面状況把握センサを開発し、道路管理への活用を可能とした。

3)AHS 研究開発の課題

AHS 研究開発は、道路交通に関する官民連携による大きな国家プロジェクトであった。それに関連する様々な教訓を残した。

まず、行政が関与した研究開発の壁である。自動車交通といった社会システムのイノベーションにはどうしても行政の関与が必要となってしまう。しかしながら、行政の関与は、投入する研究開発費用に関して社会性の理由付けが必要で、そのための理由を整理し、多くの関係者の理解を得るためだけに多大な時間を必要とする

場合が多いこと。いったん目標がセットされると、今度は逆に多くの関係者の合意を得ているため、変更が容易でないことなどの課題がある。行政の関与に関しては、こういった指導者機能が無責任体質になりやすいことなどが社会システムのイノベーションには大きな問題であった。

次に、研究開発プロセスに伴う課題である。システム研究開発をコンセプトの部分から始めたこと、社会性を最優先にして議論を始めたことは前述の国家予算を投入するためには不可欠なことであるが、利用者目線や技術の現実的適用といった視点がおろそかになるという以下のような課題があった。

- 社会性の高い安全系のサービスを検討してきたため、実際のサービス導入を検討するとドライバが重大事故に遭遇する可能性が少なく、自分は事故を起こさないと思い込むことも相まって、安全機能を持つ車載器を追加料金を払ってまで購入しようとする動機付けが難しく、普及展開シナリオが描けなかったこと。
- 単路系サービスは、道路インフラが危険事象等を検知するため、路側の負担が大きく設備が高価となり、サービス導入箇所が制限されること。
- 交差点系サービスはインフラ設備の負担が大きいくに加え、センサで把握がしがたいパターンが存在すること。
- 交差点内の事象、交差点内の車両や歩行者が多く存在し、ドライバへの表示方法の整理が出来なかったこと。

2-4 日本の ITS の特徴と課題の整理

2-4-1 社会を変え始めた日本の ITS

これまで実現されてきた ITS サービスは、私たちが想像する以上に日本の交通を変え始め、さまざまな社会問題の解決が始まっている。

1994 年頃から本格的に普及し始めたカーナビは、2014 年 12 月までに 6,500 万台規模が出荷されており、自動車の標準的な装備となりつつある。現在のカーナビは、ナビゲーションだけでなく、観光地やレストランの案内など、ドライバの快適で安全、便利な運転をアシスタントとなっている。あわせて、カーブ警告などドライバの運転支援にも貢献しており、とくに高齢者からは安心感に対する評価が高くなっている。しかしながら、2007 年、インターネット接続とマルチメディア機能を搭載したスマートフォンが登場した。近年はスマートフォンを活用したカーナビゲーションのソフトウェアを活用する利用者が増えてきている。

1996 年から開始された VICS サービスは、カーナビに道路交通情報や駐車場満空情報、事故や工事規制といったリアルタイムの情報を付加し、カーナビゲーションの機能を一気に高度化した。その結果、最近出荷されるカーナビの約 7 割には VICS 機能が搭載され、2014 年 12 月までに 4,500 万台が出荷された。VICS で提供されている情報の他に、通行規制情報、気象情報、路面情報など地域特性に応じた道路情報が地方整備局や事務所のホームページにて提供されている。とくに、路面情報などはカメラやセンサを整備し収集したリアルタイムなデータ提供も行われている。これらのホームページの情報は、通行規制の多い梅雨や台風の時期、冬期にアクセス数が増加するなど、利用者の交通行動のうえで欠かせない存在となりつつある。

(公財) 日本道路交通情報センター (JARTIC) がホームページで提供している道路交通情報サービスへのアクセス数は、2014 年度は、約 12.3 億ページビュー、年間の延べ利用者数は約 0.94 億人であった⁶⁹⁾。近年は、Google などが渋滞情報等の提供を始めておりアクセス数は伸び悩んでいる。

1997 年から始まった各自動車メーカーが提供し始めたのがテレマティクス (Telematics) サービスである。テレマティクスは、「テレコミュニケーション」と「インフォマティクス」を組み合わせた造語で、カーナビや GPS などの車載機と移動体通信システムを利用して、携帯電話通信の双方向通信を活かした様々なサービスを実現しようとするものである。トヨタ自動車の「MONET (モネ)」⁷⁰⁾、日産自動車の「コンパスリンク」⁷¹⁾、本田技研工業の「インターナビ」⁷²⁾などが立ち上がり、サービスを開始した。トヨタ自動車はその後、「G-BOOK」⁷³⁾「T-connect」⁷⁴⁾、日産自動車も「カーウリングス」⁷⁵⁾とサービスを進化させていった。車載器メーカーのパイオニアも「AirNavi」から「サイバーナビ」⁷⁶⁾と通信モジュールを活用したテレマティクスサービスを展開している。

各社のサービスは若干の違いがあるが、基本的には、リクエスト型の VICS サービス (予測含む)、緊急通報サービス (自動車メーカー、電機メーカー、車載機メーカー、

通信キャリア各社などの共同出資によって設立された（株）日本緊急通報サービスのヘルプネット®が 2000 年からサービスを開始）、コンシェルジュサービス（目的地情報、カーナビの操作などを友人のオペレータが詳細に提供）、プローブ情報収集（車の情報を収集し、メンテナンスや渋滞情報の詳細分析等に活用）がある。商用車向けのサービスとしてはいずれの「みまもりくん」サービスは、トラックの ECU と接続し車両制御データを使うことで、運転時間分析レポートサービスや省エネ運転レポートサービスなどが可能となっている。

テレマティクスの特徴は、VICS は情報の提供が一方通行で提供されるため、情報量が広く薄くなってしまふことであるが、テレマティクスはユーザのリクエストに応じてオンデマンドで情報提供が可能であることことから、ユーザの欲しい情報をセンター側で詳細に計算して返すことが可能である点と、クルマ側の情報を収集することもできる点である。

課題としては、通信モジュールが必要であり、日進月歩の進化を遂げる通信機器とのインタフェースを定めることが難しい点、通信コストの負担、各社の競争領域となっているため共通的な機能をもうけることが難しい点などがあげられる。

携帯電話通信の進化の影響はバスロケーションシステム（以下「バスロケ」と呼ぶ）の進化にも影響を与えた。1999 年から開始された携帯電話でのパケット通信の登場である。NTT ドコモが提供を始めた DoPa（ドゥーパ）の特徴は通信回線資料量ではなく、データ通信量で課金をするため非常に低価格で移動体通信を活用できる点であった。牧野ら⁷⁰⁾は、バスの位置を GPS レシーバで把握し携帯電話パケット通信でセンターに送付し、NTT ドコモが提供する携帯電話インターネット接続ができる i モードやインターネットでバスの位置とバス停への到着時間予想を利用者に届ける低価格なバスロケシステムを世界に先駆けて開発した。路線バスだけでなく、高速バスも含めた全国のバス事業者 100 事業者以上に導入されている。しかし、携帯電話をベースに構築されており、携帯電話の通信コストに比して乗客が増えるなどの便益が少ないこともあり撤退する事業者もあるのが現実である。

2001 年には ETC サービスが開始された。高速道路で一番多い料金所渋滞に並ぶ渋滞列を横に見ながらノンストップで通過できるメリット、加えて実施された ETC 料金割引などの政策により急速に普及した。2014 年 12 月時点で VICS の出荷台数を抜き、累計 4,800 万台以上の車載器が出荷された。料金所通過車両に占める ETC 利用率も 90%を超え、料金所の渋滞はほぼなくなったとあってよい。また、ETC 利用者を対象としたきめ細かい時間帯別料金設定を行うことで、割引のある夜間に ETC 利用が増加する一方、一般道路の交通量が減少し、夜間の沿道環境の向上に貢献する効果が得られている。ETC 技術を活用したスマートインターチェンジ（以下「スマート IC」と呼ぶ）は、2004 年から社会実験が開始され、2006 から本格導入が開始された。2014 年 11 月現在、全国で 70 か所設置され、開通が予定されている箇所が 75 か所ある。スマート IC は、高速道路へのアクセス時間短縮効果だけでなく、地域再生・活性化により地域社会にもたらされる大きな効果が期待される。

2-4-2 実現された路車協調 ITS の共通事項と課題の整理

日本の ITS の進化を振り返ってみると道路と車両が連携するという路車協調 ITS の実現のポイントと課題は表 2-4-1 のように整理できる。

表 2-4-1 路車協調 ITS の実現を支えた情報通信技術と課題

	Car Navigation	VICS	ETC	AHS	Telematics
実現のポイント	位置特定技術 GPS ジャイロ 地図情報技術 デジタル地図 (DRM) HMI 地図表示 簡易図形 音声機能 警告音	センター 情報生成・DB ネットワーク 地図情報技術 リンク番号 (DRM) 通信技術 広域放送 狭域通信 HMI 情報の優先度	通信技術 双方向通信 狭域通信 セキュリティ IC カード ツーピース 個別決済 センター ネットワーク DB・決済	センサ技術 車両検知 路面状態検知 通信技術 狭域通信 HMI 1 秒以内表示 簡易図形 警告音	センター 情報生成・DB ネットワーク 通信技術 広域通信 HMI 音声通話 マルチメディア 車両連携 CAN 接続 プローブ機能
課題	<ul style="list-style-type: none"> 渋滞情報が不可欠 スマートフォンというライバル登場 地図更新の仕組み不足 	<ul style="list-style-type: none"> 電波ビーコン、光ビーコンなどの受信装置がオプションとなり普及しなかった FM 多重放送利用が主流となったが、都道府県内の配信しかできなかった 渋滞情報生成のためのデータ不足 渋滞情報を提供している道路が少ない スマートフォンというライバル登場 世界への展開ができなかった 	<ul style="list-style-type: none"> 通信のセキュリティを民間が使うための仕組みづくりが不十分 民間の利用拡大が進まなかった 世界への展開が出来なかった 	<ul style="list-style-type: none"> 車載器の普及がない中でのインフラの過度な配備は無理 路側機と車載器のどちらを先に整備するのかという問題が解決できなかった 車両の機能と連携した路車協調が必要 世界へのインパクトは会ったが実現が難しかった 	<ul style="list-style-type: none"> 通信コストの負担の問題が大きい 民間の競争領域であり、共通的な基礎データ収集が困難

(1) 実現に必要であった情報通信技術の整理

それぞれのサービスごとの共通点を導き出すと路車協調 ITS を構成する情報通信技術が以下のように整理できる。

- 道路と車両から対象物等を認知したり、状況を把握したりするための「知覚情報（センサ）技術」
- 車両の現在地を把握するための「位置特定技術」
- 車両の位置を地図に表示するための「地図情報技術」
- 道路と車両が情報を交換するための広域放送、広域通信、狭域通信などの「情報通信技術」
- 収集された情報を処理する「情報処理技術」
- 車両の位置、経路の案内、注意警告情報などをドライバーに理解できるよう視覚、聴覚などを通じてドライバーに伝える「HMI 技術」

(2)課題の整理

日本の ITS は世界の最先端を走っている。しかしながら、社会問題が発生した時点での最先端の情報通信技術を活用した収集機器・提供機器などによりシステムを構築し課題への対応を行ってきたのも事実である。それぞれに効果はだしているものの、以下のような課題が生じている。

- 個別のサービスのための機器が乱立し、管理コストの増加、システム相互利用性の欠如、利用者の負担増などの問題が生じている。
- 通信のためのシステムのコストを誰がどのように負担するかというビジネスモデルの構築が難しい。
- 社会システムとして成立するためには、車載器の普及と路側機の整備という「鶏と卵」問題を解決するための普及戦略が不可欠である。
- 最初は公的なサービスから始まり、民間のサービスまで広まることで、日本の新しい産業を興すという成長戦略が不可欠である。
- スマートフォンなどの携帯型デバイスをどのように取り込んでいくのかというシステムアーキテクチャの再考が必要である。

2-4-3日本の ITS 研究開発の教訓のまとめ

(1)研究開発・体制の構築

1)研究開発の実施

日本の ITS 研究開発の歴史を振り返りかえると、科学技術を実社会に導入するための努力の成果であることがわかる。そのためには研究開発の段階が重要である。その研究開発は、基礎研究、応用研究、実用化研究に分かれる。

基礎研究は、さまざまな物質の性質や原理などから発明につながる基礎的な研究段階で、大学や官民の研究所で実施される。

応用研究は、基礎研究から出てきた 1%の新しい可能性と 99%の問題点を使えるような製品にしていくための研究段階である。これは主に産学官の研究所や民間の工場で実施される。この段階では、技術者や研究者、さらには企業家の興味をそそるような夢のある開発目標をセットすることが重要である。

実用化研究は、社会的なニーズに合致し、システムのコストやそれを維持するためのコストとそのシステムのもたらす便益や利益をふまえた導入戦略も含めた成果が必要となる。社会システムの場合は官民の共同研究が主体となる。

2)官民の連携体制

研究開発段階ごとに連携方法が異なる。基礎研究に対しては、幅広い分野への自由な研究予算確保が重要である。応用研究に関しても様々なアイデアが出てくる必要がある。魅力ある課題のセットがある。実用化につながるかどうかは不問とし、成果に関しても派生的な効果（スピノフ）も含めて幅広く考える必要がある。実用化研究に関しては、官民の連携による共同研究が効果的である。いずれにせよ立法府や行政政府の方々はこういった研究開発のダイナミズムを理解し、立法措置や予算措置を考えなくてはならない。

3)省庁間の連携体制

実用化のめどが立った新規サービスの開始・普及には、運用開始に向けた法整備・方針の策定等の官庁間が連携するための体制づくりが重要である。

4)法制度の整備

新規サービスの実現に向けて、道路法、道路交通法、自動車保安基準、電波法等の ITS 関連法制度の整備が必要となる。

(2)アーキテクチャの策定

1)アーキテクチャの策定

情報通信技術を効果的に活用するためには、個々のシステムの最適化を図るだけでは不十分であり、情報収集、処理・蓄積、情報分析、情報提供といった情報処理の各段階での共通事項を相互に利用することで運用コストを下げ、相互利用性を確保することが可能となる。そのためには、ITS 全体のシステム構造を示す設計図となるアーキテクチャの検討が重要となる。

2) データ収集・蓄積の重要性

渋滞や事故等の道路交通における諸問題に対する対策方針としては、バイパスの整備や交差点改良等のハード対策，道路交通情報の提供による交通の分散や交通量に応じた信号制御等のソフト対策が考えられる。これらの対策検討に際しては，当該箇所の交通状況を調査し十分な交通現象の分析の上実施するものであるが，近年の交通現象は複雑化しており短期的な調査のみでは十分に把握できない状況にある。

このため，交通量や交通流，旅行速度などの詳細な情報を収集・蓄積し，対策検討に際して活用することが必要である。また，道路交通情報の提供に際しても，利用者ニーズも多様化・高度化している中，リアルタイム情報に着目するのみならず，蓄積データに基づき予測情報を提供するなど高付加価値化を目指すには，交通状況データの収集・蓄積が必要とされている。

3) 収集方法の高度化・効率化（量から質へ，点から線へ）

多様化，高度化する道路利用者ニーズに対応するには，コスト面・品質面からインフラのみでの対応は困難であり，路車協調による車両のセンサ情報等をプローブ情報として収集する仕組みの構築が不可欠である。

(3) プラットフォーム機能

事故・渋滞の諸問題の対策に際しては，情報・提供機器の整備が必要とされる。しかし，諸問題に対し個々の組織が別個に対策を進めた場合，通信設備・収集提供設備の仕様が乱立し，結果として機器整備や管理運用の費用負担が増大してしまう。

このため，各種サービスをあらかじめ明確にし，共通化できる部分をプラットフォームとなる基盤として整備することが重要である。また，基盤の共通化によって，民間にプラットフォームを開放することが可能となる。

(4) 運用体制の構築

1) 推進体制の構築

ITSの実現や関係する利害関係車の調整を図るためのITSジャパンのような推進団体は重要な役割を担う。具体的なサービスを官民で連携して実行していくためのVICSセンターのような団体もありえる。通信技術をコアに活用するITSでは，とくにセキュリティや通信の接続性を確保するための第三者組織の設立も不可欠となる。

2) 管理運用体制の構築の必要性

道路利用者に対し有効かつ信頼性のある情報提供が，諸問題の解決のキーであり，整備を実施した機器の管理や，その情報内容の監視が非常に重要となる。

このため，道路交通の運用に際しては，それらのシステムを適切に運用するための人員，教育が必要不可欠である。

3) セキュリティ確保

通信のセキュリティ確保だけではなく，システムの心臓部となるセンター側・路側側で高度なセキュリティ（ハッキング対策等）の確保が必要である。また，路車

協調による情報収集システムとしてプローブ情報の活用が有望であるが、実用化に向けては個人情報保護に留意が必要である。

(5)普及戦略について

路車協調 ITS の普及のためには、路側に装備する通信設備と車両に装備する車載器の両方が配備されなければサービスが始まらないという「鶏と卵」の問題が大きく横たわる。

表 2-4-2 を見ると、鉄道などの公共交通機関のように、両者とも鉄道会社が設置するというのであれば、事業者の意思決定で事が進んでいく。また、飛行機のように飛行場への誘導装置は公共セクタが整備することになる場合でも空港のような施設のケースは比較的シンプルである。自動車の場合は、路側の通信設備を整備するのは公共セクタの道路管理者であり、それも点ではなく線や面で配備しなければならない。車載器に関しても、自動車の所有者である個人が購入するかどうかの判断を下すことになる。そして車載器を作るのは電機メーカーが中心であり、HMIなどは車両を作る自動車メーカーとの調整、車両保安基準や道路交通法などとの整合をとることも不可欠である。

表 2-4-2 交通システムごとの関係主体

	鉄道	航空	道路
乗り物	車両メーカー→鉄道会社	飛行機メーカー→航空会社	自動車メーカー→個人
インフラ	鉄道（鉄道会社） 駅（鉄道会社）	空路（国） 空港（国，都道府県）	国道（国） 県道（都道府県） 市町村道（市町村）
運行	鉄道会社	航空会社	個人 バス（バス会社） 物流（物流会社）
管制	鉄道会社	管制センター（国）	一般道路（交通警察） 高速道路（高速道路会社）
管理	鉄道会社	インフラ（国，都道府県） 航空機（航空会社）	高速道路（高速道路会社） 国道（国） 県道（都道府県） 市町村道（市町村）

自動車は道路さえあれば個人が自由に行きたい所に行くことができることから爆発的に普及し、社会システムを変える交通機関となった。しかし、自由に利用できるが故に秩序を作り出すことは困難な作業となる。特に、自動車や装備の購入、メンテナンスを行うのは所有者である。所有者であるドライバーが車載器を購入したくなるようなサービスが路側から提供されなければ、車載器の普及は不可能ということになる。VICSはドライバーが欲しがっていた「この先の渋滞はどうなっているのか」「渋滞を回避できないか」というニーズにこたえられたのでカーナビ普及の原動力となったのである。ETCに関しても料金所の渋滞を避けたい、土日の割引を受けたいなどのユーザニーズに合致したから爆発的に普及した。

ITS の普及のためには、車の所有者、自動車メーカー、電機メーカー、道路管理者、交通警察といった自動車交通に関係するステークスホルダーの大きな合意が必要で

ある。その上で、ユーザが「これは便利だ」と思うダイワサービスを官民が連携して提供しなければ、普及はおぼつかないことになる。

(6)路車協調 ITS とスマートフォンについて

最新のスマートフォンは携帯電話、Wi-Fi などの無線通信技術が組み込まれており、ナビゲーションの基本となるデジタル地図や GPS 機能も持っていることからカーナビや VICS の脅威となるといわれている。

路車協調 ITS サービスの中でスマートフォンでの対応が難しそうなのが、セキュアで高速な通信が必要となる ETC と AHS のアプリケーションである。また、カーナビの技術でもジャイロを活用した GPS が機能しないトンネル内や GPS の補正技術など自動車と連動した運転支援や経路案内といった自動車の運転に特化したアプリケーションはカーナビの独壇場であるといえる。

一方、カーナビが弱い通信機能をベースにした地図更新や渋滞や観光情報提供などスマートフォンが優位である。とくに、気になるのが自動車の寿命に比べて進化の早い通信技術への対応であり、本来携帯電話として使われるスマートフォンの方が最新の機能を持ち続けられるという利点もある。

以上のようなメリットデメリットを持つ両者であるが、IT 技術の進化の流れから考えると、それぞれの利点を生かした共存関係になるのではないかと思われる。

カーナビに関しては、自動車の頭脳として自動車の持つ情報との連動や運転の操作との連動を重視したデバイスとして進化していくのではないだろうか。特に走行しながらの決済である ETC、安全運転の情報を提供する AHS、電気自動車の充電情報などとの連動などを考えたアプリケーションをベースに、カーナビの弱い通信機能をうまく取り込みながら進化していくと考えられる。

スマートフォンも、これまでカーナビを買う予定のなかった自動車のライトユーザに対して新しいマーケットを提供することになるであろう。ただし、運転中に使われるということを考えた HMI などもしっかりと検討していかなければならない。その上で ETC や AHS などの機能との連動を目指していくことになるのではないだろうか。

IT の進化のお陰で、カーナビやスマートフォンの心臓部である CPU の性能は大昔の大型電算機並みの機能を持ちながらも価格は大幅に下落し、家には高性能 PC、出張用のモバイル PC、通勤時のスマートフォンといったデバイスをその用途に応じて使い分ける時代が来た。

大切なのは、クラウドサービスのようにどのデバイスを用いてもシームレスに情報がえられることである。例えば自動車での旅行を考えて見ると、出発前は自宅で行き先を調べ、ルートや観光地や宿泊先を決める。その情報がカーナビに転送され、VICS や ETC を活用して渋滞を回避しながらスムーズにかつ安全に目的地に誘導する。目的地ではスマートフォンに観光地のガイドやお得情報が表示され観光を楽しむという流れになるのではないだろうか。つまり、通信規格やデバイスの違いは大きな問題ではなく、利用者が必要としているコンテンツやアプリケーションがシームレスに提供されているかどうかということが大切である。

2-5 本研究の位置づけ

本研究は、自動車をもたらした負の遺産である交通事故、渋滞、環境問題、スプロール開発などの問題に対して新しい解決方法を提供するであろう最先端の情報通信技術を活用した ITS について検討を行うものである。なかでも、問題解決のアプローチとして道路インフラのみや自動車単体のみでは解決できない道路と自動車が連携して様々な問題解決を図るという「路車協調 ITS」に焦点を当てて検討を行うものである。

本研究を進めるにあたっては、これまでの世界と日本の ITS 研究開発の教訓を活かし、以下に配慮しながら研究を進めることとした。

日本の ITS 研究開発の強みは産官学の連携が比較的容易で機動力があるが、包括的・横断的なシステム全体からの整理が苦手であるという点であった。一方の世界は、システム全体を描くことは得意であるが、導入までに検討時間がかかることや普及のために必要なユーザ視点が欠落するなどの課題があった。本研究では、これからの路車協調 ITS を論じるにあたって、極力システム全体からの整理を行い、「最先端の情報通信技術の動向」と「社会への普及戦略」を踏まえた実現可能な社会システムとしての ITS について提案を行うことを目標とする。

また、図 2-5-1 に示すように、これまでの ITS のシステムが様々な機器が乱立し、管理コストの増大やシステムの相互利用性の欠如を生じさせたこと、さらにはインフラ単独では過度な負担となる実態を踏まえ、「アーキテクチャ検討」をしたうえで、「プラットフォーム機能の整備・仕様の標準化」と「路車協調による対策の実施」を中心に議論を展開する。

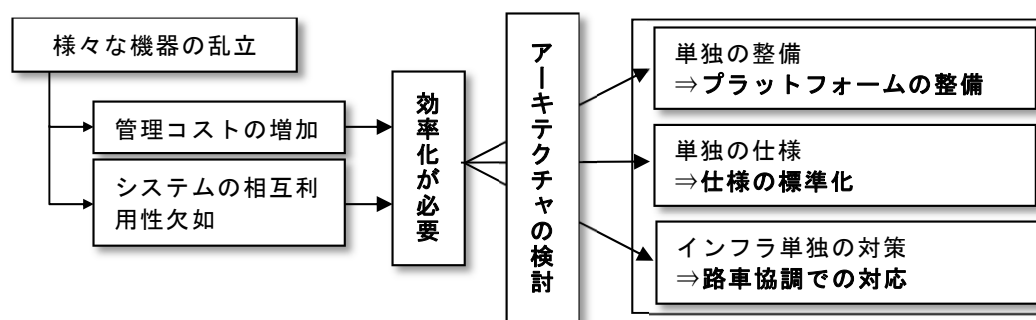


図 2-5-1 ITS アーキテクチャ検討の必要性

次に、ITS サービスを実現するうえで大切なのは、情報の流れを改善することである。情報収集、処理・蓄積、情報提供の流れを意識しながら、道路の運用や維持管理を効率化させる「情報収集能力の向上」とドライバや車両との連携を強くする「車内への直接的情報提供」という機能の向上に着目した路車協調 ITS の開発を行う（図 2-5-2）。

そのうえで、路車協調 ITS を活用し、道路交通問題の解決だけでなく、国土や都市問題の解決の方向性について整理する。

路車協調 ITS の可能性を示すために、道路交通問題の重要な課題である交通事故、渋滞対策の実証検討を行う。特に、路車協調 ITS は世界で初めての社会システムの実証となる。そのため、ドライビングシミュレータ（DS）やトラフィックシミュレータ（TS）という仮想空間を活用した事前検証と実道検証を組み合わせた手法を活用し、実証を行うこととする。

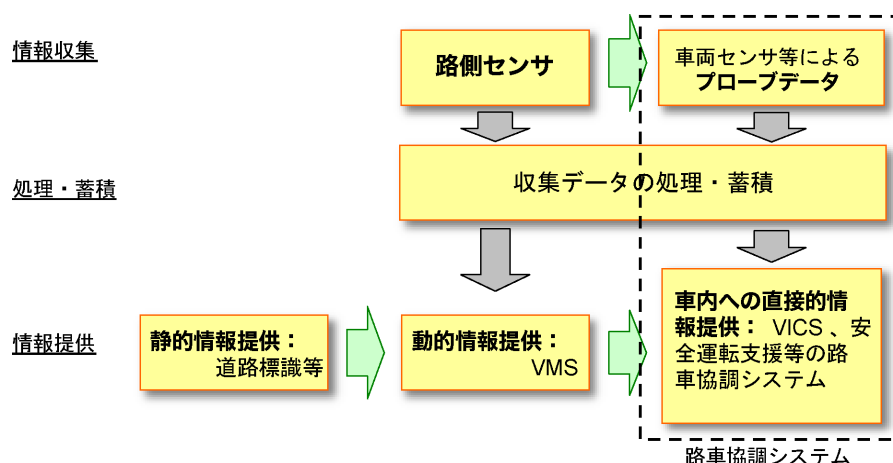


図 2-5-2 情報収集・提供手段の進化と路車協調 ITS

具体的には、以下の点について検討を加え、社会に実装可能な世界最先端の社会システムとしての路車協調 ITS の研究を行う。

- 自動車と道路の両方がメリットを受ける「路車協調による対策」を検討する。
- 「最先端の情報通信技術の動向」と「社会への普及戦略」を踏まえた実現可能な社会システムを開発する。
- システム全体の「アーキテクチャ」を踏まえ、様々なアプリケーションを実行できる「プラットフォーム機能」の確保に配慮する。
- 「情報収集能力の向上」と「車内への直接的な情報提供」を実現する機能を実現する。
- 路車協調 ITS のシステムづくりが目的ではなく、「道路交通問題、国土都市問題の解決方向」という課題解決型の仕組みづくりを目指す。
- 社会的ニーズの高い「交通事故、渋滞対策の実証検討」を行い、問題解決の可能性を実証する。
- DS や TS といった仮想空間を活用した事前検証と実道検証を行う。
- 多様なサービスによる都市交通問題の解決、防災時の機能、プローブ情報を活用した新しい道路行政の展開等についても議論を行う。

第2章 引用文献・参考文献

【全般】

- 1) 星埜和, 道路交通の管制技術, オペレーションズ・リサーチ, pp207-213, Vol.25_04, 1980
- 2) 越正毅, 川嶋弘尚, 津川定之, 福井良太郎, 野口好一, 松井直人, 徳山日出男: 最新ビジュアル百科 ITS のすべて, 日本経済新聞社, 1995
- 3) 徳山日出男, 加藤恒太郎, 岩崎 泰彦: 知能道路 2001, 日本経済新聞社, 1998
- 4) 高羽禎雄, 津川定之, 藤井治樹, 桑原 雅夫: 21 世紀の自動車交通システム - 情報化・知能化・自律化へ, 工業調査会, 1998.8
- 5) 小塚一宏, ITS(高度道路交通システム) の国内外の動向, トヨタ中央研究所 R&D レビュー, pp53-68, Vol.33 No.3, 1998.9
- 6) 川嶋弘尚 (監): ITS 新時代 スマートウェイがつくる世界最先端の道路交通社会, 日経 BP 社, 2007
- 7) Richard Bishop : Intelligent Vehicle Technology And Trends, Artech House Its Library, 2005
- 8) 塚田幸広, 畠中秀人, 杉浦孝明: 道路交通政策における ITS の展開に関する国際比較, 運輸政策研究, 12(2), pp2-14, 2009
- 9) 牧野浩志, 保坂明夫, 鎌田讓治, 水谷博之, 池田朋広: 路車協調でつくるスマートウェイー AHS による安全な道路の構築と国土イノベーション, 森北出版, 2013.12

【米国関係】

- 10) U.S. Department of Transportation, MOVING AMERICA: New Directions, New Opportunities A Statement of National Transportation Policy Strategies for Action, March 8, 1990
- 11) Mobility 2000, Proceedings of a National Workshop on IVHS, March 19-21, 1990
- 12) Richard F. Weingroff, Creating A Landmark: The Intermodal Surface Transportation Act of 1991, Public Road, Vol. 65 No. 3, November/December 2001
- 13) IVHS AMERICA, STRATEGIC PLAN FOR Intelligent Vehicle-Highway Systems in the United States, May 20, 1992
- 14) IVHS AMERICA, IVHS Architecture Development Program, April 1994
- 15) Joint Program Office for ITS, FHWA US-DOT, IVHS AMERICA, NATIONAL ITS PROGRAM PLAN, March 1995, US-DOT
- 16) FHWA US-DOT, Building the ITI: Putting the National Architecture into Action, April 1996
- 17) Mark Hickman, Stein Weissenberger, Joy Dahlgren, Assessing the Benefits of a National ITS Architecture, California PATH Working Paper UCB-ITS-PWP-96-10, August 1996, ISSN 1055-1417
- 18) The National Automated Highway System Consortium, Demo '97: Proving Ahs Works, Public Road, Vol. 61 No. 1, July/August 1997
- 19) Steven Shladover, AHS Demo'97 "Complete Success", Reserch Updates in Intelligent Transportation Systems, Vol.6 No.3, 1997, California PATH
- 20) COMMITTEE ON TRANSPORTATION AND INFRASTRUCTURE HOUSE OF REPRESENT-ATIVES : TRANSPORTATION EQUITY ACT FOR THE 21ST CENTURY, COMMITTEE PRINT, 1998

- 21) Cheryl Little ,The Intelligent Vehicle Initiative: Advancing 'Human-Centered' Smart Vehicles, Public Road, Vol. 61 No. 2, Sept/Oct 1997
- 22) ITS America, Intelligent Vehicle Initiative Forum Proceedings, August 5-6, 1997
- 23) ITS Joint Program Office, FHWA US-DOT, NATIONAL INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS PROGRAM 1996 Report to Congress, September 26, 1997
- 24) ITS Joint Program Office, FHWA US-DOT, Intelligent Vehicle Initiative Business Plan, November 1997
- 25) 川崎茂信：米港における走行支援システム実用化への取り組みーIVI プロジェクト, 道路, 2001.2
- 26) ITS Joint Program Office, FHWA US-DOT, Saving Lives through advanced vehicle safety technology - Intelligent Vehicle Initiative Final Report, September 2005
- 27) 原田昇, 牧村和彦：アメリカの大都市圏の ITS, pp65-72, 道路交通経済, 1999.10
- 28) ITS Joint Program Office, US Department of Transportation, VEHICLE INFRASTRUCTURE INTEGRATION(VII) VII Architecture and Functional Requirements Version 1.0, April 12, 2005
- 29) 平井節生, 牧野浩志, 山内照夫：米国の VII（路車統合）プロジェクトの動向について, 交通工学, 41 (1)pp.84-90, 2006
- 30) VII Consortium , Final Report:Vehicle Infrastructure IntegrationProof of Concept, FHWA-JPO, US DOT, May 19, 2009
- 31) ITS Joint Program Office, US DOT, Transforming Transportation through Connectivity: ITS Strategic Research Plan, 2010–2014 (Progress Update, 2012), October 2012, [http://www.its.dot.gov/strategicplan/pdf/ITS Strategic Plan Update 202012.pdf](http://www.its.dot.gov/strategicplan/pdf/ITS%20Strategic%20Plan%20Update%202012.pdf)
- 32) ITS Joint Program Office, US DOT, USDOT’s Intelligent Transportation Systems (ITS) ITS Strategic Plan 2015-2019, December 2014, <http://www.its.dot.gov/strategicplan.pdf>
- 33) MAP-21 - Moving Ahead for Progress in the 21st Century, <https://www.fhwa.dot.gov/map21/>

【欧州関係】

- 34) G. Johannsen and J. E. Rijnsdorp, Analysis, Design and Evaluation of Man – Machine Systems, International Federation of Automatic Control, Pergamon Press
- 35) NICT パリ事務所：欧州におけるモバイル・インターネットを活用した高度交通システム（ITS）に関する研究開発及びその環境に関する調査, 2010
- 36) ITS ジャパン：欧州のプロジェクト調査表, 2010.3
- 37) 一般財団法人日本自動車研究所：ITS 協調システムの情報項目の標準化に関する分析・検証報告書, 2014.3

【日本関係】

- 38) G. Johannsen and J. E. Rijnsdorp, Analysis, Design and Evaluation of Man – Machine Systems, International Federation of Automatic Control, Pergamon Press
- 39) 国土交通省道路局 IR サイト, http://www.mlit.go.jp/road/ir_index.html
- 40) 特集「情報ハイウェイ構想」, 道路行政セミナー, 1991.8
- 41) 小泉内閣総理大臣, 「交通事故死者数半減達成に関する内閣総理大臣(中央交通安全対策会

議会長)の談話」, 2003-01

- 42) IT 戦略本部, 「IT 新改革戦略—いつでも, どこでも, 誰でも I T の恩恵を実感できる社会の実現—」, 平成 18 年 1 月 19 日
- 43) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部, 世界最先端 IT 国家創造宣言, 平成 25 年 6 月 14 日
- 44) スマートウェイ推進会議, スマートウェイの実現に向けて~21 世紀にふさわしい社会インフラの早期整備を~, 1999-06
- 45) 通商産業省工業技術院:自動車総合管制技術の研究開発日本産業技術振興協会 (1977)
- 46) 松本俊哲, 三上徹, 油本暢勇, 田部力:自動車総合管制システム, 電子通信学会誌, 62-8 870/877, 1979
- 47) 大山尚武, 鈴木伸夫:自動車総合管制システムパイロット実験システムと実験結果のあらまし, 計測と制御, 19-2, 223/230, 1980
- 48) 柴田正雄:路車間情報システムについて, 道路 535 号, 1985.9
- 49) 柴田正雄, 上田敏:路車間情報システムの開発に関する研究, 土木技術資料, 29-2, 1987.2
- 50) 柴田正雄, 高田邦彦, 上田敏, 今長信浩:路車情報システムの開発に関する実験と考察, 土木技術資料, 29-10, 1987.10
- 51) 建設省:官民連携共同研究 昭和 62 年度研究開発概要報告書〔路車間情報システムの開発〕, 1988.8
- 52) 松村哲夫:路車間情報システムの開発と展望, 土木技術資料, 32-10, 1990.10
- 53) 柴田正雄:路車間情報システム (RACS) について, IATSS Review, Vol.17, No.2
- 54) 青山研一:新自動車交通情報通信システム(AMTICS)開発の意義及び成果について, 警察学論集 44(12), p150-170, 1991-12, 立花書房
- 55) 岡本博之:新自動車交通情報通信システム(AMTICS), 自動車技術 42(2), p153-157, 1988-02
- 56) 岡本博之:新自動車交通情報通信システム(AMTICS)の実験とその概要, システム・制御・情報 33(7), p337-345, 1989-07
- 57) 財団法人道路交通情報通信システムセンター:VICS の挑戦—道とクルマの対話が始まる—, 1996.10
- 58) 財団法人道路交通情報通信システムセンター:VICS のあゆみ VICS センター設立 10 周年記念誌, 2004
- 59) 高度情報通信社会推進本部:高度情報通信社会推進に向けた基本方針, 1995.02
- 60) 警察庁・通商産業省・運輸省・郵政省・建設省:道路・交通・車両分野における情報化実施方針, 1995.08
- 61) 警察庁・通商産業省・運輸省・郵政省・建設省:高度道路交通システム (ITS) 推進に関する全体構想, 1996.07
- 62) 警察庁・通商産業省・運輸省・郵政省・建設省:高度道路交通システム (ITS) に係るシステムアーキテクチャ, 1999.11
- 63) Hiroshi Makino, Hideo Tsuji, ELECTRONIC TOLL COLLECTION SYSTEM OF JAPAN, PIARC International Seminar on Intelligent Transport System (ITS) In Road Network Operations, 2006.8
- 64) (財)道路システム高度化推進機構:ETC 便覧, 平成 23 年版, 2011
- 65) 松井直人:次世代道路交通システム(ARTS)について, 道路行政セミナー, 1994.08

- 66) 建設省道路局監修：人・車・道路：新技術による調和～次世代道路交通システム(ARTS)の
グランドデザイン～, 道路広報センター, 1995.03
- 67) スマートウェイ推進会議：「ITS, セカンドステージへ」提言, 2004.8
- 68) 国土技術政策総合研究所高度道路システム研究室：次世代道路サービス提供システムに関
する共同研究報告書,国土技術政策総合研究所資料第 319 号, 2006.03
- 69) 公益財団法人日本道路交通情報センター：平成 26 年事度業報告書, 2014
- 70) 牧野 浩志, 小川 文章, 高木 繁：インテリジェントバスロケーションシステムの開発--地方
都市におけるバスの復権に向けて, 交通工学研究発表会論文報告集 20, 69-72, 2000-10, 交
通工学研究会

第3章 路車協調 ITS の開発

3-1 はじめに

自動車という乗り物は、意のままに行きたいところに行けるという個人の移動手段である反面、ドライバが操作し、走り出せば外界から孤立してしまうというもので、多くの人が一斉に自動車を使うと渋滞が生じ都市機能が麻痺してしまう。自動車が数多く集まるだけでも CO₂ の排出が増えるのであるが、自動車の集中による都市機能の麻痺は連鎖的な渋滞を引き起こし、渋滞による走行速度の低下は、内燃機関の燃焼効率を低下させ CO₂ などをさらに増大させる。また、鉄道や飛行機と比べると、プロではない老若男女の一般ドライバが運転を行うのは自動車やバイクだけである。そのため、運転技術のレベルにバラツキがあり、ドライバの認知、判断、操作のいずれかのミスにより他の交通に比べて事故の発生確率が高いという致命的な課題をもつのである。

前章では、この自動車のもたらした渋滞、事故、環境といった交通問題について、人と道路と自動車を最先端の情報通信技術を用いてネットワーク化することにより解決を目指す ITS の研究開発に関してレビューを行い、路車協調 ITS の研究開発のリクワイアメントを整理した。

本章では、自動車と道路の両方がメリットを受ける「路車協調による対策」を前提とし、「最先端の情報通信技術の動向」と「社会への普及戦略」を踏まえた実現可能な社会システムの開発、システム全体の「アーキテクチャ」を踏まえた様々なアプリケーションが実行できる「プラットフォーム機能」の確保、「情報収集能力の向上」と「車内への直接的情報提供」機能の実装を目指した路車協調 ITS の開発について記述する。

3-2 路車協調 ITS に関連する情報通信技術の状況

この節では、最先端の情報通信技術の状況をレビューすることで、路車協調 ITS を構成する情報通信技術の整理を行う。

3-2-1 移動のオートメーション化と情報通信技術

(1) コンピュータの登場

情報化時代の幕開けはコンピュータの進化によってもたらされたといつてよい。世界最初のコンピュータはペンシルバニア大学で 1946 年に産声を上げた ENIAC (Electric Numerical Integrator and Automatic Calculator) で、米国陸軍の弾道計算用に開発された。ENIAC は 17,468 本の真空管、7,200 個のダイオード、1,500 個のリレー、70,000 個の抵抗器、10,000 個のコンデンサで構成され、幅 30 m、高さ 2.4 m、奥行き 0.9 m、総重量 27 トンと倉庫 1 個分の大きさであった。性能は毎秒 5,000 演算、約 150kW もの電力を消費したといわれている。

現在のマイクロプロセッサは、大きさは指先に乗る程度の大きさまで小さくなり、演算性能は 200 万倍、消費電力は 500 分の 1 になった。全世界で 100 万台以上の PC が毎日販売され、TV、電子レンジ、冷蔵庫など私たち身の周りの機器にマイクロプロセッサが組み込まれる時代となり、移動体である自動車や携帯デバイスに搭載可能となった。

(2)オートメーションはモバイルまで

コンピュータと同じ頃に登場したオートメーション (Automatic Operation を語源とした造語) という概念は、コンピュータの進化と結び付き、米国の自動車産業や石油精製、化学、セメント、鉄鋼等のプロセス産業で導入された。これが 1960 年代から本格化したファクトリーオートメーション (FA) の時代である。

さらにコンピュータが小型化され普及してくると、事務作業の効率化のために活用されるようになる。1980 年代のオフィスオートメーション (OA) の時代は、タイプライターがキーボードに置き換わり、LAN によりオフィス内の端末がつながり始め、電子メールにより連絡が電子的にやり取りされるようになった。

マイコンとよばれる小型コンピュータの登場は画期的であった。マイコンにさまざまな電化製品の制御が可能となると、オートメーションは家庭にも広がることになる。ホームオートメーション (HA) の時代の到来である。1969 年に米国国防省の DARPA (国防先端研究所プロジェクト局) が開発した ARPANET (Advanced Research Project Agency Network) が商用インターネットとして民間に開放されたのが 1989 年であり、OA や HA は世界を網羅する電子的なネットワークでつながれることになり、デジタル化された情報がネットワークで流通する時代となった。

移動のオートメーション (MA: Mobile Automation) のきっかけとなったのが移動体通信の登場である。アナログ方式からデジタル方式になり、移動体がネットワークに組み込まれることになり、オートメーション化の波は移が始まったのである。

3-2-2 路車協調 ITS に必要となる情報通信技術の動向

路車協調 ITS を構成する技術は、人間の目の代わりとなる知覚情報技術 (センサ)、位置を把握する位置特定技術 (ポジショニング)、地図との関連をつける地図情報技術 (マッピング)、位置情報や交通情報などを交換する情報通信技術 (コミュニケーション)、センターやローカルで情報を交換する情報網技術 (ネットワーク)、通信された情報を人間に伝えたり操作したりする HMI (ヒューマンマシンインタフェース) という最先端技術である。

これらの技術を組みあわせて、人間、車両、道路を結び付け、問題解決のためのアプリケーションを生み出すプラットフォームをいかに社会に実装するかが路車協調 ITS にとって重要である。

以下に、各技術の背景と進化の動向について整理する。

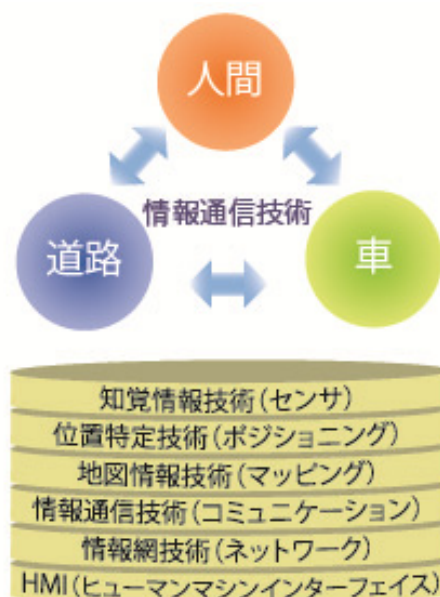


図 3-2-1 ITS の構成要素

(1) 移動通信の登場による移動のオートメーション化のはじまり

移動のオートメーション化のキーは移動通信の登場である。始まりは 1979 年、旧日本電信電話公社が実用化した 800 MHz 帯を使った小セル方式（セルラー方式）を活用したアナログ方式の自動車電話の登場である。その後のデジタル化、さらには 1999 年の NTT ドコモによる i モードの開始は、移動体通信を使ったインターネット接続の形を生み出し、移動体がネットワークにつながる時代を作りだした。そして、携帯通信網だけでなく Wi-Fi や Bluetooth などさまざまな通信規格をシームレスに接続し、万人が感覚的に受け入れやすいタッチパネルの操作性を加味することで爆発的に広まったのが、現在のスマートフォンである。

この情報通信技術は、車と道路をつなぐ ITS の要の技術である。表 3-2-1 で整理したラジオ放送やワンセグ放送のような放送型、携帯電話や Wi-Fi, DSRC 等の双方向通信型の放送・通信技術によって実現される。これらの通信手段には、広域・狭域、片方向・双方向等のさまざまな特徴があり、自動車と道路側の相対速度、アプリケーションの要求する通信スピードや通信容量により選択する必要がある。とくに、放送・通信技術の導入には携帯電話でも明らかなように、双方が機器をもち、同じプロトコルで話さなければ通信できない、いわゆる鶏と卵問題が生じる。放送型であれば、路側の交通情報ラジオのように公共が放送局をローカルに設置することでラジオを買った人がサービスを受けられるが、車と車が通信しアプリケーションを実現する車車協調システムとなると、最初に買う人はサービスを受けられないという大きな課題が生じるのである。

どのような通信方式やデバイスを使うかは、自動車での利用を前提に考えなければならない。自動車での利用を考えた場合、操作に気を取られないか、接続のスピードは自動車の安全サービスに必要な要件を満たすかどうか、アプリケーションに応じた見極めが重要となる。

表 3-2-1 無線通信技術の特性と用途

無線通信技術		容量	速度	安定	通信費	ITS での用途
放送系	広域 デジタル放送 FM 多重	大	遅い	○	○	一方通行の情報提供となるが、大量に情報を送ってカーナビで選択するという用途。一台からでもサービスを受けられる。
通信系	広域 携帯電話 WiMAX	大	遅い	○	×	PtoP の通信であることから、コンシェルジェサービスなどのリクエスト型に向く。また、プローブ情報などの収集に使える。通信コスト負担の問題があるため、会員制サービスが中心となる。
	狭域 Wi-Fi (2.4GHz)	大	遅い	×	○	PC 等で普及しているため機器が安い。自動ドアや電子レンジの波と干渉する。通信の確立が遅いため、ETC や安全サービスに使えない。停車中のインターネット接続による検索用途に最適。現在モバイル用に活用するための IEEE802.11P の規格が議論されている。
	狭域 DSRC (5.8GHz) (700MHz)	中	早い	○	○	通信の確立が早く、セキュアで ETC や安全サービスなどに使える。路車だけでなく車車への展開も可能。双方向であり、ある程度の情報量ならアップリンクできる。停車中はインターネットも可だが大容量の通信には向かない。
	狭域 光 (赤外: IR)	小	早い	△	○	直進性が強く車線ごとの双方向通信が可能。超狭域であるためやりとりできる情報の容量が小さい。交差点などでの車線ごとの情報提供・収集サービスに最適。
近接	近接型非接触 IC カード NFC (13.56MHz)	小	早い	○	○	カード内部にアンテナを持ち、カードリーダー・ライターと呼ばれる外部機器からの電波を利用してデータを送受信するシステム。公共交通機関系の非接触 IC カードは通信距離約 10 センチ以下である。NFC: Near Field Communication

(2) 軍事技術から派生した位置特定技術

位置を把握することは ITS 実現の基本である。自分の位置がわからなければ目的地までナビゲーションするという基本的なアプリケーションが構築できない。

位置特定技術の始まりは軍事技術開発からであった。1973 年、米国防総省はこれまで開発が進んでいた海軍、空軍の衛星測位システムの計画を統合するために JPO(Joint Program Office)を設立し、GPS (Global Positioning System) の開発を決定した。スペースシャトルの事故による遅れもあったが、1995 年には軍事利用としては完全利用の段階に入った。翌 1996 年には、直接課金なく全世界に開放することが発表され、誰でも自由に GPS の民生用信号を利用できるようになったのである。当初は軍事利用目的が主であったため、精度を意図的に劣化させる SA(Selective Availability)とよばれる処置が施されていたが、2000 年には廃止され、それまでの 10 倍以上に向上し、カーナビゲーションシステムだけでなく、歩行者のナビゲーションまで拡張するようになってきた。

カーナビゲーションに使う場合は、現在の GPS では、都市部ではビルなどの影響により位置特定精度が落ちるため、車載器や車両のもつコンパス、ジャイロ、ホイールパルスなどの DR (Dead Reckoning : 推測航法) センサを活用した補正や地図を活用したマップマッチングという補正が行われている。

現在では GPS 受信機が非常に安価になり、カーナビや携帯電話など、身の周りのさまざまな情報機器に組み込まれるようになってきている。今後、歩行者や自動車との相対関係を活用したアプリケーションを構築するには、さらに自車位置の特定精度を上げていく必要がある。欧州が推進するガリレオ・システム (Galileo) や日本が進める準天頂衛星システムなどは、位置特定精度の向上を目指したプロジェクトである。その他、路側機から補正データを提供することで精度向上を図る方法も、トンネルや屋内駐車場といった衛星を捕捉できない閉鎖空間で重要となる。

表-2 位置情報の精度と ITS サービス

位置情報の精度	道路との関係	ITS サービス
±10m	道路の路線	道路案内, ルートガイダンス
±1m	道路の上下線	道路情報提供 (注意喚起)
±0.1m	道路の車線, 停止線, 車両, 人	安全運転支援, 車両制御, 車車協調, 人車協調

(3) 地図情報技術と地理情報システムの進化

位置特定とセットなのが地図情報である。位置がわかってもそれが地図上に関連付けなければ、移動体の位置の把握や経路探索ができない。地理情報システム (GIS: Geographic Information System) の進化がこれを支えた。1962年に構想され、1974年に完成したカナディアン GIS とよばれる森林保護管理のためのシステムがその先駆けであった。日本では、1988年に設立された (一財) 日本デジタル道路地図協会 (以下「DRM 協会」と呼ぶ) によって、世界に先駆けてデジタル道路地図データベースの標準化が行われ、カーナビゲーションシステムの発展に大きく寄与した。

ITS に必要な地図情報は、表示地図情報、道路ネットワーク (リンク・ノード) 情報、両者の接続関係情報、道路属性情報 (レーン, 停止線, 歩道, 交差点など), 静的情報 (ランドマーク, 注意喚起など), 動的情報 (交通規制, 路面, 気象など) である。これらの情報は、経路案内などのアプリケーションによってユーザが使える情報となる。そのため、それぞれの情報はアプリケーションの要求する網羅性, 正確性, 鮮度が大切になってくる。とくに、鮮度は重要であり、日々更新される地図情報をどのように最新のものにしていくかは、ユーザサービスのレベルを大きく左右する問題である。新しい道路が開通しているのに、地図が古くて経路案内されないようなことではサービスとして成り立たない。地図の更新をどうするのかということは、ITS のアプリケーションを考えるうえで非常に重要なポイントとなる。

現在、国際標準の場で議論されているダイナミックマップ (Dynamic Map, 参考: 図 3-2-2) は、地図に、ランドマークなどの静的情報、動的な地域情報や信号機の

情報などを取り扱うための仕組みづくりである。運転支援サービスを実現するためには、静的、準静的、準動的、動的情報をどのように地図と関係付けていくのかが重要である。

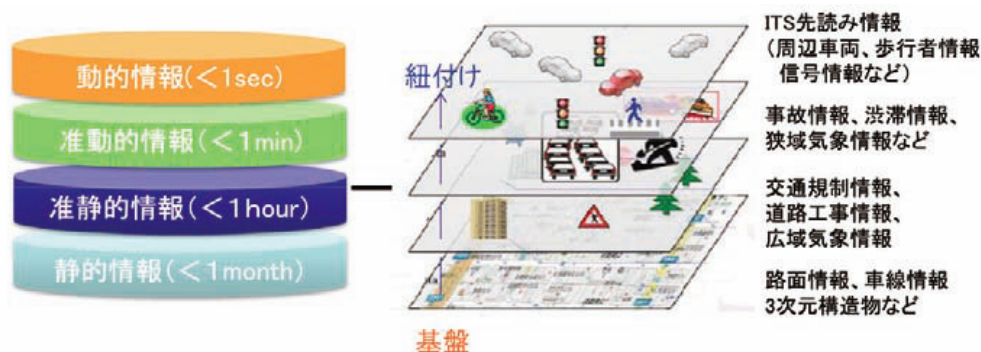


図 3-2-2 日本におけるダイナミックマップの概念（出典：SIP-adus）⁵⁾

(4)知覚情報技術の進化による情報爆発

1969年、米国電信電話ベル研究所で発明された CCD (Charge-Coupled Device : 電荷結合素子) センサの登場は画期的であった。CCD センサを活用したデジタルカメラは、人間の目の代わりとなるデジタル情報を無尽蔵に生成し始め、デジタル画像処理技術を進化させ、画像処理によりさまざまな情報を爆発的に生成することが可能となったのである。これまで、センサは非常に高価であったために、工場などの付加価値の高い場所にしか入れることができなかった。そのため、コストをかけて生成した情報を大切に扱い、使い回してきた結果、情報生成自身が目的化、ビジネス化することになり、情報生成や発信の利権争いも存在した。しかしながら、知覚情報技術やデジタル画像処理技術の進化は、情報生成のコストを一気に下げ、情報爆発の時代を生み出しつつある。こういった目や耳の代わりとなるセンサ技術の進化による情報のデジタル化とセンサネットワーク化、移動体通信ネットワーク化の時代は、モビリティを大きく進化させた。

ITS に使われるセンサ技術は、車両だけでなく道路側にも使われている。使われている技術も CCD センサだけではなく、さまざまなものが活用されている。路側のセンサとしては、パルス波や CCD センサにより交通量を計測するトラフィックカウンタなどが挙げられる。渋滞を検知するには、道路側のセンサから渋滞を計測する方法がこれまで主であったが、近年はプローブ情報の活用が話題となっている。車載センサとしては、車載器や車両のコンパス、ジャイロ、ホイールパルスなどの DR センサや、近年増えてきたバックモニタ用カメラやレーンキープシステム用カメラ情報を活用したセンサ、ACC (Adaptive Cruise Control : 車間距離制御) のためのミリ波レーダなどがある。こういったセンサは、道路の渋滞や周辺車両や歩行者の状況など周辺環境の情報収集に使われる。

表-1 地図を利用した走行支援サービスの一覧

モード	サービス機能	サービス対象	利用する地図データ		センサ/通信	
			静的情報	動的情報		
道路情報提供 (注意喚起)	速度情報	制限速度	制限速度情報			
		安全速度	危険個所情報			
		サグ渋滞	サグ発生個所, 制限速度情報			
	交通規制情報	一時停止	一時停止情報			
		一方通行	一方通行情報			
	車線情報	走行レーン	レーン規制情報, 可変レーン情報, バスレーン情報	可変レーン情報		
	標識情報	標識	標識情報			
	交通情報	渋滞情報			渋滞情報, 渋滞の後尾情報	
		道路工事			道路工事情報	
		臨時交通規制			臨時交通規制情報	
路面情報	冠水・凍結			路面冠水情報, 路面凍結情報, 気象情報		
ゾーン情報	ゾーン対策住宅地	スクール・シルバーゾーン情報, 住宅地情報				
気象情報	降雨, 降雪, 暴風 視界			気象情報 視界情報		
周辺情報提供 (注意喚起)	周辺車両情報	合流	合流個所		合流情報	
		追越し	追越し禁止個所		周辺車両情報	
		進路変更	進路変更禁止個所		周辺車両情報	
		対向車	道路幅員		対向車情報	
		路面電車	路面電車の軌道情報, 路面敷内通行可情報		路面電車情報	
	交差点周辺情報	直進	交差点の詳細情報		対向車情報	
		右折	交差点の詳細情報		対向車情報, 歩行者情報	
左折		交差点の詳細情報		歩行者情報, 二輪車情報		
車両制御	車両特性制御 (制御ユニットの パラメータ制御)	ACC(Adaptive Cruise Control)	道路勾配, 道路曲率		先行車との距離	
		シフト制御	道路勾配, 道路曲率	路面情報		
		サスペンション制御	道路勾配, 道路曲率	路面情報		
		ライト制御	道路勾配, 道路曲率	路面情報		
		スタビリティ制御	道路勾配, 道路曲率	路面情報		
		電力制御	道路勾配, 充電ポイント	気象情報		
	車両制御 (ブレーキ制御)	車線維持	レーン情報(分岐, 合流個所)			車線情報
		速度制御	制限速度情報, 危険速度情報	路面情報		
		一時停止	一時停止情報			
		追突回避	道路形状	路面情報		先行車との距離, 相対速度
移動支援	環境支援情報	CO2 排出量の抑制	道路勾配, 道路曲率, 制限速度情報, 交差点情報	渋滞情報, 渋滞の後尾情報	消費燃費情報	
	交通結節点情報	駐車場	駐車場情報(位置, 営業時間)	満空情報, 駐車位置		
		パークアンドライド	駐車場情報(位置, 乗換える公共交通機関情報)	公共交通の運行情報, 満空情報, 駐車位置		
		マルチモーダル	交通結節点情報(駐車場, 接続方法及び接続時間)	公共交通の運行情報, 満空情報, 駐車位置		

ITS Japan 次世代デジタル道路情報委員会「次世代デジタル道路情報委員会 2009 年度活動報告書」
http://www.its-jp.org/topics/htm_holder/doRVC-fukyusokusin/houkoku_2009/digital_2009houkokusyo.pdf

(5)情報網技術

情報網技術（ネットワーク）は、さまざまな情報を流通させる血管である。日本の高速道路や国道の下には光ファイバが張り巡らされており、道路通信標準により定められたさまざまな情報が、センサ情報、車両、道路、ローカル情報センター、中央情報センターをつないでいる。

この情報通信技術の進化で重要であったのは情報のデジタル化と光ファイバの登場であった。1970年代から CCITT (Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique : 国際電信電話諮問委員会)で国際標準化が進められてきた、ISDN (Integrated Services Digital Network : 統合サービス・デジタル網)である。伝送路や交換機をデジタル化することで、電話、画像通信、データ通信などの各種サービスを同一の回線に統合して伝送するネットワークである。

世界に先駆けて ISDN を実現したのは、日本の NTT であった。1984年に東京の三鷹地区で INS (Information Network System : 高度情報通信システム) 技術実験を行い、1988年には INS ネット 64 とよばれる商用サービスを開始した。さらに、1990年、「新高度情報通信サービス VI & P 構想」を発表した。ビジュアル、インテリジェント、パーソナルという情報通信ネットワークの展開の方向性を示し、2015年までに、光ファイバを家庭まで張り巡らすという構想である。マルチメディアの時代の幕開けである。

1983年、旧建設省が打ち出した「情報ハイウェイ構想」も重要であった。高速道路における光ファイバ設置により、道路管理に必要なさまざまな情報の収集、道路利用者への情報提供、料金收受システムの合理化、関係機関との情報交換など世界に先駆けて道路のマルチメディア化が動き出したのである。その後、道路に敷設された光ファイバは VICS や ETC の路車間通信を可能にするプラットフォームとして機能している。

(6)HMI

HMI (ヒューマンマシンインタフェース) は、人間が機械を操作するために、情報を得たり指示を与えたりする技術のことである。機械が情報を伝える手段としてはディスプレイ、スピーカ、ランプがあり、人間が指示を与える手段としてはタッチパネル、マイク、ボタンなどがある。

これまで、ドライバへの情報提供に関しては、道路標識、可変情報板、漏洩同軸ケーブルを使った路側ラジオ放送があった。

ITS の場合は、車両のセンサ情報と位置情報を組みあわせて収集・処理された情報や、センターなどからネットワークを通じて通信された情報を、人間の視覚や聴覚を使ってドライバに伝えるための技術が路車協調 ITS の HMI である。

3-3 路車協調 ITS 開発の基本的考え方

(1) 「スマートウェイ」コンセプトにもとづく路車協調 ITS の開発を行う

日本のスマートウェイ³⁾とは、道路と自動車を通信技術によって結びつける、路車協調型のシステムである。具体的なイメージとしては、自車両やドライバ、他車両、道路管理者、サービスプロバイダ等を ITS の構成要素とし、これらが DSRC 等の通信メディア、車載器、デジタル地図、路側センサ等のプラットフォームと協調することにより、さまざまなサービスを実現・提供するものである。

基本的には、このスマートウェイのコンセプトにもとづいたシステムの展開を考える。特に、すでに DSRC を活用している ETC をベースにした展開を中心に検討を行う。DSRC の特徴は、通信の利用料金が不要であること、セキュリティの確保ができていないことなどがある。

ETC をベースに考えるというのは、国際展開上も重要である。開発途上国の道路整備は、日本と同じように資金調達により高速道路の建設を行い、料金を回収して返済をしていくという投資資金回収方式が基本となる。そのため、ETC は道路整備に不可欠な基本ツールとなる。この仕組みをベースにすることで、車載器の幅広い普及策の検討が可能になる点は、ITS を展開するうえでとても重要な点である。

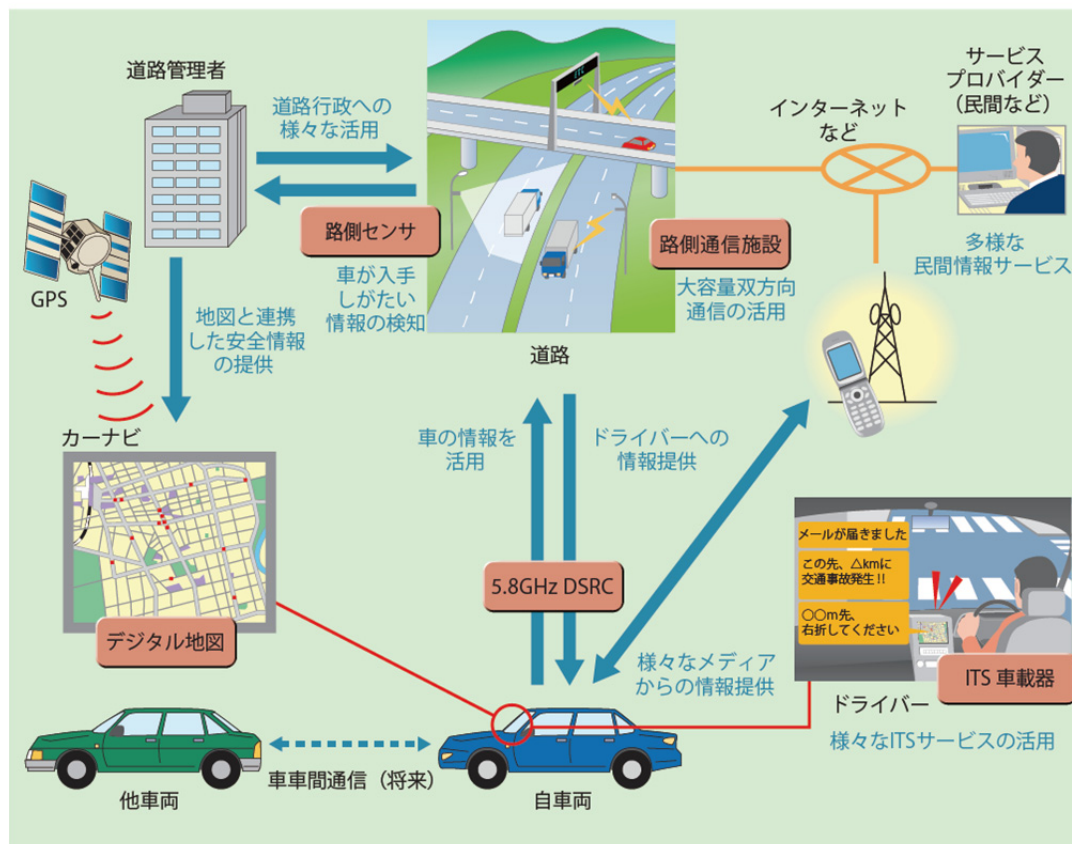


図 3-3-1 スマートウェイのコンセプト図

(2)普及戦略を踏まえた路車協調システムについて検討する

路車協調 ITS 実現の一番の課題が「鶏と卵」問題である。通信は相手がいないと会話が成り立たないからである。普及戦略を考えるうえで、社会に対するメリット、道路（管理者）に対するメリット、ドライバに対するメリットの 3 つを兼ね備えたサービスが実現可能でなければならない⁶⁾。

これまでの日本の社会システムは、社会のメリットを踏まえ、それに見合った税金を投入する方式で整備をするのが中心であった。しかしながら ITS の場合は、車載器の購入はドライバの自主性にゆだねる方式をとってきている。そのため、ITS の普及にとって最も大切なのはドライバがメリットを感じられるかどうかである。

ドライバに対するメリットは、通行料金の割引といった経済的メリットや、渋滞を避けることができるという利便性の向上にほかならない。想像以上に安全性に対する意識が低いのが人間である。日本の ETC の普及も、当初は料金所の渋滞を横目に悠々と通過できるとか、様々な割引が登場して車載器の購入費が 1 年でペイできるなどの分かりやすいメリットが普及の引き金になった。

しかしながら、車載器の普及だけでは不十分で、路側機を公共サイドが整備しなければサービスが広がらない。公共サイドが税金を投入して事業を行うためには、社会に対するメリットが明確でなければならない。具体的には安全運転支援による事故の減少、渋滞情報提供等による渋滞の削減とそれによる環境負荷の低減である。

また、道路（管理者）に対するメリットも重要である。路側機を増やそうという意識はサービスの広がりという意味では最も重要である。そのためには、車両から収集されるプローブ情報の収集がキーとなる。車両との連携によるプローブ情報により、危険箇所、渋滞多発箇所、路面の状態把握などが低コストで可能となれば道路の運用や維持修繕が効率的に行うことが可能になる。

こういった、日本でいうところの「三方よし」となるような上述のサービスを生み出すためのプラットフォームとしての路車協調 ITS の機能について検討を行う。

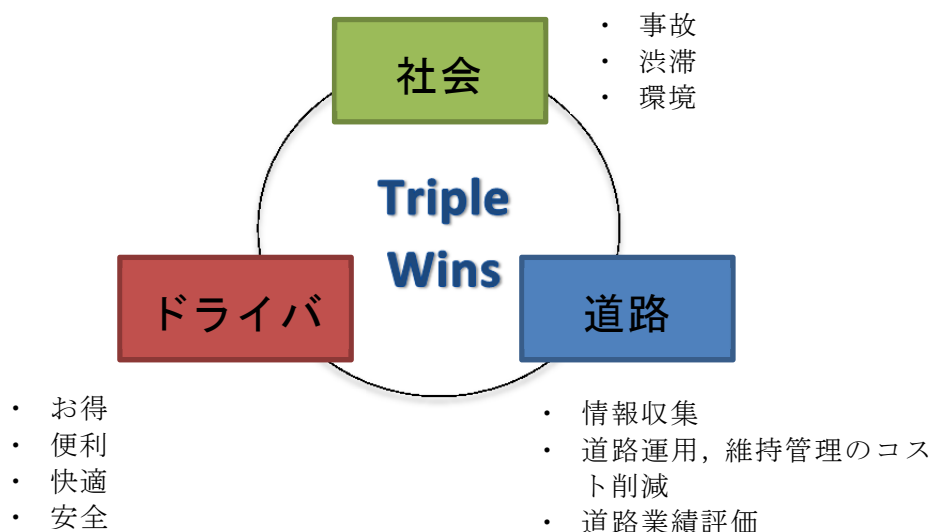


図 3-3-2 ITS 普及戦略の考え方

(3)様々なサービスが展開できるプラットフォームを構築する

路車協調 ITS が実現するプラットフォームは、単機能のサービスを提供するだけでは、不十分である。当初は、ドライバメリットを感じさせるサービスを展開し、将来的には社会的なニーズである交通事故、渋滞、環境問題の解決につながるような様々なサービスが登場するための機能を有しなければならない。同時に、日本の発展のための新しい産業を生み出すインキュベーションとしても機能するように検討を行う必要がある。

具体的には、ETC 等の有料道路の資金回収というコアとなるサービスから、VICS 等の渋滞回避が可能となるルートガイダンスサービスへの展開を容易にし、さらに AHS などの安全運転支援系サービスだけでなく、駐車場やファーストフード等における民間決済サービス、商用車向けのサービスなどのへの広がりなど、多様なサービスの円滑な展開が可能となるような機能の検討が必要である。

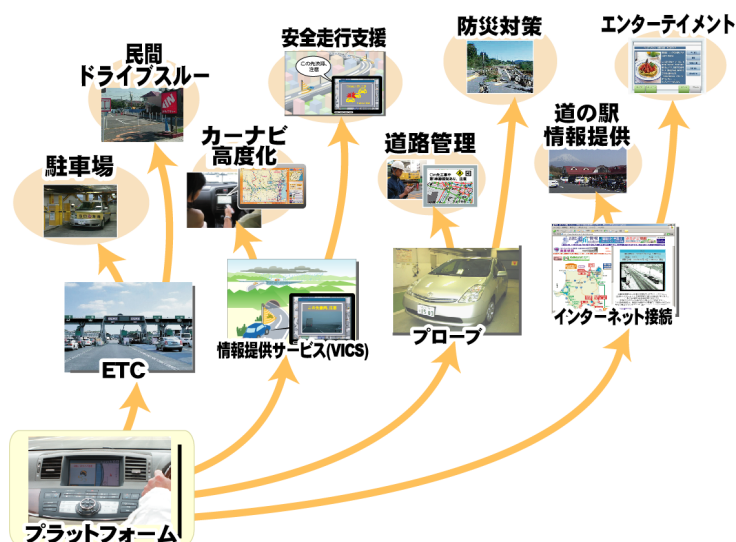


図 3-3-3 路車協調 ITS サービスの展開イメージ

(4)路車協調 ITS 開発のリクワイアメントの整理

路車協調 ITS 開発へのリクワイアメントをまとめると以下となる

- 通信技術に関しては、高速でセキュアな双方向通信の 5.8GHzDSRC をベースに開発する
- 位置特定や地図情報は、デファクトスタンダードの GPS と DRM を活用する
- ETC をベースに発展を考える
- 利用者ニーズである様々な料金割引、渋滞回避などの利便性の高いサービスを実現できること
- 社会ニーズである交通事故の削減、環境負荷の削減が実現できること
- 道路管理者ニーズである車両情報を活用した道路の運用や維持管理の効率化やコスト削減が実現できること
- 民間サービスも含めた様々なサービスが実現できるプラットフォームとなること

3-4 都市・交通問題の解決からの路車協調 ITS のリクワイアメント

移動の変化が社会を変え、国土を変えていく。世紀の大発明であった自動車の登場は、社会のもつさまざまな問題を解決し、生活の質（QOL：quality of life）を一気に向上させ、現在のように自由で豊かな社会を作り出す大きな原動力になった。一方で、自動車のもつ特性から交通事故、渋滞、環境といった社会悪を引き起こし、都市の過密と地方の過疎という国土問題の大きな要因ともなっていたのである。自動車がもたらしたこれらの負の遺産を解決するため、情報化時代の世界最先端の技術を横断的につなぎあわせて道路交通を進化させるというのが ITS の本質である。

ここでは、路車協調 ITS へのリクワイアメントを検討するため、自動車がもたらした社会悪を解決するためにはどのような都市と交通の進化が必要なのかについて分析を行う。具体的には、交通事故削減に向けた要請の高まり、倍増する高齢ドライバ、渋滞削減、環境改善、負担の公平性などの要請の高まりなど道路交通に求められる社会的要請について整理し、路車協調 ITS を活用した交通・都市問題の解決の方向について考察を行い、路車協調 ITS に対するリクワイアメントの整理を行う。

3-4-1 道路交通を取り巻く都市・交通問題に関する課題の整理

(1) 交通事故削減に向けた要請の高まり

2003年1月、小泉総理（中央交通安全対策会議会長）は「10年間で交通事故死者数を半減させ、道路交通に関して世界で一番安全な国にすることを目指す」との談話を表明し、2012年までに事故死者数を5,000人以下にすることを目標とした。政府、地方自治体、関係民間団体のみならず、国民一人一人が積極的に交通安全に取り組んだ結果に加え、景気の低迷による交通需要の減少も影響して2009年における交通事故による死者数は4,914人となり、計画を前倒しで達成した。

また、2013年6月14日、安倍内閣は「世界最先端 IT 国家創造宣言」を策定した。道路交通に関して、2018年を目途に交通事故死者数を2,500人以下とし、2020年までには、世界で最も安全な道路交通社会を実現する（交通事故死者数が人口比で世界一少ない割合になることを目指す）とした。

しかしながら、2015年の交通事故の死者数は4,117人となり、2014年の4,113人から増加し、15年ぶりの増加となった⁷⁾。経済的損失は推定年間6.3兆円といわれている。2014年までは、交通事故死者数は14年の減少、交通事故発生件数および負傷者数も10年連続で減少していた（図3-4-1）。交通事故の推移をしてみると、1960年代に急増した交通事故を減少させるための対策として、ガードレール、道路標識、交通信号機など交通安全施設の充実を図ることや、交差点改良や歩道整備などが積極的に行われ、交通事故発生件数および死傷者数を大幅に減らしてきた。いったん減少した交通事故であったが、その後の経済発展に伴い自動車交通量が増大するにつれ、すべてが増大に転じた。大きな転換期となったのが、1985年にシートベルトの装着義務化が実現し、エアバックなどの自動車サイドの安全装置が進化することで死亡事故は減少していったが、交通事故件数や負傷者の件数は増える傾向に変化がなかった。長引く景気の停滞による交通需要の低迷、近年の高速道路整

備の進展による事故発生件数の少ない高速道路の利用の増加などもあり、交通事故発生件数と負傷者もここ 10 年は減少に転じた。

しかしながら、近年、交通事故死者数の減少幅は縮小傾向にあり、交通事故死者数全体に占める 65 歳以上の高齢者の割合が高い水準で推移しているなど、交通事故情勢は依然として厳しい状況にあり、さらなる交通安全対策の強化が求められている。

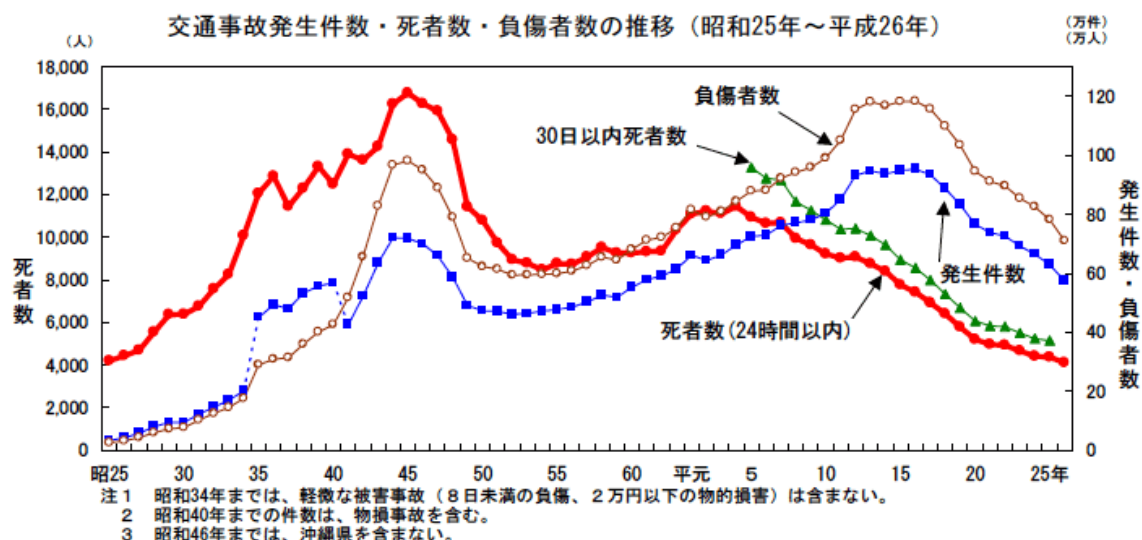


図 3-4-1 平成 26 年中の交通事故の発生状況，警察庁交通局⁵⁾

(2) 倍増する高齢ドライバ

第 9 次交通安全基本計画⁸⁾によれば、近年の交通事故の特徴の一つとして、65 歳以上の高齢者の死者数が高水準で推移していることが指摘されている。高齢者事故は、全死者数の約 5 割を占めており、このうち高齢者の歩行中および自転車乗用中の死者数が高齢者の死者数の 6 割以上を占めている。また、近年、高齢運転者による死亡事故件数が増加している。

高齢ドライバによる交通事故は、他の年齢層に比べて運転操作不適、一時不停止、安全不確認等の割合が高く、その原因は、身体機能の変化、交通安全意識の不徹底等によるものとされている。身体機能等の側面については、高齢者の交通行動には個人差が大きいですが、一般的には加齢による身体機能の変化等は不可避であるとされている。

こうした加齢による身体機能の変化等を支援するための走行支援システムの実現は、高齢社会を迎えている日本にとって、喫緊の課題である。とくに、地方部での主な交通手段は自動車であり、高齢ドライバの安全運転支援は重要となってくる。

(3) 渋滞削減，環境改善に向けた要請の高まり

日本の道路渋滞による損失は大きく、年間 38.1 億人時間、国民一人あたり年間約 30 時間、貨幣価値換算すると約 12 兆円と試算されており、渋滞の解消は喫緊の課

題となっている。また、日本における CO2 排出量の 2 割を運輸部門が占め、その約 9 割が自動車から排出されている。京都議定書においても、CO2 の排出を削減することを国際的に約束しており、運輸部門における環境対策も渋滞対策と同様に喫緊の課題である。しかしながら、自動車技術は進歩しているものの、自動車の走行速度が 30km/h から 15km/h になるだけで、CO2 排出は 30%増加するため、自動車単体での対策には限界があり、道路と車両が連携した対策が必要となっている。

地球環境の視点からは、エネルギーの多様性に対する社会的ニーズも高まってきている。自動車という交通手段は過度に石化燃料に依存している。地球環境を守るという視点からも、電気自動車の登場は待望されていたものである。原発事故の影響もあり電力の供給に不安定が生じているが、世界の紛争の大きな根源的要因にエネルギー資源問題があることを考えると、そのような資源のない日本ではエネルギーの多様性の確保は非常に重要であり、自動車の普及のためのエネルギー供給の仕組みづくりは大切な視点であるといえよう。

この渋滞解消と環境問題への解決策として、都市の道路への課金（エリアロードプライシング）というニーズも高まってきている。交通渋滞というのは市場の失敗であるともいえる。都市に自動車でものを運んだりビジネスに行ったりするためのアクセスのニーズ（＝需要）に対して、その供給する道路の容量（＝供給）に限りがあり、負担する利用料（＝価格）が低い場合に、需要が多すぎてプライス・メカニズムが機能せずに市場が失敗し、市場参加者が渋滞に巻き込まれて損をするということなのである。自動車でのアクセスの需要が大きい都市へのアクセスに対しては、マーケットメカニズムを用いた交通需要のマネジメントの仕組みが求められ始めている。ETC というツールが問題解決のキーとなりそうである。

(4)負担の公平性の議論

技術立国を目指し、自動車産業を柱とした成長を達成するため戦後の日本は三つの政策をとってきた。自動車産業の育成、道路の整備、石油の供給システムの構築である。これがうまく組み立てられたことから、自動車産業、建設産業、石油化学産業が大きく羽ばたき、日本の高度成長の原動力になってきたことは紛れもない事実である。とくに、自動車は道路がないと機能しない乗り物であることから、道路というインフラ整備に依存しているといってもよい。

そのため、インフラ整備の財源として二つの仕組みが機能してきた。一つはガソリンや軽油、自動車の重量に税金をかけて、広く一般が使う道路の整備のための財源とする方法、もう一つは高速道路のように有料道路という形で利用料金を財源にする方法である。この二つがうまく機能したため、道路の整備にリンケージする形で自動車が増え、自動車による輸送量が伸びていき、世界の奇跡といわれた戦後の高度経済発展が実現されたのである。世界ではいまだに活用されているこの道路の財源制度は、無駄遣いが発生するということから一般財源化されたのは最近のことである。

石化燃料に課金するという手法は、自動車が個人所有であり、走り出したらどこに行くのも自由という特性と関係がある。鉄道の場合は、鉄道会社の保有する鉄路

を、同じく鉄道会社の保有する電車が走るため、乗客の運賃という形で、走行距離に応じてインフラの整備やメンテナンスのための費用を付加できる。自動車の場合は、その仕組みは高速道路のように入口と出口が限られた場合には適用できるが、一般の道路では不可能であった。そこで考えられたのが、燃料に課金することで走行距離に応じた負担を徴収する方法であった。

地球環境問題に対応するためのエネルギーの多様性の確保は、この仕組みを根底から変えることになる。たとえば、電気自動車のように自宅で充電できる場合にどうやって走行距離に応じて課金をするかというような問題が生じる。日本の場合は、すでに一般財源になっているためあまり議論にならないが、道路特定財源によって国土インフラづくりを積極的に行っている欧米では、道路利用者の公平な負担のためのさまざまな課金手法に対して議論が始まっている。

(5)防災など国土の保全への要請

地震や台風など災害列島といってもよいぐらい脆弱な国土の上に、日本ほど多くの方が住んでいる国はない。2011年3月11日に発生した東日本大震災は、災害への備えという意味でのリスクマネジメントと、発生した後に被害を最小限に食いとどめるためのクライシスマネジメントが不可欠であることを知らしめた。とくに、道路交通はネットワークになっていることが最低限必要であり、それに加えて最先端の情報通信技術を活用して、災害が発生した「いざというときに人の命を救う」ための「減災」機能を装備しなければならないことを強く人々の心に刻み込んだ。

東日本大震災をふまえて、当面の我が国における防災対策のグランドデザインとして策定された「防災対策推進検討会議 最終報告～ゆるぎない日本の再構築を目指して～」(内閣府中央防災会議, 2012年7月31日)においても、災害時の情報の収集・伝達に際し「行政の情報収集には限界があり、さまざまな主体が収集・発信する情報を活用するために、ソーシャルメディアを含む民間メディアからの情報の収集、東日本大震災で活用されたカーナビゲーション情報等民間企業が保有する情報の共有も進めるべき」といった ICT/ITS の活用が謳われている。

3-4-2 路車協調 ITS へのリクワイアメント

(1) 路車協調自動運転による事故ゼロ・渋滞ゼロを実現すること

路車協調 ITS とは、単路部では車両単独の機能により前方の障害物を発見し、運転者に警告や車両制御を行う。そして、車両からは見えない急カーブや JCT、分合流部では、路側センサが検知した危険事象、車両のセンサやレーダが検知した危険情報を組み合わせ双方向通信により車載器に情報を提供し、運転者に警告や車両制御を行うものである。そうすることにより、事故につながる発見の遅れ、判断の誤り、操作の誤りに対して、その直前に情報提供、警告、操作支援を行うことで、事故そのものを回避させるのである。そのためには、路側のセンサや車両の提供情報により危険事象を正確に把握すること、特定の位置にいる車両に特定のタイミングで的確に情報を伝えること、自動車を受けた情報を用いて確実に操作支援を行うことが必要となる。

特に、高速道路では事故ゼロを目指すことが可能である。高速道路は自動車の専用道路であり、一般道に比べ、歩行者と自動車の完全分離や交差点がないことから、一般道に比べ事故の発生率は 10 分の 1 である。また、車両単独の安全運転支援機能も、歩行者や交差道路の車両の検知等の高度なセンシングが求められる一般道と異なり、LKP や ACC などの既存の技術を組み合わせることで、単路部では自動運転に近い状態で機能し、事故ゼロの走行が実現可能である。

さらに、高速道路の整備が進んだことや ETC 専用により低コストで設置できるスマート IC などの整備などにより、日本全国、高速道路の IC まで 30 分以内で行けるような時代が到来した。高速道路を活用しやすくなった新しい時代では、事故率の低い高速道路の利用をさらに増やす施策、たとえば高速道路での自動運転の実現や弾力的な料金割引などを実施することで、日本全体の交通事故の大幅な減少を実現できる。

同じように、路車が協調した自動運転は、高速道路における渋滞をゼロにする可能性も持つ。具体的には、道路側のセンサが全体の交通状況を俯瞰して正しい情報を把握し、車両にその情報を伝えることで、車間を詰めた自動運転モードに切り替えることで、全体が調和した交通流を実現し、渋滞をゼロにする方法である。

(2) データに基づいた道路交通改善を可能とするプローブ機能を持つこと

これまで道路交通情報というと、省庁間の権限争いの象徴の一つであった。渋滞情報を知りたいという道路利用者の最大のニーズにこたえるための積極的権限争いならよいが、そうでない側面もあったのも否めない事実である。結局、各機関が個別に持っているデータを個別に情報提供することにのみ力が入り、本質的に大切な道路交通そのもののパフォーマンスを高める努力がおざなりになっていた点は大きな反省点である。特に近年、行政に対する国民の視点は厳しいものがある。投資効果が出ているか、無駄な事業でないかということをチェックするための事前・事後評価は、国民への説明責任という意味で非常に重要であり、低成長時代に必要な投資を確保していくという意味でますます重要になっていくであろう。

日本の道路行政は、世界的にも早いうちから業績目標と業績評価に基づいた行政経営改革を行ってきた⁹⁾。具体的には、民間ノウハウである経営マネジメントの手法により、業務の効率化とサービス向上の両立を行う。さらに、縦割り組織の一点目標主義から、組織連携による総合力での高質化と合理化を目指し、行政コストの最小限化と政策目標の達成を目指すという改革である。

実際の業績評価においては、渋滞量の削減、交通事故の削減、沿道環境の改善などが KPI (Key Performance Index) としてセットされ、道路交通への投入金額とパフォーマンスの向上を国民に理解してもらえるよう情報を可視化していくことが大切であり、これらを可能とする情報収集の機能を路車協調 ITS は有するべきである。また、生活道路のヒヤリ・ハット削減や一般道路のパフォーマンス改善など地域全体の情報の可視化が可能となるようなプローブ情報収集機能も必要である。

24 時間 365 日生成される道路から把握されるさまざまな情報を蓄積、分析、共有することで道路関係者が連携して道路インフラサービスの改善に努力し、地域社会や日本経済のニーズにこたえる必要がある。

(3)環状道路マネジメントに使える機能を持つこと

首都圏の三環状道路を含む自動車専用道路ネットワークの延長は約 1,000km である。これまで困難であった自動車交通の需要と供給の最適化を行うためには、道路の利用状況（渋滞等）に関する完全情報と、弾力的な料金設定が不可欠となる。路車協調 ITS では、環状道路ネットワークマネジメントに必要な 1,000km という広域の交通情報提供が必要である。

また、環状道路ネットワークは数多くのルート選択ができるようになる。道路標識や情報板ですべての代替ルートの情報を提示することは不可能であり、路車協調 ITS ではカーナビを活用した目的地、希望料金、希望旅行時間に応じたルート選択が不可欠となる。

路車協調 ITS では、料金割引が難しかった迂回交通に対して、経路情報に応じた料金設定ができる機能が不可欠である。また、経路状況の把握は交通状態のリアルタイムの把握が可能になるという二つのメリットをもたらす。それに加えて、1,000km の広域な情報提供が組み合わせれば、これまで不可能と思われていた道路交通の需要と供給を、プライス・メカニズムによって最適化することができる可能性がある。プライス・メカニズムを活用した既存道路インフラという資源の最適配分が可能となれば、全く新しい道路交通の時代が到来することになる。

(4)物流の効率化と道路インフラ保全との調和を可能とする機能をもつこと

2010 年の物流センサスでは、物の移動はトラックが重量ベースでほぼ 8 割を担い、1 件当たりの輸送距離は全産業平均で 243km と伸び、大型車の中でもより大型のトレーラ車へのシフトも顕著化してきた。産業拠点の集約化、輸送の大型化というトレンドが読み取れる。日本経済を支えているのは物流という血流であり、物流の効率化は日本経済の浮揚の基礎中の基礎であるといってもよい。一方、物流の主役である大型車両に関しては、重量を違法に超過した大型車両は道路の損傷への影響が非常に大きく、顕在化してきた道路インフラの老朽化対策を考える上で非常に重要

である。2014年5月、国土交通省は「道路の老朽化対策に向けた大型車両の通行の適正化方針」を発表した。悪質な違反者に対する厳罰化と、一方の社会要請でもある車両の大型化に対応した許可基準の見直しやルール遵守の利用者に対する許可の簡素化を行う方針を明らかにした。

この方針は時宜を得たものであるといえよう。これまでは大型車両が通行できる規格の高い道路はネットワーク状になっていなかったことから、選べる路線が少なく、渋滞する時間を避けたり、遅れた物流の調整を行ったりという程度のマネジメントしかできなかったが、ネットワーク時代はその問題を根本から変えることになるからである。

路車協調 ITS は、大型車の通行経路を把握する機能を備えるべきである。また、許可経路が多様になった際に、道路管理者、事業者、ドライバそれぞれが経路の確認等が容易になる必要がある。また、経路情報を官民でシェアすることなどにより、物流そのものの効率化も可能となる機能にすべきである。無料通信である ITS スポットと有料通信である携帯電話網を組み合わせたさまざまな民間サービスの登場も期待したい。

(5)災害時のいざという時に人命を助ける機能を持つこと

いざという時に使える ITS とは、平時の機能がモードチェンジし、緊急時にも人々の命を助けるために機能するものである¹⁰⁾。特に、ITS が受け持つべきところは、発災直後から30分以内の避難・安否確認と発災後数時間で始まる救助・救援・道路啓開の段階である。

一つは、ITS カーナビに避難地情報を入力し、不慣れな土地でも避難場所に逃げられるようにすることである。東日本大震災では、道の駅は自動車での旅行者の避難場所として有効に機能した。

次に、道の駅や SA・PA における Wi-Fi と ITS スポットの設置である。Wi-Fi はスマホや PC による安否確認に有効に使い、ITS スポットは走行可能ルートの把握に有効に活用できるからである。啓開・救助活動に使うためには災害発生直後の早いうちに情報集約が可能なシステム設計が必要であろう。特に、大型車が通れるかどうかの情報まで含めて整理できることが緊急輸送にとっては大切な情報となる。機動力を増すためには、固定設置の ITS スポットだけでなく、可搬式も有効なツールとなる可能性がある。そうすれば、復旧・復興の際の交通マネジメントにも機動的に有効に使えることになるだろう。

(6)ETC も含めた民間サービスでの展開による経済活性化

セカンドステージの大切な点は、公共性の高い事故や渋滞の削減だけでなく、利用者の細かいニーズに合致した民間によるサービスが広がり、日本経済を浮揚させる効果も期待される点である。

しかしながら、民間がビジネスに使うためには、ITS 車載器の普及が不可欠となる。将来的には新車販売 500 万台の半数程度売れるといわれているが、多くの人が保有するまでには数年のタイムラグが生じる。このタイムラグを解決するためには、二つの戦略が必要となる。

一つは、すでに設置された ITS スポットを活用した民間サービスの検討であり、すでに国総研において共同研究が進んでいるテーマである。物流の支援のためトラックにユニークな ID を付与し、その車の走行履歴を民間にフィードバックすることで、物流の効率化を目指している。

もう一つは、すでに 3,000 万台以上普及している ETC に対するサービスと融合させる取り組みである。しかし、すでに ETC の ID を活用したポイントサービス、駐車場決済などが展開しているが、ID の登録、クレジットカードの登録といった手間が多く、利用は伸び悩んでいる。融合のポイントは、ETC を個別 ID として活用するサービスから始まり、新車載器によるさらに便利なサービスに発展していくという戦略ではないだろうか。ETC と新車載器の通信機能は同じ 5.8GHz を使っているため、両者に対応できる路側機が開発されれば、民間での導入機会が大いに広まることになる。ワンストップでゆっくりと接続するという条件であれば、機能の簡素化が可能となる。こういった官民で利用できる簡素型の「ワンストップ ITS 路側機」の開発も必要となる。

(7)スマートな都市圏の発展につなげる「スマートグロース ITS」

都市のスマートグロース（賢い成長）を考える上で大切なのは移動の実態把握である。渋滞状況、駐車状況、公共交通での移動、物流、荷捌き交通、観光流動、高齢者の移動などの移動に関する情報は、都市の発展を考える上での基礎情報であり、路車協調 ITS にはこれらを収集する機能が不可欠である¹¹⁾。

交通需要が的確に把握でき、料金設定の自由度が高まれば、交通需要マネジメント（TDM）がようやく実行できるようになる。TDM に使える機能として、自動車に性格で必要な道路ネットワークの渋滞情報を届ける仕組みは、ダイナミックルートガイダンスに不可欠である。とりわけ、自動車専用道路は抜け道がないだけに、都市圏全体の渋滞情報を自動車に送信する仕組みが不可欠である。また、ルートによって料金が変わると環状道路への誘導などが可能となり、環境に影響が最も少ないルート、もっとも安い料金での走行、最短時間での走行などが利用者のニーズに応じた移動の選択が可能となるスマートな都市づくりが可能となる。

また、中心市街地の活性化への活用も期待される。中心市街地活性化の眼目は、来訪者の滞在時間が短くなっているということである。路車協調 ITS を活用した歩行者ゾーンの管理機能、滞在時間を延ばすための各種割引やポイント活用、買い得情報提供、さらにはパークアンドライドなどの公共機関への乗り換えとの連動などの機能が必要とされている。

3-5 最先端技術の動向を踏まえた路車協調 ITS の開発

3-5-1 路車協調 ITS に必要なプラットフォーム機能の整理

(1) 路車協調システムの基本コンセプト

路車協調システムは、路車間通信を用いて路側システムと車載器が連携し、様々なサービスを実現するものである。車の耐用年数が10年程度であることを考えると、車載器を交換することは極力避けるべきである。そこで車載器にサービスを実現するためのアプリケーションソフトを搭載するのではなく、共通的に利用される機能を具備し、路側システムが路車間通信を介して当該の機能を組み合わせて利用することで、様々なサービスを実現するというコンセプトが大切である。

(2) 共通機能の特定

車載器が備えるべき、複数のサービスで共通的に利用される機能として、指示応答機能、メモリアクセス機能、ICカードアクセス機能、プッシュ型情報配信機能、ID通信機能、基本指示機能、共通的なセキュリティ機能、インターネットプロトコル(IP)機能を定義することで、多様なアプリケーションへの対応を図ることが可能である。共通的な機能の役割は以下の通りである。

1) 指示応答機能

指示応答機能は、路側無線装置に接続された外部サーバから車載器に対して特定の指示情報を車載器に通知すると共に車載器の入力機構(ボタンなど)を用いて、ユーザの応答を路側に返す機能である。

2) メモリアクセス機能

メモリアクセス機能は、路側システムからの要求に応じて、車載器内部のメモリに格納されている可変長データの読み出し、または書き込みを行う機能である。

3) ICカードアクセス機能

ICカードアクセス機能は、路側無線装置からの要求に応じて、ISO/IEC7816で規定された方法でICカードへアクセスするための機能である。

4) プッシュ型情報配信機能

プッシュ型情報配信アプリケーションは、路側システム上のサーバからコンテンツもしくはコンテンツの位置を車載器上のクライアントに対して送信し、クライアント側では、受信したコンテンツ種別に応じた処理を自動的に実行するアプリケーションである。

5) 共通セキュリティ機能

共通セキュリティ機能は、車載器-路側システムにおいて相互認証を行い、機器認証を行う機能である。また相互認証で交換した鍵を用いた暗号通信に対応する。

なお、上記(1)~(4)の機能について、アプリケーションを実現するためのインタフェースとして基本API(Application Program Interface)と呼ぶ。

(3)アプリケーションと共通機能の対応

路車協調 ITS に求められている機能と共通機能の利用関係の例を表 3-5-1 に示す。共通機能の組合せによって数多くのアプリケーションが実現可能である。

表 3-5-1 共通機能の利用例

共通機能		基本 API				共通セキュリティ機能
		指示応答機能	メモリアクセス機能	IC カードアクセス機能	プッシュ型情報配信機能	
アプリケーション						
E T C	決済処理	○	○	○	—	○
	入退場管理	△	△	△	—	○
	施設情報提供	△	—	—	△	—
A H S	安全運転支援情報提供	—	—	—	○	○
	注意警戒情報提供	—	—	—	○	○
V I C S	渋滞・旅行時間情報等の提供	—	—	—	○	○
	駐車場情報の提供	—	—	—	○	○
	多目的情報提供	—	—	—	○	○
	長文読み上げ情報提供	—	—	—	○	○
プローブ	時刻・位置情報収集	—	○	—	—	○
	地点速度・方位・加速度・角速度情報収集	—	○	—	—	○
	車両制御情報収集	—	○	—	—	○
	運行情報収集	—	○	—	—	○

【凡例】○：利用する場合は多いと想定されるもの
 △：利用する場合もあると想定されるもの
 —：利用しないと想定されるもの

3-5-2 路車協調 ITS のアーキテクチャ

路車協調 ITS のアーキテクチャに関しては、著者が WG の主査として参加した国土技術政策総合研究所の官民共同研究「次世代道路サービスに関する共同研究」においてとりまとめられた。路車協調 ITS の概要について具体的に説明する。

(1)システムの全体構成

路車協調 ITS のシステムは、図 3-5-1 に示すように「路車協調 ITS 車載器（以下「ITS 車載器」と呼ぶ）」「路側システム」「路車間通信」により構成される。

ITS 車載器は、「路車間通信機能」「基本 API・共通セキュリティ機能」「カーナビ機能」の機能をもつ。路側システムは、「路車間通信機能」「基本 API・共通セキュリティ機能」「個別アプリケーション」の機能をもつ。

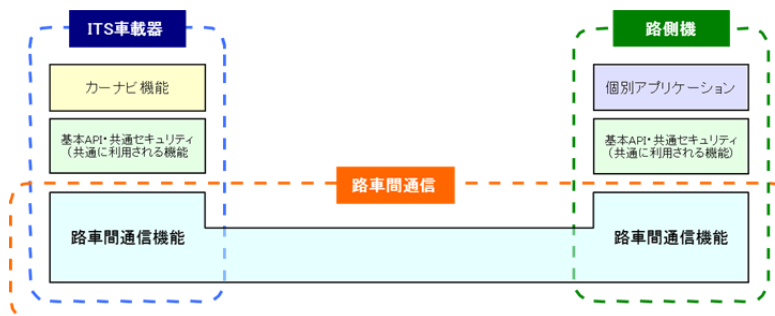


図 3-5-1 路車協調 ITS のシステム全体構成

(2)ITS 車載器の構成

ITS 車載器の構成を図 3-5-2 に示す。一つの車載器で ETC, VICS, AHS, プローブデータ収集などのアプリケーションを実現する共通の機能をもつ。

ITS 車載器が有する「路車間通信機能」は、「DSRC プロトコル」「拡張通信制御プロトコル」「非 IP 系通信」および「IP 系通信」よりなる ASL (Application Sub Layer) より構成され、路側システムの通信ゾーンにおいて路車間通信を実現する。

「基本 API・共通セキュリティ機能」は、一般的には、路側システムの指示情報に対し車載器が応答する指示応答機能、路側システムから車載器のメモリに書込ままたは読出するメモリアクセス機能、路側システムが車載器を同定し車載器が応答する ID 通信機能、IC カードへの決済情報を送受信する IC カードアクセス機能、多様な情報を路側システムから車載器へ提供するプッシュ型情報配信機能、および路側システムとの相互認証やデータ認証、暗号化といったセキュリティ処理を行う共通セキュリティ機能より構成される。

「カーナビ機能」は車載器とドライバとの接点としての役割を果たすものであり、「表示・WEB 機能」等を備える。また、外部機器との接点としての役割を果たすことから、カーナビ等から情報を収集してこれをアップリンクする「アップリンク機能」等を備える。

(3)路側システムの構成

路側システムは「路車間通信機能」、「基本 API・共通セキュリティ機能」、「個別アプリケーション」を有し、外部システムと連携しつつ、ITS 車載器にサービスを提供するものである。路側システム側は、すべての外部システムに接続する必要はなく、その路側機が提供する個別のサービスに応じ、図 3-5-3 に示す機能から必要なものを選択して実装すればことたりることになる。

「提供情報生成・編集・蓄積機能」とは、車載器に提供する情報を生成する機能、すでに生成された情報を編集する機能、および生成・編集された情報を蓄積する機能等を意味する。例えば、道路上における情報提供にあっては提供すべき情報の編集機能をもつサーバが考えられる。

また、「プローブデータ処理機能」とは、車載器より取得した情報から新たな情報を生成する機能、車載器より取得した情報や新たに生成した情報を他のシステムに提供する機能等をいう。

「決済処理機能」とは、有料道路や駐車場を利用する際に、車載器から取得した情報をもとに、適切な個人等に対して課金処理を行う機能をいう。「料金等表示機能」とは、料金や利用時間、駐車場内の案内等の情報を提供する機能を意味する。

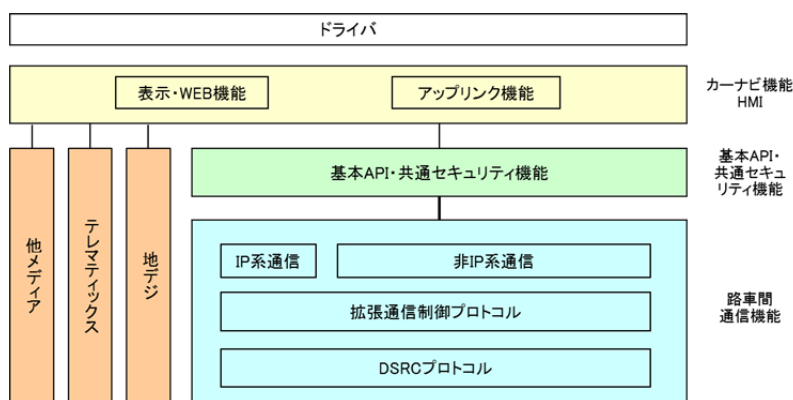


図 3-5-2 ITS 車載器の構成

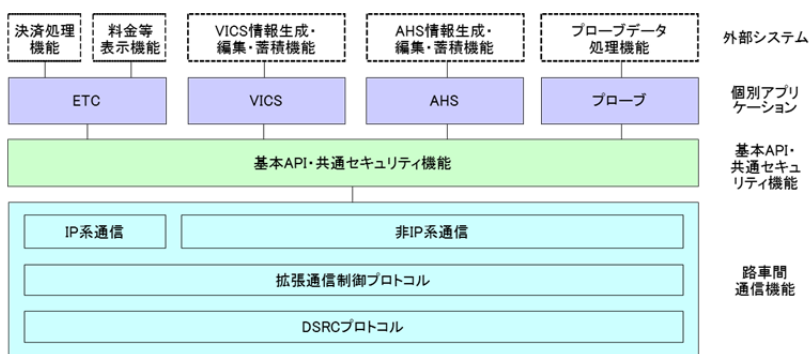


図 3-5-3 路側システムの構成

(4)路車間通信の構成

図 3-5-4 に示す路車間通信は、ARIB STD-T75（狭域通信（DSRC）システム標準規格）と、DSRC を多目的に利用して複数のアプリケーションを実現するための ARIB STD-T88（狭域通信（DSRC）アプリケーションサブレイヤ標準規格）に準拠する。

また、DSRC の変調方式は、現在 ETC で利用されている ASK（Amplitude Shift Keying）に加え、ASK の 4 倍の大容量の通信を実現する QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）を利用する。2 つの変調方式を載せたのは重要である。既存の ETC 車載器と共存するためには、これまでのシステムと同じ機能を持つことが必須である。次の更新期には、ASK の機能を廃止、QPSK の機能を重複させることで、スムーズなシステムの移行ができるようになる。

ASL には非 IP 系通信に係るプロトコルと IP 系通信に係るプロトコルが含まれる。非 IP 系通信に係るプロトコルは、上位層の基本 API をポート番号で識別することで受信した情報を適切に処理する機能を持たせている。これによってこれまでの ETC の機能と新しい基本 API を活用したアプリケーション、IP 系通信の切り替えを行うことができる。IP 系通信に係るプロトコルは、IEEE802.3 の利用等を可能とすることで IP によるサービスを提供可能である。

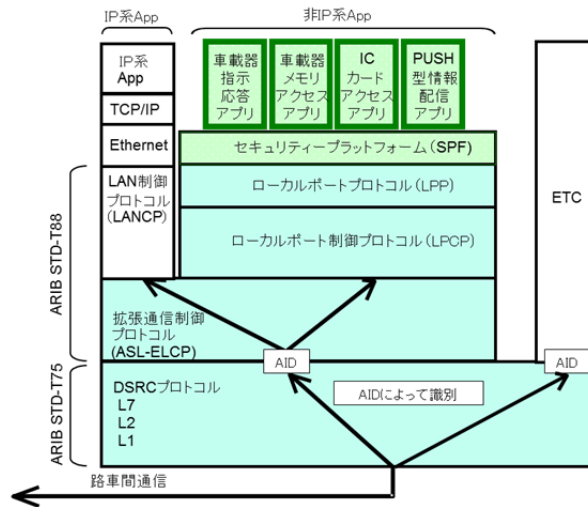


図 3-5-4 路車間通信の構成

(5)車載器

図 3-5-5 に車載器の具体的なイメージを示す。車載器は、DSRC 部とカーナビ部に分かれる。DSRC 部は、これまで議論してきた路車間通信機能と基本 API・共通セキュリティ機能を持つ。カーナビ部は、ナビデータ処理部として、高精度測位計測部と地図データ部によりカーナビに必要な情報処理を行い、HMI 処理部により入力操作、表示をおこなうという構成になる。

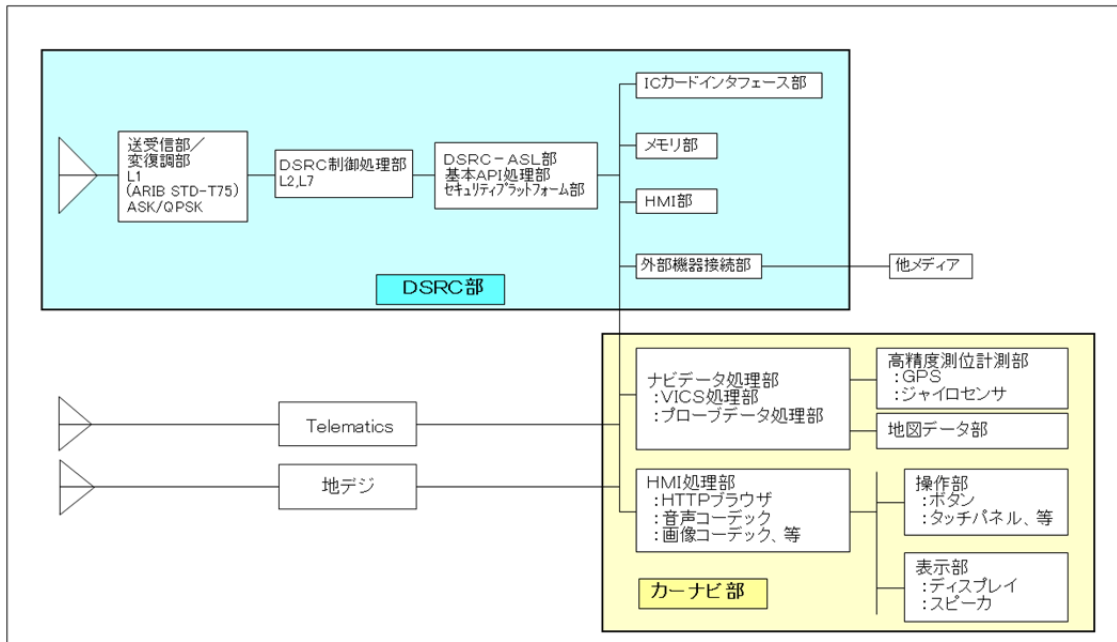


図 3-5-5 車載器の具体的なイメージ

3-5-3 路車協調 ITS が実現するアプリケーション

(1) ITS 車載器を活用したアプリケーション

ITS 車載器に組み込まれた基本 API を組み合わせることで様々なアプリケーションを実現可能である（表 3-5-2）。そのアプリケーションを使い、官民の施設管理者はドライバが喜ぶ様々なサービスを提供することができる。

特徴的なのは、ETC の機能は当然として、通信容量が増えていることから VICS の渋滞情報の提供エリアが大きく拡大するという従来の機能の強化に加え、インターネット接続、音声読み上げ、プッシュ型情報配信、プローブ情報収集というあらたな機能が追加された。これらのアプリケーションを活用することで、走行中、停車中でさまざまなサービスの提供が可能となる。

スマートウェイの基本コンセプトである官民が多様なサービスの提供に活用するためには、官民が連携してこのプラットフォームを使いこなし、ユーザが望むサービスを提供していく不断の努力が必要であろう。究極的には、安全運転支援情報提供を持つ車載器が遍く普及することで交通事故ゼロ社会という到達点がようやく見えてくる。

表 3-5-2 ITS 車載器が実現するアプリケーションとそれを活用したサービスの例

基本 API 組合せ能	アプリケーション	提供可能サービス
ETC 機能	ETC アプリ	高速道路料金決済サービス 駐車場料金決済サービス
安全運転支援 情報提供機能	AHS アプリ	渋滞末尾警告サービス カーブ警告サービス
交通情報提供機能	VICS アプリ	大都市圏の全自専道の広域情報提供サービス 広域ダイナミックルートガイダンスサービス
文字音声読み上げ機能		簡単路側放送サービス 観光ガイドサービス
プローブ情報収集	プローブ情報アプリ	旅行時間情報の正確な把握 急ブレーキなどの安全情報の把握
インターネット 接続機能	IP 系アプリ	観光情報提供サービス 目的地設定サービス 地図更新サービス

(2) デイワンサービスとしてのカーナビと ETC

ITS 車載器のメリットは、何といたってもカーナビと ETC というキラーアプリを持つことである。このキラーアプリは、車載器を買った当初からサービスが受けられるデイワンサービスである点も重要である。

現在、ETC は、料金割引や料金所でノンストップ通過できるという利点がユーザに受け入れられ、高速道路利用者の約 9 割の人が使っている。VICS 情報の受けられるカーナビも、年間 500 万台販売される、自動車の大半が装着しているデファクトスタンダードである。

路車協調によるシステムの良さは、路側機を設置することでダイワサービスユーザがすぐに受けられる点である。車同士(車車)の通信の場合、通信相手が少ないと、最初買った人のメリットが出ないのが普及の大きな足かせとなる。

(3) 全く新しい 5.8GHz 電波帯域を使った VICS 機能

カーナビに渋滞情報を届けるのが VICS である。これまで高速道路の情報提供には、2.5GHz の電波帯域の専用の受信ユニット (3メディア用受信ユニット) が必要であった。新車載器は、ETC と同じ 5.8GHz の電波帯域の受信ユニットを共用できるため、追加のビーコン系受信ユニットの購入が不要となる点は大きなユーザーメリットである。それだけではなく、QPSK を搭載し、大容量かつ情報内容の再整理を行ったため、情報提供がより広域に、より分かりやすくなる点は最大の特徴である。

大容量化は、これまで容量が少なかったため渋滞箇所が増えると情報がオーバーフローし、渋滞していても表示がされないという課題が解決されるだけでなく、大都市圏の自動車専用道路のネットワーク全体を網羅する約 1,000km の情報が提供されることとなる。

これは、たとえば首都圏のように環状道路がつながり始め、選択できるルートが非常に多くなってきた場合に大いに活躍することになる。なぜなら、多くの選択肢の中からどのルートが最短時間で行けるのかをカーナビが計算するためには、道路ネットワーク全体の渋滞情報が必要だからである。しかしながら、これまでの 2.4GHz 電波ビーコンや FM 多重放送を活用した情報提供では、各都道府県単位での情報発信であること、容量が小さくすべての渋滞箇所を伝えられないことなどの制約があった。

(4) 世界初の安全運転支援情報提供機能

ITS 車載器の安全運転支援情報提供機能とは、路側機から情報が提供されてから車載器で表示されるまでのタイミングや、表示地点の座標を情報提供者が決めることができる機能のことである。これにより、最適な位置で安全情報がドライバーに届けられることになった。

前方の障害物情報や合流車両情報は、道路の路側情報板での情報提供では 50%程度、車載器での情報提供では 80%以上のドライバーが危険を認知することが分かっており、安全運転の支援として大きな効果が期待できる。

急カーブ先での渋滞末尾などヒヤリとするシーンに出くわす可能性は高い。そういったヒヤリ体験を減らし、ヒヤリ体験の積み重ねの結果発生する重大事故を減らすことのできる社会システムが登場した意義は、世界の ITS の進化という観点からも特筆すべき事項である。

また、今後の自動運転時代には、自動車から見えない部分の情報提供機能として活用できる機能である。

(5)プローブ情報収集機能

これまで移動体の把握は非常に困難であった。定点で交通量を観測するか、渋滞末尾に人を付けて距離を測定するか、ナンバープレートを観測して旅行時間を測るか、アンケートによって出発地・到着地、移動目的などを聞くという人力に頼った調査手法しかなかったからである。そのため、道路計画策定には、5年に一度の道路交通センサスによる主要区間ごとの一日平均交通量が基本となっていた。

また、自動車利用者のニーズの高い渋滞情報の算出には路側に設置されたトラカンという定点観測装置が使われており、地点の速度から渋滞を把握するため、実態と異なるとか、トラカンが設置されていない個所では渋滞の算出ができないという課題があった。

自動車の走行履歴が分かれば、トラカンがない個所でも渋滞を確実に把握することができるようになり、渋滞情報や旅行時間情報、渋滞末尾の把握がさらに正確になるという大きなメリットをもたらす。また、急ブレーキを踏むようなヒヤリ・ハットする事象が多く発生する危険個所の特定も可能であり、そういった情報をユーザにフィードバックできれば交通安全対策の体系も大きく様変わりするであろう¹²⁾。

ユーザーメリットだけではなく、道路管理者に対して渋滞個所の把握、危険個所の把握、沿道環境の把握、道路改修計画立案などに有効に活用されることで、道路交通システム全体の改善に貢献する社会的な意義も持ちあわせている点は、国土のイノベーションにつながる全く新しい価値を社会にもたらす可能性がある。

表 3-5-3 ITS プローブ情報として収集できる内容

基本情報	DSRCに関する情報 カーナビゲーションに関する情報 車両に関する情報
走行履歴情報	時刻、緯度経度、道路種別
挙動履歴情報	時刻、緯度経度、道路種別、方位、前後加速度、左右加速度、ヨ 一角速度、速度

3-6 3 章のまとめ

本章では、最先端の情報通信技術の動向を踏まえた路車協調 ITS の持つべき機能について整理を行い、その機能を活用した社会問題解決の方向性について整理を行った。本章の成果は以下となる。

2 章の世界と日本の ITS 研究開発のレビュー、最先端の情報通信技術の動向、社会への普及戦略とを踏まえ、路車協調 ITS 開発へのリクワイアメントを以下のようにまとめた。

- 通信技術に関しては、高速でセキュアな双方向通信の 5.8GHzDSRC をベースに開発する
- 位置特定や地図情報は、デファクトスタンダードの GPS と DRM を活用する
- ETC をベースに発展を考える
- 利用者ニーズである様々な料金割引、渋滞回避などの利便性の高いサービスを実現できること
- 社会ニーズである交通事故の削減、環境負荷の削減が実現できること
- 道路管理者ニーズである車両情報を活用した道路の運用や維持管理の効率化やコスト削減が実現できること
- 民間サービスも含めた様々なサービスが実現できるプラットフォームとなること

また、システム全体の「アーキテクチャ」を整理し、様々なアプリケーションが実行できる「プラットフォーム機能」を検討し以下の基本機能を持つ路車協調 ITS の機能要件を定めた。

- 路車協調 ITS のアーキテクチャとしてのシステム構成を定めた
- ITS 車載器に対しては、個別のアプリケーションを搭載するのではなく、アプリケーションに必要な基本機能を搭載することとし、路側システム側に様々なサービスを可能とするアプリケーション機能を持つこととした
- 基本機能を抽出し、指示応答機能、メモリアクセス機能、IC カードアクセス機能、プッシュ型情報配信機能、共通セキュリティ機能の 5 つの機能と定めた。

次に、日本における都市・交通問題の現状を整理し、路車協調 ITS を活用した解決の方向性について整理を行った。

- 路車協調自動運転の実現による事故ゼロ・渋滞ゼロの実現
- プローブ情報を活用した情報可視化によるデータに基づいた道路交通改善
- 環状道路マネジメント
- 物流の効率化と道路インフラ保全との調和
- 災害時のいざという時に人命を助ける
- ETC も含めた民間サービスでの展開による経済活性化
- スマートな都市圏の発展につなげる「スマートグロース ITS」

本章でまとめた路車協調 ITS のプラットフォームが社会に実装されれば、都市・交通問題だけではなく、国土の在り方も変える大きなツールとなるであろう。新し

い都市と交通の時代が花開くかどうかは、産官学が連携することで利用者や道路管理者の細かいニーズに対応していくことができるかにかかっている。思いつくままに述べてみても、利用者からは渋滞情報を1分ごとに更新して欲しい、SA/PAや道の駅で休憩した際にVICS情報が取得したい、運転中には煩わしくない必要な情報だけ欲しい、本当に危ないときに警告して欲しい、高齢者でも安心して運転できるガイダンスが欲しい、道路管理者や自治体からは、事故発生時や災害時の大切なときに使えるような簡単な操作体系にして欲しい、中心市街地の活性化に使いたい、観光の案内や調査に使えないのかといった切実な声が寄せられている。こういった現場のニーズに対して、ITSに携わる産官学の研究者が、現地に赴き、知恵を出し合い、問題を着実に解決していく答えを出していくことが大切である。

次章以降では、路車協調ITSが解決すべき一番の課題である「事故ゼロ・渋滞ゼロ」社会に向けた路車協調ITSを活用したサービスについて検討を行う。具体的には、4章で事故ゼロに向けた安全運転支援サービスについて、5章で交通円滑化サービスについて実証的な検討を行い、路車協調ITSの持つ可能性を具体的に評価する。

第3章 引用文献・参考文献

- 1) 牧野浩志, ITS セカンドステージの普及策に関する一考察, 土木技術資料 56(8), 6-11, 土木研究センター, 2014.8.
- 2) 山田晴利, 喜安和秀, 川名万寿雄, 牧野浩志, 小林寛, 大内浩之, 川畑諭, 水口賢: 走行支援道路システム技術資料, 国総研資料第 208 号, 2005.1.
- 3) 高度道路交通システム研究室: 次世代道路サービス提供システムに関する共同研究報告書, 国総研資料第 319 号, 2006.03
- 4) 川崎茂信, 喜安和秀, 平井節夫: 平成 13 年度~平成 17 年度 走行支援道路システムの総合的な推進, 国総研プロジェクト研究報告第 17 号, 2006.10.
- 5) 葛巻清吾: SIP 自動走行システム, ITU ジャーナル Vol.45 No.7, 2015.7.
- 6) H.Makino, S.Suzuki, T.Tsukiji, DEPLOYMENT STRATEGY OF COOPERATIVE ITS IN JAPAN - TOWARDS ETC2.0 -, PIARC 25th World Road Congress 2015, CD-ROM 0395, 2015.11.
- 7) 平成 27 年警察白書, 警察庁, 2015.07
- 8) 中央交通安全対策会議, 第 9 次交通安全基本計画, 2011.3.
- 9) 徳山日出夫: 行政経営の時代, 日経 BP 社, 2004
- 10) 牧野浩志: 東日本大震災からの復興と ITS の活用, 生産研究 64 (2), 2012
- 11) 牧野浩志他: 柏 ITS における ITS 地域情報センター構想について, 第 10 回 ITS シンポジウム, CD-ROM, 2012
- 12) 牧野浩志, 大内浩之, 高宗政雄, 竹中憲郎, 井上洋, DSRC によるアップリンク情報を活用した走行支援サービスの検討, 第 4 回 ITS シンポジウム 2005, ITS Japan, 2005.12 .

第4章 路車協調 ITS による安全運転支援サービスに関する実証的検証

4-1 はじめに

路車協調 ITS のコンセプトを活用した安全運転支援サービスに関して、日本は先進的に取り組んできた。2章で述べた AHS 研究開発がそれである。AHS 研究開発の基本的コンセプトは、ETC の通信方式を活用し、真に必要な情報を真に必要なタイミングで運転者に提供することで、情報提供の有効性を向上させるというものである。3章で整理した路車協調 ITS は AHS 研究開発で検討してきた安全運転支援サービスを提供するアプリケーションの構築が可能となる。

本章では、安全運転支援サービスのなかでも自動車の自動運転の支援等に必要となってくる前方障害物情報提供サービスについて有効性の検証を行う。まず、安全運転支援サービスのコンセプトを示し、AHS 研究開発の成果からアプリケーション構築に必要なシステム設計を行う。サービスの効果を測定するため、ドライビングシミュレータによる事前検証、参宮橋カーブでの実道実験による検証、ITS 車載器モニタ運転者へのアンケート調査での事後的検証を行い、サービスの有効性を明らかにする。

4-2 安全運転支援サービスのコンセプト

4-2-1 直前対策としての路車協調 ITS の考え方

(1) ヒューマンエラーを防ぐ直前対策

事故全体の 75% を占める、発見の遅れ、判断の誤り、運転操作の誤りといった人間のミスを減らす対策を時間軸で対策を整理してみると図 4-2-1 になる。事故による死亡事故を削減するシートベルトなどの最中・直後の対策や、ドクターヘリに代表される緊急医療の高度化といった対策が効果をもつことがわかる。一方、事故発生率の低い高速道路の整備は、交通事故件数そのものを下げる根本対策であるといえるが、それには時間とコストがかかるし、すぐできる対策として注意看板を立てたとしても、時間経過とともに効果が減少していくという悩みがあった。また、直前対策は効果が高いが、事故発生直前に警告をするというのは技術的な課題があり取り組みが遅れていた。

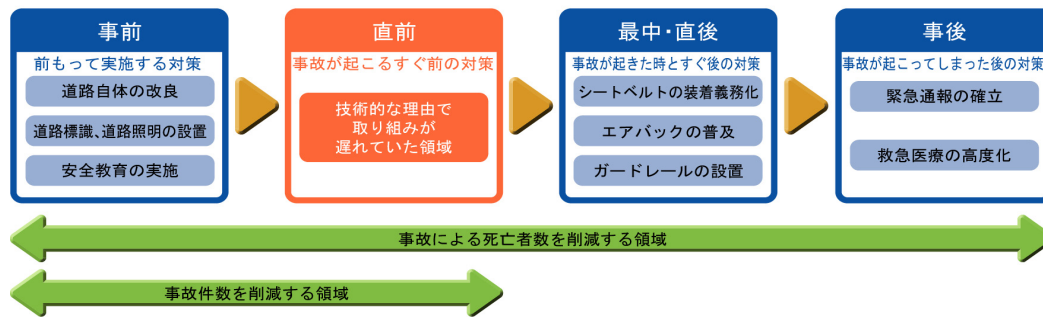


図 4-2-1 時間推移と事故対策

(2)直前対策の方法と路車協調 ITS

直前対策の方法としては、「車両単独」「インフラ単独」「路車協調（車路車協調含む）」「車車協調」などの技術方式が考えられる（表 4-2-1）。近年、車両単独の直前対策では、車両に搭載された各種センサやレーダにより前方の状況を把握し、前方の障害物との追突を防止したり被害を軽減したりする予防安全技術が商品化されている。こうした機能を搭載した自動車が普及することで、一層の交通事故削減が期待できる。

表 4-2-1 直前対策の概要と特徴

対策	概要	特徴
車両単独	自動車に搭載されたセンサにより前方や周囲の状況を把握。状況に応じてドライバーへの情報提供や車両制御を行う。実用化済み	車両直近の状況把握に適するが、遠方やカーブの先、交差点など車載センサ・カメラの死角となる部分の状況把握はできない。
インフラ単独	道路側に設置されたセンサにより渋滞状況や突発事象を検知して路側表示板等によりドライバーに情報提供を行う。実用化済み	車両単独では検知できないカーブの先などの状況把握に適するが、情報提供箇所はインフラ整備箇所に限られる。
路車協調 (車路車協調)	インフラ単独同様、道路側で事象を検知したり通信を利用して車両側の情報により事象を検知したを通じてドライバーに直接情報提供を行う。実用化段階。	インフラ単独と同様の長所をもつ。インフラ単独より費用対効果に優れるが、車載器の普及が課題。
車車協調	車両側のセンサで検知した事象や車両位置情報等を通信を利用して直接他の車両・ドライバーに情報提供を行う。研究開発段階。	インフラを必要としないので、交差点での出会い頭事故等、事故発生箇所が多岐に渡る事故に特に有効。車載器の普及が課題。

しかしながら、車両単独の対策は、車両前方の状況への対処には効果的であるが、限界もある。たとえば、高速道路の急なカーブの先や分合流部などや、交差点の交差側車両などの場合なども車両のセンサやレーダで検知できる範囲に限界があるため、すべての道路環境で車両単独で事故ゼロにするにはまだまだ技術的課題がある。

それらの車両やドライバーから見つけにくい事象や広範囲に発生する事象を道路側のセンサが検知し、情報提供する方法が、「インフラ単独」や「路車協調」と呼ばれる方法である。インフラ単独では、道路側が検知した情報を、路側表示板等でドライバーに情報提供する。路車協調では、通信を利用して車内の車載器に情報を表示して、ドライバーに直接危険事象を伝える。車路車協調とは、通信を活用して車両のセンサで検知した情報を道路側が収集して、同様に通信で車載器に情報を投げ返す。

「車車協調」とは、道路側のセンサ等を利用せず、車両側のセンサで検知した事象や車両位置情報等を直接他の車両に提供する方法である。車車協調と路車協調は、事象の検知方法は異なるが、ドライバに車載器を通じて直接情報提供を行うという点については同様と言える。

インフラ単独と路車協調を比較すると、ドライバに危険事象を的確に伝えるという点において路車協調は優れている。情報内容をドライバへ適切に伝えるという効果は、インフラ単独で路側表示板に情報を表示した場合では50%のドライバ認知率であるのに対し、車載器からドライバに直接情報提供する路車協調の場合はドライバ認知率は90%と効果が高い¹⁾。また情報提供インフラの整備コストも路車協調では安価となる。

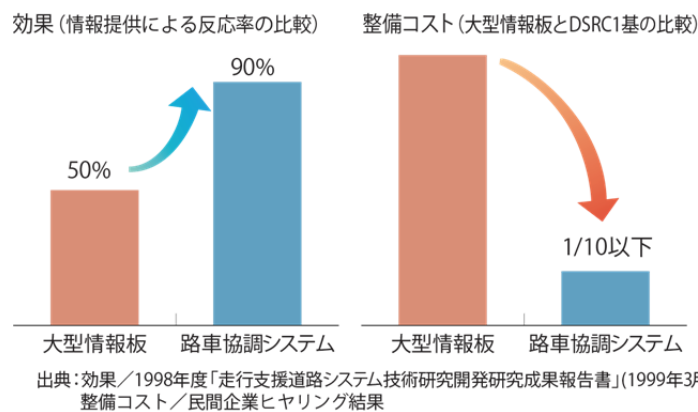
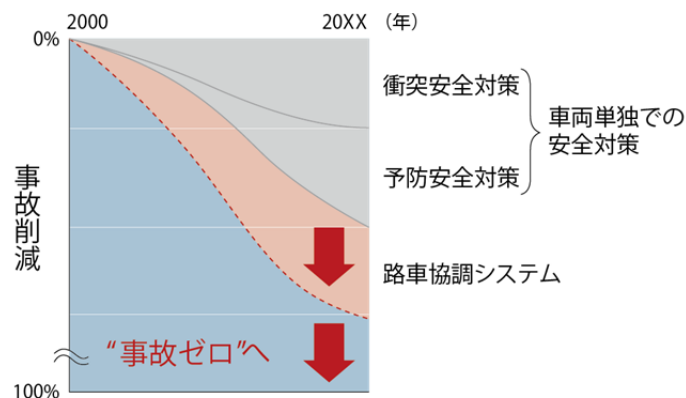


図 4-2-2 大型情報板と路車協調システムの効果と整備コスト²⁾

(3)路車協調 ITS によって大幅な事故削減を目指す

こうした車両単独、インフラ単独、路車協調あるいは車車協調それぞれの直前対策をうまく組み合わせることで、交通事故のさらなる削減が期待される。車両単独での安全対策による4割の事故削減効果に加え、路車協調 ITS 等の協調システムを用いれば、さらに2割の効果が向上するという試算²⁾もある(図 4-2-3)。



出典：『ITSハンドブック2007』（財）道路新産業開発機構

図 4-2-3 事故ゼロに向けた ITS の展開方向

本研究で提案する「路車協調 ITS の交通安全対策」とは、図 4-2-4 に示すように、単路部では車両単独の機能により前方の障害物を発見し、運転者に警告や車両制御を行う。そして、車両からは見えない急カーブや JCT，分合流部では、路側センサが検知した危険事象，車両のセンサやレーダが検知した危険情報を組み合わせ双方向通信により車載器に情報を提供し、運転者に警告や車両制御を行うものである。そうすることにより、事故につながる発見の遅れ，判断の誤り，操作の誤りに対して，その直前に情報提供，警告，操作支援を行うことで，事故そのものを回避させるのである。そのためには，路側のセンサや車両の提供情報により危険事象を正確に把握すること，特定の位置にいる車両に特定のタイミングで的確に情報を伝えること，自動車を受けた情報を用いて確実に操作支援を行うことが必要となる。

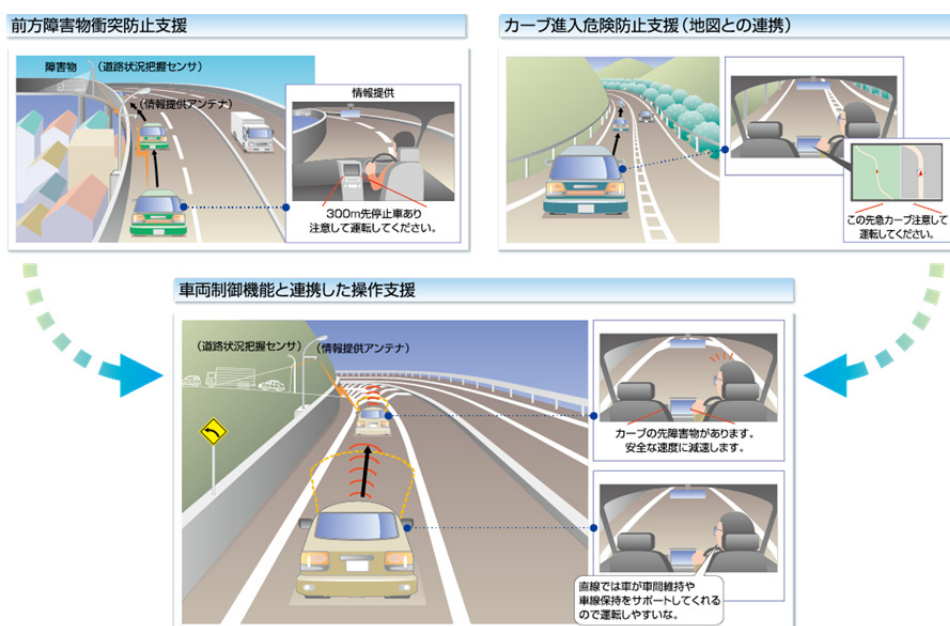


図 4-2-4 路車協調 ITS による安全対策のイメージ

(4)路車協調 ITS で高速道路の交通事故をゼロにする

高速道路の交通事故の特徴は，追突事故の多さと高い速度である。2014 年中の高速道路において発生した交通事故の統計³⁾によれば，下記の特徴が挙げられている。

- 法令違反別に見ると，最高速度違反と安全運転義務違反がそれぞれ 2.1%，90.9%を占め，一般道（それぞれ 0.2%，75.9%）と比較して高い。とくに安全運転義務違反の中では前方不注意の割合が高く，全事故の 4 割を占めている。
- 事故類型を見ると，追突事故の率が 72.2%と，一般道（36.2%）に比べて高い
- 事故の第一当事者の危険認知速度を見ると，30km/h 以下は 32.7%で，一般道（76.7%）と比較し少ない。一方，80km/h 以上は 7.0%で，一般道（3.0%）と比較し高い。

また，都市高速道路は限られた都市部の空間制限の中で建設された自動車専用道路であり，線形的に厳しい箇所が存在する。首都高速道路の場合では，曲率半径 250m

以下のカーブは約 130 箇所存在しており，道路管理者はカーブ区間の安全対策に注力してきた⁶⁾．具体的には，可変情報板や滑り止め舗装，視線誘導灯といった対策がとられて成果を上げてきた．しかしながら，対策直後は効果があっても，時間とともに効果が低減していくことや路上にさまざまな施設を設置することから情報の氾濫により警告の効果が下がるなどの問題があった．

高速道路の交通事故をゼロにするためには，直線区間に関しては，自動車の自動運転の機能により安全性を確保し，自動車から検知が難しい急カーブや，JCT，分合流部において機能する路車協調 ITS により安全性を確保することで，全線での事故ゼロを実現するというロードマップが考えられる．

4-2-2 前方障害物情報提供サービスの設計と検証

(1) 前方障害物情報提供サービス

路車協調 ITS による前方障害物情報提供サービス (図 4-2-5) について説明する。前方障害物衝突防止支援システムでは、路側に設置した可視カメラまたは赤外線カメラの画像をもとに、渋滞、停止車などの事象を検知し、運転者にこれらの情報を提供する。

なお、本システムで対象としている「障害物」は自動車と同じ程度の大きさの物体であり、これより小さな物体は対象としていない。したがって、本システムでは事故などの原因で停止している車両あるいは渋滞の検知が主目的となっている。以下に、具体的な設計諸元の設定について記述する。

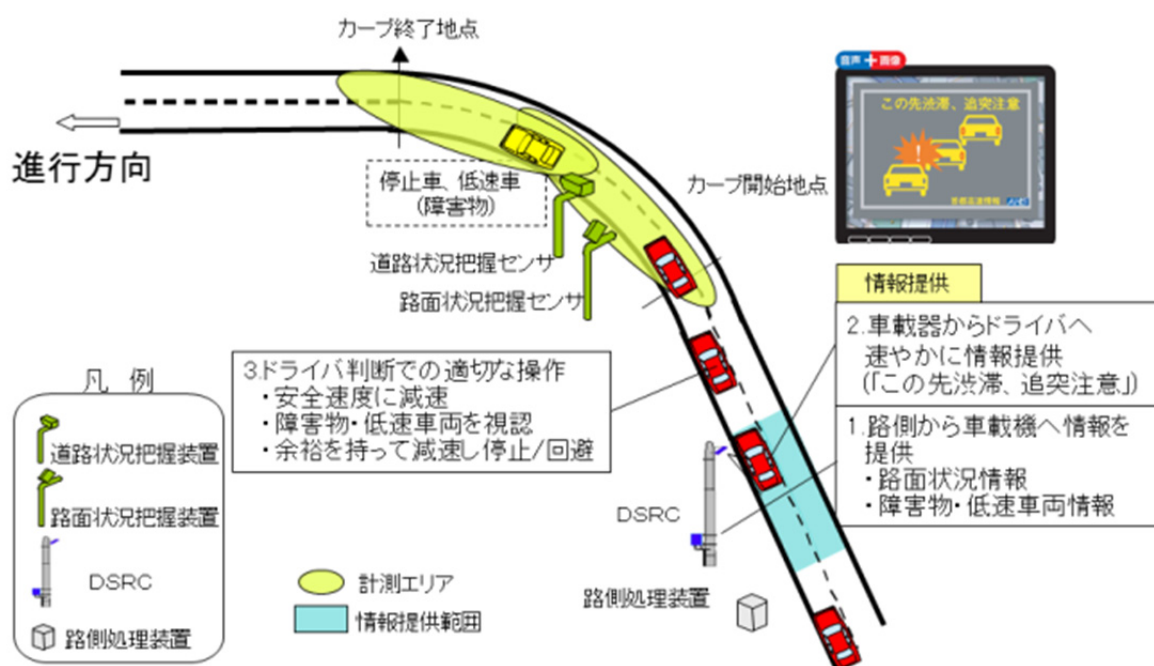


図 4-2-5 前方障害物情報提供サービスのシステム構成

(2) 設計諸元

システムの設計に必要な諸元は AHS 研究の成果⁴⁾を活用した。まず、情報を受けた運転者が実際に何らかの行動をおこすまでの時間（認知時間+危険回避行動時間）を 5s として採用した。既往研究では、情報提供を受けたのちアクセルから足を離した運転者については、足を離すまでの時間の平均値が 2.1 s、最大値は 4.2s、最小値は 0.3s であった。また、情報提供を受けてからブレーキを踏んだ運転者については、ブレーキを踏むまでの時間の平均値が 2.5s、最大値は 4.5s、最小値は 0.6s であった。この計測結果をもとにして、認知に必要な時間を 5s と設定した。

つぎに、情報提供の内容として、停止車という情報は、路肩に停まっているという誤認識があることから、前方の障害が意識されやすい渋滞末尾の図形と「ピッ」という喚起音を使うこととした。

また、車載器による情報の処理・表示に要する時間を見込む必要がある。市販の VICS 車載器を調査したところ、情報処理・表示のための時間は最大で 4.6 秒であったため、車載器での情報処理・表示時間として 5 秒を設定した。この処理時間は車載器に搭載されている CPU の能力に依存するところが大きく、CPU の能力が高くなれば車載器の遅れ時間も短くなる。ITS 車載器では、この情報処理・表示時間は 1 秒で規定している。

最後に、情報を受けとった運転者はゆっくりと減速し、前方の障害物の手前で停止できなくてはならない。安全に停止できるゆっくりとした減速度として、既往研究から 2m/s^2 を採用した。

以上の設計基準を使うことで、車が路側のアンテナから情報を受けとり、車載器がその情報を表示し、運転者が減速を行い、車両が停止するまでの走行距離(D)が以下の式で算出できる。

$$\begin{aligned} D = & \text{(車載器の遅れ時間に対応する空走距離)} \\ & + \text{(運転者の認知時間に対応する空走距離)} \\ & + \text{(制動停止距離)} \end{aligned}$$

(3)効果検証の方法

安全運転支援サービスの研究開発では、危険な状況におけるドライバの行動の分析や情報提供に対するドライバ行動の変化がどういった交通安全の効果をもたらすのかについて評価が必要である。特に、安全に関わる情報をドライバに提供する場合、その情報がドライバに適切に認知・判断される必要があるだけでなく、見慣れない情報に驚くことでかえって危険な挙動を引き起こすことがないように、安全面において事前に検証しておくことが不可欠である。

本研究は、路車協調 ITS による安全運転支援サービスという全く新しい安全対策の効果検証を行うことになるため、以下の検証プロセスをとった。

- 効果検証のために実道での社会実験を行うこととし、渋滞末尾や事故停止車に起因する事故が多発している首都高速道路 4 号新宿線上りの参宮橋カーブを実験箇所として選定した。
- 運転者への前方障害物に関わる情報提供が運転者の運転挙動に悪影響を与えないかどうかについて、ドライビングシミュレータ（以下「DS」と呼ぶ）を活用して事前検証を行った。
- 画像処理センサが検知した渋滞や停止車両の情報を、3 メディア VICS 対応車載器（以下、VICS 車載器と称す）を用いて、カーブに進入する前にドライバに実際に情報提供を行い、画像処理センサがとらえた車両挙動の変化から短期的な効果検証と事故の発生状況を長期的に検証した。

(4) ドライビングシミュレータを活用した交通安全対策の PDCA 化

図 4-2-6 に示すような DS は、路車協調 ITS の効果検証だけでなく、これから道路運用の手法を検討するための有効なツールとなるであろう。

DS を活用することで、交通事故対策に関しては、道路構造とドライバの死角などヒューマンエラーを含む交通事故の発生メカニズムについて、被験者による実道での実験が不可能な状況を再現し、安全かつ短時間で把握することが可能となる。

DS は、情報提供の対策評価だけでなく、標識や照明、道路構造などの他交通事故対策の事前評価にも有効に活用することができる。

また、渋滞対策においても、DS を用いることでドライバの心理的影響などによる安全性や（捌け台数などを含む）走行性に関する検証が可能となる。たとえば、トンネル等での視環境と走行性、織り込み区間での車線運用の違いと走行性など、DS によりこれらの関係が科学的に解明され、はじめて円滑化のための適切な対策が講じられることとなる。

ただし、DS は以前に比べると実空間の再現性は向上しているが、仮想現実空間であることには変わりはなく、被験者実験の手法を確立する必要がある。

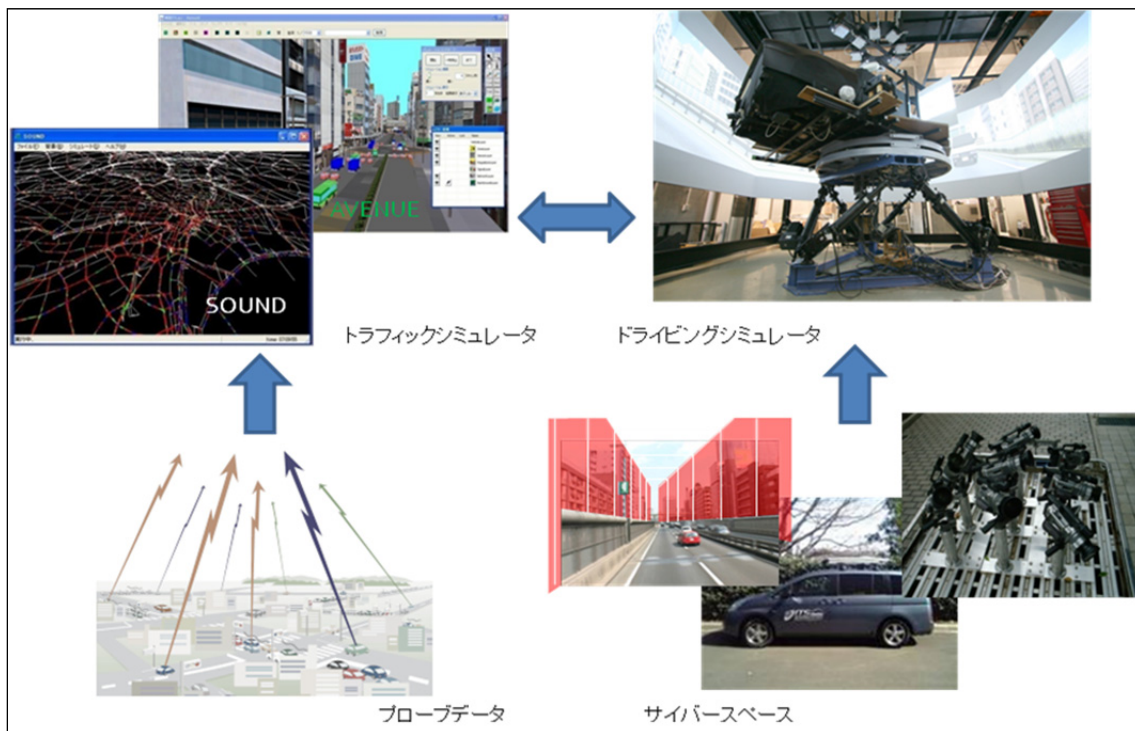


図 4-2-6 仮想化空間とシミュレータ（写真提供：東京大学 ITS 研究センター）

4-3 ドライビングシミュレータによる事前効果検証

4-3-1 実験の概要

(1) ドライビングシミュレータの概要

本実験は、2004年10月、慶応大学理工学部でのDS（図4-3-1）を使用して行われた。DSの映像スクリーンは前方、左右側方、右後方、後方からなる7画面で構成され、これらのスクリーンに対して9台の映像用プロジェクタから走行映像が投影された。運転席からのドライバの視野角は330度であり、左後方以外のほぼ全周囲に走行映像が存在した。左右サイドミラーおよびルームミラーは実車と同様な鏡面体を用いており、後方スクリーンの映像を間接的にとらえることができる方式であった。車載モニターはカーナビ用に市販されている7インチワイド型液晶ディスプレイで、スピーカも搭載されており、ビーブ音等の注意喚起音の呈示が可能である。

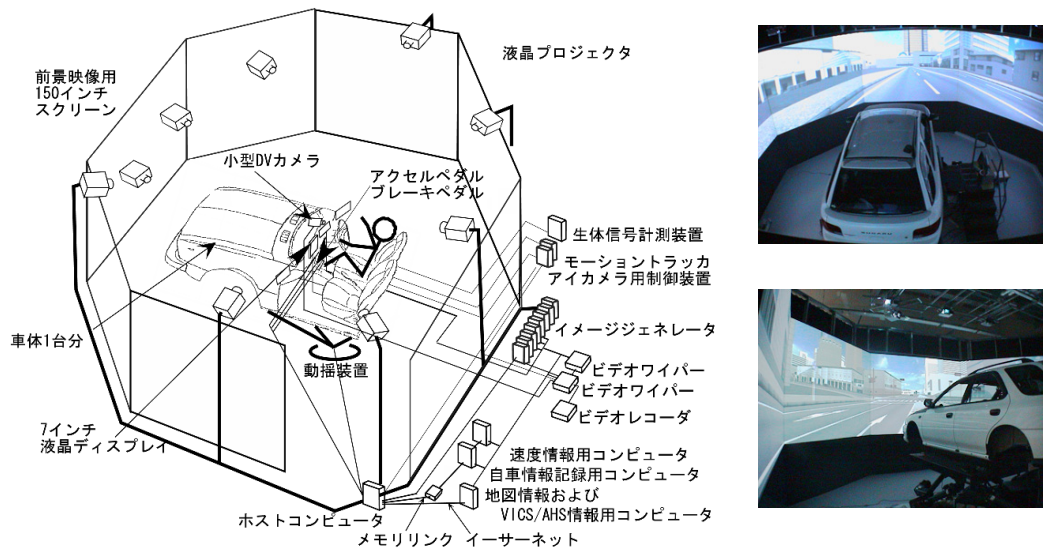


図 4-3-1 実験用 DS の概要（資料提供：慶応大学理工学部大門研究室）

(2) 実験コース

実験コースは、首都高速3号線の高樹町入口を出発地とし都心環状線を経由する3コースを設定した。このうち、参宮橋カーブのような見通しの悪いカーブ区間として霞ヶ関出口先にある左カーブ（R=150m）を選定し、本実験の対象区間とした。

(3) 情報提供位置と内容

車載器への情報提供位置は、情報を受けたドライバがカーブ内で安全に停止するために必要な制動停止距離により設定した。具体的には、システムの設計基準速度を80km/h、ドライバの認知時間と反応時間の合計を5秒、減速度を2.0m/s²と想定し、カーブ内側にある遮蔽物の影響により設計基準速度では制動停止視距が確保できなくなる地点から234m手前で提供した。

車載器への表示内容は、首都高速道路の渋滞末尾情報板システムで使用されている文言と図形を車載器で表示することとし、図4-3-2に示す文字と2種類の図形に

よる 3 パターンとした。これらの視覚情報が車載器に表示される際には通常の VICS サービスと同様な注意喚起音を同時に 1 回発報した。また、これらの情報の表示 5 秒後に自動タイムアウトで消去される設定とした。



図 4-3-2 車載器への表示内容

(4) 検証内容と計測方法

情報提供によるドライバ行動への影響を検証するため、運転時におけるドライバの認知、判断、操作の観点から表 4-3-1 のような検証内容を設定した。

表 4-3-1 検証内容

分類		検証内容
認知	情報に対する視線移動	車載器表示画面への視線移動は安全に行われているか。
	情報内容の理解	提供内容は問題なくドライバに理解されているか。
判断	情報確認後の行動内容	情報を受けてから、何らかの運転行動に結びつけているか。
操作	情報確認後の走行挙動	停止車両の視認前に減速を行っているか。また、それは危険な挙動になっていないか。

また、検証のための計測方法として、視認行動把握のためのアイカメラによる映像データ、ドライバ意識把握のためのアンケート、走行挙動把握のための各種走行データを適宜選定した。

(5) 被験者

被験者は、VICS 対応ナビの所有者または使用経験者を基本とし、首都高速道路をよく利用する 21 歳から 67 歳までの健康なドライバ 29 名(男性 20 名、女性 9 名)とした。結果としてビーコン対応 VICS 経験者が 20 名、FM 多重対応またはカーナビ経験者が 9 名であった。

参加した被験者を HQL 式運転スタイルチェックシート⁵⁾と運転負担感受性チェックシートに基づき分析した結果、平均的な日本人ドライバ特性の範囲内にあることを確認した。

(6)実験手順と実験シナリオ

実験計測に先立ち、DS での運転に慣れてもらうために、走行経路上に停止車両が存在しない状態で被験者に複数のコースを走行させた。被験者が運転に慣れた後、実験計測のための運転走行を被験者 1 人につき 4 回行った。

表 4-3-2 に実験シナリオを示す。走行 1 回目が停止車両の存在しない通常走行とし、走行 2 回目は対象カーブ内に停止車両を存在させて被験者ごとに予め設定した情報を車載器へ表示した。その際、見通しの悪いカーブ内に停止車両が存在する実験であることを悟られないように、今回の実験目的は告げずに実験者が提示した目的地に向かって通常の走行を行うように指示した。

本実験では、VICS 車載器を持っているが、安全運転支援情報が出ることを認知していないドライバーに対して急にサービスが提供された状況を想定し、初めて情報を提供する走行 2 回目のデータを分析対象として使用した。なお、走行 1 回目は停止車両のない通常走行と比較するため、走行 3、4 回目は文字と簡易図形など異なる提供内容を比較するために実施した。

表 4-3-2 実験シナリオ

	1 回目	2 回目	休憩	3 回目	4 回目
グループ 1 (10 名)	情報提供なし (停止車両なし)	文字情報 (この先渋滞,注意)	意思統一 のための インスト ラクショ ン	簡易図形 1 (この先渋滞,注意)	簡易図形 2 (300m 先渋滞)
グループ 2 (10 名)		簡易図形 1 (この先渋滞,注意)		文字情報 (この先渋滞,注意)	簡易図形 2 (300m 先渋滞)
グループ 3 (9 名)		簡易図形 2 (300m 先渋滞)		簡易図形 1 (この先渋滞,注意)	文字情報 (この先渋滞,注意)

4-3-2 実験の結果

(1)情報に対する視線移動

走行直後に行った被験者へのアンケートによれば、車載器に表示された情報は 29 名中 1 名を除きほぼ全員が視認していた。次に、車載器に情報が表示されてから視認するまでの平均遅れ時間を図 4-3-3 に示す。遅れ時間は概ね 1 秒以内に収まっており、文字情報に比べ図形情報の方が短い傾向がみられた。図形情報は色調や絵柄が大きく変化しており周辺視で認知しやすいことに起因すると考えられ、複数の被験者からも同様のコメントがみられた。

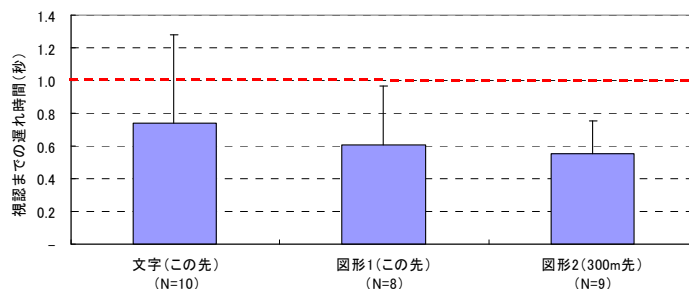


図 4-3-3 情報を視認するまでの平均遅れ時間

ドライバが運転中に視認する特定箇所毎の平均視認時間を図 4-3-4 に示す。文字／図形情報への平均視認時間は各 1 秒程度であり，他の特定箇所と比べてやや高いものの，Zwahlen ら³⁾が提案する平均視認時間の許容範囲（1.2 秒以下，ただしグレーゾーンまで含めると 2 秒以下）内にあり，運転行動に対する影響はないと考えられる。これは，情報提供で視線が前方からそれることによる運転への影響についてのアンケートで，29 名中 1 名を除きほぼ全員が影響はないと回答していることから裏付けられる。

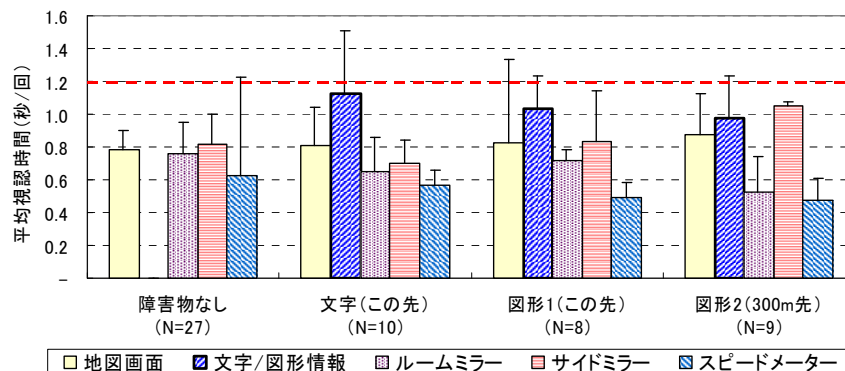


図 4-3-4 特定の視認箇所に対する平均視認時間

(2)情報内容の理解

アンケートによると情報を視認した被験者の全員が情報内容を理解していたが，図 4-3-5 に示されるように情報の解釈にはばらつきがみられた。特に文字では渋滞末尾の位置が 1km 以上先と解釈した人が半数を占め，通常の渋滞情報の感覚で捉えている被験者が多数みられた。

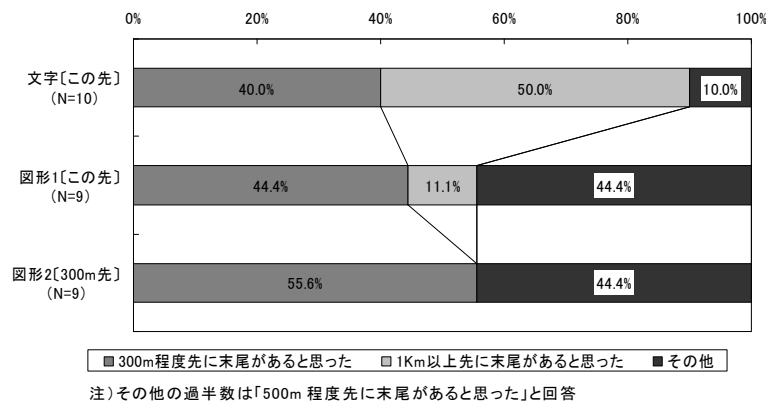


図 4-3-5 情報内容に対する解釈の内容

なお，最初に情報提供を受けた走行 2 回目終了後にサービス内容の説明を被験者に行い，その後の走行 3，4 回目においてそれぞれ異なる情報を提供した。そのときの情報内容の分かりやすさに対する一対比較の結果を図 4-3-6 に示す。これより，

直近にある停止車両の存在を伝えるには「300m 先渋滞」のように距離が含まれている方が分かりやすいとの意見が 9 割と圧倒的であり、同じ文言（「この先渋滞、注意」）であれば、図形情報の方が文字情報よりも分かりやすいという意見が 4 分の 3 と多数を占めている。

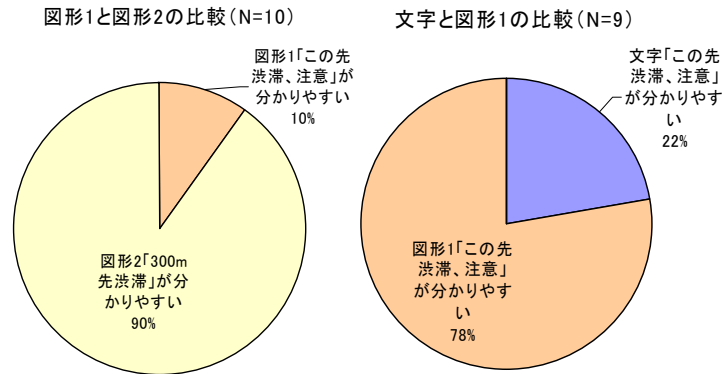


図 4-3-6 情報内容の分かりやすさの一対比較

(3) 情報確認後の行動内容

情報提供を受けてから追突回避のための運転行動に結びつけたかどうかを走行直後にアンケートした結果を図 4-3-7 に示す。一般のドライバーにとって、情報を確認してから停止車両を視認するまでの短時間における詳細な運転行動を思い返すことは困難な場合もあり、回答にはある程度の想像が混入していると考えられる。しかしながら、「運転行動には結びつかなかった」という回答がほとんどなかったことから、ほぼ全員が何らかの行動あるいは心構えに結びつくと考えていることがうかがえる。

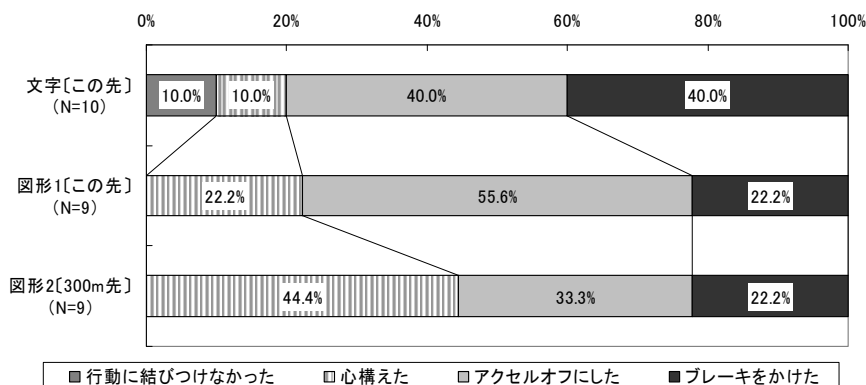


図 4-3-7 情報認知後の行動内容

(4) 情報提供後の走行挙動

情報提供してから停止車両の手前で停止するまでの走行挙動の変化を見るために、速度、前後加速度、アクセル踏み込み量、ブレーキ踏み込み量の変化とドライバーが情報を視認するタイミングを一覧にしたグラフの例を図 4-3-8 に示す。この例では、1 回目に情報を視認した直後にアクセルを外し、2 回目に視認した直後に軽くブレー

キを踏んでいることがわかる。さらに、停止車両を視認するまでは緩やかに減速し、視認した直後から急減速を行い停止車両の手前で停止している。

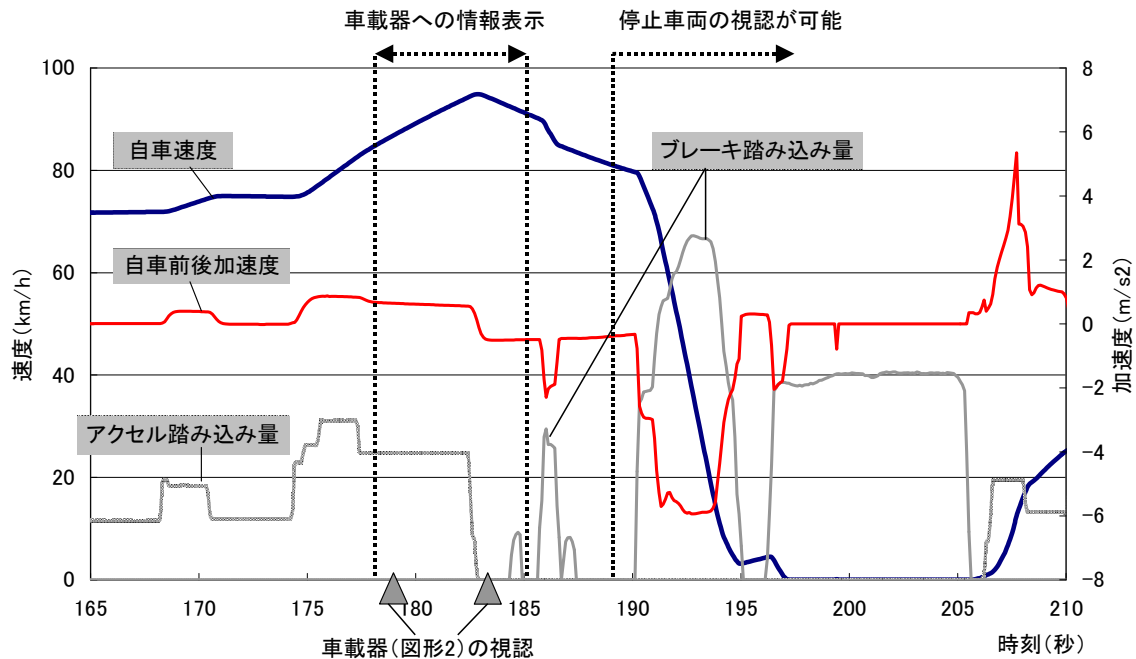


図8 情報を提供してから停止するまでの走行挙動例

また、情報提供位置から停止車両を視認するまでの区間にとった行動を情報提供有無別に比較したものを表 2 に示す。これより、通常走行時にブレーキ操作は行われないが、情報提供時には半数以上がブレーキをかけていることがわかる。

表 4-3-3 情報提供有無による同一区間での反応比較

DS (N=27人)	情報提供位置から停止車両を認識するまでの間にとった行動変化		
	アクセルオフ 人(%)	ブレーキ 人(%)	行動変化なし 人(%)
通常走行 (停止車両無し)	22人(81%)	0人(0%)	5人(19%)
情報提供時	23人(85%)	15人(56%)	2人*(7%)
	いずれか行動 25人(93%)		

*情報提供前にすでにアクセルオフしており、停止車両を視認後にブレーキをかけている。

ここまでの分析から、安全運転支援情報の提供によりドライバ行動は安全側に働く傾向が把握できた。次に、見慣れない情報提供が運転行動に負の影響を与えるのかについても検証を試みた。

(5)驚きによる運転への影響

図 4-3-8 に情報提供時の驚きの程度とその割合を示している。さらに、驚いた人と驚かなかった人の運転行動内容を比較している。これによると、半数近くの人が見慣れない情報に驚いているが大半は運転に問題のない程度との回答であった。また、驚きの有無別に情報確認後の行動内容を比較してみても大きな差は見られなかった。さらに、驚いたと回答した 13 名について情報提供後から停止車両を視認するまでに発生した最大減速度を確認した結果、全員が 3.0m/s^2 以内に収まっており、驚きによる急減速や突然の車線変更など危険な走行挙動は見られなかった。これより、今回の情報提供が心理面および挙動面でドライバに悪影響を与える可能性は低いと考えられ、驚いたと回答したドライバにとっても良い意味で弛緩状態から緊張状態に変化したと見ることができる。

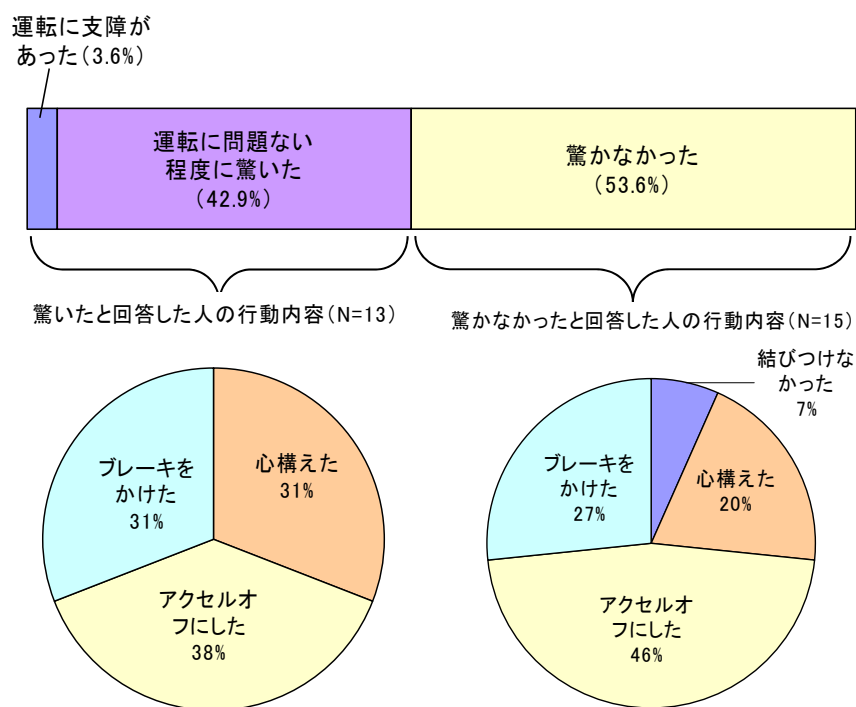


図 4-3-8 情報提供時の驚きの程度と各々の行動内容

(6)実験結果のまとめ

安全運転支援情報の提供がドライバに与える影響について DS を用いて検証した結果、情報の解釈でばらつきがみられたものの、視認行動や情報確認後の行動内容において概ね適切な認知・判断が行われていることがわかった。さらに、心理面および挙動面において情報提供がドライバに与える悪影響は見られないことがわかった。

4-4 参宮橋における実道実験による効果検証

首都高 4 号新宿線上りの参宮橋区間は、1 日約 4.5 万台の交通量がある重交通区間である。しかも、参宮橋の対象区間の下流には赤坂トンネル、さらに下流には都心環状線との合流部（三宅坂ジャンクション）が存在しているため、これらの地点を先頭とする渋滞が発生し当該区間にまで達することが多い。参宮橋地区には曲線半径 88m の急カーブがあり、カーブに進入するまではカーブの先の交通状況を把握できない。また、一部の車種に搭載されている車載センサでも参宮橋のような急カーブの先にある障害物を検知することは不可能である。したがって、当該カーブ区間では道路側に設けられたセンサによって障害物を検知し、その情報を路側アンテナから運転者に知らせるといった路車協調の事故防止システムが必要であると判断した。

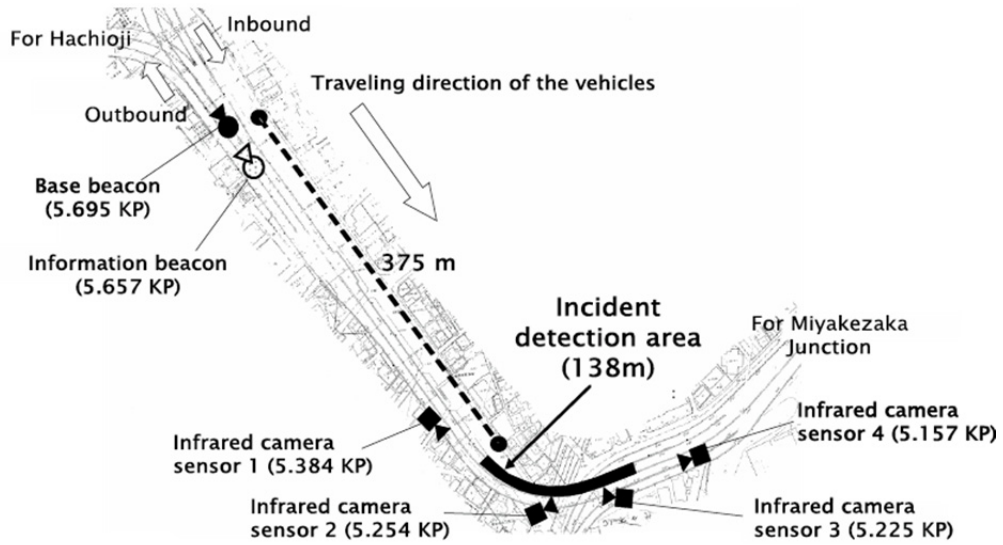
さらに、カーブの手前には約 400m にわたって直線区間が存在するため、高い速度でカーブに進入する車が多く、渋滞末尾への追突事故、側壁への衝突事故が多発していた。実際、2003 年には 134 件、2004 年年には 148 件の事故（物損事故を含む）がそれぞれ発生しており、首都高でも最も事故の多発する箇所の一つであった。

4-4-1 実道実験の概要

首都高速道路株式会社の協力をえて、2005 年 3 月から 5 月までの間に、3 メディア VICS 対応カーナビゲーション（以下、「カーナビ」と呼ぶ。）の緊急割り込み情報提供機能を活用して、警告画面と音声で前方障害物の情報を、一般運転者を対象に提供する社会実験を実施した（図 4-4-1、図 4-4-2、図 4-4-3）。



図 4-4-1 参宮橋カーブ前方障害物情報提供サービス



Note: KP stands for a *Kilometer Post*.

図 4-4-2 ITS システムの設置位置図



図 4-4-3 3メディア VICS 対応カーナビに、簡易図形で情報提供される様子



図 4-4-4 AHS 画像処理センサの処理画面（赤外画像処理センサの例）

サービスの有効性を計測するためには、導入前と後の事故発生件数を比較することが考えられるが、そのためには長期間の計測が必要となる。サービス導入前と後

との比較には、前方の障害物に起因する急減速挙動や、前方に障害物が存在するときの車両のカーブ進入速度を比較することが有効な手法である。AHSの画像処理センサではカーブに進入する車両1台1台の位置・速度を連続的に検出することができる(図4-4-4)。

このセンサの検出データを活用して、前方に障害物があるときの車両のカーブ区間内での急減速発生頻度、および、カーブ進入速度を測定することを基本とし、更に、ドライバの意見を収集するなど、以下の項目について評価した(表4-4-1)。

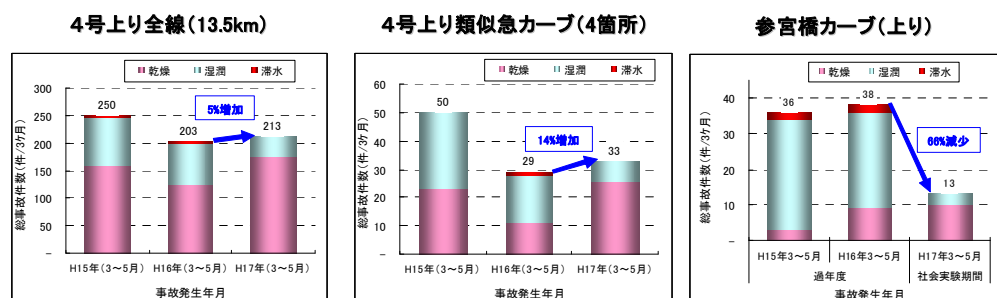
表 4-4-1 社会実験での検証項目

区分	対象	検証項目	検証目的
基礎分析	事故発生状況	過去3年間の事故統計 実験期間中の全事故数	参宮橋カーブの交通 実態を把握するための 基礎データを収集
	交通状況	実験期間中の日交通 量、渋滞発生状況	
	3メディアVICS対応カーナビ 利用状況	3メディアVICS対応カー ナビ混入率	
交通流の観測 (センサデータを活用)	前方事象発生時に自由 走行でカーブに進入する 一般車両	カーブ進入速度の低下 急減速挙動発生率の低 減	交通流への影響をサ ービス有無で比較し サービスの実道での 効果を検証
ドライバからの意見収集	実験モニタ259人の意見 収集 (チラシ・ポスター等による 公募)	情報内容の理解	ドライバのサービスに 対する意見を収集し サービスの満足度を 検証
		情報内容の受け入れや すさ	
	一般ドライバからのホーム ページでの意見収集	情報確認後の行動 上記に準ずる	

4-4-2 実道実験の結果

(1) 基礎分析結果

社会実験を実施した3月から5月について、4号新宿線の過年度の事故発生件数との比較を行った(図4-4-5)。



注1) H15年、16年は首都高速道路(株)が保有するデータ。
注2) 類似急カーブは曲線半径200m以下の区間で発生した事故を対象。

図 4-4-5 参宮橋カーブを含む4号新宿線の事故発生状況

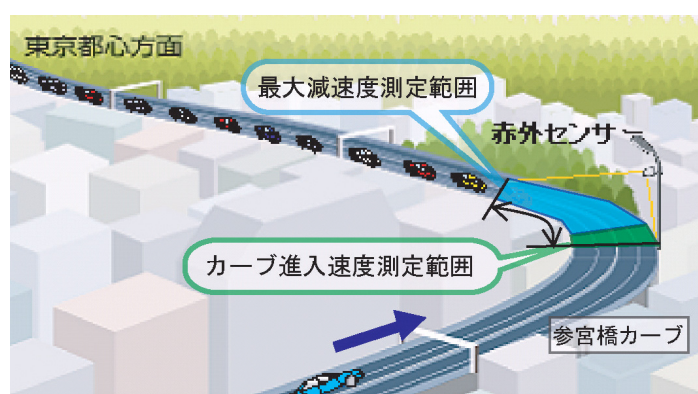
4号全線および類似急カーブとも、2004年に比べて2005年は微増傾向であったが、参宮橋カーブはH17年に際だって減少しており、社会実験で行ったサービスを

含む交通安全対策の効果が現れていると考えられる。また、光ビーコンを使って、この区間を走行する車両を調査した結果、サービスを受信できる 3 メディア VICS 対応カーナビ搭載車両は全走行車両の約 10%を占めることがわかった。

(2)車両挙動の変化に関する効果

前方に障害物があるときの車両の参宮橋カーブ区間内での急減速発生頻度およびカーブ進入速度の変化から、情報提供により高速でのカーブ進入や危険な急減速の発生を改善させる効果が見られた。牧野⁸⁾らは、AHS で開発された画像処理センサを活用し、車両 1 台 1 台の挙動分析を行うことで、交通安全対策の効果を短期間で評価する方法を提案している。また、追突事故 1 件の背後にはヒヤリ・ハットと思われる急減速挙動が約 80 件発生していることを把握している。この画像処理センサを用いた検出データによる評価結果が表 4-4-2 である。急減速挙動発生頻度が 12%、高速でのカーブ進入頻度が 14%減少しており、車両挙動が安全側に変化した。

2005 年当時、3 メディア VICS 対応車載器の混入率が約 10%であったが、観測によると対象車両が減速を行うと後続車両も早めに減速を行うことから、12%~14%と混入率以上の効果があったと考えられる。



- i) 最大減速度は、センサの監視範囲全体から測定
- ii) カーブ進入速度は、カーブ入口から約 50m の範囲から測定

図 4-4-6 最大減速度およびカーブ進入速度の測定位置

表 4-4-2 急減速、進入速度に関する効果

区分	カーブ前方に渋滞や停止・低速車がある時		
	有効サンプル数 (台)*	0.5G 以上の急 減速挙動発生 頻度	高速でのカーブ進 入頻度**
VICS サービスなし 2003 年 10~11 月のうち 28 日間	10,344	18.1%	4.9%
VICS サービスあり 2003 年 10~11 月のうち 28 日間	13,181	15.9%	4.2%
効果	-	12%減	14%減

*進入速度 30km/h 以上の車両 **進入速度 60km/h 以上の車両

(3)交通事故削減効果

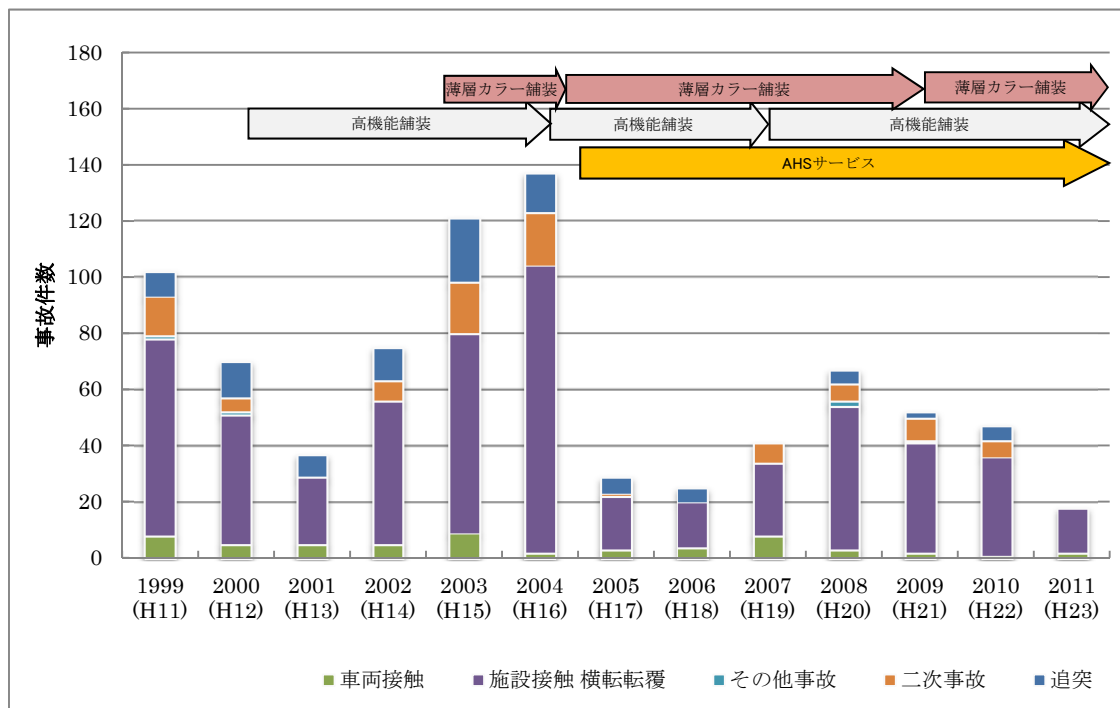
1)短期的な事故削減効果

社会実験前後の事故の比較では、前方障害物に起因する交通事故が、サービス開始前（2004年度）の33件から開始後（2005年度）には7件に減少した。ただし、総合的な事故対策の一環として実施されており、2003年には大型の注意喚起図形表示板の設置、2004年には高機能舗装とジョイント補修、2005年には薄層舗装のカラー化が実施されている。

これに対して、山田¹⁰⁾らが前方障害物情報提供サービスの事故削減効果の評価を行い、VICS対応車載器の混入率が低いため、効果はそれほど大きくはないが、サービスの有無は有意水準10%で有意であったとしている。具体的には、サービス供用前の3年間と供用後の1年間のデータより、事故減少の要因として、「舗装状態」「VICSサービスの有無」および「路側表示の有無」を取り上げて、事故率、事故件数の関係を分析した。その結果、路側表示版による前方障害物の警告表示は舗装の打ち替え以上の減少効果があり、VICS車載器を用いた情報提供はこれに次ぐ効果を持つことを明らかにしている。これは、VICS車載器の混入率が10%のためであり、車載器の普及が課題であるとしている。

2)長期的な事故削減効果

参宮橋カーブの長期的な事故の推移を整理したのが図4-4-7である。3メディアVICS対応車載器での効果を比較するため、新しいITSスポットでのサービスが開始された2011年までのデータを示している。総合的な交通安全対策が継続的に実施されており、ピーク時に比べて事故の抑制効果が半分以下に維持されている。薄層カラー舗装や高機能舗装などの実施は、路面の劣化により効果が増減するといわれているが、それらの影響と複雑に関連して事故件数に波がある。しかし、前方障害物情報提供サービスが対象としている前方車両の事故に巻き込まれる二次事故や前方車両への追突事故は、年間10件程度以下に低減されている。



出典：1999～2011 首都高速事故データ(首都高速道路(株)調べ)
 注1) 参宮橋カーブ区間(5.182kp～5.29kp)を対象。
 注2) 件数は物損を含む。

図 4-4-7 参宮橋カーブにおける事故類型別事故の推移

(4) 運転者の主観評価

社会実験では、一般の運転者から事前に募集した 259 名の実験モニタの参宮橋カーブを走行した時の意見をアンケートにより収集し満足度を評価した。また、インターネットなどで一般の運転者からもアンケートで意見を収集し、実験モニタと合わせ 296 件の情報提供体験時の回答を得た。アンケート項目の一つ「情報提供を受けた時、安全運転に役立ったか？」という質問への回答とその理由を図 4-4-8 と図 4-4-9 に示す。

円グラフを見ると、前方障害物情報提供サービスは、モニタの 26.2%が役立った、27.3%がどちらかといえば役に立ったと答えており、53.5%が役に立つと回答した。その理由としては、事前に心構えができたという人が 102 名、前もって減速できたからというのが 66 名いた。一方、体験時に情報提供が役立たなかったとの意見もあった。その理由を分析すると、86 名(32%)がカーブの上流まですでに混雑状態で情報が必要なかったと答えた

意見収集の結果、ドライバに概ね受け入れられるサービスであり、また、情報を受けた際には注意やゆるく減速するなど期待通りの行動をとることがわかった。更に、情報に驚いて急操作を行うなどの危険な行動は発生していないことがわかった。

(5)前方障害物情報提供サービスの実道実験のまとめ

DS による検証から、車載器による警告は運転者の 90%が認知する。情報を認知した運転者の 53%はブレーキを踏み、93%はアクセルオフかブレーキのどちらか、または両方の行動をとる。

3 メディア VICS を活用した実道実験では、車両混入率が 10%にもかかわらず、0.5G 以上の急減速の頻度が 12%、高速でのカーブ進入頻度が 14%少なくなった。これは、後続車両への良い影響があるためである。

短期的な事故削減効果は、33 件から 7 件と 80%も削減できたが、これは他の対策の効果も含んでいる。長期的な削減効果を見てみると、10 件以下となっており、効果が継続している可能性が高い。

運転者の主観評価では、52.5%が役に立ったと回答した。否定的な意見の理由は、「すでに渋滞の中にいた」などであり、安全情報提供の効果を持続させるためには、必要なときに必要な情報を提供することが重要であることがわかった。

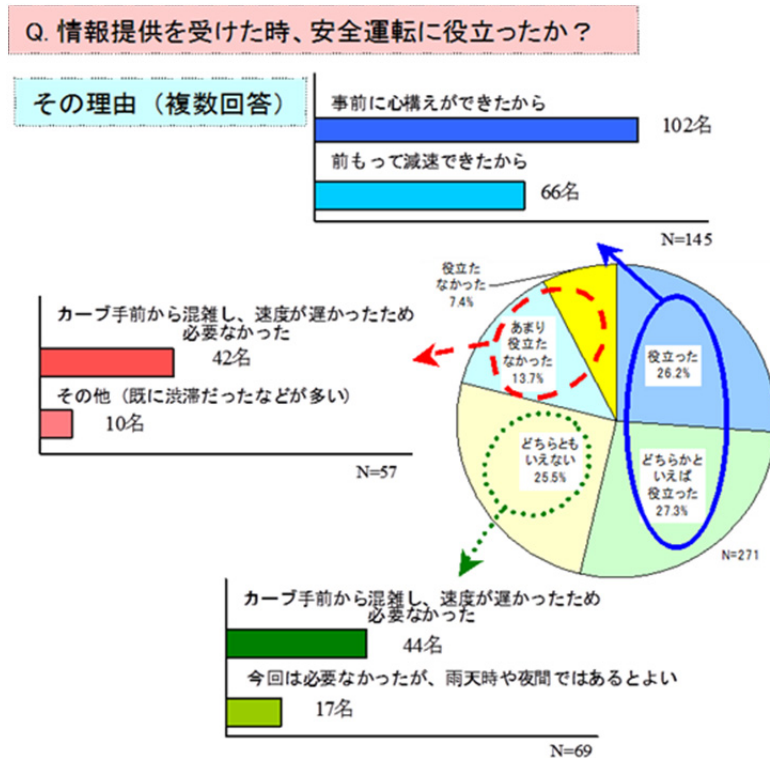
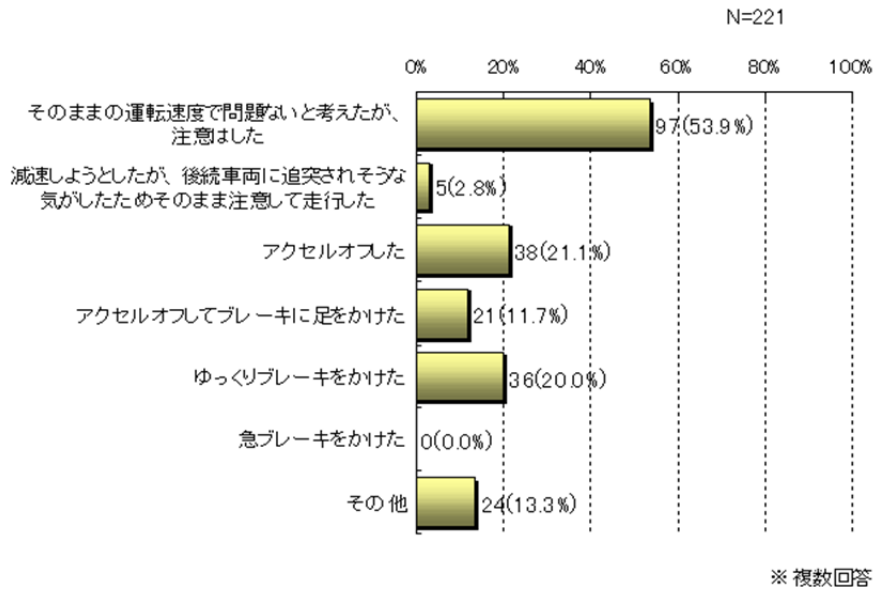


図 4-4-8 事後モニタへのアンケート調査結果 (その 1)

<ドライバーの行動の変化>

Q. 情報を受けた直後の行動は？



<ドライバーの意識の変化>

Q. 情報を受けたときの印象は？

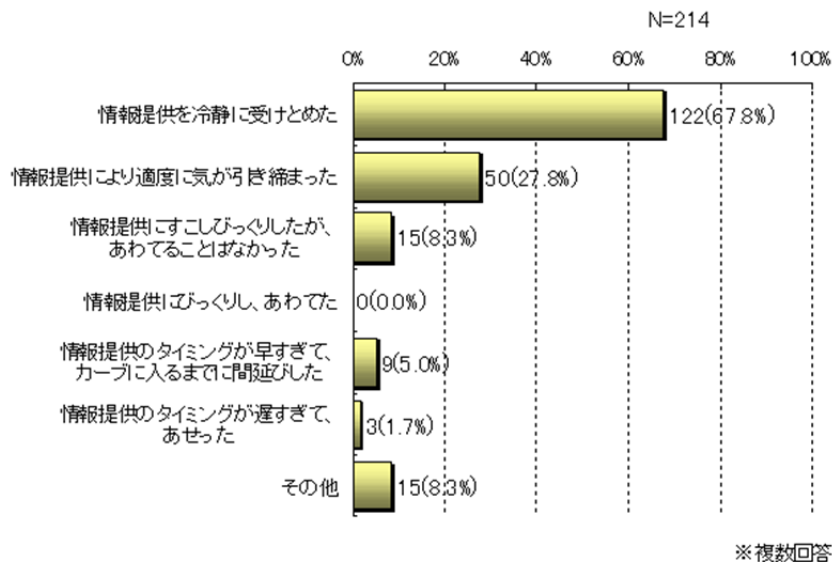


図 4-4-9 事後モニタへのアンケート調査結果 (その2)

4-5 モニタ調査による長期的な評価

長期的な安全運転支援サービスの評価を行うため、長期的なモニタ調査の分析を行った。ITS 車載器については、安全運転支援に関して、渋滞末尾情報、工事・規制・障害物情報、事故多発地点情報（急カーブ、連続カーブ、下り坂等の事故多発地点）、気象情報、画像情報（路面状況情報等）、緊急情報（震度 5 以上の地震、火災等）の 6 種類の情報提供サービスを行っている。これらの安全運転支援サービスに関するモニタの評価の経年的変化の分析を行った。

4-5-1 調査の概要

サービスの効果評価等を目的として、2011 年度から 2014 年度まで、全国約 700 名の高速道路利用者（以下、モニタ）に ITS 車載器対応カーナビを貸与し、利用状況等に関するアンケート調査を継続的に実施した。調査の概要を表 4-5-1 に示す。

当該調査に基づく既往研究¹³⁾¹⁴⁾では、2011 年度までの調査において、各サービスが役立ったとの評価が高い割合でえられたことを示している。ここでは、利用開始から 4 年目となる 2014 年度のアンケート調査結果を基に、長期利用者における事故多発地点情報提供に関する主観的評価の傾向について考察する。

表 4-5-1 モニタ調査の概要

調査期間	2011 年 4 月～2015 年 3 月	
アンケート調査年月・回答数	①2011 年 11 月 (9 月, 翌年 1 月にも実施)	回答数 504 (調査対象者 603, 回答率 83.6%)
	②2012 年 11 月	回答数 467 (調査対象者 587, 回答率 79.6%)
	③2013 年 12 月	回答数 419 (調査対象者 561, 回答率 74.7%)
	④2014 年 12 月	回答数 344 (調査対象者 562, 回答率 61.2%)
アンケートの内容	属性	年齢, 性別, 居住地域, 運転頻度, 運行目的等
	情報利用傾向	カーナビへの目的地設定頻度, 他の情報提供施設利用頻度 等
	個別サービス評価	満足度, 役立ち度, わかりやすさ, 信頼度, タイミングの的確度, 頻度の適切さ 等
	全体評価	サービス全体の満足度, 継続利用意向 等

表 4-5-2 分析対象安全運転支援情報(名称/イメージ)

A 渋滞末尾情報	B 事故多発地点情報	C 工事・規制・障害物情報	D 気象情報	E 画像情報 (路面状況等)

4-5-2 モニタ調査結果

(1) サービス全体の評価

サービス全体の評価として、サービス全体の満足度およびサービスの継続利用意向についての調査結果を図 4-5-1 に示す。サービス全体の満足度は、経年的に見た場合、若干の変化が見られるが、おおむね約 7 割が「とても満足している」「やや満足している」と回答している。個別の調査項目を見ても経年的な変化が見られないことから以下は 2014 年度の調査内容で詳しく傾向を分析する。

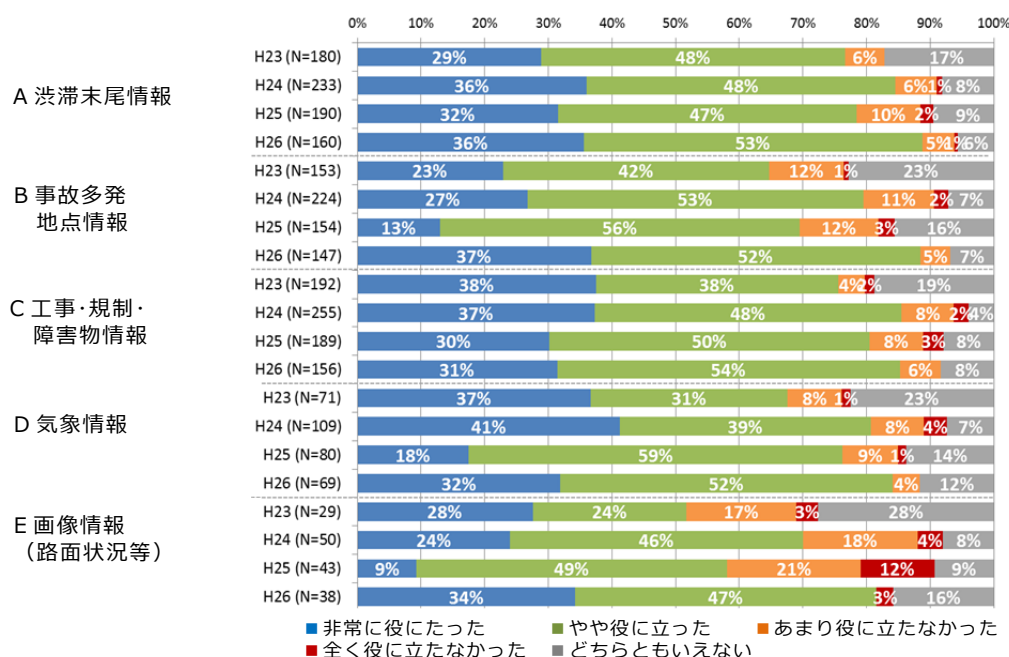


図 4-5-1 サービス全体の評価

(2) サービスの認知度・利用経験

2014 年の調査は、安全運転支援情報サービスの認知度および利用経験に関して詳細に調査を行っている。モニタの回答を図 4-5-2 に示す。渋滞末尾情報、事故多発地点情報、工事・規制・障害物情報については、回答者の 7 割以上がサービスを認知、約 5 割の人が情報提供を経験している。気象情報や画像情報(路面状況情報等)、緊急情報は、情報提供地域が限定的であることや事象の発生頻度が低いことから、利用経験のある人が少ない。

(3) サービスの役立ち度の詳細分析

図 4-5-1 では、「非常に役立った」「やや役立った」とする回答があわせて約 8 割～9 割を占めており、うち 3 割以上のモニタは「非常に役立った」と回答している。この評価と高速道路の利用頻度の関係を見るために、「ほぼ毎日」「週に 2～3 回」「週に 1 回以上」高速道路を利用しているモニタを高頻度利用者、「月に 1 回

以下「月に2~3回程度」高速道路を利用しているモニタを低頻度利用者として、回答の傾向を比較した(図4-5-3)。結果として、高頻度利用者と低頻度利用者の間に大きな違いは見られず、サービスを受けた経験が相対的に多いことが想定される高頻度利用者においても、役立ったとの評価がなされていることが確認できる。

サービスが役立った理由について、利用経験のあるモニタの多い渋滞末尾情報、事故多発地点情報、工事・規制・障害物情報に関する回答を図4-5-4に示す。「事前に情報を知ることによって安全運転ができた」とする回答が高い割合で挙げられている。

(4) サービスによる行動変化

図4-5-5に示すように、約9割のモニタが情報を受けて「安全に走行するための行動をとったことがある」と回答していることから、情報が安全運転の意識の喚起に寄与していることがわかる。

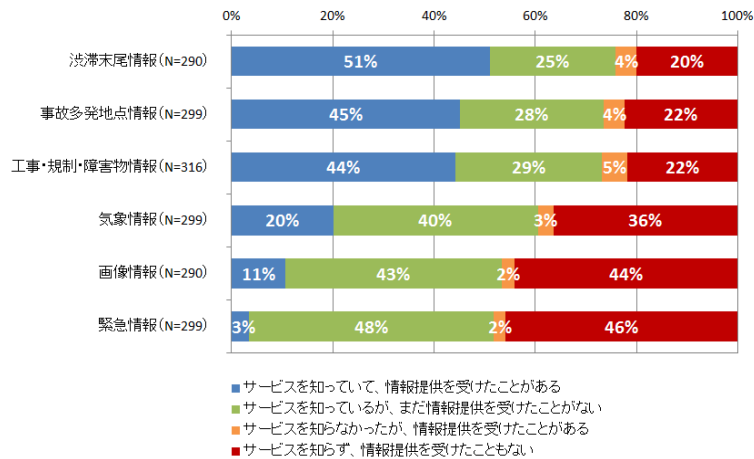


図 4-5-2 サービスの認知度・利用経験

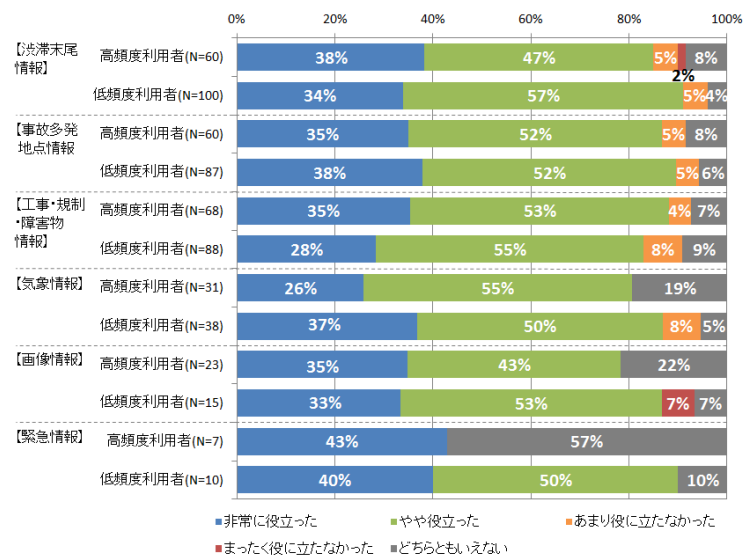


図 4-5-3 サービスの役立ち度 (高速道路利用頻度別)

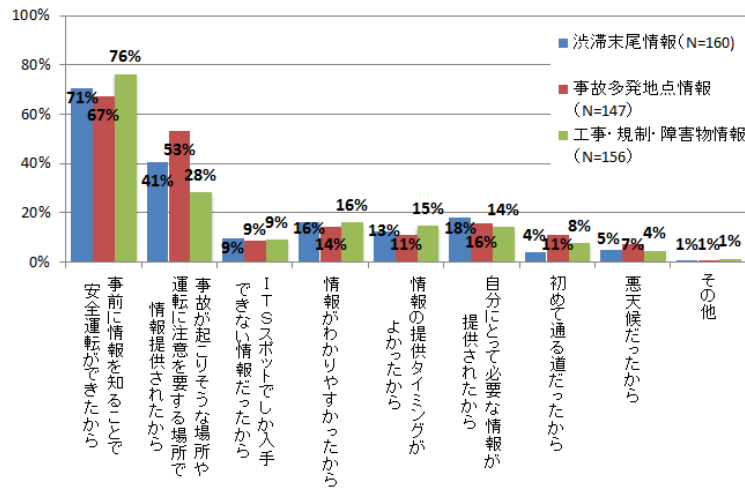


図 4-5-4 サービスが役立った理由（複数回答）

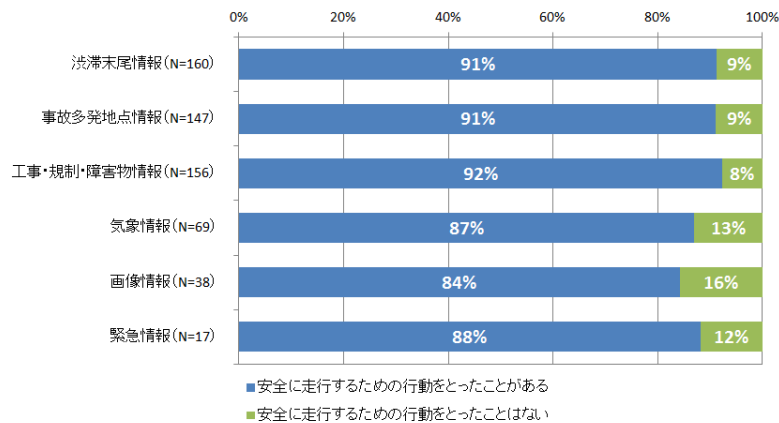


図 4-5-5 情報取得に伴う行動変化

(5) モニタ調査の結果

安全運転支援サービスの長期モニタ調査の結果をまとめると以下になる。

- 安全運転支援サービス全体では、「非常に役立った」「やや役立った」とする回答があわせて7割以上であった。
- 渋滞末尾情報、事故多発地点情報、工事・規制・障害物情報については、回答者の7割以上がサービスを認知し、約5割の人が情報提供を経験している。
- 渋滞末尾情報やカーブの事故多発地点情報は、サービスの認知度、利用経験、役立ち度ともに上位となった。
- 高速道路の利用頻度の高いモニタにおいても役立ち度の評価が高く、安全運転支援サービスは有用なサービスとして認識されていることが分かった。
- 約9割のモニタが情報を受けて安全に走行するための行動をとっている。

4-5-3パス解析による分析結果

モニタ調査結果を用いて、利用者満足度に対する影響要因および利用者の属性や情報利用傾向と個別サービスの評価との関連性を把握するため、安全運転支援サービスの中から役立ち度が高かった渋滞末尾情報提供についてパス解析を行った。

(1)パス解析

パス解析は、複雑な因果関係の連鎖を、複数の重回帰分析を組み合わせることによって明らかにする解析手法である。パス解析を行う前提として、以下の仮説を設定した。

- 属性によって、個別サービスに対する認識・評価や情報利用傾向は異なる
- 情報利用傾向によって、個別サービスに対する認識・評価は異なる
- サービスのわかりやすさ、信頼度、タイミングの的確度、頻度の適切さが役立ち度、必要性、不満感に関連している
- サービスの役立ち度、必要性、不満感がサービスの満足度に関連している

仮説にもとづき設定した枠組みを図 4-5-6 に示す。なお、項目間の関連には、正の相関の因果関係を有するものと、負の相関の因果関係を有するものがある。属性、情報利用傾向、サービスに対する認識・評価に関する変数を表 4-5-3 に示す。変数は事前にモニタ調査結果のクロス集計を行い、差異がみられたものを設定した。

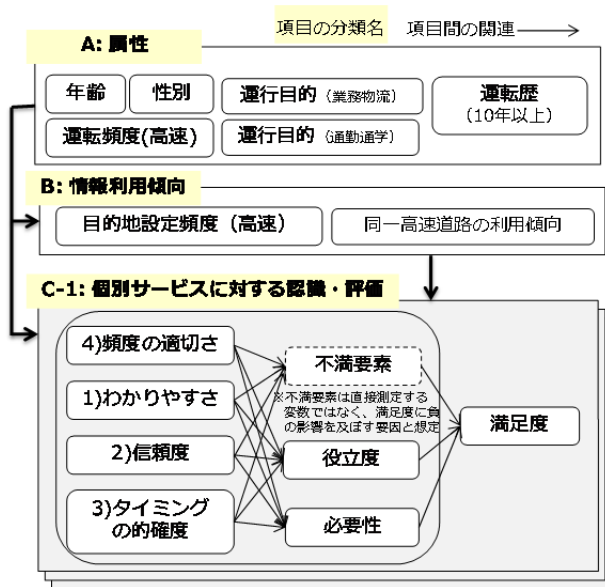


図 4-5-6 パス解析の枠組み

表 4-5-3 分析で考慮した変数

変数名	定義	
属性	年齢	70代=7 ~10代=1
	性別	男性=1, 女性=2
	高速道路運転頻度	ほぼ毎日=5, 週に3~4回程度=4, 週に1~2回程度=3, 月に2~3回以下=2, 月に1回以下=1
	運行目的(業務物流)	「業務(打合せ・営業等)」「物流(荷物の運搬)」=1, それ以外=0
	運行目的(通勤通学)	「通勤・通学」=1, それ以外=0
	運転歴	10年以上=1, 上記以外=0
情報利用傾向	高速道路利用時の目的地設定頻度	毎回目的地設定を行う=5, ~全く目的地設定を行わない=1
	同一高速道路の利用頻度	いつも同じ路線・区間を走る=5, ~いつも異なる路線・区間を走る=1
サービスに対する認識・評価	満足度	とても満足している=2, ~とても不満である=-2
	役立ち度	非常に役立った=2, ~まったく役に立たなかった=-2
	必要度	とても必要=2, ~全く必要でない=-2
	わかりやすさ	非常にわかりやすかった=2, ~非常にわかりにくかった=-2
	信頼度	ほとんど正確だった=2, ~ほとんど正確ではなかった=-2
	タイミングの的確度	適切だったことが多い=1, 上記以外(早すぎた, 遅すぎた等)=0
頻度の適切さ	適切な頻度で提供されていた=1, 上記以外(少ない, 多い等)=0	

(2)パス解析の結果

パス解析の結果を表 4-5-4 に示す。また、結果のイメージ図を図 4-5-7 に示す。

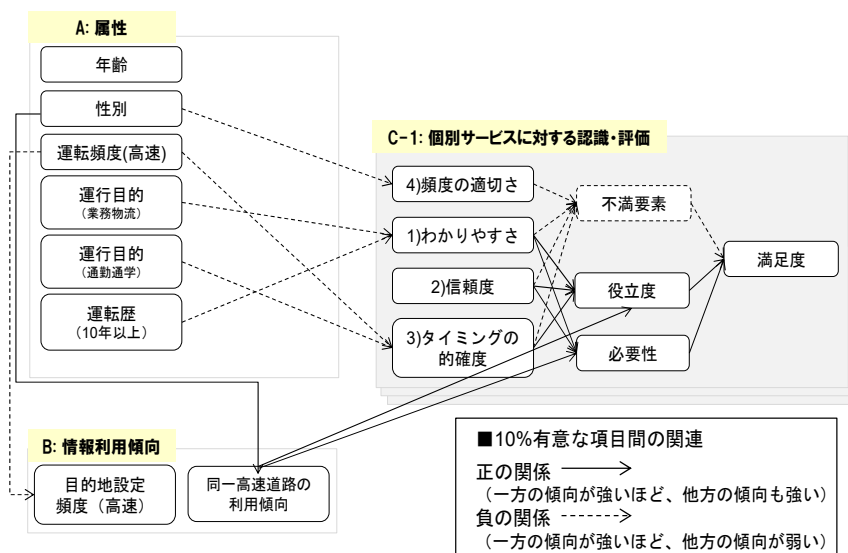


図 4-5-7 パス解析結果 (イメージ図)

渋滞末尾情報については、以下の点が明らかとなった。

- わかりやすさや信頼度、タイミングの的確度が役立度に影響し、満足度へ影響している。
- いつも同じ高速道路（路線，区間）を運転する利用者は、役立度を高く評価している。
- 業務物流目的で運転する利用者および運転歴10年以上の利用者など運転に慣れた利用者は、わかりやすさを低く評価している。
- 運転頻度が高い人および通勤通学目的で運転する利用者はタイミングの的確度を低く評価し、それが不満要素につながっている。

表 4-5-4 パス解析結果

サービス名		渋滞末尾	サービス名	渋滞末尾
必要度	→	***	運行目的(業務物流D)	→ 同 0.649
役立度	→	***	運行目的(通勤通学D)	→ 同 0.942
不満要素	→		高速運転頻度	→ 同 0.081
わかりやすさ	→	***	運転歴(10年以上D)	→ 同 0.822
タイミングの的確度	→	0.905	年齢	→ 同 0.850
信頼度	→	0.079	性別	→ 同 0.799
頻度の適切さ	→	0.974	運行目的(業務物流D)	→ 同 0.747
同一道路利用傾向	→	***	運行目的(通勤通学D)	→ 目的地 0.226
目的地設定頻度	→	0.936	高速運転頻度	→ 目的地 ***
運行目的(業務物流D)	→	0.472	運転歴(10年以上D)	→ 目的地 0.204
運行目的(通勤通学D)	→	0.299	年齢	→ 目的地 0.129
高速運転頻度	→	0.446	性別	→ 目的地 0.931
運転歴(10年以上D)	→	0.905	同一道路利用傾向	→ 目的地 0.117
年齢	→	0.603	目的地設定頻度	→ 目的地 0.863
性別	→	0.839	運行目的_業務物流D	→ 頻度 0.779
わかりやすさ	→	***	運行目的_通勤通学D	→ 頻度 0.549
タイミングの的確度	→	0.024	高速運転頻度	→ 頻度 0.483
信頼度	→	***	運転歴(10年以上D)	→ 頻度 0.826
頻度の適切さ	→	0.273	年齢	→ 頻度 0.106
同一道路利用傾向	→	0.004	性別	→ 頻度 0.017
目的地設定頻度	→	0.254	同一道路利用傾向	→ 信頼度 0.992
運行目的(業務物流D)	→	0.564	目的地設定頻度	→ 信頼度 0.652
運行目的(通勤通学D)	→	0.869	運行目的_業務物流D	→ 信頼度 0.886
高速運転頻度	→	0.655	運行目的_通勤通学D	→ 信頼度 0.446
運転歴(10年以上D)	→	0.309	高速運転頻度	→ 信頼度 0.552
年齢	→	0.734	運転歴(10年以上D)	→ 信頼度 0.928
性別	→	0.285	年齢	→ 信頼度 0.495
わかりやすさ	→	***	性別	→ 信頼度 0.566
タイミングの的確度	→	***	同一道路利用傾向	→ タイミング 0.182
信頼度	→	***	目的地設定頻度	→ タイミング 0.425
頻度の適切さ	→	0.017	運行目的_業務物流D	→ タイミング 0.433
			運行目的_通勤通学D	→ タイミング 0.014
			高速運転頻度	→ タイミング 0.014
			運転歴(10年以上D)	→ タイミング 0.256
			年齢	→ タイミング 0.166
			性別	→ タイミング 0.459
			同一道路利用傾向	→ タイミング 0.495
			目的地設定頻度	→ タイミング 0.628
			運行目的_業務物流D	→ わかりやすさ 0.080
			運行目的_通勤通学D	→ わかりやすさ 0.381
			高速運転頻度	→ わかりやすさ 0.757
			運転歴(10年以上D)	→ わかりやすさ 0.077
			年齢	→ わかりやすさ 0.594
			性別	→ わかりやすさ 0.953

サービス名	渋滞末尾
サンプル数	160
自由度	30
カイニ乗値	218.98
RMSEA	0.199

正の相関
負の相関

*** : 有意確率 1%未満
■ : 有意確率 10%未満

4-6 4 章のまとめ

本章では、路車協調 ITS による安全運転支援サービスの評価として、首都高速道路上の前方障害物情報提供サービスに着目して、効果評価を行った。

DS、実道実験、運転者へのアンケート結果から安全運転支援サービスの特徴をまとめてみると以下になる。

- 車載器による警告は 90%の運転者が認知する。道路情報板の場合は 50%であり、車内での図形と音声の情報提供の認知度は非常に高い。
- 情報を認知した場合、参宮橋実験では 85%がアクセルオフ、56%がブレーキを踏んだ。
- 後続車両への影響は、参宮橋実験では、車両混入率 10%で急減速頻度は 12%減少、高速のカーブ進入頻度は 14%減少した。後続車両への影響は、車載器を搭載した車両以外の後続車両への良い影響がある。
- 安全運転支援サービスを「役に立つ」と答えた運転者は、2005 年の参宮橋実験では 50%であったが、2011 年から 2014 年のモニタ調査では 70%以上となった。高速道路の利用頻度が高い運転者からの不満もなかった。
- わかりやすさや信頼度、タイミング的的確度が役立度に影響し、満足度へ影響している。

結果として、前方障害物情報提供サービスは、運転者が危険度を強く感じるシビアな情報を提供するため、情報の認知、判断、操作の各段階で明確な効果が出現し、急減速や進入速度の低下や事故の削減等の効果が見られ、かつ運転者も有用性を感じている状況が確認できた。これらより、路車協調 ITS による安全運転支援サービスは、経年的な効果（時間移転性）が期待できる有効なサービスと考えられる。

被験者走行実験の結果等より、情報提供に煩わしさを感じる運転者が一定割合いることが確認された。このような運転者は今後本サービスを経験する運転者が増え、繰返し情報を受けていくことで、今後さらに増えていくことが想定される。このため、効果の継続を今後も確認し、必要に応じて警告発報の閾値等を細かく調整していくことが不可欠である。

効果の継続性を確認する手段としては、路車協調 ITS のプローブ情報収集機能をうまく活用していく方法が考えられる。急減速度等の異常車両挙動の出現頻度を確認することで、問題点の把握、対策の評価、効果の継続性の把握、改善という PDCA を回していくことが可能となる。とくに、不要な情報提供は、情報に対する信頼度を著しく低下させる可能性があるため、情報の信頼度を確保していく日々の運用が大切である。

また、将来的には、情報提供だけでは防げないドライバの判断ミス、操作ミスに対応する自動車の路車連携自動運転機能との連携も大切である。とくに、自動車専用道路は事故を限りなくゼロにすることが可能な道路空間であり、早期に実現すべきサービスである。

第4章 引用文献・参考文献

- 1) Hiroshi Makino, Kawana masuo, Satoru Kawabata, Masaya Yuasa, Masao Takamune, Verification of Traffic Accident Reduction Effect of AHS, Proceedings of 11th World Congress on Intelligent Transport Systems, Nagoya, 2004.10
- 2) ITS ハンドブック 2007, (財)道路新産業開発機構, 2007
- 3) 警察庁交通局：平成 26 年中の交通事故の発生状況, 2015
- 4) 高度道路交通システム研究室: 走行支援道路システム技術資料, 国土技術政策総合研究所資料 第 208 号, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 2005.1
- 5) 一般社団法人人間生活工学研究センター(<http://www.hql.jp/database/drive/#sheet>)
- 6) 兒玉崇, 北澤俊彦, 大藤武彦: 阪神高速道路の交通安全対策 ～交通安全対策アクションプログラムの検証とあらたな取り組み, 第 30 回交通工学研究発表会論文集, pp109-112, 2010.9
- 7) 牧野浩志, 宗広裕司, 水谷博之, 大門樹: VICS 車載器による安全運転支援情報の提供が運転者に与える影響の検討, 第 25 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.177-180, 2005.11
- 8) 牧野浩志, 水谷博之, 宗広裕司: 画像処理センサを用いた車両挙動分析に基づく交通安全対策の提案, 交通工学 Vol.41No.5, pp.100-109, 交通工学研究会, 2006. 9
- 9) 牧野浩志, 山崎勲, 平沢隆之, 山田康右, 水谷博之, 路車協調システムを活用したカーブ区間における安全走行支援サービスの社会実験結果について, 第 4 回 ITS シンポジウム 2005, 2005.12
- 10) 山田晴利, 平井節生, 牧野浩志, 山崎勲, 水谷博之, 大類寛幸: 走行支援システムの開発と事故削減効果, 土木学会論文集 D, Vol.63, NO.3, pp.26-31, 2008.1
- 11) 金澤文彦, 岩崎健: 首都高速道路の急カーブにおける安全運転支援サービスの効果検証実験, 土木技術資料 55-5, PP10-13, 2013.5
- 12) 金澤文彦, 鹿野島秀行, 鈴木彰一, 前田武頼: ITS スポット (DSRC) による自動選択型情報提供の実証実験, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010, 2010.12
- 13) 金澤文彦, 鈴木一史, 中村悟: ITS スポットサービスのモニタ調査による有効性評価, 土木技術資料 55-9, pp. 22-25, 2013.
- 14) 岩武宏一, 鈴木一史, 松田奈緒子, 牧野浩志: ITS スポットサービス概要およびモニタ調査結果の有効性検証, 第 12 回 ITS シンポジウム, 2014.
- 15) 松田奈緒子, 福山祥代, 矢部努, 吉村仁志, 牧野浩志: 長期利用モニタ利用者意識調査による ETC2.0 情報提供サービスの効果, 第 13 回 ITS シンポジウム 2015, 2015
- 16) 水谷博之, 牧野浩志: 最新の AHS 社会実験について, 自動車技術 Vol.60 No.2, (社)自動車技術会, 2006.2

第5章 路車協調 ITS による円滑化サービスの実証的検証

5-1 はじめに

我が国の都市間高速道路においては、サグ・上り坂部（以下「サグ部」と呼ぶ）での渋滞が全体の約 6 割を占めて最も多く、ETC の普及により料金所渋滞が削減された現在、その対策は重要な課題である。

サグ部での渋滞の発生は、交通流率が高まるにつれて車線利用が追越車線に偏ることにより、大きな車群が形成され、その中をサグの上り勾配で発生した減速波が下流から上流に向けて伝播、増幅されること等に起因していることが、越¹⁾²⁾、邢³⁾⁴⁾、大口⁵⁾らの研究によって知られている。

特に、大口⁶⁾は、サグ部の交通渋滞発生時の特性について検討し、渋滞発生メカニズムを各車両の追従挙動特性から捉えて、AHS 技術による渋滞発生の予防・解消・緩和方策を下記のように提案している。

- 対象とするサグ区間の上流部において、追越車線への過度な車線変更を抑制する情報提示・制御
- 十分に安全な車間距離よりも過度に長い車間距離を取りがちな車両に対して、適切な車間距離にまで距離を詰める情報提示・制御
- 前方車の速度擾乱を吸収できずに後続車へ増幅伝播させてしまうほど車間距離を詰めすぎている車両に対して、適切な車間距離にまで距離を空ける情報提示・制御
- 追従走行挙動において、前方車の速度擾乱に対して自車の速度変動を増幅させずに適切な速度と車間距離の調節が物理的に可能な場合に、自動的な加減速度の調整制御
- 追越車線の低速な車群先頭車に対し、適切なギャップを見つけて隣接走行車線へ誘導する情報提示・制御

3 章で提案した路車協調 ITS のプラットフォームを活用したアプリケーションは、ドライバに対して必要な地点やタイミングでの情報提供が可能であり、大口の提案するサービスの実現が実際に可能となった。

本章では、サグ部における渋滞発生直前の交通現象として知られる追越車線への交通量の偏りを防止あるいは是正し、断面交通容量の効率的な利用をねらいとした車線利用適正化サービスについて具体的に検討を行った。その際、具体的な政策として導入の判断が出来るように、交通シミュレーションで効果について事前評価を行った。

5-2 路車協調 ITS 円滑化サービスのコンセプト

(1) ITS を活用したボトルネック渋滞対策の基本的な考え方

ITS の技術は、これまでのサグ部やトンネル部を含むボトルネック渋滞対策の検討方法を大きく変える可能性がある。

まず、渋滞発生の変因となっている現象の計測手法としての ITS である。近年急速に利用が拡大しつつある画像解析やプローブデータ解析等を活用することでの確に把握した上で、発生変因を排除するための対策を検討することが有効と考えられる。それとあわせて、対策実施後には、画像解析やプローブデータ解析を活用して対策前後の現象比較を行い、渋滞発生変因となっていた現象の解消や低減を確認することで、対策効果の検証を行うことも可能となる。

また、対策検討にあたっては、マイクロ交通シミュレータを活用した効果の事前評価を通じて対策案の最適化を行うことで、渋滞箇所ごとの道路交通特性に適合した、よりの確な対策を効率的に立案することが可能になる。

今後の対策の方向性であるが、短期的な施策としては、例えば、ボトルネック区間での車線変更を規制する等のソフト的な対策が考えられる。また、路車協調 ITS を活用したドライバへの情報提供も有効な対策である。なぜなら、ドライバは自分の車両の外の状況を俯瞰的に把握することは困難なため、道路側でサグ部等における渋滞が発生しそうな状態や時間を判別し、その時の最適な走行方法をドライバに伝えることが有効と考えられるからである。

将来的な対策としては、車線拡幅等のハード的な改良に加え、渋滞が発生しそうな状況下において、路肩の走行を許可する動的な付加車線運用を行うことも考えられる。その場合も、問題点把握のための計測手法、シミュレータを活用した対策の事前評価、ハード的な対策実施後の評価においては ITS 技術を活用することが重要である。

(2) 路車協調 ITS を活用したソフトウェア対策について

従来、サグ部等のボトルネック部においては、道路拡幅等のハードウェア対策が実施されてきた。しかし、今後の渋滞対策においては、道路構造を改変することなく低コストで実現が可能で効果的な手法として、路車協調 ITS を活用した道路運用面での対策（ソフトウェア対策）が注目されている。そのなかでも代表的な手法といえるのが情報提供による対策である。

路車協調 ITS による対策の特徴は、前方や全体が分からないために発生するドライバ心理や車両挙動の変化に対して、ドライバや車両に直接的に注意、警告、制御を行うことで、行動の変化を働きかける点である。必要なときに必要な情報が提供されるため、これまでの表示板や点滅ライトなどの対策に比べて効果が大きく継続されることになる。

路車協調 ITS 円滑化サービスのコンセプトも、サグ部での渋滞が、縦断勾配が変化したことによる車両の速度低下にドライバが気づかないこと、前方車両の速度低下を嫌って追越車線に車線変更してしまうなどのドライバ心理に対して、直接的に

働きかけることで、渋滞の発生を抑えたり、回復を早めたりすることを目指すものである。

コンセプトを検討するにあたって、既往研究を踏まえ、サグ部渋滞発生要因をドライバ心理・車両挙動との因果関係の観点から、i 進行方向の車両挙動（勾配変化の認知ミス等による無意識な速度低下）、ii 車線利用の偏り（追越車線への交通集中）、iii 特定車両の車線変更挙動等に起因する交通流の攪乱、iv 特定車両の挙動に起因する車群形成の4つに分類した（表 5-2-1）。

そのうえで、渋滞発生要因 i～iv に対応したサグ部渋滞対策の方針と対策案について整理すると、①ボトルネック部で速度低下を起こさせない、②車線利用を均等化・整流化する、③車群を形成させない、の3つにまとめられる（表 5-2-2）。

表 5-2-1 サグ部渋滞発生要因の整理 7)

渋滞発生要因	摘 要
i 進行方向の車両挙動 (無意識な速度低下)	<ul style="list-style-type: none"> ・漫然運転や勾配変化に対する認知ミスにより、多くのドライバーが無意識に速度低下する。 ・減速波が発生、後方へ拡大・伝播し、最終的に渋滞に至る。
ii 車線利用の偏り (追越車線への交通集中)	<ul style="list-style-type: none"> ・渋滞直前に、早く行きたい車両が追越車線に集中し、追越車線から渋滞が始まる。 ・渋滞開始直後には、追越車線上の車両が速度低下を嫌って一斉に余裕のある走行車線へ復帰するため、走行車線もまた一挙に渋滞に至る。 ・このため、断面全体での容量が効率的に利用されない。
iii 特定車両の車線変更挙動等に 起因する交通流の攪乱 (減速波の誘発)	<ul style="list-style-type: none"> ・特定車両の強引な割込み等に起因するコンフリクトが発生し、減速波を誘発する。
iv 特定車両の挙動に起因する車 群形成 (減速波が伝播しやすい状況の 形成)	<ul style="list-style-type: none"> ・特定車両（例：希望速度が遅い、加速性能が悪い等）が原因となり車群が形成される。 ・車群がサグ部へ到着すると、先頭車の速度低下に起因する減速波が車群中を後方へ拡大・伝播する。 ・密度の高い大きな車群の場合、最終的に渋滞に至る。

表 5-2-2 サグ部渋滞発生原因とその対策 7)

サグ部における問題点		対策の方針	対策案（サービス）
渋滞 発生後	i 無意識な速度低下	①	<ul style="list-style-type: none"> ・車頭時間を短縮させる (1)速度回復サービス(●) ・漫然運転車両に加速を促す (2)速度低下防止サービス (●)
	ii 車線利用の偏り	②	<ul style="list-style-type: none"> ・車線利用を均等化し、走行車線の未利用の交通容量を活用する (3)車線利用適正化サービス(◎) ・攪乱原因となる挙動を抑制し、整流化を図る (4)動的な付加車線運用(○)
iii 交通流の攪乱			
渋滞 発生前	iv 車群形成	③	<ul style="list-style-type: none"> ・車群形成を防止または解消する (5)車群対策サービス(○)

●：NEXCO各社が実運用中 ◎：短期的な開発の対象 ○：中長期的な開発の対象

こうした情報提供による対策の一部は、すでに実用化されている。2003年に日本道路公団が東名高速道路下り大和サグ部（以下「大和サグ部」とよぶ）で供用した速度低下防止サービス、速度回復サービスは、サグ部下流に設置した情報板を用いて速度低下に対する警告や、サグ部で低下した速度の回復を促す情報提供を行うものである。その効果として、渋滞時のボトルネック部の捌け交通量が8.9%向上したことが報告されている⁷⁾。

これら既往の情報提供による対策は、主として渋滞発生後を対象としたものである。しかしながら、より効果的に円滑な交通を実現するためには、渋滞発生を事前に予見し適切なタイミング・内容の情報提供を行い、渋滞発生を抑制することが有効と考えられる。

(3)路車協調 ITS 円滑サービスのコンセプト

路車協調 ITS 円滑化サービスは、このようなニーズに対応し、渋滞発生前の交通状況に応じた適切な情報提供により交通円滑化を図る新しい対策である。すなわち、道路側のセンサが全体の交通状況を俯瞰して正しい情報を把握し、適切な注意喚起方法によりドライバに伝え、その結果として全体が調和した交通流を実現して渋滞の削減を期待するものである。その一環として研究開発を行った車線利用適正化サービスは、渋滞直前の車線の偏りを防止あるいは是正することで断面全体の交通容量を有効利用することをねらいとした情報提供を行うサービスである（図 5-2-1）。

このサービスは、路車協調 ITS を活用することで、車線別の交通状況の把握、余裕のある車線への車両の誘導等を行うことで実現が可能である。

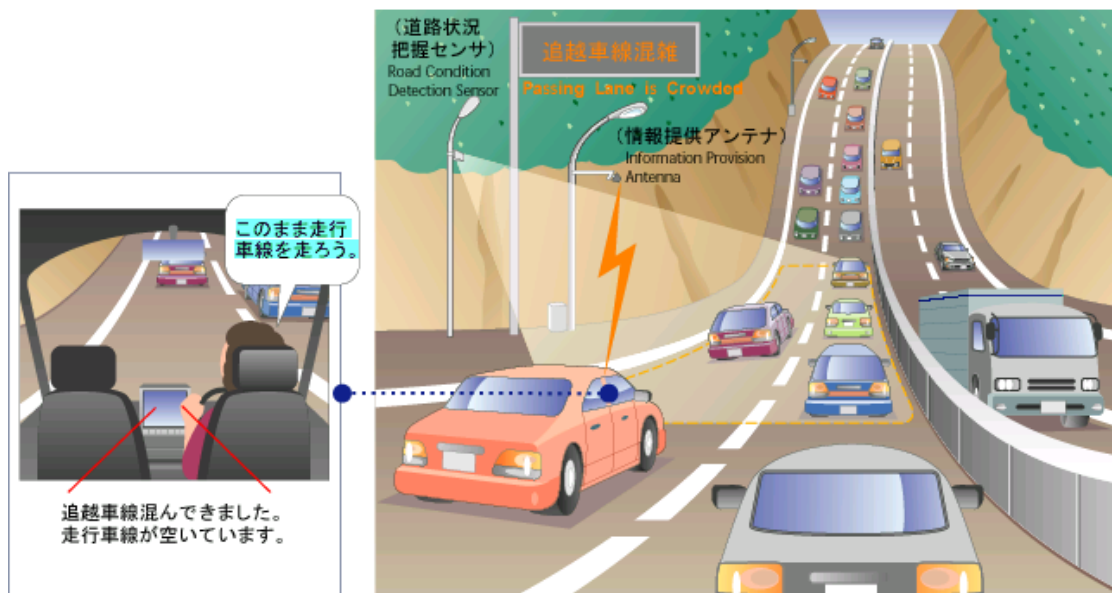


図 5-2-1 路車協調 ITS 円滑化サービスのイメージ

5-3 車線変更行動に着目したサグ部の交通現象解析とサービスの設計

5-3-1 サグ部における時空間連続的な交通現象解析

車線利用適正化サービスの具体化にあたっては、サグ部前後における交通現象の時間的・空間的な特性を把握した上で渋滞発生との因果関係を特定し、これに応じて情報収集・提供手段、提供位置、提供タイミング、情報内容等を決定する必要がある。前述のとおり、この因果関係を特定するのは、車両挙動を巨視的にとらえる視点からだけでは困難であり、個々の車両の挙動を道路延長方向および時間軸方向に連続的にとらえる必要がある。このため、ビデオカメラを用いた時空間連続的な交通現象観測・分析を行った。

(1) サグ部交通流の連続的な観測

観測対象には、代表的なサグ渋滞箇所である東名高速道路下り大和サグ部（片側 3 車線）を選定した。従来の調査より判明している渋滞発生時の先頭位置を含む約 2 km の区間を対象に 120m 間隔で 13 台のカメラ（図 5-3-1）を設置し、撮影を行った。また、同時に前後区間の交通状況を把握するために、対象区間の上下流の車両感知器データを収集した。撮影は、2005 年 11 月～2006 年 1 月にかけての土日の中から渋滞発生の可能性が高いと予想される 10 日間を選定して実施した。

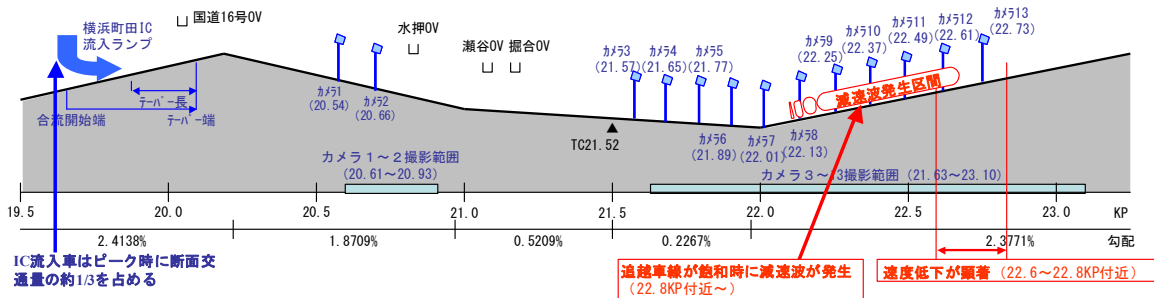


図 5-3-1 交通現象計測カメラ設置概略図（大和サグ部）

(2) 時空間連続観測に基づく交通現象分析

1) 車線利用の時空間的特性

収集したビデオ映像から目視により各カメラの撮影範囲内の通過車両を車線別にカウントし、地点別に 5 分間交通量を集計した。図 5-3-2 はその一例であり、12 月 10 日（土）の渋滞直前の臨界状態（6 時 23 分～6 時 38 分）における 5 分間平均交通量の地点変動を示したものである。

これによると、追越車線への交通の偏りが確認できるが、その車線利用率は観測区間全体にわたり概ね 45～50% 弱であり、サグ底部（22.0 kp）から約 1.5 km 程度上流地点においてすでに車線利用の偏りが概ね形成されている。カメラ 1 から 700 m 程度上流の町田 IC（19.7 kp）からの流入車が多く、ピーク時においては断面交通量の約 1/3 を占めることを踏まえると、流入後に速やかに右方向への車線変更が行われており、流入車による走行車線の交通量増加は一時的なものに過ぎないことがわかる。

一方、追越車線の流率に着目すると、カメラ 11 地点（交通量計測位置 22.54 kp）が最も低く、同様の現象が自由流、渋滞流の状態にも共通してみられた。この流率低下箇所は、後述する車両軌跡図から読み取れる速度低下箇所と概ね一致しており、この付近が当該サグ部のボトルネックであることが確認された。

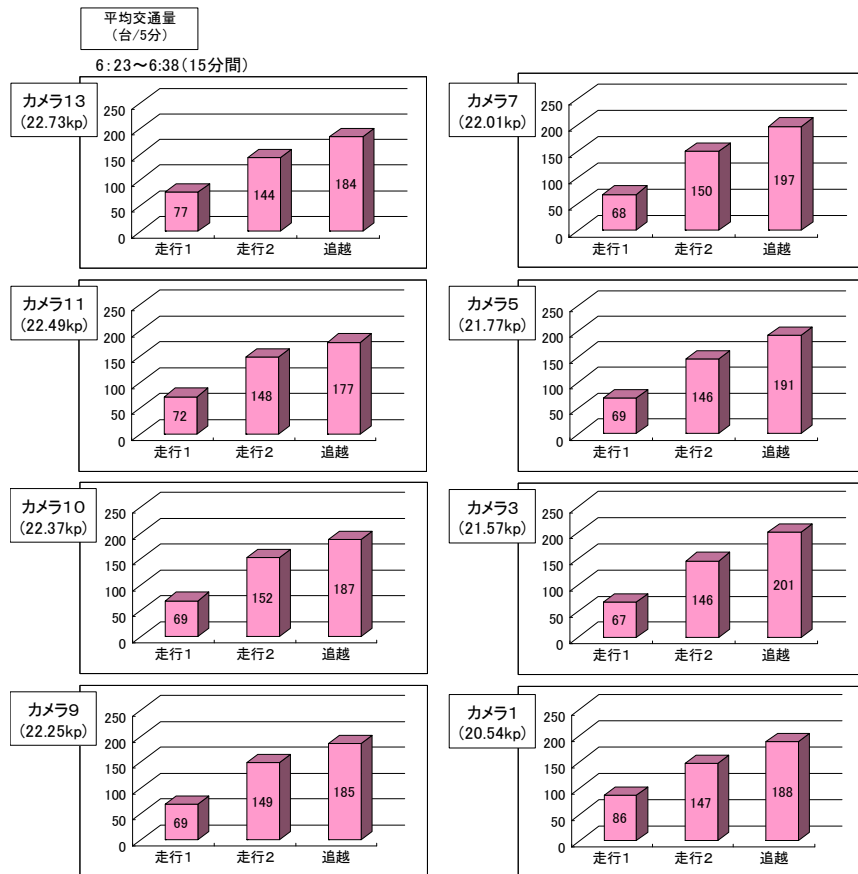


図 5-3-2 車線利用の特性（車線別交通量，2006 年 12 月 10 日）

2)減速波の発生および伝播状況

収集したビデオ映像から目視によって個々の車両を追跡し、映像に記録されたタイムコードを基に映像間でのマッチングを行い、車両軌跡図を作成した。12 月 17 日（土）の混雑時における追越車線の車両軌跡図の一例を図 5-3-3 に示す。この日は顕著な渋滞は発生しなかったが、交通量は飽和に近い状態に達しており、減速波の発生・伝播等の状況を読み取ることができる。

サグ部において、各車両は約 80~90 km/h で上り坂に到達して微小な速度低下を起こし、それが次第に後続車に拡大・伝播している（22.6 kp~22.8kp 付近で最も顕著）。そこに比較的車頭間隔を長く保っている車両の前方のスペースに第 2 走行車線からの割込み（車線変更）が発生している（6 時 39 分頃）。これにともない車頭間隔が短縮し、下流側から伝播してきた減速波を吸収できずに急減速に至っている（6 時 39 分 20 秒頃）。この時、比較的車頭間隔を長く保っている車両は後方に密な車群を引き連れているため、車群中を減速波が拡大・伝播し、最後尾の車両は約 20

km/h まで速度低下している（6時40分30秒）。なお、その後は前方の速度低下を確認した車両が第2走行車線へ避走して車頭間隔が大きくなることと、密な車群が連続しなかったこと等から、渋滞に至ることなく速度回復している。

以上のような状況は他のケースでも確認されていることから、渋滞発生前の高密度な交通流における車線変更挙動（強引な割り込み）がコンフリクトを生じさせ、後続車の急減速から減速波の発生・伝播に至る要因となっている可能性があることが確認された。したがって、サグの勾配変化点近傍において車線変更を抑制することは、追越車線への交通集中を防止するだけでなく、交通流の擾乱防止の面からも渋滞対策に寄与するものと考えられる。

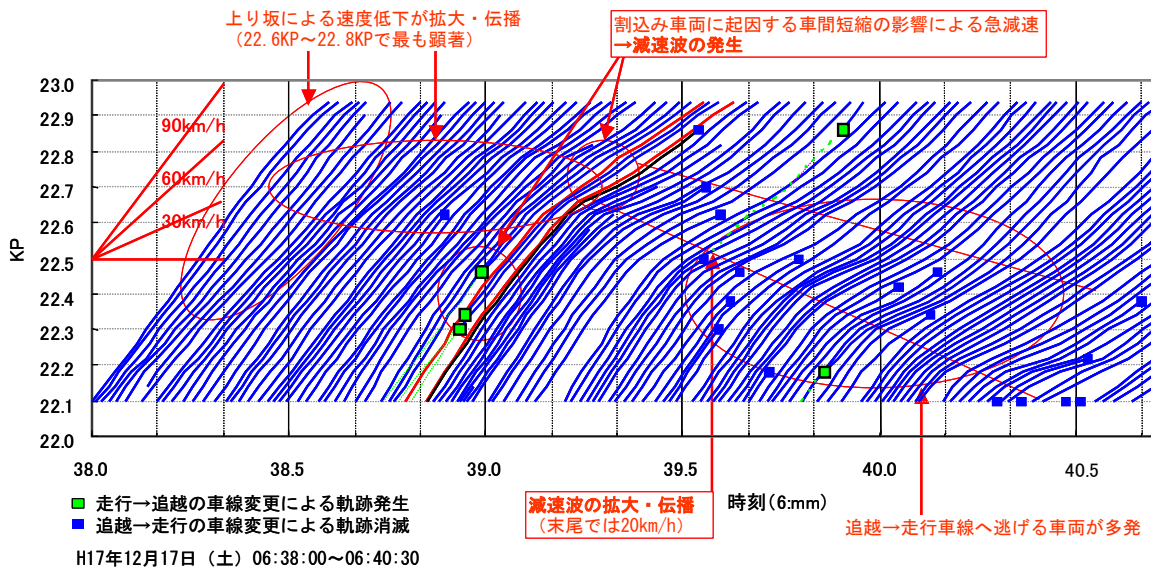


図 5-3-3 時空間連続観測に基づく車両軌跡図（追越車線）

なお、ここで交通現象の分析に用いた車両軌跡図は、ビデオ映像の目視によって個々の車両を追跡し、映像間でのマッチングを行って作成したものであるが、現在は、ITS プローブデータ等を用いることで、同様の車両軌跡図を格段に効率的に作成することが可能となっている。そのような効率的な車両軌跡図の作成およびそれに基づく車両挙動の解析を活用すれば、ボトルネック位置の把握、渋滞要因の特定、渋滞対策の選定・立案、対策の効果評価といった一連のボトルネック渋滞対策のPDCA マネジメントを行うことが可能となる。

(3)分析結果

ビデオカメラを用いた観測・分析から以下のことが分かった。

- 渋滞発生時の追越車線への交通の偏りは、その車線利用率が 45~50%弱である。
- 渋滞の頭は、22.7kp~22.8kp で発生し拡大・伝搬している。
- 追い越し車線への強引な割り込みがコンフリクトを生じさせている可能性がある。

5-3-2 追越車線への車線変更行動に起因する減速波発生・伝播状況の分析

5-3-1 項では、特定車両の強引な割り込み等に起因するコンフリクトが発生し、減速波を誘発する可能性を述べた。そこで、渋滞発生前の走行車線から追越車線への車線変更行動（強引な割り込み等）を繰り返す「早くいきたいドライバ」（以下、「アグレッシブドライバ」と呼ぶ）による車線変更行動がコンフリクトを生じさせ、それが後続車の急減速から減速波の発生・伝播に至るひとつの要因となっているという仮説を立てた。

そして、車線変更行動と減速波発生との因果関係の有無を確認することを目的として、減速波発生・伝播につながったと推定される車線変更行動やその特徴について、路側ビデオ映像およびそのトラッキング解析からえられた時空間車両軌跡データ等を用いて分析を行った。

具体的には、大和サグ部を対象に、路側に空間的に連続配置されたビデオカメラの映像およびそのトラッキングデータからえられた時空間車両軌跡図等を用い、第2走行車線から追越車線への車線変更行動（割り込み行動）に起因する上流側への減速波発生・伝播状況を抽出した。

(1) 使用データ

使用した大和サグ部の路側ビデオ映像およびそのトラッキングからえられた時空間車両軌跡データ等の概要を以下に示す。

【使用データ(路側ビデオ映像・車両軌跡データ) 概要】

- 対象区間: 大和サグ部のサグ底部付近の約 1km 区間(路側ビデオカメラ No.3, 5, 7, 9, 11, 12 の可視範囲) (図 5-3-4)
- 対象日: 2010 年の渋滞発生日のうち 5 日間 (表 5-3-1)
- 対象時間帯: 各対象日の渋滞開始直前の 30 分間
- 減速波の発生件数: 5 日間で計 32 件

なお、上記の減速波の発生件数には、減速波が伝播した後に定常的な渋滞に至った場合だけでなく、渋滞までには至らなかった場合も含まれている。

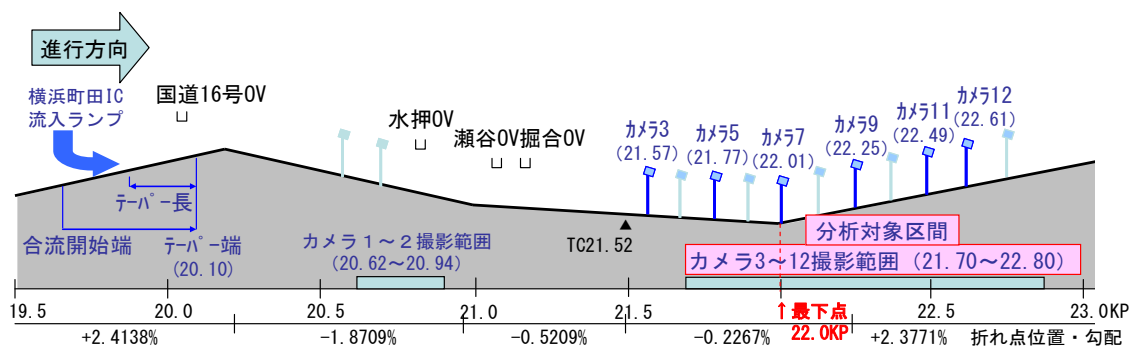


図 5-3-4 大和サグ部（下り）路側ビデオカメラ設置位置と分析対象区間

表 5-3-1 分析対象日時

日付	渋滞情報		
	渋滞開始	渋滞終了	渋滞継続時間
2010/08/21 (土)	6:10	15:35	9 時間 25 分
2010/09/25 (土)	6:45	7:00	15 分
2010/10/02 (土)	6:40	7:10	30 分
2010/10/09 (土)	6:05	6:34	29 分
2010/10/23 (土)	6:10	15:00	8 時間 50 分

(2)減速波発生・増幅につながった車線変更の抽出

1)第 2 車線から追越車線への全車線変更の抽出

時空間車両軌跡データを用い、対象区間内において行われた第 2 走行車線から追越車線への全車線変更を抽出した。抽出した車線変更は、表 5-3-2 に示すとおり 5 日間の合計で 390 件であり、対象区間の最上流側断面 (21.72kp)における第 2 車線交通量の 1 割弱が追越車線に車線変更したことが判る。

表 5-3-2 第 2 車線から追越車線への車線変更の抽出結果

	最上流断面 (21.72KP) の 第 2 車線交通量 (①)	第 2 → 追越への 車線変更回数 (②)	割合 (② / ①)
8/21	949	84	8.9%
9/25	790	67	8.5%
10/2	916	87	9.5%
10/9	862	72	8.4%
10/23	849	80	9.4%
合計	4,366	390	8.9%

2)減速波発生・増幅につながった車線変更の特定方法

本研究では、減速波発生・増幅につながった車線変更を以下の 2 つのパターンに分類できるものと整理し、時空間車両軌跡図とビデオ映像の照合を行うことで、それぞれのパターンに該当する車線変更の特定を行った。

①直接的に減速波の発生・増幅につながった車線変更行動

ここでは、追越車線への車線変更行動 (割り込み) が直接的に減速波の発生・増幅につながる過程について、以下のような仮説を置いた (図 5-3-5)。

- 割り込んだ車両あるいは割り込まれた車両が先行車との速度 (あるいは車間) 調整のためブレーキを踏む。
- そのブレーキをきっかけとして、後続車への減速波が発生する。

以上のような減速波の誘発過程の仮説を踏まえ、このような直接的に減速波の発生・増幅につながった車線変更を次のように定義した。

- 割り込んだ車両の車線変更が完了するまでの間 (トラッキングポイント (車両後尾中央) が第 2 車線と追越車線の車線境界線を跨いだ瞬間から、追越車線内で横方向の移動を完了するまで) に、割り込んだ車両あるいは割り込まれた車両がブレーキを踏み、かつ、後続車が次々にブレーキを踏んだ場合。

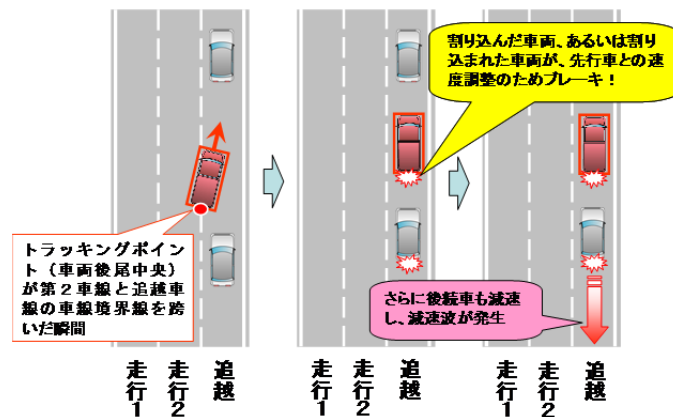


図 5-3-5 直接的に減速波の発生・増幅につながった車線変更行動のイメージ

②間接的に減速波の発生・増幅につながった車両変更行動

ここでは、追越車線への車線変更行動（割り込み）が間接的に減速波の発生・増幅につながる過程について、以下のような仮説を置いた（図 5-3-6）。

- 割り込まれた車両は、先行車との車間が大幅に短くなるため、アクセル操作等により徐々に車間を空けて希望車間に復帰しようとする。
- 後続車群内の密度が増大し、車間が詰まる。
- 後続車群の中で、短い車間に耐え切れなくなった車両がブレーキを踏む。
- そのブレーキをきっかけとして、後続車への減速波が発生する。

以上のような減速波の誘発過程の仮説を踏まえ、このような間接的に減速波の発生・増幅につながった車線変更を次のように定義した。

- 割り込まれた車両が、元の希望車間を確保するまでの間に、後続車（割り込まれた車両あるいは後続 10 台目までのいずれかの車両）がブレーキを踏み、かつ、さらに後続車が次々にブレーキを踏んだ場合。

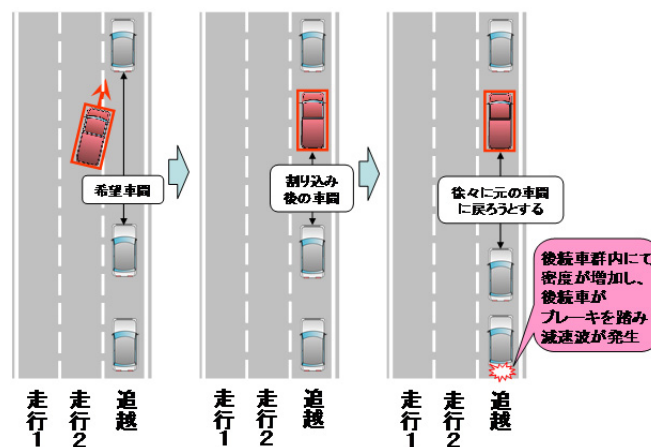


図 5-3-6 間接的に減速波の発生・増幅につながった車両変更行動のイメージ

3)減速波発生・増幅につながった車線変更の特定

上記②に示した定義に基づき、ビデオ映像の目視（図 5-3-7）により、減速波の発生・増幅につながった車線変更車両を特定した。その結果を表 5-3-3 に示す。5 日間の全減速波 32 件中 9 件（3 割弱）が、車線変更に起因して発生したと推定される。

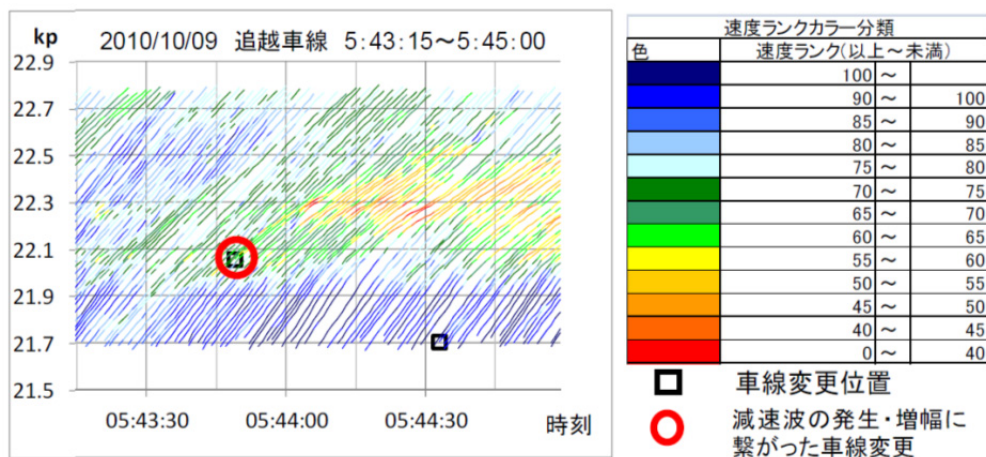


図 5-3-7 減速波の発生・増幅につながった車線変更と特定された例

表 5-3-3 車線変更に起因する減速波の発生件数

減速波の発生要因の内訳	件数	割合
車線変更行動に起因する減速波	9	28%
①直接的に起因する減速波	3	9%
②間接的に起因する減速波	6	19%
その他の要因に起因する減速波	23	72%
合計	32	100%

(3)分析結果

アグレッシブドライバによる車線変更行動がコンフリクトを生じさせ、後続車の減速波の発生・伝播にいたる現象の分析結果は以下のとおりである。

- 全減速波の約 3 割が、アグレッシブドライバの車線変更に起因して発生したと推定される
- 直接的に減速波の発生・増幅につながった車線変更は 3 件であった。
- 間接的に減速波の発生・増幅につながった車線変更は 6 件であった。

ただし、間接的に減速波の発生・増幅につながったケースに関しては、後続車が 10 台目までしか目視して観測していない。厳密には、減速派がさらに後続にも伝搬していき同様のことがさらに後続で起こることは考えられる。

また、これ以外の減速派の発生は、これまで言われている無意識な速度低下に関連した車間距離短縮に起因するブレーキが要因である。

5-3-3 アグレッシブ走行による時間短縮効果の分析

5-3-2 項で抽出されたアグレッシブドライバの車線割り込みによる減速波を防ぐためのアプローチとして、車線変更行動自体を抑制する方法が有効であると考えられる。しかし、先を急いでいるドライバに、車線変更の抑制を促すことは、ドライバの意思に反する促しであるため、従ってもらえない可能性が考えられる。

そこで、本項では、その対策の効果について検討するため、サグ部付近の臨界状態の交通流下において車線変更や割り込みを繰り返しながら先を急ぐ車両が、そのような行動によって自身の所要時間をどの程度短縮しえるのかについて、マイクロ交通シミュレーションを用いて分析を行った。

高速道路サグ部における交通現象を再現可能なマイクロ交通シミュレータを用いて、アグレッシブドライバが混在した状況下での当該車両の区間所要時間を算出し、平均的なドライバの区間所要時間と比較した場合の時間短縮がどの程度であるのかを算出した。ここでのアグレッシブドライバの定義は、希望速度が高く、サグ部付近の臨界状態の交通流下において左右の車線変更や割り込みを繰り返す運転行動をとるドライバとする。

(1) サグ部マイクロ交通流シミュレータ

本研究では、岩崎ら¹²⁾によって報告されているマイクロ交通流シミュレータを使用した。これは、Schakelら¹³⁾による非線形追従走行モデル IDM+ を基本として、これに道路縦断勾配による重力加速度抵抗成分と、渋滞巻き込まれ時間の長期化に伴う追従挙動の鈍化傾向を組み込んだものである。

また、このマイクロ交通流シミュレータには図 5-3-8 のような判断ロジックによる車線変更モデルが実装されている。図中の A~F, a~d の記号は、それぞれ以下の条件を意味しており、「車線変更希望」の状態になった場合は所定の確率で車線変更を受諾・実行する仕組みになっている。

- A) 現在車線の残余距離が閾値未満
- B) 車線変更指示あり
- C) 右左折交差点までの残余距離が閾値未満
- D) 現在車線前方の停車位置までの残余距離が隣接車線よりも一定以上短い
- E) 走行速度が希望速度よりも一定以上低下
- F) 希望速度で走行し、かつ前方車間距離が閾値以上
- a) 目的車線前方車との速度差が閾値以上
- b) 目的車線の干渉範囲に車両が存在しない
- c) 目的車線の前方・後方ギャップがいずれも閾値以上
- d) 目的車線の前方・後方 TTC (衝突猶予時間: Time To Collision) がいずれも閾値以上または負値

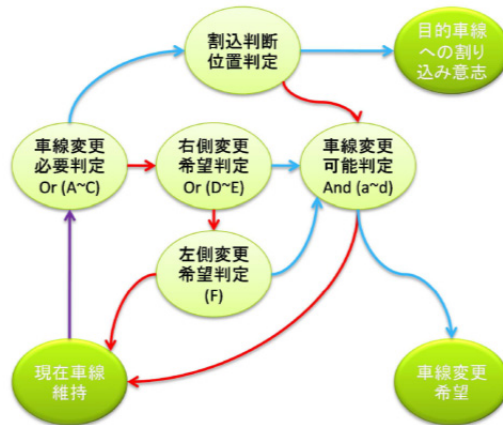


図 5-3-8 車線変更モデルの判断ロジック

(2) サグ渋滞の現況再現性検証

次節でのシミュレーションスタディに先立ち、5-3-2 で分析対象とした大和サグ部における渋滞発生日のうち、2010 年 8 月 21 日（土）を対象に、サグ渋滞の再現性がえられるようパラメータ調整を繰り返しながら、現況再現ケースを実施した。現況再現ケースでは、渋滞発生時の 1 時間前から 4 時間分を対象として実施し、渋滞発生後のボトルネックでのさばけ流率とサグ底部付近の平均速度をトラカンデータと比較した。その際、希望速度や希望車頭時間、最大加速度等の交通流特性に関わるマイクロモデルのパラメータを分布させることで、ドライバ運転特性のばらつきを表現した。

図 5-3-9 にサグ部における交通量と速度の時間変化、図 5-3-10 に追越車線での時空間軌跡・速度分布図を、図 5-3-11 に渋滞長の再現状況を示した。これより、ボトルネックでのさばけ流率と速度で良好な再現性をえており、減速波の発生や渋滞の延伸についても、ビデオ観測での様相と類似した状況が再現されていることを確認した。また、車線変更関連パラメータについても、ビデオ観測でえられた車線別の交通状態や車群形成状況が再現されるよう、調整を行った。

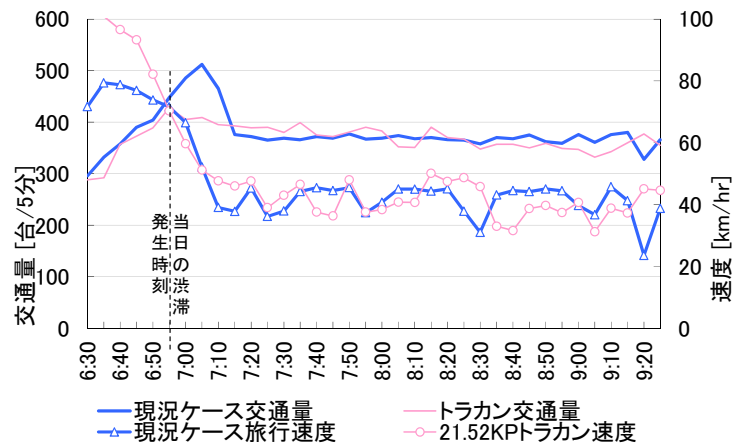


図 5-3-9 渋滞発生前後の交通量と速度の再現性比較

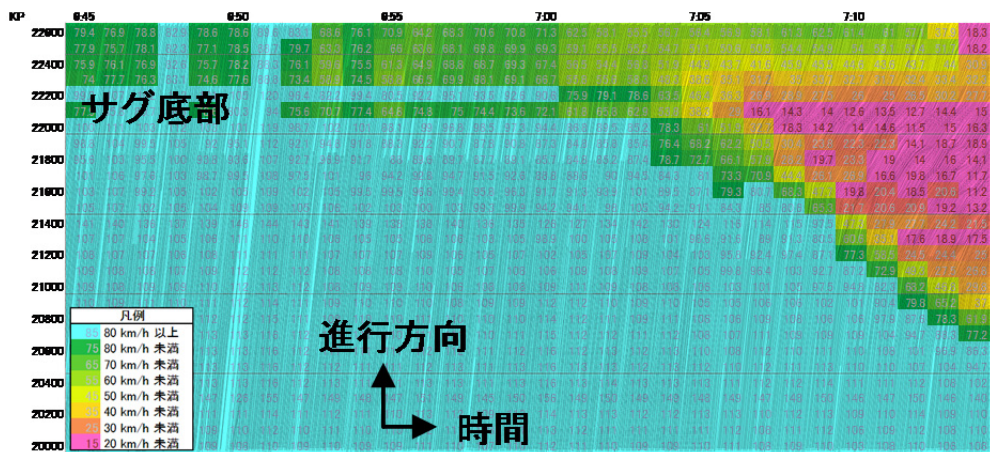


図 5-3-10 追越車線の時空間軌跡と速度分布

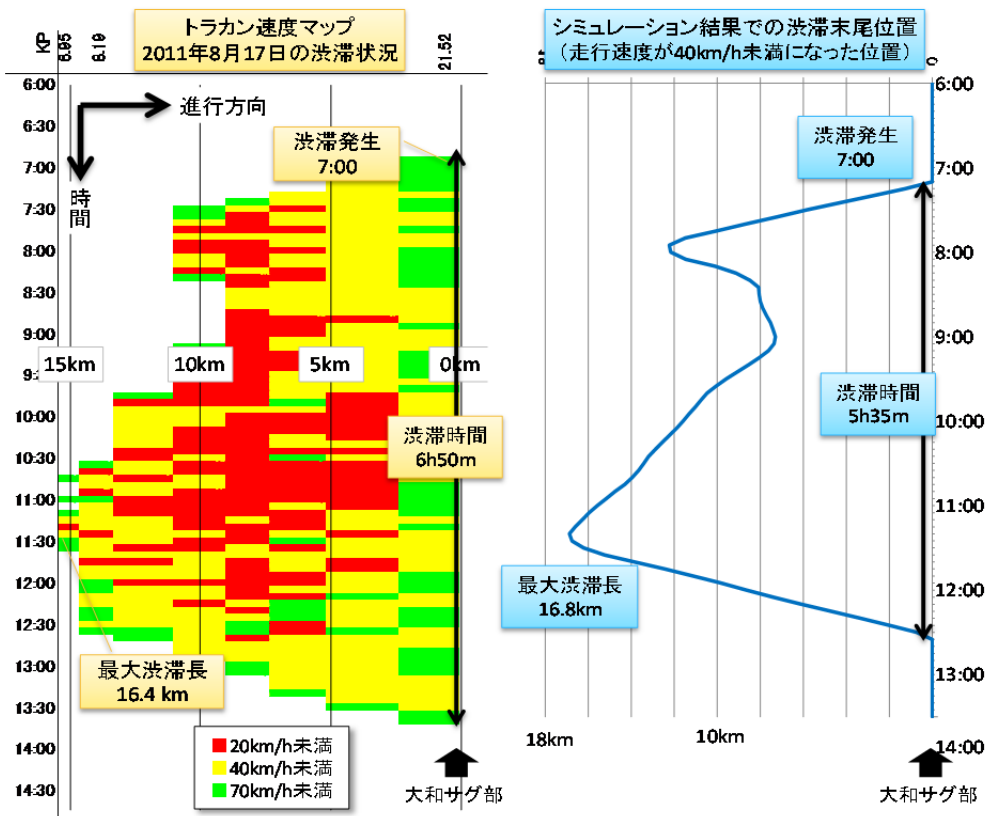


図 5-3-11 渋滞長の再現状況

表 5-3-4 に現況ケースの車線別交通量・速度，および車群形成状況に関する指標を比較した．また，図 5-3-12～図 5-3-15 に，それぞれ車線別の交通量，走行速度，車頭時間分布および車線変更回数の渋滞開始直発生前 15 分間における再現状況を示した．追越車線の交通状況は比較的良好な再現性をえている．交通量が集中する状況や，車線別の速度差，車線変更回数などは良好に再現できているが，第 1 走行車線と第 2 走行車線については，交通量の大小がビデオ解析結果と逆転した．車線

変更挙動については、ドライバの判断・行動に関する知見が十分にえられておらず、現状では全ての車線の交通状態を良好に再現することは困難なため、本研究ではこの結果をもって、ケーススタディに用いるパラメータ設定とした。

表 5-3-4 現況ケースでの渋滞発生直前の車線別再現性

	走行 1	走行 2	追越
交通量[15分]	411 (252)	291 (434)	682 (535)
平均速度[km/h]	84.0 (79.1)	91.3 (84.9)	109.8 (96.3)
車群数	157	72	46
平均車群サイズ[台]	1.61	2.96	13.48
車群内平均車頭時間 [s]	1.74 (2.0)	1.56 (1.7)	1.54 (1.4)
車群間平均車頭時間 [s]	3.78 (6.6)	9.97 (4.7)	4.22 (4.6)

()内はビデオ解析による実測値

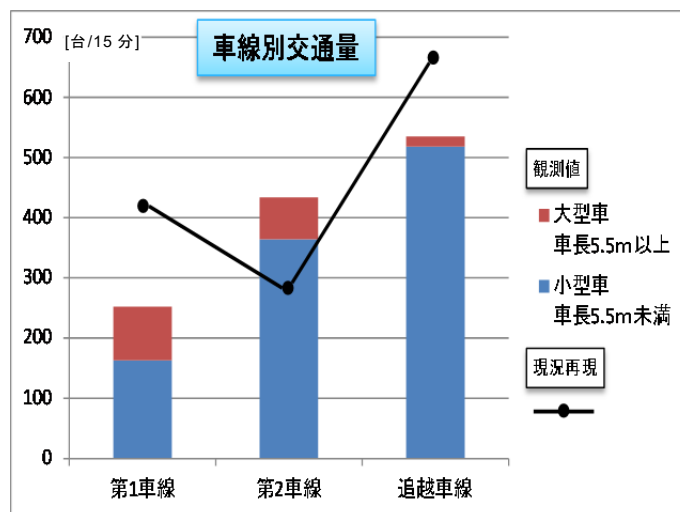


図 5-3-12 渋滞発生直前の車線別再現性 (交通量)

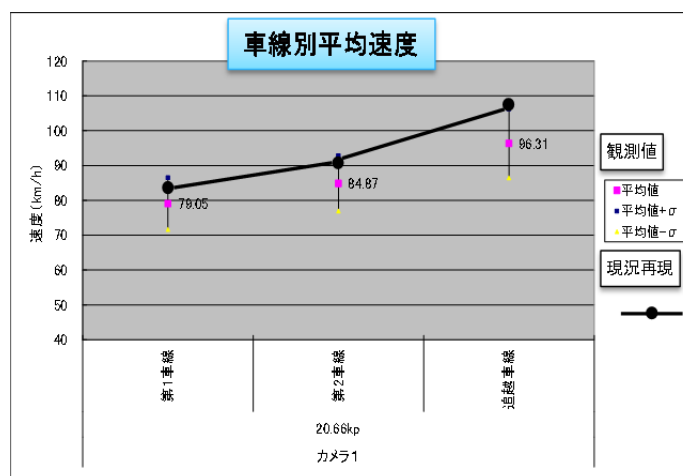


図 5-3-13 渋滞発生直前の車線別再現性 (走行速度)

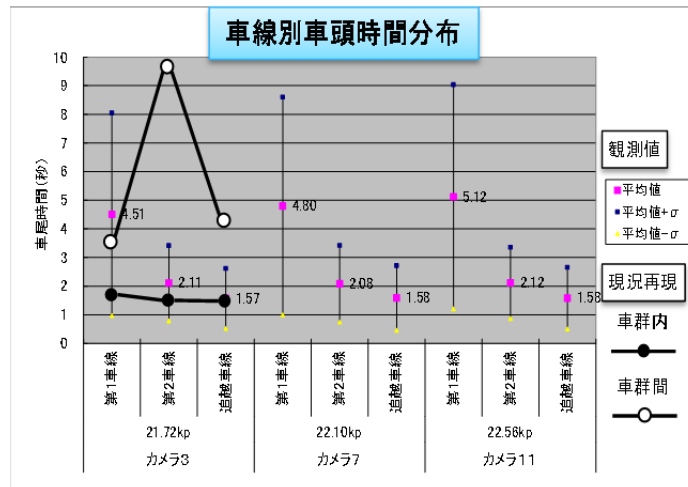


図 5-3-14 渋滞発生直前の車線別再現性 (車頭時間分布)

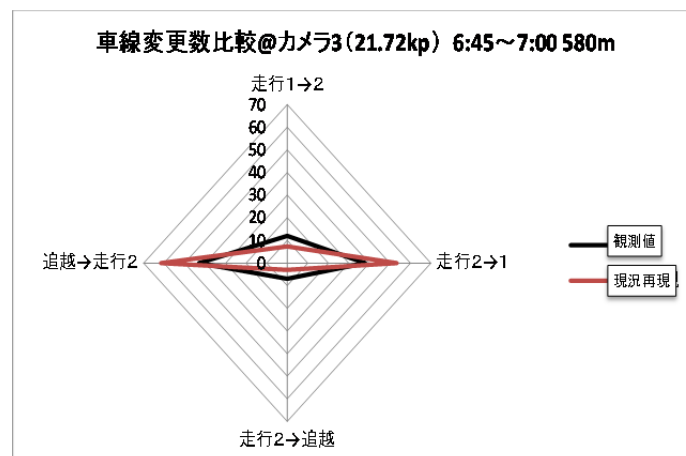


図 5-3-15 渋滞発生直前の車線別再現性 (車線変更回数)

(3)シミュレーションスタディのパラメータ

表 5-3-5 にケーススタディで採用した車線変更関連パラメータ値を示した。一般的なドライバとアグレッシブドライバの挙動の違いは、車線変更受託確率の設定のみを変えて表現した。すなわち、いずれのドライバも、自身の希望速度に対して 5km/h 以上速度低下した場合に、5-3-2(1)の E)で速度の高い隣接車線への変更を希望し、さらに隣接車線の前後車両とのギャップ時間が 1.5 秒以上、かつ TTC が 2 秒以上の場合に車線変更可能と判断するが、最終的に車線変更するかどうかを決める際の受諾確率が、一般ドライバでは左車線へは 0.1、右車線へは 0.5 であるのに対して、アグレッシブドライバではいずれの方向にも 1.0 で必ず受諾する設定とした。

表 5-3-5 車線変更関連パラメータの設定

パラメータ名	値
走行車線残余距離閾値 [m]	300 ± 50
速度低下閾値 [km/h]	5
希望受諾確率	
(一般的なドライバ)	0.5 (右) / 0.1 (左)
(アグレッシブドライバ)	1.0 (右) / 1.0 (左)
車線変更可能速度差 [km/h]	0
車線変更可能車間時間 [s]	1.5
車線変更可能 TTC [s]	2.0

(4)シミュレーションスタディの結果

ケーススタディでは、大和サグ部での交通集中渋滞発生日における渋滞発生前の 1 時間を対象として、そのうちの 10%がアグレッシブドライバであったと仮定した。図 5-3-16 は大和サグ部を含む約 3km 区間を走行する個別車両の通過所要時間を一般的なドライバとアグレッシブドライバの別にプロットしたものであるが、両者に大きな違いは読み取れない。また、表 5-3-6 に所要時間と車線変更回数について、平均値等の統計値を示した。結果として以下が明らかとなった。

- シミュレーションではアグレッシブドライバは 3 倍の車線変更を行った
- サグ部を含む区間所要時間では一般的なドライバとほとんど差異はない

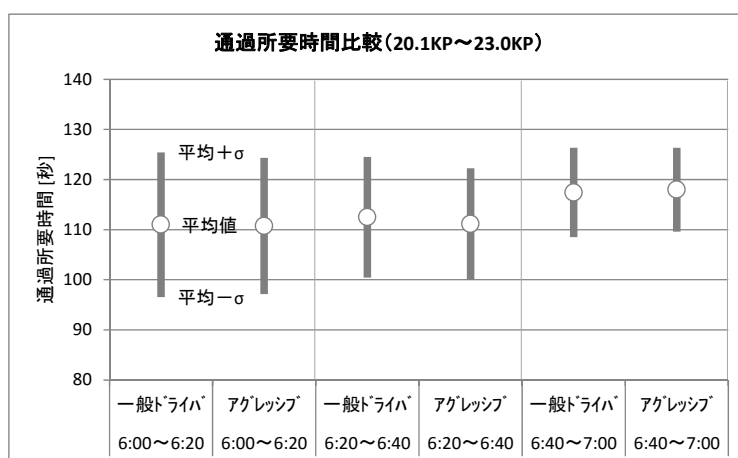


図 5-3-16 ケーススタディ結果での通過所要時間比較

表 5-3-6 ケーススタディ結果

(一般的なドライバとアグレッシブドライバの所要時間、車線変更回数の比較)

ドライバー	一般的なドライバ	アグレッシブドライバ
平均所要時間 [s]	114.4	114.2
標準偏差	11.6	11.1
最大	159.0	143.0
最小	88.0	90.0
平均車線変更回数 [回]	0.5	1.6
標準偏差	1.5	4.6
最大	21.0	45.0
最小	0.0	0.0

5-3-4 車線利用適正化サービスの設計

これまでの分析を踏まえて路車協調 ITS プラットフォームを活用したドライバーへの情報提供による「車線利用適正化サービス」について具体的な検討を行う。ユースケースとしては、サグ部において渋滞発生直前の交通状況下で左側の走行車線の利用を促すサービスとなるが、「サグの下り坂において左方向への車線変更を促す」「サグ部の上り坂において右方向への車線変更を抑制する」という2つの情報提供方法が考えられる。車線利用適正化サービスのイメージを図 5-3-17 に示す。システム化にあたっては、以下の検討を行った。

(1) サービス提供位置

前述の分析結果に基づく交通の時空間特性を踏まえ、サービス提供に有効な情報提供位置の検討を行った。

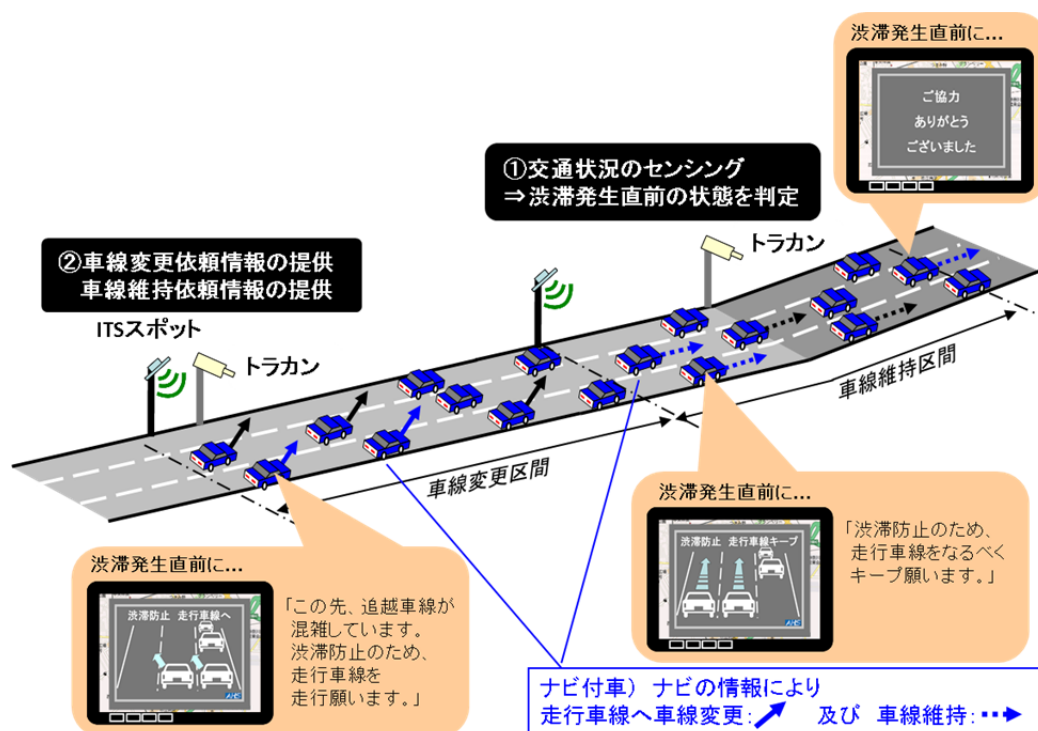


図 5-3-17 車線利用適正化サービスのイメージ

(2) 情報提供方式

ITS 車載器に加え、可変情報板を用いて情報提供を行う方式とした。ITS 車載器では、情報蓄積再生機能の活用により、適切な情報内容を適切な位置でドライバーに対して提供することとした。

(3) 提供する情報内容

車載器の画面表示、音声内容等の HMI の設計を行った。情報提供内容は、左への車線変更および車線維持を促す情報を提供するメッセージとした。なお、渋滞発生

直前の車線別の走行速度の分析結果によれば、追越車線が最も速く、次いで第 2 走行車線、第 1 走行車線の順になっている。この点を考えると、渋滞発生直前の交通状況下において左への車線変更あるいは走行車線の維持を促す情報に従うことは、ドライバーにとっては自身の利得、すなわち『早く行きたい心理』に反して遅い速度を受容することを意味する。

しかし、5-3-3 項で分析したように、アグレッシブドライブをしても区間所要時間は他のドライバーと変わらないというシミュレーション結果が得られている。そのため、本サービスにおいては、ドライバーに対して広報・啓発等を通じてサグ渋滞の実態を周知した上で、本サービスによって「渋滞防止のためのお願ひ」として情報提供を行う方法が一つの有効な方策と考えられる。以上のような視点を踏まえ、DS を用いた被験者実験によって情報内容の受容性に関する事前評価を行ったうえで情報提供内容を決定した。

(4) サービスを提供する交通状態とその判定方法、データ収集方法等

5-3-1 項で示した大和サグ部における交通流の時空間特性の分析結果を踏まえ、サービス提供タイミング（交通状態）の判定方法、そのための交通データの収集方法、収集位置等を決定した。その結果、サービス提供の対象とする交通状態として、サグ部付近において渋滞発生前の交通量が多く、追越車線の利用率が高くなった状態を検出する方法とした。その判定に用いる交通データとしては、車両感知器データによる車線別交通量、車線別速度等（5 分間集計値、1 分間集計値等）を適用するものとし、その検知位置はサグ底部付近およびその上流側約 2km の地点とし、これらの位置付近に設置された既設車両感知器を活用するものとした。

5-4 車線利用適正化サービスの実用化に向けた効果検証

車線利用適正化サービスを実用化していくために、以下の手順で検討を進める。まず、設計段階において DS を活用した被験者実験によって情報内容の受容性について事前評価を行う（5-3-4 項で実施）。次に、実道で実験的な ITS スポット路側機を設置し、対応車載器を設置した車両を使い被験者実験を行い受容性を評価する。それらから得た情報を活用し交通シミュレーションにより渋滞状況を再現し、車線利用適正化サービスを導入した場合の渋滞削減効果を推定し将来的な効果を把握することとした。

5-4-1 実道走行実験による車線利用適正化サービスの受容性評価

実道における被験者実験は、2009 年に、金澤¹¹⁾らが、大和サグ部において、図 3-2 に示すような車線利用適正化サービスの実道被験者実験を実施している。実験は、車線利用の適正化を図る LED 表示板を路側に設置して情報提供を行う場合と、ITS スポット対応カーナビを車両に搭載して被験者に対して情報提供を行う場合の 2 パターンで行われた。表 5-4-1 に、2 パターンの情報提供の結果としてえられたドライバの意識と行動の変化を示す。この実験結果によれば、LED 表示板で車線変更指示情報を提供した場合は、車線変更したドライバがいなかったのに対し、ITS スポット対応カーナビからの情報提供では、11%が渋滞防止への協力意思を持って追越車線から走行車線に車線変更することが確認された（表 5-4-1 の網掛部）。これは、ITS スポット対応カーナビによる情報提供が効果的であることを示している。なお、情報提供により危険な挙動を誘発しないこと等が、車両挙動データや車載カメラ映像、路側カメラ映像によって確認されている。

表 5-4-1 情報提供によるドライバの意識・行動の変化（実道走行実験結果）

評価項目	検証走行 1 (LED 表示版)						検証走行 3 (ITS カーナビ)					
	『走行車線へ』の情報提供			『走行車線キープ』の情報提供			『走行車線へ』の情報提供			『走行車線キープ』の情報提供		
	合計	うち 第 2 走行	うち 追越車線	合計	うち 第 1 走行	うち 第 2 走行	合計	うち 第 2 走行	うち 追越車線	合計	うち 第 1 走行	うち 第 2 走行
意識の変化 ①情報提供により車線変更・車線維持しようと思った割合	3% (1/33)	5% (1/21)	0% (0/12)	16% (4/25)	19% (4/21)	0% (0/4)	31% (11/36)	29% (5/17)	32% (6/19)	50% (13/26)	63% (5/8)	44% (8/18)
行動の変化 ②情報提供により車線変更・車線維持した割合	0% (0/33)	0% (0/21)	0% (0/12)	16% (4/25)	19% (4/21)	0% (0/4)	28% (10/36)	24% (4/17)	32% (6/19)	50% (13/26)	63% (5/8)	44% (8/18)
③渋滞防止への協力意志をもって車線変更・車線維持した割合	0% (0/33)	0% (0/21)	0% (0/12)	8% (2/25)	10% (2/21)	0% (0/4)	11% (4/36)	12% (2/17)	11% (2/19)	12% (3/26)	13% (1/8)	11% (2/18)

5-4-2 交通シミュレーションを用いた車線利用適正化サービスの効果評価

交通シミュレーションを活用した渋滞対策導入効果の検討を行う。交通シミュレーションには、高速道路サグ部に特有の車両挙動を車種別に再現し、かつ、車線運用規制、車線利用適正化情報提供等の各種渋滞対策を車種別・車線別にきめ細かく考慮可能なマイクロ交通シミュレーションを用いた。

(1) シミュレーションモデルの概要と現況再現性検証

1) シミュレーションモデルの概要

ここでは、国土技術政策総合研究所が構築したサグ部交通流シミュレータ¹²⁾を用いて評価を行った。このシミュレータは、一般的な追従挙動、車線変更挙動に加え、サグ部に特有な上り坂での無意識な速度低下、渋滞巻き込まれ時間の増大による追従挙動の鈍化等を再現可能であり、東名高速下り大和サグ部を対象に現況再現が実施されている。追従挙動モデル式には IDM+¹³⁾に対して、自由走行時と追従走行時で異なる最大加速度パラメータを適用し、さらに重力加速度の縦断勾配による抵抗成分を加えた式(1)(2)を採用しており、車種別にモデル式のパラメータ分布（正規分布）を適宜設定することで、個別車両の挙動のばらつきを表現している。

$$\frac{dv}{dt} = \begin{cases} a_f \{1 - (v/v_d)^\delta\} - g \sin \theta; & \text{if } (v/v_d)^\delta > (s^*/s)^2 \\ a_c \{1 - (s^*/s)^2\} - g \sin \theta; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$s^* = s_0 + vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}} \quad (2)$$

ここに、 a_f : 自由走行時最大加速度[m/s²]、 a_c : 追従走行時最大加速度[m/s²]、 b : 希望減速度[m/s²]、 v : 自車速度[m/s]、 Δv : 先行車との相対速度[m/s]、 v_d : 希望速度[m/s]、 δ : 加速項のべき乗数、 s : 車間距離[m]、 s^* : 希望車間距離[m]、 s_0 : 停止時最小車間距離[m]、 T : 安全車間時間[s]、 g : 重力加速度[m/s²]、 θ : 縦断勾配[rad]である。

2) ビデオ観測データによる追従パラメータの調整

追従挙動モデルのパラメータ調整にあたっては、まず表 5-4-2 に示した大和サグ部における渋滞開始時刻を含む時間帯のビデオ解析でえられた、車両 1 台ごとの走行軌跡データ（1 秒毎の走行位置と走行車線、および速度、加速度）を用いて、車種別に以下のパラメータの分布を設定した。

表 5-4-2 ビデオ解析の対象とした渋滞発生日

年月日	渋滞開始	解析時間帯
2010/11/06 (土)	6:10	5:25~6:25
2010/12/04 (土)	6:45	6:00~7:00
2010/12/11 (土)	6:35	5:50~6:50
2011/08/17 (水)	7:00	6:15~7:15
2011/08/18 (木)	7:00	6:15~7:15

ただし、ここでの設定は運転挙動の実態に沿った目安を与えるための調整であり、3)で後述する通り、現況再現ケースでの渋滞状況の再現性がえられるよう、さらにパラメータ分布の調整を加える。

①希望速度パラメータの分布

ドライバの希望速度は外部から観測できないため、渋滞開始時刻より30分以上前の比較的交通量が少ない時間帯で、サグ底部において追従走行していないと思われる、車頭時間が4秒以上の車両について、車種別、車線別に走行速度の平均値と標準偏差を求めた。

②自由走行時最大加速度パラメータの分布

自由走行時最大加速度（以下、自由最大加速度） a_f は、先行車との距離が十分に離れている場合に、自車の希望速度に到達するまでの加速度を決めるパラメータである。すなわち、ある速度域で出現する加速度の最大値を決めるものといえる。ここでは、走行軌跡データの1秒毎の速度と加速度を車種別にプロットしたとき、各速度帯での99%タイル値が(1)式上側で求められる加速度の期待値 $\pm\sigma$ の範囲に含まれるよう、 a_f の分布を設定した。図5-4-1に小型車での設定例を示す。

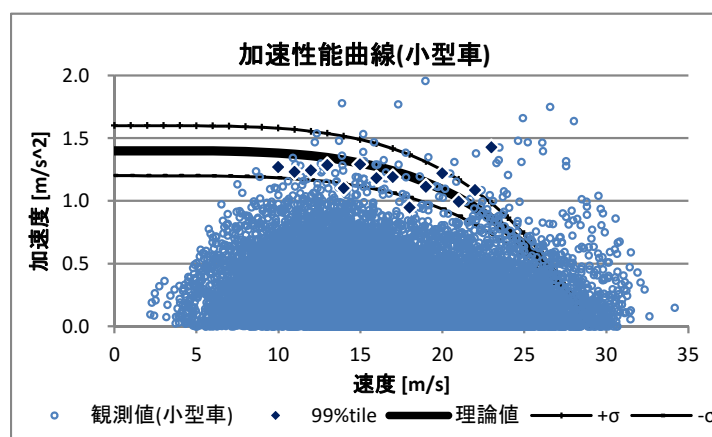


図 5-4-1 自由走行時最大加速度パラメータの設定例

③追従走行時の過渡応答特性

追従走行時の先行車速度変化に対する応答特性については、安全車間時間 T 、追従最大加速度 a_c 、希望減速度 b の3つのパラメータが関与する。ここでは、ビデオ観測でえられた追従走行データから、安定して先行車に追従している状態と見なされるデータを抽出した。その際、大型車と中型車についても、少なくとも数十台程度のデータがえられることに留意して、できるだけ長い時間追従状態にあり、かつ速度変動が見られるものを選んだ。具体的には、30秒以上同じ車線を連続して走行し、その間先行車が変わらず、かつ車間距離が常に80m未満で、20km/h以上の速度変動があったものとした。その結果、971台分（うち、小型860台、中型61台、大型50台）の走行データを得た。

パラメータ調整にあたっては、データ開始時刻の自車と先行車の位置・速度を初期条件とし、その後の先行車の位置・速度を(1)式に逐次入力して、自車位置と速度を求めた。このとき、希望速度には車種別・車線別の期待値を設定し、追従式で求めた自車位置と観測追従走行データの自車位置との二乗誤差を最小にする3つのパラメータを求めた。なお、数値探索の範囲は $T \in [0.2, 4.0]$, $a_f \in [0.2, 6.0]$, $b \in [0.2, 6.0]$ とした。

推定結果の位置誤差は、ほとんどが前後±15mの範囲に収まっており、おおむね良好な再現性を得た。一例として、図5-4-2に相対速度と車間距離の追従ヒステリシスを比較したものを示す。全般に、走行時間が短い場合の精度は良好で、長くなると精度が低下するが、これは、人間のドライバはその間に目標とする車間や速度が変化するためと推察される。表5-4-3にビデオ観測データを元に調整した追従パラメータを示した。

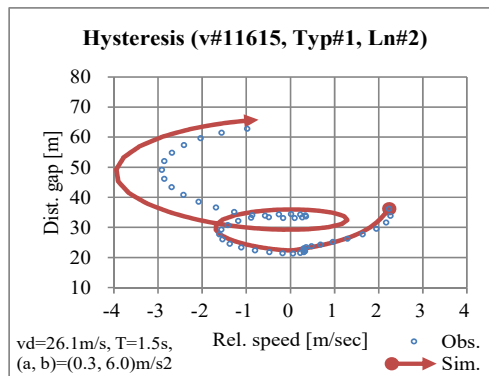


図 5-4-2 過渡応答特性調整時の追従ヒステリシス再現例

表 5-4-3 ビデオ観測データで調整した追従特性パラメータ

モデルパラメータ		小型車	中型車	大型車
車長 L [m]		5.0	8.0	12.0
最小車間 s_0 [m]		2.0	2.0	2.0
希望速度 v_d [km/h]	第1走行車線	88.9 (11.4)	78.8 (7.9)	79.2 (6.3)
	第2走行車線	93.5(8.7)	88.9 (8.0)	86.3 (5.7)
	追越車線	106.7(9.2)	103.9 (11.4)	99.3 (10.2)
安全車間 T [s]		1.41 (0.67)	1.55 (0.73)	1.69 (0.98)
自由走行時加速度 a_f [m/s ²]		1.40 (0.20)	0.80 (0.15)	0.70 (0.10)
加速項べき乗数 δ		4	4	4
追従最大加速度 a [m/s ²]		1.10 (0.50)	0.88 (0.53)	0.88 (0.44)
希望減速度 b [m/s ²]		1.62 (0.72)	1.84 (0.84)	1.83 (1.58)

()は標準偏差

3) 現況再現性の検証結果

次に、前述2)で設定したパラメータで、大和サグ部での現況ケースを実施し、渋滞状況が再現されるかどうかを確認した。現況ケースでは、大和サグ部の上流7km

から下流 1km までの 8km 区間を対象とし、ビデオ観測対象日である 2011/08/17 (水) の渋滞発生時間帯を比較対象とした。その際、交通需要は同区間内の感知器 5 分間データを用い、ボトルネック通過交通量累積曲線に上流区間の推定存在台数（交通量÷速度×区間長）を上積みして求めた。また、車線変更に関するパラメータは、既往研究¹²⁾の設定を踏襲した。

図 5-4-5 にサグ底部における渋滞前後での交通量と速度および交通量の再現性を示した。当日の渋滞発生時刻は 7:00 前後とされるが、シミュレーション結果でも 7:00 に、サグ部付近（21.5KP）の走行速度が渋滞の目安とされる 60km/h を下回っている。また、交通量も観測値とほぼ同じ推移を示した。

図 5-4-4 に渋滞直前の 15 分間における車種別・車線別交通量と車線利用率を比較した。感知器では車長が 10m 以上の車両を大型としているため中型と区分できないが、およその構成や車線利用率が再現されていることが確認できた。

また、図 5-4-3 に渋滞発生直前での車線別走行速度の分布を示した。走行車線の速度分布は良好に再現されていることがわかる。追越車線での走行速度が観測値よりやや低いものの、平均で 110km/h に近く、かつ走行 2 よりも高く推移していることから、この程度の差は許容されると考えた。

以上の再現性を得たパラメータ諸元を表 5-4-4 に整理した。これは、表 5-4-3 で示した個別車両の走行データに基づくパラメータ調整結果から、交通シミュレーションを繰り返して、良好な再現性がえられるよう以下の考えに基づいて変更したものである。

- 車群中で追従している車両の希望速度分布は、表 5-4-3 で示した車群先頭車のそれよりも高いと考えられるため、15～20km/h の範囲で希望速度が高くなるよう、車種別・車線別の希望速度の期待値を大きくした。これに伴い、渋滞前の車線別速度分布が再現されるよう、希望速度の標準偏差も調整した。この期待値が小さかったり、標準偏差が大きかったりすると、低速車が混入する頻度が高くなり、渋滞発生が早まる傾向が認められた。
- 比較的安定した追従状態のデータを元に調整した表 5-4-3 の安全車間は、長めになっていると考えられるため、期待値を 0.05～0.15 秒の範囲で短くした。また、標準偏差も表 5-4-3 の値の半分とした。この期待値が大きかったり、標準偏差が大きかったりすると、車間を空けすぎる車両が混入する頻度が高くなり、渋滞発生が早まる傾向が認められた。
- 個別車両の走行データで調整した自由最大加速度は、上り勾配による重力加速度抵抗（大和サグでは約 0.2m/s^2 ）の分だけ過小になっている可能性があるため、期待値を 0.2 増やした。同じく、追従最大加速度も、期待値を 0.2 増やした。この期待値が小さいと、加速性能の低い車両が混入する頻度が高くなり、渋滞発生が早まる傾向が認められた。
- 希望減速度の標準偏差を、追従最大加速度に合わせて、一律 1/4 にした。この標準偏差が大きいと、車群を不安定にする傾向がある希望減速度の大きい車両が混入する頻度が高くなり、渋滞発生が早まる傾向が認められた。

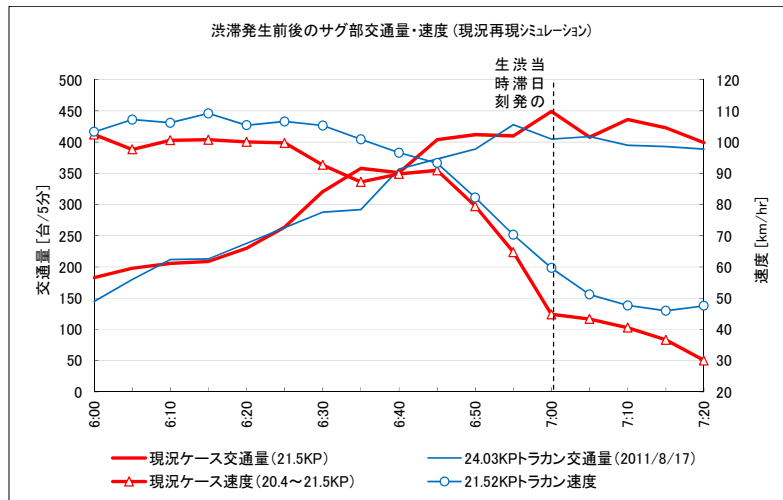


図 5-4-3 渋滞発生前の車線別走行速度の比較

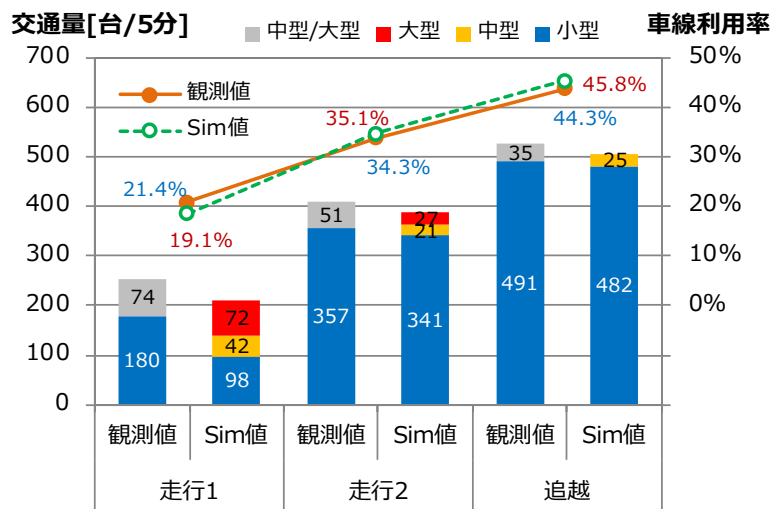


図 5-4-4 渋滞発生前の車線別・車種別交通量の再現性

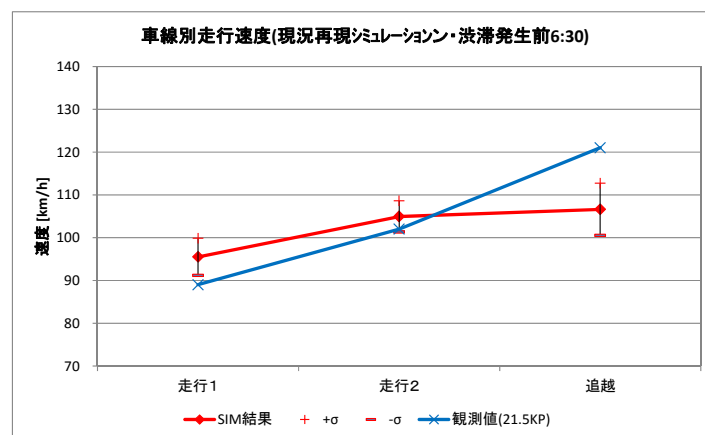


図 5-4-5 渋滞発生前後のサグ部交通量と速度の再現性

表 5-4-4 現況再現検証後の追従特性パラメータ

モデルパラメータ		小型車	中型車	大型車
車長 L [m]		5.0	8.0	12.0
最小車間 s_0 [m]		2.0	2.0	2.0
希望速度 v_d [km/h]	第 1 走行車線	108.0 (5.4)	102.6 (7.6)	97.2 (7.6)
	第 2 走行車線	120.0 (8.4)	114.0 (10.8)	108.0 (10.8)
	追越車線	132.0 (11.2)	125.4 (13.9)	118.8 (13.9)
安全車間 T [s]		1.26 (0.33)	1.45 (0.37)	1.65 (0.49)
自由走行時加速度 a_f [m/s ²]		1.60 (0.20)	1.00 (0.15)	0.90 (0.10)
加速項べき乗数 δ		4	4	4
追従最大加速度 a [m/s ²]		1.30 (0.13)	1.09 (0.13)	1.08 (0.11)
希望減速度 b [m/s ²]		1.62 (0.18)	1.85 (0.21)	1.83 (1.39)

()は標準偏差

(2)ソフト的渋滞対策の渋滞緩和効果

構築した交通シミュレーションモデルを用いて、大和サグ部を対象に、交通流円滑化のためのハード的対策およびソフト的対策を実施した場合の渋滞前の渋滞抑制効果、渋滞後の捌け交通流率の改善効果を把握した。

1)検討対象とする渋滞対策

以下に、サグ部での渋滞発生要因と対応する円滑化対策メニューを表 5-4-5 に整理した。

表 5-4-5 評価対象とした対策メニュー

目的	対策メニュー	実施イメージ
車線利用 適正化	全車車線変更禁止	サグ部手前 1km から上り坂終了までの区間で右への車線変更を禁止
	車線利用適正化サービス	ETC2.0 等による走行車線への復帰推奨通知
低速車 の分離	大型車通行帯区分規制	大型車は走行 1 に限定、中型車は走行 1 と 2 に限定
	車線別最低速度規制	自由走行時は、走行 2 は 80km/h 以上、追越は 90km/h 以上で走行可能な車両に限定
ボトルネック 容量増	付加車線設置	サグ部手前約 1km から上り坂終了までの区間で左側に付加車線を設置

①車線利用適正化サービス

大和サグ部での渋滞発生直前の状況では、3 車線のうちの追越車線に 4 割を超える交通が集中し、追越車線から速度低下が始まる。車線利用適正化は、ITS 車載器対応カーナビで走行車線への復帰やキープレフトを依頼する情報を提供し、走行車線の利用率を高めることで、断面全体での捌け交通量の最大化を図るものである。ケーススタディでは、全車両が ITS 車載器を搭載し、情報提供を受けた 11%が協力するという前提を踏まえ、右へは車線変更しづらく、左へは車線変更しやすいよう車線変更挙動関連のパラメータを変更して評価した。

②低速走行車の分離

また、追越車線に交通量が集中している状況で、低速車両が追越車線に車線変更することで、交通流の乱れが生じて、渋滞発生を引き起こす懸念も指摘¹⁰⁾されている。大和サグ部においては、高速道路 3 車線区間での原則的な運用方針に沿って、大型車の通行帯を第 1 走行車線（以下、走行 1）と第 2 走行車線（以下、走行 2）に指定しているが、ケーススタディでは、これをより厳格化し、大型車は走行 1 に、また中型車についても走行 1 と走行 2 に、通行帯を指定することを想定した。

③ボトルネック容量増

ハード対策でボトルネック容量を増加させるには、動的な路肩解放や暫定 4 車線運用など、いくつかの方式が考えられる。また、付加車線を設置する場合でも、左側付加車線、右側付加車線、オフセット付加車線（右側に付加して左車線を絞る）等のパターンがあるが、交通シミュレーションでそれらの違いによる効果を評価するには、4 車線断面における知見が不足しているため、ここでは左側付加車線設置を対象とした。なお、現状のサグ部シミュレータでは、付加車線終了位置の絞り込み部で発生する合流挙動のモデル化が十分に検証されていないため、ケーススタディでは対象範囲としたサグ部上り坂区間を過ぎて、十分に離れた位置で付加車線が終了し、そこでの合流は対象範囲に影響しないとした。

2)評価方法

ケーススタディは大和サグ部を対象とし、対策メニュー組み合わせの各シナリオに対して、表 5-4-2 に示した 5 日間の渋滞発生日における交通需要で、それぞれ 3 回ずつ乱数系列を変えた試行を計 15 回行って評価した。評価では、全ての車線の走行速度が 60km/h を下回った状態が 5 分以上継続した場合を渋滞発生と見なし、その直前 5 分間の交通量を「渋滞発生時交通量（BDF: Break Down Flowrate）」として、それ以前の 5 分間交通量出現頻度から、累積ワイブル分布の渋滞発生確率曲線を最尤法で求めて、対策毎に比較する。また、渋滞発生後の 15 分間の交通量についても、「捌け交通量（QDF: Queue Discharge Flowrate）」として比較する。

3)各渋滞対策導入時の渋滞発生抑制効果の比較

図 5-4-6 に各種対策実施時の渋滞発生確率分布を示した。車線別最低速度規制(E)を除いた施策で分布が右にシフトしており、渋滞発生の抑制効果が認められた。対策 E では、各車線に設定した最低速度以下の希望速度を持つ車両が現況ケースにおいてほとんど存在しなかったため、規制の効果がえられなかったものと考えられる。また、車線利用適正化(B)と車線変更禁止(D)に関しては、図 5-4-7 のとおり、車線利用率がほぼ均等に平準化されており、断面容量を有効に活用できたことで、渋滞発生が抑制されたものと考えられる。大型車通行帯区分規制(C)については、意図した通り追越車線の速度が高く維持され、渋滞発生が抑制されたと考えられる。付加車線設置(H)では、左側付加車線の利用率は 7%であるが、低速の大型車と中型車が付加車線を走行しており、その他の車線の走行速度が高く維持され、かつ本線 3 車線分に対する需要が減少したため、渋滞発生が抑制された。

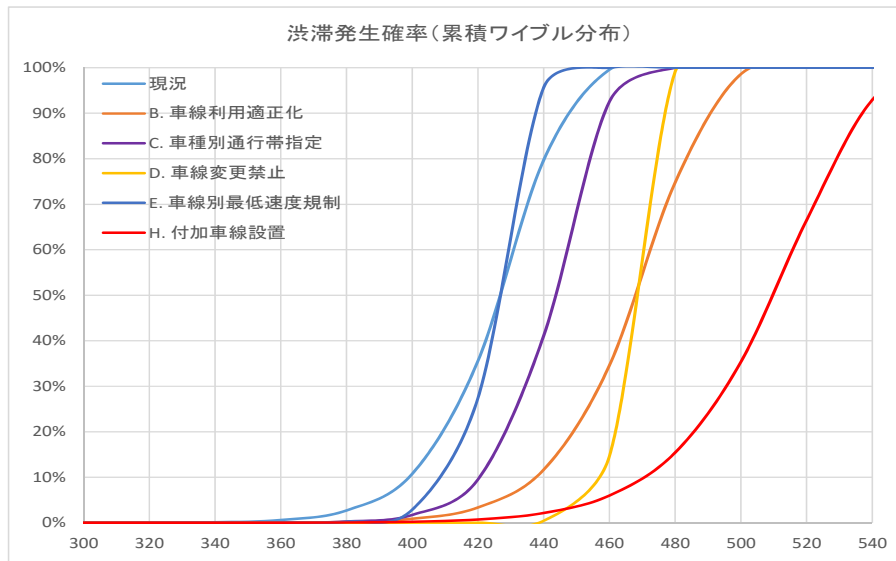


図 5-4-6 各種施策実施時の渋滞発生確率

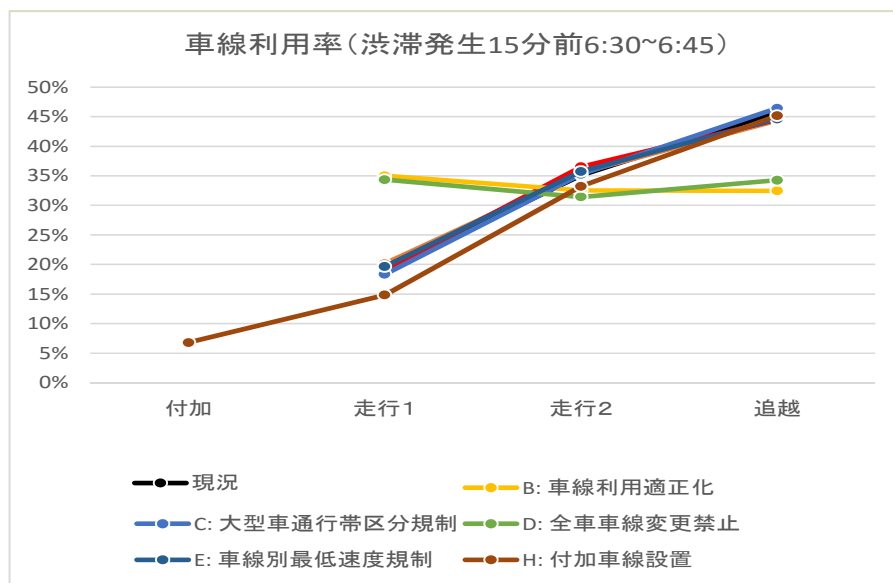


図 5-4-7 対策実施時の車線利用率比較

4) 渋滞発生抑制効果の分析結果

高速道路サグ部に特有の車両挙動を再現可能な交通シミュレーションを用い、車線運用規制、車線利用適正化情報提供等の各種対策の単体および複合的な組み合わせの適用による渋滞緩和効果の評価を行った。

その結果、車線別最低速度規制を除く車線利用適正化、全車車線変更禁止、大型車通行帯区分規制、付加車線設置（断面 4 車線化）において渋滞発生の抑制効果が認められた。

(3) 渋滞損失削減効果の試算

前述(2)で得られた各種対策の組み合わせシナリオにおける渋滞発生確率に基づき、東名高速下り大和サグ部を対象にトラカンデータを用いて渋滞損失削減効果を試算した。

1) 試算方法

渋滞損失削減効果の試算は、図 5-4-8 に示すように、対象とする渋滞発生日においてトラカンデータより交通需要を推定し、当該ボトルネックにおける累積到着交通量図を作成した上で、各対策実施時の渋滞発生前について実施した。

渋滞発生前では、対策実施により渋滞発生が遅延することで渋滞損失が削減されると考えられる。そこで、評価対象時間帯の 5 分毎の交通需要に対し、ランダムに与えた渋滞発生確率から、各対策の渋滞発生確率曲線に基づき求められる交通容量との大小関係から渋滞発生有無を判定する。これを 1 回の試行とする。この試行を 500 回行い、その結果得られた渋滞損失時間の分布から期待値を求め、当該渋滞発生日での渋滞損失時間とする。なお、評価対象時間帯は、各対策において渋滞発生確率が正の値を示す時刻から現況実績値の渋滞解消までの時刻とする。

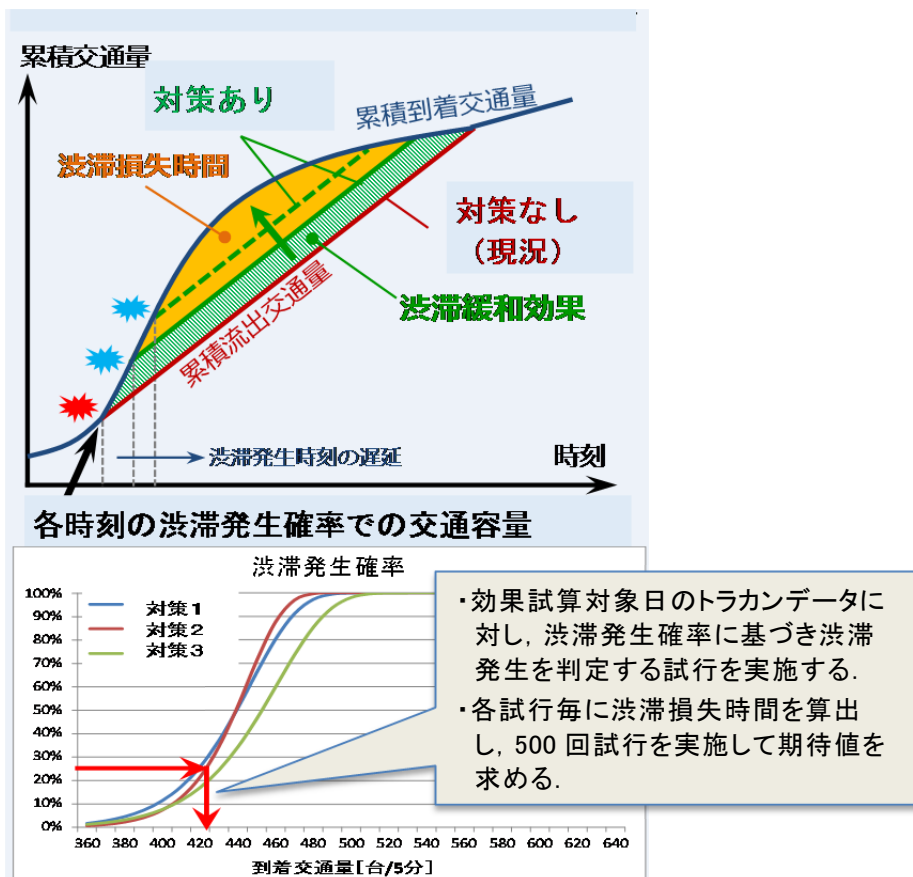


図 5-4-8 渋滞損失削減効果の試算方法

2)試算結果

対策導入による渋滞損失削減効果の試算は、2010年1年間に大和サグ部のボトルネック付近(21.5KP)を先頭に発生した交通集中による渋滞41回のうち、事故等による影響が含まれるものを除く16回分の渋滞発生日(全て休日のみ)を対象に実施し、その結果としてえられた渋滞損失削減量を、渋滞規模を考慮して現況の41回の渋滞損失に対して拡大推計し、現況に対する渋滞損失削減率を求めた。

表5-4-6は、各種ソフト対策およびハード対策の単独実施または複合実施による渋滞損失時間の削減率を示したものである。削減率の傾向は前述(2)で確認された渋滞緩和効果と同様の傾向を示している。

車線利用適正化サービス単体の渋滞削減効果は、約3割の効果をもつことが分かった。これは、付加車線を付ける場合の約半分である。渋滞対策シナリオ間で比較すると、ソフト対策である「車線利用適正化サービス」と「大型車通行帯区分規制」を組み合わせたシナリオ2(B+C)では、渋滞損失削減率は43%であった。

なお、「全車線車線変更禁止」(D)は、単独実施で55%、「車線利用適正化サービス」と組み合わせた実施(B+D)では69%という高い削減率が得られる結果となったが、本ケーススタディでは、全通行車両が交通規制に100%従うという強い仮定をおいた結果であることに留意する必要がある。また、車線変更禁止により、一度左側車線に車線変更すると右側車線には戻れず、結果的には遅くなるケースも生じる。そのようなドライバーが被る将来の不利益はマイクロ交通シミュレータでの車線変更判断では考慮されていないことに留意が必要である。

表 5-4-6 各種渋滞対策による渋滞損失削減率の試算結果

渋滞対策シナリオ	渋滞損失時間削減率		
	第1段階 (短期) 【ソフト対策単独】	第2段階 (中期) 【ソフト対策複合】	第3段階 (長期) 【ハード対策】
シナリオ1：ハード対策のみ H. 付加車線設置(断面4車線化)	—	—	H 63%
シナリオ2：ソフト対策のみ B. 車線利用適正化サービス C. 大型車通行帯区分規制	B 28%	B+C 43%	—
	C 21%		—
シナリオ3：ソフト対策のみ B. 車線利用適正化サービス D. 全車線変更禁止(※)	D 55%	D+B 69%	—
シナリオ4：ソフト対策のみ B. 車線利用適正化サービス E. 車線別最低速度規制	E -4%	E+B 22%	—

■ 20～40% ■ 40～60% ■ 60～80%

※1 ここでは交通規制に100%従うという強い仮定をおいた結果であることに留意を要する。

※2 車線変更禁止により、一度左側車線に車線変更すると右側車線には戻れず、結果的には遅くなるケースも生じる。そのようなドライバーが被る将来の不利益はシミュレータでの車線変更判断では考慮されていないことに留意を要する。

5-5 5 章のまとめ

本研究では、高速道路サグ部における渋滞発生要因に関し、走行車線から追越車線への車線変更行動に着目し、大和サグ部における路側ビデオ映像およびそのトラック解析に基づく時空間車両軌跡データ等を用いて、車線変更行動と減速波発生の因果関係、および減速波発生・増幅につながった車線変更行動の特徴について分析を行った。その成果は以下であった。

- 車線変更行動が多く発生する位置や交通状態に関する知見をえた。
- サグ部付近での臨界状態の交通流下で発生した減速波のうち、3割弱について、追越車線への車線変更行動（割り込み）が直接的または間接的な原因となっている可能性がある。

高速道路サグ部における交通現象を再現可能なマイクロ交通シミュレータを用いて、サグ部付近の臨界状態の交通流下において車線変更や割り込みを繰り返すアグレッシブドライバの区間所要時間を、平均的なドライバのそれと比較した場合の短縮時間を試行的に評価した。その成果は以下であった。

- アグレッシブドライバと平均的なドライバの区間所要時間にほとんど差異は認められなかった。
- サグ渋滞対策の一つのコンセプトとして、車線変更行動自体の抑制を図ることが一定の有効性と合理性を有すると明らかとなった。

車線変更行動自体の抑制を図る方法として、車線利用適正化サービスや大型車通行帯区分規制、車線変更禁止、車線別最低速度規制などのソフト的対策と付加車線設置のハード的な対策について、マイクロ交通シミュレータ上で渋滞削減効果の評価を行った。その結果として以下が明らかとなった。

- 車線利用適正化サービスは全車が ITS 車載器を搭載し、情報を受けた 1割がキープレフト走行に協力した場合、約 3割の渋滞削減効果を持つ可能性があり、ハード対策である付加車線対策の約半分の効果を持つ。
- ソフト対策である「車線利用適正化サービス」と「大型車通行帯区分規制」を組み合わせたシナリオでは、渋滞損失削減率は 43%である。

以上を踏まえると、路車協調 ITS による車線利用適正化サービスは、全車が ITS 車載器を搭載し、1割がキープレフト走行をした場合に約 3割の渋滞削減効果を発揮することが明らかとなった。

しかしながら、全車に ITS 車載器を普及させるには時間がかかるという意見もある。これについては、現在の前提が、『渋滞が発生する前の臨界状態で、急いで走行しても結果が変わらない』という情報を知らない状況下での結果である点に注意が必要である。本来の導入に当たっては、ドライバに対して広報・啓発等を通じてサグ渋滞の実態を周知した上で、キープレフト走行をマナーとして定着させるなどの対策を講じ、情報の信頼性を高めることで改善が可能である。例えば、普及率が 10%の場合でも全員が情報に従えば、同等の結果がえられるということである。

第5章 引用文献・参考文献

- 1) 越正毅: 高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, No. 371/IV-5, pp.1-7, 1986
- 2) 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和: 高速道路のトンネル, サグにおける渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集, No.458/4-18, pp.65-71, 1993
- 3) 邢健, 越正毅: 高速道路のサグにおける渋滞現象と車両追従挙動の研究, 土木学会論文集, No.506/IV-26, pp.45-55, 1995
- 4) 邢健, 大口敬, 越正毅: 高速道路単路部の交通流の動的特性, 土木計画学研究・講演集, Vol.14 (1), 1991
- 5) 大口敬, 片倉正彦, 鹿田成則: 高速道路単路部をボトルネックとする渋滞発生特性に関する実証的研究, 高速道路と自動車, Vol.44, No.12, 2001
- 6) 大口敬: 交通渋滞の発生メカニズムと AHS 技術による対策, 第 37 回土木計画学シンポジウム論文集, 2001
- 7) 牧野浩志, 大内浩之, 平沢隆之, 山田康右: 高速道路サグ部における渋滞対策のための AHS 円滑化サービスの開発に向けた取組み, 高速道路と自動車 第 49 巻 第 7 号, pp.54-58, 2006.
- 8) 山田芳嗣, 阿部重雄, 長瀬博紀: LED 表示板を活用した渋滞対策について, 第 23 回交通工学研究発表会論文報告集, 2003
- 9) 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和: 高速道路のトンネル, サグにおける渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集, No.458/IV-18, pp.65-71, 1993.
- 10) Jian Xing, 鶴元史, 石田貴志, 村松栄嗣: 片側 3 車線区間における LED 標識を用いた車線利用率平準化渋滞対策の効果検証, 第 31 回交通工学研究発表会論文集, pp.167-171, 2011.
- 11) 金澤文彦, 坂井康一, 鈴木一史, 佐藤章博: 高速道路サグ部における円滑化走行支援サービス実証実験の効果検証, 第 30 回交通工学研究発表会 pp.201-204, 2010
- 12) 岩崎健, 金澤文彦, 坂井康一, 鈴木一史: 高速道路サグ部における ACC 車両の混入状況に応じた渋滞緩和効果, 第 10 回 ITS シンポジウム 2011 論文集, 2011.
- 13) W J. Schakel, B. Arem, and B. D. Netten: Effects of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic Flow Stability, 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, 2010.

第6章 総合考察

6-1 はじめに

これまで、世界と日本の ITS の進化を踏まえた路車協調 ITS の開発とそのサービスの代表事例として交通安全対策と円滑化対策への活用の可能性について詳しく見てきた。結果として、これらの検討成果は、2009 年から導入された ITS スポット対応カーナビ（2014 年から ETC2.0 対応カーナビと名称変更）に組み込まれることになった。ETC に使われている 5.8GHz 帯域の狭域通信（DSRC）の大容量・双方向性を最大限に活用し、マルチアプリケーションを動かすという路車協調 ITS が本格的に動き出す ITS のセカンドステージの時代を迎えたのである。

この ETC2.0 対応カーナビは 3 章で述べたように、ETC の機能は当然として、通信容量が増えていることから VICS の渋滞情報の提供エリアが大きく拡大するという従来の機能の強化に加え、安全運転支援機能、大容量渋滞情報提供機能、音声読み上げ、道路プローブ情報収集という新たな機能が追加された。これらの基本機能を組み合わせることで、走行中、停車中で様々なアプリケーションの開発が可能となり、2011 年から高速道路を中心に設置された約 1,600 カ所の ITS スポットから公共サイドのアプリケーションによる様々な情報が提供されるようになった。

本章では、路車協調 ITS がもたらす ITS セカンドステージについて、今後の課題と展開方向について議論を進めていく。

6-2 路車協調 ITS がもたらす変化

6-2-1 ETC2.0 がもたらす ITS のセカンドステージ

(1) ETC2.0 の登場によるユーザサービスの実現

ETC2.0 がもたらす ITS のセカンドステージはどのようなようになるのであろうか。表 6-2-1 に ETC2.0 の機能を整理した。

表 6-2-1 ETC2.0 の機能

	これまでのサービス	ETC2.0 対応カーナビ
ETC	ETC、カーナビはバラバラ	ETC と他のサービスを同時に実現
	—	経路に応じた料金設定が比較的簡単に実現可能
安全運転支援	—	車載器の反応時間を定義（1 秒）
		落下物や渋滞末尾などの注意喚起に活用可能 画像情報（雪・霧など）を提供可能
電波 VICS	簡易図形 1 枚 最大約 200km の渋滞データ	簡易図形 4 枚 最大約 1,000km の渋滞データ （首都圏ネットワークでのダイナミックルートガイダンスの実現）
	アンテナの位置だけで提供	アンテナがない場所でも情報提供可能 （蓄積・地点指定機能）
プローブ機能	—	プローブ情報収集
		ルートベースのアプリケーション開発（特車管理、物流支援）
情報接続	—	SA・PA、道の駅などでインターネット接続により観光情報・道路状況を提供

これまでの ITS の進化と ETC2.0 の機能を 1999 年に作成した日本の ITS のシステムアーキテクチャの 9 つの開発分野と 21 の利用者サービスに照らし合わせて、その達成状況がどうであるかについて整理したのが表 6-2-2 である。

これを見ると、「いつまでたってもすすまない」と揶揄された ITS であるが、様々なサービスが登場してきており、進化をしてきていることがわかる。

情報端末については、カーナビやスマホの登場は画期的であった。自動車運転中のドライバーや歩行中の個人に情報提供提供できるツールが登場したのである。それらのデバイスは GPS と通信機能を持つことで、ナビゲーションやロケーションサービスが簡単に構築できるようになった。インフラサイドも、光ファイバ網や無線ネットワーク網の構築による情報通信技術の進化は情報のやり取りを飛躍的に増やした。さらには、CCTV の低価格化、画像処理技術の発展は道路のモニタリングや事象検知を飛躍的に進化させたのである。

ナビゲーションやロケーションサービスの構築技術の登場によって、9 つの開発分野のナビゲーションシステムの高度化や自動料金収受システム、公共交通の支援、緊急車両の運行支援などの一部はすでに実現している。また、ETC2.0 に関しては、安全運転の支援や道路管理の効率化に大きく貢献しつつある。

この状況を踏まえると、今後、路車協調 ITS が改善していかなければならない課題としては以下がある。

- 安全運転の支援としての路車協調 ITS から自動運転への発展
- 道路交通行政の改善に向けた道路交通情報収集機能の向上と活用
- 都市と交通を変革させ人間中心の都市を作る
- 災害時のいざという時に機能する社会システムづくり

表 6-2-2 1996 年ユースケースの実現状況と課題

開発分野 (9)	利用者サービス (21)	状況	現状	課題と今後の方向性
1.ナビゲーションシステムの高度化	1)交通関連情報の提供	○	・カーナビゲーションの実現 ・VICS の実現 ・テレマティクスサービスの登場 ・ETC2.0 による情報提供機能拡大(提供箇所の拡大, 画像, 音声など)	・官民連携による道路交通情報収集能力の向上 ・道路ネットワークを最適に使うための渋滞予測情報提供(ETC2.0活用) ・道路ネットワーク選択に必要な情報提供(渋滞予測, 料金情報, 車線閉塞情報) ・会員サービスとしての最適化された情報提供(競争領域)
	2)目的地情報の提供	△	・スマートフォンによるナビゲーションアプリの登場 ・デジタルサイネージの登場	
2.自動料金収受システム	3)自動料金収受	○	・全国統一 ETC システムの実現 ・ETC2.0 によるプローブ情報を活用した経路別課金	・ETC2.0 の民間への展開(駐車場, GS 等) ・全体最適化のためのダイナミックな経路別料金 ・スマホの決済機能との連携
3.安全運転の支援	4)走行環境情報の提供	○	・ASV の進化(ACC,LKP 等)	・自動車専用道路空間での路車協調自動運転の実現 ・地方部での低速度自動運転の実現
	5)危険警告	△	・ETC2.0 への AHS 機能搭載(前方障害物情報提供)	
	6)運転補助	×		
	7)自動運転	×		
4.交通管理の最適化	8)交通流の最適化	×	・信号の高度化(特に, 矢印式信号機の導入) ・民間によるスマホを活用した経路誘導サービス	・三大都市圏における自動車専用道路ネットワークの最適道路運用の実施 ・ETC2.0 による料金施策・情報提供・車線運用等を組み合わせた戦略的的道路運用 ・プローブ情報を活用した信号制御の最適化・グリーンウェイブの実現 ・観光地などのゲリラ渋滞の対応
	9)交通事故時の交通規制情報の提供	×		
5.道路管理の効率化	10)維持管理業務の効率化	△	・道路管理用光ファイバと CCTV を活用した道路モニタリング	・センシング技術を活用した道路施設管理 ・道路管理支援用の専用センシング車両の活用 ・ETC2.0 プローブ情報のリアルタイム活用 ・一般車両のセンシング情報を活用した道路管理支援
	11)特殊車両等の管理	○	・ETC2.0 プローブ情報を活用した道路管理支援(統計情報, 通行可能路線把握など)	
	12)交通規制情報の提供	×	・ETC2.0 を活用した特殊車両マネジメントシステムの稼働	
6.公共交通の支援	13)公共交通利用情報の提供	○	・携帯パケット通信バスロケーションシステムの登場 ・スマホを活用した公共交通運行・乗り継ぎ情報サービスの登場	・ETC2.0 を活用した簡易ロケーションサービス ・プローブ情報分析による公共交通のマーケティング ・公共交通情報・乗り継ぎ情報交換のプラットフォームづくり
	14)公共交通の運行・運行管理支援	△	・デマンドバスシステムの登場 ・PTPS の一部導入	
7.商用車の効率化	15)商用車の運行管理支援	△	・携帯パケット通信を活用した商用車運行管理システムの登場	・ETC2.0 を活用した簡易ロケーションサービス ・トレーサビリティ向上(ETC2.0 活用)による第4次産業革命 ・物流情報(車両, コンテナ, パレット, 荷)の情報共有プラットフォームづくり
	16)商用車の連続自動運転	×		
8.歩行者等の支援	17)経路案内	○	・スマホを活用した歩行者ナビの登場	・歩行者空間・バリアフリー情報のデジタル情報の作成と共有の仕組みづくり ・歩行者の位置特定技術
	18)危険防止	×		
9.緊急車両の運行支援	19)緊急時自動通報	○	・緊急通報サービス HELPNET の運用	・テレマティクス(通報)と ETC2.0(ゲート管理)が融合した緊急車両マネジメント ・ETC2.0 を活用した通行可能ルートの把握 ・いざという時に使える機能の確保
	20)緊急車両経路誘導・救援活動支援	△	・PTPS の一部導入	
	21)高度情報通信社会関連情報の利用	○	・スマートフォンの登場 ・クラウド時代 ・ビッグデータ	

注) _は ETC2.0 で対応可能になったサービス

(2)路車協調 ITS プラットフォームの再定義 (ベーシック ITS)

日本の ITS は 2 章で整理したように、これまでの ITS のレガシーシステムが存在し、全体を理解するのが困難である。ETC2.0 の登場を踏まえて現在の最先端の ITS 技術で ITS を再定義すると、非常にシンプルに全体像を理解することができる。表 6-2-3 は、個人が持つスマートフォン、自動車側が持つべき機能、道路側が持つべき機能の整理の結果である。基本的に必要なのは、デジタルインフラ (Digital infra.) としての位置特定技術と共通地図、通信技術 (Connectivity) としての LTE(Long Term Evolution), DSRC, NFC(Near Field Communication)ならびに ISDB-T, データベースとしてのクラウド技術やビッグデータ技術である。これらを組み合わせると表 6-2-4 に整理したような様々なサービスを実現するアプリケーションが実現できる。

表 6-2-3 ITS を構成するデバイスの再定義

	Smart Device	Smart Car	Smart way	ITS Platform
Sensor	CCD	CCD Radar	CCD (CCTV)	
Positioning	GPS	GPS Dead-Reckoning	GPS (Time sync.)	GPS
Mapping	Digital MAP	Digital MAP	Digital MAP	Digital Map
Communication	LTE Wi-Fi Bluetooth NFC Digital 放送(ISDB-T)	LTE Wi-Fi Bluetooth DSRC (ETC2.0) Digital 放送(ISDB-T)	DSRC (ETC2.0)	LTE DSRC NFC ISDB-T
Network	民間ネットワーク	民間ネットワーク	道路光ファイバ	
Database	民間 ASP (ナビ, 乗換案内)	民間 ASP (ナビ, コンシェルジュ)	ETC-DB VICS-DB AHS-DB 特車 DB	Cloud Big data
HMI	タッチパネル 音声, 振動	タッチパネル 音声	VMS (道路情報版) 交通信号機	

表 6-2-4 ユーザーサービス実現のための機能の組合せ

	App.	Smart Device	Smart Car	Smart way
ドライバ サービス	ナビゲーション	GPS+DM+HMI	GPS+DM+HMI	VMS
	VICS	LTE+HMI	ETC2.0 or ISDB-T+HMI	ETC2.0+VICS-DB
	ETC	NFC+HMI	ETC2.0	ETC2.0+ETC-DB
	経路割引		GPS+ETC2.0	ETC2.0+ETC-DB
	AHS		ETC2.0+HMI	ETC2.0+AHS-DB
	特車サービス		ETC2.0	ETC2.0+特車 DB
道路管理	道路監視			CCTV
	道路情報収集	LTE, Bluetooth	GPS+LTE, ETC2.0	CCTV+ETC2.0
	道路情報提供	LTE	LTE, ETC2.0	ETC2.0, VMS
	信号制御		ETC2.0	Signal+ETC2.0
公共交通	公共交通決済	NFC		
	バスロケーション		GPS+LTE, ETC2.0	ETC2.0
	パーク&ライド	NFC	ETC2.0	
派生 サービス	駐車場管理	NFC	ETC2.0	
	シェアリング	LTE, NFC	ETC2.0	
	ゲート管理	NFC	ETC2.0	
	ゾーン課金		ETC2.0	

6-2-2 路車協調 ITS がもたらす変化

(1) 自動車は閉じられた空間から開かれた空間へ＝Connectivity

自動車はこれまで閉じられた空間であり、車内にいる個人あるいは家族や仲間とのプライベートな空間であった。それがゆえに大いに普及した面もあるが、一方で閉ざされていることが逆に自動車交通を引き起こす課題の原因でもあった。

DSRC やテレマティクスを活用した路車協調 ITS の実現は、自動車がパートタイムやフルタイムで外部と「つながる」(Connectivity) 新しい時代の到来を意味する。自動車が閉じられた空間から社会との関わりをもつ開かれた空間となることで、それまでの自動車のもつプライベートな空間という特長を保持しつつ、さらに魅力的な空間となり、20 世紀の負の遺産を解消するとともに、自動車・情報通信関連産業、サービス産業の市場の拡大・創出、官民の道路交通関連事業、物流事業の効率化を実現するものと期待される。

さらに近年の技術の発達によって、自動車はカメラやレーザレーダなど各種センサなどが搭載され、カーナビなどのわかりやすい HMI を持つ端末や、VICS, ETC などの通信機能をもつ車載器などが備えられ多くの情報をもつ移動手段となった。これまで自動車がもつ情報は、個々の自動車の中だけで消費されていたが、これからは常時ネットワークに接続したり、自動車同士をネットワークしたり、スポットで瞬時に情報をやり取りしたり、高いセキュリティで決済したりすることが可能となる。これらの情報を集約し、社会全体で活用することで、多くのドライバの利便性の向上や高齢者などのスキルサポートを実現することが可能となる。

また、ACC, 被害軽減ブレーキ, LKP など次々と先進的な機能が商品化され、走行支援システム実用化に向けた世界最先端の取り組みが現在も進展している。今後は、車両制御技術の進展ともあいまって、自動車交通システム全体のさらなる進化が期待される。

(2) 時空間を超越する＝共有 (シェアリング)

IT の特徴である時間と空間を超える技術の活用によって、新しい移動の概念が生まれてくる。共有 (シェアリング) は有限な空間や時間や手段を共有して効率的に使っていく方向である。

空間のシェアリングでは、これまで道路は自動車が主に利用する空間になっていた。ETC を活用すれば地域住民、緊急車両、共同集配車両だけしか入ることができない道路空間にすることが可能になり、生活エリアなどでの子供たちの事故を大きく削減することが可能となる。また、都心空間など多くの人が集まる道路空間も、人間や環境に優しい乗り物、たとえば、トランジットモールにおける LRT・バス・歩行者と自動車とを分離することも可能である。ビジネス活動の維持という意味では、ビジネスエリアへの荷物の搬入のための駐車スペース (共同荷捌き駐車スペース) のシェアなども、ETC を使いこなすことで可能となる。

時間のシェアリングは、高速道路の夜間割引のように、夜間に大型車が高速道路を安く使ったり、混雑する都心部へのラッシュ時に課金したりすることなどにより、限られた空間を時間で分け合うことも可能となってきた。

カーシェアリングやレンタサイクルのように、交通手段をシェアして使うことも増えてきた。これまでは、カギの管理や決済のために人を介さなければならなかったものが、通信技術の進化により簡単に乗り物を共有できるようになったためである。この手段の共有は、保有から利用という概念への転換と考えてもよい。ものを保有する喜びより、ものを利用してなしえる「こと」の方が大切であることが理解され始めた。それを可能にしてきたのが情報通信革命なのである。カーシェアリングやレンタサイクルの良さは、個々の車両の稼働時間が延びること、個々に対して駐車スペースを用意しなくてよいということでもあり、都市の空間活用の可能性が大きく変わっていく。

(3)情報がつながる＝連携（コーディネーション）

連携（コーディネーション）という概念も重要である。これまでの移動では、いったん動き出してしまえば情報から孤立してしまうため、乗り換えたり、計画を変更したりすることは非常に難しいものであった。携帯電話やスマートフォン、非接触 IC カード（交通カード）の普及は、鉄道やバスの乗り換えを簡単にした。不案内な土地でも、乗り換え情報の検索を使うとリアルタイムに近い形での運行情報や乗り換え情報を得ることができる時代が来た。

とくに大切なのが、計画論との連携であろう。高度成長という都市の拡大時代は、交通は細分化という分断の中で整備が進められた。道路、都市、鉄道、バス、商店街、農村はそれぞれの計画が立てられ、連携した計画は不可能であった。計画するための情報が少なく、それぞれの計画のための調査を個別に実施しなければならなかったからである。GIS のお陰で、都市におけるすべての移動情報を全体としてとらえることが可能となり、分断の仕組みではなく、情報を用いた連携が不可欠な時代となるであろう。公共交通優先開発（TOD: Transit Oriented Development）なども、データ分析を基礎にした関係者の連携から生み出せるものである。地方の公共交通を救うデマンドバスも情報通信を活用し、地域の交通需要を把握したり、バスの運行管理を行ったりということで実現できた。

さらに、自動車交通のマネジメントに連携は不可欠である。自動車交通を構成するドライバ、自動車（自家用車、バス、トラックなど）、道路は利害関係者が多岐にわたるため本格的なマネジメントは困難であった。ドライバのルールや取り締まりは交通警察、自動車は保安基準が国土交通省、製造は自動車メーカ、運行管理は個人やバス・運送会社、道路整備や運用は国県市、交通信号は交通警察と複雑である。こういった利害関係者を統合的にマネジメントしなければ、交通事故の削減、渋滞緩和、環境負荷の低減は実現できない。その統合は、交通データをまず可視化することから始め、個別最適ではなく全体最適となるような連携の仕組みを構築すべきであろう。

情報で実態が明らかになれば、連携して対処するしかなくなる。実態を明らかにするためには情報の流動化が必要で、そのためのプロトコル（手続き）やフォーマット（様式）を決めればよい。

(4)情報と決済＝プライス・メカニズム

情報技術の中でも、暗号技術の進化はモバイルの決済を飛躍的に進化させた。これまで、現金以外の決済はクレジットカードかプリペイドカードだけであったのが、移動しながら非接触での決済が可能となってきた。ETC は料金所を通過する車の90%が装着しているし、非接触 IC カード（交通カード）も乗客の80%以上が利用している。新しい移動体の決済システムの登場は、これまで高速道路の料金所や鉄道の改札での混雑を解決しただけではない。これまで困難であった自動車交通の需要と供給の最適化を行える可能性を秘めている。

渋滞という現象の発生理由は簡単で、交通需要が供給量（道路の容量）を上回るから発生する。とくに自動車は、他の移動手段に比べて占有面積が大きいので、一気に一箇所に集まると渋滞が生じ、皆が損するのである。鉄道の場合は車内が混雑することはあるが、運行に支障が出るのはまれである。自動車交通は、経済学上の市場の失敗が起こりやすい交通手段であるといえよう。それは、供給であるところの道路の容量が一気に増えず弾力性がないこと、供給や渋滞といった情報へのアクセス性が弱いこと、道路課金は有料道路以外では難しく価格の弾力性をもたないことなどから、朝夕のラッシュ時に集中する需要に対して市場機能が働かず、渋滞という形で参加した皆が損をする市場の失敗が発生するからである。

ETC や交通カードという移動体の非接触の決済システムの登場は、課金が難しかった自動車という交通手段に対して弾力的な価格を付けることができる。加えて、交通状態のリアルタイムの把握と情報提供が可能となれば、完全情報とフレキシブルな料金設定（ダイナミックロードプライシング）により、これまで不可能と思われていた道路交通の需要と供給を、プライス・メカニズムによって最適化することが可能となるのである。

また、世界での議論のように、移動体のエネルギーの多様化と負担の公平性の議論も関係してくる。電気のように流通しやすいエネルギーに関してはエネルギー源に課金することは困難であり、インフラの損傷度、つまり走行距離に応じた課金システムを検討する場合も、非接触の課金システムの存在が大前提となる。

(5)ルートベースアプリケーション（特車、物流効率化）

これまで移動体の位置を把握して、アプリケーションに活用するには、携帯電話網を活用する方法が主流である。特に、スマートフォンが登場してからは、スマートフォンのGPSと携帯通信機能を活用することで、簡単にロケーションサービスの構築ができるようになった。しかしながら、携帯電話網を活用する際の通信料金がネックとなり、通信料金に見合ったビジネスモデル構築ができず、バスロケーションサービスなどを撤退するバス会社もあるのも事実である。

一方、ETC 料金所のように公共部門が設置する DSRC は、通信料金はかからないが、路側機の位置でしか通信ができないため、料金所やゲート管理というアプリケーションにしか活用ができなかった。それに対して、ETC2.0 では、GPS データを車載器のメモリに蓄積できる機能を有してことから、通信費用がほとんどかからない低価格なロケーションサービスを実現することが可能となった。さらに良いこと

に、ETC2.0は車両にユニークに搭載される点、車載器の改ざんや通信のセキュリティに関する機能も有しているため、スマートフォンで出来ないサービスも実現可能な点が特徴である。

ETC2.0の特徴的な機能を使うことで、車両とルートが特定できることによる経路別通行料金割引だけでなく、以下のようなルートベースのサービスが可能となる。

車両総重量20tを超える車両が道路橋の劣化に与える影響は全交通の約9割を占めるといわれている。重量車両の通行許可制度の適正な運用は世界的にも重要である。ETC2.0は、許可車両のルートがわかること、車載器が車両にユニークについていること、車載器の改ざんができないこと、路側からの稼働状況のチェックが簡単であることなどから、特殊車両通行許可制度の効率化に有効に活用できる。

また、同様の理由で、物流の効率化にも有効に使える可能性もある。世界的に話題となっているインダストリー4.0への活用である。インダストリー4.0は、ロジスティクスのデジタル化・自動化・バーチャル化により生産効率を飛躍多岐に高めようとするものである。ロジスティクスのトレーサビリティを高めるためには、車両（トラクタ）、トレーラ、トレーラ内のパレット、パレットに積まれた個々の荷物のデータが統合的にトレースできる必要がある。車両（トラクタ）にユニークに搭載される改ざん対策が施された車載器はその有力なツールとなるであろう。

(6)平時と緊急時=いざというときに使える ITS

東日本大震災の教訓をふまえ、ITSでは災害時の機能を組み込み、災害発生時に避難や救援活動といういざというときに使える交通機能が不可欠ということがわかった。

ITSのプラットフォームであるセンシング、測位、地図、情報通信、ネットワークなどの最先端技術は、東日本大震災でも使われ始めており、緊急時に円滑な利用を促すためにも、平常時と災害時でモードがチェンジし、普段から使っている仕組み（とくにHMI）が災害時にも使えることが重要である。また、その設計にあたっては、発災直後から時々刻々と変化する災害の状況に応じた危機管理（クライシスマネジメント）に活用できるものでなければならない。まさに、サイバーフィジカルネットワークとしての道路が必要なのである。平常時には道路管理や利用者サービスの仕組みとして機能し、災害時にはモードチェンジして、緊急活動時の通信として使えたり、プローブ情報を収集できたり、多言語を活用して情報を提供したり、関係者に通報したりできるよういざというときに使える仕組みづくりが不可欠となる。

また、乗り物も、平時は道案内として使えるナビが、災害発生の情報を受けた場合に一番近い避難場所に誘導するとか、自動車を使えない場所では道路沿いの緊急駐車場所に誘導するとか、個人用移動機（PMV: Personal Movility Vehicle）などは、足の悪い高齢者や障害者をボタン一つで高台の避難所まで連れていくなど、自動運転の技術などと組み合わせた災害時モードをもつことも期待される。

(7)エネルギー・モビリティ・情報と地球環境問題

地球環境問題は、自動車が生燃機関であることが問題の原因で、運輸部門の CO₂削減は世界的な関心事項である。一方、経済の血流である物流を担っているのは自動車で、在庫管理を極力少なくし、ジャストインタイムで荷物を運びこむ効率的な経済システムはトラック輸送が実現したといってもよい。

環境に悪い自動車は禁止し、環境に優しい鉄道にシフトすればよいという情緒的な対応ではだめで、自動車の利便性、経済的効率性、合理性と環境負荷のバランスをどうやってとっていくのかというデータに基づいた分析からの視点が不可欠である。EVはガソリンを使わないから環境に優しいかというところでもない。電気を作り出す際に石化資源を使った場合や送電効率が悪い場合などは、逆に負荷が高い場合も出てくる。エネルギーの生成、輸送、消費とモビリティの発生、集中、駐車という情報を把握し、環境負荷とエネルギーの最小化、移動の最適化を目指すようなエネルギー・モビリティ・情報マネジメントシステム（EMI）をサイバーフィジカルネットワークの上に作り出す必要がある。

また、地震などの災害への備えを考えると、これらの EMI システムは、災害時にも機能し、災害時に必要な最低限のエネルギーを現地で確保し、通行できる道路を明らかにし、必要なモビリティを確保するよう機能すべきである。

6-3 路車協調 ITS から自動走行システムへ

6-3-1 自動走行システムの研究開発動向

(1) 官民 ITS 構想・ロードマップ 2015

「世界最先端 IT 国家創造宣言工程表」（2013 年 6 月）を受け、2015 年 6 月に「官民 ITS 構想・ロードマップ」²⁾が策定された。具体的には、安全運転支援システム・自動走行システムの開発・普及と、交通データの利活用体制の整備について官民連携により、重要業績評価指標（KPI）を設定し、着実に推進するとしている。

構想・ロードマップの特徴は、安全運転支援システム・自動走行システムのレベルを定義（表 6-3-1）したことと、情報収集技術の種類により自律型と協調型に分類し（表 6-3-2，図 6-3-1），自律型の自動化型自動車に協調型の機能をモジュールとして必要に応じて付加・統合していくという戦略が提案されている（図 6-3-2）。

表 6-3-1 安全運転支援システム・自動走行システムの定義

分類		概要	左記を実現するシステム	
情報提供型		ドライバへの注意喚起等	安全運転支援システム	
自動化型	レベル 1 単独型	加速・操舵・制御のいずれかをシステムが行う状態	準自動走行システム	自動走行システム
	レベル 2 システムの複合化	加速・操舵・制御のうち複数の操作をシステムが行う状態		
	レベル 3 システムの高度化	加速・操舵・制御を全てシステムが行い、システムが要請した時はドライバが対応する状況		
	レベル 4 完全自動走行	加速・操舵・制御を全てドライバ以外が行い、ドライバが全く関与しない状態	完全自動走行システム	

※ただし、いずれのレベルにおいても、ドライバは、いつでもシステムの制御に介入できる。

表 6-3-2 安全運転支援システム・自動走行システムの情報収集技術の種類

情報収集技術の種類	技術の内容	特徴	
自律型	自動車に設置したレーダ、カメラ等を通じて障害物等の情報を認識	<ul style="list-style-type: none"> 概ね全ての場所で機能 「見える範囲」に限定 周辺環境の影響をうける リアルタイム性に優れる 	
協調型	モバイル型	GPS による位置情報とクラウド上の地図上にある各種情報を認識	<ul style="list-style-type: none"> 概ね全ての場所で機能 広域の情報を収集可能 リアルタイム性に欠ける
	路車間通信型	路側インフラに設置された機器から、道路交通に係る周辺情報等を収集	<ul style="list-style-type: none"> 設置場所にて機能 周辺や広域情報を入手可 リアルタイム性に優れる
	車車間通信型	他の自動車に設置された機器から、当該自動車の位置・速度情報等を収集	<ul style="list-style-type: none"> 他の対応車が必要 「見えない場所」も対応可 リアルタイム性に優れる

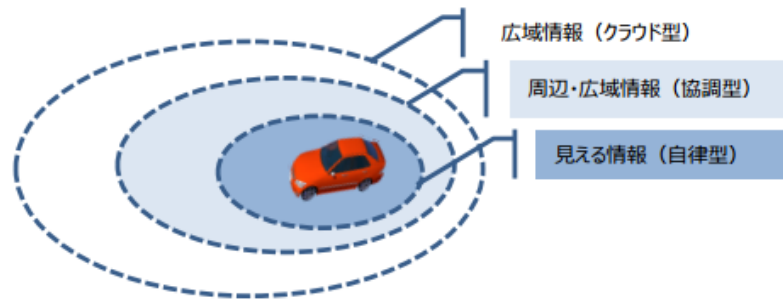


図 6-3-1 情報収集技術の分類

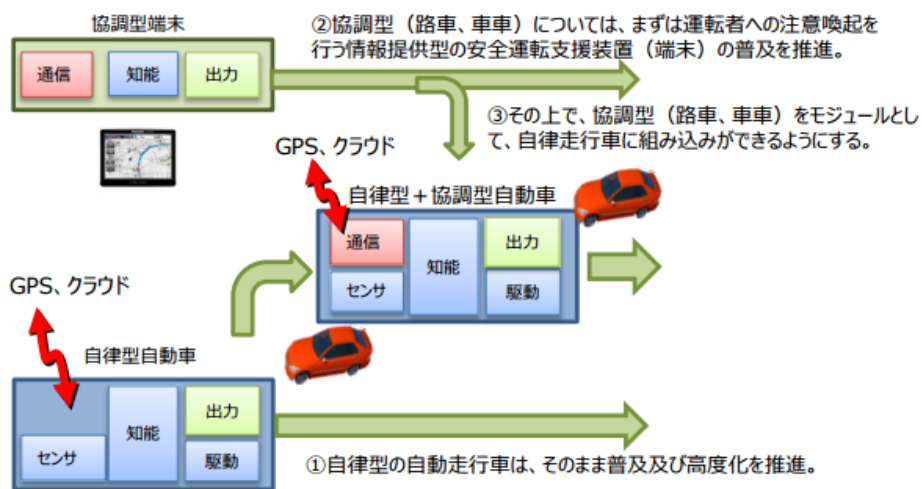


図 6-3-2 自律型と協調型の統合に向けた戦略イメージ

(2)SIP 自動走行システム研究開発計画

総合化学技術・イノベーション会議（CSTI）による戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）のテーマの一つとして、2015年5月からスタートした自動走行システム・運転支援システムの研究開発プロジェクト³⁾である。

2020年の東京オリンピック・パラリンピックで、東京において準自動走行システムの実用化を目指して産官学の連携により研究開発を実施している（図 6-3-3）。

SIPでは、自律型の安全運転支援システム等の競争領域は民間で進めるものとし、官民連携での取り組みが必要となる基盤技術及び協調領域（協調型システム関連）についての開発・実用化を主として推進している（図 6-3-4、図 6-3-5）。

具体的に開発、検証する技術として「地図情報高度化(ダイナミックマップ)の開発」「ITSによる先読み情報の生成技術の開発と実証実験」「センシング能力の向上技術開発と実証実験」「ドライバと自動走行システムのHMI技術の開発」および「システムセキュリティの強化技術の開発」を実施している。



図 6-3-3 自動走行システムの実現期待時期

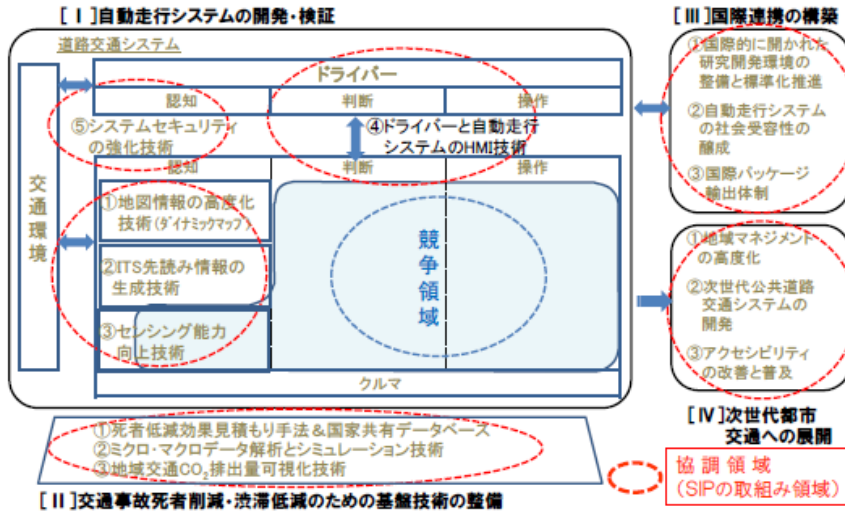


図 6-3-4 SIP 自動走行システム 研究開発テーマの分類

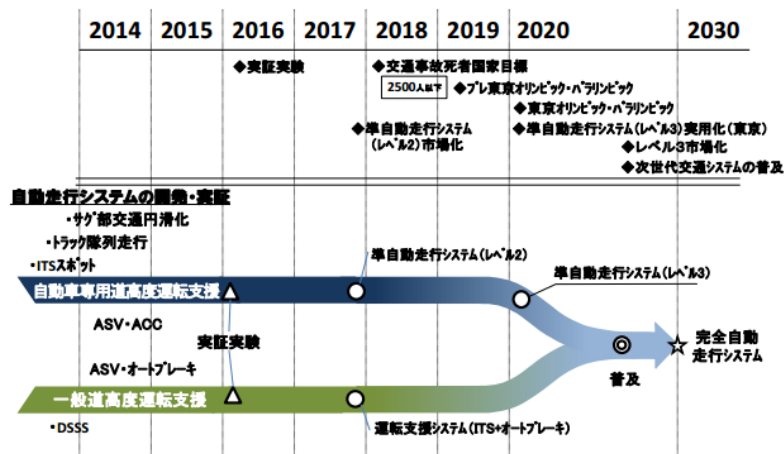


図 6-3-5 事故低減のための SIP 自動走行システム ロードマップ

6-3-2 路車協調 ITS から自動運転への進化の方向

(1) 路車協調 ITS の重要な役割

路車協調 ITS は自動運転¹の実現に重要な役割を果たすと考えられる。現在の自動運転の研究動向を踏まえると、自動運転の定義には、(協調型)自動運転(Automated Drive)と自律運転(Autonomous Drive)に分けられる。自動運転は、道路側や他車の情報を組み合わせて、必要な情報を「協調」しながら把握することで、安全で快適な自動運転を実現するものである。自律運転は、自動車が自車から検知できる可能な限りの情報を収集し、センターに問い合わせるなどして状況を認知し、最適な自動運転を行うシステムである。自動車交通という社会システムで使う場合は、自動運転と自律運転の活用方法は大きく異なってくるのではないだろうか。特に重要なのは高速での走行の快適性の確保である。現実の走行環境を考えると、自動車の自律機能で対応できない以下のシーンが存在するからである。

① 前方の障害事象を回避するには急ブレーキしかない

100km/h で走っている乗用車の停止距離について考えてみよう。0.5G のフルブレーキをかけた場合の停止距離は、制動距離が約 80m で、それに空走距離が 0.1 秒あたり 3m ずつ長くなる。システムの作動までの時間を 0.5 秒とした場合は約 95m の停止距離(制動距離+空走距離)となる。また、0.2G を超えると急ブレーキといわれるが、この場合の制動距離は約 200m となる。ちなみに、30km/h の場合は 0.5G で制動距離が約 7m、0.2G で約 18m となる。

車のセンサの性能に依存することになるが、現在のところ 200m 程度の前方しか検知できないといわれている。もし、自律走行の車が 100km/h で走行した場合は、停止車両等の障害物があった場合は、0.2G 以上の急ブレーキが作動することになる。一日の乗車中に、数回も急激な自動ブレーキが作動するようでは、ドライバーにとって非常に不快なシステムとなり、消費者の満足度は得られない可能性がある。

② 自動車のセンサから見えない情報は分からない

高速道路の合流部や JCT での合流に際して、物理的に仕切られた本線側の情報はセンサが検知できないため自律運転の車では把握できない。本線が既に渋滞しているとか、車両が連続して合流できない場合など、自律運転の車では、緊急停止となる可能性が高い。

また、料金情報や工事中の車線の引き直しなどの情報は、自動車からは知りえない。そういった外的情報も、路線の選択や安全運転支援に不可欠である。特に、ドライバーの望む最適なルート選択を行うためには、料金情報と渋滞情報を正確に的確なタイミングで届ける必要がある。

③ 自律機能もインフラに依存している

自律運転と言っても、実際のところは、道路のデジタル地図を活用して位置を確認し、車線等の道路標識・標示を認識して走行位置を特定し、自動で走行するもの

¹自動走行とも呼ばれるが、本研究では「自動運転」で統一して使用する

である。大きな視点で考えれば、道路地図や道路標識・標示といったインフラと協調しながらAI（Artificial Intelligence）が運転をしているということになる。道路の改修があり地図が変わっている，路面標示がかすれている，標識の位置がずれているなどのインフラの変化があった場合には，自動運転，自律運転にも支障が出てくる可能性がある。そういったインフラの変化をどのように把握し，情報の補正，リアルなインフラの補修を行っていくのかという社会的な仕組みづくりが必要である。

(2)次世代型路車協調システムの検討方向

自律運転では対応できないシーンの存在を考えると，100km/h以上での走行となる自動車専用道路では，道路側が収集した情報を活用する（協調）自動運転が不可欠である。一方，速度が30km/h以下でよいゾーン30や中心市街地の場合は，車載のセンサを活用することで，歩行者を含む外的要因を理解し，必要に応じて停止する自律運転は有効に機能することが考えられる。特に，自動車や歩行者が少ない地方部や工場などの管理された空間では有効に活用されるであろう。

次世代型路車協調システムとして検討が必要な機能は，2013年8月に，国土交通省が設置したオートパイロットに関する検討会（座長：朝倉康夫）が取りまとめた「オートパイロットシステムの実現に向けて」中間とりまとめ（案）⁴⁾で整理されている（図6-3-6）。具体的には，①同一車線内の連続走行（位置補完，道路構造データ），②車線変更等を伴う走行（前方の規制情報等の詳細な動的情報の提供），③分合流部，渋滞多発箇所等の最適な走行，といった分野である。

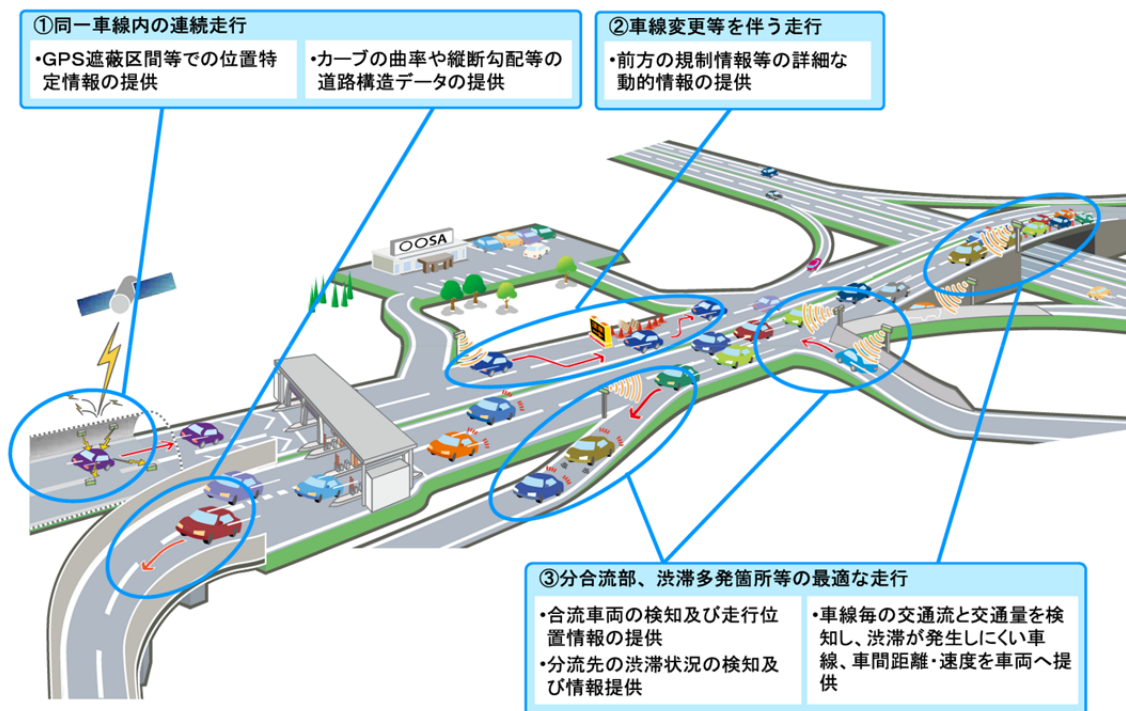


図 6-3-6 次世代型路車協調システムの検討が必要な機能

(3) 「自動車」「道路管理」「社会」の3Winsを目指して

また、次世代型路車協調システムの検討にあたっては、AHS 研究開発の教訓にあるようにすべての道路にセンサを設置するのは不可能である。そこで、図 6-3-7 に示すように、路車協調 ITS の自動車との協調機能を活用し、自動車のもつセンサ情報を集約・提供することが出来れば、インフラの負担を減らすことができる可能性がある。これらの自動車のセンサ情報は、これまで不足がちであった道路管理のための情報としても活用され、安全で快適な道路走行環境の確保につながり、結局のところ自動運転の車両が安全に快適に走行できることになる。安全で快適な自動運転の実現は、ドライバに『とても便利だ』と思わせる機能と認識され、自動車の販売促進につながる。自動運転車両の普及は、事故や渋滞の大幅な削減につながるため、事故による死傷がもたらす社会損失、渋滞による膨大な時間損失をなくし、社会問題を解決することが出来る。まさに「自動車」「道路管理」「社会」の3Winの関係が成り立つのが路車協調 ITS である。

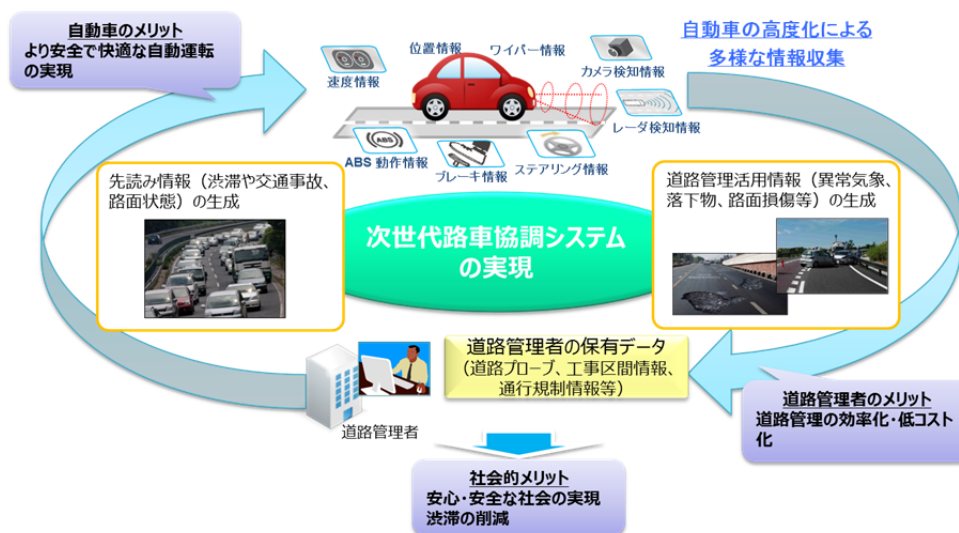


図 6-3-7 次世代型路車協調システムの検討方向

6-4 道路交通行政の改革

道路行政とは、道路を社会的な共有財産という意味での公物として管理するという行政が行ってきた従来の道路を建設し、公物としてそれを管理することを最大限効率的に行うための行政システムのことである⁷⁾。この道路行政は、これまで道路を建設することが最大の目的であり、そのため調査、設計、施工、管理、交通対策という仕組みで構成されてきた。

しかしながら、日本も不完全ではあるが、道路ネットワーク整備が進んできており、現在ある道路ネットワークを効果的・効率的に「賢く」使っていく必要がある。賢く使うためには、使われ方をモニタリングし、問題点を発見し、効果的に対策に投資し、改善結果を評価していく PDCA により安全、円滑、環境の目標を達成していくこととなる。いわゆる成果志向型の行政システムへの転換が必要なのである。そのためには、路車協調 ITS を活用した以下のような道路行政の情報化が不可欠となってくる。特に路車協調 ITS はアップリンク機能を有しており、走行支援サービスだけでなく、道路行政にも画期的な変化をもたらす。

- 迅速で効率的な情報の収集能力の向上
- 多種にわたる膨大な情報の蓄積・管理能力の向上
- 判断支援のための情報の分析・評価能力の向上
- 多様な手段による提供・伝達・通信能力の向上

具体的にいうと、①ETC2.0 プローブ情報に基づく道路交通のパフォーマンス(サービス水準や性能)の把握やその要因の的確な分析・評価は、「事業の峻別・重点化」や「効率的な道路資産の運用」を可能とし、②プローブ情報分析による通れる道路の把握によるレスポンス(状況把握と対応)の迅速化は、道路災害の最小化を可能とし、③路上工事や交通事故などを含めた道路交通のリアルタイム情報の取得は、適切な道路交通の運用と利用者コストの最小化を可能とする。つまり、行政運営の効率化と ITS は表裏一体の関係にあるといえる。

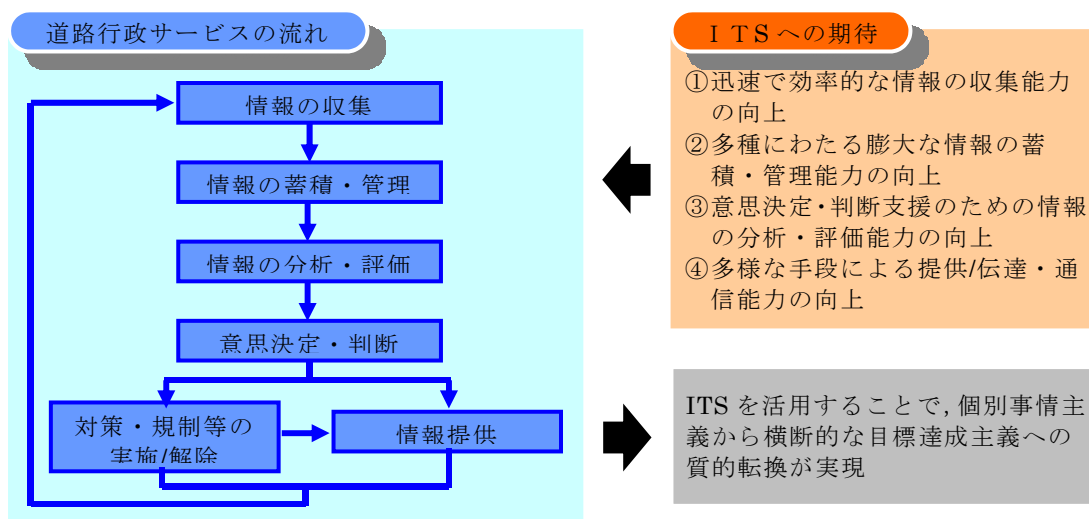


図 6-4-1 道路行政サービスと ITS

6-4-1 道路行政に活用が期待される路車協調 ITS の要素技術

ITS においてこれまで培ってきた要素技術や仕組みは、質の高い道路行政サービスを効果的・効率的に実現していくうえで、以下のように有効なツールとなる。

- 路車協調 ITS は双方向通信の機能を持つため、走行履歴情報を収集することが可能となり、道路交通状況のリアルタイムな把握が可能である。
- 画像処理技術を活用した画像センサは、道路上での通行障害、路面状態とその推移などを確実に検出することが可能である。
- さらに、ITS の基盤となる GIS（地図基盤）や道路通信標準などは、業務上必要とする情報を一元的かつ合理的に蓄積・管理し、関係者誰もが容易に利用することが可能である。

道路行政サービスにおいて活用が期待される ITS の主な要素技術を整理すると表 6-4-1 のとおりとなる。

表 6-4-1 道路行政サービスに活用できる路車協調 ITS 要素技術の例

ITS の要素技術 道路行政サービス		収集		蓄積管理	分析・評価		通信	
		プローブ	画像センサ	GIS(地図基盤)	TS	DS	DSRC	スマートフォン
円滑	渋滞対策	● 道路のサービス水準, OD データ等への活用	●	●	● 渋滞評価	● HMI 等の安全性確認	● プローブ情報収集 渋滞情報提供	● 民間プローブ収集 渋滞情報提供
	道路の有効利用 (情報提供を含む) ※安全・環境にも関係	● 道路のサービス水準	●	●	● 渋滞評価 予測情報		● プローブ情報収集 情報提供	
	路上工事	● 工事渋滞(工事とのマッチング)		●	● 工事マネジメント		● プローブ情報収集 情報提供	● 工事開始終了登録 情報提供
交通安全	交通安全対策 (事前対策)	● ヒヤリ・ハット (運転挙動)	●	●		●		
	情報提供 (直前対策)	● 車路車サービス (停止・低速)	●	●		●	● プローブ情報収集 安全情報提供	
	環境対策	● 排出ガス, 燃料消費 (環境センサ)		●	● 排出ガス 大気拡散			
更新・災害	日常管理	● 通行障害(運転 挙動), 気象(センサ)	●	●			● プローブ 情報提供	● 通報 SNS 分析
	構造物管理			●			● センサデータの巡回車 両取得	● 通報 SNS 分析
	冬季路面管理	● 気象・路面(センサ)	●	●			● プローブ 情報提供	● 通報 SNS 分析
	道路災害	● 通行の可否(走行履歴)	●	●			● プローブ 情報提供	● 通報 SNS 分析

(1) 情報収集ツール

1) プローブ技術

これまでは、調査車両やタクシー・バスをプローブカーとして車両の履歴情報を取得し、旅行速度や渋滞損失などの算定に使ってきた。これに対し、ITS 車載器では、一般車両の移動情報をプローブデータとしてオンラインで取得可能となり、以下のような場面での活用も可能となる。

- 年間を通じ旅行速度データを面的に収集することができ、渋滞損失時間などのアウトカム指標を精度高く算出することが可能となる。また、路上工事の開始・終了時刻を重ね合わせることで、路上工事による時間損失などあらたな評価指標の設定も可能となる。
- これに加え、プローブデータから、起終点や経路情報をとらえることができ、道路交通センサ OD 調査の代替ともなりえる。
- 災害時などにおいては、車両の走行経路を重ね合わせることで、通行不能区間を短時間で把握することも可能となる。
- 減速行動やハンドル操作等の運転挙動、気象・路面状態などを取得できれば、ヒヤリ・ハットや通行障害の可能性などを線的にとらえることが可能となる。

2)画像センサ技術

道路管理者は、道路状況の監視を目的として多くの CCTV カメラを設置しているが、画像センサ技術を活用することで CCTV カメラを有効に活用することができる。

- 異常気象時等通行規制区間など災害危険性の高い箇所において、画像センサにより監視することで、落石などの障害物や道路損傷の早期発見を可能とし、迅速な処置を講ずることが可能となる。
- 交通事故危険箇所などにおいて、事故の発生を画像センサでとらえ蓄積しておくことで、車両挙動の軌跡などから交通事故に至るメカニズムを分析することが可能となる。また、これに加え、進入速度や加減速などから潜在的危険性を計測することも可能となるなど、交通安全対策を合理的に進めていく上での有効なツールともなりえる。
- トンネル等の閉鎖空間、見通しの悪い区間などでは、多重事故などにつながりやすい。画像センサは、停止車両や事故の発生を検知することが可能であり、このような状況を直前の上流側でドライバに直接的に情報提供することで交通事故を未然に防ぐことが可能となる。
- 冬季道路管理においては、路面状態をセンシングできる画像センサを付加することで、路面状態の時系列的な変化を客観的にとらえることができ、除雪作業の出動判断の支援ツールとしての活用も期待される。

(2)情報の蓄積・管理を支える共通基盤

1)道路通信標準

道路行政サービスにおいて必要とするデータは多岐であり、関係者も多数介在する。これに対し、必要データの集約化や加工・処理、さらには関係機関との密接な情報交換など情報流通をスムーズに行える環境が重要となるが、そのためにはデータ構造(定義、数値、表現方法、単位、精度)などについて統一化しておくことが必要となる。すでに、国土技術政策総合研究所により道路通信標準が策定されており、それらの活用とメンテナンスが重要となる。

2)GIS（地図基盤）

道路行政サービスで扱う情報は、位置情報を有するデータである。そのため、統一的な GIS を活用して情報を扱うことが効率的であり合理的である。また、このような統一的な GIS を用いることで、統一的なプラットフォームとして、個々のシステムそれぞれに同じデータを入力するような作業の無駄やデータの散逸を防ぐなど、集約的かつ合理的な蓄積・管理やシームレスな情報の流通を可能する。さらに、位置情報をキーとした集計やビジュアル表示などが同一基盤上で行われることで、発展性・応用性に優れた分析ツールを構築することができる。

(3)分析・評価ツール

1)交通シミュレータ(TS)

TS を用いれば、これまで困難であった渋滞など動的な交通現象の変化をとらえ評価することが可能であり、各種交通アセスメントはもちろんのこと、加減速などの車両挙動に影響される沿道環境の評価についてもより正確に行うことが可能となる。なお、昨今においては、TS により直近の交通状況を予測し、情報提供に用いる仕組みも開発されている。

2)ドライビングシミュレータ(DS)

DS を用いれば、道路構造とドライバの死角などヒューマンエラーを含む交通事故の発生メカニズムについて、被験者による実道での実験が不可能な状況を再現し、安全かつ短時間で把握することが容易となり、情報提供などの直前対策のみならず標識や照明、道路構造など交通事故の安全対策の事前評価にも活用することができる。

さらに、渋滞対策においても、DS を用いることでドライバの心理的影響などによる安全性や（捌け台数などを含む）走行性に関する検証が可能となる。たとえば、トンネル等での視環境と走行性、織り込み区間での車線運用の違いと走行性など、DS によりこれらの関係が科学的に解明され、はじめて円滑化のための適切な対策が講じられることとなる。ただし、DS は以前に比べると実空間の再現性は向上しているが、仮想現実空間であることには変わりはなく、被験者実験の手法を確立する必要がある。

(4)通信基盤

ITS は通信基盤が整うことではじめて成立するものである。その際、ITS サービスは、大容量の情報を安定的に通信する必要から、道路管理用光ファイバ網や無線ネットワークは必須である。これらにより路側に設置された CCTV などの画像情報やセンサ情報、情報板などの情報提供装置、路車協調 ITS としての走行中の車両に対する大容量の安定した通信環境が確保できる。

また、路車協調 ITS が成立するためには、テレマティックスのような携帯電話通信や ETC のような DSRC といった無線技術は不可欠である。結果として、路車協調 ITS として車両に対する情報提供だけでなく、車両からのアップリンク情報を収集し、センターに集約することが可能となるのである。

6-4-2 路車協調 ITS を活用した業績評価手法の改革

(1) ITS 情報の業績評価への活用可能性

路車協調 ITS の実現でプローブ情報が流通し始める新しい時代は、旅行速度情報は簡単に把握できるようになるという点で画期的である。しかしながら、渋滞箇所の課題を知るための道路計画や交通運用の方法などを議論する基礎データとなる断面の交通量データはプローブ情報では補えない。画像処理技術の発展により、車の重なる処理にも強い画像処理技術が登場してきた。こういった最先端の技術を活用することで、既存の CCTV の映像から交通量を観測することが可能なのである。道路行政サービスを実施するうえで必要な情報とデータの収集方法を、表 6-4-2 に整理した。

表 6-4-2 業績評価に必要な ITS 情報の整理

業績評価項目		必要情報		常時観測 トラカン	画像センサ	プローブ	
円滑	渋滞対策	利用状況	交通量	●	●		
		渋滞状況	旅行速度, 損失時間			●	
	道路の有効利用	施策評価 サービスレベル	交通量/容量(混雑度)	●	●		
			交通量・速度(QV図)	●	▲		
			旅行速度, 旅行時間 時間信頼性(余裕時間, 平均遅れ時間等)			● ●	
	路上工事	渋滞状況	旅行速度, 旅行時間			●	
		迂回状況	迂回経路等の交通量	▲	▲	●	
交通容量		工事箇所の交通容量	▲	▲			
交通安全	交通安全対策 (事前対策)	事故	事故件数, 事故率				
		ヒヤリ・ハット	ヒヤリ・ハット件数		▲	●	
	歩行者・自転車 異常事象検出 情報提供(直前 対策)		走行位置別の交通量		●		
		合流, 追突対策	車両情報, 停止・低速 車両検知		●	●	
環境対策		排出ガス等	排出ガス, 燃料消費			●	
更新・災害 対策	日常管理	走行状況	目視		●	▲	
	異常事象検出	気象条件	天候, 雨量, 積雪等		▲	▲	
	冬季路面管理	路面状況	積雪・凍結状況		●	▲	
	道路災害	異常事象, 災害発生		異常事象検出		●	▲
				災害状況, 目視 通行可能道路		● ▲	▲ ●

画像処理による交通量データと路車協調 ITS の普及により、集まってくるプローブによる旅行速度情報を組み合わせることで、さまざまな道路行政サービスの効率を高めていくべきである。

また、画像センサは交通量以外に地点速度、車両軌跡、映像等を収集することができ、利用状況の把握、歩行者・自転車施策の検討、道路災害時の異常事象検出等で活用の可能性がある。これらのデータを組み合わせることで施策評価をさまざまな視点で実施することができるなど、道路行政サービスのさまざまなシーンで活用の可能性がある。

(2)新しい道路交通調査手法の登場 ~道路交通センサスの24時間365日化

現実の道路交通は、個々の車両の起点から終点までの走行の集合体であり、時々刻々と変化し、空間的に広範囲に及ぶものである。既往の交通調査は、観測技術および費用的制約から、道路交通の一部を抽出し、空間的・時間的にさまざまな形式に集計化し、拡大・推定して収集するというものであった。

たとえば、道路交通センサスは、主要道路約19万kmを対象に、5年に1回の頻度で道路交通センサス調査を実施し秋期のある特定の1日の調査結果を、年間の平均的な交通データと仮定し、それをベースに現況把握や将来交通量の予測に用いてきた。また、主要な箇所に設置されたトラフィックカウンタは、交通量および速度の常時観測調査に用いられているが、これらの定点観測調査は、観測地点を通過する車両の全数調査が可能で、高い精度を期待できるものの、予め定められた地点以外での実態の把握は不可能であった(図6-4-2)。

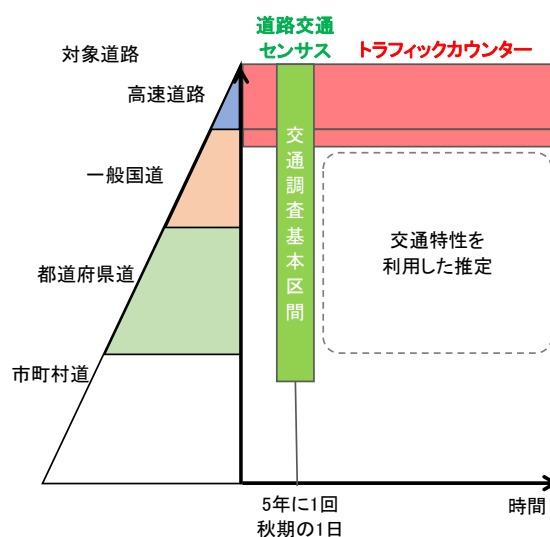


図 6-4-2 これまでの道路交通調査データの収集イメージ

表 6-4-3 に示すように、ICT の進化は、道路交通に関する情報収集能力を飛躍的に高めることとなった。最先端の画像処理技術を活用した画像センサは、これまでの交通量、走行速度の把握に加え、車両軌跡や異常事象の把握までもが可能である。とくに注目すべきことは、カメラを使っていることから、普段の監視作業に使えることである。既設のカメラ映像を処理することでトラフィックカウンタ機能を持たせるということも可能である。

ITS プローブ情報は、全車が装着することはないためサンプル調査となる。そのため調査精度は取得されたサンプル数に依存するものの、車両が通行したすべての道路の走行データをほぼリアルタイムに収集・利用可能である。とくに、旅行速度については、車両の流れに乗って走っている場合が多く、サンプルが少なくても代表性を持つ可能性が高いことから、普及の当初から活用できる点は大きな利点である。加えて、ITS プローブ情報は最大約 80km の走行履歴を収集できることから、一つの路側機で広範囲な情報収集ができる点も大きな利点である。また、画像セン

サから収集できる単路の断面交通量や交差点の方向別交通量と組み合わせることで、道路ネットワーク全体の交通実態の可視化が可能になるという可能性を秘めている点は最大の特徴であるといえよう。

表 6-4-3 道路交通調査データの比較

種別	道路交通センサス			トラフィックカウンタ		画像センサ			ITS プローブ	
計測時間 (条件等)	▲5年に1回 (秋期のある特定の1日)			24時間 365日		24時間 365日			24時間 365日 (対象車両が走行した時点)	
	▲豪雨等の異常天候、イベント等の通常と異なる交通状況の予想される日は除く			条件なし		条件なし			条件なし	
収集タイミング	秋期の調査結果を年間の平均的な交通データとして利用			リアルタイム		リアルタイム			リアルタイム ※路側機通過時タイムラグあり	
データ内容	交通量	旅行速度	OD (出発地、目的地) ▲ゾーン単位	交通量	走行速度	交通量	走行速度	画像、 車両軌跡 異常事象	走行履歴、 挙動履歴、 経路	リンク 旅行時間
集計時間 単位	▲1時間 毎集計	混雑時/ 非混雑時	トリップ単位	5分間/ 1時間	5分間 平均	5分間/ 1時間	5分間 平均	常時	非集計 (真値の 絶対時間)	15分間平均
対象道路	都道府県道・ 指定市の一般市道 以上		▲出発地、経由地、 目的地と高速道路 の利用有無のみ	▲直轄 (平均25kmに 1箇所)		▲一部の道路			すべての道路 (駐車場や施 設内含む)	DRM 基本道路 (都道府県道以上および 幅員5.5m以上の道路)
集計区間	交通調査基本区間		自宅の出発から帰 宅までのトリップ ▲経路把握不可	観測地点		観測地点			非集計 (点群)	DRM リンク 基本道路
計測箇所 ・方法	基本区 間の代 表点	トラカン プローブ を活用	オーナーインタビ ューOD調査 ▲調査票に記入	トラカン 設置箇所		画像センサ設置箇所			路側機 (高速道路、直轄国道)	
対象車両	全車	—	▲2%程度(130万台) ※自家用、事業用	全車		全車			▲ETC2.0搭載車のみ	
車両分類	小型車/ 大型車	なし	乗用車/貨物車等	小型車/ 大型車	なし	小型車/ 大型車	なし	全車	小型車/ 大型車	なし

(3)道路行政の評価への活用

道路事業を実施するうえで、投資効果が出ているか、無駄な事業でないかということをチェックするための事前・事後評価は、国民への説明責任という意味で非常に重要であり、低成長時代に必要な投資を確保していくという意味でますます重要になっていくと思われる。

日本の道路行政は、世界的にも早いうちから業績目標と業績評価に基づいた行政経営改革を行ってきた。図 6-4-3 に示すのが目標管理部門と横断的業務支援部門のマトリックス構造のイメージ図である。目標管理部門は、民間でいう KPI (Key Performance Index) に基づき、政策目標に責任をもつことになる。横断部門は、各目標部門が最大限活躍できるように政策支援を行うが、リソース等の弾力的運用やプラットフォーム化により行政コストを最小限にすることを目標とすることで、行政コストの最小限化と政策目標の達成を実現しようとするものである。

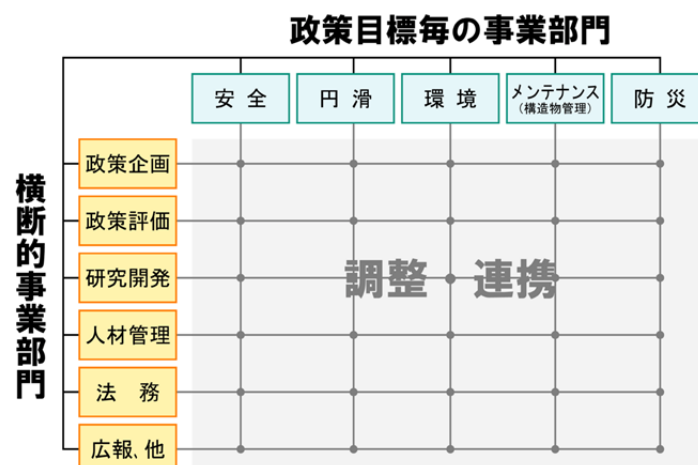


図 6-4-3 業績目標達成のためのマトリックス組織のイメージ図

6-4-3 プローブ情報を活用した新しい道路パフォーマンス指標

ITS プローブ情報は、パフォーマンス指標の算出を大きく改善することが可能である¹⁰⁾。つまり、これまでトラフィックカウンタデータを用いて算出していた従来の指標は、ITS プローブ情報を用いることでより細かく、リアルタイムに、かつ効率的に指標を作成することが可能となる。さらに、従来は把握できていなかった経路データを利用したあらたな指標で表すことが可能で、ほぼ全体のネットワークの状況を継続的に把握でき、道路のネットワークやストックとしての効果を把握することが可能となる点は革新的であるといえよう。

ITS プローブ情報を活用することで算出できる新しい道路パフォーマンス指標を表 6-4-4 に示す。たとえば、「円滑・エネルギー効率」では、現状は道路整備率を政策目標として掲げているが、本来は整備率が上がったことによる利用の変化が道路のパフォーマンスである。利用率や分担率の変化から渋滞損失削減効果を算出し、経年的に積み上げれば、道路が完成してから使われている間の道路のストック効果の一つとなる。

表 6-4-4 新しい道路パフォーマンス指標

目指すべき方向	プローブ情報による あらたな指標の可能性	自動車 専用道路	一般道		参照
			幹線道路	生活道路	
円滑・エネルギー 効率	損失時間・損失額	●	●		
	経路分担率	●	●		図 6-4-4
	都心への通過交通割合	●	●	●	図 6-4-5
	体系的道路利用率	●	●	●	図 6-4-6
環境・快適	時間信頼度	●	●		図 6-4-7
安全・安心	ヒヤリ・ハット率	●	●	●	図 6-4-8
地域活力 国際競争力	・時間圏域	●	●		
	・都市間速達性	●	●		図 6-4-9
	・滞在時間	●	●		

また、これまでは個々の路線で評価していた内容について、今後はネットワークや道路の階層構成を総合的に評価していくことが重要となる。具体的には、より安全性の高い高規格な道路に交通を分担させ、ネットワーク全体としての円滑性、安全性向上を図る、通過交通を排除することで都心のアクセス性を改善する等の道路全体の段階構成の最適化により、都市や地域の活力を評価することが大切なのである。

渋滞箇所や事故多発箇所などの問題箇所については、渋滞ワースト10やヒヤリハットワースト10等の個別ランキングを公表し、優先して対策すべき箇所を明示することで課題を関係者の連携により効率的に克服していくことも期待される。以下に具体的なパフォーマンス指標の算出イメージを提案する。

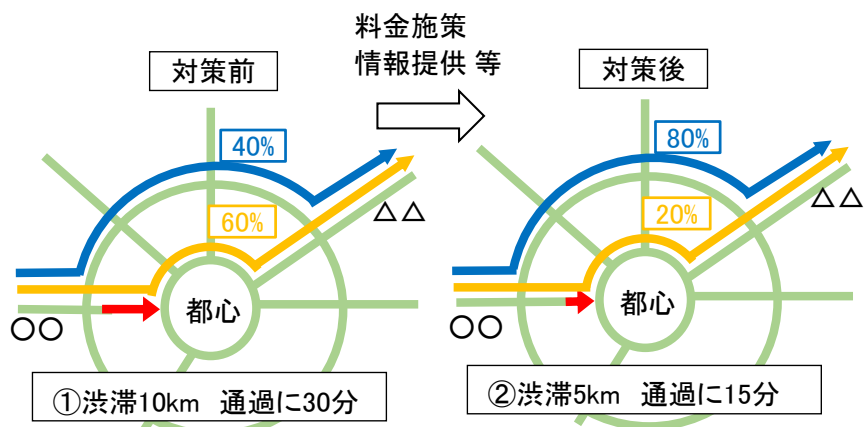


図 6-4-4 経路分担率の加工・集計イメージ

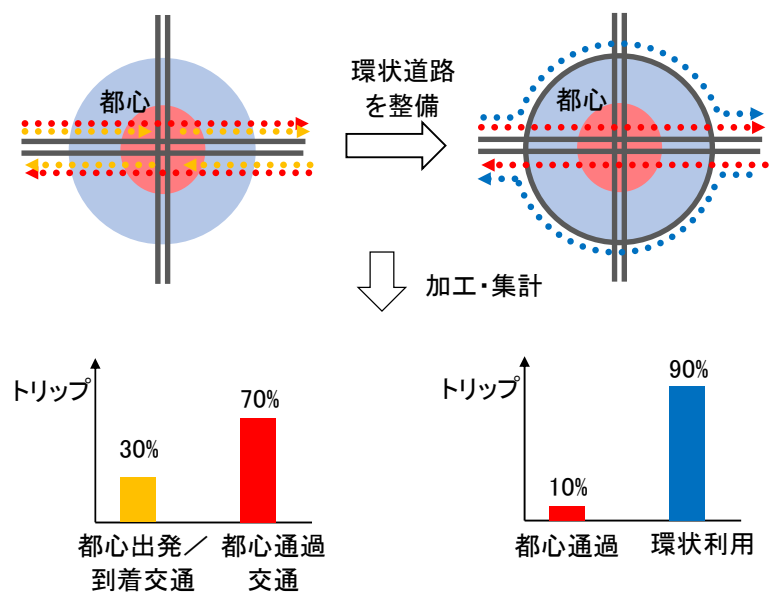


図 6-4-5 都心への通過交通割合の加工・集計イメージ

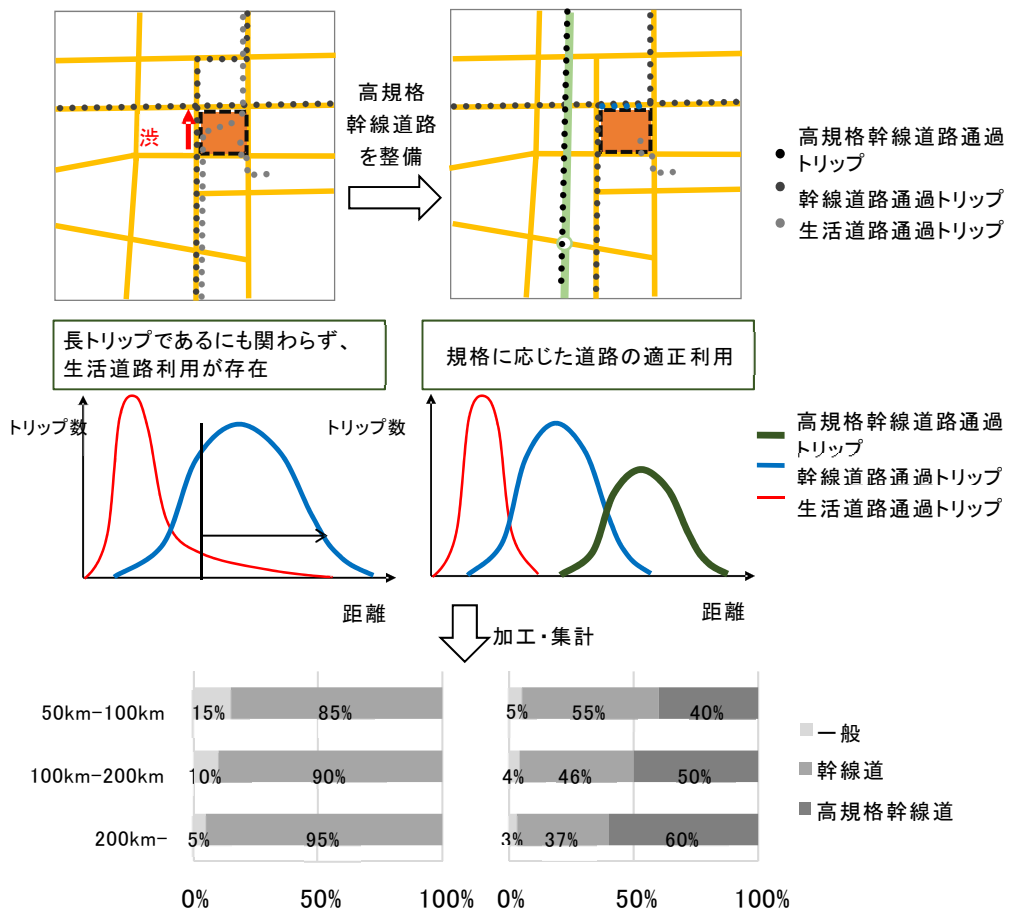


図 6-4-6 体系的道路利用率の加工・集計イメージ

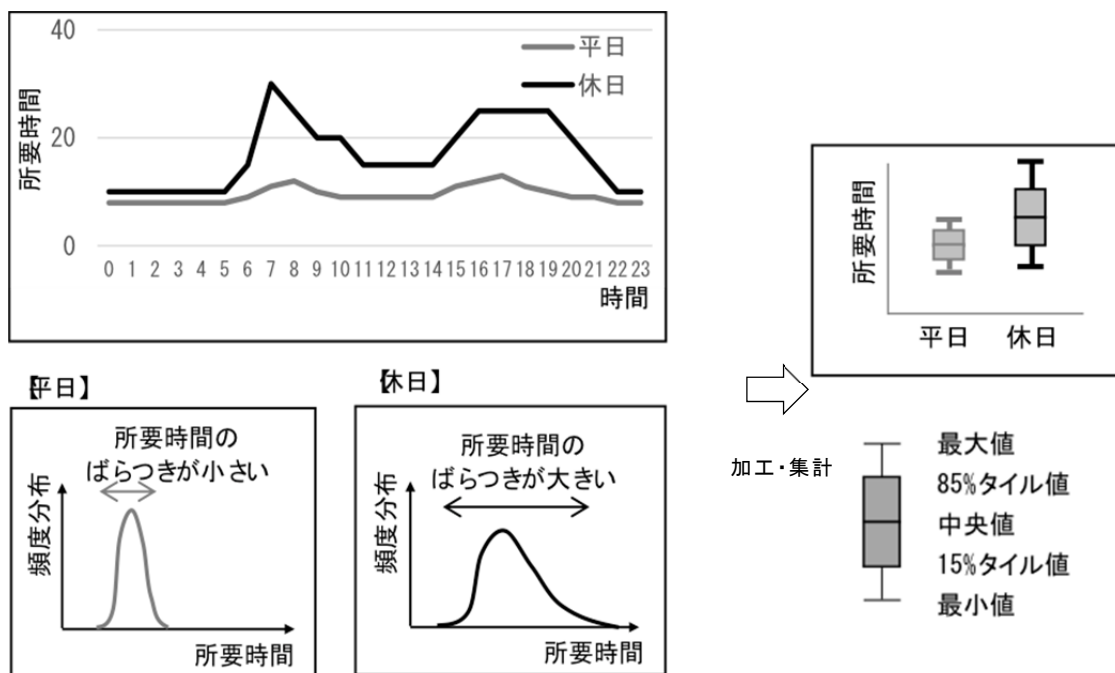


図 6-4-7 時間信頼度の加工・集計イメージ

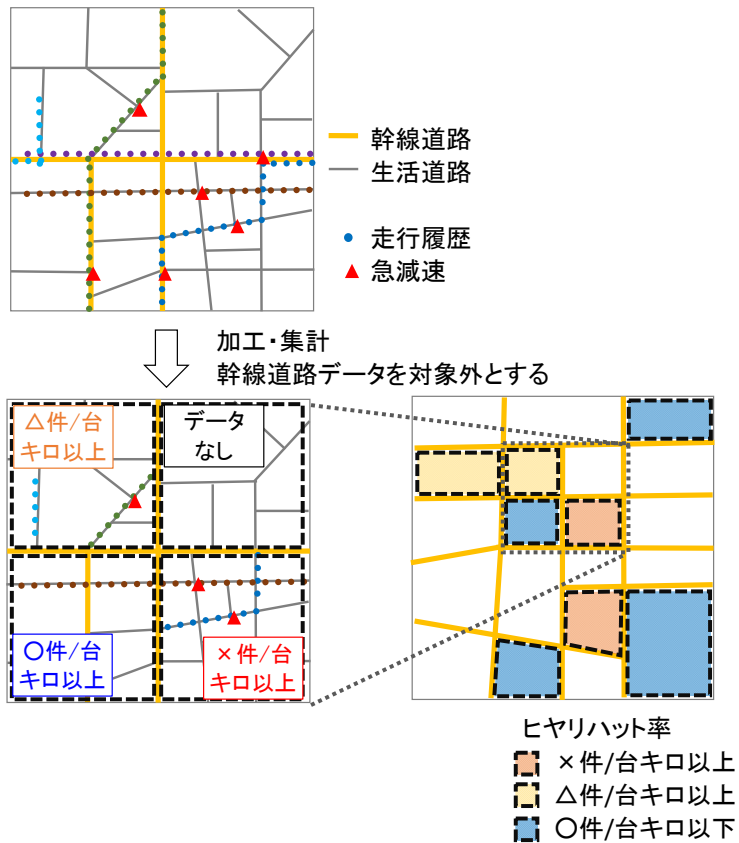


図 6-4-8 ヒヤリ・ハット率の加工・集計イメージ

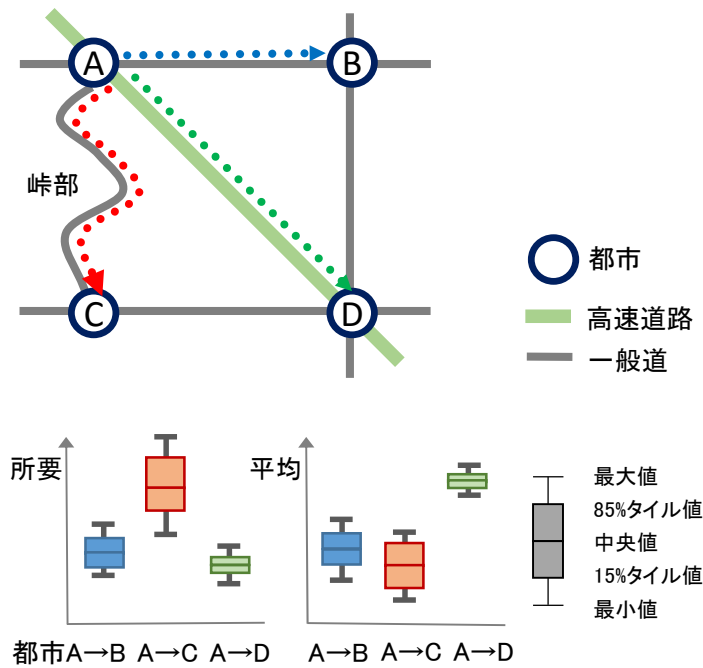


図 6-4-9 都市間の接続性の評価イメージ

6-5 人間中心都市へのイノベーション

ル・コルビジェ¹¹⁾は「住んで、働いて、憩って、動く」というのが人間の基本的な活動であると説いた。そして、人間が求めているのは、「緑と空間と太陽」であり、太陽の光と緑があふれる広い空間を求めて進化していくという。この人間の国土に対する基本的な活動と欲求は、時代が移り変わっても大きくは変わらないであろう。それぞれの基本活動の内容は社会を構成するさまざまな要素、とくに技術が進化することで変わっていくことはありえる。技術の進化の影響を一番受けるのが交通である。事実、徒歩の時代の時速 5 km の世界から、鉄道、自動車、飛行機と進化し、時速 500 km と 100 倍以上ものスピードで移動できるようになった。この移動の進化が国土のイノベーションを引き起こし、人間の求める国土への変化のための原動力となっている。

コルビジェの提案は、産業革命が生み出した工業都市の課題であるスラムを機械の力、すなわちエレベータと鉄筋コンクリートによる高層ビルや自動車による郊外の活用によって解決するというものである。現在の私たちが直面する課題は、この自動車という機械がもたらした交通事故、渋滞、インフラのコスト負担、郊外化による人間性の欠如、核家族化、コミュニティの崩壊、さらには都市の拡大、エネルギー多消費型の生活に伴う地球環境問題、石化資源の偏在による地域間紛争という交通の変化がもたらした新しい課題なのである。

光のスピードで情報がやり取りされる情報通信技術の登場は、さらに交通を進化させる可能性がある。路車協調 ITS の登場は、機械がもたらした負の部分を改善し、人間性やコミュニティを取り戻す方向で、都市や地域という国土のイノベーションを起こしていくであろう。ITS というコンセプトで世界をリードしている日本から、社会を変革する新しいコンセプトが登場し、国土のイノベーションを起こす可能性は高い。

6-5-1 賢い都市の成長へ交通を進化させる路車協調 ITS

路車協調 ITS は、情報通信技術を活用することでこれまで困難であった交通の手段、時間ならびに空間の共有や連携を可能とした。路車協調 ITS の実現は、これまで分断的に管理されてきたさまざまな交通手段が統合的にマネジメントできるツールの登場を意味する。さらに、EV (Electric Vehicle) や PMV (Private Mobility Vehicle) のような環境や高齢者に優しい乗り物も登場してきており、これらの先進的なモビリティの登場は、都市の効率性を追求してきた時代から、安全性や環境、さらにはコミュニティや人間性を取り戻す、人間中心の都市や地域づくりのツールとして交通を使いこなす時代への扉を開けた。

(1) 交通需要マネジメントとモビリティ・マネジメント

都市における自動車交通の集中がもたらす渋滞や環境問題を解決する手段として交通需要マネジメント (TDM: Transportation Demand Management) が積極的に取り組まれてきた。この TDM は、道路整備や公共交通機関の整備には時間とコストがかかるため、交通の需要を調整・抑制するため、ハードとソフトの対策を総合的にマネジメントすることで渋滞をコントロールしようとする対策のことである。

日本で TDM について政策的な議論が始まったのは、1992 年、旧建設省道路局の「NEXT WAY：新長期構想の本」¹²⁾にとりあげられてからである。その後、1993 年の新渋滞対策プログラムに組み込まれ、推進組織として、警察庁、旧運輸省、旧建設省が連携した渋滞対策協議会が設置された。さらに、1996 年には道路局の「我が国における交通需要マネジメント実施の手引き」¹³⁾が発行され取り組みが本格化していった。手引きでは、TDM は「都市または地域レベルの道路交通の緩和を道路利用者の時間の変更、経路の変更、発生源の調整等の交通の『需要』を調整(=交通行動の調整)することによって行う手法の体系」と位置づけている。

また、モビリティ・マネジメント（以下、「MM」とよぶ）というアプローチも 2000 年ごろから登場してきた。土木学会の手引書¹⁴⁾では、「一人一人のモビリティ（移動）が、社会にも個人にも望ましい方向に自発的に変化することを促す、コミュニケーションを中心とした交通政策」としている。つまり、コミュニケーションを重視しつつ、従来の TDM をさらに発展させた TDM の一種として MM を位置づけているのである。MM のアプローチは、個人の行動を変化させるための心理学的なアプローチを重視したものであるといえる。

MM の具体的な施策¹⁵⁾は、トラベル・フィードバック・プログラム（Travel Feedback Program: TFP）と呼ばれるコミュニケーションプログラムで、複数回の個別的なやりとりを通じて、対象者の交通行動の変容を期待するものである。具体的には、アンケートによる事前意識調査、冊子による動機付け、事前調査を活用した個別情報提供により構成される。

(2)交通需要マネジメントからの路車協調 ITS への期待

TDM や MM は、世界のみならず日本各地で取り組みが行われている。これまで指摘された TDM の課題と ITS への期待についてレビューを行い、路車協調 ITS をどのように適用することが可能であるのかについて検討を行う。

原田¹⁶⁾は、地球環境時代のモビリティ戦略における交通需要管理の役割の重要性を指摘し、交通負荷・環境負荷の診断システムの改善、交通行動変更に関する合意形成、交通計画の立案・実施体制の再構築を指摘している。また、欧州の分析から革新的手法としてのロードプライシング、スマートカードによる公共交通財源確保、交通情報活用による需要管理と、それに加えて燃料税の引き上げ、自動車の税金強化、環境負荷の低い都市型車両の普及といった持続可能な手法の組合せについて報告している。将来的には、移動経路ごとの詳細な環境負荷等の情報提供に期待を寄せている。

久保田¹⁷⁾は、TDM の手段の中で、パーク＆ライドや大量公共交通手段の活用などは実用化されたが、ロードプライシングなどは提案段階であるとし、その理由として、法制度上や費用の制約だけでなく、実現のための具体的手段の制約があるとし、ITS によるブレイクスルーに期待するとしている。そのうえで、ERP（エレクトリック・ロードプライシング）やダイナミックパーク＆ライドなどの活用を鎌倉の事例で具体的に指摘し、TDM の「管理」「抑制」といったイメージに対して、ITS

技術を持ち込むことによって、個々の交通主体が主体的に「賢い選択」を出来る状況を作り出すことが理想であるとしている。

石田¹⁸⁾は、交通容量増加策においても TDM においても ITS への期待が高いとし、情報提供による自動車の経路誘導、公共交通への誘導、混雑と環境の改善には ETC を発展させたロードプライシングの導入が不可欠としている。一方、ITS 導入の課題として ITS がもたらす政策効果を国民やユーザが理解できる評価が不可欠であるとしている。そのため、IT を最大限活用して評価に必要なデータ収集・蓄積を可能とするシステムの開発を必要性としている。また、ITS は既存ストックの総合的で柔軟な賢い運用による「質の計画論：サービスレベルの高度化」を目指すものであり、社会実験的手法の適用が大切であるとしている。

太田¹⁹⁾は、TDM から MM までの交通政策の流れを整理し、TDM の課題と今後の展開方向として、TDM は交通政策全体にかかわる一つのコンセプトであり、実効を上げるうえでは供給サイドなどの施策との統合的アプローチが不可欠であること、特に、供給サイドの大規模開発・再開発事業、また道路などの交通整備事業とあわせて実施する“交通アセスメント”が有効であることを指摘している。

鈴木ら²⁰⁾は、TDM に対してスマートフォン、テレマティックスサービス、ITS スポットサービス (ETC2.0) の実用化の進展、欧州での EETS (European Electronic Toll Service: 欧州電子課金サービス) の実用化動向を踏まえて、インセンティブ付与型交通需要マネジメント手法の検討状況を報告している。検討の中で、日本の TDM 施策の現状を調べ、手段の変更 (交通機能強化、歩行者・自転車対策、交通結節点整備、P&R、公共交通線整備) への取り組みが中心で、次いで発生源の抑制 (MM、自動車利用抑制)、駐車場対策、エリア流入規制であり、ロードプライシング等の施策が少ないことを明らかにしている。

TDM 導入初期のころからの指摘も含めて TDM の課題と ITS への期待をレビューしてみると、当初から ITS への期待はあるがそのツールの開発が遅れてきたという事実が明らかであった。レビューから路車協調 ITS が貢献できる分野として以下が考えられる。

- 自動車への経路誘導などの情報提供
- 自治体や民間がつかえるプラットフォームとしての課金システム
- TDM に関する説明責任や戦略立案、政策評価や交通アセスメントに必要な情報収集能力の向上
- スマートフォンを活用した交通情報や移動手段のシェアリング

(3) シェアリングが TDM にもたらす影響

スマートフォンの登場は TDM に対しても大きなインパクトをもたらす。特にシェアリング機能を活用した交通サービスは TDM を大きく進展させる可能性をもっている²¹⁾。2009 年頃から Uber, Zipcar, Blablacar といった新しいモビリティエコシステムが登場した。これらのサービスは、基本的には、スマートフォンのアプリで相乗り車両を呼び出し、あらかじめ登録したクレジットカードで決済できるサービスである。相乗り車両の情報やドライバレーティングが表示されるため、利用

者は安心して相乗り車両を選ぶことができる。ドライバーもレーティングされるため交通法規を守ったり注意して運転したりという利点もあるという。また、クレジットカードによる決済を前提としており現金のやり取りがないことも相乗り車両提供者と利用者の双方の安心材料となっている。

Uber は、新しいサービスを公共交通機関のラストワンマイルや車を持たない人たちへのサービスと位置付けている。Uber の発表によると、現在、車の使用時間は一日平均 50 分で、一日 1.2 人しか輸送していない。相乗りは都市計画を変え、自動車交通を大きく削減し、50%の相乗りで渋滞を解消できる。Uber のサービスは値段がタクシーの半額で、2～3 分で来るため、満足度も高いとしている。

BlaBlaCar 社は、基本的なシステムは、トラベルサーチとコミュニティの形成を目指したもので、世界 19 カ国で 2,000 万人の会員がいる。これまでの効果として、欧州平均 1.7 人の輸送人員が 2.8 人になり、97%の人が相乗りは楽しいと評価し、19%が相乗りを開始したという。安全運転に関しては、75%の人が相乗り中は交通法規を守るようになり、84%が注意して運転するようになったという結果を公表している。

このシェアリングの概念を都市交通全体に拡張しようとしているのが、フィンランドで進められている MaaS (Mobility as a service) というプロジェクトである。MaaS は、移動対象となるヒトやモノを中心に据え、スマートフォンを中心とした情報通信技術によって、交通のインフラとサービス、情報、決済サービスを統合し、それぞれのニーズに最適な手段を、ワンストップで、フレキシブルかつシームレスに提供する仕組みである。モデル都市のヘルシンキでは、通勤や余暇活動のためのより多くの交通容量を確保し、安定的に観光客を増やすために移動者のユーザ体験を改善し続けることが市の課題であるとし、そのため公共交通機関や鉄道ネットワーク、自転車や徒歩のインフラに投資し、情報化によって旅行者の交通チェーンの情報統合を目的とした MaaS の導入を進めている。具体的なサービスは、利用者がウェブサイトやスマホアプリで出発地と目的地を指定すると、最短の移動ルートが検索でき、運賃や利用料金などもオンラインで決済することが可能というものである。

これら新しいシェアリングサービスの登場に対して、タクシー業界からは安全性等に関する意見が出ているのも事実である。シェアリングという概念を社会システムに定着させるまでには、システムだけではなく制度的な議論も必要である。しかしながら、シェアリングエコノミーの登場により、利用者は、「どの乗り物を利用するか？」を意識せず、そのときのニーズやシチュエーションに合わせて、最も効率的な移動手段を選択できる時代が到来しつつある。

(4)ベーシック ITS プラットフォームが TDM にもたらす変化

6-2-1 項の表 6-2-3 で再整理した路車協調 ITS 時代のベーシック ITS プラットフォームを活用すると情報収集、情報提供、決済、駐車管理、ゾーン管理、乗り換え、シェアリングなどの TDM に必要なツールが準備されたこととなる (表 6-5-1)。

この ITS プラットフォームは、TDM の本格的実施の大きなツールになる可能性がある。また、太田が指摘したように、都市計画や交通計画に必要なデータを収集できることから、供給サイドの計画も含めた対策が可能となる。すなわち、ビッグデータ時代の大量な交通情報から社会にとって価値や意味のある情報を抽出し、情報をさまざまな主体と共有することで、供給サイドと需要サイドのハードとソフトも含めた TDM を実現する可能性を秘めているといえよう（表 6-5-2）。

表 6-5-1 TDM に活用できるベーシック ITS プラットフォーム

活用方法	ITS プラットフォーム
情報提供	自宅：PC（インターネット）、地デジ、ラジオ 路側：情報板（VMS）、ETC2.0（データ、音声読み上げ） 車：ETC2.0 対応カーナビ、スマートフォン、地デジ、ラジオ
情報収集	定点情報：CCTV カメラ+画像解析 移動情報：ETC2.0 プローブ情報、 スマートフォンのプローブ情報、SNS
決済	自動車：ETC2.0 個人：IC カード（NFC）、スマートフォン
駐車管理	自動車：ETC2.0、スマートフォン
ゲート・ゾーン管理	自動車：ETC2.0
乗り換え・P&R	自動車：ETC2.0 公共交通：IC カード、スマートフォン
シェアリング	カーシェアリング：ETC2.0、IC カード、スマートフォン 自転車シェアリング：IC カード、スマートフォン

表 6-5-2 TDM 施策メニューと ITS 活用

手法	TDM 施策メニュー	ITS 活用	
供給対策 (交通容量 確保)	道路ネットワーク化	道路ネットワークの拡充（特に環状道路）	プローブ情報を活用した合理的な計画
	駐車管理	駐車マネジメント、路上駐車適正化	ETC2.0 を活用した駐車スペース管理
	信号制御	地域制御、高度化、ラウンドアバウト	プローブ情報を活用した制御高度化、路車協調によるグリーンウェイ制御
	公共交通	交通ネットワークの充実（地下鉄、LRT、BRT の計画的導入）	プローブ情報を活用した合理的な計画
需要対策	発生源の調整	遠隔地通勤、遠隔地会議 職住近接、公共交通優先開発（TOD） 道路課金、ゾーン課金	ETC を活用した道路課金
	手段の変更	パーク&ライド、パーク&バスライド 大量公共交通機関の利用（交通結節点改善、バスロケ） トランジットモール 自転車専用車線 徒歩専用地区	IC カード+ETC2.0+スマートフォン スマートフォン乗換案内 バスロケ ETC2.0 によるゾーン管理
	時間帯の変更	フレックスタイム 時差通勤	
	経路の変更	駐車場情報提供 リアルタイム交通情報提供 カーナビゲーションの利用	カーナビ活用 プローブ情報活用による交通情報の充実
	自動車の 効率的利用	電気自動車や電気バスの導入 相乗り（カープール、バンプール） カーシェアリング 共同集配 ロジスティクスの効率化	スマートフォン相乗システム IC カードやスマートフォンを活用したシェアリング ETC2.0 を活用した共同集配スペース管理 ETC2.0 を活用した物流支援

また、表 6-5-3 は一般的に言われている TDM の施策メニューの導入時期である。長期的な対策については、インフラ整備による対策が中心となる。これに対する ITS の活用方向は、大規模な投資プロジェクトに対する説明責任の強化である。ITS で収集されたデータを活用した交通アセスメントを行い、無駄のない計画を立案し、分かりやすい指標で国民に示すことが可能となる。

一方の短期的な対策は、ITS 対策が有効に使える。情報提供が中心となることから、情報量が結果を大きく左右する対策であることがわかる。これらを効果的に実施するためには、対策のロードマップを意識しながら、ETC2.0 やスマートフォン、交通 IC カードを活用した交通諸データを収集し、カーナビゲーションシステムやスマートフォンに提供する方法を構築し、加えて、料金によるコントロールが可能となるフレキシブルな決済システムを導入し、全体を統合的にマネジメントできることが不可欠となる。

表 6-5-3 TDM 施策の導入時期と ITS の役割

時期	TDM 施策メニュー	ITS の役割
広域なインフラ整備		
長期	<ul style="list-style-type: none"> ・都市再開発：TOD(Transit Oriented Development) ・道路ネットワークの拡充：環状道路，信号制御，ラウンドアバウト ・交通ネットワークの充実：鉄道，LRT 	ETC2.0，交通 IC カード，スマートフォンのプローブ情報を活用した交通状態の可視化，計画作成支援，事前評価，事後評価の支援
ソフト対策，情報提供，局所的なハード整備		
短期	<ul style="list-style-type: none"> ・ソフト対策：フレックスタイム ・情報提供：インターネットや情報板，車載器への駐車場情報，リアルタイム道路交通情報，経路案内の提供 ・狭域なハード整備：駐車場や乗継拠点，パーク＆ライド，相乗り，道路課金 	情報提供，経路誘導，課金・割引，ゾーン管理，乗り換え割引，相乗り支援などのプラットフォーム

6-5-2 人間中心都市づくりと路車協調 ITS

自動車は都市を大きく拡大させ 100 万都市を生み出し、大都市が連たんするメガロポリスを形成するまでに至った。しかしながら、日本で本格的な道路整備が始まったのは戦後で、時間的にも半世紀程度しか経っていないことや平地が少なく地価が非常に高いといった土地利用上の制約等もあり、欧米諸国に比べ道路のストックが非常に劣っているのが現実である。また、欧米諸国のように明確な計画の下で面的に整備されているところが少なく、市街地が街道沿いに線状に都市周辺部に向かって形成されているものが多い。そのため、都心に向かった放射状の道路のみで、かつまた、高度経済成長期に都市化が急激に進んだこと等もあり、バイパスや環状道路の整備が不十分なまま、都市が肥大化し、都心への進入部で大渋滞を引き起こしているのが実状である。

人間のための「緑と空間と太陽」を取り戻すためには、快適な歩行空間や公園などのオープンスペースを生み出し、公共交通機関で老若男女が自由に移動できる空間づくりが不可欠である。そのためには、既存の道路空間を活用しなければならないという問題が生じる。このことは、これまでの自動車利用者が享受していた利便性を制限することに他ならず、自動車による通過困難、物資搬入の困難、タクシーへの影響、自動車での来客の減少など計画の方向性を間違えると、逆に経済活動の足を引っ張りかねない問題となる。

(1) 三位一体の人間中心都市づくり

人間のための空間を生み出すための方法として、杉恵ら³⁰⁾は環状道路整備、公共交通によるアクセス、人間のための都心づくりの三位一体となった総合的な戦略の立案の必要性を提案している（図 6-5-1 参照）。

具体的には、まず、中心市街地に用いない通過交通は最優先に排除しなければならないとし、都市部の環状道路やバイパスが整備されていない地域は早期に整備しなければならないとしている。次に、通過交通が減った道路空間を活用し、LRT や BRT などの公共交通のネットワークを充実する。通過交通が減らない場合は、統合交通マネジメントにより、需要を調整する必要があるとし、これらを総合的に進めていく必要があるとしている。

なかでも最も大切なのは、A の人間のための都心を作り出すということである。緑があふれ木漏れ日の中を人が歩き会話がはずむ都市では、商店街も元気で、地区にはコミュニティが形成され、子供たちの成長を見守りながら、持続的に発展していくものである。二つ目は、B の公共交通機関を活用した都心へのアクセス交通である。需要が集中する放射状方向の交通は公共交通が受けもつのが一番効率的である。三つ目が、C の通過交通対策である。環状道路と道路ネットワークを効果的に活用する必要がある。これらの三つの戦略が同時に進められることで、都市の構造的な問題が解決されるという提案である。

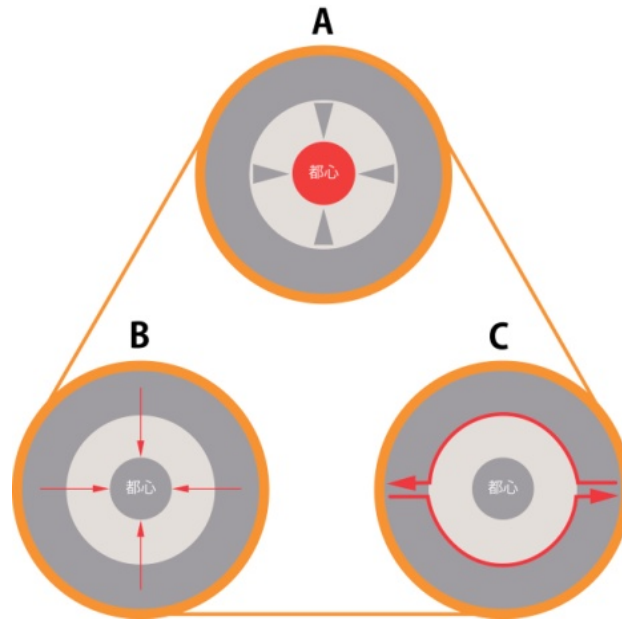


図 6-5-1 三位一体の人間中心都市づくりの概念図 ³⁰⁾

(2)人間中心都市づくりと路車協調 ITS

路車協調ITSはこういったABCを組み合わせた総合的な交通対策を支援するために使うツールとして活用できる。その活用のポイントについて整理を行う。

まず、表 6-5-1 に示した ITS プラットフォームを使い、都市における人や物の移動の実態を可視化し、分析することから始めるべきである。実態を知れば、処方箋も書けるし、何をやらないといけないかという対策の意味について利害関係者の賛同もえやすい。対策についても考えられる代替案をサイバー空間でシミュレーションし、どうなるのかという未来を覗き見すればよいのである。日本が誇る世界最先端の情報通信工学、機械工学や交通工学を使いこなすことで、スマートな国土の成長につなげていくことが可能となる。

ITS が目指す目標は、決して自動車を売るとか、道路をつくるとか、スマートフォンを売るといったことが目標なのではない。「緑と空間と太陽」を人間に取り戻し、挨拶や笑顔があふれるコミュニティ、安心して生活できる生活空間を取り戻すために技術を使いこなすことが目標なのである。ITS を活用した人間中心都市へのアプローチをまとめて見ると表 6-5-4 になる。

表 6-5-4 人間中心都市づくりと ITS の活用

A「人が集まる」歩行者中心の都心づくり	ITS を活用した TDM
<ul style="list-style-type: none"> ・都心は人が集まり、ゆっくりと滞在できる人間中心の快適歩行空間にしなければならない。 ・歩道や自転車道は、興味をそそられるルートを形成し、そのとおりは、建物、木々、外灯など周囲の景観と環境に工夫を凝らし、高齢者や身体障害者に対してもバリアフリーでなくてはならない。 ・歩いて楽しい都心にするため、適切な箇所にベンチやトイレなどの休憩施設、オープンカフェ、ポケットパークのような憩える施設を配置しなければならない。 ・「通り名」のような分かりやすい案内や「さるく」など、歩くための仕組みづくりをもたなければならない。 ・ICT は歩行者支援や都市観光支援にうまく活用しなければならない。 ・歩行支援のための循環バス、トランジットモールなどの仕組みをもたなければならない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ETC2.0 によるゾーン管理(ムービングボラード、ゲート管理、ゾーン課金) ・CCTV と ETC2.0 を活用した路上駐車マネジメント、共同集配マネジメント ・バスロケーションシステム ・交通 IC カードを活用した地域ポイントシステム(地域通貨による移動支援財源確保) ・スマートフォン、デジタルサイネージを活用した歩行、乗り換え情報、観光、外国人支援の情報提供 ・地域のおもてなしの心を表現するインフォメーションセンターと会話機能付きデジタルサイネージやスマートフォンとの組合せ
<p>B「滞在時間を延ばす」公共交通機関を中心とした都心アクセス</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ・電車やバスについては、人と環境に優しい都市内の水平エレベータという都市の装置として位置付け、超低床型の車両の導入、乗降施設の整備、交通結節点への乗り入れ、郊外への延伸、快速運行、高速バスの導入等を検討しなければならない。 ・中心部の平面的駐車場は極力作らないこととし、郊外部の大規模駐車場や都心周辺部の立体駐車場を整備し、商店街と連携した一日料金や無料化の取り組みを進め、公共交通機関との連携を強化することで、滞在時間を延ばしアクセス性を高めなければならない。 ・自転車利用のルールを明確にするとともに、とくに駐輪問題に対しては適切な場所に駐輪施設を配置し 違法駐輪に対する取り締まり強化やマナーの向上について対策を検討しなければならない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートフォンと交通 IC カードを活用した公共交通とシェアリングの統合サービス、乗換案内サービス ・ETC2.0、交通 IC カードとスマートフォンを活用したパーク&ライド、パーク&バスライド ・公共交通機関のロケーションシステム ・ETC2.0 を活用した高速バス割引 ・駐車需要の把握と滞在時間やアクセスを増やす駐車場 ITS 導入(ETC2.0 活用)
<p>C「通過交通を排除し」自動車と共存するための基盤づくり</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ・都市部における環状道路やバスを早期に整備して、通過交通を中心部から排除し、TDM やパークアンドライドなどの公共交通機関との連携を強化するマルチモーダル施策を進めることで、自動車との共存を図らなければならない。 ・賢い都市の成長を支えるツールとして、交通情報の収集・分析・情報提供をスマートに行うための ITS の導入を進めなければならない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ETC2.0 プローブ情報や CCTV トラカンを活用した道路ネットワーク交通実態の正確な把握 ・都市圏全体の交通実態を把握するための自動車、公共交通、スマートフォンなどの交通情報の統合 ・ETC2.0 を活用した旅行時間情報提供や経路別料金割引を活用した道路ネットワークオペレーション ・アクセス性を高めるための P&R 駐車場などの情報提供や予約

6-5-3ITS を使いこなすための仕組みづくり

(1)基礎自治体を使いこなすために

これまで、交通に関する情報は、観測するための情報収集機器が高かったことから、交通情報は限られた一部の機関によって情報が収集され、収集された少ない情報を社会に使えるデータにするため一生懸命加工し、情報を提供してきた。その結果、移動の実態把握に必要な渋滞状況、駐車状況、公共交通での移動、物流、荷捌き交通、観光流動、高齢者の移動などの情報は、国、都道府県、市町村の道路管理者、都市計画関係者、公共交通事業者、観光部局、商工部局、都道府県警察などで別々に収集蓄積され活用されてきた。

ITS の機能を装備した道路からは、さまざまなセンサ情報がネットワークを通じて運ばれてくる。これまでの交通情報を囲い込みビジネスをすることは意味がない時代となる。大切なのは、情報という「もの」ではなく、都市・交通問題解決のためにどのような「こと」に使うかという視点である。都市・交通問題という「こと」は、基本的には都市圏内で起きている問題であり、市民生活や地元の商業活動と密接に結び付いていることから本来的には基礎自治体が戦略をもち進めていかなければならない。そのためには、図 6-5-2 のような関係機関の持つ移動体情報を共有して分析する体制と情報分析の仕組みが不可欠である。そして、その分析結果を使い多くの利害関係者が連携して、市民や地域のために実践していくということになる。

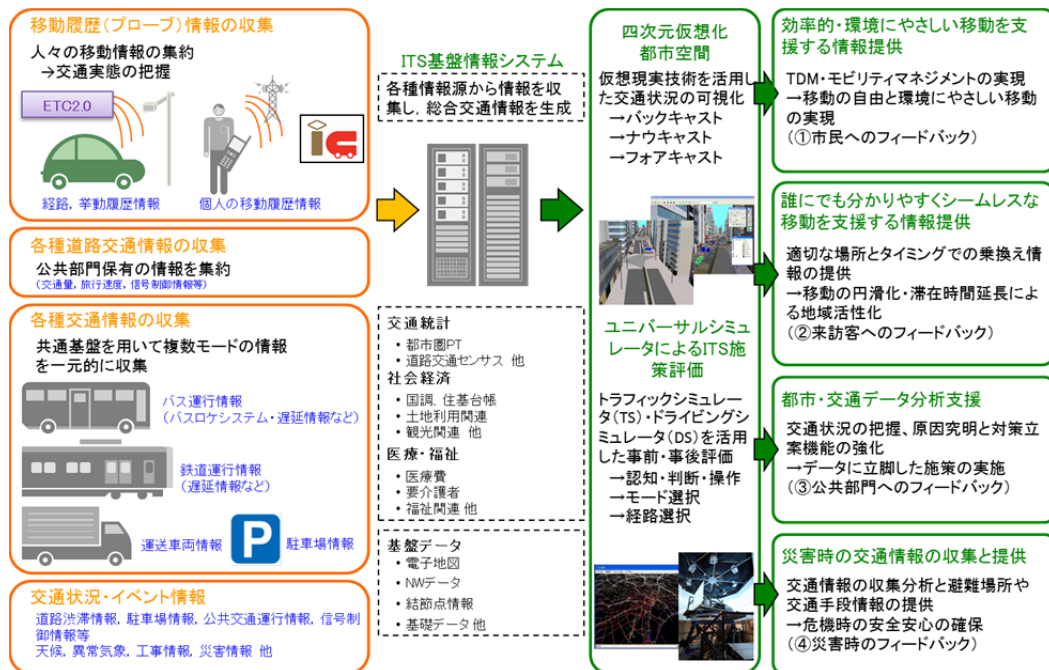


図 6-5-2 地域 ITS 研究センター（仮称）の概念図

基礎自治体が使いこなすためには、以下の課題がある。

- ① 情報収集、蓄積、分析、提供のツール不足、
- ② ツールを使い分析や実践ができる人材不足、
- ③ ビジネスモデルの成立、といった課題がある。

①については、ITS のプラットフォームとなりうる国家標準の仕組みや、デファクト標準の仕組みが活用できることが大切である。ETC2.0 などのゾーン課金やプローブ情報収集の仕組みを、国道事務所などを通じて基礎自治体が見えるようにすることや、デファクト標準となる民間サービスを公的セクターが比較的簡単に使える仕組みづくりが必要であろう。

②については、米国などで州 DOT、基礎自治体と大学が連携して情報の収集、蓄積、分析、提供を行っている ITS センターが参考になる。大学と道路交通部門が共同で運営することで、学術研究要素がある部分は大学が研究予算で、実務部門は公共の予算で取り組むという仕組みである。大学で技術を身に着けたポスドクという人材を有効に活用できる点で優れている。

③については、次項で説明する。

(2)ITS を活用するためのビジネスモデル (3Wins)

これまで ITS の導入に関しては、社会実験などで補助金がある期間は、それなりの効果をあげるが、補助金がなくなり、運営経費をどうするかという課題で行き詰まるというケースが散見される。いずれにせよ、交通改善のための運営を行うためには、経常経費が必要となる。運営経費をねん出する方法としては、①利用料を徴収する、②広告等の受益者から徴収する、③税金を投入するといった方法がある。これまで ITS が地域で運営困難であったのは、この経費をねん出する仕組みをうまく組み立てることができなかつたからである。

その仕組みを考えるにあたっては、利用者（市民、来訪客）、サービス提供者（公共交通事業者、駐車場事業者、商店街など）、公共部門（市役所、道路管理者、交通警察）のそれぞれがメリットを感じ、必要なコストを賄える仕組みづくりが重要となる。

1)利用者

利用者に関しては、買い物のような嗜好品を購入するコストと比べて、移動に関するコストは負担感を強く意識してしまう傾向にある。そのため、極力コストを見せないことが大切である。例えば、中心市街地が都心へのアクセスに対して料金を徴収するとなると、利用料金が見えにくい自動車と無料駐車場をアクセスのツールとして持つ郊外型店舗に流れてしまう。そのため、ETC2.0 や交通 IC カード、スマートフォンを活用した割引やポイント（地域通貨活用）などの施策をうまく組み合わせ、買い回りをするとポイントがたまり、駐車場代や公共交通の利用料金が無料になるなどのサービスを組み立てる必要がある。

これを実施するためには、どの駐車場に駐車したのか、どの公共交通を活用したのかというデータと、買い物をした店舗を紐づけるクリアリングハウスが必要となる。地域通貨やエコポイントと組み合わせるとさらに利用者メリットが大きくなる。

例えば、これまで駐車場割引は、契約駐車場のみであったり、最初に買い物した店舗が割引を負担するため、無料時間に制約があったりした。ETC2.0と交通ICカード、スマートフォン、クレジットカードを紐づけ、店舗でのポイント管理を都市圏全体ですることができれば、利用者は一日駐車しても無料となるようなサービスが実現可能である。

2) サービス提供者

サービス提供者は、①利用者が増える、②空き空間や時間がうまく活用されて利益が上がる、③来訪者の滞在時間が伸びて消費金額が増えるなどのメリットがなければ持続的でない。ITSによる移動情報の可視化は、滞在時間や立ち寄り回数などサービス提供者へのメリットも可視化されるため、収益が上がった分の一部をTDMの投資に回すことが可能となる点はビジネスモデル化の重要なポイントとなる。

また、先に述べたクリアリングハウスを商工会議所等が構築することで、地域通貨やエコポイント化による地域経済振興といった必要もあるだろう。基本的には、土日は家族全員が都心に公共交通で来ることを無料にするといった仕組みの構築も可能かもしれない。

例えば、ETC2.0などをうまく使うと、立体駐車場の使われない上層階の部分や、商業地から離れた駐車場などは割引率を上げたり、そこへの誘導情報を提供したりすることで、使われない空間の利用率を上げることも可能となる。利用者も安さや駐車しやすさで選択する人もいることから、適切に情報提供ができればWin-Winの仕組みとなる。ITSによりこれまで使われなかった空間や時間が活用できることで、その収益の一部をポイントとして還元することでビジネスモデルが成り立つ可能性も出てくる。

3) 公共部門

公共部門が運営を行うとなると、基本的には税金で賄うことになる。特に、新しい施策を行う場合は、その必要性や効果に関する説明責任が不可欠であったが、その説明に必要なデータをそろえること自身が困難であった。ITSがもたらす移動情報の可視化は、公共部門からの投資のパフォーマンスを明確にすることができる。

また、都市交通の改善は、都市全体のパフォーマンスをあげ、税収を増やしたり、福祉などの負担を減らしたりするという可能性もある。これらを交通ビックデータ分析などにより税金投入の合理性を説明することも可能となるかもしれない。地域ITS研究センター等で算出すべき都市経営に関する交通部門のパフォーマンス指標を表6-5-5に示す。

しかし、システムの運営等の経常経費に税金を投入することは、財政の硬直性をもたらす危険もあるため、極力、公設民営という道筋を検討すべきであろう。すなわち、公共部門の投資によりITSのプラットフォームを導入し、その運営に関しては、民間部門がクリアリングハウス等を通じてや地域通貨を活用することでねん出できるのが望ましい。

表 6-5-5 都市経営のパフォーマンス指標 (KPI)

都市の目標	都市経営パフォーマンス指標 (KPI)	行政の政策目標
事故ゼロ	子供の事故率 生活道路の事故 (結果) 生活道路における自動車の急減速 (予防)	生活ゾーン対策 ゾーン対策化率 歩ける空間対策
環境負荷削減	公共交通機関活用 トリップ長 自転車利用 歩く率	歩行者道路ネットワーク 立体横断率 自転車計画 自転車道計画 駐輪場計画
中心市街地 活性化	街の滞在時間 買い回り率 公共交通活用 駐車場利用率	公共交通計画 結節点改善率, バス停配置計画 経路・料金
高齢者元気	高齢者の外出率 高齢者の活動率	道路計画 階層利用率
観光が楽しい	観光客の滞在率 回遊率	ICアクセス圏 自動車専用道路利用率

(3)大都市圏統合交通マネジメントの実現

大都市圏は少し状況が異なる。東京、大阪、名古屋などの大都市圏では、交通行動の活動範囲が基礎自治体や都道府県の範囲を超えてしまっている。この問題をうまく解決しているのは米国である。米国では、大都市圏計画機構 (MPO: Metropolitan Planning Organization) という行政体が陸上交通予算法に基づいて設置され、都市圏の交通計画や都市計画、土地利用計画、関係機関の計画の統合の実務を担っている。MPO による計画承認がないプロジェクトは、ガソリン税をベースとした道路特定予算が交付されても執行権が付与されないという仕組みで、計画と予算をリンクさせている点が特徴である。

大都市圏の交通問題の解決も、利害関係者が増えること以外は基本的には同じで、大都市圏の交通データをしっかりと分析・研究し、何をすべきかを理解していくところから始めなければならない。

6-6 ITS による安全・安心な国土づくり

6-6-1 地球環境時代とモビリティ

路車協調 ITS の実現は交通渋滞や事故は減らせる可能性はあるが、移動そのものが減少するかといえばそうとはいえない。電子メールやネットミーティングは直接会っての会合を減らすことはあるかもしれないが、逆にネットショッピングなど日本の各地や世界の商品を買うことができるという意味で、物の移動を飛躍的に増やす可能性がある。商業の本質は商品や情報の交換であることを考えると、グローバルに商品や情報が動くことは日本の経済的発展にもつながり歓迎すべきことなのであろうが、トラックによる商品の輸送の増加は、トラックが石化資源を活用したエネルギーを動力源にしている限り、CO₂ を排出して地球環境問題の大きな要因の一つであり続けることになる。

トラックから鉄道などにシフトさせればよいという考えも有力な手段であるが、経済の血流である物流を効率化してきたのもトラックであり、在庫管理を極力少なくしジャストインタイムで荷物を運びこむビジネスモデルは、トラック輸送が実現したといってもよい。地球環境を守るためには、トラックの動力のエネルギー源を変革するという総合的な対策に加えて、経済システムとの関係をふまえた自動車の利便性、経済的合理性と環境負荷のバランスをとる仕組みづくりが不可欠であるといえよう。

(1) エネルギーの議論に不足しているモビリティの視点

低炭素化社会に向けたさまざまなアプローチも始まっている。スマートグリッドやマイクログリッドとよばれる取り組みである。スマートグリッドとは ICT を取り入れた賢い送配電網のことをいい、従来型の中央制御では管理できない、電力の細かい需給調整を目指すものである。マイクログリッドとは、分散型電源と住宅、オフィス、学校などの電力需要とを細かく管理し、太陽光発電や風力発電といった発電の変動が大きい発電の有効活用も含めた電力供給サイドの変動の調整、蓄電施設の効率的利用、電力消費サイドの省エネルギー化を目的としたものである。

両者に共通するのは、省エネルギーのための電力供給サイドの調整だけではなく、需要サイドのマネジメントも含めた社会全体での省エネルギーを目指している点である。その実現のためには、電力会社と顧客という関係者だけでは不十分で、家庭や事業所も含むさまざまな発電主体、電力消費主体が連携して発電情報、蓄電池の空き情報、電力の消費情報を共有し制御していく必要がある。つまり、コミュニティレベルでの発電と電力消費で需給を調整していく方法である。

しかしながら、電力サイドからのアプローチでは低炭素化社会を目指すためにはまだまだ不十分である。CO₂ 排出の 3 割を占める運輸部門の対策が含まれないからである。これまで運輸部門の低炭素化の対策は、排出ガス規制の強化による単体規制、鉄道などにシフトさせる交通需要マネジメント、エネルギー源を変える EV の普及などが実施されているが、単体規制以外は実現が困難であった。

その原因は移動の主体が個人であることに起因する。まず、移動で消費されるエネルギーの実態把握が困難ということである。電力のように家庭や事業所といった特定の場所での消費と異なり、移動しながらエネルギーが消費されるためガソリン消費という形でしかエネルギー消費ができなかった。つぎに、省エネルギー化を図るためには、交通の発生、集中、駐車を個々の車ごとにマネジメントする必要があり、子供から高齢者、製品などの物も含めた多様な移動主体に最も省エネルギーな移動手段を選択してもらう必要もあることから、交通の状況に関する情報と選択できる移動手段に関する情報が完全に市場に流れている状況を作り出すことはこれまでの技術では不可能であった。

また、EVやPMVなどの新しい次世代型モビリティの導入には電気の供給というまったく新しい課題も生じてくる。日本は世界で最初に2009年にリチウムイオン電池と回生ブレーキを組み合わせたEVの量産化に成功し、多くのEVが市場に投入されたEV先進国の一つである。現在でもすでに急速充電器を普及することに苦労しているが、本格的な普及段階となりEVの数が増えた場合はさらに困難に直面することが予想される。急速充電でさえ30分程度の時間がかかること、EV一台あたり戸建て住宅2軒分の電力を必要とすることなどから、電力のグリッド管理上の大きな変動要因となるのである。とくに地方部においては、エネルギー消費の中でも移動が占める割合が大きいためマネジメントは非常に困難になってくる。

これらの新しい課題が意味することは、平常時のエネルギーマネジメントにおいて自動車の交通の変化を的確に理解することが重要であることを示している。つまり、エネルギー消費の最小化とモビリティの最適化を同時に実現するためにはスマートなコミュニティとモビリティのマネジメントが可能となる国土づくりが求められている。

(2)エネルギーとモビリティの融合

エネルギーとモビリティのマネジメントを統合していくためには、コミュニティ単位でエネルギーの生成、輸送、消費とモビリティの発生、集中、駐車という情報を把握し、環境負荷とエネルギーの最小化、移動の最適化を目指していく仕組みづくりが必要となる。コミュニティレベルでの最適化が無理である場合、その上の階層となる都市レベルで調整を行う、さらにそれでも最適化が無理であれば都道府県レベルで調整を行う階層化したエネルギー・モビリティ・情報をマネジメントするシステム(EMIとよぶ)を作り出すことが必要となってくるであろう。

なぜコミュニティ単位であるかという点、一番把握と制御が難しいのが人々の日常生活だからである。工場や事業所は経済合理性の中で活動が規定されるために比較的稼働実態や制御がしやすい領域である。一方の人々の日常生活は捉えにくく、かつまた自由意思で行動するため制御は不可能に近い。しかしながら、個々の行動を分析していくと活動の中心はコミュニティであり、自宅での電力消費や通勤通学のような移動が大きなエネルギー消費要因となる。これらを調整するためには、個々人のエネルギー消費の可視化を行い、節電意識の醸成とその調整をコミュニティ単位で行っていくことが合理的であると考えられる。

実際に、コミュニティをベースとしたエネルギーとモビリティの統合したマネジメントシステムを作るためには、これまで別々に管理されてきたエネルギーとモビリティのデータについて定義し、プロトコルを定める必要がある。プロトコル等は世界標準等も視野に入れて検討を行うことが重要である。なぜなら我が国で開発された仕組みが世界のエネルギー・モビリティマネジメントに貢献できるからである。つぎに大切なのが移動の可視化である。ITSの進化は自動車や公共交通での移動を把握し、理解できるように可視化を行うことを可能とした。プローブ情報、携帯電話のGPS情報、路側のCCTVによる自動車や歩行者の交通量などを組みあわせて、24時間365日の移動実態を可視化していくための仕組みをコミュニティベースで作っていく必要がある。

こういった最先端の実証実験が長崎県の五島列島で行われて、世界的に注目されている。長崎EV&ITSコンソーシアム（会長：川嶋弘尚慶應義塾大学名誉教授）の活動である。燃料を船で輸送しなければならない離島で、太陽光発電や風力発電で発電した電気をマイクログリッドでマネジメントし、その電力を電気自動車に供給するとともに、ITSにより充電箇所への誘導、観光案内、プローブによる移動の可視化を統合していきこうという先進的なプロジェクトである。ここで作られたコンセプト（図6-6-1）と提案されている具体的な機器の仕様は、世界的にも注目されている。

五島エコアイランド構想

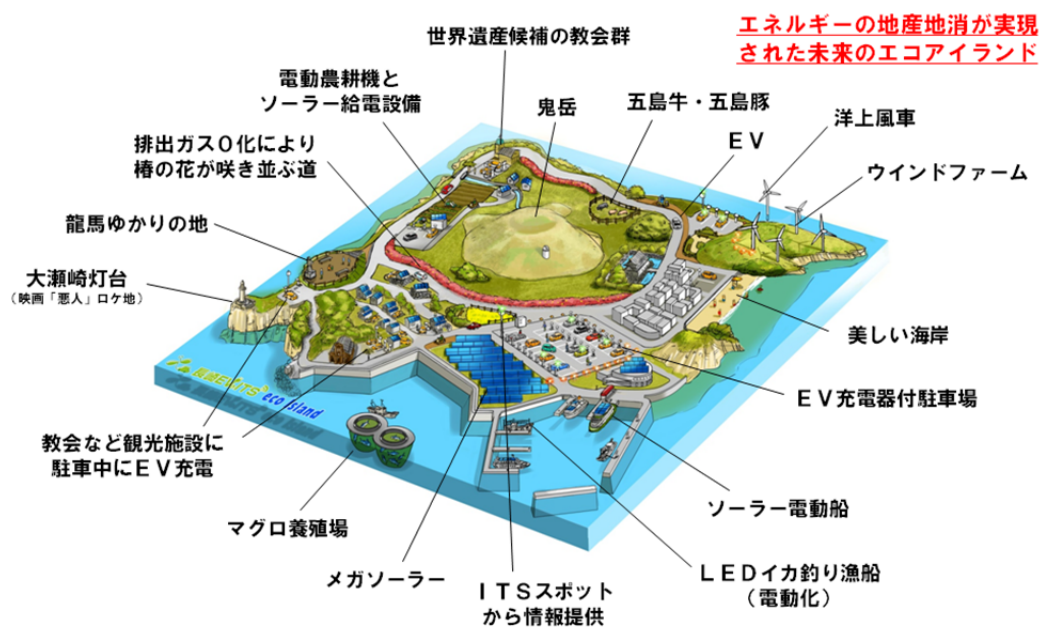


図 6-6-1 長崎 EV&ITS～五島エコランド構想～

EMIは、省エネルギーとモビリティの最適化のためだけに使えばよいというわけではない。東日本大震災では、災害発生時の避難や救援はまさに移動という機能そのものであり、人の命を救うための最も重要な分野の一つであることが明らかになっている。また、電力の消失も避難や救援活動などの大きな妨げになったことは記憶に新しい。想定外の災害が起こった場合でも、最低限の機能が生き残るといような考えが必要なのである。しかしながら、災害時のためだけに設計され整備された仕組みはなかなか使いこなすことが難しいということも反省事項である。

大震災の教訓をふまえると、EMIシステムは、災害時に必要な最低限のエネルギーをコミュニティ単位で確保し、避難や救援のために通行できる道路を明らかにし、必要なモビリティを確保するよう設計され運用されなければならない。それも住民や就業者のみならず、外国人やビジネスで来られた方など万人が活用できることが必要で、安全に避難させるために避難所や避難路の整備などのハード対策に加えて、避難誘導や被災情報の提供などのソフト対策なども含めた総合的な仕組みづくりが次世代のエネルギーとモビリティのマネジメントに求められているのである。

統合プラットフォーム全体構成イメージ

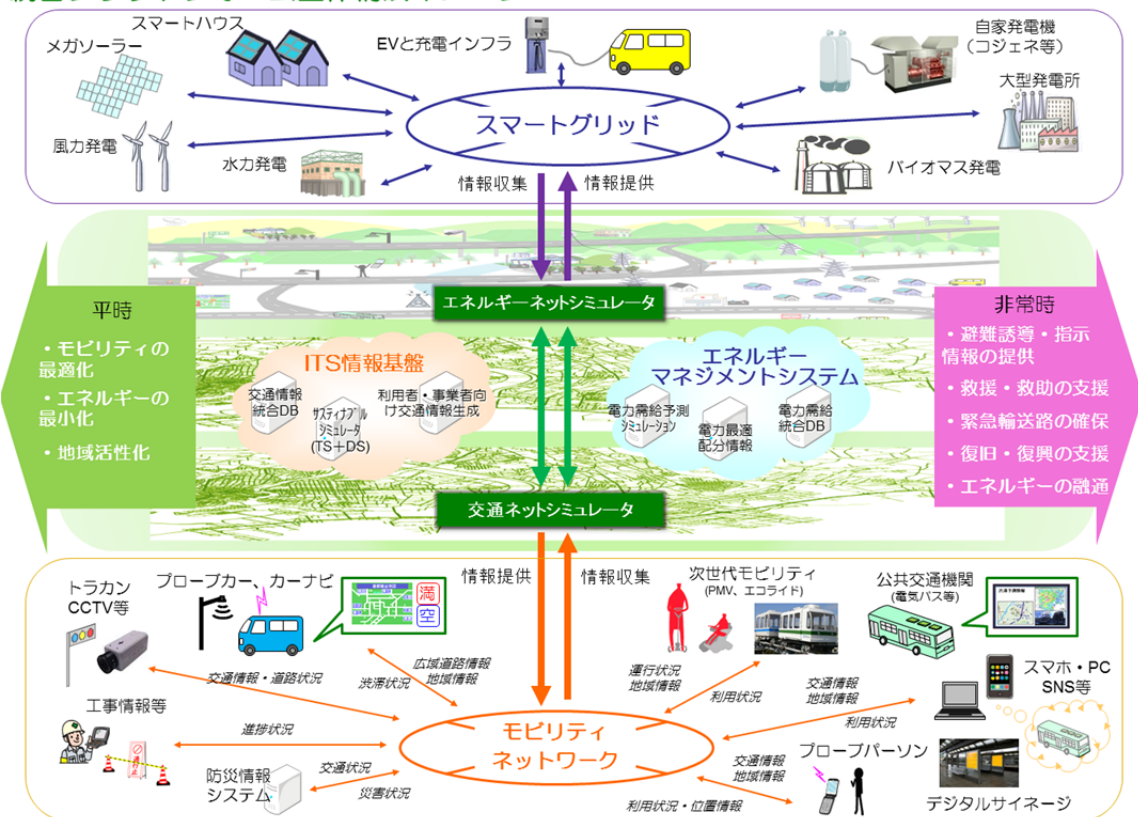


図 6-6-2 エネルギー・モビリティ・情報統合 (EMI) マネジメントのイメージ

6-6-2 いざというときに使える路車協調 ITS とは

災害などの緊急時にも機能する次世代のエネルギーとモビリティのマネジメントシステムの仕組みは、どのようなものになるのであろうか。東日本大震災の反省をふまえながら、それらの機能について検討をしてみよう。

東日本大震災は想定を超えた災害であったといってもよく、その災害に対しては、被害を未然に防ぐことを前提とした**防災対策**では十分とはいえ、災害が発生した場合にその被害を最小限に止めるための**減災**の概念が重要で、**防災と減災**という二段階の概念である**耐災**という概念が提唱されている。この概念に基づいて国土の危機管理の考え方を再構築する必要がある。

耐災では、さまざまな災害から人間の命を守るために、市民を安全に避難させ、助けに行くことが初動ではとくに重要であり、避難所や避難・救援道路の整備などのハード対策に加えて、避難誘導、被災情報の把握、通れる道路の把握などのソフト対策なども含めた総合的な仕組みづくりが必要となる。また、最先端の ITS 機器は電力が途絶えると使い物にならない。とくに信号機の滅灯はさまざまな活動の足かせとなった。それぞれの機器にバックアップ電源をもつといった工夫が必要であるだろうが、究極の目標は分散型の自立的な地域電力供給の仕組みをもつことにはないだろうか。以下、いざというときにも使える国土インフラシステムについて整理をした。

(1) 平時の国土インフラシステムのリスクマネジメント

東日本大震災の災害時のインフラ復旧状況（図 6-6-3）からわかるように、災害時は状況が時々刻々と変化する。とくに、国土の根幹的インフラはその施設のもつ構造的な制約により復旧のスピードが異なるため、災害時の活動もそれらの特性や復旧度合いをふまえたものとならざるをえない。耐災施策を考える上で、これらの災害活動の基盤となるインフラが災害時に使えるものとなるような前提条件としてのいざというときに使える国土インフラシステムの構築は最も重要である。

また、道路などのハードだけでなく、ITS 機器も災害時のさまざまな活動を支援するために重要な要素であることが示された。今後、交通インフラに ITS 機器も含めた耐災化を図る必要がある。とくに情報通信機器は、センサ類、情報処理機器、ネットワーク、電源により構成される。これらの多重化、重層化、堅牢化、分散化といった信頼性管理（リスクマネジメント）の視点が不可欠である。

	発災後～30分	1日～	3日～	3週間以降
道路	高速道路	[緊急輸送路確保]		[90%一般開放][一般開放]
	国道	[50%復旧]		[90%復旧]
空港				[仙台空港以外はほぼ復旧]
公共交通			新幹線	[50%復旧]
			在来線	[50%復旧]
電気			[50%復旧]	[80%復旧]
通信			固定電話	[50%復旧] [90%復旧]
			携帯電話各社	[50%復旧] [90%復旧]
上下水道			[50%復旧]	[80%復旧]
都市ガス				[50%復旧]

図 6-6-3 災害時のインフラ復旧状況

(2)緊急時の国土インフラシステムのクライシスマネジメント

次世代の国土システムは、災害発生時には危機管理（クライシスマネジメント）として時々刻々と変化する状況に応じて使いこなせるものでなければならない。地震時の危機管理は、これまでの経験から表 6-6-1 にある四つの段階にわかれる。

危機管理の担当者は、段階的に変化する状況に応じ、どのような機能が必要であるかを理解し、平時には国土システムの状況を的確に把握し、改善策を検討していく信頼性管理（リスクマネジメント）を行う。実際の危機管理（クライシスマネジメント）では、国土システムの中で生き残った機能を組みあわせて、情報収集、判断、活動の実施、情報提供、関係者間の連携を行うことになる。

表 6-6-1 災害時に必要な活動

段階		活動内容
緊急時	災直後 ～30分	<ul style="list-style-type: none"> 被災地周辺の避難誘導や避難指示 避難所へ避難(津波の場合は高台へ避難) 家族や親族の安否確認 周辺地域の被災状況把握
	～1日	<ul style="list-style-type: none"> 通行可能な道路の把握と道路啓開 被災者の救援・救助・帰宅 ライフラインの復旧作業
	～3日	<ul style="list-style-type: none"> 緊急支援物資の輸送 瓦礫処理 医療介護支援 ボランティア活動支援
	～3週間 以降	<ul style="list-style-type: none"> 仮設住宅の準備と入居 労働環境の確保 復興 被災者の生活再建

(3)モードチェンジという考え方

耐災施策では、このような平時の機能が緊急時にも使える機能としてモードチェンジし、人々の命を助けるために機能するように準備しておくことが大切である。平時に使っていない機能は緊急時に活用できないというのは大震災が残した大きな教訓である。災害に対して脆弱な国土である日本では、次世代の国土システムとして平時と緊急時の機能を併せもつ必要がある。つまり、平時には、省エネルギーと高齢者も含めた多様な移動主体の自由を実現するように機能しなければならない。そのためには、生活圈域であるコミュニティを中心に基礎自治体がしっかりとモビリティとエネルギーのマネジメントが可能となるよう機能しなければならない。

緊急時にはそのシステムがモードチェンジして「国民の安全を守る」という国家的な視点から機能しなければならない。大規模災害が包含されるブロックのレベルで、統一した情報収集、情報提供、関係者の連携が可能となるような最低限の機能をもつべきであろう（図 6-4-2）。そのためには操作や機器の統一性を担保した国家レベルの緊急時にも使えるプラットフォームという基本機能、平時には基礎自治体でカスタマイズできる多様なアプリケーションを実現できる応用機能を併せもつというのが、システムの概略となるのではなかろうか。

システムを構成する要素は、ITS を構成する基本要素と一緒にあり、情報収集のためのセンサネットワーク、情報を伝える通信・放送、情報を受信するための情報端末、電源装置、それぞれをマネジメントするサーバ類である。

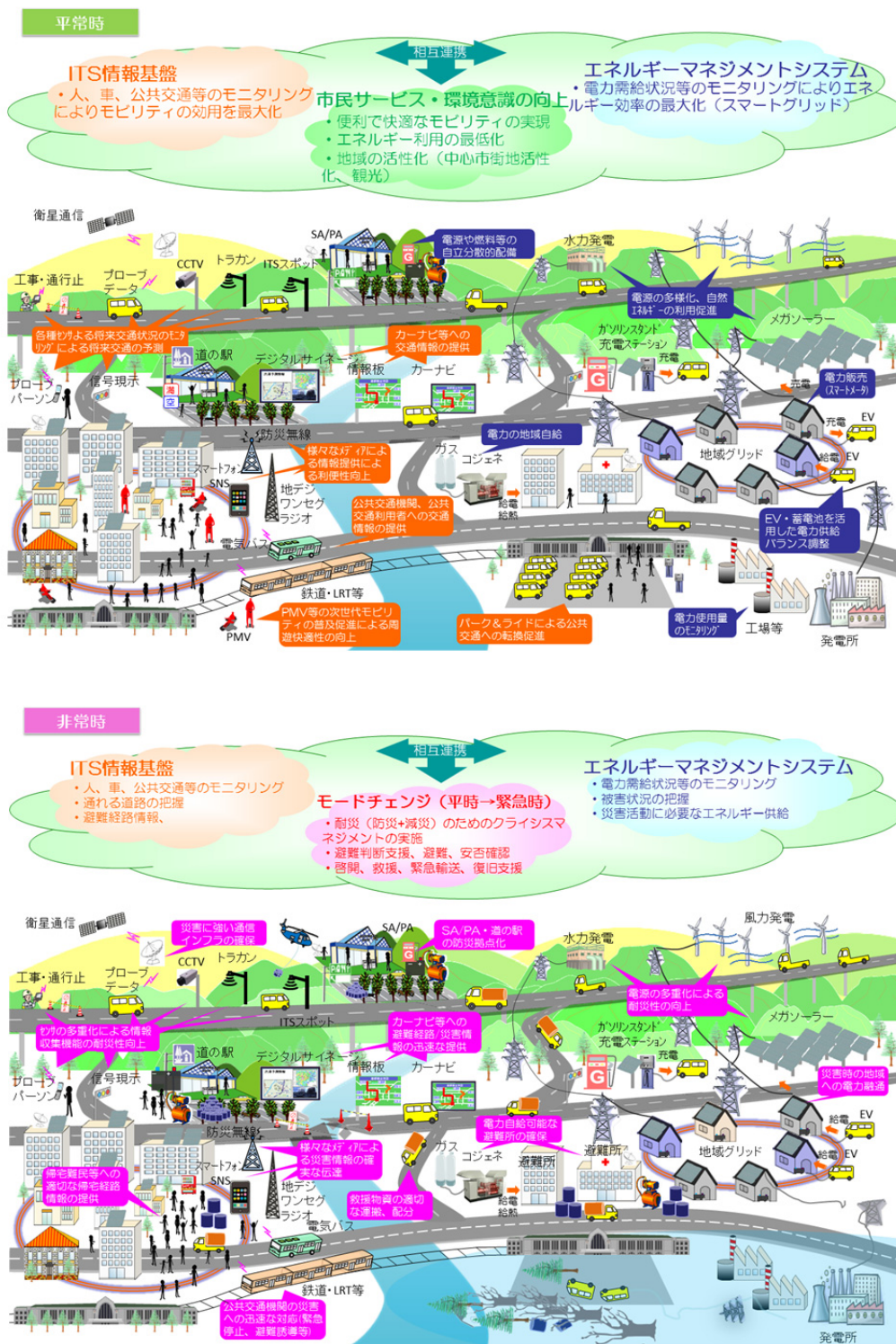


図 6-6-4 平時と緊急時の EMI の機能イメージ

(4)通信・放送施設

高速道路会社や地方整備局が整備している道路管理用の光ファイバは多重化やネットワーク化が進んでおり、今回の災害時にも機能した。IP化の流れの中で道路管理用のCCTVカメラや各種観測機器もネットワークに接続されており、災害時の情報の動脈として位置付けられるべきである。

放送と通信に関しては、FMやワンセグなどを受信できる端末機器の普及を考えると放送による情報提供は大いに検討すべきである。とくに、地域限定情報の発信に対して工夫が必要である。ミニFMやエリア・ワンセグなど地域限定の放送の仕組みが利用可能ではあるが、そのための特別な放送施設が必要となり、平常時の活用を考えなければ設置コストに耐えられる仕組みとはならない点に注意が必要である。平時と緊急時の組み合わせが大切なのである。

路車協調ITSに関して、ITSスポット路側機は、公的機関のみが管理するプローブ情報の収集機能を有しており、災害時に避難してきた車から通行可能道路の情報を集めて災害時の道路の啓開活動や救命活動の初動支援への活用が期待される。平時の観光情報のカーナビへの提供などの機能を強化し、対応車載器の普及に官民挙げて努力すべきであろう。

無線LANについても、スマートフォンの爆発的な普及を考えると道路インフラには必ず欲しい機能である。とくに、安否確認の情報は、携帯電話での音声機能を活用するよりも無線LAN経由でインターネットに接続したほうが、通信の特性を考えると家族に届く可能性が高い。しかしながら、共用通信帯域を使っているため、混信や多くの人が同時に使った場合に接続しにくいということがあり、災害時には接続時間の制限等の工夫が必要である。通信・放送に関する特徴をまとめたのが表6-6-2である。

(5)情報端末機器（デバイス）

情報端末機器はさまざまなものが登場してきており、災害時にも活用できる情報端末機器の特性を整理したのが表6-6-3である。高速道路のサービスエリアや道の駅、公共交通のターミナルなどの多くの人が集まる公共性の高い場所では、大型表示板や通信機能をもった大型デジタルサイネージの活用が有効であろう。デジタルサイネージは情報の差し替えが可能であり、災害時の避難場所や支援情報なども提供できる。外国人に対する多言語での情報提供も可能であるなどメリットが多い。しかしながら、利用者が操作できる端末は機器損壊の可能性もあるため端末の配置には工夫が必要である。

パーソナルな移動端末も数多く登場してきている。地域の情報が欲しいというニーズに応えるためには、双方向のITS車載器やスマートフォンの活用を検討する必要がある。とくに、ITS車載器は災害時のプローブ情報収集も兼ねるという社会的に重要な役割をもつことから、普及のための戦略的なサービス強化が不可欠である。

表 6-6-2 災害時における通信・放送の特徴

通信施設		特徴
有線		<ul style="list-style-type: none"> 災害による回線切断のリスクあり 多重化やネットワーク化が不可欠
双方向型	専用 光回線	<ul style="list-style-type: none"> 道路管理用光ファイバなど地下に収容されている場合は地震に強い 一般向けのインターネット接続には施設改良が必要
	一般 電話回線	<ul style="list-style-type: none"> 電源の喪失に強い 日常の利用客が少ないため設置数が少ない 伝送路の共有ができず需要の増大に脆弱
	一般 光回線	<ul style="list-style-type: none"> 全国で7割程度の加入があり汎用性が高い モデムやルーターの電源喪失に弱い 災害時の強さは会社の対策の有無に依存
無線		<ul style="list-style-type: none"> 基地局が被災するリスクあり バックヤードは有線と同じ課題あり
通信型	専用 マイクロ波無線	<ul style="list-style-type: none"> 防災・道路・警察用のマイクロ波無線で災害時に非常に強い
	専用 ITSスポット	<ul style="list-style-type: none"> 狭域通信 交通専用帯であり確実な通信が可能 プローブ情報収集が可能
	一般 衛星回線	<ul style="list-style-type: none"> 衛星を使うため災害時に強い 回線容量が非常に乏しい
	一般 携帯電話回線	<ul style="list-style-type: none"> 通信可能エリアが比較的広い 音声通信は需要が増大すると利用が困難 電源の喪失対策は会社に依存
放送型	専用 無線LAN	<ul style="list-style-type: none"> 境域通信 供用通信帯であり混信の恐れあり Wi-Fiは接続可能な端末が多く比較的大容量 電源の喪失に弱い
	専用 防災行政無線放送	<ul style="list-style-type: none"> 防災用であり非常電源対策可能 緊急時に不特定多数への情報提供が可能 平常時は住民への情報提供に活用可
	一般 コミュニティFM・ミニFM	<ul style="list-style-type: none"> 従来のFM放送より対象エリアが狭いため、地域限定情報提供可能 平常時は地域振興イベント等に利用可能
	一般 エリア・ワンセグ放送	<ul style="list-style-type: none"> カーナビや携帯電話など受信機が増えている 地域限定情報の提供が可能

表 6-6-3 災害時における情報端末機器の特徴

提供媒体	特徴	
公共	デジタルサイネージ	<ul style="list-style-type: none"> 大型パネルで多くの人に情報提供可能 音声だけでなく画像や映像を提供できるため情報を視覚的に確認することが可能 複数の画像や映像を切り替えることができるため災害時の情報提供が行いやすい 平常時は観光情報の提供などに利用可能
	リクエスト端末	<ul style="list-style-type: none"> 平常時は利用者が情報を選択することで地域・観光情報を提供することが可能 専用端末となり多くの人の利用には不向き
	公衆電話	<ul style="list-style-type: none"> 個人の情報端末を所持していない人でも安否確認などの情報取得が可能 平常時の利用者が少ないため設置が困難
個人	ラジオ	<ul style="list-style-type: none"> 一般的に車に設置され平常時にも利用され災害時も容易に利用可能 放送型のため欲しい情報がえられない可能性あり
	カーナビ	<ul style="list-style-type: none"> 比較的普及しておりワンセグ放送などの視聴可能 放送型のため欲しい情報がえられない可能性あり
	ITS車載器	<ul style="list-style-type: none"> 交通専用の無線通信であるため確実な通信が可能 通信方でありリクエスト情報がえられる 対応車載器の普及が課題
	携帯電話(スマートフォン)	<ul style="list-style-type: none"> 3G(音声・パケット)、ワンセグ、Wi-Fiなど機種によっては複数の通信が利用可能 緊急時には輻輳により通信規制による利用が困難となる可能性が高い

(7)エネルギー関連施設

エネルギーマネジメントは、平時は自然エネルギーを有効に活用し、グリッド内で最小のエネルギー消費となるようなマネジメントを行う。とくに充電池が高価であるため、EVの空き時間を効率的に活用し、自然エネルギーの発電の波を調整することが重要となる。緊急時には、電源の喪失が人間の安全を守るための大切な機能の喪失につながるため、生き残った発電装置とグリッドを駆使しながら最低限の電力でも最優先に供給すべき施設に送り届けるように機能すべきである。電源施設ごとの災害時の活用可能性について整理したのが表 6-6-4 である。こういった電源の特性もふまえ電源の多様化、自立分散化がポイントとなる。また、電力を供給できる EV の登場は、災害時に必要な電気を EV が輸送することも可能であるため、全体のシステム設計の際に活用方法も含めて検討すべきであろう。

表 6-6-4 電源施設と特徴

緊急時の 発電手段	特徴
商用電源	緊急時は電線の切断や発電所の被災などにより、利用が困難となる場合が発生
発動発電機 (自家発電機)	緊急時にも安定した電源供給が可能 燃料の入手が困難となった場合が課題
再生可能 エネルギー	平常時に環境に優しいエネルギーとして EV 充電などへの活用が可能 発電の変動の波がありマイクログリッドなどのエネルギー管理が不可欠である
太陽光 発電	ある程度の日射量が必要 悪天候時や夜間は発電が困難
風力発電	一年間を通じた風量が必要 風力が弱い場合は発電が困難
小水力 発電	小さな水源でも発電が可能 水量が少ない場合は発電が困難
バイオ マス	天候に左右されず安定電力供給が可能 木材や残飯など原材料の安定入手が困難

第6章 引用文献・参考文献

【6-2 関係】

- 1) Peter Calthorpe, The Next American Metropolis, Princeton Architectural Press, 1993
- 2) 首相官邸 HP, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/dai68/gijisidai.html>, 2016.1 閲覧
- 3) 内閣府 HP, http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf, 2016.1 閲覧
- 4) 道路局 HP, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/>, 2016.1 閲覧

【6-3 関係】

- 5) 徳山日出夫：行政経営の時代，日経 BP 社，2004
- 6) 牧野浩志：日本の路車協調システムの展開に関する研究，生産研究，63 (2)，2011
- 7) 牧野浩志，平沢隆之，山崎勲：道路行政研究会報告書，国土技術政策総合研究所資料第 425 号，2007-09
- 8) 牧野浩志，大内浩之，高宗政雄，竹中憲郎，井上洋：DSRC によるアップリンク情報を活用した走行支援サービスの検討，第 4 回 ITS シンポジウム 2005，2005.12
- 9) 泉典宏，牧野浩志，上條俊介，田中淳，竹平誠治，後藤秀典，画像センサの活用方法に関する提案，土木計画学研究・講演集，2012
- 10) H. Makino, H. Kanoshima, & Y. Tanaka, SYSTEM ON ROAD TRANSPORT ANALYSIS BY PROBE DATA AND ITS APPLICATION, PIARC 25th World Road Congress 2015, CD-ROM 0395, 2015.11.

【6-4 関係】

- 11) Le Corbusier, THE RADIANT CITY, Orion Press, First English Edition (1967)
- 12) 建設省道路局監修，長期構想研究会編：NEXT WAY：新長期構想の本，道路広報センター，1992.8
- 13) 建設省道路局監修：わが国における交通需要マネジメント実施の手引き，1996
- 14) 土木学会：モビリティ・マネジメントの手引き，土木学会，2005
- 15) 藤井聡：渋滞対策のあらたな展開～モビリティ・マネジメントによる渋滞対策－渋滞対策のための道路行政マネジメント施策，道路，Vol.783, pp.22- 26, 2006.5
- 16) 原田昇：交通需要管理への期待，交通工学 33-増，1998.10， p.26-31
- 17) 久保田尚：交通需要マネジメント（TDM）と ITS，オペレーションズ・リサーチ：経営の科学 45(7), pp331-335, 2000.7
- 18) 石田東生：IT と交通：よりよい ITS を目指して，日本機械学会誌，Vol.105 No.998, pp44-48, 2002.1
- 19) 太田勝敏：交通需要マネジメント(TDM)の展開とモビリティ・マネジメント，国際交通安全学会誌 Vol.31, No.4, 2007.3
- 20) 鈴木彰一，金澤文彦，築地貴裕：交通需要マネジメントへの ITS 技術の適用に関する考察，土木計画学研究・講演集 Vol.46, p.75，（公社）土木学会，2012.11
- 21) 牧野浩志：第 8 回国際交通大臣会合の概要報告，土木技術資料 pp44, (一財)土木研究センター，2015.10.
- 22) FHWA U.S.DOT, EVALUATION OF TRAVEL DEMAND MANAGEMENT (TDM)

MEASURES TO RELIEVE CONGESTION, U.S. DOT, February 1990

- 23) 原田昇:アメリカの交通需要管理－混雑緩和と大気保全の効果, 交通工学 27巻2号, 3, pp.59-63, 1992
- 24) 太田勝敏:交通需要マネジメントの概念と展開－米国の事例を中心として－, 道路交通経済, 1992
- 25) 原田昇:TDM 施策の推進, 道路, pp.16-19, 1998.9
- 26) 原田昇:アメリカの交通需要管理－混雑緩和と大気保全の効果, 交通工学 27巻2号, 3, pp.59-63, 1992
- 27) 交通工学研究会・TDM 研究会編著:渋滞緩和の知恵袋－TDM モデル都市・ベストプラクティス集, 1999年2月
- 28) 太田勝敏:TDM の展開と期待, 運輸と経済, 2005.3
- 29) 原田昇:地方自治体による TDM への取り組みと課題, 運輸と経済, 2005.3
- 30) 杉恵頼寧, 牧野浩志, 佐藤俊雄:広島都心の戦略・交通戦略, (社)中国地方総合研究センター, 2002-04
- 31) 牧野浩志:21 世紀の都市と交通を考える②～広島の場合～, 季刊中国総研 2003 vol.7-1 No.22 p.43-48, 2003
- 32) 牧野浩志:21 世紀の都市と交通を考える③～世界の都市と交通の歴史～, 季刊中国総研 2003 vol.7-2 No.23 p.75-87, 2003
- 33) 川勝平太監修:環状道路の時代, 日経コンストラクション, 2006
- 34) 牧野浩志, 小出公平, 池内克史, 片岡源宗, 鯉淵正裕, 佐々木政秀:柏 ITS における ITS 地域情報センター構想について, 生産研究, 64 (2), 2012
- 35) 牧野浩志:ITS を活用した環境未来都市づくり 柏 ITS スマートシティの挑戦, Traffic&Business, pp13-24, 2012.7.20
- 36) 田中伸治, 牧野浩志, 平沢隆之, 片岡源宗, 市川博一:交通需要マネジメントとまちの活性化を両立する駐車場 ITS のコンセプト, 第 45 回土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), No.45, 2012.6

【6-5 関係】

- 37) 牧野浩志, 松井達, 渡部康祐, 奥野潤:観光分野における ITS の可能性と展望 (観光 ITS) について～長崎における ITS の取り組み～, 第 8 回 ITS シンポジウム, 2009
- 38) 牧野浩志, 鎌田譲治, 鈴木高宏, 浜田誠也, 香野雅之:長崎エビッツプロジェクトにおける電気自動車の普及とローカル観光に活用できる ITS 車載器の開発について, 生産研究, 63 (2), 2011
- 39) ICT を活用した耐災施策に関する総合調査団(第三次調査団):緊急提言～ICT を活用した耐災 (防災・減災) 施策～, 土木学会・電気学会,
http://committees.jsce.or.jp/2011quake/system/files/20110717teigen_0.pdf
- 40) 川嶋弘尚:ICT を用いた道路の耐災施策, 道路建設 2011 年 9 月号, pp.13-16, 2011
- 41) 牧野浩志:東日本大震災からの復興と ITS の活用, 生産研究, 64 (2), 2012
- 42) 牧野浩志:東北地域の復興に向けた交通インフラの考え方, 交通工学, Vol.46, No.5, 2011-11

- 43) 牧野浩志, 岸浩二, 松本章宏, 三好孝明, 萬沙織: ITS を活用した耐災交通拠点のあり方について, 第 10 回 ITS シンポジウム 2011, CDROM, ITS ジャパン

【全般】

- 44) 家田仁, 岡並木, 北村隆一, 久保田尚, 古池弘隆, 竹内健蔵, 寺部慎太郎, 中村文彦, 林良嗣, 本田武志: 都市再生—交通学からの解答, 学芸出版, 2002
- 45) 八十島義之助, 佐佐木綱, 岡並木, 長山泰久, 黒川洸, 飯田恭敬, 越正毅, 加藤晃, 月尾嘉男, 室崎益輝, 伊藤滋, 紙野桂人, 武部健一, 長谷川利治, 五十嵐日出夫, 樗木武, 新谷洋二, 卷上安爾: 私の考える 車社会, 交通工学研究会, 2002
- 46) 加藤晃, 竹内伝史: 都市交通論, 鹿島出版会, 1988
- 47) 天野光三, 中川大: 都市の交通を考える, 技報堂出版, 1992
- 48) 市川嘉一: 交通まちづくりの時代, ぎょうせい, 2002
- 49) 大西隆: 都市交通のパーспекティブ, 鹿島出版会, 1994
- 50) RACDA 編著: 路面電車とまちづくり, 学芸出版社, 1999-05
- 51) 西村幸格, 服部重敬: 都市と路面公共交通, 学芸出版社, 2000
- 52) 全国バスマップサミット実行委員会編著「バスマップの底力」, クラッセ, 2010-08
- 53) 阿部宏史, 牧野浩志, 栗井睦夫, 波多野吉紀: 岡山都心部におけるトランジットモール社会実験の評価と課題, 第 20 回交通工学研究発表会論文報告集 p.97-100, 2000-10
- 54) 牧野浩志: 路面電車を活用した 21 世紀まちづくりについて, 建設物価, 2001.3
- 55) 牧野浩志, 平沢隆之, 樋野義周, 山下大輔, 佐藤啓輔: 都市のスマートグロースを支える交通結節点整備の在り方に関する一考察~広島市 JR 横川駅の検証から~, 第 45 回土木計画学研究・講演集(CD-ROM), No.45, 2012.6

第7章 本研究の結論と今後の課題

7-1 結論

21世紀は、自動車交通という社会基盤のもたらした未曾有の豊かさの享受と、自動車交通という仕組みのもつ宿命的な負の遺産への対応の世紀であるといっても過言ではない。陸上輸送のトンベースでの輸送を担っており、経済の血流はまさに自動車交通である。一方、自動車交通は、交通事故、渋滞、環境への負荷だけではなく、都市の外縁の開発とその拡大という国土の使い方を根底から変え、世界はその解決策を見いだせないでいるのが現状である。

1946年に産声をあげたコンピュータがもたらした情報革命をこれらの解決策に使えないかというのがITSの発想である。

2章で世界のITSの研究開発の歴史をレビューした。レビューからわかることは、ITSとは情報革命を道路交通という社会基盤に取り込むための技術者たちの戦いであったという点である。ITSの頭文字をもじって「いつまでたってもつかえない」と揶揄されるのは、この闘争に対する理解不足があるといっても良い。土木工学とは実存する最先端技術を社会基盤に組み込む（アセンブリ）する技術である。例えば、1709年に生み出された製鉄という当時の最先端技術は、1777年に社会基盤に組み込まれて世界で最初の「アイアンブリッジ」としてイギリスで登場した。その歴史を知ると、1946年に生み出されたコンピュータは20XX年に智能道路の実現というような形で社会基盤に組み込まれる可能性がある。

これまでの格闘の結果として、情報通信技術を使いこなすためのコツがわかってきた。まず、システムアーキテクチャを描く必要性である。情報システムはシステムアーキテクチャがないと無駄が多くなるし、通信システムはプロトコルが定義されないとつながらないのである。次に、プラットフォームとならなければならないということである。これは、世界や国家が定めるワールドスタンダード、市場が決めるデファクトスタンダードのどちらかとなる。「鶏と卵」の問題も大きい。通信機器は単体では成り立たないため、通信相手が必要である。放送型の場合は基地局、双方向の場合は基地局と話す相手が不可欠である。誰が基地局をどのコストで整備するのかい議論となる。「ドライバ、道路、社会の三方がよくなる」というビジネスモデルの確立も不可欠である。端末を買うのはあくまでもドライバであり、ドライバに購入してもらうためには、規制するか自主的に買ってもらう必要がある。規制する場合にも社会性の説明が必要であるし、買ってもらうためにはドライバのメリットが明確にならなければならない。一方の道路サイドも基地局等を整備するのであれば、社会性やコスト削減などの理由が必要で三方がよくなるような協調のビジネスモデルを描くことが不可欠である。

3章では、最先端の情報通信技術の動向を踏まえた路車協調ITSの持つべき機能について整理を行い、その機能を活用した社会問題解決の方向性について整理を行

った。そして、システム全体の「アーキテクチャ」を整理し、様々なアプリケーションが実行できる「プラットフォーム機能」を検討し以下の基本機能を持つ路車協調 ITS の機能要件を定めた。

特に、自動車側のアプリケーションの変更は困難であるという判断から、車載器に個別のアプリケーションを搭載するのではなく、必要な基本機能を搭載することとし、路側システム側に様々なサービスを可能とするアプリケーション機能を持つこととした。

基本機能として、指示応答機能、メモリアクセス機能、IC カードアクセス機能、プッシュ型情報配信機能、共通セキュリティ機能の 5 つの機能と定めた。これらの議論の結果は、現在の ETC2.0 の試用に反映されて実運用につながっている。

次に、この路車協調 ITS のプラットフォームを活用し解決できる日本における都市・交通問題について①事故ゼロ・渋滞ゼロ、②プローブ情報に基づいた道路行政改革、③環状道路マネジメント、④物流の効率化と道路インフラ保全との調和、⑤災害時のいざという時に人命を助ける、⑥ETC も含めた民間サービスでの展開による経済活性化、⑦スマートな都市圏の発展につなげる「スマートグロース ITS」、に整理した。

4 章では、路車協調 ITS の機能を実証するため、高速道路上の前方障害物情報提供サービスに対して、DS、実道実験、運転者へのアンケートを実施し効果を確認した。検証では、路車協調 ITS での図形と警告音による情報提供は、90%の運転者が認知し、そのうちの 85%がアクセルオフかブレーキ操作を行った。後続車も同時に減速することが確認され、搭載車両以上の効果があることが確認された。長期モニタ調査でも 8 割以上のモニタがサービスは役に立つと答えており、実際の交通事故も継続して少なくなってきた。

結果として、前方障害物情報提供サービスは、運転者が危険度を強く感じるシビアな情報を提供するため、情報の認知、判断、操作の各段階で明確な効果が出現し、急減速や進入速度の低下や事故の削減等の効果が見られ、かつ運転者も有用性を感じている状況が確認できた。路車協調 ITS による安全運転支援サービスは、経年的な効果（時間移転性）が期待できる有効なサービスであると実証できた。

しかし、情報への不満として、すでに渋滞中である場合などの必要のないときの情報提供が指摘されており、情報の鮮度と信頼性の確保が重要であることもわかった。

5 章では、高速道路渋滞の約 6 割を占めるサグ部で発生する追い越し車線から始まる渋滞に対して、路車協調 ITS を用い、車線変更行動自体の抑制を図る車線利用適正化サービスの有効性についてマイクロ交通シミュレータを用いて効果評価を行った。

その結果、車線利用適正化サービスは全車が ITS 車載器を搭載し、情報を受けた 1 割がキープレフト走行に協力した場合、約 3 割の渋滞削減効果を持つ可能性があり、ハード対策である付加車線対策の約半分の効果を持つことが分かった。

これについては、検証の前提が、『渋滞が発生する前の臨界状態で、急いで走行しても結果が変わらない』という情報を知らない状況下での結果で、ドライバーに対して広報・啓発等を通じてサグ渋滞の実態を周知した上で、キープレフト走行をマナーとして定着させるなどの対策を講じることで、情報の信頼性を高めて改善することが可能である。まずは、官民で連携して、キープレフト走行のマナーを徹底することから始める必要がある。

6章では、本研究で開発した路車協調 ITS の実用化システムである ETC2.0 の登場が、ITS をどれだけ進化させたかを見るために 1996 年のシステムアーキテクチャで定義された利用者サービスの実現度合いを整理した。

その結果、ナビゲーションやロケーションサービスの構築技術の登場によって、9 つの開発分野のナビゲーションシステムの高度化や自動料金収受システム、公共交通の支援、緊急車両の運行支援などのサービスの大半はすでに提供されており、ETC2.0 により、さらに安全運転の支援や道路管理の効率化のサービスが実現されるというセカンドステージの実態を明らかにした。

そのうえで、今後、路車協調 ITS が改善していかなければならない課題として、①安全運転の支援としての路車協調 ITS から自動運転への発展、②道路交通行政の改善に向けた道路交通情報収集機能の向上と活用、③都市と交通を変革させ人間中心の都市をつくる、④災害時のいざという時に機能する社会システムづくりがあることを掲げ、それらの解決方向について整理を行い、ITS が国土イノベーションの有力なツールであることを明らかにした。

7-2 今後の課題

本論文では、路車協調 ITS の機能とそれを活用した道路交通問題の解決方向について検討を行ってきた。

特に、6章で、路車協調 ITS がもたらす変化について総合考察を行っているが、自動運転時代の到来は、国土、地方、都市、物流、危機管理に大きなインパクトを与えるに違いない。その変化を予測し、社会基盤に取り入れていく方法論を考えなければならない。

その方法論を考えるにあたっては、これでの ITS の研究開発の教訓をうまく生かしていかなければならない。特に、重要なのが学際を超えた連携であろう。

自動車関連の技術者・研究者は車の機能や性能、お客様のニーズについては非常に詳しいが、自動車を含めた自動車交通システムが社会基盤として社会にどのような影響を及ぼしているのか。例えば、渋滞現象、都市問題との関係、企業立地との関係などについては、あまり知識がない場合が多い。

情報通信関係の技術者・研究者は、最先端の情報通信技術に関する知識は豊富であり、除法通信技術を使えば、多くの社会の課題を解決できるといい、実際にシステム化や新しいサービス提供をスピーディに行うことが出来る。しかし、具体的なニーズが必要で、それも外形的な分析では不十分で、問題の本質に対する抽出がなければ、真のソリューションとしてのシステム化は不可能である。

社会基盤の技術者は、土木工学、交通工学、都市工学の視点から、社会基盤や都市基盤と関係する交通現象分析、施設計画、コンクリートや鉄筋の構造物には詳しいが、その基盤を活用する自動車の進化や、最先端の情報通信機器の活用に関しては感度が低い場合が多い。

それ以外にも、心理学、医学、法律といった様々な分野の連携が必要なのが ITS という分野なのではないだろうか。

自動運転という新しい時代は、機械の塊であった自動車に AI やセンサといった最先端の情報機器が搭載され、新しい社会基盤もデジタル地図、通信機器、センサが配備されるというサイバー・フィジカル一体の時代が到来する。情報通信技術を組み込んだ、自動車交通システムと道路システムが、国土のイノベーションとして国土、地方、都市の社会基盤そのものを変化させていくことになる。それぞれの計画論、施設設計基準等の見直しが必要となるのではないだろうか。

本研究では議論できなかった課題を 2 点ほど記述しておく、一つは、短期的な課題であるが、大都市圏の環状道路の概成をまじかにした道路ネットワークのマネジメントに関する分野であり、もう一つは、これまで述べてきた自動運転時代の変化を国土のイノベーションに関する分野である。

(1)道路ネットワーク運用の時代への ITS に関する研究

大都市圏の環状道路の概成が見えてきた。環状道路を含めた道路ネットワーク時代が到来しつつある。この環状道路を含む大都市圏の道路ネットワークは、数多くのルートが選択できるため、渋滞や事故等の社会的損失を大幅に削減や都市圏の活力増進に大きく資する。図 7-2-1 に示すように、首都圏の三環状道路の場合、単純に計算しても 1,470 ものルートが選べることになる。

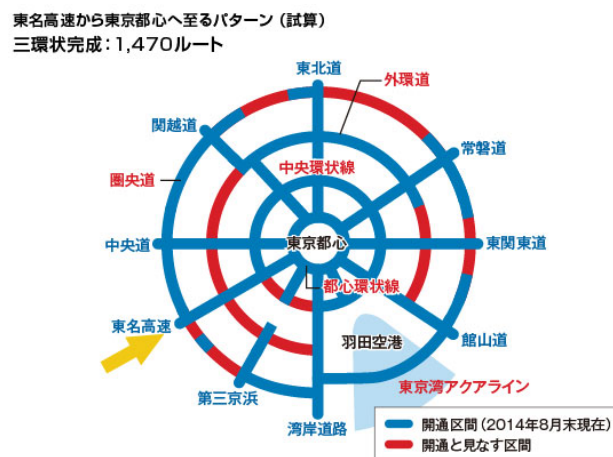


図 7-2-1 都心への 3 環状のルート選択

ETC2.0 による交通実態把握、情報提供、弾力的経路料金は、本格的な交通需要マネジメントのツールとして機能することを 6-4 節で説明した。

交通需要マネジメントの目標は、時間的・空間的に偏在する需要の平準化であり、道路のパフォーマンスをできる限り向上させるには、リアルタイムの状態に対応して動的なネットワーク道路の運用（RNO: Road Network Operation）を行うことが求められる。この動的 RNO を実現するにはまだ取り組むべき以下の課題が多く存在している。

1)動的運用施策の整理と評価

動的道路運用方策は、時間的・空間的な需要分散と局所的なボトルネック対策という2つに大別できる（表 7-2-1）。

道路ネットワークの動的運用については、研究レベルでは多様な手法があるが、実現可能性については、大きな幅がある。今後、各種法の適切な適用場面や効果、有効な組み合わせ等について検討を進め、効果の見込まれる導入方策を整理し評価していくことが必要である。

表 7-2-1 動的運用施策の目的と主な課題

運用施策	目的	主な課題
経路・渋滞情報提供	需要分散	予測精度，情報提供方法
プライシング	需要分散	
ランプメータリング	需要分散	広域的な制御手法
路肩開放，動的車線運用	容量改善	空間的制約，動的運用の実施方法
車線利用率の均等化	容量改善	効果的な実施方法，情報提供手法
動的速度規制	容量改善	
可変チャネリゼーション	容量改善	動的運用の実施方法

2)道路交通状況のリアルタイムモニタリングと予測

随時変化する交通状況に応じて動的運用施策を効果的に実施するには、交通状況のモニタリングを通じた迅速な問題把握とともに、動的施策を更新した場合の道路ネットワークへの影響についてリアルタイムで予測し評価する仕組みが必要となる。

ETC2.0 車載器の普及や他の多様な移動軌跡データの利用可能性の増大、感知器設備の維持・更新の負担軽減を考慮すると、プローブデータを併用した手法がより合理的で精度の向上も期待できると考えられる。

複数手段による観測データを融合した交通状態推定手法について、ネットワークを対象にしたものはまだ少なく、手法の確立が求められる。ネットワーク運用では経路誘導のために OD ごとの経路構成等を把握する必要があり、シミュレーションを用いた推計が必要になる。プローブデータを活用したデータ同化等の手法によって、経路情報も含む状態推定・短期予測の実用的手法の構築が期待される。

3)情報提供手法の更なる改善

環状道路時代は、数多くのルート選択ができるようになるが、道路標識や情報板で全ての代替ルートの情報を提示することは不可能であり、カーナビを活用した目的地、希望料金、希望旅行時間に応じたルート選択が不可欠となる。また、複雑な動的情報を運転者に提供していくにあたっては、提供側が意図する形で利用者が認

知・理解できるような手法とし、かつ提供する情報が運転の安全性を阻害しないような手法を構築することが求められる。

情報提供手段については、標識や情報板、路面表示等の車外からの提供手段と、カーナビゲーションの画面・音声等による車内での提供手段があり、提供する情報の特性に応じて手段の適切な使い分けを検討するとともに、これらを組み合わせた際の運転者への影響を、運転者の認知特性の観点から総合的に検証する必要がある。

さらに、今後、運転者への情報提供によらず、車の制御の高度化によって対応可能な安全対策等が増えることが想定される。これらの技術の高度化によって、運転者に提供すべき情報量を減らし、運転者の情報取得に関する負荷を削減していくことも合わせて検討が必要である。

4)管理者間の協調の仕組みづくり

複数の道路管理者が関係する広域ネットワークのマネジメントにおいては、管理者間の情報共有や協調の方法についても大きな課題となる。現在、道路管理者の交通管制システム間で交通状況に関する情報が一部交換されているが、動的運用施策を実施するためには、道路管理者間を跨ぐ情報の統合と共有化が必要になる。データの共有や統合に関しては、運用施策を想定した必要データの整理と、データ精度等の整合化が必要である。

また、道路管理者間を跨いで交通影響が及ぶ運用施策の実施においては、道路状況の確認や施策の実施判断に関する合意形成や協調の方法が課題となり、これらを円滑に進めるための技術開発と、仕組みの構築に向けた検討が必要である。想定されるケースに対して予め対応策のシナリオを構築し、関係者で共有しておくことも、円滑な実行のための一方策だと考えられる。

(2)自動運転の実現と国土イノベーションに関する検討

自動運転時代の課題については、国土の使い方そのものを変えていく可能性があるが、課題として記述するのも広範である。そこで、シナリオ・ライティング手法を用いて ITS の進化と社会の変化について記述し、今後の課題としたい。シナリオ・ライティング手法は、描写性とストーリー性が優れているため、技術予測の手法として理解しやすいという特徴を有する。

1)2015~2020年頃 移動情報の流通による安全安心快適な道路交通の実現

- スマートフォンと車載器が連動。シームレスな情報連携。
- 超小型車、パーソナルビークルが普及。路車協調等で弱点の安全性をカバー。
- 災害時はプローブ情報が活躍、平常時も自動車の情報が集約される。

スマートフォンの普及が順調に進んでいき、カーナビとスマートフォンとの情報連携が実現する。スマートフォンの情報をカーナビに自動的に転送する機能が普及し、家の中～自動車の中～目的地付近の駐車場から目的地までという一連のトリップで、TV、カーナビ、スマートフォンといったさまざまなデバイスがクラウドでつながりシームレスな経路案内や情報連携が可能となる。

超小型車やパーソナルビークルには、安全機能として、路車間通信、車車間通信、歩車間通信などの協調機能が搭載され普及が進む。

テレマティクスカーナビや ITS 車載器からの情報収集・提供が実際に普及段階となり官民のプローブ情報が共有され、SNS などの交通情報も組み合わせさせたビッグデータを分析した安全運転支援や渋滞解消策が実行され、安全安心な快適な道路交通が実現されることになる。

2)2020 年頃 世界一安全で環境に優しい道路交通社会の実現

- プローブ情報活用等で交通渋滞、環境改善が飛躍的に向上（2010 年比半減）。
- 運転の巧拙に拘わらずエコドライブ。ガソリン代も節約？
- 路車協調で走行を支援。交通事故死者半減、世界一安全な道路に。
- 特区では自動運転社会実験。

自動車のセンサ情報を活用するプローブ情報が本格的に集まり始めるこの頃には、インフラの大更新時代に突入し、更新のための財源不足が深刻となる中、インフラ側のセンサの情報を補って余りある道路交通情報がプローブ情報として集まってくる。その結果、リアルタイムな道路交通情報は全国津々浦々幹線道路だけでなく細街路までをカバーし、ドライバは慢性的な渋滞箇所だけでなく突発的な観光地などの不案内な場所の渋滞までをも避けて通れるようになる。

また、自動車からの情報は信号制御、交通運用、道路計画にも活用され、ボトルネックとなる箇所は的確に発見。ITS だけではカバーできない地点では、限りある財源を有効に活用したハード対策により渋滞、事故の削減が図られる。

さらに、道路や信号の情報、周辺車両の情報などが自動的に自動車に集まり、自動車が自動的にエコドライブする自動制御機能を実現する。また、プローブ情報と最先端の交通工学の技術が融合した交通信号制御が実現され、都市圏内でのリアルタイムの交通実態に応じ最適な交通容量の配分が可能となる運用が可能となる。これらにより運転技術の巧拙やエコドライブ意識の高低に関わらず、すべての自動車がエコドライブできるようになる。車両の省エネ性能向上と相まって、ドライバのガソリン代は随分節約される。

こうした渋滞解消や地球温暖化対策を目的として構築したインフラや自動制御車両に、交通事故の回避を目的とした機能が追加される。安全運転支援システムへのリクワイアメントは高いが、この頃には情報機器の価格がさらに下がり段階的に高度な機能が追加されていく。すべての自動車が通信機能と自動制御機能を持っていれば、自動車同士でコミュニケーションして、あたかもイルカの群れのように協調走行することも可能になり、事故も渋滞も環境問題も相当程度解消される。ナビゲーション機能と連動すれば、スイスイと目的地まで到着し、高齢ドライバ等の運転ストレスは大幅に削減される。自動運転も、農村部、閉鎖空間などの人や自動車が少ないエリアから特区として取り組みが始まる。とくに、高齢者が多い農村部では、高齢者の運転を支援する低速度での自動運転の実験が行われる。

3)2030年頃 自動運転・協調走行で楽々ドライブ

- 自動運転・協調走行で楽々ドライブ。高齢者も家族も安心。
- 高速道路ではトラックが隊列無人走行。物流コストが削減され物価も下がる？
- カーシェアリング・ロードシェアの仕組みが浸透。渋滞は過去のものに。
- 呼べば自動車が自動運転でやってくる自動パーク&ライド、自動バレットパーキングが実現。

自動車専用道路では、交通の錯綜が少ない本線部で自動運転・協調走行が実現する。入口・出口は運転支援で安全性を高めつつ、本線部ではほぼ完全な形での自動運転により楽々ドライブできるため、高齢者や女性でも安心して高速道路が利用でき、遠方に住む孫や家族に会いに行くことができるようになる。

都市間を結ぶ高速道路ではトラックの隊列無人走行が実現する。これにより都市間物流の効率化が可能となり、日本の根幹となる経済基盤を強くする。

農村部など公共交通がない地域でも部分的な自動運転が実現され、通院、買い物、知人宅などに出かける自由が広がる。自動車のセンサを活用した運転技能の評価診断システムが実用化され、自分の能力に応じた運転支援機能が選択でき、可能な限り自立した生活を送ることができる。また、もしものときには通信技術を活用した遠隔運転支援機能も実現され、遠くで見守る家族も安心できる。

大都市部の都心エリアでは、公共交通の利用者が大半となり、それ以外はカーシェアリングや自動バレット駐車により自動車が自動で駐車場に格納されるため、都市内の駐車スペースが不要となり、都心空間を人間の空間や公園空間として有効に活用できる。インテリジェントキーによる個人認証と、ICTの活用による効率的な車両管理と、自動運転で無人での車両の移動・最適配置により、カーシェアリングの低コスト化が実現し、多くの人に利用されるようになる。また、リアルタイムの交通実態把握とETCによるフレキシブルな課金システムの連動により、ダイナミックなエリアロードプライシングが実現され、交通手段、交通需要、交通容量の供給のバランスに応じた最適化が実現する。それにより交通渋滞は完全に解消され、環境への影響を最低限にし、都市内移動や経済活動を最高のパフォーマンスにする都市経営が可能となる。

大都市部の周辺エリアでは、都市的な魅力と郊外型の環境の良さの両立を目指した、コンパクトかつ公共交通への乗り換えが便利な公共交通優先開発が行われる。パークアンドライドやバスライドへの乗り換えが前提となるが、自動運転の実現により駅前に駐車場を確保する必要はなく、少し離れた所に自動運転車両専用の駐車場が登場する。駅前で乗り捨てた車両は自動運転で専用駐車場に移動し、帰りはスマホアプリに登録したボタンを押すだけで自動運転により駅前まで迎えに来てくれる。

ITSはこれからも夢のある研究分野であると思う。

謝辞

本論文をまとめるにあたって、多くの方からご指導・ご助言を頂きました。ここに深く御礼を申し上げます。

まず、ITS に関する学位論文をまとめる機会と動機を与えて頂き、的確で示唆に富んだご指導・格別のご鞭撻を賜った東京大学生産技術研究所 ITS 研究センターの大口敬教授、須田義大教授、池内克史名誉教授、田中敏久教授、大石岳史准教授、中野公彦准教授、小野晋二郎准教授、平沢隆之助教、東北大学の桑原雅夫教授に心より感謝申し上げます。ITS 研究センターに在任中、先生方との議論を通じ、ITS 分野だけでなく、様々な工学分野への視野を広げる機会を得ることができました。長崎 EV&ITS プロジェクト、環境・都市問題を解決するスマートグロース ITS 研究（科研費）、ITS モデル都市柏プロジェクト、スマートツーリズム構想、土木学会・電気学会 ICT を活用した耐災施策に関する総合調査、東北復興次世代エネルギー研究開発プロジェクトなどに参画する機会を得ることができ、そこで共同で研究してきた内容やこれまでの研究成果を学位論文にとりまとめることに対する励ましや示唆を頂きました。特に、大口教授におかれましては、本論文の取りまとめ全般について終始ご指導を頂き、心より感謝します。

また、論文の審査にお忙しい時間を割いて集まって頂いた東京大学社会基盤学科の家田仁教授、布施孝志准教授、都市工学科の原田昇教授におかれましても、学位論文の内容に対する厳しいご指摘や、整理の方向に対する的確なアドバイスを頂いたことに対し、深謝の意を表します。

私の ITS の出会いは、1993 年からの警察庁交通局道路規制課在任の時です。ITS の黎明期に交通警察行政の視点から ITS を考える機会を得たことは、道路交通分野における交通警察と道路行政の連携が不可欠な ITS を考えるうえで大きな財産となりました。当時の課長である(一財)VICS センターの古賀光彦専務理事、東京大学生産技術研究所の伊藤哲朗教授からは、警察行政のみならず行政官としての仕事の進め方までご指導を頂き感謝しております。特に、伊藤教授からは、コミュニケーション形成事業の企画立案へのご指導、さらには、1995 年の阪神・淡路大震災での危機管理に接する機会を得て、ITS と人間都市づくり、災害時への活用について深く考える機会を得ました。心より感謝いたします。

1996 年からの岡山国道事務所調査課長時代、岡山県情報ハイウェイ構想に関係することができ、マルチメディア、光ファイバや道路管理の高度化に対する着眼を得ることができました。岡山国道事務所所長であった大寺信幸氏には ITS モデル地区応募に対する指導を頂きました。また、岡山県庁におられた国土交通省の藤井健氏には、長崎 EV&ITS プロジェクトでもご指導を頂きました。心より感謝いたします。

2002 年の米国交通省連邦道路局国際研究員への派遣時には、日米の ITS 情報交換プログラムを担当し、日米の ITS の比較と路車協調 ITS の可能性について多大なヒントを得ました。国土交通省の徳山日出男氏、岩崎泰彦氏、森昌文氏、菊地春海氏、川崎茂信氏、加藤恒太郎氏には日米の ITS 推進に関する懇切丁寧な数多くの助言を頂くことができました。感謝いたします。

2003年からの国土技術政策総合研究所 ITS 研究室時代には、AHS 研究開発Ⅱ期の担当研究者として多くの方にご指導頂きました。3章、4章、5章の多くは、この研究成果の一部となります。ITS 研究センター長であった山田晴利氏、ITS 研究室長であった喜安和秀氏、平井節生氏、当時の ITS 研究室のメンバーのみなさまにこの場を借りて感謝申し上げます。また、深夜におよぶ研究開発に共同で取り組み、具体的な研究成果を出して頂いたのは AHS 研究組合のメンバーのお陰です。山川朝生元専務理事をはじめとする多くの関係者に感謝申し上げます。特に、保坂明夫氏、鎌田譲治氏、水谷博之氏、(株)三菱総合研究所の池田朋広氏は AHS 研究開発の成果について共著をさせて頂きました。その際の議論も数多く本論文の着想につながっております。深く感謝申し上げます。

AHS 研究開発を進めるうえで、世界の標準化の動向や IT 活用の方向性などに対して懇切丁寧にご指導頂いたのが慶応義塾大学の川嶋弘尚名誉教授でした。大門樹教授には DS などの活用について指導を頂きました。また、昼夜を問わずデータ分析をして頂いた(株)長大の宗広裕司氏にも心より感謝申し上げます。

本論文の執筆を進めるうえで、パシフィックコンサルタンツ(株)の山田康右氏、(株)アイ・トランスポート・ラボの堀口良太氏、(株)長大の西坂淳氏、松本章宏氏にデータ整理・分析についてご助言をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

また、多くの方から励ましを頂きました。樗木武九州大学名誉教授、筑波大学の石田東生教授、名古屋大学の森川高行教授、中村英樹教授、東京大学の野城智也教授、目黒公郎教授、公益社団法人土木学会の塚田幸広氏、中部地方整備局の森山誠二氏、(一財)道路新産業機構の浜田誠也氏、(株)スマートインフラ総合研究所の吉田正氏、(一財)計量計画研究所の牧村和彦氏、(株)三菱総合研究所の杉浦孝明氏、(株)US コンサルタントの小出公平氏、誠にありがとうございました。

最後に、研究を進めるうえで、国土技術政策総合研究所の多くの方々に支えられてきました。博士論文の提出を後押しして頂いた森望前道路交通部長、伊藤正秀道路交通部長、共同研究者の鹿野島秀行氏、松田奈緒子さん、福山祥代さん、群馬工業高等専門学校鈴木一史助教、西日本高速道路(株)の大内浩之氏、その他の ITS 研究室のみなさまに感謝申し上げます。

最後に、長期間にわたり、土日を費やしての論文執筆活動に専念させてくれた家族に心から感謝します。

牧野 浩志