

博士論文 2016 年度（平成 28 年度）

鉄道のマルチデータベース環境における  
流動把握とそのアプリケーション

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

角田 史記

## 論文要旨

鉄道は、実世界、人間社会、サイバー世界を含む、巨大なサイバーフィジカルシステム (Cyber Physical System, 以下 CPS) である。近年、センサーやネットワークの急速な発達により、鉄道の運行管理のための各種機器だけでなく、個々の利用者や車両ごとの状況など細粒度のデータがリアルタイムで取得できるようになりつつあり、それらを活用した質の高い運行やサービスの実現が期待されている。

本論文は首都圏の鉄道のように多くの路線で構成される複雑な交通ネットワークにおいて、鉄道環境上に分散する各種情報源を利用した流動把握手法と、そのアプリケーションを提案したものである。鉄道環境上に存在する多種多様で、時間的、空間的な変動を伴う複数の動的データを持つマルチデータベース環境を利用して、鉄道利用者群の流動を把握する実現方式を示す。また、流動把握により得られたデータを基に鉄道の運行管理を改良するシステムの提案、輸送障害が発生した場合の利用者への影響を定量化する手法、及び、利用者のコンテキストに合わせた情報提供アプリケーションを実現した。

マルチデータベースとは、主にネットワーク上に分散されたシステムにおいて、情報の共有を実現するデータベースの総称である。ネットワークに接続されつつも独立して構築、運営されている個々のデータベース (レガシーデータベース) 群を対象として、検索、情報獲得、結合、統合操作を可能とすることで、新しい価値を生成する機能を実現する。

マルチデータベース環境とは、マルチデータベースが提供する機能をシステムとして利用可能とする状況である。すなわち、既にレガシーデータベースが複数存在し、それらにネットワークを介して自在にアクセス可能となっており、複数のデータベースシステムを対象に検索、結合等が実現可能な状態にある環境である。

本研究は、乗客の鉄道利用力向上 (Passenger Empowerment)、鉄道従事員の能力向上 (Employee Empowerment)、鉄道事業者の運行管理力の向上 (Operator Empowerment) を通して鉄道の価値向上を実現することをコンセプトとしている。鉄道のマルチデータベース環境において、多種多様なデータを統合するデータ活用システム基盤や旅客流動の把握を含む、コンセプトを実現する複数のアプリケーションを提示する。

本研究の成果を、以下の4点にまとめる。

1 点目は、マルチデータベース環境において、応答性が高く効率的な制御を実現するシステムアーキテクチャを提案したことである。事象を制御、把握する複数のデータベースシステムが、必要なときに必要なだけ協調して動作することで最適な制御データを生み出

し、その生成されたデータをデータベースシステムにフィードバックして事象を制御することで全体的な効率化を実現する新たなシステムとなる。特に、各データベースシステムが制御、把握する事象間で相互作用が発生している場合には、関係システム間で協調した動的なルール生成が必要となる。さらに、近年、計算機能力向上やネットワークの広域化、高速化、さらにはデータベースシステムの処理能力向上が実現しているが、その一方で扱うデータ量、処理量も膨大となっており、依然として大きなデータ量を処理するシステムアーキテクチャの実現は大きな課題である。提案するシステムアーキテクチャによって、既存システムにはほとんど影響を与えない形で、応答性高く事象を制御するアプリケーションのシステム基盤を提案した。

2 点目は、上記のアーキテクチャを基盤として、鉄道における列車の混雑緩和や輸送力改善に資するアプリケーションを提案したことである。鉄道環境においては、輸送障害時に路線上で列車の存在が偏り、特定の列車が混雑することで、さらに他の列車の遅れが増幅することがある。列車遅れの原因となる利用者の混雑データと、混雑の原因となる列車遅れのデータを対象として、相互作用を踏まえた制御を実現することで混雑の偏りや列車遅れを減少させることが期待できる。これまでは、列車制御システムをベースとした信号のデータ（列車の遅れデータ）についてはリアルタイムに取得できていたが、リアルタイムに混雑状況を把握することが困難であった。しかし近年、センサーの装備などを伴う車両のインテリジェント化や沿線のネットワークの充実・高度化により、リアルタイムに列車の混雑状況が取得できるようになった。本研究では、これらのデータを利用して特に列車遅れ時の混雑率を考慮した列車の制御について新たな知見を得ることを可能とした。

3 点目は、鉄道において輸送障害が発生した時の鉄道事業者におけるオペレーション改善検討を目的として、利用者が実際に受けた影響を定量化する方法を確立したことである。鉄道で遅れを伴う輸送障害が発生すると多くの利用者に影響を及ぼすため、鉄道事業者はその影響を最小化すべく様々なオペレーションを行う。このとき、利用者が実際に受けた影響から輸送障害を定量的に評価できれば、利用者視点でオペレーション改善を検討できる。個々の利用者の時空間移動データを交通系 IC カードから取得することで、従来手法より精度が高く、利用者視点で定量的な輸送障害の把握を可能とした。

4 点目は、情報提供による鉄道のユーザビリティ向上を目的として、利用者のコンテキストに応じた情報提供アプリケーションを実現したことである。鉄道は移動手段であるので、様々なローカルシステムから得られる時空間データと鉄道空間内を移動する利用者とのマッチングが大きな課題である。また、情報提供においては、その情報の伝達効率が利用者とのインターフェイスに大きく依存するため、情報デザインを洗練することが欠かせない。本研究では、実際に伝達性の高い情報デザインを実現しつつ、輸送障害に関する情

報提供や時間の有効活用，利用者のコンテキストに応じた情報配信，ナビゲーションなどを可能としたアプリケーションを開発した。

特に重要な具体的成果は，信号システムと列車混雑データのマルチデータベース化により，新たに列車運行と乗車率についての計量方式を示し，高精度な運行分析を実現したものである。また，交通系 IC カードデータと既存データを利用して利用者視点での輸送障害の定量化手法を提案したことである。いずれもマルチデータベースの有効性を示す顕著な例として，本研究の実用性を示すものである。

以上 4 点の成果により，乗客の鉄道利用力向上 (Passenger Empowerment)，鉄道従事員の能力向上 (Employee Empowerment)，鉄道事業者の運行管理力の向上 (Operator Empowerment) のコンセプトに基づき鉄道の価値向上を実現した。鉄道のマルチデータベース環境におけるシステム基盤の提案と流動把握方法の実現，それらを応用した実用性の高いアプリケーションを具現化したことが本研究の内容である。

キーワード：(1) 鉄道 (2) マルチデータベース (3) 流動把握

## SUMMARY

A railway is a huge Cyber Physical System (CPS) including the real world, human society and cyber world. Recently, the rapid development of sensors and networks have enabled us to obtain fine grain datasets not only from various kinds of equipment in the railway infrastructure or operational control system, but also from individual passengers, each train car and so on. It is expected that we will utilize these data to make high quality operation and service.

This paper presents a passenger flow analysis method using a variety of information sources that are distributed in the railway environment and its application in a complex transportation network that consists of a number of routes, such as the railway network in the Tokyo metropolitan area. In this study, using wide variety datasets and multiple dynamic data, such as temporal and spatial variations, it has been shown to be an implementation method to grasp the passenger flow. For improving the railway operation, I have proposed a quantification method for the influence of the passenger during the transport disruption, based on the passenger flow analysis. In addition, some information providing applications that depend on the passenger's context are installed.

A multi-database is a general term for a system which has distributed multiple databases in the network and shares the information among its system. The multi-database system consists of the group of individual databases (legacy database) which is independently constructed and operated with being connected to the network. In the system, to enable information searching, acquisition, joining and combining operation produces the new value. The multi-database environment is defined as the situation with an availability of a multi-database in the system. In the environment, there are already multiple legacy databases and they are freely accessible via a network. A user can search and conduct a join operation for multiple database systems in the same way as for a single database.

The study aims to enhance railway value based on three concepts; "Passenger Empowerment", "Employee Empowerment" and "Operation Empowerment". "Passenger Empowerment" means that a passenger can use the railway easier, by improving usability, providing information and so on. "Employee Empowerment"

stands for enhancing the ability by the proposed system for the employees' skill or support their judgement. "Operation Empowerment" shows an operational improvement of train control systems with suitable solutions which are proposed by this research and development.

I have summarized my achievements for four points below.

First, the system architecture of my proposal realizes both a quick response and efficient control under a multi-database environment. Usually, each database system manages the data and controls event independently, but multiple databases work coordinately as need arises, like a single database. Once the system starts to work, the system produces optimal control data and gets feedback data. As a result, the system can control a complex event and achieve efficient control as a whole. Recently, computing power has evolved rapidly, networks are widespread and their capacity has expanded, and the processing ability of a database system has progressed. However, the system architecture which can deal with big data remains an important issue because the volume of data and of transactions are also increasing rapidly. By the proposed system architecture, its application can control the event responsively and optimally without the effect of a legacy database system.

Second, based on the architecture, I have proposed a solution for reducing passenger congestion and improving traffic efficiency. In the railway environment, there can be a situation that only a few trains are congested at the time of transport disruption. If we can analyze the passenger congestion that causes the train delay, this can be expected to reduce the deviation of congestion. Previously, though the data of the signal which is based on a train control system (train delay data) had been acquired instantly, it was difficult to grasp the congestion status in real time. However, in recent years, because of sensors installed on train cars and improving wayside network capability, the railway operator can acquire the congestion situation data in real time. In this study, particularly during train disruption, this makes it possible to obtain new knowledge about the train optimal control in consideration of the congestion rate by using these data.

Third, I have developed the quantification method of passenger's influence caused by a railway accident and made the indices for improving the rail operation. Once a transport disruption occurs, the influence affects a large number of passengers. Therefore, railway operators try to perform various operations in order to minimize its

impact. At this time, if the operators quantitatively evaluate the transport disruption which the passenger has actually received, the operator can consider and review the improvement methods from a user perspective. Conventionally, it was difficult to grasp the individual passenger's impact of disruption. The study enables the understanding with high accuracy of transport disruption compared with the conventional method using the transport IC card.

Fourth, several applications which are actually installed in the railway field are developed, especially with improved usability and interface. As a purpose of improving railway usability, the applications for providing the information were implemented based on the user context. In particular, it is a huge issue for the railway to match the user who moves in the space with the guide information. In addition, as for the provision of information, because the transmission efficiency of the information is deterministically dependent on the interface with the user, it is essential to refine the information design. In the study, four information provision systems are developed, such as navigation in a railway station and an informative interface system which displays train disruptions and the train traffic situation in accordance with the passenger context.

Two concrete points are particularly important in this study. One is to achieve a high-precision operation analysis by the new metric method using the multi-database of the signal system and train congestion data. Two is to propose the quantification method of passenger's influence caused by a railway accident using the transport IC card data and the legacy data. Both of them show the efficiency of multi-databases and practical result of this study at the same time.

Of the four above achievements, the value of the railway through the concepts of "Passenger Empowerment", "Employee Empowerment" and "Operation Empowerment" have been enhanced. This study shows that building a multi database environment and creating its applications based on three concepts make the railway system much more usable and attractive.

Keyword: 1) Railway, 2) Multi-database, 3) Flow analysis

# 目次

第1章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 鉄道の社会的使命.....	1
1.1.2 サイバーフィジカルシステムとしての鉄道.....	2
1.1.3 鉄道空間から創出されるデータの特徴.....	3
1.1.4 鉄道のマルチデータベース環境.....	6
1.1.5 鉄道における利用者への運行情報提供.....	7
1.2 研究目的とコンセプト.....	9
1.2.1 研究目的.....	9
1.2.2 研究コンセプト.....	10
1.3 関連研究.....	12
1.3.1 異種データベースを対象としたマルチデータベースの関連研究.....	12
1.3.2 稠密運行路線の遅延改善に関する研究.....	12
1.3.3 輸送障害定量化指標に関する研究.....	13
1.3.4 鉄道における情報提供アプリケーション.....	13
1.4 本論文の構成.....	14
第2章 マルチデータベース環境における相互作用データを対象としたリアルタイム 協調計算システム.....	15
2.1 はじめに.....	15
2.2 関連研究.....	17
2.3 システムの要素と特徴.....	18
2.3.1 マルチデータベースシステム.....	18
2.3.2 アクティブデータベースシステム.....	18
2.3.3 相互作用データ.....	18
2.3.4 リアルタイム協調計算.....	20
2.4 データセット.....	23
2.4.1 移動集合体データ.....	23
2.4.2 輸送機関の個体ログデータ.....	23
2.5 処理フロー.....	24
2.5.1 ルールの定義とその共有プロセス.....	24
2.5.2 相互協調判断プロセス.....	25
2.5.3 制御データ創出プロセス.....	26
2.6 鉄道の混雑時の輸送力均等化に対するアプリケーションへの適用.....	29



2.6.1	輸送力均等化アプリケーション実現の背景	29
2.6.2	応荷重データ	30
2.6.3	運行管理システムによる信号ログデータ	32
2.6.4	混雑制御アプリケーション	32
2.6.5	列車の遅れと乗車率の関係の考察	33
2.6.6	制御データ生成処理ルール	34
2.7	実験	35
2.8	おわりに	36
第3章	交通系 IC カードを利用した鉄道輸送障害時の影響を定量化する方法の研究	37
3.1	はじめに	37
3.2	利用者視点での輸送障害の定量化指標	39
3.2.1	定量的指標 SCORE	39
3.2.2	振替輸送に関する考察	41
3.2.3	交通系 IC カードデータの特徴	41
3.3	定量的指標の具体的な算出方法	45
3.3.1	データの整備	45
3.3.2	定量的指標 (SCORE) の算出フロー	47
3.3.3	その他の定量的指標とそのメリット	48
3.3.4	SCORE によるオペレーション向上の視点	48
3.4	具体的事例とその考察	49
3.5	可視化ツールの開発	52
3.6	おわりに	55
第4章	鉄道利用者に対する情報配信アプリケーション	56
4.1	意思決定支援機構を有するマルチデータベースの実現とモバイルコンピューティング環境への適用	56
4.1.1	はじめに	56
4.1.2	マルチデータベースにおける関連性計量関数の総合的評価方式	59
4.1.3	マルチデータベースを対象とした関連性計量 関数による総合的評価のモバイルコンピューティング環境における適用	61
4.1.4	本方式の実現	63
4.1.5	応用例	67
4.1.6	結論と今後の展望	68
4.2	路線図を活用した運行情報の提供	69
4.2.1	はじめに	69
4.2.2	現状の把握	70

4.2.3	路線図を活用した運行情報提供デザインの開発 .....	70
4.3	発車標に対する列車在線位置情報の提供 .....	73
4.3.1	はじめに .....	73
4.3.2	現状の発車標での列車在線位置提供 .....	73
4.3.3	列車在線位置表示のデザイン .....	75
4.3.4	おわりに .....	77
4.4	無人駅を対象とした列車在線位置情報の提供 .....	78
4.4.1	はじめに .....	78
4.4.2	システム概要 .....	78
4.4.3	情報端末「IT かかし」 .....	81
4.4.4	実証実験と結果 .....	81
4.4.5	おわりに .....	83
4.5	交通用 IC カードを活用した情報提供案内 .....	84
4.5.1	はじめに .....	84
4.5.2	開発の概要 .....	84
4.5.3	登録フロー .....	85
4.5.4	実証試験 .....	85
4.5.5	おわりに .....	86
4.6	セキュリティカメラを利用した利用者のコンテキスト応じた情報配信 .....	87
4.6.1	はじめに .....	87
4.6.2	関連事項 .....	89
4.6.3	ナビゲーション開発とその技術要素 .....	90
4.6.4	システム構成 .....	93
4.6.5	デモンストレーション .....	98
4.6.6	おわりに .....	103
第 5 章	結論と展望 .....	105
謝辞	.....	108

## 目次

図 1-1 CPS としての鉄道システム.....	3
図 1-2 本研究によるソーシャルイノベーションの実現 .....	9
図 1-3 研究コンセプトと全体像(鉄道のマルチデータベース環境における流動把握と そのアプリケーションの実現) .....	11
図 2-1 システム間で関係性がある複数オブジェクトの制御 .....	19
図 2-2 大きな容器内部の気体制御の例 .....	20
図 2-3 事象間が相互作用を持つマルチデータベースシステム全体概要図 .....	22
図 2-4 ルールの定義と更新 .....	25
図 2-5 協調判断プロセス機構 .....	26
図 2-6 制御データ創出処理 .....	27
図 2-7 荷重センサーと制御ユニットの役割 .....	30
図 2-8 応荷重データ例 .....	31
図 2-9 1日の駅間における乗車人数 .....	31
図 2-10 軌道回路と信号ログデータ .....	32
図 2-11 混雑制御アプリケーション .....	33
図 2-12 列車間隔と乗車率の関係 .....	34
図 2-13 停車時間を制御した場合の乗車率 .....	35
図 3-1 首都圏における所要時間と乗客数 .....	42
図 3-2 ある駅間の所要時間分布 .....	43
図 3-3 所要時間分布 (15時から16時) .....	43
図 3-4 代表値の検討 .....	44
図 3-5 平常時と輸送障害時の分布割合 .....	44
図 3-6 SCORE 算出フロー .....	47
図 3-7 SCORE データの分布 .....	49
図 3-8 輸送障害事例 .....	50
図 3-9 関係線区路線図 .....	50
図 3-10 指令の運転整理 .....	50
図 3-11 各指標の評価結果 .....	50
図 3-12 可視化ツール個別事象画面 .....	52
図 3-13 平常時との区間ごとの比較 .....	53
図 3-14 輸送障害の比較 .....	54
図 4-1 意思決定支援機構を有するマルチデータベースの実現とモバイルコンピュー ティング環境への適用における全体システム概要 .....	59

図 4-2	Global Evaluator.....	60
図 4-3	利用者コンテキストと関連性計量関数.....	63
図 4-4	情報認知から理解と行動フロー.....	69
図 4-5	LED による輸送障害表示例.....	70
図 4-6	異常時用案内ディスプレイ.....	71
図 4-7	テキストによる列車案内.....	73
図 4-8	駅名と矢印による列車案内 1.....	74
図 4-9	駅名と矢印による列車案内 2.....	74
図 4-10	外国の駅での到着時間表示.....	75
図 4-11	開発した列車在線位置表示.....	76
図 4-12	無人駅における列車在線位置情報提供のシステム概要.....	78
図 4-13	列車の位置データのマッピング表示.....	79
図 4-14	位置データ把握ウェブサイト.....	80
図 4-15	無人駅に設置されるローカルシステム.....	80
図 4-16	情報端末「IT かかし」.....	81
図 4-17	車上側位置把握システム（携帯電話による位置検知と通信）.....	82
図 4-18	無人駅の情報提供装置.....	82
図 4-19	交通系 IC カードを活用した情報提供案内.....	84
図 4-20	登録用端末と登録フロー.....	85
図 4-21	交通用 IC カードを活用した情報提供案内(2006 年).....	86
図 4-22	研究の意義：監視カメラの高度利用.....	88
図 4-23	研究の意義：ユビキタスコンピューティング研究.....	89
図 4-24	利用者の移動.....	92
図 4-25	利用者の移動の座標点としての表現.....	92
図 4-26	移動の差分.....	92
図 4-27	移動の差分の合計.....	92
図 4-28	システム図.....	93
図 4-29	画像処理に使用するデバイス.....	94
図 4-30	赤外線フィルタによる赤外線検知.....	95
図 4-31	グループごとの位置計算アルゴリズム.....	96
図 4-32	サーバー処理機能.....	97
図 4-33	アプリケーションの起動画面.....	99
図 4-34	利用者の指定席情報.....	99
図 4-35	サーバ通信によるデータ取得.....	100
図 4-36	ホーム上のナビゲーションコンテンツ 1.....	100

図 4-37	ホーム上のナビゲーションコンテンツ 2 .....	101
図 4-38	ホーム上のナビゲーションコンテンツ 3 .....	101
図 4-39	利用者の位置情報・向きに応じた駅構内の設備情報画面 1.....	102
図 4-40	利用者の位置情報・向きに応じた駅構内の設備情報画面 2.....	102
図 4-41	利用者の位置情報・向きに応じて乗り換えのための情報画面 .....	103
図 4-42	利用者の位置情報・向きに応じて乗り換えのための情報画面 .....	103

## 表目次

表 1-1 交通インフラの所有者, 管理者比較 .....	4
表 1-2 異種データベースを対象としたマルチデータベースの関連研究 .....	12
表 2-1 マルチデータベース関連研究 (再掲) .....	17
表 2-2 移動集合体データの例 .....	23
表 2-3 輸送機関のログデータ例 .....	24
表 3-1 利用者行動データの特徴 .....	42
表 4-1 User Context .....	60
表 4-2 User Context の例 .....	62
表 4-3 データ構造: 利用者コンテキストの属性と関連性計量関数 .....	64
表 4-4 静的な利用者コンテキストによる属性の相対的な重み付けの例 (縦軸の属性に 対する横軸の属性の重みの比) .....	64
表 4-5 動的な利用者コンテキストによる属性の相対的な重み付けの例 (縦軸の属性に 対する横軸の属性の重みの比) .....	65
表 4-6 データ構造: 結合対象となるローカルデータベース群のためのメタスキーマ (例) .....	65
表 4-7 データ構造: ローカルデータベース群 (地図データベース群) のためのメタ スキーマ (例) .....	65
表 4-8 結果データ構造: Result DB (例) .....	66

# 第1章 序論

## 1.1 研究背景

### 1.1.1 鉄道の社会的使命

鉄道は、都市に欠かせない社会基盤として人々の生活を支えている。特に鉄道網が充実している東京都市圏においては、移動の際に鉄道を利用する人が自動車等で移動する人より多い状態にある [1]。昨今では、世界規模で都市化の流れが進み、人口の増加に伴うエネルギーの消費量増大や渋滞による時間損失、汚染や騒音などの環境負荷等の問題が大きくなってきている。鉄道は、安全性、速達性、輸送力、環境性能、定時性に優れた交通モードであり、都市化に対する解決策として強く注目されている。

日本の鉄道は、その経済成長とともに便利な交通手段として発達してきた。旺盛な旅客需要を背景に、鉄道事業者の努力や行政の支援により、結果的に利便性、快適性を伴った質の高いサービスを提供している。一方、発展段階にあるアジア諸国においては、社会基盤の不足が経済成長や生活の質的向上の妨げとなっている。これに対して日本政府は、2015年に鉄道を含む「質の高いインフラパートナーシップ」を発表 [2] し、アジア地域の支援に乗り出している。世界中の都市化に伴う諸問題の解決支援として、また、低成長が続く日本において世界の経済成長を取り込む手段としても、近年、鉄道に期待が高まっている。

一方で日本の鉄道事業者は、少子高齢化や人口減少、競合モビリティの台頭等により経営環境が厳しくなりつつある。従って、運行オペレーションの品質向上やメンテナンスのコスト削減だけでなく、利便性向上や新たなサービス実現による利用者の維持、獲得が重要な経営課題である。そして、労働力や投資の追加投入には制約があることから、システム化やデータ活用による効率化や価値向上の実現が望まれている。

特に定時性が期待される鉄道においては、自然災害や設備故障などを原因とする輸送障害の発生時やラッシュ時の列車遅れの対処は、利用者の関心も高い重要な課題である。しかし、首都圏のような複雑な鉄道ネットワークにおける乗客の流動や、稠密化した路線における列車の振る舞いについては、大局的、顧客視点、かつ、効率的な制御を実現できていない。また、列車遅れが発生した際に特に重要になる利用者への情報提供についても、新たなデータ活用や提供手段の充実、理解しやすいインターフェイスの実現により更なる改善の可能性がある。

都市において鉄道は社会基盤として大きな存在であり、鉄道によって人々の移動を安全で快適、効率化することは、いわば社会的変革（ソーシャルイノベーション）である。本

研究の遂行にあたっては、ソーシャルイノベーションの実現を、鉄道事業者及び自身として期待される社会的な使命と認識している。

### 1.1.2 サイバーフィジカルシステムとしての鉄道

都市化や気候変動、エネルギー問題など地球規模での様々な問題に対して、実世界から得たデータをサイバー世界で処理・分析を行い、その結果を実世界にフィードバックして高度な制御を実行することで、安全で、効率的、質の高い社会を具現化しようとするサイバーフィジカルシステム(Cyber Physical System, 以下 CPS)の実現が求められている。CPS は実世界や人間社会から得られるデータを収集・処理・活用する全体のシステムであり、効果としてシステムの効率化、新サービスの創出、省エネルギー化が期待されている。近年、センサーやデバイスの普及、ネットワークの高速化等により実社会の大量のデータが入手可能となり、サイバー空間におけるコンピューティング能力も飛躍的に発展しているため、実世界とサイバー世界を融合した CPS の視点で実現可能なソリューションが求められている。例えば、ITS のような道路の交通システム制御や農業において、センサーデータなどの解析に基づく効率的な管理が行われようとしている。

CPS という概念は比較的新しく、2009 年に米国科学財団 (NSF) が米国での新たな研究支援プログラムとして採択したのが注目されたきっかけである。そこから、人口増加やエネルギー問題等の背景もあり、社会基盤の安全性向上、効率化等によるソーシャルイノベーションが求められる中で、IoT(Internet of Things)や Big Data 等の新たなトレンドワードとも関連しつつ、CPS はその概念の広さから注目を集めている。

鉄道は、正に実世界、人間社会、サイバー世界を含む巨大な CPS である。昨今では、センサーやネットワークの急速な発達により、線路や施設などのインフラや運行管理のための各種機器だけでなく、鉄道を利用する個々の乗客や、個々の車両など、細粒度のデータがリアルタイムで取得できるようになりつつあり、それらを活用した質の高い運行やサービスの実現が期待されている。CPS としての鉄道システムのイメージを図 1-1 に示す。



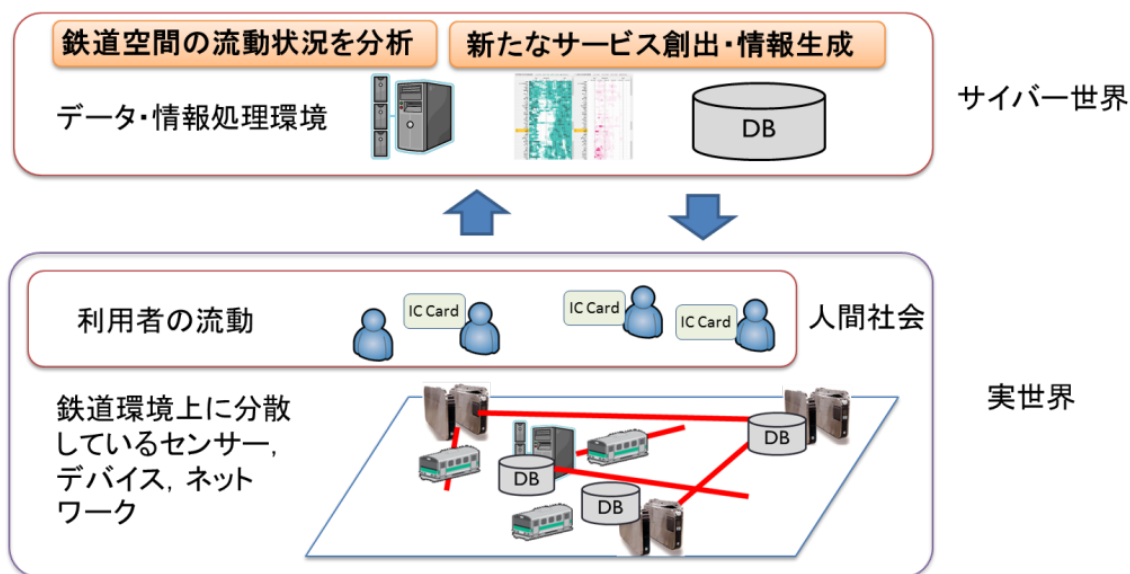


図 1-1 CPS としての鉄道システム

CPS としての鉄道の 1 つの特徴は、比較的、閉世界で形成されていることである。特に日本においては、線路や施設等のインフラの所有や維持、管理だけでなく、利用者に対する出発駅から到着駅までの輸送サービスまでを、基本的には鉄道事業者により一貫して提供されている。従って、鉄道環境は比較的外乱要素が少なく、サイバー世界にアップロードされるデータ群も精度が高く、対象の全量が取得できるような事例が多い。つまり CPS としての鉄道は、実際にはデータの活用によって更なる価値の向上を実現しやすい対象であると言える。

### 1.1.3 鉄道空間から創出されるデータの特徴

鉄道は、比較的、閉じた系としての特徴を持つためデータ活用に適しているが、データ活用に際しては、鉄道空間の特徴を踏まえることが重要である。以下に鉄道空間の特徴、及び、鉄道空間から創出されるデータの特徴を述べる。

#### 1.1.3.1 鉄道空間の特徴

鉄道の運行に必要な資産については、日本の場合、基本的には鉄道事業者により所有、管理、運営されている。鉄道事業者の事業用地に専用軌道が敷設されており、その上を鉄道事業者の所有する列車が運転される。駅も特に改札内は鉄道事業者の財産であり、駅の改札機における入出場処理や駅舎の維持、管理等は鉄道事業者が行う。この鉄道空間を利用して、鉄道事業者が利用者に対する出発駅から到着駅までの輸送サービスを一貫して提供している。従って、鉄道空間はそのほぼ全てを鉄道事業者が管轄しており、そこから取得できるデータも鉄道事業者に集約される構図となっている。

対照的に道路等の場合は、国や自治体が整備した道路を、警察が管理する信号機に従って、個人や会社等が所有する車が走行している。つまり、道路や信号機といったインフラを、これらと異なる所有者の乗用車が制約なく利用できる開空間となっている。当然、道路や信号機、車から取得できるデータは、それぞれの所有者や組織には集まるものの、一元化することは難しい。この比較を表 1-1 に示す。

表 1-1 交通インフラの所有者、管理者比較

財産名称	鉄道（所有者、管理者）	道路（所有者、管理者）
土地インフラ	線路（鉄道事業者）	道路（国・自治体等）
信号	信号機（鉄道事業者）	信号機（警察）
輸送機関	鉄道車両（鉄道事業者）	例：乗用車（個人・会社等）

鉄道空間は地理的に広く分布しているために、自然災害の影響を受けやすい。鉄道における輸送障害の約3分の1は風水害や雪害、地震などの自然災害によるものである [3]。また、線路内立ち入りなど鉄道事業者に起因しない部外原因も輸送障害の約3分の1を占める。比較的閉じた系とはいえ、鉄道空間においても輸送障害は避けられないため、対策策定時には原因の分析が欠かせない。

鉄道空間内における動的な対象は列車と利用者である。列車の位置は、信号システムにより把握されており、基本的には路線を一定の区間別に分割して安全を保つための「閉そく」ごとに列車の位置情報を捉えることが可能となっている。利用者については、出発駅から到着駅までを鉄道空間でのサービス対象として捉えると、交通系 IC カードの利用があれば改札機の通過ごとに位置と時刻を把握できる。他にも利用者群としては、昨今では車両のセンサーで乗車人数を把握することが可能となってきている。

また、鉄道空間内を動く車両には線路という制約があるため、一旦遅れが発生するとその影響は路線上に沿って広がる。同じ路線を走る他の列車に影響を与えるような輸送障害が発生すると、鉄道事業者は所与の時刻での運行に戻すために様々なオペレーション（運転整理）を行う。

### 1.1.3.2 鉄道空間から創出されるデータの特徴

前節で述べた特徴をもつ鉄道空間から創出されるデータの特徴を以下に述べる。

- 全量データ

鉄道空間は比較的閉じた系である故に、センサー類やネットワークを整備すれば対象の全量データが取得できる。従来はサンプル的に取得せざるを得ないデータも多かったが、運行管理や収入管理、車両システムのみならず、改札機や設備モニタリング等まで、広い範囲でシステム化が進み、系の中では、ほぼ全ての個体等についてデータが取得できるようになってきた。

例えば、利用者の流動に関するデータとして、出発駅や到着駅、その所要時間を捉えようとすると、従来は5年に1度の大都市交通センサス等が主な手段であった。流動を把握する機会が少ないだけでなく、サンプル調査が主体であったため、その対象データ量には限界があった。現在では交通系 IC カードの利用率が大きく高まり、鉄道事業者は、ほぼ全数の利用者の流動データが入手可能となりつつある。

- 細粒度のデータ

従来は個々の利用者、車両のデータを得ることは難しかったが、センサーやデバイスの発達や普及により、細粒度のデータが取得可能となってきた。利用者が個別 ID を持つ交通系 IC カードを利用し鉄道空間を移動すると、改札機等のコンタクトポイントごとにその位置や時刻を把握できる。また車両についても、設置されるセンサーの数が多くなり、機器ごとの詳細データが入手できるようになってきた。これらのデータを活用すれば、より精度の高い流動状況の把握や故障原因の究明などにつながる。

- 時空間データ

鉄道空間内で車両を運行することが輸送事業の主たる業務であるため、鉄道に関するデータは時空間データが多く含まれる。列車の位置は鉄道空間内で刻々と変化し、それを支えるインフラも空間的な設置場所、動作した時間などが記録、管理されている。また、利用者が移動する際にも、駅の改札機等により場所や時間が記録される。このように、鉄道事業から得られるデータは時空間を取り扱うデータが多く、この取り扱いが重要である。

- リアルタイムデータ

車両の制御は、鉄道の安全性、定時性などを実現する要の技術であり、応答性が高く求められる。また、列車が時々刻々と位置を変えるのに伴い制御データも変化するために、運行管理システムにおいてはリアルタイム性が重要である。また、リアルタイム性が高いことは、ログデータが膨大になることも意味する。周期やデータ量、データ形式等が異なるリアルタイムデータの取り扱いも、鉄道のデータ活用の要件となる。

- 非構造化データ

列車運行に関わる鉄道事業者内でのコミュニケーションや多くの利用者からの要望など、鉄道事業者では多くの非構造化データが扱われている。非構造化データを扱うシステム化やデータ分析は比較的困難であるが、本質的な業務に関わり、人間に直感で分かりやすいデータであることが多く、その分析が課題である。近年発展してきたメディア処理、言語解析技術等により、非構造化データもデータ活用の対象となりつつある。

- システム化にともなうデータ量と種類の増加

ある鉄道事業者が所有するシステム数は、1987年には3であったが、2015年には約1,000となっている。システム化は鉄道の効率的運営を可能にした一方で、扱うデータ量とその種類も飛躍的に増加している。

近年の計算機の進化やネットワークの広域化、帯域の拡大に伴い、従来は制限せざるを得なかったデータが幅広く蓄積可能となってきた。例えば、車両機器のログデータは、従来はモニタリングするセンサーの種類が少なく、パフォーマンスを維持するためにデータの一部を削除して、ネットワークに送出して蓄積する仕様であった。しかし現在であれば十分、全てのデータをネットワーク経由でサーバに創出してリアルタイムで処理可能である。また、システムの対象範囲も大きく拡大してきた。自律分散型の運行管理システムは、首都圏の一部線区に導入以降、拡大を続け、現在では100キロ圏ほぼ全ての線区において高度な運行管理システムが導入されている。

- システムの構築目的外のデータ利用

そもそもデータ活用のために整備されたシステムでほとんど存在しないため、システムから取得可能なデータの利活用は容易ではない。鉄道のシステムは、一義的には運行管理、収入管理、安全性向上等のために導入されたものが多く、そのシステムの目的を超えたデータ活用が想定されていない。従って、データを利用するためには、既存のシステムに手を入れてデータ獲得や加工を行い、入手できる範囲のデータから活用の目的に合う分析等を実施する必要がある。

いずれにせよ、鉄道空間から得られるデータは飛躍的に増大しており、データ分析、活用の機会は増加している。現状ではデータ分析やアプリケーション作成による実際的な成果が求められている。

#### 1.1.4 鉄道のマルチデータベース環境

昨今では、実世界に多くの機器やセンサーが配備され、それらが高速ネットワークに接続されつつあり、実世界の多種多様で膨大なデータが取得可能となってきている。取得されたデータは、各々のシステムの中でデータベースに格納されていて、データ活用の機会が増大している。また、システム同士をつなげることで、多種多様なデータベースを組み合わせ、1つのシステムだけからは得られない価値ある情報を生成できる可能性も増えてきている。

マルチデータベースとは、主にネットワーク上に分散されたシステムにおいて、情報の共有を実現するデータベースの総称である。ネットワークに接続されつつも独立して構築、運営されている個々のデータベース（レガシーデータベース）群を対象として、検索、情報獲得、結合、統合操作を可能とすることで、新しい価値を生成する機能を実現する。

マルチデータベース環境とは、マルチデータベースが提供する機能をシステムとして利用可能とする状況である。すなわち、既にレガシーデータベースが複数存在し、それらにネットワークを介して自在にアクセス可能となっており、複数のデータベースシステムを対象に検索、結合操作等が実現可能な状態にある環境である。

鉄道環境においても、近年では設備や車両等随所にデータを取得可能なセンサーや機器が設置され、交通系 IC カードの普及や運行管理システムの高度化、鉄道車両のインテリジェント化なども加え、膨大なデータが獲得可能となってきた。しかしながら各々目的が明確なシステムは多く構築され内部でデータ活用が検討されるものの、システム間を統合して新しい価値を生成するような活用方法はほとんど生まれていない。理由としては、異なるシステム内のデータを組み合わせる技術的な制約だけでなく、得られるアプリケーションや分析結果が、かかるコスト（労力、金銭的負担等）に対して明確な優位性を示せていない現状がある。

従って、鉄道においてはマルチデータベース環境の構築による分析や新たなアプリケーションの実現が求められている。

#### 1.1.5 鉄道における利用者への運行情報提供

輸送障害が発生した時に利用者に対して運行情報を的確に伝え、代替手段などを案内することは、運行や事象を把握している鉄道事業者にとって使命である。一方、鉄道事業者が実施した調査では、輸送障害時の情報提供が、利用者の満足度が低く、かつ全体の満足度に対して影響が大きいとの結果が得られている。利用者は分かりやすく、状況に合った速報性の高い情報を望んでいるため、ICT を活用した運行情報提供が求められている。

運行情報の提供の大きな目的は、提供した運行情報により、利用者が自身で理解して判断、行動できることである。その実現のために、昨今の鉄道事業者は積極的に運行に関する情報をオープンにしている。鉄道事業者としては、運行情報に関して利用者に対して説明責任を果たすと同時に、情報によって利用者自身が判断して行動することが望ましいためである。従って、運行情報には、運行や事象を詳細に把握した速報性のある内容が不可欠である。

利用者自身が情報によって判断するためにも、運行情報は分かりやすさが重要である。そのため昨今では、音声と文字が主流であった状況を進化させて、大型ディスプレイや利用者のスマートフォンに対して映像や画像など利用者が認識しやすい形式で、運行情報を提供している。このとき、利用者に伝わり認知・理解されてこそ「情報」となることから、情報の内容や量、画面インターフェイスなど、トータルでの情報デザイン設計が重要となる。

利用者に対する情報提供については、大きく2つの方向性がある。

1つが、多くの利用者向けに大型ディスプレイ等を用いて情報を提供する方法である。駅は多くの利用者が同時に使用する場所であり、利用者の所持する情報端末等に依存せず、

一斉に情報を伝えることが必要となる。昨今では、大画面ディスプレイの低価格化や IP ネットワークを利用した情報配信技術の汎用化により、動画や地図などを利用した理解しやすい情報配信が可能である。

もう 1 つは、利用者個々に応じた情報を配信することである。携帯電話、スマートフォンの普及や ICT の進化により、利用者の状況に応じて個別の情報を提供することが可能になりつつある。すでに一部では、時間や場所、自身の設定によって運行情報を提供するサービスも提供されている。

鉄道における利用者への運行情報提供は、ニーズも高く、鉄道会社が優先度高く取り組むべき課題である。データやネットワーク、デバイス等は充実してきており、情報デザインを含め利用場面で分かりやすく、使いやすい情報提供が求められている。

## 1.2 研究目的とコンセプト

### 1.2.1 研究目的

ソーシャルイノベーションの一部として、鉄道のマルチデータベース環境を利用して流動を把握することで、新たなアプリケーションを生み出し、効率的で利用しやすい鉄道を実現することで鉄道の価値向上に資することが本研究の目的である。図 1-2 にその全体概念を示す。

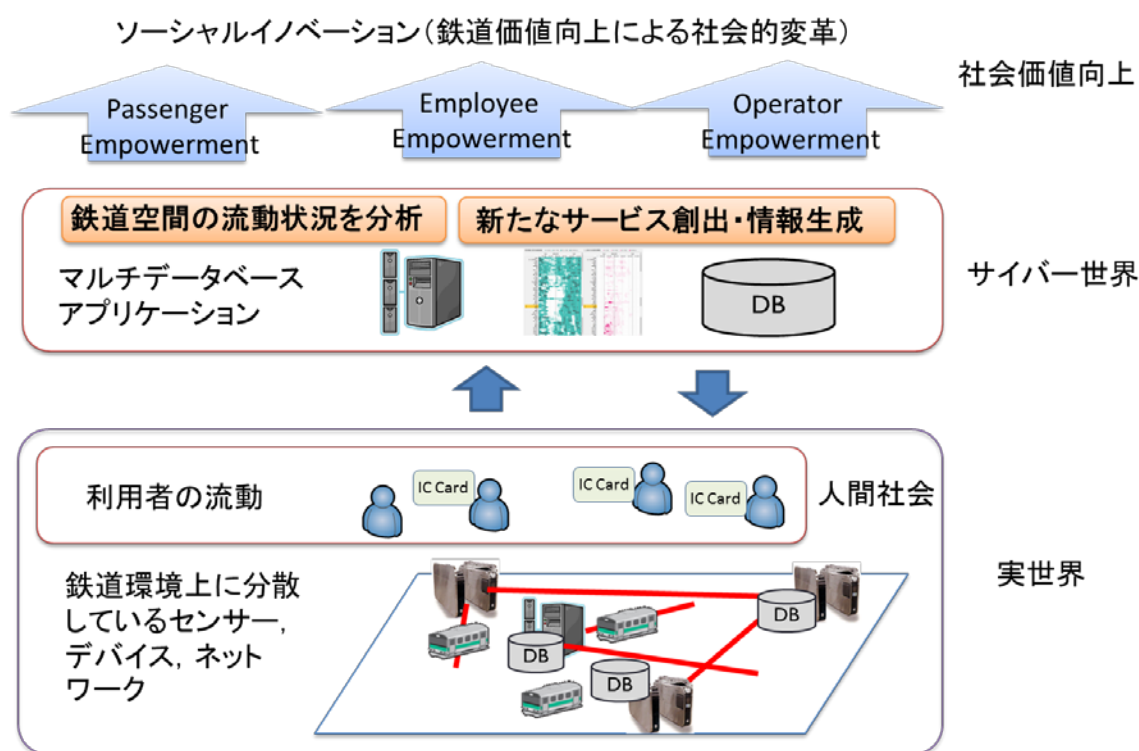


図 1-2 本研究によるソーシャルイノベーションの実現

鉄道に現在求められる大きな課題の一つは、利用者の「利用しやすさ」の具現化である。本稿では乗客の鉄道利用力向上「Passenger Empowerment」と呼ぶ。もともと鉄道には、定時運行から得られる「移動時間の予測可能性の高さ」や一度に大量の乗客を運べる「輸送力」、専用軌道による「安全性」や「移動速度の速さ」、利用コストの「安さ」など様々な利点があり、結果として多くの人が移動手段として利用している。一方で、車のように Door to Door で輸送する柔軟性はないため、利用者自身が出発地から目的地までの移動に関して、自らが鉄道網における経路や列車を選択する必要がある。選択する行為は個々の乗客の知識やスキルに依存する部分も大きいため、鉄道事業者には個々の乗客に対して判断に資する様々な情報を、分かりやすい形で提供することが求められている。また、判断

は時間的・空間的に様々な場面で発生するが、スマートフォンの普及などにより、利用者の状況に合わせた情報配信により行動を促すような高度な情報提供も求められている。

これら「利用しやすさ」を作り上げるベースとなるのが、鉄道環境における様々なシステムから取得できるデータである。現在の鉄道はシステムの集合とも言える状況であり、各々のシステムで様々なデータが利活用されている。特に運行管理を担うシステムにおいては、内部において所持するデータを活用することで、高いレベルの情報提供サービスを実現してきている。一方で、個々のシステムは、その目的に合わせて構築されているため、利用者向けサービスに活用すべくデータを取得したい場合にも、そのままでは活用できない場合が多い。これを解決するためには、利用者等のニーズに応じて、システムの種別を超えて有機的に連携してサービスを生み出すマルチデータベース環境が必要である。

「利用しやすさ」を実現するためには情報提供だけではなく、鉄道運行そのものの改善も必要である。例えば、輸送障害が発生した時に迅速に計画ダイヤに戻る回復力や、列車遅れ時においても列車間隔を制御することで乗客の集中度をコントロールして、総体として遅れや利用者の負担少なくすることが求められている。そのためには利用者の流動を把握し、その流動を効率化する運行管理が欠かせない。このとき必要となるのが、鉄道事業者の運行管理力の向上(**Operator Empowerment**)や鉄道従事員の能力向上(**Employee Empowerment**)である。鉄道は、現在でも労働集約的要素が強く、経験や勘による作業が随所に残るため、省力化の要望も合わせ、システム化や判断サポートを実現するためのデータ活用は喫緊の課題である。合わせて、得られたデータによりオペレーションの効果を実証することで**Operator Empowerment**や**Employee Empowerment**が実現できる。

鉄道は、利用しやすさに関して発展途上にある。高齢化に伴う移動制約の問題や、人口減少による乗客数の低下は既に顕在化し始めており、早急にその対策が求められている。鉄道のマルチデータベース環境を利用して流動等のデータを把握、分析することで、新たなアプリケーションを生み出し、効率的で利用しやすい鉄道を実現することが本研究の目的である。

### 1.2.2 研究コンセプト

研究目的にあるように、特に、乗客の鉄道利用力向上(**Passenger Empowerment**)、鉄道従事員の能力向上(**Employee Empowerment**)、鉄道事業者の運行管理力の向上(**Operator Empowerment**)を通して鉄道の価値向上を実現することを本研究のコンセプトとした。本研究では、鉄道の情報環境における乗客、従事員、事業者支援のためのマルチデータベースシステムの提案と、これを活用した様々なアプリケーションの実現を行った。実用性に拘りつつ、これまでは活用されてこなかったデータを中心に、**Passenger, Employee, Operation Empowerment**を実現することで鉄道の価値を向上する。特に、個別、既存のシステムをそのまま活用しながら鉄道のマルチデータベースを構築し、鉄道のアプリケ



ーションにとって重要となる「評価軸による数値化・定量化」、「分析手法の確立」、「可視化による判断支援」を持つ新しいアプリケーションを提案する。図 1-3 にその全体像を記す。

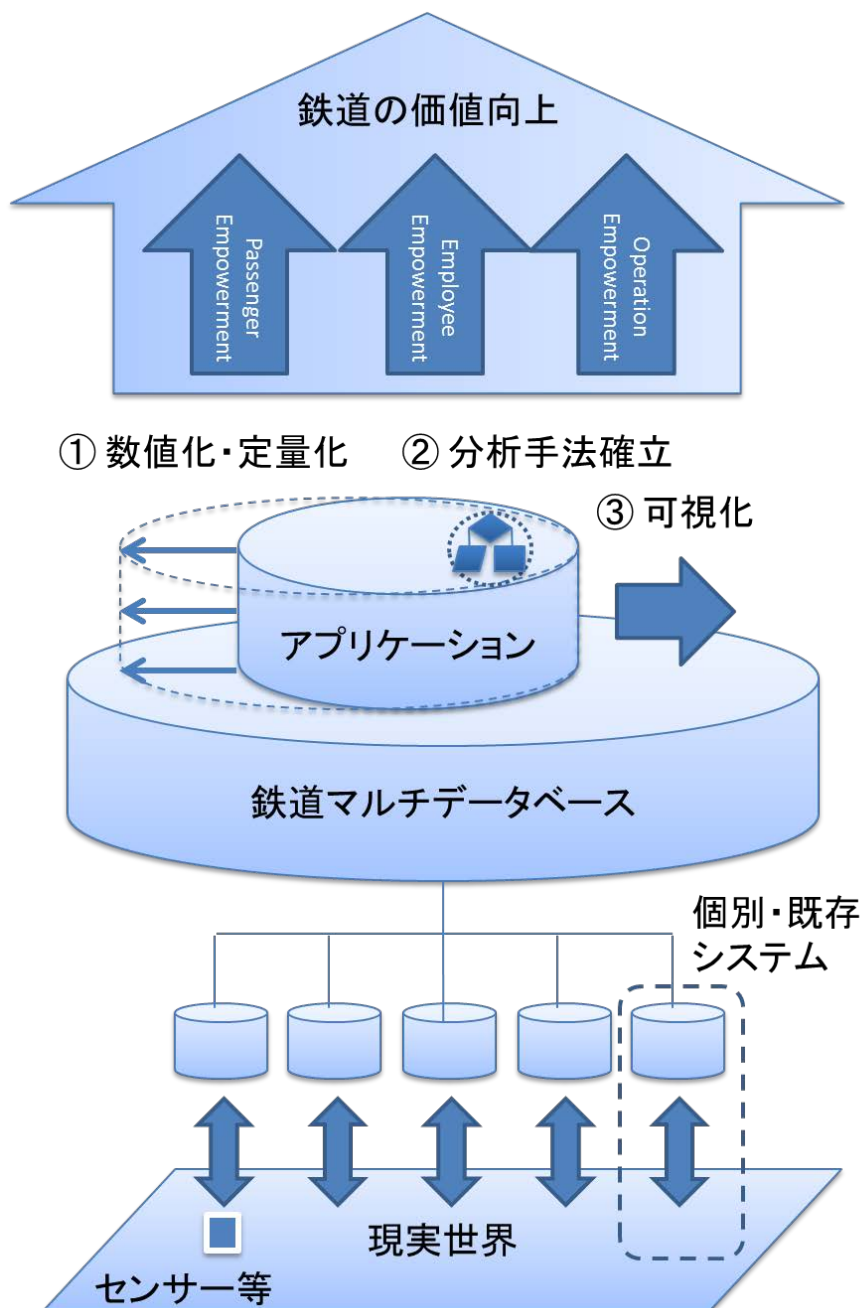


図 1-3 研究コンセプトと全体像(鉄道のマルチデータベース環境における流動把握とそのアプリケーションの実現)

## 1.3 関連研究

### 1.3.1 異種データベースを対象としたマルチデータベースの関連研究

マルチデータベースの関連研究として、異種のデータベース群の相互利用のための様々な機構が提案されている。[4][5][6][7]では多様なデータに対応するための計量方式が提案されている。また、[8]では、大きなデータを扱う際に考慮すべき提案がされている。また、[9][10][11][12][13][14]では、特に時空間を中心として、データの関連性を計量する研究がされている。

表 1-2 異種データベースを対象としたマルチデータベースの関連研究に関する表を示す。異種データベースを対象としたマルチデータベース研究として、本研究は特にビッグデータへの対応やリアルタイムフィードバック機構を実現しているリアルタイム協調計算機構に特徴がある。

表 1-2 異種データベースを対象としたマルチデータベースの関連研究

	データ多様性への対応	ビッグデータへの対応	データ間の関連性計量	リアルタイムフィードバック機構
The study	○	○	○	○
Y.Hosokawa 1999	○	-	○	-
N.Ishibashi 2001	○	-	○	-
N.Yoshida 2000	○	○	○	-
W.S.Li 1994	○	-	○	-
A.Morishima 1997	-	-	○	-

### 1.3.2 稠密運行路線の遅延改善に関する研究

本研究では、提案するリアルタイム協調計算機構のアプリケーションとして、稠密線区における遅延改善を目的とした、列車遅れデータと混雑率データの分析を行っている。この分野ではシミュレーションモデル構築による分析が、[15][16][17]によって実施されている。また、実際のデータを活用、原因を推定して、対策まで実施、効果を検証した[18]の研究は、非常に実践的である。

本研究では信号システムから得た列車遅れデータだけでなく、乗車率のデータを活用している点が根本的に異なる。稠密運行路線では、遅れが乗車率の上昇につながり、乗車率の上昇が遅れにつながる。従来は取得できなかった乗車率のデータを活用して現象を分析した点に、本研究の新規性がある。

### 1.3.3 輸送障害定量化指標に関する研究

鉄道の運行オペレーション改善に関する研究は幅広く行われているもの、輸送障害の定量化に関する研究は大きな分野とは言えない。関連研究としては、[19]は輸送障害時の利用者影響を定量化する方向性が同じであるが、影響を受けた利用者数や時間を列車単位で捉えるため、個々の列車の利用者数や運行結果の正確な把握が難しいことから精度が高くない。また、ベースとなる列車乗車人数のデータも1年に1度の調査データを代表させているに留まる。[20]には、様々なオペレーション手法が紹介されているが、より良いオペレーションのためには定量的な輸送障害の評価が今後の課題であると記述されている。または、[21]は事故損失時間の評価手法を、高速道路を対象として検討している。[22]は本研究と同様に交通系 IC カードのデータを利用しているが、首都圏のバス利用について検討されており、鉄道に応用はできない。さらには、[23],[24],[25],[26]は交通系 IC カードの利用履歴を解析しているが、利用者の行動解析の議論であり、輸送障害の定量化およびオペレーション改善までの指摘はない。[27]のサーベイ論文によれば、交通系 IC カードデータの分析により交通機関の移動手段サービス提供能力を測定したものがあがるが、鉄道事業者のオペレーションの評価や改善までの言及や、数十の路線を有するような複雑な鉄道ネットワークを対象にしたものはない。

### 1.3.4 鉄道における情報提供アプリケーション

鉄道事業者ごとに運行形態や利用者数、経営状況、旅客の要望、設備の状況等が異なることから、鉄道における情報提供アプリケーションは個別具体的であり、総合的な把握は難しい。しかし、利用者のコンテキストに応じた情報配信の研究や、輸送障害時の情報配信に関しては多くの研究がみられる。

鉄道の分野で言えば、[28]、[29]、[30]は、異常時における鉄道事業者の情報配信について、利用者へのアンケートや人間の心理面からアプローチしたものである。[31],[32],[33]はモバイル環境における情報提供配信についてレポートされたものである。

いずれにしても、参考となるものはあるものの、本研究を含めこれらの研究は個別具体的であり、それぞれに特徴を持っていると言える。

## 1.4 本論文の構成

本論文は次の5章から構成されている。

第1章では、本研究の背景、本研究の目的やコンセプト、鉄道データの特徴、関連研究を示している。

第2章では、実世界で制御対象となるオブジェクト間に相関関係があるという現実の状況を捉え、オブジェクトを制御するためのシステムアーキテクチャの提案している。このアーキテクチャをベースとして、列車の混雑データと遅れデータを組み合わせて、列車の混雑緩和や輸送力改善に資する分析を示す。Operator Empowerment の例となっている。

第3章では、交通系 IC カードのデータを利用して利用者群の所要時間を計測、輸送障害時の利用者の影響を定量化する手法を示し、その指標を提案している。また、それらの指標により利用者が受ける輸送障害の影響を分析することで、結果としてオペレーションの改善につながることを示している。また、実際にオペレーションを行う担当者が事象を理解するための可視化ツールも開発した。Operator Empowerment, Employee Empowerment の例となっている。

第4章では、鉄道の「利用しやすさ」を情報提供の形で実現することを目的として、利用者のコンテキストに応じた情報提供アプリケーションを作成した。鉄道においてマルチデータベース環境を構築することは、特に、データ活用によるアプリケーション創出につながる。この章では著者が主体的に関与したプロジェクトの中から実際に、情報提供や時間の有効活用などを可能とした以下6つのアプリケーションを示した。

1. 意思決定支援機構を有するマルチデータベースの実現とモバイルコンピューティング環境への適用
2. 路線図を活用した運行情報の提供
3. 発車標に対する列車在線位置情報の提供
4. 無人駅を対象とした列車在線位置情報の提供
5. 交通系 IC カードを活用した情報提供案内
6. 駅構内セキュリティカメラを用いた位置検知とコンテキストアウェアリングによる情報配信システムの実現

これらの例は、いずれも Passenger Empowerment の例となっている。

第5章では、本研究を総括し、本研究実現による社会への貢献についてまとめている。

## 第2章 マルチデータベース環境における相互作用データを対象としたリアルタイム協調計算システム

マルチデータベース環境では、異種のデータ源を統合・検索・分析することによって、新しい価値を創出することが重要である。本研究では、マルチデータベースの環境においてデータベース間でインタラクティブな情報交換を行うリアルタイム協調計算システムを設計した。リアルタイム協調計算システムは、データベース間で相互作用するデータの関係性を測定し、必要なデータをメタデータベースシステムに写像、さらに、メタデータシステムでの演算結果を制御システムにフィードバックする機構を持つ。

### 2.1 はじめに

昨今では、広範囲をカバーするネットワークに多くのセンサーが接続され、それらのデータがデータベースに格納されており、さらに、多種多様なデータベースからデータを取得できる機会が増えてきている。しかし、複数のデータベースに格納されたデータ間に相互作用がある場合は、それらのデータを統合、計量して、システムとして最適な出力を得るためにメタデータベースシステムを設計することは難しい。なぜなら、データベース間における計量ルールは常に変化するため、メタデータベースにおいてルールを固定的に扱えないためである。

また、事象を制御する複数のローカルデータベースシステムから取得した結果を基にデータを統合して、その計量結果として出力結果を得てローカルデータベースにおいて事象を制御する場合は、事象が素早く変化するときには、その処理速度が重要となる。メタデータベースにおける統合、計量プロセスに時間がかかると、事象に対する出力制御の意味をなさない。

本研究では、事象を制御、把握する複数のデータベースシステムが、必要なときに必要なだけ協調して動作することで適した制御データを生み出し、その生成されたデータをデータベースシステムにフィードバックして事象を制御することで全体的な効率化を実現する新たなシステムを提案する。本研究の特徴は2点である。1点目は計算機資源の追加が少なく、ネットワーク帯域の消費も抑えたまま、協調して事象を制御することを可能とするリアルタイム協調計算機構を持つ、応答性が高く効率的なシステムアーキテクチャを提案していることである。2点目は複数のデータベースシステムが対象とする各々の事象に

において、それらの事象同士が相関関係を持つ場合に、事象が組み合わせられて起こる新たな事象に対して全体的な効率化を実現する制御データの創出方法である。

リアルタイム協調計算システムとは、大規模な既存のシステムを活用しつつ、応答性が高く、全体的な視点で最適化または効率化を実現する制御データを創出することを特徴とするシステムである。特に昨今では、センサーやシステムが広域網に接続されデータ活用の可能性は広がる一方で、ネットワークの負荷も大きくなっている。さらに、既存のシステムも高機能、高性能化している反面、個々のデータベースが管理するデータ量は増大しており、更なる負荷低減が求められている。そこで、大規模なシステムにはネットワークの負荷低減、処理能力の高さと同時に、応答性の速さも求められており、その両立が課題である。そこで、本研究ではマルチデータベースシステムやアクティブデータベースシステムをベースにして、必要なときに、必要なだけ協調して動作するシステムアーキテクチャを提案する。

また、近年では、全体として省エネルギー化やスムーズな流動を実現する機能を持った都市、いわゆるスマートシティの実現が求められている。世界中でエネルギー浪費や混雑等、都市化に伴う負の側面が大きくなりつつある。この場合、都市内の環境を計測、制御する個々のシステムの最適化だけでなく、個々のシステムをつないで、都市を俯瞰した視点で制御を行う最適化が重要である。実際に、都市に散在する設備や機器を管理する装置、環境情報を測定するためのセンサーなどが広域のネットワークにつながり、データが集約されるシステムが稼働し始めている。したがって、データ活用環境は整い始めている状況であるが、都市の最適化に向けたシステム横断的なデータの活用は進んでいないのが実情である。

## 2.2 関連研究

マルチデータベースの関連研究として、異種のデータベース群の相互利用のための様々な機構が実現されている。表 2-1 に関連研究の表を示す。マルチデータベース技術として本研究は、データの多様性、ビッグデータへの対応、データ間の関連性計量を伴った上で、リアルタイムフィードバック機構を実現しているところに特徴がある。

表 2-1 マルチデータベース関連研究（再掲）

	データ多様性への対応	ビッグデータへの対応	データ間の関連性計量	リアルタイムフィードバック機構
The study	○	○	○	○
Y.Hosokawa 1999	○	-	○	-
N.Ishibashi 2001	○	-	○	-
N.Yoshida 2000	○	○	○	-
W.S.Li 1994	○	-	○	-
A.Morishima 1997	-	-	○	-

## 2.3 システムの要素と特徴

### 2.3.1 マルチデータベースシステム

マルチデータベースとは、主にネットワーク上に分散されたシステムにおいて、情報の共有を実現するデータベースの総称である。ネットワークに接続されつつも独立して構築、運営されている個々のデータベース（レガシーデータベース）群を対象として、検索、情報獲得、結合、統合操作を可能とすることで、新しい価値を生成する機能を実現する。

マルチデータベースシステムは、それぞれのシステムの運用はそのままに、複数のデータベースシステムをつないでメタレベルに新たなデータベースシステムを構築、各データベースで管理されるデータから、必要となるデータを検索、抽出、組み合わせて、新しい価値あるデータを生む。個々のローカルデータベースシステムにおいては、その所有権、構築目的や個別システムとしての最適化等の制約があるため、複数のデータベースを自由に組み合わせることは難しい。各ローカルデータベースシステム単独では不可能な問題に対するソリューションや価値生成をするためには、既存のシステムとは別に、一段高いレベルにデータベースシステムを構築して、各データベース間の相違を吸収して集約し、分析可能とすることが必要である。

マルチデータベース環境とは、マルチデータベースが提供する機能をシステムとして利用可能とする状況である。すなわち、既にレガシーデータベースが複数存在し、それらにネットワークを介して自在にアクセス可能となっており、複数のデータベースシステムを対象に検索、結合操作等が実現可能な状態にある環境である。

### 2.3.2 アクティブデータベースシステム

アクティブ・データベース機構は、本来であれば静的な動作をするデータベースに対して、データベース中の状態の変化をモニタリングすることにより、設定条件を満たした場合に自動的に指定した処理を実行する機能を持つ。基本的に反応処理は事前にルールとして定義しておき、各データベースが管理するデータの変化に反応して様々な動作を自動的に実行する。処理ルールを事前に定義せずに、データベースの追加でも、より汎用的に反応処理ルールを生成できる方式も提案されている。

### 2.3.3 相互作用データ

本研究では、経験則として既にデータ間に因果関係があることが分かっている、更にその因果関係が事象間相互に作用しているデータを対象とする。このデータを相互作用データと呼ぶ。独立した各データベースに含まれるデータ同士の関係性において、因果関係を含む相関関係を持つ場合があるが、近年、相関関係を発見する研究や、因果関係を導き出



す研究が活発である。因果関係や関係性が一方向の場合は、その規則性を定式化できれば一方のデータによって全体を把握することが可能となる。ところが、相互作用を持つ場合は、一方のデータから他方を判断できない。つまり、複数のデータベースシステムを対象とする場合、そのシステム間のデータの因果関係や相関関係が明確である場合は、その関係性の定式化は実現可能であるが、順問題かつ逆問題となるように相互に因果関係がある場合は、その解析は簡単ではない。イメージを

図 2-1 に示す。

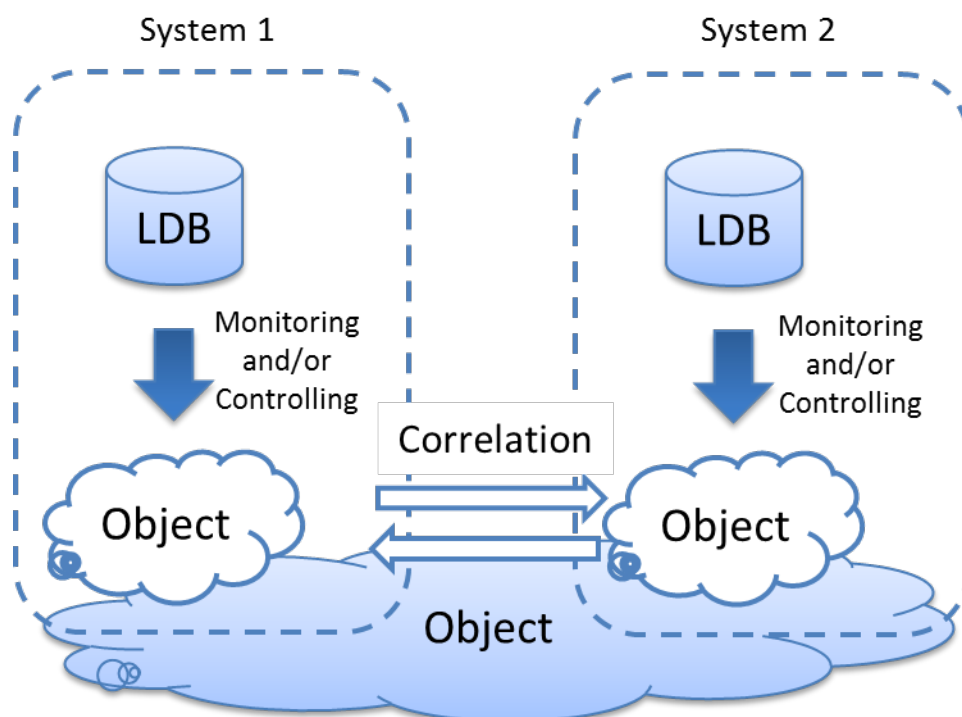


図 2-1 システム間で関係性がある複数オブジェクトの制御

複数のオブジェクトの相互作用を持つデータを取り扱うときには、一つのデータベースが閾値を監視するだけでなく、データベースそれぞれで閾値を監視することが必要である。なぜならば、双方向性のあるデータ間に関しては、因果関係が片方向ではないため、一つのデータベースシステムだけでは全体を捉えた制御データを生み出すことが不十分であり、常に複数のデータベースシステムに問い合わせ、連動して動作することが必須だからである。また、複数のオブジェクトが共通オブジェクトの要素であったり、階層構造であるなど、相互作用していることが明確であっても、オブジェクトの独立性を保証してデータを取ることは現実の世界では難しいからである。

一般的に相互作用を持つ複数の事象が生み出すような複雑な現象を解析するためには

シミュレーションが有効である。しかしながら、ある集合体を対象とする、ある現象とそれを制御するシステムがあったときに、応答性高く現象を捉えて、その制御を実行するためには、応答性能の速さを制御に落とし込める一定のルール化が必要である。近年、計算機の性能が飛躍的に向上してきたとはいえ、応答性能の速さを秒単位で求めるシステムにシミュレーション結果を踏まえたフィードバックを逐一適用することは難しい。これまでマルチデータベースやアクティブデータベースに関しては、計算機資源に関する議論や応答性に関する議論はほとんどなかった。しかし、データ量の増大や求められる即応性に対応するためには、両立する課題を同時に解決する仕組みが重要である。

例えば、ある十分に大きな容器に入った気体とそこに備え付けられた温度制御装置の事例を考えてみる。温度を制御すると容器の圧力は変化して一定に落ち着く。これは気体の状態方程式より算出される。しかし現実的には、外部の影響で温度を頻繁に制御したり、気体の出入りを激しく制御する場合、方程式を満たすような定常状態として制御することは難しい。その場合は、温度制御だけでなく、気体を出入りさせる装置などの記録を取り、経験的あるいは、それに基づき制御を行うことになる。図 2-2 にそのイメージを示す。

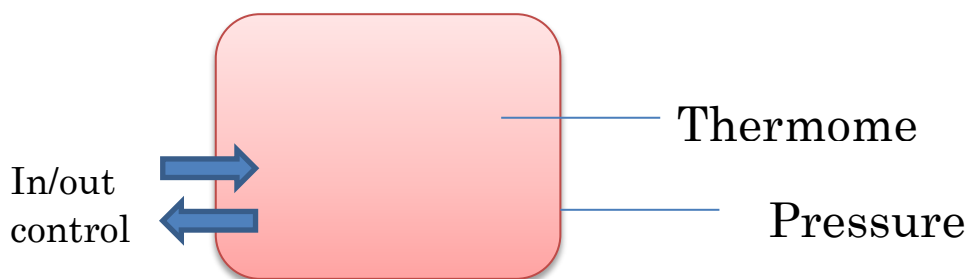


図 2-2 大きな容器内部の気体制御の例

#### 2.3.4 リアルタイム協調計算

本研究で提案するシステムは、制御データという出力を算出するためのルールを協調して計算するシステムであり、さらに、応答性早く、必要なときのみ協調して動作するシステムである。ネットワーク負荷低減、及び、システムの応答速度向上のために、計算機リソースや相互にやり取りされるデータ量は必要最低限に抑えることべきである。また、セキュリティのためにも、それぞれのシステムは基本的には閉じていることが望ましい。一方で、新たな価値の獲得や分析の高度化のためには、俯瞰して複数のシステムを連動させてデータを創出する必要がある。リアルタイム協調計算システムは、バッチ処理でも、リアルタイム処理でもなく、それらのハイブリッドとして、動作が設計されている。

また、それぞれのローカルデータベースにおいて、制御対象である事象は、基本的には、自律分散的に、かつ、計画的に制御されているため、突発的なアクシデントがなければ、

それ以上、制御の手を加える必要はない。しかし、一度アクシデントが発生すれば、各事象で制御するシステムだけでは、事象同士が相互に依存しているため、その混乱の収束が難しい。これを解決するのか、リアルタイム協調システムであり、以下の3つの特徴をもつシステムアーキテクチャである。

### 1. リアルタイム協調制御

散発的であることを前提としたイベントが発生したとき、必要なときのみ協調して問題解決にあたるシステムとすることで、過剰な計算機リソースの追加を抑制する。また、データベースに集約されるデータの中でも、イベントに関係した必要な最新取得データのみ、メタレベルのシステムに写像することで、制御データの創出に必要なデータ集約を速達化する。また、更新頻度は高くとも各ローカルシステムで対応可能な範囲では、固定されたルールに基づき制御データを生み出すことで、余分な計算が不要になりシステムの応答性が向上する。

### 2. 制御データの自動的更新と学習

制御データの創出ルールは、一定の期間ごとに更新される。これは、事象に対して制御システムに求められる要求が、例えば時期や曜日、運営ポリシーなどによって異なるため、常に決められた答えはなく最適なルールを定義する学習プロセスでもある。新たな事象発生分析に基づき、各々のデータベースシステムに対するデータ獲得ルールを設定する機構を持つ。

### 3. ネットワークの負荷と容量の軽減

データベースをメタレベルに全て写像するのは難しいことではないが、実際にはデータの肥大化に伴うネットワークの容量の問題やリアルタイム処理のために発生するネットワークの負荷の問題がある。提案する機構では、必要なデータはある期間で1度メタレベルのデータベースに写像してネットワークの容量と負荷を軽減し、さらに必要なときに、必要なデータのみをネットワークに経由して制御データを創出する仕組みを提案する。

つまり、本研究はリアルタイム処理とバッチ処理を組み合わせるハイブリッド処理を実現している。事象の緊急度や閾値によって、その処理の実現頻度は変わるが、全体として処理速度を維持しつつ、全データを対象として制御方式を決めている機構である。リアルタイム処理とバッチ処理は、いわば対義語として、それぞれに優劣が語られることが多い。しかし、結果に対して、その処理を考えると、組み合わせることで、双方のメリットを取り込んで優位なシステムになる。本研究で提案したシステムは、バッチ処理とリアルタイム処理を組み合わせることで、協調処理可能としている。

全体概要を図 2-3 に示す。ローカルシステム 1 は事象 A のデータを管理しており、ローカルシステム 2 は事象 B のデータを管理している。それぞれ独立に運営・管理されているが、データ間には相互作用がある。本システムは、必要な場合に各ローカルシステムをメタレベルで組み合わせて、最終的には事象 A を制御する制御データをメタデータベースから生成することで、個別最適でない制御データを生成する。

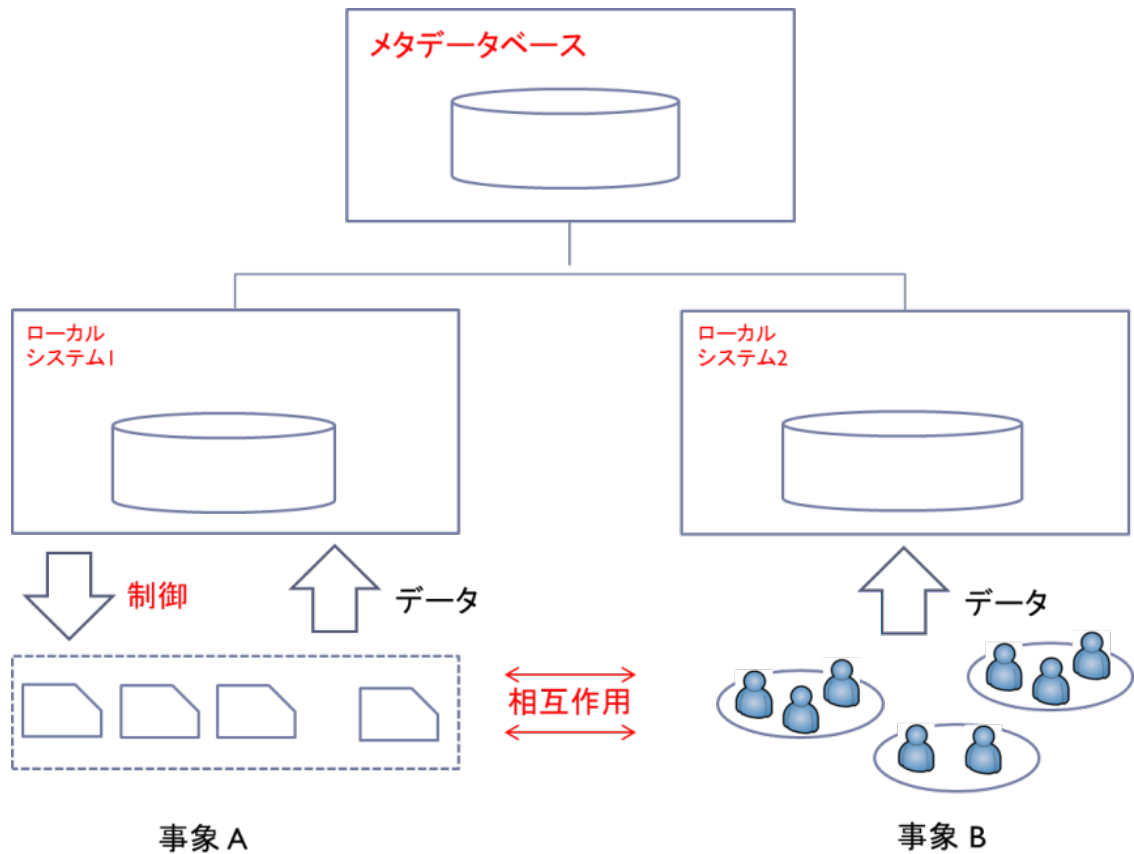


図 2-3 事象間が相互作用を持つマルチデータベースシステム全体概要図

## 2.4 データセット

本研究では、相互作用のあるデータの例として移動集合体と輸送機関の関係を扱う。移動集合体と輸送機関は、それぞれ独立しておらず、さらには移動集合体が増加すれば輸送機関の個体が遅れる影響があり、輸送機関の個体が遅れば移動集合体が増えるという相互依存の関係性にある。

### 2.4.1 移動集合体データ

昨今の情報技術やセンサー技術の発達により、これらの流動データは時間と場所を一つの要素として、方向や人数等を加え様々な形で捉え、データベースに格納することが出来る。個々人の集合が移動を伴うデータ（流動データ）は、個々人の振る舞いの集合体とみることが出来るが、個々人は他の人や輸送機関に影響を受けているため、その動きは独立したものとして捉えることはできない。

特に集合体が移動したり、集合体の個数が増減する場合、時間軸に基づいて変化を捉えることが重要である。また、集合体のデータを解析する場合、個々人の集合と捉えたエージェントベースのモデリングと異なり、解析の目的を明らかにした上で、必要とする時間的、空間的な「粒度」を設定して、対象とする要素を少なくすることが大切である。ここでは、移動集合体の振る舞いについて、その人数と増減の変化を対象とするため、時間的にも空間的に連続していない地点とそこでの人数変化のデータを取得する。移動集合体データの例を表 2-2 に示す。

表 2-2 移動集合体データの例

場所	時間	方向	人数	移動手段

### 2.4.2 輸送機関の個体ログデータ

移動する集合体が、ある移動手段を一律に利用しているとき、集合体の時間と場所のデータは、輸送機関のログデータと一致する。このとき、輸送機関の1つの個体は計画的に決定され、かつほぼリアルタイムでモニタリングされていることを想定すると、個体の計画からのズレを測定できる。取得できるログデータは、ある時刻のある地点において、ある方向への個体が存在することを示すデータである。輸送機関のログデータを表 2-3 に示す。

表 2-3 輸送機関のログデータ例

場所	時間	方向	所定時刻	実際の時刻	移動手段	輸送機関個体ID

## 2.5 処理フロー

上記のデータセットに対して、以下のようにデータを処理する。処理フローを図を中心に説明する。ただし、以下4点を前提条件とする。

1. 各事象は、相互作用があるため、複数システムを踏まえた制御を実現すべく、メタデータベースにデータを統合して、制御データを創出する。
2. 各レガシーシステムが持つデータを基準にメタデータベースで制御データを創出するルールを生成する
3. 各レガシーシステムはリアルタイム性が高く、大量のデータを扱っているため、全てのデータを常に全てメタデータに統合することは現実的でない
4. 基本的には、それぞれのシステムで最適制御しているが、まれに個別最適では解決できない問題が発生する

### 2.5.1 ルールの定義とその共有プロセス

ルール生成機構はバッチ処理で動作し、図 2-4 ルールの定義と更新にそのプロセスを示すように、以下のような処理を順に実行する。

- (1) 各レガシーシステムから、定期的（頻度低）に差分データを抽出、これをメタデータベースシステムに統合する。
- (2) 集約されたデータを基に（過去に集約されたデータも合わせて）制御データを生み出す条件を生成する。その際、各レガシーシステムに処理モジュールを設定して、その閾値も合わせて決める。
- (3) 各レガシーシステムの処理モジュールの閾値を更新する

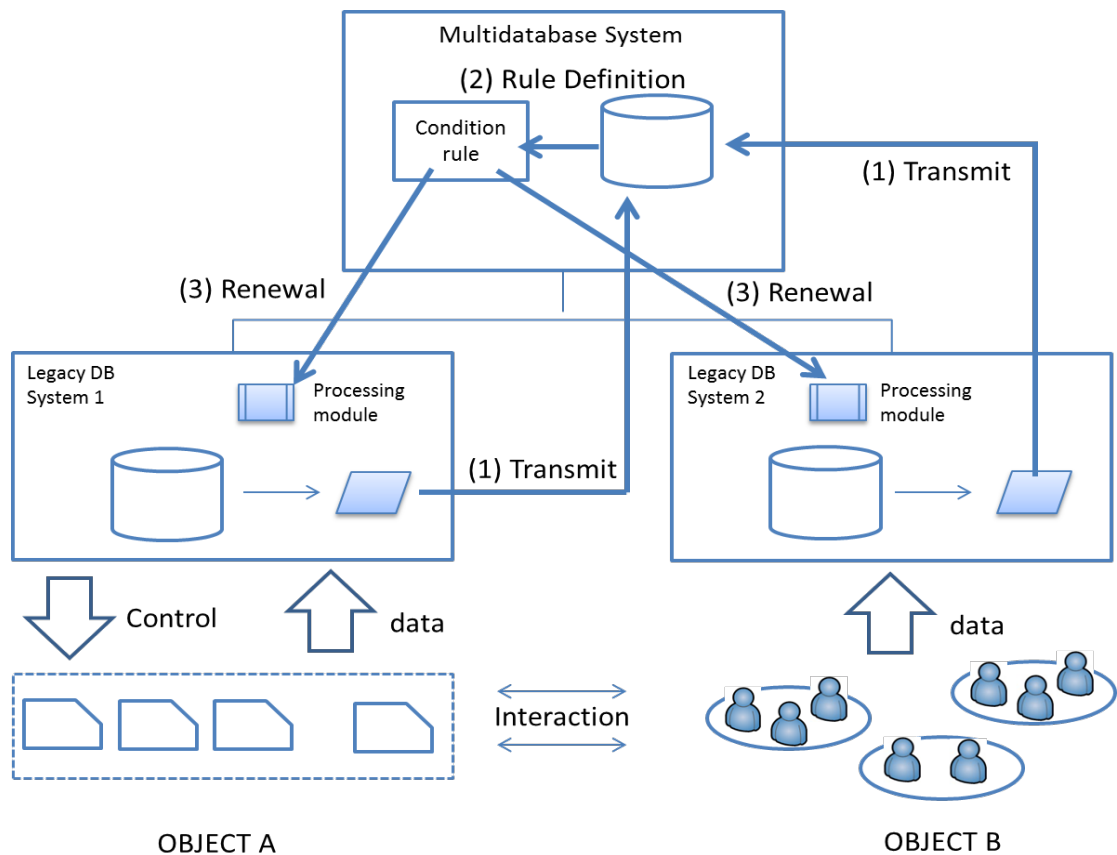


図 2-4 ルールの定義と更新

閾値の設定については、現状では実際のデータから解析的に求めることが必要である。どの程度の閾値であれば異常値であるのか、制御の対象となるかについて、初期段階である程度目安をつける必要がある。理由は、現実的に制御できれば最適値がなくても、事象の制御としては問題がないからである。

ただし、データから学習させることが適用可能なデータである。最適でなくとも、ある程度の範囲に収まるように学習するような仕組みが実現できれば、人間の判断を必要としないシステムが構築可能である。

### 2.5.2 相互協調判断プロセス

各システムは、定義された処理モジュールに基づき、システムで得られているデータについて、他のシステムに問い合わせることなく処理を行う。これは、問い合わせを他のシステムに行くと、更新の速い制御対象の場合、問い合わせが多く発生することになりネットワークの負荷や処理の負荷に時間がかかるからである。このプロセスは以下のように動作する。

- (1) 各レガシーシステムにある処理モジュールは、データベースを監視する
- (2) 閾値を超えた場合に、設定された別のシステムに通知する。
- (3) 通知を受けたシステムの処理モジュールは、通知を受けた別システムの閾値に対して、設定された閾値を超えるかどうか調べる
- (4) その結果を通知元のシステムに知らせて、双方の数値が協調動作が必要かどうか判断する

これらの概要を図 2-5 協調判断プロセス機構に示す。

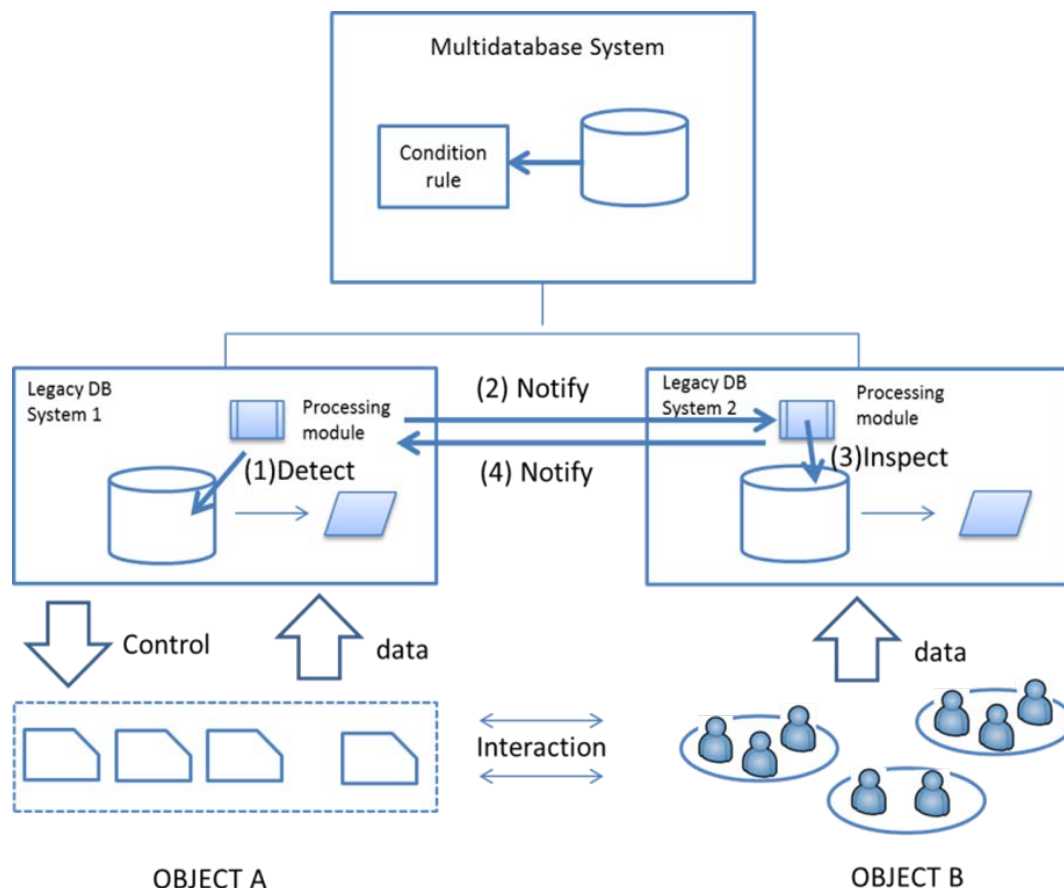


図 2-5 協調判断プロセス機構

### 2.5.3 制御データ創出プロセス

協調判断機構によって、閾値に達するなど制御が必要と判断された場合は、制御処理動作が生ずる。これは、複数の必要なシステムそれぞれからリアルタイムデータをメタデータベース（マルチデータベースシステム）に送信して総合的に条件を判断したのちに、実際に制御データをフィードバックする機構である。これにより、必要な場合には、より高度な処理判断を含めた制御が可能となる。以下に、そのプロセスを示す。



- (1) 各レガシーシステムから、リアルタイムデータをメタデータベースに送る。
- (2) メタデータベースにおいてデータを集約する
- (3) 集約したデータ基に既に決定されたルールとリアルタイムに生成するルールを組み合わせることで最適化を実現する制御データを作る。
- (4) 制御データを、制御を行っているレガシーシステムに転送する。
- (5) レガシーシステムにおいて制御を実行する

さらに、概要を図 2-6 制御データ創出処理 に示す。

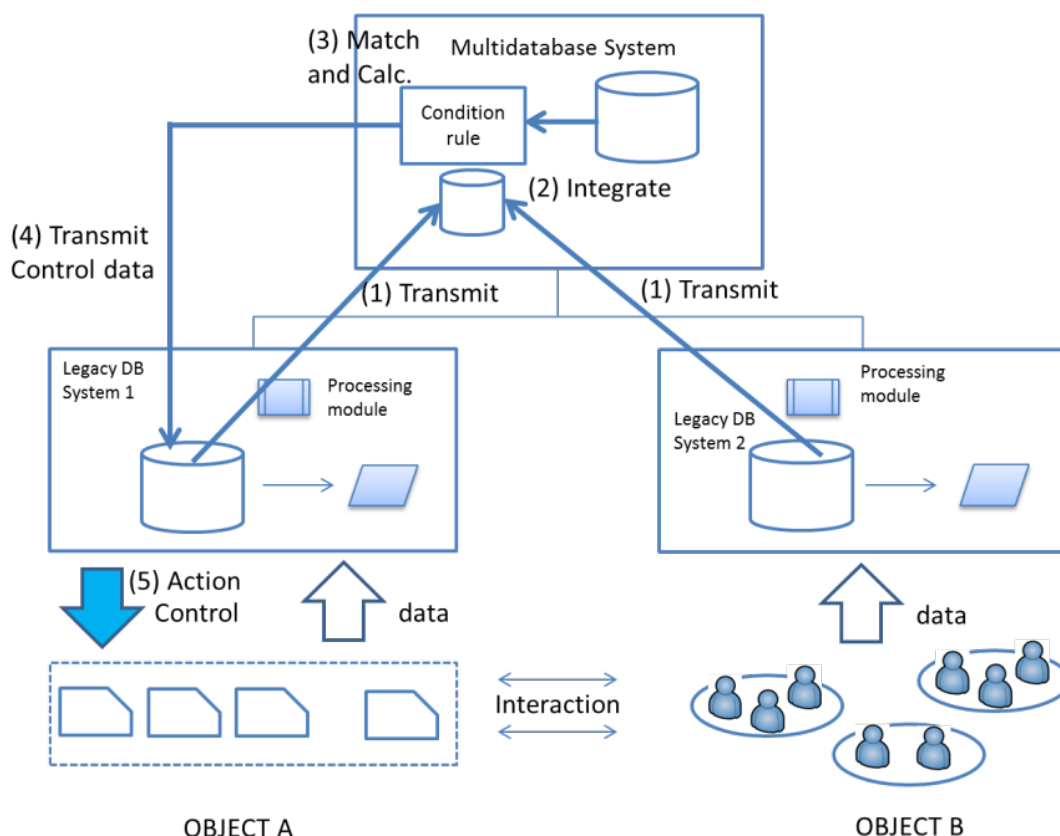


図 2-6 制御データ創出処理

本節では、各々のデータベースシステムがデータ獲得対象としている事象同士が相関関係を持つデータベースを対象とした、全体的な効率化を実現する制御データ創出方法を提案した。

各々のデータベースシステムがデータ獲得対象としている事象同士が、双方向の因果関係のような何らかの相関関係を持つ場合は、それぞれの事象から得られるデータを見ても、全体として新たな事象が発生するかは分からない。そこで、新たな事象発生の分析に基づき、各々のデータベースシステムに対してデータ獲得ルール設定機構を持つことで、必要な場面でのみデータ獲得を可能とする。また、獲得したデータに基づき制御データを創出

する新たな事象発生データの分析に基づく条件判定を随時行う機構も併せ持つ。

## 2.6 鉄道の混雑時の輸送力均等化に対するアプリケーションへの適用

本章では、マルチデータベース環境における相互作用データを対象としたリアルタイム協調計算システムを大都市における輸送機関の効率化に適用する。特に移動集合体（人の流動）を捉えた断面的なデータを捉えるシステムと、移動集合体としての輸送機関（列車）を制御する制御システムを対象とする。個々のシステムは現状では結合されていないため、それぞれデータの管理・運営を行っているが、人の流動と制御対象である列車が関わって生み出す遅れ事象に対して、全体的な制御が実現できていない。そこで、二つの異なるデータベースに対して、提案システムを適用することによって適した制御を行うデータを生成することを示す。これにより、実際の鉄道マルチデータベース環境におけるリアルタイム協調計算システムの有効性を明らかにする。

### 2.6.1 輸送力均等化アプリケーション実現の背景

スマートシティを実現するためには、公共交通機関の効率化が重要である。鉄道の分野では、近年、車両のセンサーデータや軌道上の信号のログデータがリアルタイムでネットワークを通して得られ、そのデータが利用可能になってきている。この研究では、リアルタイムフィードバック機構を持つシステムのアーキテクチャをベースに、輸送力を改善する列車制御方法の可能性を提案する。

初めに、特に輸送障害により、道路のように渋滞が発生しときの列車、及び、利用者群の混雑行動を分析した。次に、列車の時間間隔と混雑率についての経験則を踏まえ、鉄道環境における輸送力向上を実現する列車制御方法を提案する。

本研究では、これを鉄道環境における、主に列車遅れ時を対象とした乗車率と列車間隔制御の関係性に着目した。列車遅れの原因となる乗客の混雑データと、混雑の原因となる列車遅れのデータは、いわば相互に因果関係があるデータである。これまでは、列車制御システムをベースとした信号のデータ（列車の遅れデータ）についてはリアルタイムに取得できていたが、リアルタイムに列車の混雑状況を把握することが難しかった。しかし近年、車両に備えてあるセンサーなどの高度化や、沿線のネットワークの充実により、リアルタイムに列車の混雑状況が取得できるようになった。本研究では、これらのデータを利用して特にダイヤ乱れ時の混雑率を考慮した列車の制御について一つの考察をする。

近年では、特に列車の密度が高い線区においては、計画に基づき効率的な運行を可能とする、自動制御プログラムを備えた運行管理システムが導入されているため、列車の運行管理は、計画に基づき効率的に制御されている。したがって、計画段階では信号の増設や車両の加減速能力の向上のなどハードウェアとしての改善がないと、輸送力の向上は難しい。一方で、自然災害や車両故障など輸送障害が発生すると、事前の計画通りに運行ができなため、鉄道事業者は輸送力を確保しようとすべくオペレーションを行う。このとき、

列車の運行管理はマニュアル状態となり、指令員が列車の運転整理（運休や折り返し、列車間隔の調整）を行い、計画通りのオペレーション回復を目指す。

従来から、運転整理の研究はシミュレーションや実測データをベースに、様々な指標や手法が提案されている。しかし、多くの研究は、オペレータが制御できたり直接把握できるデータを利用して、鉄道事業者視点で行われてきており、例えば、列車遅延時間や運行中止列車本数などが評価項目となっている。これは、運行管理システムで取得できるデータを基に、運行管理システムへ入力するデータを判断しに基づき、その評価を判断していることが一因である。しかし、特に人の動きとオペレーション改善のためのオペレーションは乗客流動の結果により本来は判断されるべきものであり、分析のためには乗客の行動の測定データが必要である。

近年、交通情報データ環境は、急激に進化してきている。運行管理システムで取得できる軌道の信号ログデータは、ほぼリアルタイムに中央装置に送られる。また、乗客数のデータも別の目的で得られたデータを応用することで、各駅間において、ほぼリアルタイムで得ることが可能である。しかし、それらのデータ活用は単体では限られている。しかし、これらのデータを組み合わせて価値を創出できれば、真の乗客のデータに基づき、運行の判断が可能となる可能性を持つ。本研究では、乗車人数と信号のログデータによって、リアルタイムに列車混乱時の輸送力改善を実現する列車制御について一つの提案を行う。

## 2.6.2 応荷重データ

移動集合体データとして、応荷重データがある。最近の鉄道車両には、電子制御機器が多く装備され、その動作確認のためにも様々なセンサーが搭載されている。鉄道のブレーキ制御ユニットは、進行方向前後の衝動を減少させ、乗り心地を向上させるために、編成となった時に車両の重量（乗車人数）に応じて各車のブレーキ力を調節している。つまり、センサーで常に車両にかかる重さを把握しているため、乗車人数の推計が可能となる。図 2-7 荷重センサーと制御ユニットの役割に図解を示す。

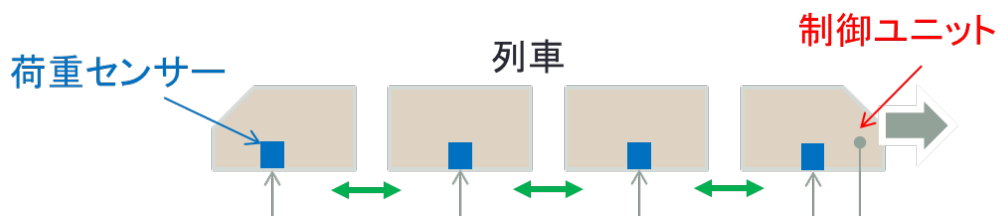


図 2-7 荷重センサーと制御ユニットの役割

さらに、車体の荷重を支える台車のばねに取り付けられた荷重センサーは、その値をリアルタイムで制御ユニットに送信している。この荷重の値は、荷物等も含んで乗車してい

る人数にほぼ比例することから、車両の乗車人数を大まかに知ることが出来る数値である。

また、このデータ例を図 2-8 応荷重データ例に示す。データは、列車番号、駅 1、駅 2、計画時刻、乗車人数の属性を持つ。ここで、列車番号は、列車に付与されたその日の中でユニークな番号である。駅 1 の隣の駅が駅 2 であり、駅 1 は計測時間前に発車した駅、駅 2 は次に到着する駅である。計画時刻は、ダイヤ計画上の駅 1 の発車時刻である。このデータでは列車の遅れ時間は不明である。また、乗客数は、荷重データより 55kg を 1 名として人数を計算されている。これは過去のいくつかの調査から、誤差を含めてセンサーとして最も適切と判断された数値である。当然、季節により変動や列車の役割によっても乗客一人当たりの重量は変化するが、車種が統一されている線区の中での比較であれば、比率としては精度が高いデータである。

列車番号	駅1	駅2	計画時刻	乗客数
1546 A	Kanda	Tokyo	16:36:00	898
1538 B	Kanda	Tokyo	16:40:00	828
1600 A	Kanda	Tokyo	16:44:00	928
1536 A	Kanda	Tokyo	16:48:00	697
1528 A	Kanda	Tokyo	16:52:00	903
1622 A	Kanda	Tokyo	16:55:30	658

図 2-8 応荷重データ例

これらのデータは、東京圏の線路沿いに張り巡らされたネットワークにより、各駅の間で必ずセンサーサーバーに送信される。つまり、ほぼリアルタイムで走行中の各列車の乗車人数が測定できるデータである。データ量では、1日当たりテキスト形式で 20MB、全タプル数で 15 万程度のデータである。

例えば、ある線区の 1 日全体の列車について駅区間ごとに積み上げると、横軸が駅（駅間）、縦軸が乗客数として図 2-9 1 日の駅間における乗車人数 のようなグラフが得られる。

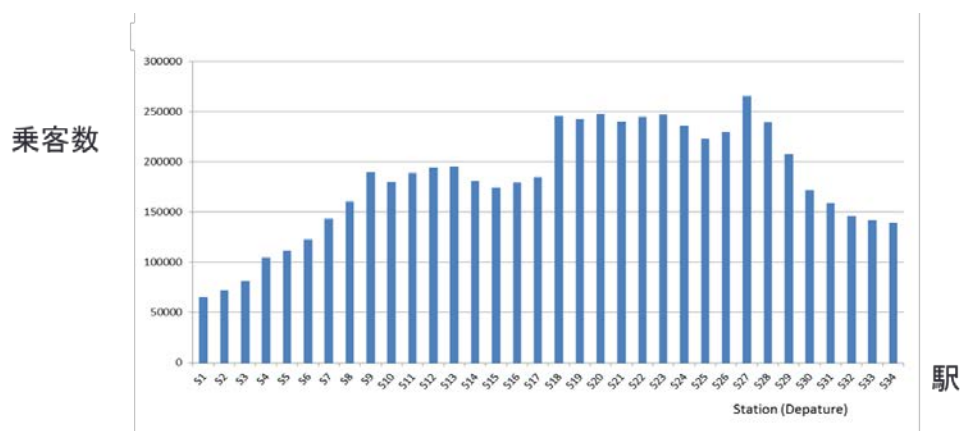


図 2-9 1 日の駅間における乗車人数

### 2.6.3 運行管理システムによる信号ログデータ

列車本数の多い鉄道において、運行管理システムが列車の制御に重要な役割を持っている。一般的に鉄道は、列車同士の衝突を防ぐために線路を一定区間の軌道回路ごとに分けて、それぞれの区間を排他的にすることで安全を確保している。各軌道回路手前には信号機が置かれており、それを確認して進むことで列車は運行している。大都市圏の鉄道は、中央制御センター（CTC）で信号機を制御しており、そのためにも軌道回路ごとに列車の通過時刻が中央制御装置に通知される。基本的に列車は自律分散的に振る舞うが、この信号機により、それぞれの挙動を制御することで、安全を確保して運転をしている。

本システムで取得できるデータは、各軌道回路を短絡した時の時刻であり、秒単位で正確に取得可能である。駅を発車してからの加速度は列車によって違いがないために、特に発車時の時刻データは他の列車と比較して間隔を調べるのに有用である。図 2-10 軌道回路と信号ログデータにイメージを示す。ここでは、列車 A が右側の起動回路に入るときに、その起動回路を防護する信号が赤になり、その通過時刻を中央制御装置に通知していることを示す。

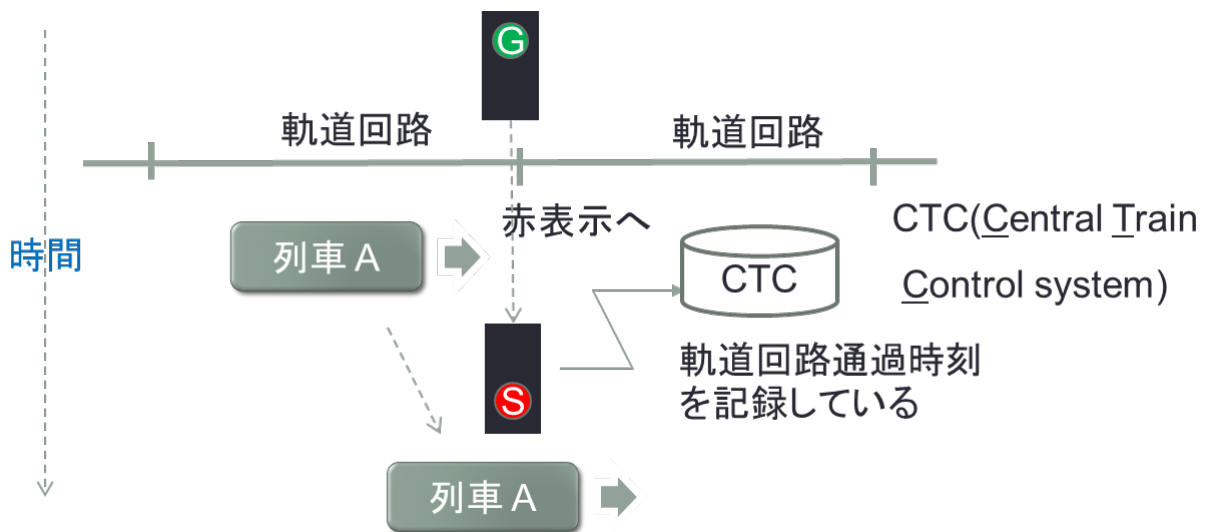


図 2-10 軌道回路と信号ログデータ

### 2.6.4 混雑制御アプリケーション

本研究では、先に示したシステムアーキテクチャを混雑制御アプリケーションとして適用して、混雑の平準化を目的とした列車制御方法を提案する。列車の混雑は、列車の遅れと密接な関係があり、遅れが混雑を生み、混雑が遅れにつながる相互作用がある関係性である。したがって、列車の間隔を制御することで、これらの遅れと混雑の負の連鎖を止めて、混雑や遅れを改善できる可能性がある。全体イメージを、図 2-11 混雑制御アプリ

ケーションに示す。

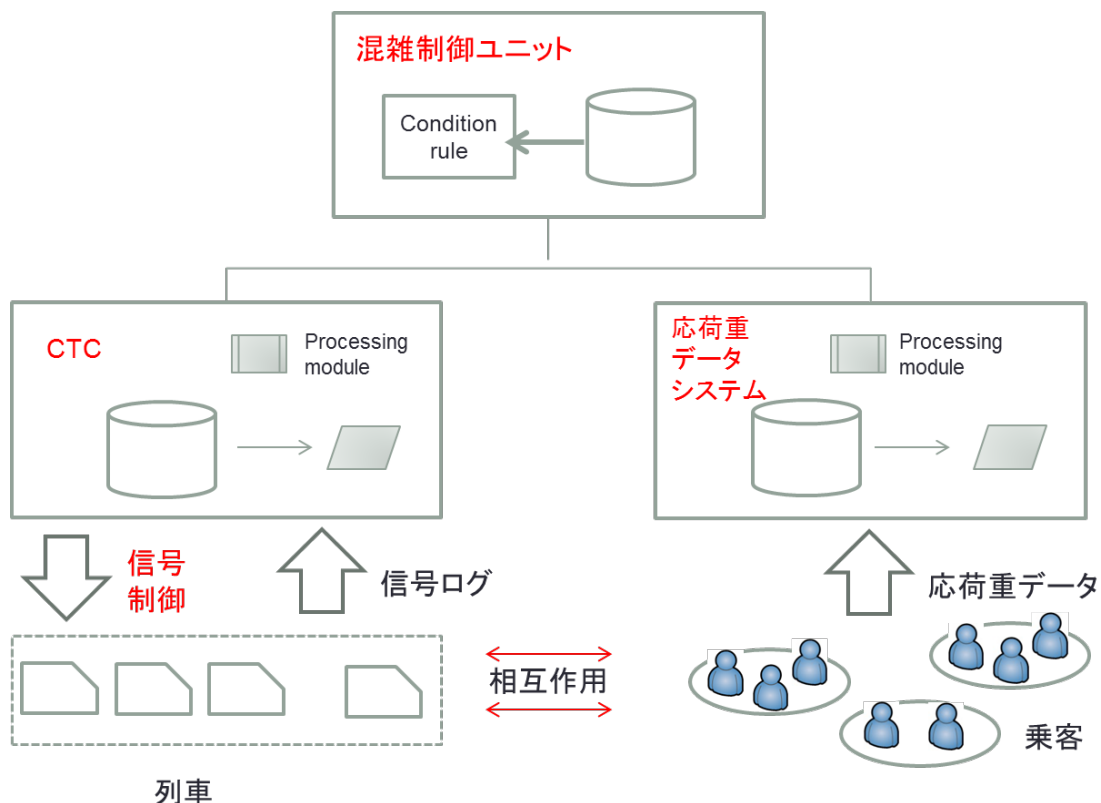


図 2-11 混雑制御アプリケーション

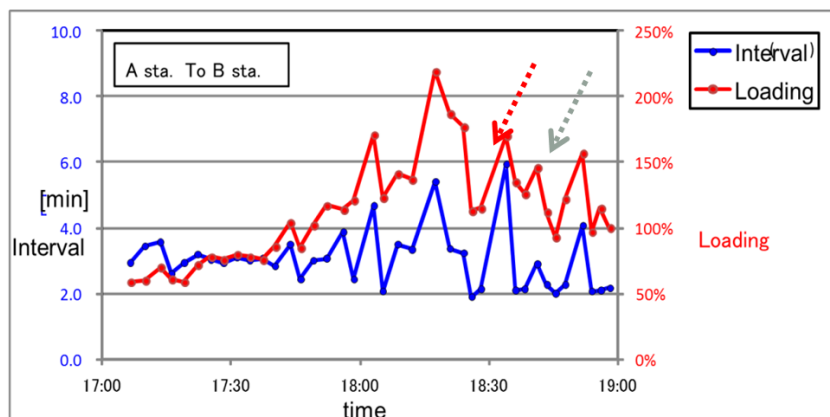
混雑制御ユニットは、応荷重データシステムと CTC のデータから、リアルタイムでデータを得る。しかし、CTC においては、遅れが発生しないときには特に制御が必要ないので、データの送受信は発生しない。一方の応荷重データシステムにおいても、混雑がなければ、データの送受信は発生しない。両方のシステムともに、遅れが発生した場合と、極端な混雑が発生した場合のみ、混雑制御ユニットとデータを送受信して、混雑を緩和する列車制御を実現する。

### 2.6.5 列車の遅れと乗車率の関係の考察

車の渋滞では、道路における車の密度と速度について、関数的に決定されないことが知られているが、鉄道も同様である。以下、図 2-12 列車間隔と乗車率の関係 に列車間隔と乗車率の実データ例を示す。青の線が列車の間隔であり、赤の線が乗車率となる。ある日の夕方 17:00 から 19:00 までを横軸としていて、輸送障害が発生した場面を示している。

通常、この区間は 3 分間隔で運行されているが、当日は大きくその列車間隔が乱れている。列車の遅れ（列車間隔）と乗車率の関係について、ここからヒューリスティックに列車間隔と乗車率データから閾値を設定する。グラフから読み取ると、具体的には、列車間

隔が 5 分以上になると乗車率が上昇し、あるいは、乗車率が 150% になると急に列車間隔が伸びる場合が見受けられる。もちろん、150% を超えても列車間隔が 3 分を保っている点もあるが、システムの閾値としては混雑制御のタイミングを逃さないためには、このあたりが妥当だと思われる。



- > 列車間隔が5分以上になると、急に乗客が増加する
- > 乗車率が150%以上になると、急に列車間隔が伸びる

図 2-12 列車間隔と乗車率の関係

## 2.6.6 制御データ生成処理ルール

次に、閾値に達した場合の制御データ生成方法について述べる。現在、列車の制御は基本的に衝突しないように、距離（間隔）がベースとなっている。しかし、今回の混雑平準化のためには、列車の時間的な間隔が重要となる。従って、列車間隔を従来の距離の間隔（空間）だけでなく、時間的な間隔（時間）の概念を導入する。具体的には、ある区間において時間的な間隔を 1 本少ない列車本数で割った、以下の式を時間的な間隔の基本とする。

$$\text{Interval} = \frac{\text{all the interval time}}{\text{the number of trains} - 1}$$

これを、一定の区間内に存在する全ての列車において、駅での発車場面で計算した時間間隔を列車の発車に適用することにより、前節で述べた制御を必要とする条件が発生した場合に、一定の時間を保つよう制御を行う。

これらの間隔は、実現可能であるが、最適解を出すものではない。本制約の下では、間隔を持つ範囲であれば解は多数存在し、上記の基本的ロジックは一つの目安である。最適解は他の条件をより多く融合して、混雑時の人間の行動予測を含めたアルゴリズムが必要となる。この点については更なる研究が必要と考えている。



## 2.7 実験

上記処理ルールに基づき、簡単なシミュレーション実験を行った。結果が図 2-13 である。左のグラフは、実際のログデータであり実際に 18 時 15 分付近で、停車時間が長くなると連動して乗車率が大きくなることを示している。一方で、その前や数本後の列車は乗車率は周囲の列車に比較して低い列車が存在する。列車の編成両数や形式は一緒であるから、乗車人員に偏りが大きいことが分かる。

右のグラフは、設定した閾値のルールに基づき間隔を調整した場合の乗車率である。停車時間は 1 本ごとに計算しているために一律にはならないが、間隔の調整が働いている。また、乗車率のグラフはなだらかになり、平準化の効果が見受けられる。

停車時間が長くなると、乗車率が極端に大きくなり、前後の列車は空く

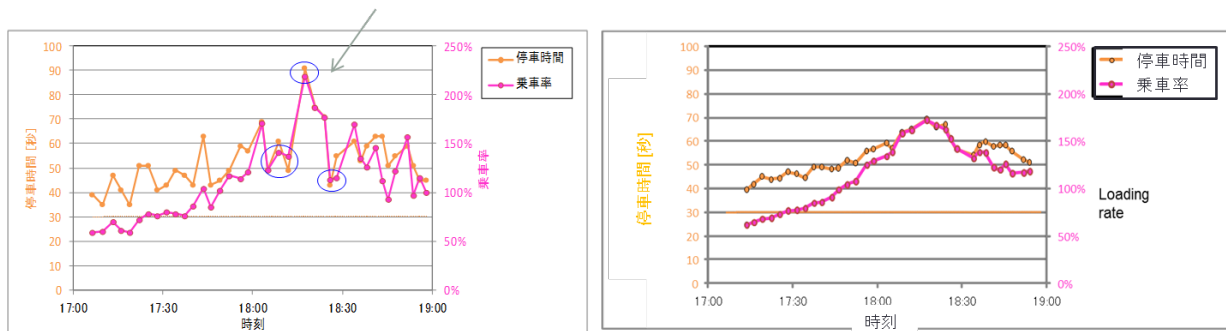


図 2-13 停車時間を制御した場合の乗車率

実際に、平準化を実現するためには、利用者が、無理に目の前の列車に乗らずに次の列車に乗るなどの協力が不可欠であり、利用者群の流動を促すためには別の施策が必要となる。また、現在の段階では本アプリケーションの成果は運転士の操縦によるところも大きい。鉄道は運転士の操縦で列車の速度調節を行い、前後を予測して運転することで、結果として運転間隔が保たれていることがある。従って、実際には、まずは効果的な間隔を保つ運転士の運転方法の検討について、応用されることも望ましい。

## 2.8 おわりに

本研究では、マルチデータベース環境を対象とし、鉄道実空間の事象について、応答性が高く効率的な制御を実現するデータベースシステムを提案した。このシステムは、事象を制御、把握する複数のデータベースシステムが、必要なときに必要なだけ協調して動作することにより、適切な制御データを生み出し、その生成されたデータをデータベースシステムにフィードバックし、事象を制御することにより全体的な効率化を実現するメタレベル（一段階抽象度の高い）・データベースシステムである。提案したシステムによって、マルチデータベースを構成する既存システム群を変更することなく、それらの統合的分析による制御データを自動生成するアプリケーション・システムを実際に提案した。

本研究のアプリケーションとしての新規性は、従来は使用できなかったリアルタイムの乗車率データを使用して、列車の遅れデータと合わせて分析した点にある。利用者の流動を促す施策と結び付けば、混雑率を低下させて、現状と比較してスムーズな列車の運行を行う効果が期待できる。さらに発展としては、駅での乗降にかかるデータが取得可能となれば、その混雑と遅れの関係をさらに詳細に解析することが期待できる。

マルチデータベースは、鉄道において様々な状況で有用である。

日本の鉄道は、民間企業をベースに発展してきた歴史がある。すなわち、公共的側面を持つ反面で独立採算を基本としている。当然、競争のある民間企業の力が、各鉄道の発展に重要な役割を果たしていた貢献は大きい。一方で、この独立性が、利用者にとって不利益となる側面もある。例えば、鉄道を会社をまたがって利用した際に、運賃が距離に対する通算で計算されないのは、その一例である。情報の面においても、各社の予約システムは各々で構築されているために、訪日旅行者は一つのサイトで日本国内の交通チケット予約を完結できない。

マルチデータベースシステムは、この状況に対する一つの解決策になりうる。各々のシステムは各社で独立運営されているものの、現状ではお互いにデータ交換をしていない。しかし、インターネットには各社のシステムは接続されているので、各社がAPIを公開することで、統合的な予約システムが実現できる可能性がある。しかも、APIの公開により、サードパーティーによる開発が実現すれば、各社はAPIの開発費用のみでサービスを提供できる。

鉄道の価値は、様々なデータを組み合わせて活用することで、利用者側の価値としても飛躍的に増大する。本アプリケーションも、鉄道の **Operator Empowerment** を実現すると同時に結果的に **Passenger Empowerment** を実現している。今後も、解決すべき事象を捉え、そのデータを関係システムから入手して、新たなソリューションを生み出すことを期待できる。

# 第3章 交通系 IC カードを利用した鉄道輸 送障害時の影響を定量化する方法の研究

鉄道で輸送障害が発生すると多くの利用者に影響を及ぼすため、鉄道事業者はその影響を最小化すべく様々なオペレーションを行う。このとき、利用者が実際に受けた影響から輸送障害を定量的に評価できれば、利用者視点でオペレーション改善を検討できる。しかしこれまで、鉄道事業者において輸送障害を評価する方法としては、運休した列車本数や運転再開時刻などオペレーションにおいて直接把握できるデータが一般的であり、利用者が受けた影響を確度高く定量化して把握することは困難であった。一方、急速に普及した交通系 IC カードのログデータにより、利用者の鉄道空間における所要時間を測定することが可能である。本研究では、交通系 IC カードのデータを利用して、各区間、各時間帯の利用者群の所要時間を集約して解析することで、鉄道輸送障害時に利用者群が実際に受けた影響を定量化する方法および鉄道事業者におけるオペレーション改善のための応用を検討した。

## 3.1 はじめに

鉄道で輸送障害（自然災害や人身事故等）が発生すると、鉄道事業者はその影響を最小化すべく様々なオペレーション（時間調整や列車運休の手配等）を行う。特に昨今では、運転本数の増加や直通運転の実施により、ひとたび発生した輸送障害の影響は大きくなる傾向にあるため、これまで以上にオペレーションの工夫が求められている。オペレーションを改善するためには、輸送障害により利用者が被った影響を定量化して評価し、時系列的なトレースや過去の同様の事例と比較することで改善点を発見することが重要である。しかし、従来から鉄道事業者において輸送障害を評価する方法としては、運休した列車本数や運転再開時刻などオペレーションにおいて直接把握できるデータが一般的であり、本来ならば最も重視する項目である利用者が受けた影響を確度高く定量化して把握することは困難であった。

交通系 IC カードの利用履歴のうち一部は、ID 管理サーバにデータが蓄積される。このデータログには交通系 IC カードの ID と自動改札機を利用した時刻、駅が記録されているため、利用者の鉄道空間における所要時間を算出することが可能である。したがって、輸送障害発生時の利用者の所要時間と平常時（輸送障害が発生していない時）の所要時間を比較することで、利用者が通常より余計に要した時間を算出できる。本研究では、各区間、各時間帯の利用者群の所要時間を集約して解析することで、鉄道輸送障害時に利用者群が

実際に受けた影響を定量化する方法を導いた。また、この一連の処理により得られる定量的指標を大局的な視点で SCORE (Scale for Customer-Oriented Railway Evaluation, 以下 SCORE) と名付けた。

これまでの関連研究として、[19]は輸送障害時の利用者影響を定量化する方向性が同じであるが、影響を受けた利用者数や時間を列車単位で捉えるため、個々の列車の利用者数や運行結果の正確な把握が難しいことから精度が高くない。また、ベースとなる列車乗車人数のデータも1年に1度の調査データを代表させているに留まる。[20]には、様々なオペレーション手法が紹介されているが、より良いオペレーションのためには定量的な輸送障害の評価が今後の課題であると記述されている。または、[21]は事故損失時間の評価手法を、高速道路を対象として検討している。[22]は本研究と同様に交通系 IC カードのデータを利用しているが、首都圏のバス利用について検討されており、鉄道に応用はできない。さらには、[23],[24],[25]は交通系 IC カードの利用履歴を解析しているが、利用者の行動解析の議論であり、輸送障害の定量化およびオペレーション改善までの指摘はない。[26]のサーベイ論文によれば、交通系 IC カードデータの分析により交通機関の移動手段サービス提供能力を測定したものがあがるが、鉄道事業者のオペレーションの評価や改善までの言及や、数十の路線を有するような複雑な鉄道ネットワークを対象にしたものはない。

本研究の特徴は、以下の3点である。1点目は、交通系 IC カードが導入されている鉄道ネットワーク環境において、交通系 IC カードのログデータを利用して輸送障害時の影響を利用者視点で定量化する手法を確立したことである。これにより、複数の線区を使う利用者が多い大都市圏においても、日々の流動に応じて客観的に輸送障害を比較・評価可能となった。2点目は、定量化する項目を複数定めたことや時系列で定量化項目をトレースできるようにしたことである。輸送障害の数値化を単なるオペレーションの結果（運休本数、遅れ時間等）だけではなく、実態に合った定量化項目や時系列トレース方法を定めたことで、より実的なオペレーション改善に資する分析を行うことが期待できる。3点目は、オペレーション改善に役立てるため、路線や区間、時間帯ごとに過去の輸送障害時のオペレーションと比較するビジュアル分析ツールを作成したことである。実際には、輸送障害は時間的、鉄道空間的に分散して発生し、種類も非常に多様であるため過去との比較がこれまで困難であったが、様々な角度から条件を絞って比較・検討できるツールを実現した。

## 3.2 利用者視点での輸送障害の定量化指標

### 3.2.1 定量的指標 SCORE

#### 3.2.1.1 SCORE の定義

ある輸送障害の定量的指標 SCORE を以下のように定義する。

$$SCORE = \log\left\{ \sum_{ts=tss}^{tse} [T_{extra}(ts)] \right\} \quad (1)$$

ここで、 $ts$  は単位時間（例えば 15 分）ごとのある時間帯、 $T_{extra}(ts)$  はある時間帯  $ts$  における総損失時間、 $tss$  は影響発生時間帯、 $tse$  は影響終了時間帯である。

#### 3.2.1.2 SCORE の導出

ある輸送障害が発生したとき、発着駅間  $k(k=1, 2, \dots)$  におけるある時間帯  $ts$  の損失時間  $T_{extra}(k, ts)$  は、以下である。

$$T_{extra}(k, ts) = pn(k, ts) \times [tm(k, ts) - st(k, ts)] \quad (2)$$

ここで、発着駅間  $k$  におけるある時間帯  $ts$  に入場時刻が含まれる利用者群において、 $pn(k, ts)$  は利用者数、 $tm(k, ts)$  は所要時間分布の中央値、 $st(k, ts)$  は基準時間（平常時の所要時間分布の中央値）である。中央値を基準時間とした理由は、極端に所要時間が短い（例えば優等列車の利用者）、もしくは長い（例えば駅構内での買い物のための滞在時間が長い）等の異常なデータの影響を抑えることができるためである。

次に、輸送障害の影響を受けた可能性のある全ての発着駅間において、その発着駅間数を  $n$  とすると、ある時間帯  $ts$  に入場時刻が含まれる利用者群の全ての損失時間を合計した総損失時間  $T_{extra}(ts)$  は以下である。

$$T_{extra}(ts) = \sum_{k=1}^n [T_{extra}(k, ts)] \quad (3)$$

さらに、輸送障害の影響がある時間帯を求める。ある時間帯において輸送障害が発生または終了すると、前の時間帯と比較して総損失時間に変化する。一方で、時間帯によって利用者数は変化する。そこで、総損失時間  $T_{extra}(ts)$  を、ある時間帯  $ts$  に入場時刻が含まれる総利用者数  $pn(ts)$  で除算した値すなわち一人当たりの損失時間  $T_{extra}(ts)_{pp}$  を基準として変化を捉える。

$$T_{extra}(ts)_{pp} = T_{extra}(ts) / pn(ts) \quad (4)$$

影響発生時間帯  $tss$  は、輸送障害発生時刻より 2 時間前とした。これは、入場時刻を基準として判断すると、首都圏では概ね 2 時間より前には改札に利用者が入場しており、損失時間の計算対象となるからである。

影響終了時間帯  $tse$  は、輸送障害発生時刻より後のある時間帯  $ts$  における、一人当たりの損失時間前の時間帯との差がある閾値の範囲内に一定時間以上連続した場合の、連続した最初の時間帯とした。

これより、ある輸送障害の延べ損失時間  $Total\_T_{extra}$  は以下で求まる。

$$Total\_T_{extra} = \sum_{ts=tss}^{tse} [T_{extra}(ts)] \quad (5)$$

最後に、延べ損失時間は数値が大きいと、地震震度のように一桁にすることで大きさを直感的に表現できることをねらい、対数を取ることで **SCORE** が導出される。

### 3.2.1.3 Sub SCORE の定義

**SCORE** は、輸送障害の影響を 1 つの数値として示す。しかしオペレーション改善に役立てるためには、状況に応じてさらに粒度の細かい指標が必要となる。例えば、輸送障害が発生した時刻から運転再開時刻までを対象として、ある区間で運行不可であっても他区間で運転を継続できたか等、限定された状況のもとでもオペレーションの適切さを評価することが求められる。つまり、異なったオペレーションが求められる運行の時間的な節目で **SCORE** を切り分けることで、問題発見や対策立案に役に立つ可能性がある。ここでは、運転再開時刻を節目として以下の 2 つの Sub **SCORE** を定義した。

- Sub **SCORE** I

影響発生時間帯から運転再開時刻までの延べ障害損失時間の対数値で、発生した時刻から運転再開までのオペレーションが適切であったか判断する目安となる。

$$Sub\ SCORE\ I = \log\left\{ \sum_{ts=tss}^{tsr} [T_{extra}(ts)] \right\} \quad (6)$$

ただし、 $tsr$  は、運転再開時刻を含む時間帯である。これにより輸送障害が発生した路線において、運転再開時刻までに、例えば運転を全面的に中止した場合と運転中止区間を除いて折り返し運転を継続するオペレーションのどちらが良いのか評価ができる。

- **Sub SCORE II**

運転再開時刻から影響終了時間帯までの延べ障害損失時間の対数値で、運転再開後から利用者の流動が通常時同様に戻るまでのオペレーションが適切であったか判断する目安となる。

$$Sub\ SCORE\ II = \log\left\{\sum_{ts=tsr}^{tse} [T_{extra}(ts)]\right\} \quad (7)$$

### 3.2.2 振替輸送に関する考察

ある路線に復旧まで時間を要する輸送障害が発生すると、特に代替経路となるような路線を運営をしている他の鉄道会社が存在する場合には振替輸送が実施される。したがって、輸送障害を厳密に定量化するためには振替輸送の影響を算入することが望ましい。しかし、以下2点にあるようにデータ取得範囲の限界と可能な限り推測を避けるため、振替輸送を含めた影響把握は今後の課題とする。

- 本研究の趣旨は、現状の取得可能なデータの範囲で輸送障害発生時の影響を定量化することである。振替輸送が実施された場合、目的地を変更するなど振替乗車票の発行枚数や交通系 IC カードのログデータには表れない流動が発生するので、振替輸送を利用した利用者数を正確には把握できない。
- 一方で、振替輸送の影響時間と影響人数は、平常時と輸送障害発生時の利用者数、所要時間を比較することで算出する方法が考えられる。このとき、影響時間の定量化については本論文中で平常時と輸送障害発生時の比較手法を定義しているが、影響人数については可能な限り推測を避けるため、あくまで取得可能なログデータより利用者数を算出している。

### 3.2.3 交通系 IC カードデータの特徴

交通系 IC カードから得られるデータには、精度や頻度だけでなく、簡単な統計処理から得られるデータにも、様々な特徴がある。

#### A. データの優位性

本研究の使用データの特徴に関する優位点を示す。質と量共に高いデータを利用した上で、推測部分が少なく、様々な入手可能データを組み合わせることで、確度高く輸送障害時における利用者影響の定量化手法を実現した。表 3-1 利用者行動データの特徴にその違いを示す。交通系 IC カードデータは他の調査などで取得できたデータと比較して、精度や量、取得頻度で優位点がある。

表 3-1 利用者行動データの特徴

手法等	例	データ取得頻度	データ精度	データ量	その他
公的調査	大都市交通センサス	5年に1回	△	△	アンケートベース
鉄道事業者の既存調査	交通量調査	1年に1回	○	×	限られた区間のみ
POINT 手法	論文 [3]	1年に1回	△	×	本研究と目的は同一、手法は異なる
SCORE	本研究	毎日	○	○	分単位で個々の利用者影響を把握

## B. 所要時間の分布

交通用ICカードを利用すると、利用者の所要時間を全て求めることが可能となる。平日ある一日のある区間における所要時間と乗客数の分布を図 3-1に示す。

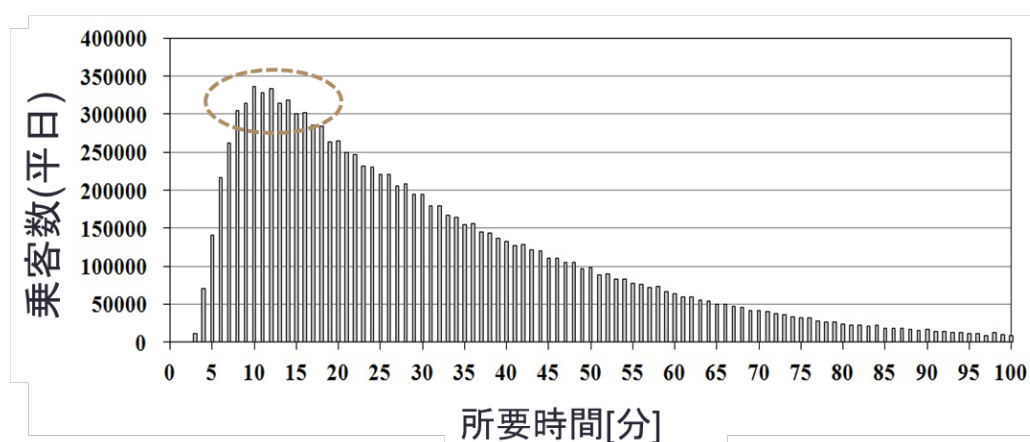


図 3-1 首都圏における所要時間と乗客数

この図から、首都圏の鉄道利用者は所要時間（改札の入場から出場まで）で10分から15分間の利用者が多いことが分かる。また所要時間100分を超える利用者もいるが、その数はピークからなだらかに減少していく。

次に、ある1日における、ある区間の所要時間の分布数を見る。これをに図 3-2に示す。所要時間は山状に分布しており、一部利用者は極端に所要時間が長いことが分かる。これは、鉄道空間内で、買い物や食事などを行っていることが主な原因だと推測される。



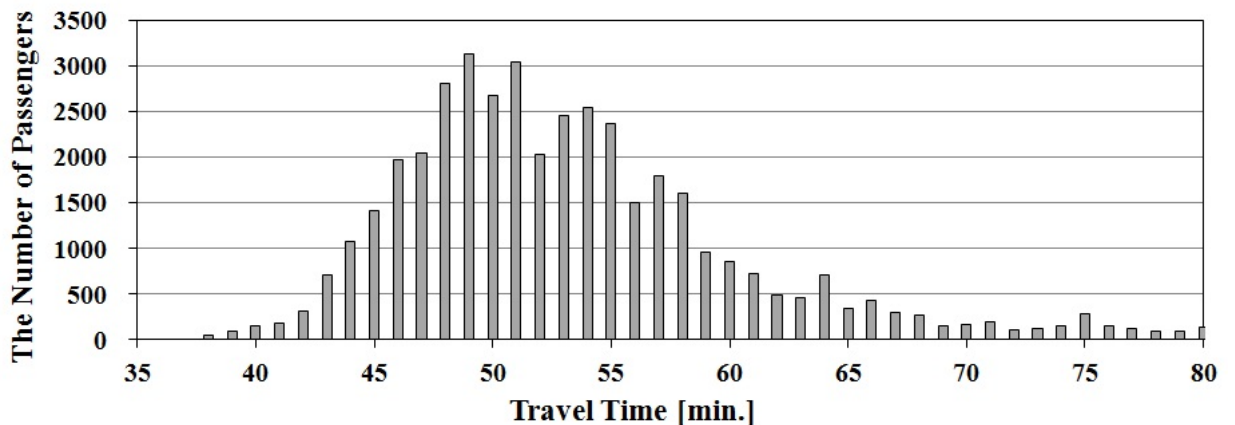


図 3-2 ある駅間の所要時間分布

次に、同じ駅間における 15 時から 16 時までの利用者の所要時間分布を図 3-3 所要時間分布（15 時から 16 時）に示す。

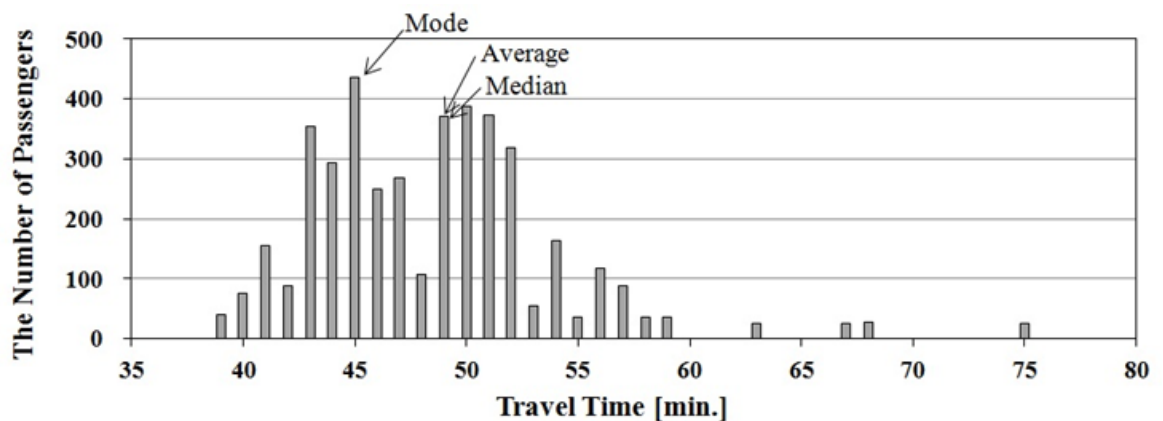


図 3-3 所要時間分布（15 時から 16 時）

これによると、所要時間の分布は、のこぎり状になっている。この区間を示す代表値について考えると、平均であると所要時間が極端に大きい利用者にその分布が引っ張られる。また、最頻値であると、それは安定的に代表値となることが期待できない（時間がかかりすぎている団体が存在するかもしれない）。従って、本研究における、ある区間の代表値は「中央値」とする。中央値であれば、極端に所要時間が長い人の影響はされられ、なおかつ、団体等の影響も受けにくい。

実際に時間ごとの、平均、中央値、最頻値のグラフを以下の図 3-4 代表値の検討に示す。

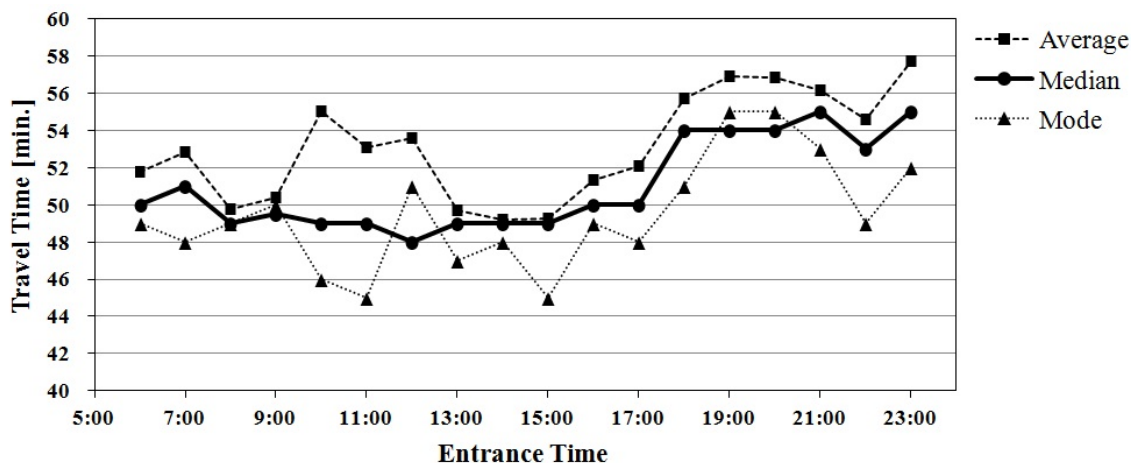


図 3-4 代表値の検討

このグラフを見ても、時間によって大きく変動しない中央値が最も安定した代表値であることが分かる。

次に、輸送障害時と平常時の違いについて、どのようなグラフになるか示す。人数が日によって異なるので割合で示す。以下の図 3-5 平常時と輸送障害時の分布割合のようなグラフとなる。同じ区間であっても輸送障害が発生した日は所要時間が伸びていることが分かる。

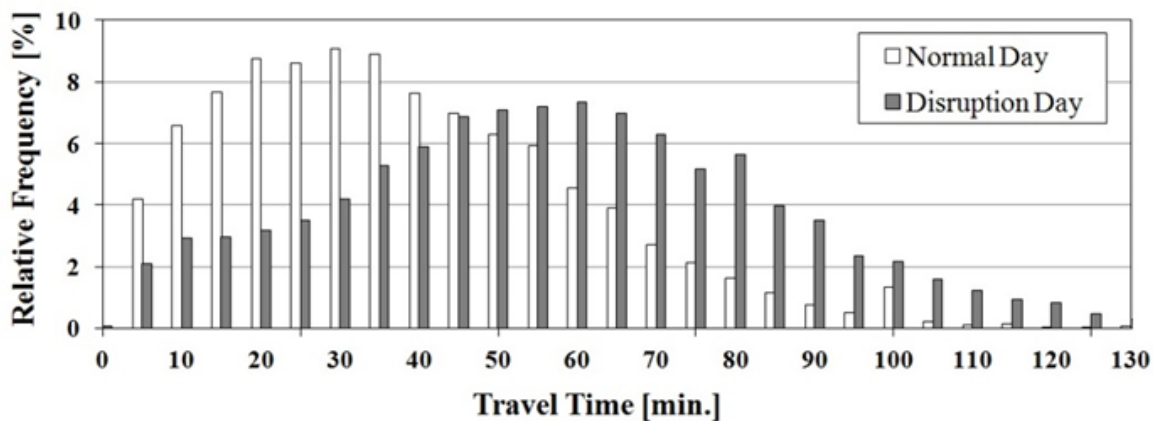


図 3-5 平常時と輸送障害時の分布割合

## 3.3 定量的指標の具体的な算出方法

### 3.3.1 データの整備

#### 3.3.1.1 移動ログ

利用者が交通系 IC カードを使用した際に改札機で運賃を収受する場合（以下減算処理という）、入場時と出場時の各駅から個別にログがネットワーク経由で ID 管理サーバに蓄積される。まず、利用者の鉄道空間における所要時間を求めるために、ID 管理サーバから改札ログ（カード ID、駅名、時刻、日付、入出場判別）のデータを抽出する。次に、午前 3 時から翌午前 2 時 59 分までを一日とした日付ごとに同じカード ID の入場と直近の出場を組み合わせ入出場ログ（移動ログと呼ぶ）を作成した。これにより抽出された移動ログは、ある平日一日（2011 年 7 月 29 日）の場合、対象鉄道会社の大都市圏ネットワークにおいて約 290 万件（2,861,296 件）となった。なお、ID 管理サーバからデータを抽出した際、前処理としてカード ID についてはデータをハッシュ化して不可逆とした。

#### 3.3.1.2 乗換マスタデータ

移動ログは入出場駅のデータは含まれるが途中の経路が不明であるため、輸送障害により影響を受けた路線を実際に利用者が通過したか把握できない。そこで全ての発着駅間ごとに、所要時間や乗換回数から最も妥当な経路（利用路線の組み合わせ）を定義しておき、必要に応じて該当データを取り出すこととした。定義した乗換マスタデータは、経路検索エンジンの検索条件として対象鉄道会社のみ経路になり、かつ、待ち時間を含めた平均的な所要時間が最短になるように設定した上で抽出・加工したデータである。

#### 3.3.1.3 直通・並行路線マスタデータ

ある路線で輸送障害が発生した場合、相互に乗り入れる他の路線や並行して隣を走る路線にも影響が及ぶことがあるため、その関係を定義したマスタデータを作成した。

#### 3.3.1.4 基準時間マスタデータ

輸送障害時の所要時間との差分を取る対象として、平常時の利用者群の所要時間分布の中央値を基準時間と名付けた。全ての発着駅間について基準時間を、曜日、月、時間、区間ごとの分類で算出した。具体的には、2010 年 4 月から 2011 年 9 月の期間で全体的に輸送が安定していた日を 150 日選別し、該当日の移動ログから平日と休日別、一ヶ月毎、一時間毎、区間毎（約 20 万区間）に所要時間を集計、その中央値を基準時間としたものを含む基準時間マスタデータを作成した。なお、交通系 IC カードで取得できる所要時間分布の中央値と、利用者全体の所要時間分布の中央値は同一であるものと推定している。ま

た、このデータは常に更新するものではなく、前後 1 年程度は本マスターデータを使用できると考えている。

#### 3.3.1.5 人数補正マスターデータ

交通系 IC カードのログデータのうち、改札機から ID 管理サーバにアップロードされるのは減算処理を伴うデータのみである。例えば定期券の有効区間内での入場や出場等、改札機で減算処理を行わない場合は、そのログが利用できない。したがって全体の影響を推定するためには、取得可能な交通系 IC カードのデータの使用割合を求め、割り戻す操作が必要となる。そこで基準時マスターデータ同様に、約 20 万区間の自動改札機ログから得られた券種の割合データをベースに、区間、時間帯ごとに交通系 IC カード利用者数と全利用者数の割合である人数補正データを算出した。

#### 3.3.1.6 輸送障害情報の入力

輸送障害の発生路線、発生日時、運転再開時刻は、鉄道事業者によって手入力で情報として付与される。なお、本研究で示す輸送障害を定量化する処理を応用すれば、障害発生箇所や発生時刻等もデータから推測可能と期待される。しかし、輸送障害事象を発見することは目的ではないため、分析する輸送障害は鉄道事業者が指定するものを対象した。その内容は、一般的には 30 分以上の遅れが発生、列車の運休や順序変更などのオペレーションが発生する輸送障害事象であった。

### 3.3.2 定量的指標（SCORE）の算出フロー

SCORE の算出処理について、図 3-6 SCORE 算出フローに示す。

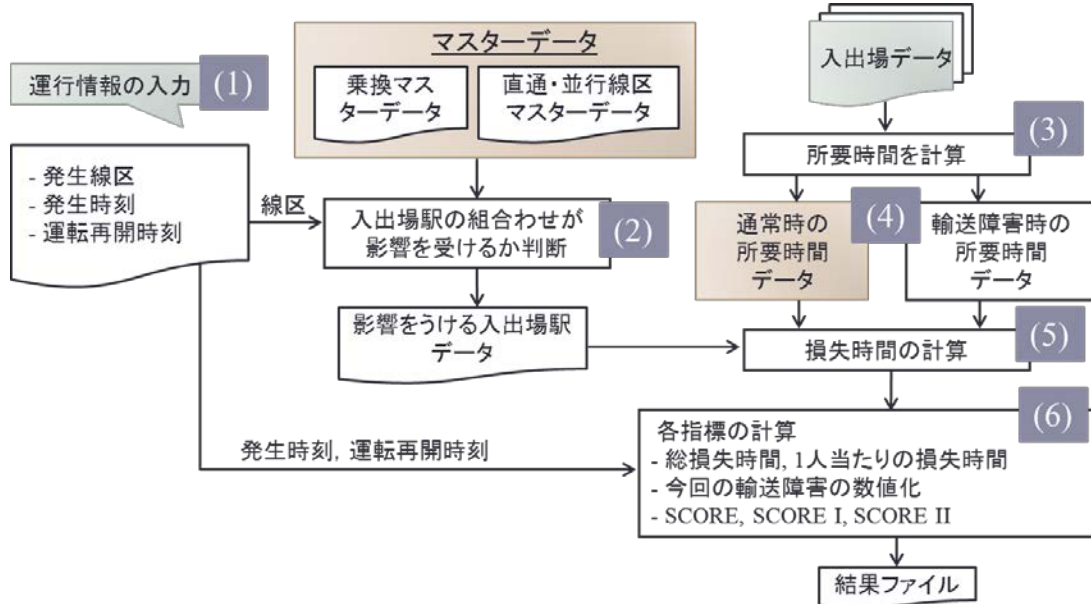


図 3-6 SCORE 算出フロー

- 輸送障害情報の入力  
 発生路線，発生日時，運転再開時刻を入力する(図 3-6(1))
- 輸送障害の空間的な影響範囲である区間情報の出力  
 直通・並行路線マスターデータを参照して発生路線と関係のある路線を全て抽出する。抽出した路線群を乗換マスターデータにある利用路線に突合せ，輸送障害の影響を受けた可能性のある発駅・着駅の組み合わせを全て抽出する(図 3-6 (2))。
- 影響範囲の移動ログ抽出  
 輸送障害の時間的な影響範囲については，交通系 IC カードが利用できる範囲を考慮し，輸送障害発生時刻より 3 時間前から終電後午前 3 時までの入場時刻を持つ移動ログを対象とする。3 時間前である理由は，入場時刻を代表として利用者の所要時間データを見る際に 3 時間前からの入場時刻の利用者を見れば，大都市圏においてもある輸送障害の影響を受ける利用者はほぼカバーできると考えたためである。この時間的な条件と，図 3-6 (2)で抽出した発駅・着駅の組み合わせを条件として対象の移動ログを ID 管理サーバから抽出する。なお，実際には移動ログは輸送障害の有無に関わらずバッチ処理で既に生成されている。
- 単位時間ごとに集約，各々の所要時間データ分布から利用者数と中央値を算出

前項の移動ログを入場時刻で単位時間ごとに区切り，該当人数を計算し，その所要時間分布データの中央値（中心時間）を算出する(図 3-6 (3))．また，基準時間マスターデータから，それぞれの単位時間ごとに，該当する発着駅間，月や平日・休日の区別など輸送障害の日時に対応する基準時間を抽出する(図 3-6 (4))．

- 損失時間集計

発着駅や時間帯の組み合わせ条件を元に，前項の移動ログから算出した中央値と基準時間の差から時間帯ごとの損失時間を得る．また，全ての発着駅間の損失時間を加算し総損失時間を得る(図 3-6 (5))．このとき利用者数も算出しておくことで，一人当たりの損失時間を求める．2010年4月から2011年9月までの輸送障害の中から，首都圏の主要線区において線区内の中央部分で朝と昼に発生した代表的と思われる4事例をピックアップして検討した結果，影響発生時間帯  $tzs$  は発生時刻の3時間前とした．

- 各指標結果出力(図 3-6 (6))

前項で補正した総損失時間を影響発生時間帯から影響終了時間帯まで集計し，延べ損失時間を求める．さらに対数を取る．

### 3.3.3 その他の定量的指標とそのメリット

SCORE や2つの Sub SCORE だけでなく，計算過程において算出される数値も輸送障害を把握する上で重要な要素となる．例えば，以下は一人当たりの損失時間であり，一定程度，日によって異なる利用者数に影響されずに，輸送障害の影響を見ることができる．

$$T_{extra}(ts)_{pp} = T_{extra}(ts) / pn(ts)$$

このとき，利用者の1人の10分と，利用者10人の1分はどちらを基準に影響を少なくすべきかという議論がある．これは，条件，感覚による部分が多く一概には言えない．しかしながら，遅れの時間に対する感覚については，いくつかの研究が存在して，例えば5分程度の遅延であれば許容できるという結果もある．これを考えれば，例えば5分以内の遅れについては考慮に入れず，5分以上遅れた利用者の人数を減らすというような方策を優先することを検討できる．これらの考え方については，今後の研究が待たれる．

### 3.3.4 SCORE によるオペレーション向上の視点

SCORE は，損失時間に人数を乗ずることによって求められるため，損失時間と人数をどのように見てオペレーションを向上すべきかは，今後も輸送障害に関する視点，判断軸

として議論のポイントとなる。本研究では[人・分]の単位で輸送障害を把握，一人当たりの損失時間や影響人数等複数の視点による分析法を提供する位置づけである。

### 3.4 具体的事例とその考察

鉄道事業者が 30 分以上の列車の遅れが発生するような比較的大きな輸送障害として記録した 2010 年 4 月から 2011 年 9 月までの 354 件の事例について SCORE を算出し，処理フローの機能を確認した。算出した SCORE の分布を以下図 3-7 SCORE データの分布に示す。総損失時間 10 万人・分から 100 万人・分の間に対応する SCORE が 5 以上 6 未満の頻度が高いことがわかる。

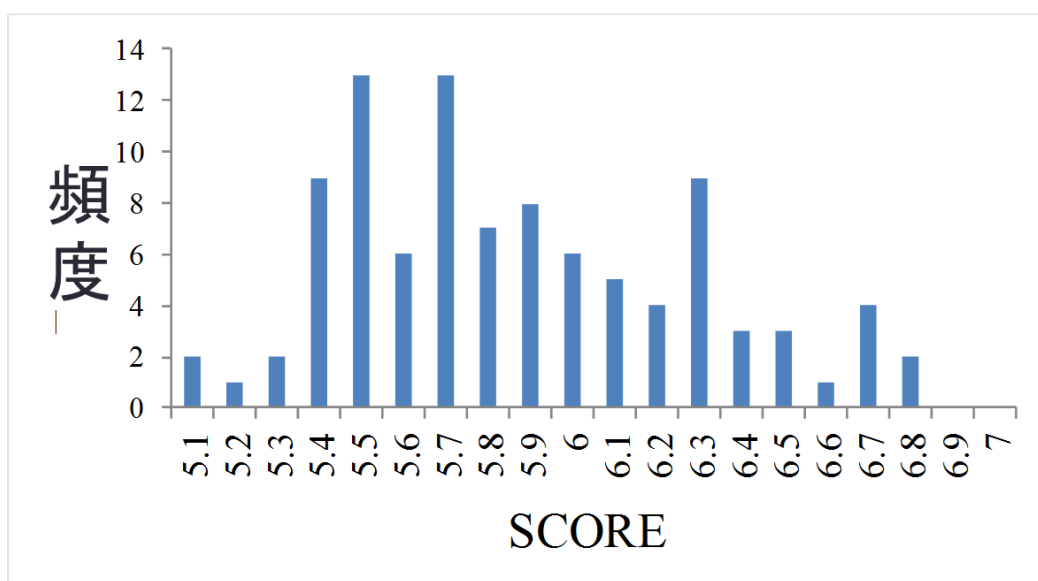


図 3-7 SCORE データの分布

また，本研究がオペレーション改善評価や分析に資するか議論するために，線区や時間帯，発生場所などがなるべく同じ条件で，違うオペレーションを行った対照的な事例を用いて，比較，検証を行った。具体的には，首都圏の主要線区の 1 つで線区内の中央部分で発生した平日の輸送障害について，朝と昼間の 2 件ずつ事例を示す。図 3-8 輸送障害事例に具体的な事例，図 3-9 関係線区路線図に關係線区の路線図，図 3-10 指令の運転整理に当日の運転整理，評価指標の計算結果を図 3-11 各指標の評価結果に示す。

事例	日付	発生時刻	運転再開時刻	線区	発生場所
1	2010年2月4日	10:30	11:50	A	K駅とO2駅間
2	2011年7月15日	13:34	14:32	A,B	T駅
3	2011年5月23日	7:12	8:17	A	A駅
4	2011年6月21日	6:22	7:48	A,B,C	K駅とO2駅間

図 3-8 輸送障害事例

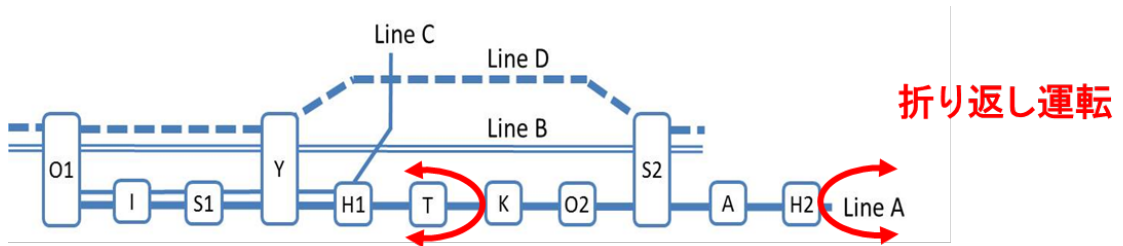


図 3-9 関係線区路線図

事例	運転整理	
1	全面運転中止（折り返し運転なし）	
2	K駅で7本折り返し運転 I駅で2本掘り返し運転 B線の代わりにS2駅とY駅の間をD線で運転した	折り返し運転を実施
3	前面運転中止（折り返し運転なし）	
4	A線のK駅で4本の折り返し運転を実施 A線のH2駅で6本の折り返し運転を実施 B線のO1駅で1本の折り返し運転を実施 H2駅から6本の臨時列車を出した K駅から4本の臨時列車を出した	折り返し運転を実施

図 3-10 指令の運転整理

事例	運転中止時間	実際の影響時間	SCORE	Sub SCORE I	Sub SCORE II
1	1:20	2:00	6.08	6.00	5.32
2	0:58	0:48	5.64	5.64	-
3	0:56	1:33	6.63	6.61	5.37
4	1:26	3:44	6.79	6.52	6.46

図 3-11 各指標の評価結果

以下のような考察が可能となる。ただし、時系列の軸が入場時刻ベースになっているため、その点を注意しながら見る必要がある。

日中時間帯の事例 1 と 2 における一人当たりの損失時間を比較すると、事例 2 の方が損失時間が圧倒的に小さい。これは、B 線の 8 本を D 線経由で運転を行ったことにより輸送力を確保できたことによる効果が出ていると考えられる。つまり、オペレーションを行ったことが定量的指標に反映されている例である。運転再開までにオペレーションを積極的



に行うと、運転再開後に列車間隔がまばらになり列車ダイヤや流動を正常化することは難しい面もあるが、本事例は **Sub SCORE II** を見ても運転再開後の輸送障害の影響を小さくできていることが分かる。

また、事例 3 と事例 4 を比較すると、事例 3 の方で折り返し運転を実施しなかったにも関わらず **SCORE** がやや小さい。折り返し運転の効果も万能とは言えない。しかし、**Sub SCORE I** は事例 3 の方が大きく、**Sub SCORE II** は事例 3 の方が小さいため、運転中止期間においては、折り返し運転や別経路の運転は効果が大きいことが分析できる。一方で、折り返し運転等を実施すると、元の流動に戻すのは難しくなる。その結果が **Sub SCORE II** の結果が事例 4 の方が大きいことにつながっている。実際に指令員にインタビューを行うと、感覚と一致するとの証言も得られた。

以上のように、輸送障害の影響を数値化して捉えて、オペレーションの評価、改善につながる考察を得ることが可能となった。

### 3.5 可視化ツールの開発

算出した SCORE をベースに事象の詳細把握や過去の輸送障害との比較ができるビジュアルツールを開発した。以下に、事象把握のための画面例を図 3-12 可視化ツール個別事象画面に示す。

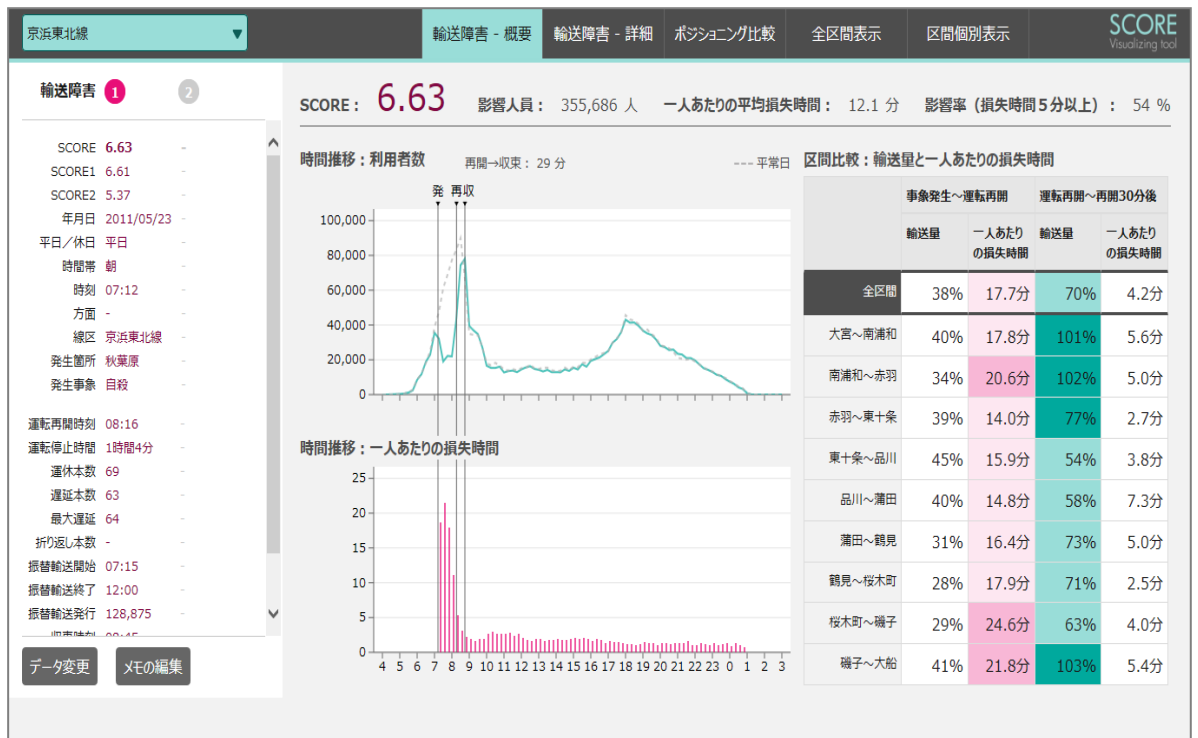


図 3-12 可視化ツール個別事象画面

この画面は、上部に輸送障害の基本的な数値化指標を置き、真ん中には時系列による指標の表示、右側には区間ごとによる指標の表示がなされている。事象を俯瞰して概要が分かると同時に、時系列や区間ごとに、例えば、ある区間で折り返し運転を実行したことによる効果が時系列追ってわかるなど、詳細な分析が可能となる。

次に、平常時と比べた影響のある区間を発見する画面が以下の図 3-13 平常時との区間ごとの比較である。



図 3-13 平常時との区間ごとの比較

左側は、ヒートマップ形式で、通常時との流動の差をすぐに理解可能としている。また右側には一人当たりの損失時間を示し、流動の差だけでなく、平時と比較してどの区間が大きく影響を受けているのか理解できる。

図 3-14 輸送障害の比較は、過去の輸送障害事例と様々な指標等で比較できる。これにより輸送障害の規模に対して、オペレーションが適切であったのか、あるいは折り返し運転の本数の割合は過去の同様の事例と比較して多かったのかなど、数値的に分析が可能である。これは、時間や曜日による比較も可能となっている。

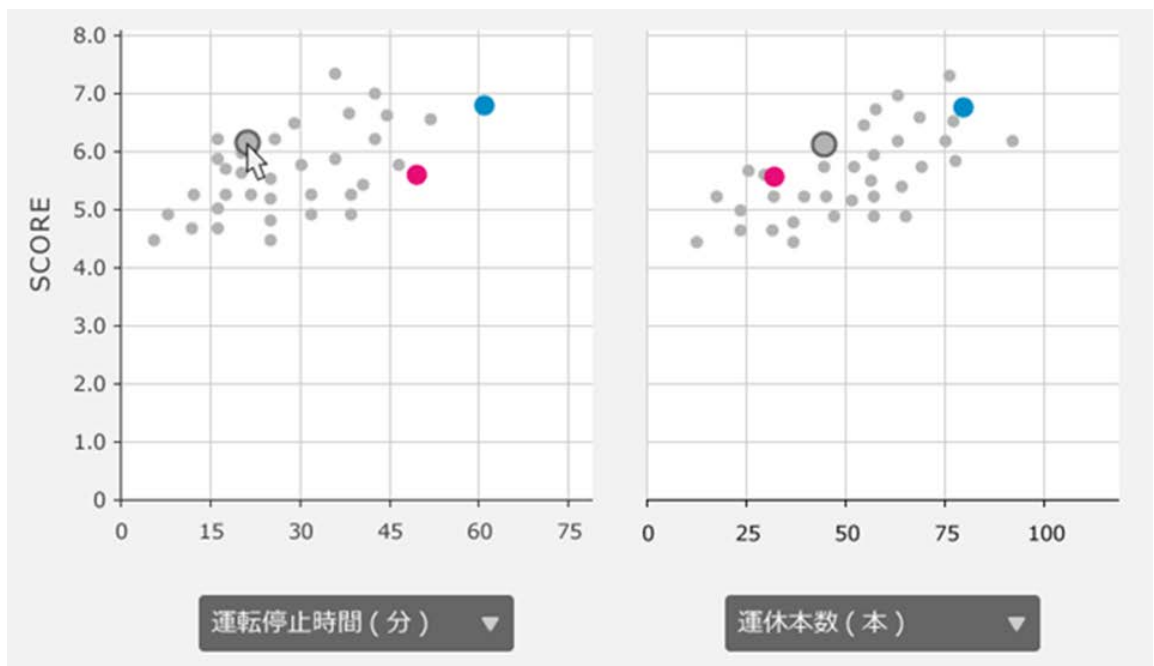


図 3-14 輸送障害の比較

これらの可視化により，過去の同じ路線で発生した事例と比較することや時系列で利用者影響の推移を把握することが出来るため，効果的に，理解しやすく輸送障害を把握可能となった．また，SCORE とオペレーションを様々な角度から比較できるので，SCORE が低いものに共通するオペレーションを発見するなど改善につなげる検討を行ったり，輸送障害の対応後にオペレーションが適切であったかを細かく検討するためのツールとして利用することが期待できる．

### 3.6 おわりに

交通系 IC カードのデータを利用して、輸送障害の影響を利用者視点で定量化する手法を示した。また、その手法をほぼ自動的に算出処理できるシステムを開発した。さらに、得られた SCORE 等の指標が鉄道事業者のオペレーション改善検討に具体的に役立つ可能性を示した。可視化ツールと合わせて、輸送障害時のオペレーションを改善するために本成果を利用することが期待できる。まさに、Operator Empowerment かつ Employee Empowerment を実現する例である。

本研究では、流動分析によるオペレーション改善に道筋をつけた。流動把握をベースとした、運行オペレーションの改善や分析結果の可視化によるオペレーション検討により、従来はできなかった数値による検討などが可能となった。特に鉄道において輸送障害が発生した時の鉄道事業者におけるオペレーション改善検討は大きな課題であったが、利用者が実際に受けた影響を定量化する方法を確立することで、その改善アプローチを見出した。

今後の課題としては、まず本研究で提案した定量的指標を用いた場合に路線ごとの利用者数の偏りが、そのまま指標として反映される点が挙げられる。SCORE の値をベースに優先順位を付け、オペレーションの検討を行う場合は路線ごとに利用者数に応じて SCORE の値を補正する等の手法を検討する必要がある。また、課題に挙げたように、場所によっては影響が大きいと思われる振替輸送等で迂回した利用者の影響を把握していない。今後、平常時の流動と比較するなどして、振替輸送の影響を取り入れることを検討したい。さらには、同時に複数の輸送障害が発生した場合の切り分け方法の検討もすべきと考えている。

本研究で示した数値は、恣意的に数値を加工せずに算出している。従って、解釈や適用については、人間の遅れに対する受け止め方を含めて、更なる検討が必要である。例えば、オペレーション改善のために一人当たりの損失時間を優先的に適用するのか、または損失時間が大きい人をなるべく少なくするのかなどは、今後考えを示さなければならない。ただし指標が増えると、逆に事象把握が難しくなり、結果として対策が難しくなるので、ある程度割り切った融合的な指標が必要だと考えている。

また、今回対象とした輸送障害発生時だけでなく、提案手法を応用して所要時間等を移動サービス自体として定量化可能であり、今後は平常時を含めて鉄道の輸送機関としての能力を評価する手法として発展させることを見込んでいる。

公共交通機関にとって輸送障害は多くの利用者に影響を与えるため、その原因排除とともに発生した場合は影響を最小限に抑える使命が事業者課せられている。今後も、効率的、実的にオペレーションを磨き上げるツールとして発展させていきたい。

# 第4章 鉄道利用者に対する情報配信アプリケーション

鉄道情報空間において、実世界のセンサーや信号システム等からデータを得て、サイバー空間で利用者の状況や車両の位置を把握することにより、実世界にいる鉄道利用者に対してコンテキストに応じた情報配信を実現するアプリケーションを複数開発した。情報提供により鉄道の「利用しやすさ」を向上することで、利用者の鉄道利用力向上 (Passenger Empowerment) を実現することを目的としている。具体的には、以下の6つのアプリケーションについて、その内容を示す。

1. 意思決定支援機構を有するマルチデータベースの実現とモバイルコンピューティング環境への適用
2. 路線図を活用した運行情報の提供
3. 発車標に対する列車在線位置情報の提供
4. 無人駅を対象とした列車在線位置情報の提供
5. 交通系 IC カードを活用した情報提供案内
6. 駅構内セキュリティカメラを用いた位置検知とコンテキストウェアリングによる情報配信システムの実現

## 4.1 意思決定支援機構を有するマルチデータベースの実現とモバイルコンピューティング環境への適用

モバイルコンピューティング環境において、利用者の意思決定支援を実現するマルチデータベースの構成方式を示す。本方式は、利用者のコンテキスト（状況、意図）に合わせて関連性計量関数を動的に選択・連結し、利用者が選択可能なアクション群を総合的に評価し、有効なアクション群を提示する機構群によって利用者の意志決定支援を実現する。また、本稿では、モバイルコンピューティング環境において、動的に変化する利用者のコンテキスト（状況、意図）を対象とした適切な情報源の動的な提示を行なう意志決定支援システムの実現方式を示す。

### 4.1.1 はじめに

現在、広域ネットワーク上には利用可能なデータベースが多数接続され、また、新たなデータベースが増加し続けている。また、ユビキタス・コンピューティング環境における

センサー群の発達や多数化，個人履歴情報の蓄積により，利用者のコンテキスト（状況，意図）を獲得する機会が拡大している．本稿では，利用者に対しこれらの情報を総合的に解釈し，利用者の意思決定を支援するシステムの実現方式を示す．

また，本稿では，モバイルコンピューティング環境において，利用者の意思決定を支援するマルチデータベースの構成方式を示す．意思決定支援を実現する方式として，マルチデータベースにおける関連性計量関数の総合的評価方式を示す．

本方式の特徴は，異種データベース群を結合したマルチデータベースにおいて，利用者のコンテキスト（状況，意図）に応じて関連性計量関数を動的に選択・連結し，利用者が選択可能なデータ群をそれら複数の関連性計量関数を動的に組み合わせることにより総合的に評価可能な点にある．

異種データベース群を結合したマルチデータベースシステムを対象として，異種データベースのデータ間関連性の計量による利用者のためのデータ検索機能，データ間統合機能の実現が提案されている[34]．異種複数のデータベースを結合させ価値をあげる目的で，異種のデータベース群の結合方式が示されている．ここでは，異種複数のデータベースを結合したメタレベルシステムに対し，様々な関連性を計量する関数が多数提供されている．DBMS が提供する基本的な関数のほか，時空間を扱う関数，相関量を扱う関数等が適切な情報検索のニーズの高まりと共に提案されている．しかし，これら関連性計量関数を，複数連結する方式が提案されているものの[9]，関連性計量関数を選択，連結，計量して，総合的な評価をする方式は実現されていない．

本方式では，マルチデータベース環境において，総合的な評価可能な統合計量機構を有する意思決定支援を実現するものである．

人間は，時々において自らのコンテキストを適切に把握し，時間的計量，空間的計量などの様々な評価基準に従って総合的に判断していると考えられる．本方式では，マルチデータベースの環境において，次のように関連性計量関数の総合的評価を実現する．まず，利用者の意図を反映させるための利用者コンテキストを設定する．次に，マルチデータベース環境におけるローカルデータベース群をマルチデータベースにより利用者コンテキストを反映して統合する．さらに，本方式は，これら进行操作する関数群として，時間的計量，空間的計量，パターンマッチングを，利用者の時々々の意図を含めたコンテキストを反映して選択・連結・計量し，総合的な評価を行う関連性計量関数（以下 **Global evaluator**）を適用することにより，総合的な評価を実現し情報を順序付け，かつモバイルコンピューティング環境に適切なデータ群を利用者に提供する．

本方式は，次の特徴を有し，利用者の意思決定の支援を可能としている．

- (1) 選択された関連性計量関数による総合的評価
- (2) 専門家の判断の反映
- (3) 個人差の反映

(4) 時々々の意図の反映

(5) 複数の関連性計量関数の動的選択

(1)の特徴は、マルチデータベースの環境において、複数の関連性計量関数を用いた総合的な計量機構を実現している点である。

(2)の特徴は、専門家の判断を関連性計量関数の選択と重み付けに反映すれば、一般の利用者も高度な判断ができる点である。意思決定の場において、一般の利用者に対し専門家のアドバイスは利用者のコンテキストを把握した上で、自身の計量に基づいて行われる。

(3)の特徴は、重み付けにより、個人差を反映することによって実現する。利用者は個人により普段の行動に特徴があり、同じものに対しても評価の基準軸やその重視度合が違うことで捕らえ方が異なる。

(4)の特徴は、時々々の意図を反映することにより実現する。コンテキストアウェアネスのように、ユビキタス環境によりシステムが全て人間の意図を汲むアプローチ[36]ではなく、本システムにおいて利用者は意図に応じて必要なときに推奨された情報を得ることが可能となる。

(5)は、関連性計量関数を動的に選択することにより利用者コンテキストを反映することを可能にしている。人が判断に用いる計量軸は、選択数や対象が時々により異なる。また、関連研究として、利用者の行動目標を推論する研究やレコメンダシステムの研究が盛んであり[37]、協調フィルタリングや内容フィルタリングなどが提案されている。これらは、利用者に対し推量的に情報を提供している。本方式では、モバイルコンピューティング環境の利用者を対象として、異種データベース群から抽出された情報群を動的に連結し、さらに、関連性計量関数の総合的評価方式により様々な視点から利用者のコンテキスト（状況、意図）に応じた総合評価を伴った情報を提供することにより、意思決定の支援を可能とする。本研究の概要を図 4-1 に示す。



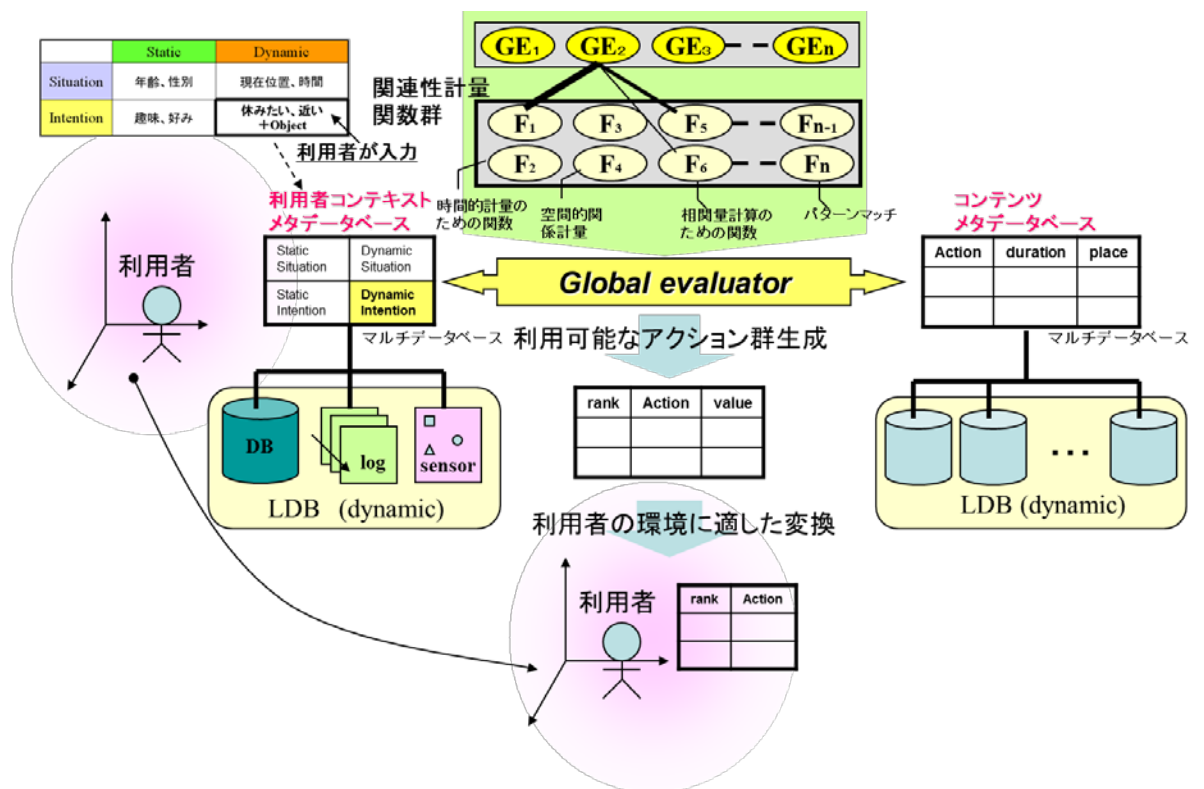


図 4-1 意思決定支援機構を有するマルチデータベースの実現とモバイルコンピューティング環境への適用における全体システム概要

#### 4.1.2 マルチデータベースにおける関連性計量関数の総合的評価方式

本節では、マルチデータベースにおける関連性計量関数の総合的評価方式を示す。

##### 4.1.2.1 利用者コンテキストの表現

本方式では、利用者コンテキストは、静的に (Static) 決定されるものと動的に (Dynamic) 変化するもの、さらに状況 (Situation) と意図 (Intention) に分類され、定義される (表 4-1)。利用者コンテキストは様々に変化するが、趣味や嗜好のようにほぼ固定的な部分がある。また、利用者により意図的に決まるものと、恣意的には決まらないものがある。特にモバイルコンピューティング環境において一部のコンテキスト (状況、意図) が動的に変化するので、利用者コンテキストを捕らえる際に本方式の分類が重要である。

本方式は、利用者コンテキストにより関連性計量関数を選択・計量し、Global evaluator を決定する。さらに、利用者コンテキストを反映させてマルチデータベース環境にあるローカルデータベース群を結合する。

表 4-1 User Context

	Static	Dynamic
Situation	SS1, ..., SSn	DS1, ..., DSm
Intention	SI1, ..., SIp	DI1, ..., DIq

4.1.2.2 関連性計量関数の総合的評価方式

本方式における Global evaluator は、図 4-2 に概要を示すように4ステップにより動作する。

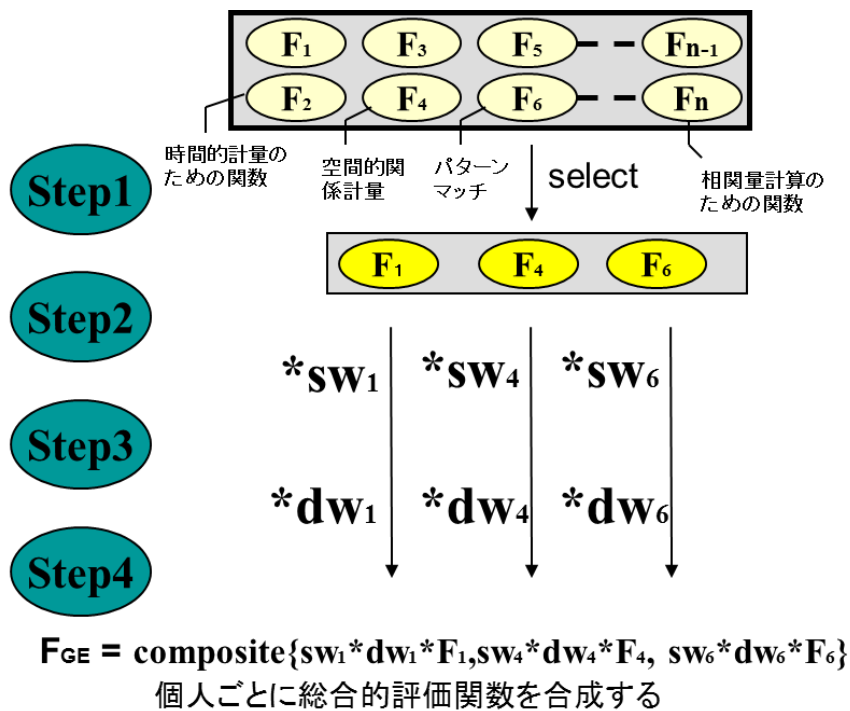


図 4-2 Global Evaluator

- (Step-1) 関連性計量関数を利用者コンテキストにより動的に選択  
 $Selection \{Fk, Cx \mid k \in \{1, 2, 3, \dots, n\}\}$   
 $Fk$ : 関連性計量関数  $Cx$ : Context
- (Step-2) 関連性計量関数を静的な利用者コンテキストにより重みをつける  
 $swk * Fk, SCx \quad k \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$   
 $swk$ : 静的な重み  $SCx$ : Static Context
- (Step-3) 関連性計量関数を動的な利用者コンテキストにより重みをつける  
 $dwk * Fk, DCx \quad k \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$   
 $dwk$ : 動的な重み  $DCx$ : Dynamic Context

(Step-4) 関連性計量関数を合成する

$$F_{GE} = composite\{swk * dwk * Fk \mid k \in \{1, 2, 3, \dots, n\}\}$$

(Step-1)では、利用者コンテキストに応じた関連性計量関数を選ぶ。このとき、利用者コンテキストに関係する属性を計量する関連性計量関数を選択する。

(Step-2)では、利用者コンテキストのうち、Static Situation/Intentionにより Step-1で選択した関連性計量関数に重みをつける。

(Step-3)では、利用者コンテキストのうち、Dynamic Situation/Intentionにより Step-1で選択した関連性計量関数に重みをつける。

(Step-4)では、選択及び重み付けされた関連性計量関数を合成する。各重みをパラメータとし、対象データを入力値とする動的な関数とする。

Global evaluator は、これらのステップ群により実現される 関数であり、マルチデータベース環境を対象とした総合的な評価を実現する。

#### 4.1.2.3 マルチデータベースにおけるデータベース選択・結合

本方式は、利用者コンテキストによりマルチデータベースに接続された異種データベース群から適切なデータベースを選択及び結合する機能を、異種データベース群を統合する方式 [38], [39],[40]により実現する。ローカルデータベース群から、関係するデータを利用者コンテキストを用いてパターンマッチング、関連性の記述によりメタデータベースに写像する。ここでは、ローカルデータベースシステムの有する値集合を  $V_{in}$  と、結合されたデータベースの有する値集合を  $V_{out}$  とする。

$$Filter\{V_{in}, Cx\} \rightarrow V_{out}$$

$Cx$ : Context

#### 4.1.3 マルチデータベースを対象とした関連性計量 関数による総合的評価のモバイルコンピューティング環境における適用

本節では、前節にて示したマルチデータベースを対象とした関連性計量関数の総合評価方式をモバイルコンピューティング 環境に適用し、利用者の意思決定支援を実現するマルチデータベース構成方式を示す。

##### 4.1.3.1 モバイルコンピューティング環境における意思決定

モバイルコンピューティング環境における意思決定は、距離、値段、意図等複数の要素(属性)により行われる。しかし、モバイルコンピューティング環境においては、限定されたインターフェイスや細いネットワーク特性から利用者が理解、取得できる情報量は限られている。従って、モバイルコンピューティング環境で利用者が意識できる属性は多く

ない。属性が少ない状況下を想定して多目的意思決定問題の解法として用いられる多属性効用理論のモデル（多属性効用関数）が利用できる。多属性効用理論では、効用加算ルールが適用され、全ての属性の相対的な重要性と属性ごとの効用値の重み付の和で先行順位が決められる。各選択肢の総合的な効用を  $U_i$ 、選択肢  $j$  を全部で  $n$  個ある属性のうちの第  $j$  番目の属性で評価した値が  $u[ij]$ 、属性  $j$  に与えられる重みを  $w_j$  とする。

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j * u[ij]$$

ここで、属性の数が少ない場合（例えば、6つ以下程度）は直観的な判断による順序づけと多属性効用理論による順序づけ（効用加算ルール）の間には、意思決定者に関して、高い正の相関があることが報告されている [41]。つまり、モバイルコンピューティング環境においても、意思決定に必要な属性の効用値を効用加算ルールで考えることが妥当であり、本方式では **Global evaluator** の実現に適用した。

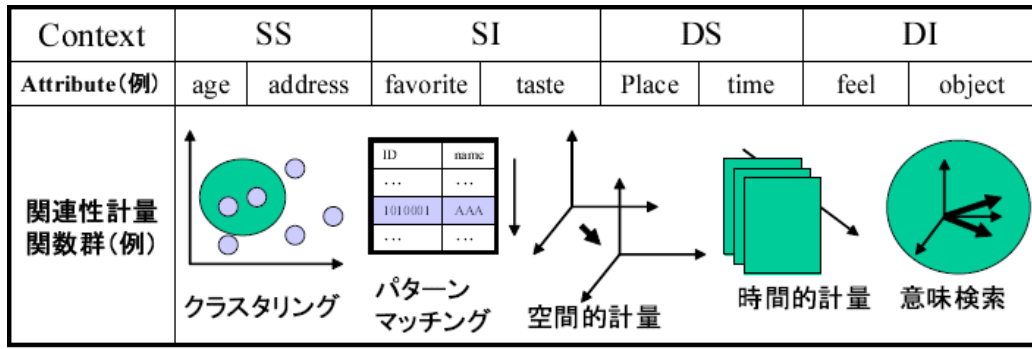
#### 4.1.3.2 利用者コンテキストと関連性計量関数

利用者コンテキストの例を表 4-2 に示す。**Static Situation** は住所、性別など利用者が現在置かれている社会的状況である。**Dynamic Situation** は、場所、時間、天気などモバイルコンピューティング環境ならではの動的な自然的状況である。また、**Static Intention** は、趣味、嗜好などあまり変化しないが利用者の背後に存在する、目的を伴った意図である。さらに、一番の特徴である **Dynamic Intention** は、時々々の意図を表す気持ちや目的とした。この分類定義により、利用者の時々々の意図を汲む状況に応じた柔軟なシステムにすることを可能にする。

表 4-2 User Context の例

Context	例
Static Situation	住所, 性別, ...
Static Intention	趣味, 嗜好, ...
Dynamic Situation	場所, 時間, ...
Dynamic Intention	気持ち, 目的 ( <i>object</i> ), ...

また、関連性計量関数は図 4-3 に示すように、利用者コンテキストの属性により決定される。



SS : Static Situation, SI : Static Intention, DS : Dynamic Situation, DI : Dynamic Intention

図 4-3 利用者コンテキストと関連性計量関数

#### 4.1.3.3 コンテンツデータベース群に対するメタスキーマ

モバイルコンピューティング環境における利用者について、Global evaluator が対象とするメタスキーマを利用者コンテキストに合わせて用意し、利用者コンテキストに対する実際の属性に応じたデータをローカルデータベース群からメタスキーマに合わせて写像する。

#### 4.1.3.4 結果表現

統合計量機構による結果を表現するため、利用者が所持する機器に応じて表現できる形式を出力する関数を定義する。モバイルコンピューティング環境においては、利用者が理解、取得できる情報量は限られている。従って、意思決定を支援するためには、利用者が所持する機器により結果の表現を変えたり、情報のフィルタリング（例えば、選択・順序付け）が重要である。また、利用者は複数の表形式の結果を比較することは困難であるので、結果が分散することを避ける。ここで、 $V_{out}$  は結合されたデータベースの値集合であり、 $V_{result}$  は結果データベースの値集合である。結果表現関数  $Fr$  は、選択 (selection)、順序付け (ordering)、射影 (projection) の機能を持つ合成関数である。

$$Fr(V_{out}) \rightarrow V_{result}$$

#### 4.1.4 本方式の実現

本節では、意思決定支援機構を有するマルチデータベース環境の実現方式及びモバイルコンピューティング環境への適用の実現方式を示す。

#### 4.1.4.1 データ構造

- 利用者コンテキスト及び実際の属性

4.1 節に示したように、利用者コンテキストを4つに分類した。利用者コンテキストと関連性計量関数を対応させるものは、利用者コンテキストそれぞれに対応する属性である。表 4-3 のように、例えば属性 **price** では DBMS に用意されている順序付け、属性 **duration** なら時間的計量を行う。

表 4-3 データ構造：利用者コンテキストの属性と関連性計量関数

attribute	item	price	duration
Function	Pattern_match	Ordering	Temporal_relationship

- 静的な利用者コンテキストによる重み付け表

この表は、関連性計量関数の総合的評価のため、静的な利用者コンテキストによる重み付けを決定する表である。例えばこの表 4-4 の場合、属性 **place** は属性 **price** に対して 3 倍重きを置く（場所が距離的に近い方が値段が安いことより好ましい）ものとする。

表 4-4 静的な利用者コンテキストによる属性の相対的な重み付けの例（縦軸の属性に対する横軸の属性の重みの比）

tuple	price	place	popular
price	*	0.3	0.7
place	3	*	2
popular	1.5	0.5	*

重み付けは、利用者の履歴や専門家の判断により決定される。例えば利用者の商品やサービス等の選択履歴として、価格に関しての順序付け、距離であれば空間的な計量を評価基準として用いたことを蓄積する。これにより、頻繁に使用、及び最近使用された計量が重み付けられることになる。また、専門家の判断を回帰分析等により重み付けとすることが可能である。

- 動的な利用者コンテキストによる重み付け表

この表は、関連性計量関数の総合的評価のため、動的な利用者コンテキストによる重み付けを決定する表である。例えばこの表 4-5 の場合、属性 **popular** (人気) は属性 **price** に対して 2 倍重きを置く（人気がある方が値段が安いことより好ましい）ものとする。

表 4-5 動的な利用者コンテキストによる属性の相対的な重み付けの例(縦軸の属性に対する横軸の属性の重みの比)

tuple	price	place	popular
price	*	0.5	0.5
place	2	*	0.3
popular	2	4	*

- メタデータベーススキーマ

本実現方式において結合対象とするローカルデータベース群を対象としたメタスキーマを表 4-6 に示す。ローカルデータベース群の属性については、属性をメタスキーマにおいて定義される汎用的な属性(例えば所要時間)へ写像することにより、その属性を本方式の結合対象属性とすることが可能となる。属性 **duration** に時間的属性を記述し、時空間マルチデータベースシステムが時間的関連性を計量することにより、時間に応じた問い合わせ結果を提供することが可能となる。さらに、地図データベースのためのメタスキーマを表 4-7 に示す。属性 **location** に空間的属性を記述し、時空間・マルチデータベースシステムが空間的関連性を計量することにより、利用者の空間的位置に応じた問い合わせ結果を提供することが可能となる。

表 4-6 データ構造：結合対象となるローカルデータベース群のためのメタスキーマ (例)

category	item	price	duration	Service_id

表 4-7 データ構造：ローカルデータベース群(地図データベース群)のためのメタスキーマ(例)

service_id	name	location

- 結果データベース

本システムにおける利用者が得る問合せ結果は表 4-8 のようになり、指定した **object** に対する順序及び選択肢(アクション群)が返される。

表 4-8 結果データ構造: Result DB (例)

total_ranking	object
1	obj3
2	obj1
3	obj2

#### 4.1.4.2 基本操作群

- **Selecting Local Databases**

マルチデータベース環境において、利用者コンテキストに応じてデータベース選択を実現する。データベース選択のための基本操作 (**Selecting Local Databases**)は、結合対象となる多くの異種データベース群を対象として、利用者が **query** として指定した利用者コンテキストに応じて選択を行う。具体的には、利用者コンテキスト (表 4-1) における *DI* により指定されるキーワードと、結合対象のデータベースごとに設定されるキーワード (表 4-6 における属性 **category**)のマッチングによりデータベース選択を実現する。

- **Global Evaluator**

関連性計量関数を利用者のコンテキストにより計量の上、統合して総合的な評価を行う。

(1) 属性ごとに関連性計量関数を適用する操作ローカルデータベース群から結合されたデータ群 *V<sub>out</sub>* に属性ごとに対応した関連性計量関数 *Fn* を適用する。

$$Fn(V_{out}) \rightarrow V_{n\ out}$$

(2) 標準化を適用する操作

関連性計量関数を適用されたデータ群に対して、その属性の中でデータが相対的にどのような位置付けにあるのか標準化により数値で表す操作を行う。ここで、標準化を行う関数を *Fstd*, *V<sub>n\ out</sub>* は (1) の操作によるデータ群, *V<sub>std</sub>* は標準化されたデータ群である。

$$Fstd(V_{n\ out}) \rightarrow V_{std}$$

(3) **Static Situation/Intention** で重み付けをする操作連結されたデータベース群を対象として, **Static Situation/Intention** で重み付けを行う。重み付けは基準表を元に行う。

(4) **Dynamic Situation/Intention** で重み付けする操作連結されたデータベースを対象として, **Dynamic Situation/Intention** で重み付けを行う。**Dynamic Intention** が入力されない場合は, **Dynamic Situation** のみで重み付けされる。重み付けは基準表を元に行う。**Static Situation/Intention** と **Dynamic Situation/Intention** のように分類する理由は, **Static Situation/Intention** の重み付け部分までは予め計算しておく, その後 **Dynamic**



Situation/Intention だけの情報で総合評価値を出して、利用者への情報を出力できることによる。

- (5) 総合評価値を出す操作 効用加算ルールに基づき、各属性の標準化されたデータ群  $V_{std}$  の値  $u[ij]$  を加算する。  $U_i$  は総合評価値である。

$$U_i = \sum_{j=1}^n sw_j * dw_j * u[ij] \quad u[ij] \in V_{std}$$

#### 4.1.4.3 利用者による問合せ

利用者は、システムに対して利用者コンテキストの一部として **Dynamic Intention** を入力する。入力しない場合は、システムが利用者コンテキストの他の部分から総合的に評価する。

#### 4.1.4.4 実行手順

利用者が **Dynamic Intention** を入力し、利用者コンテキスト が揃うと **Dynamic Intention** に含まれる **object** に基づいてマルチデータベース環境にあるローカルデータベース群を結合する。結合されたメタデータベースに対して時間的計量、空間的計量、パターンマッチング、各属性によるソートなどを行う。計量されたデータに対し、それぞれのデータが同じ属性のデータ群の中でどのような位置付けであるか、また各計量によるデータの意味の違いを吸収するために標準化を行う。重みをつけ、総合評価値を計算する。最後に総合評価値に基づいて、利用者のモバイルコンピューティング環境に合わせてスキーマ、データ形式を決めて情報を配信する。

#### 4.1.5 応用例

本方式により関連性計量関数を組み合わせた様々な情報獲得が可能になる。また、マルチデータベースの拡張性を活かして、情報入手の対象が広がる。

本方式の具体的な応用として想定するモバイルコンピューティング環境の一つに駅構内がある。屋内において、位置情報は **GPS** が使えないこともあるが、鉄道の自動改札機は個人の特定期間・時間・場所・方向を特定するセンサーの役割を果たす。また、利用者の許可によっては、定期券等の情報から年齢・性別・乗車区間・乗車頻度・乗車履歴等様々な利用者コンテキストが取得できる。取得された利用者コンテキストにより個々の利用者に応じたサービスが可能となる。

携帯電話に **IC** チップが搭載され、**IC** チップによりシステムに取得された情報を利用者の携帯電話にフィードバックする機会の増加が期待できる。例えば、**IC** チップに書き込まれたチケット、電子マネーの残高等の利用者コンテキストを基に、駅周辺の店舗情報、サービス情報などを統合かつ自分に合う順番に提示することができる。

#### 4.1.6 結論と今後の展望

本研究では、利用者の意思決定支援を実現するマルチデータベースの構成方式を示した。本方式は、Global Evaluator により、異種データベース群を結合したマルチデータベースを対象として、関連性計量関数群を選択・統合・計量することで利用者が選択可能なアクション群を総合的に評価することを可能とする。また、利用者の状況を柔軟に捕捉し、効果的な情報獲得を実現するために利用者コンテキストに意図という概念を導入した。

人間の意思決定は、時々において自らのコンテキストを適切に把握し、様々な計量を行いつつ総合的に評価しているとの視点から、モバイルコンピューティング環境における情報獲得においても、統合的な評価を実現した。特に精度の高い情報が求められるモバイルコンピューティング環境の利用者に対し、意図に応じた情報をマルチデータベースから利用者に合わせて獲得することを可能にした。

今後の研究では、個人履歴や専門家の判断を分析して関連性計量関数に対する重み付けを決定し、Global evaluator の動作に反映することや、利用者の問合せを自然言語にすることなどが課題である。個人が判断する際の関連性計量関数の選択を履歴として蓄積すれば、新しい意思決定に際し重視する関連性計量関数（属性）を推定できる。また、専門家が判断の際に使用する関連性計量関数を履歴として蓄積し、回帰分析を行えば、新しい意思決定に際し、一般の利用者が専門家同様の判断ができる可能性がある。

今後、センサー群の進化によるユビキタス環境の実現やマルチデータベース環境の拡張で、多種多様な情報源からの利用者コンテキストに合わせた情報獲得は、ますます重要になる。

## 4.2 路線図を活用した運行情報の提供

### 4.2.1 はじめに

輸送障害が発生したときに、利用者に対して運行情報を的確に伝え、代替手段などを案内することは、運行や事象を把握している鉄道事業者にとって言えば使命である。一方、鉄道事業者が平成 17 年に実施した「顧客満足度調査」では、『駅での情報提供』に関して、利用者の満足度が低く、かつ全体の満足度に対して影響が大きいとの結果が得られた。利用者は分かりやすく、利用状況に合った情報を求めている、従来からの情報提供方法だけでは対応が不十分であるのが実状である。

鉄道会社は、運行管理や事象把握のために特に社内の従事者向けには、様々な形で情報を共有している。そこで、昨今では当面、鉄道事業者も「内部の情報をオープンに」していくことを基本的な方向性としている。なぜならば、運行や事象を把握している鉄道会社としては、運行情報に関して利用者に説明責任を果たすと同時に、利用者が自ら判断して行動する状況にすることが最善であり、そのためには多くの速報性のある情報が不可欠だからである。

運行情報提供に関する研究では、「分かりやすく情報を伝える」ことを常に意識している。分かりやすく情報を伝達するために、音声と文字が主流である現在の状況を進化させて、映像や画像など利用者が認識しやすい形式を利用している。また、利用者が必要とする情報を精査し、情報認知・理解行動を起こすまでのフローに合わせて情報提供方法や使用するデバイスを決定する必要がある。(図 4-4)

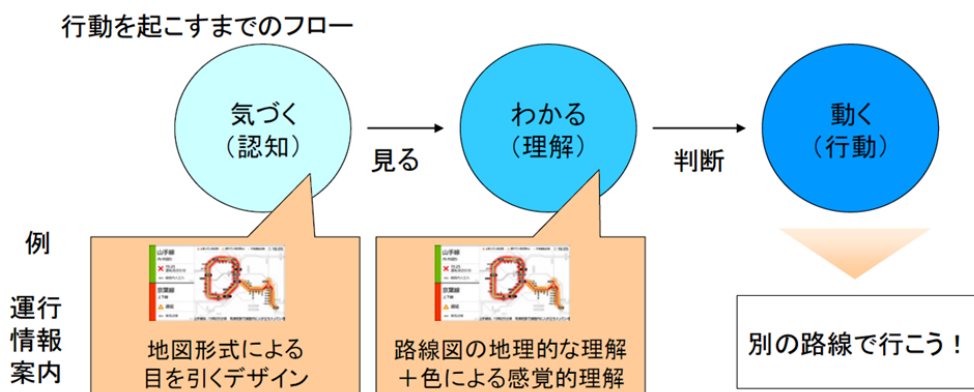


図 4-4 情報認知から理解と行動フロー

情報が確実に利用者に伝わり、利用者が情報をもとに行動を起こすためには、その情報の意味を解釈できるだけでなく、次の行動に結び付く深い理解が必要である。この点からも、情報デザインが非常に重要になる。伝達効率の高さを維持して、行動まで結び付けるような情報を提供するため、一連の研究では情報デザイン重視した。利用者に伝わり認知・

理解されてこそ「情報」となることから、情報の内容や量、画面インターフェイスなど、トータルでの情報デザインを考えた。

#### 4.2.2 現状の把握

主に輸送障害などの運行情報は、平成 20 年ごろまでは、駅等で放送による案内や、LED 掲示板にテキストのスクロールで表示して利用者に知らせていた(図 4-5)。しかし、スクロール表示には、利用者が通過するタイミングでないと気が付かない、情報量が多いと情報を伝達しきれずに利用者が内容を把握できない等の課題があった。



図 4-5 LED による輸送障害表示例

#### 4.2.3 路線図を活用した運行情報提供デザインの開発

本開発では、路線図を活用した運行情報の提供に取り組んだ。首都圏では多くの路線があり、かつ複雑に運行を行っているため、分かりやすく情報を提供することは難しい課題である。一方で前例として、高速道路等では地図形式を使った道路状況案内が既に存在して利用者に広く受け入れられていることから、鉄道においても実現可能であると考えた。さらに、路線図が表現可能なディスプレイが薄く、大きく、比較的安価に入手可能になってきたこともあり、大型ディスプレイを利用した運行情報配信提供の実現に取り組んだ。

利用者が鉄道を利用する前に、分かりやすく運行情報を提供することを目的として、改札付近の大型ディスプレイに路線図上に列車の遅れを示した表示を行うシステムを作成した。従来から、運行情報をテキストで配信、スクロールで表示するための仕組みは存在した。これをベースに、地図にしても齟齬がないためのデータ形式の定義（位置対応データベース）、振替情報のためのデータの整備(XML)を行ったうえで、路線図上に分かりやすく表示するデザインを実施した。この写真を図 4-6 に示す。



図 4-6 異常時案内ディスプレイ

デザインする上で考慮した要素を以下に述べる

- ・首都圏の路線図は、利用者の認知が高いことを前提にしたデザインである。逆に言えば、首都圏の鉄道路線に疎い利用者には、理解が難しいことは承知の上での情報提供である。

- ・テレビやカーナビ等で、高速道路等の渋滞情報には利用者は馴染みがあると考え、利用者のすでに持つ、橙色が遅れ、赤色が運転中止というメンタルモデルを採用した。

- ・ディスプレイがある駅を赤く囲み、利用者の現在位置を分かりやすくしたこと

- ・路線表示の中で、主要駅の表示は大きくしないと地理的な認識が難しいため、クローズアップの度合いに応じて主要駅の表示を変化させている。

- ・画面の大きさが制限されるため、首都圏の中で遅れている路線をクローズアップして表示させた。一方で、利用者が画面を見ている駅から離れた路線が遅れている場合、現在位置との関係が分からなくなるため、利用者がある駅を必ず含んで遅れている路線をクローズアップしている。

- ・処理の軽さ（本来であればアニメーションを使用することで、この画面の情報がリアルタイムで更新されていることを暗黙のうちに伝えられる。しかし情報の性質上、素早く伝えることが使命であることから、クライアント側の処理能力を考慮して静止画的な表現になっている）

従来のスクロール形式の表示では、利用者が情報を発見することも、素早く理解することも分かりやすいとは言えなかった。本方式の運行情報によって、鉄道空間に入る前に、関係する情報を取得するという流れを実現できたと考えている。

現在では，首都圏では 200 以上の駅に導入されると同時に，本研究の基本的なデザインが評価されて，日本各地の鉄道事業者が同様の表示形式のデザインを採用している。

## 4.3 発車標に対する列車在線位置情報の提供

### 4.3.1 はじめに

分かりやすい運行情報の提供は、鉄道事業者の使命である。その一部として、列車の位置情報を利用者に知らせることは、待ち時間の参考にしたり、乗車列車選択の判断要素となるため重要である。これまで、次に来る列車が前の駅を出た場合に利用者に知らせる装置は多く存在したものの、複数の列車を対象に、ある程度詳細の位置まで知らせるものは多くなかった。そこで、首都圏の多くのホームに設置されている、発車標（列車の時刻を知らせる LED 装置）を対象にして、列車の在線位置情報をビジュアルに提供するインターフェイスシステム開発、及び、デザインを行った。

筆者は、本開発にプロジェクトマネージャ、及び、デザイナーとして参画して、開発や LED の情報デザインを担当した。

### 4.3.2 現状の発車標での列車在線位置提供

現状の発車標 LED における列車の在線表示は、「○○駅を 出ました」のようにテキストで表示する例(図 4-7)や矢印表示などを利用する例(図 4-8, 図 4-9), 外国で採用例の多い到着までの時間を表示する例(図 4-10)があった。



図 4-7 テキストによる列車案内





図 4-8 駅名と矢印による列車案内 1



図 4-9 駅名と矢印による列車案内 2



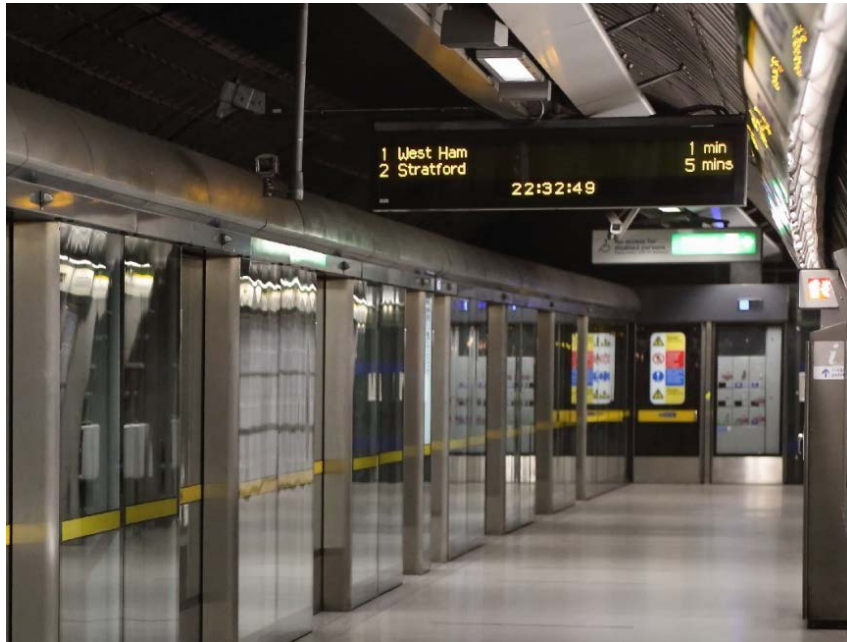


図 4-10 外国の駅での到着時間表示

しかし、これらの表示には以下のような課題がある。

- 駅名の知識が前提である
- 日本語のみの情報であるため、日本語を読めない外国人等が理解できない
- スクロールであると、視認タイミングを逃すと情報が入手できない
- テキストの場合は表示対象が次に来る1つの列車のみである
- 「当駅」という表現が、何を意味するのか分かりにくい
- ピクトでの表現であっても、列車が駅や駅間に存在しているときの表現が一見しただけでは捉えにくい（例えば図 4-9 では、2つの駅間に電車が在線していることを意味するが、分かりにくい）
- 到着までの時間の表示は予想であるために、列車が遅れている場合などは誤った案内となりやすく、正確性を重んじる日本の文化に馴染みにくい

#### 4.3.3 列車在線位置表示のデザイン

現状を踏まえ、外国人を含む利用者が直感的に列車の位置を理解できるよう、発車標の制約の中で列車在線情報の情報デザインを行った。列車在線情報は、データとしては発車標において従来から取得可能であったため、基本的には LED に表示する情報デザインのみ対応を行った。デザインした列車在線位置表示を図 4-11 に示す。



図 4-11 開発した列車在線位置表示

従来表示と比較して優位な点は下記のとおりである。

- ① 駅名等がわからなくても良い（日本語が読めなくて良い）
- ② スクロールではなく固定表示（見るタイミングによらない）
- ③ 複数列車に対応する

これらの表示デザインは、LED の 16×16 ドットパネルを 8 枚使用する最小限の発車標で、赤、黄、緑の 3 色しか使用できない点も考慮して実現できることを条件にしている。

意識したデザイン要素は以下である。

- 時系列の情報表示に関して左から右に流れた方が人間が認知しやすいこと
- 潜在的にピクトとして表現できる列車や線路、駅のイメージは何であるのかを考慮した
  - 列車は、詳細に拘らずピクトとして表現、方向が理解できるよう右側上部に切り込みを入れたデザインとした
  - 線路は、地図記号でも使用される線路(JR 線)のピクトを応用した
  - 駅は、地図記号でも使用される駅のピクトを応用した
- 現在位置（当駅）は、地図表示でも良く使用される「赤の下向き三角」が利用者に認知されやすい
- 赤、黄、緑の順で、重要度を伝えるようにした
- 鉄道において赤色は停止を意味するので、ホーム上で大きく使用することは運行を妨げる恐れがあるため使用は最低限とした

さらに、パネルの枚数が拡張されても汎用的に表示できる方法や 24×24 ドットのパネルにおいても表示可能なデザインを考案し、展開に柔軟に対応可能とした。これにより、利用者が列車の位置を分かりやすく把握できると同時に、特に混雑に列車が続いているかどうか把握できるため、理由者に次の列車を選択するなど列車選択要素を提供した。混雑時においては、1本後の列車に乗るなど、混雑分散の寄与も期待できると考えている。

#### 4.3.4 おわりに

本開発は、地図記号や列車のイメージ等、利用者のメンタルモデルを意識して、情報のデザインを行った。また、利用者のデータ源となる運行管理システムを改修せずに、表示に関する端末側の改良のみで実現できたことも大きな特徴である。情報デザインを工夫することで、利用者に分かりやすく伝わる案内インターフェイスにより **Passenger Empoerment** につながるデザイン、開発を実現できた。

## 4.4 無人駅を対象とした列車在線位置情報の提供

### 4.4.1 はじめに

駅係員が不在の駅（無人駅）においては、特に列車の遅れが発生した場合に、その情報提供方法が課題である。従来から列車の遅れに関する情報は、近くの有人駅等から音声で利用者に対して提供していたが、情報量や情報伝達手段が不足していた。また、監視がないことから、窃盗や破壊など防犯のためのセキュリティ面についても大きな問題であった。一方で、鉄道事業者にとっては利用者の少ない無人駅のような設備には大きな投資ができない。

以上の背景を踏まえて、列車の在線位置情報の提供とセキュリティ向上とを比較的安価に実現することを目的として、無人駅における情報端末の開発を行った。筆者はプロジェクトマネージャーとして、主にシステム開発の面で本開発に携わった。

### 4.4.2 システム概要

システムの概要を図 4-12 に示す。列車の在線位置を無人駅で表示するまでの流れは以下ようになる。

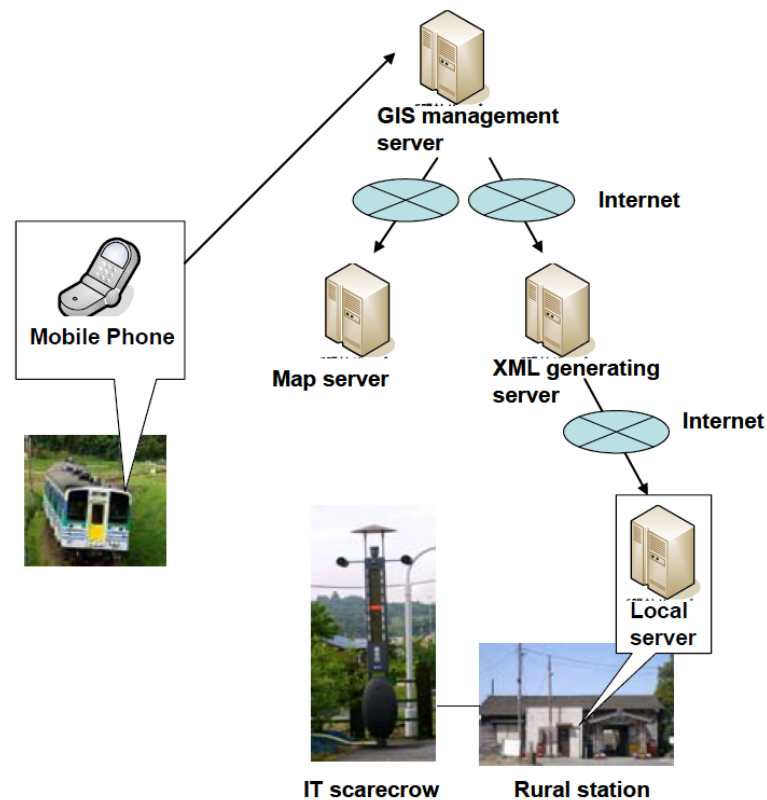


図 4-12 無人駅における列車在線位置情報提供のシステム概要

列車の位置情報は、列車に搭載された携帯電話の GPS データとして取得される。このデータは、携帯通信網を利用して随時 GIS management server にアップロードされる。GIS management server では、GIS 情報を最寄りの路線上にマッピングして、列車が線路上のどの位置（キロ程）に存在するかを計算する。列車の位置データは、そこからインターネットを経由して、Map server と XML generating server に送付される。

Map server は Web サーバ機能を持ち、列車の位置データを元に地図上にマッピングして表示する(図 4-13)。従って、ある程度のリアルタイム性を持って、列車の位置がウェブページで把握できる。ただし、GPS を利用しているため、衛星の電波を受信できない個所では列車の位置情報が把握できない場合がある。図 4-13 の右側のページは、トンネル区間があるために GPS データが取得できず、結果として列車の位置検知データの間隔が空いていることを示している。

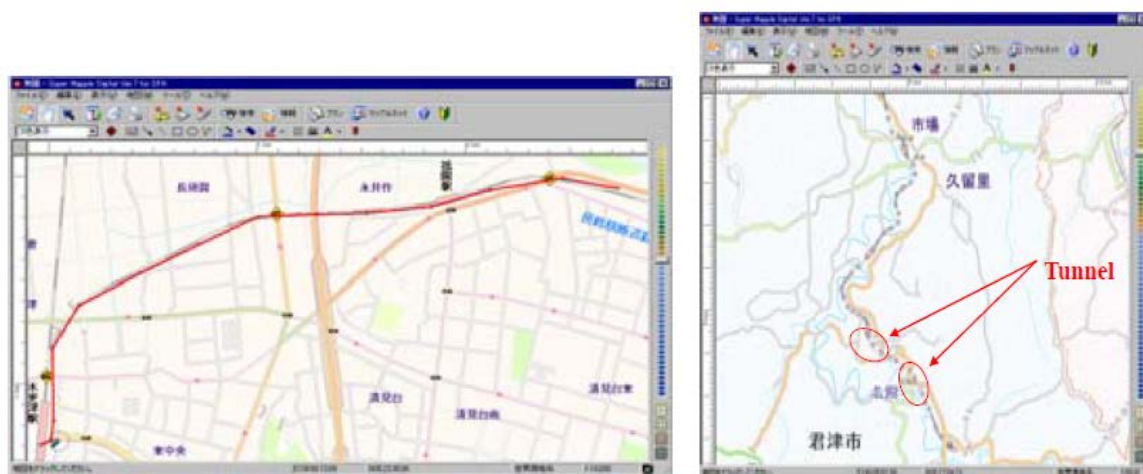


図 4-13 列車の位置データのマッピング表示

XML generating server は、各携帯電話から取得した列車の位置データとともに、データを集約して XML 形式のデータを創出する。同時に各携帯電話毎に過去の位置データの履歴から、列車の進行方向（上り・下り）を判断する。XML generating server は web サーバーとしての機能を持つことから、これらのデータを一覧でウェブサイトとして閲覧、把握できる (図 4-14)。



図 4-14 位置データ把握ウェブサイト

さらに、無人駅に対しては、インターネットを経由して、XML generating server から列車の位置データが送られる。

無人駅に設置されるローカルシステムを図 4-15 に示す。ローカルサーバで受信した位置データは、各駅、あるいは駅間を表示する LED の情報に置き換えられる。この情報を情報端末の LED 装置に転送して、利用者に接近している列車の情報を伝える。また、情報端末のスピーカーを利用して、列車の接近情報等、音声でも同様の内容を伝える。さらには、セキュリティ向上のため、情報端末にはウェブカメラを配備した。ウェブカメラ自身が Web サーバ機能を持つため、この映像はインターネット経由でアクセス可能である。

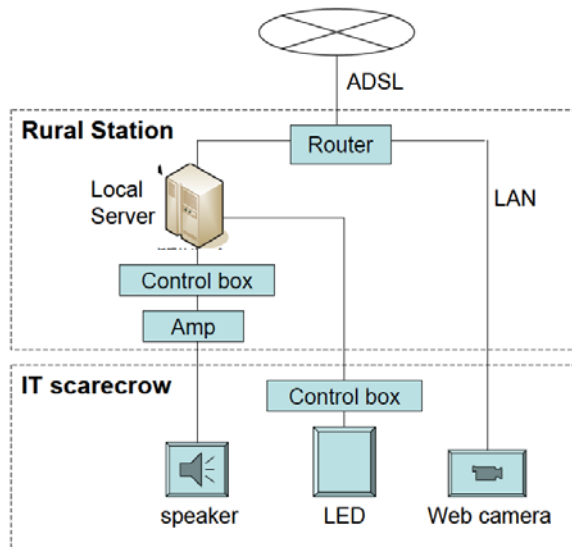


図 4-15 無人駅に設置されるローカルシステム



#### 4.4.3 情報端末「IT かかし」

情報提供システムは利便性が重要であることは間違いないが、本開発においては、デザインを強く意識した情報端末を開発した(図 4-16)。



図 4-16 情報端末「IT かかし」

これは、以下のようなデザインコンセプトにより実現された

- 田園の広がる周辺の風景に溶け込むように「かかし」をモチーフとした。また、かかしには、田んぼを見守る役割があるため、駅を見守る存在として相応しい。
- 鉄道設備であることを意識させるように、鉄道の素材感である「黒く塗られた鉄」を採用した。

これにより、WebカメラやLED装置、スピーカー等が組み込まれるIT装置ではあるが、それらが目立ち過ぎない、優れたデザインとなった。また、名前を「IT かかし」と名付けた。

本開発については研究開発として実施したが、実際の情報端末の導入にあたっては、費用が大きな問題となる。情報端末の部材については、LED、スピーカー、照明装置、Webカメラ等については、多少機能は劣るものの汎用品を利用してコストを抑えた。

#### 4.4.4 実証実験と結果

2007年の4月下旬から5月下旬まで、千葉県を運行する久留里線の馬來田駅で実証実験を行った。

コストを削減するために，車上側の位置把握システムは携帯電話とそのアプリケーションを利用した．準備段階では GPS の受信精度が非常に悪かったが，列車前面の受信しやすい位置に携帯電話を設置することで，精度が改善した(図 4-17)．

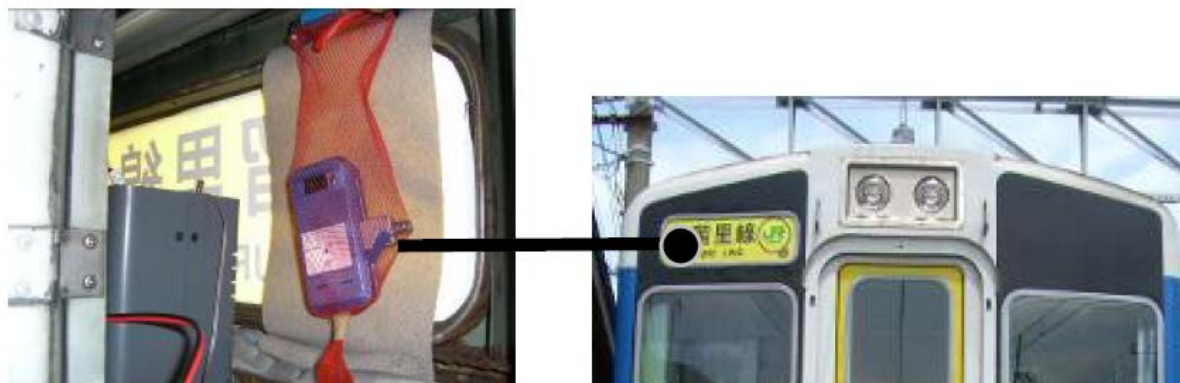


図 4-17 車上側位置把握システム（携帯電話による位置検知と通信）

以下に，実証試験を実施したときの状況を図 4-18 に示す．



図 4-18 無人駅の情報提供装置

実験時に利用者にアンケート（149 サンプル）を実施した結果，本端末の必要性を 7 割以上の人が評価した．また，防犯カメラに対する安心感も評価されることが分かった．概ね利用者には，好評であるとの結果が得られた．



#### 4.4.5 おわりに

本開発によって、従来であれば情報の少なかった無人駅においても列車の遅れをリアルタイムで把握できるようになった。Passenger Empowerment のコンセプトを実現する例であり、頻度や車両など充実したサービスが提供しにくい地方の路線においても、安心、安全の提供や、使いやすさを向上する事例とできた。特に冬場など気候が厳しい季節において、来るかどうか分からない状態で列車を持つような事象を減少させることができると考えている。

一方で、これらの駅におけるコスト面での制約は非常に大きく、結果として現在のところは、本システムは導入されていない。地方線区の鉄道の活性化が議論される中、駅は地元の象徴であり、引き続き存在感を示すためにも、デザインを考慮した情報提供端末によるサービス向上を検討していきたい。

## 4.5 交通用 IC カードを活用した情報提供案内

### 4.5.1 はじめに

駅構内における交通広告は古くから存在するメディアであり、多くの利用者に対して視認性、認知性が高いため、広告としての価値が高い。しかし、基本的に交通広告は、大きさ、場所、掲示期間のみで価格が決定されており、価値の向上に限界があった。そこで、交通広告に対して利用者とのインタラクティブ性を付与することで、価値の向上を図ることを目的として、交通系 IC カードの ID と携帯電話を紐づけて情報提供案内可能とするシステムを開発した。

筆者は、本開発にプロジェクトマネージャとして参画して、その開発デザインや実証実験に貢献した。

### 4.5.2 開発の概要

開発したシステムの概要を図 4-19 に示す。

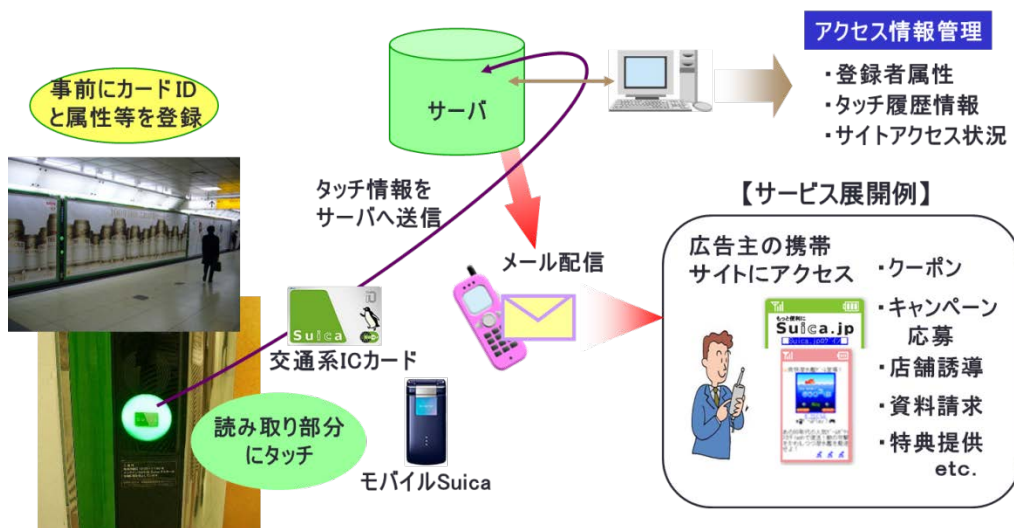


図 4-19 交通系 IC カードを活用した情報提供案内

利用者は、事前に所持する交通系 IC カードと利用するメールアドレス、簡単な属性（年齢や年代）を紐づける登録を行う。駅等において本システムに対応する交通広告を見て、その内容に興味がある場合、広告横の読み取り装置に自身の交通系 IC カードをタッチする。これをトリガーとして、利用者に広告に関する、より深い内容の情報が提供されるシステムとなる。

#### 4.5.3 登録フロー

本システムは、登録が利用者にとっての大きなハードルであり、この使いやすさが利用者を増やす要素となる。登録装置を図 4-20 に示す

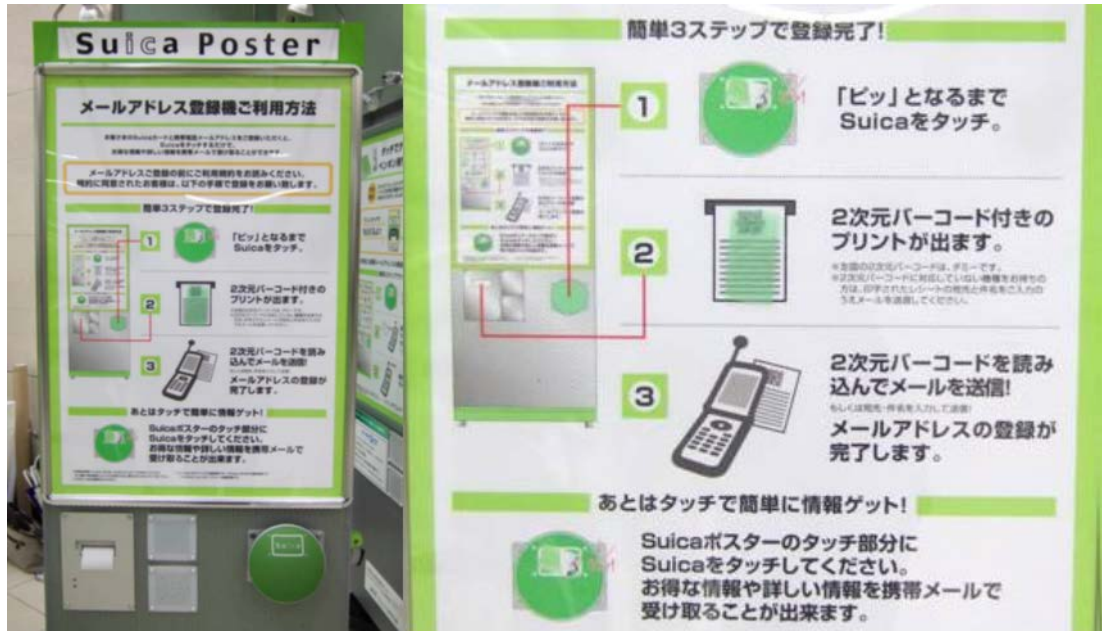


図 4-20 登録用端末と登録フロー

利用者が端末に設置されている読み取り装置に、所持する交通系 IC カードをタッチすると、隣のプリンターから QR コードを含んだシートが印刷される。その QR コードを読み取ると、交通系 IC カードの ID と共に登録サーバーにメールが送られる。登録サーバーでは、受信したメールアドレスと、交通系 IC カードの ID をデータベースに格納して、登録が完了する。

#### 4.5.4 実証試験

2005 年の 2 月から 3 月にかけて、上野駅で実証試験を行った。約 3,200 名の利用者が登録を行い、試験に参加した。そのうち 210 名に対して、インタビューを行った結果、約 83% の対象者が登録の仕組みは許容範囲であり、56% の対象者が IC カードの活用のイメージが変わったと答えた。試験により、登録のプロセスの簡素化が重要である点や IC カードが基本的に乗車券としてのツールであったため、そのイメージを変化させることが難しいことが分かった。

なお、その後 2006 年には、東京圏の 6 駅において一部導入された。その時の様子を図 4-21 に示す。



図 4-21 交通用 IC カードを活用した情報提供案内(2006 年)

#### 4.5.5 おわりに

本システムによって、鉄道空間の情報に付加価値を付けることを実現できた。同時に利用者が興味を持って情報に接触するため、より意義のある情報を利用者に対して配信できた。カードのタッチは、理由者が広告側に対して興味を示すと同時に、配信許可（パーミッション）を取得したことになるので、情報伝達の効果は不特定多数の配信より非常に大きい。

一方で、本アプリケーションはビジネス面の成功は難しく、現在は読み取り装置はなく単純にポスターの脇に QR コードがプリントされており、同様の仕組みが実現している。今後も、スマートフォン搭載の NFC や SNS 等の仕組みを利用すれば、興味を持った利用者に対して、リアル空間に関する情報をデジタルデータとして配信可能である。現実空間を広げ、利用者に対して効果的な情報を配信する一つの仕組みとして、今後も改良した展開方法を考えていきたい。

## 4.6 セキュリティカメラを利用した利用者のコンテキストに応じた情報配信

近年、東京首都圏においては、複数の路線を1列車が運行する直通運転の増加や駅構内の商業施設設置等により、鉄道が着実に便利で快適になってきている。しかし、列車の行き先が多岐に渡り、駅構内が複雑化することにより、利用者側の負担が大きくなる面がある。そこで、利用者がスムーズに移動することをサポートするナビゲーションの実現が求められている。

本開発では、駅構内ではGPSの利用が難しいことを踏まえ、防犯上の観点から最近特に設置の多いセキュリティカメラを活用して、利用者個人に応じた案内を実現するナビゲーションを開発した。本開発で筆者は、共同研究者の1人として、基本的なアイデアの発案とデモのシナリオ作成、実証実験の担当を行った。

### 4.6.1 はじめに

駅構内に多数設置されているセキュリティカメラを利用し、鉄道利用環境におけるユビキタス空間の構築を実現するデータベース技術に関する研究成果、および、その応用モデルの検討を行った。本研究では、駅構内に既に存在するセキュリティカメラをセンサーとして、モバイル計算機、赤外線デバイスを用いたユビキタス環境を構築する。

現在、駅構内には防犯・危機管理の目的から、多数のセキュリティカメラが設置されている。しかしながら、現在はセキュリティカメラの映像データを事後的に利用するにとどまっている。本研究の特徴は、レガシーデバイスであるセキュリティカメラを活用することによるユビキタス環境を構築する点にある。

これまで、鉄道事業者内外に存在するデータベース源を対象とし、モバイル計算機、無線技術を用いたユビキタス環境において、利用者の時空間的状況、および、利用者の意図に応じて、それらのデータベース群を自動的にアクセスし、それらを対象としたデータベース検索、統合を動的に実行し、獲得されたデータ群を動的に利用者へ提供、発信する鉄道利用シーン対応アクティブ・マルチデータベースシステムの基本設計および実験システムの実現を行ってきた[31]。

本システムは、それらユビキタス環境を対象としたアプリケーションの基盤となる利用者の時空間的状況の取得機能を、利用者の持つデバイスから発する信号をセキュリティカメラの映像を解析し、その結果から得られた利用者の時空間状況に応じた情報を配信する。

本システムが実現すべき基本機能（基本プロセス）群は次のようにまとめられる。

基本機能（基本プロセス）

プロセス 1) ユーザの持つデバイスから発信される信号の獲得

- プロセス 2) 獲得された信号の時系列データから利用者の状況(位置・向き)を抽出
- プロセス 3) 利用者の状況に応じたナビゲーションコンテンツを利用者に発信

本研究を行う意義として次の2点が考えられる。まず1つめとしては、駅構内のセキュリティカメラの高度利用である(図 4-22)。

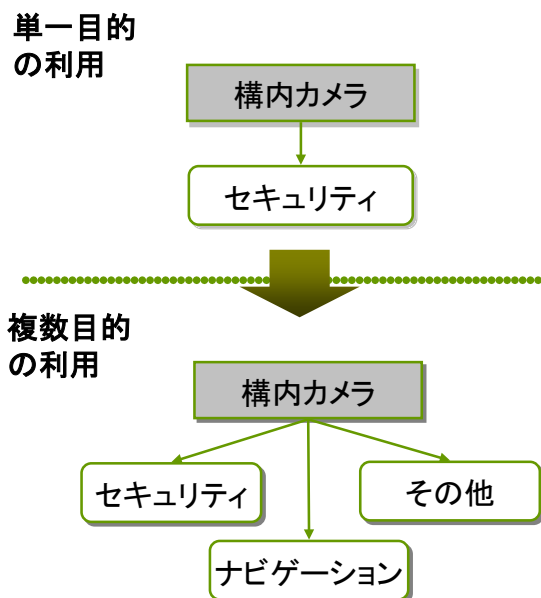


図 4-22 研究の意義：監視カメラの高度利用

従来のセキュリティカメラの利用用途は、その名前の通り、駅構内を監視する、すなわち、駅環境のセキュリティの目的を主としている。本研究では、駅構内のセキュリティカメラを利用者のナビゲーションに利用するという点において、既存の環境を用いて新しい情報獲得を提供することが可能となる。2つめは、プライバシーを考慮したユビキタスコンピューティング環境の構築を行うという点である(図 4-23)。

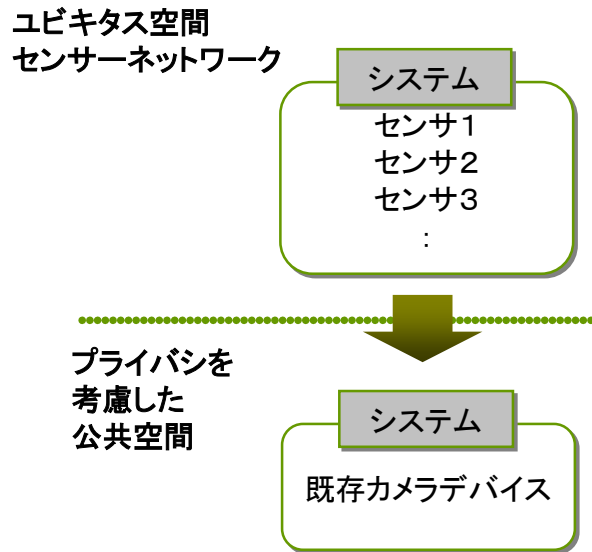


図 4-23 研究の意義：ユビキタスコンピューティング研究

従来のユビキタスコンピューティング研究のネットワークがある。センサーネットワークシステムでは、環境の中に様々なタイプのセンサーを設置し、それらの取得するデータを解析することによって、ユビキタスコンピューティングアプリケーションを構築する。本研究で想定している駅構内のような環境では、公共性が非常に高く、一般的なセンサーネットワークの考えを直接適用することは、プライバシーという観点において問題であると考えられる。その点、駅構内において既存のセンサーデバイスであるセキュリティカメラを利用して、ユビキタスコンピューティング環境を構築することは、利用者にとって非常に重要である

本稿では、これらの基本機能（プロセス）群を構成するための基本方式、システム構成、実験システムによる実験結果を示す。

## 4.6.2 関連事項

### 4.6.2.1 画像処理

本システムにおいては、主に動画像に対しての画像処理を適用する。画像処理によって得られた結果は、後にサーバへと送信されナビゲーション等に利用される。

画像処理技術においては様々な手法が提案されている。[42]においては、基本的な画像処理の手法が取り上げられ解説がされている。一般的に、画像処理において判定を行う要素は、形状、色、模様である。これらの要素の抽出は IBM の QBIC において利用され、[43]において説明されている。また、画像から群衆の検出を行う手法も提案されている[44]。



動画像においては、人の動きのパターンの検出を行う手法も提案されている[45]。Blobと呼ばれる画像の一部の領域(人)を検出する事により、特徴量を抽出する。

本システムにおいて利用する画像処理手法は、赤外線を利用する事により、画像処理においては、極めて単純な処理によって位置の検出を行う。実際に処理の対象となる画像は、可視光の領域を除いた領域となるため、赤外線のみ領域が処理対象となる。このような事から、確実にユーザの反応を検知する事が可能となる。

#### 4.6.2.2 ナビゲーション

モバイル・ユビキタス環境上の利用者に対して、周辺情報を提示するシステムの実現が大きな関心を集めている。鉄道利用環境においては、Suica を利用した構内ナビゲーションシステム Cochira[46]や、改札を通過する利用者情報に応じた情報配信システム goopas[47]などが提案されている。

Cochira は、利用者の持つ Suica の ID 情報と目的地情報をサーバに保持し、Cochira 端末の RFID リーダと Suica が通信を行い、利用者に対して目的地へのナビゲーション情報を提示する。Goopas は、利用者の持つ定期券の ID とプロフィール情報を事前にサーバに登録していく。利用者が改札を通過したとき、登録されたプロフィール情報と改札の位置情報から適切なコンテンツを選択し、利用者の携帯電話にメールを送信する。

本システムにおいては、カメラデバイスが多数設置されている駅構内の特性に注目し、既存のインフラとしてのセキュリティカメラを活用することによるユビキタス環境の構築と、そのアプリケーションを実現した。

#### 4.6.2.3 赤外線

本研究では、モバイルユーザの個体認識のために、ビデオカメラによる赤外線認識を利用している。理由は、多くのモバイルデバイスに搭載されていることと、及び可視光より周波数が低いので人間の目に見えないためである。家庭内のテレビ等のリモコンにおいては、各ボタンごとに信号が割り当てられている。本研究では、この仕様にヒントを得てモバイルデバイスの個体認識を行った。

#### 4.6.3 ナビゲーション開発とその技術要素

本研究では、駅構内のセキュリティカメラを活用した利用者ナビゲーションシステムの構築を行った。本研究における利用者ナビゲーションの特徴は、駅構内を移動する利用者の位置・移動方向に応じたナビゲーションコンテンツを生成し、それを利用者のモバイルデバイスに配信することである。駅構内の利用者が移動方向に迷ったなどの理由でナビゲーションを必要としている場合における、本システムを用いたナビゲーションサービスの概略を以下に示す。



1. 利用者がレスキュー信号を発する
2. 駅構内に設置されたセキュリティカメラがレスキュー信号を検知し、利用者の空間内での座標データをサーバに送信する
3. サーバにおいて、受信したデータから利用者の位置・移動方向を判定する
4. 利用者の位置・移動方向に応じたナビゲーションコンテンツを利用者のモバイルデバイスに配信する

以下では、このようなナビゲーションサービスを実現するための要素となる技術を説明する。

#### 4.6.3.1 レスキュー信号の検知

利用者が有するモバイルデバイスから発するレスキュー信号は赤外線によって実現する。駅構内における利用者のポイントを認識するために、セキュリティカメラによって赤外線の光を検知する。セキュリティカメラによって検知された赤外線は、二次元画像上の座標として認識され、以下の CSV 形式でサーバに送信される。

*cid, timestamp, x, y, x\_diff, y\_diff*

ここで、*cid*はセキュリティカメラ ID、*timestamp*はセキュリティカメラが赤外線を検知したタイムスタンプ、*x*は赤外線の *x* 座標の値、*y*は赤外線の *y* 座標の値、*x\_diff*は前データの *x* と現データの *x* との差分、*y\_diff*は前データの *y* と現データの *y* との差分をそれぞれ示している。

#### 4.6.3.2 サーバー処理

セキュリティカメラより上記の形式の利用者データがサーバへ送信され、サーバ上でこれらのデータから利用者の位置、移動方向を判別する。まず、セキュリティカメラから最初のデータを受信すると、利用者のアクションをスタートと見なす。さらに、利用者のデータを連続的に受信し、ある一定の時間 *n* データが送信されなければ、それまでに蓄積した一連のデータを1つのアクションと解釈する。利用者の1つのアクションから、*x* 方向への移動  $x_{move}$ 、*y* 方向への移動  $y_{move}$  は以下の式によって求める。

*N*は1アクションのデータ数を示す。

これらの移動に関する計算は次のような概念に基づいている。基本的に、駅構内における利用者は自由に移動する（図 4-24）。

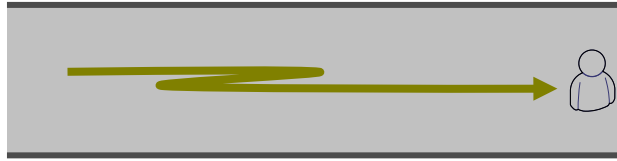


図 4-24 利用者の移動

利用者は必ずしも直線的に移動するとは限らないため、移動の中で赤外線のリスキュー信号を認識すると図 4-25 のようになる。つまり、利用者の移動の軌跡が、座標上の点として認識される。

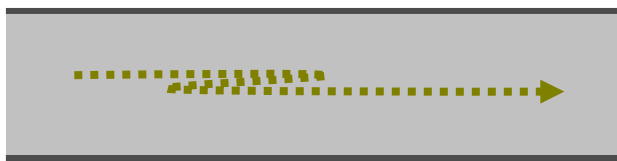


図 4-25 利用者の移動の座標点としての表現

それぞれの座標点の差分を計算すると、図 4-26 のようなイメージになる。

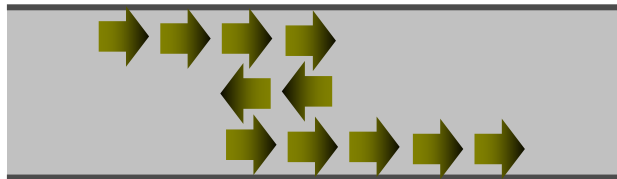


図 4-26 移動の差分

さらに、移動の差分の合計を計算すると図 4-27 のように実質的にどこからどこへ移動したかということを計量することが可能となる。

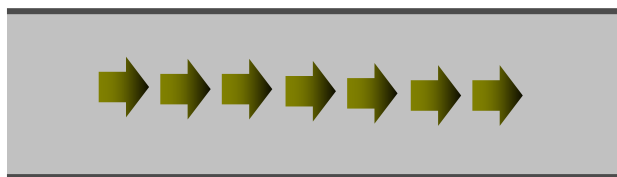


図 4-27 移動の差分の合計

上記の式を用いることによって、最終的に利用者の1つのアクションから以下のようなデータを生成する。

*cid, timestamp<sub>latest</sub>, X<sub>move</sub>, Y<sub>move</sub>*

ここでの *timestamp<sub>latest</sub>* は 1 アクション中の最後に受信したデータのタイムスタンプを示す。

#### 4.6.4 システム構成

本研究で構築したシステムの全体図を図 4-28 に示す。本システムを構成する技術的要素を、以下に続く節で解説する。

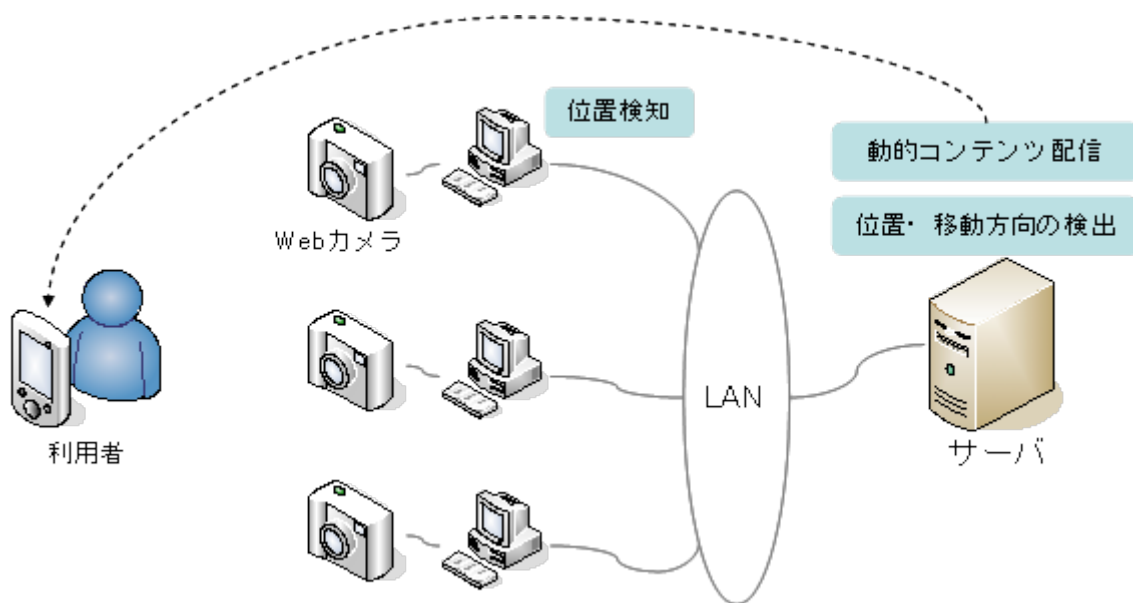


図 4-28 システム図

##### 4.6.4.1 画像処理

本システムにおいて説明する画像処理手法，検出される情報について説明する。ここで行われる，画像処理は赤外線を発するデバイスが存在と位置の検出を行う。カメラより送られた動画は，PC によって処理される。また，画像処理において利用するデバイスを図 4-29 に示す。

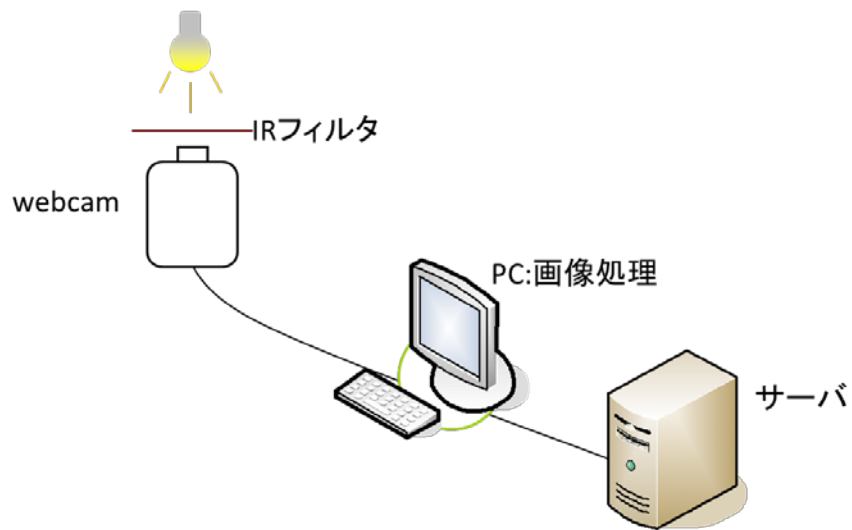


図 4-29 画像処理に使用するデバイス

画像処理は、動画像のフレーム毎に行われる。動画像は、複数の静止画像から成るため、一般的な画像処理を適用する事も可能である。また、この処理によって得られる情報は次に示すものである。

- ・ 位置
- ・ 差分の位置

位置は、赤外線を発するデバイスの位置であり、カメラによって得られる画像上の2次元座標となる。また、差分の位置は前のフレームのからの移動量の差分となる。

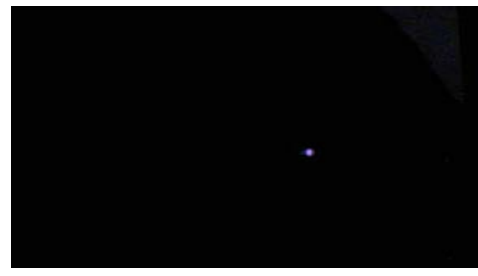
- ・ 利用デバイス

位置検出は、赤外線フィルタを装着したカメラによる情報から処理を行う。赤外線は、人の目には認識する事のできない波長の光であるが、一般的なカメラは赤外線の光を捉える事が可能である。しかし、カメラによって得られる画像は、可視光の領域を含むため、これらの画像から赤外線の領域を検出する事は困難な処理となる。このような事から、可視光の領域を省くために赤外線フィルタを利用する。赤外線フィルタは、富士フィルムより販売されている IR 76/78/84 を利用した。

このフィルタを WEB カメラに装着する事により赤外線による光のみを捉えることが可能となる。図 4-30 は、フィルタなしの状態とフィルタありの状態において得られる画像を示している。



IR フィルタなし



IR フィルタあり

図 4-30 赤外線フィルタによる赤外線検知

IR フィルタなしの画像では、赤外線を発している領域以外にも写っているが、IR フィルタありの画像では、赤外線を発している領域のみを得ることができる。このようなことから、赤外線を発している領域を得る事は、赤外線フィルタを用いることにより、カメラに写っている範囲に赤外線が存在するかどうかの判定が容易に行う事が可能となる。これは、人間の目には見ることのできる可視光線を用いていないことから可能となる。

- 赤外線発光箇所の取得

赤外線フィルタを用いる事で、赤外線によって発光している範囲を得ることが可能である事を前章で示した。

実際にカメラに赤外線フィルタを装着した場合、赤外線を発光している箇所は白色に近い色として得ることができる。また、赤外線を発光していない箇所は比較的黒い色となる。

このようなことから赤外線を発光している箇所を判定することにおいて、白色に近い画素を赤外線を発光している箇所として処理を行う。また、赤外線の色と判定された位置は、点群 とする。 とは、それぞれピクセルの座標である。

これらの点群 は次章で説明する位置検出において利用する。

- 位置検出

IR フィルタ付きのカメラから得られる画像では、赤外線的位置を鮮明に得ることが可能である。位置検出を行う手法として、赤外線の色と判定された位置の点群 の平均値を計算することが考えられる。平均値によって計算される位置は次のように計算することができる。

しかし、平均値による位置では、ノイズや複数の赤外線の領域への対応が難しい。このため、ここでは赤外線を発する複数の領域を判定することにより、グループごとに位置を計算するアルゴリズムを利用した(図 4-31)。この手法では、グループごとの領域の大きさを扱うことができるため、赤外線を発する領域の大きさにより、ノイズがどうかの判定を行うことが可能となる。

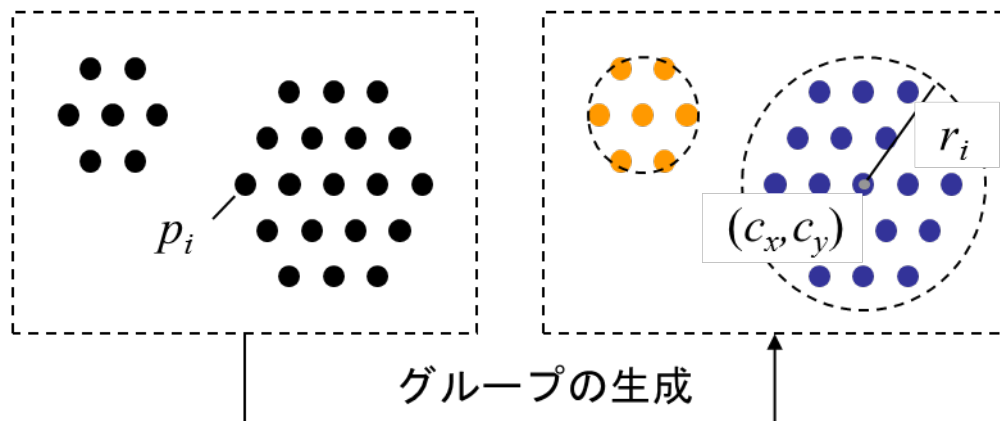


図 4-31 グループごとの位置計算アルゴリズム

グループごとに中心となる座標 と半径 の計算を行い、一番半径の大きいグループの選択を行い、対応する座標 を位置 としている。また、グループの検出は以下の処理を繰り返し行う。

1. 点群 からグループが割り当てられていない 1 つの点を選択する。また、初期のグループの半径 を設定する。点が得られなければ処理を終了する。
2. 選ばれた点より半径 に存在する点を近傍の点をグループに対応付ける。点がなければ、処理を終了する。
3. 半径 の長さを伸ばし、2 の処理を行う。

また、差分の位置である は次のように計算される。 と は、それぞれ前のフレームの位置 である。

この処理はインタラクティブな速度で計算が可能であるため、動画像においても対応する事が可能である。

- 情報の送信

画像処理は、インタラクティブなスピードで計算され、検出された位置情報はサーバへと送信される。ここで、サーバに位置情報を送信する際には、カメラの ID、日付、時間という情報が追加される。

#### 4.6.4.2 サーバ処理機能

図 4-32 にサーバ処理機能を示す。サーバ処理のそれぞれの機能について説明する。

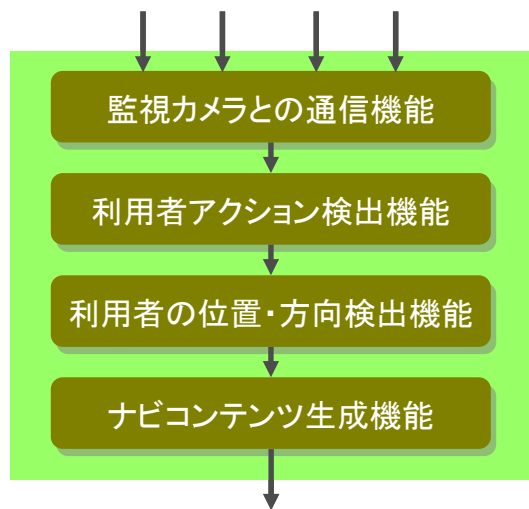


図 4-32 サーバー処理機能

セキュリティカメラとの通信機能に関しては、TCP/IP を使用した。セキュリティカメラは、利用者のレスキュー信号を検知し、検知したデータを 3 章で示した形式で送信する。サーバ側では、セキュリティカメラから送信されるデータに対して、スレッドを生成し、そのスレッドが利用者アクション検出機能へ渡す。

利用者アクション検出機能では、利用者でレスキュー信号を発した時の 1 アクションを 4.6.3 章で示した方法で検出し、サーバ内の線形リストで管理する。1 つのアクションが検出されると、利用者の位置・移動方向検出機能に渡され、線形リストは次のアクションを管理するためにクリアされる。

利用者のアクションは、利用者の位置・移動方向検出機能によって、ナビゲーションコンテンツのための位置と移動方向が検出される。位置と移動方向の検出方法は 4.6.3 章で示した通りである。検出された利用者の位置と移動方向は、ナビゲーションコンテンツのパラメータとして渡される。実際には、利用者の位置と移動方向に関するデータをサーバマシン上のファイルに記述しておき、ナビゲーションコンテンツがそのファイルを参照する。

本システムのサーバは、次のようなマシン上に構築した。CPU は Intel Pentium4 プロセッサ 3.0EGHz(FSB800MHz/1MB キャッシュ)、メモリは 1GB、OS は Microsoft Windows XP Home Edition、開発言語は Java を使用した。

#### 4.6.4.3 クライアントシステム

- ・ 実行環境

クライアントシステムは PDA である HP iPAQ hx2490 上で実行される Flash アプリケーションを実装した。iPAQ hx2490 では Flash Player 6 相当の Flash プログラムが実行可能となっている。

- サーバからのデータ取得

クライアントシステムは定期的にサーバと通信することによって、ナビゲーション情報を受信する。取得するデータ構造は、ActionScript 2.0 で定義されている LoadVar クラスで取得可能な形式となっている。

- コンテンツ

クライアントシステムには、構内案内とホームナビに関するコンテンツが格納されている。利用者の持つ端末から赤外線が発せられ、それがカメラに認識されると、利用者の状況（位置・方向）に応じたコンテンツが選択・表示される。

#### 4.6.5 デモンストレーション

本システムで提供される情報について、その成果と実現可能性を示すために3つのシナリオを作成した。以降はデモシナリオに沿って研究成果を示す。

##### 4.6.5.1 デモシナリオ 1

はやて1号八戸行きの列車に乗る予定の利用者がプラットフォームにいるとき、自分の指定席がわからない利用者がレスキュー信号を発する。まず、アプリケーションの起動画面が表示される(図 4-33)。利用者はホームナビアイコンをタッチすると、利用者の指定席情報が表示される(図 4-34)。また、この画面が表示されている間に、クライアントシステムはサーバと通信してデータを取得する。データの取得が終わると、利用者の位置情報、および、向きに応じてプラットフォーム上のナビゲーションコンテンツが配信される。利用者が目的地まで着実に移動している際には図 4-36, 図 4-37, 図 4-38 のように画面が変わっていく。





図 4-33 アプリケーションの起動画面

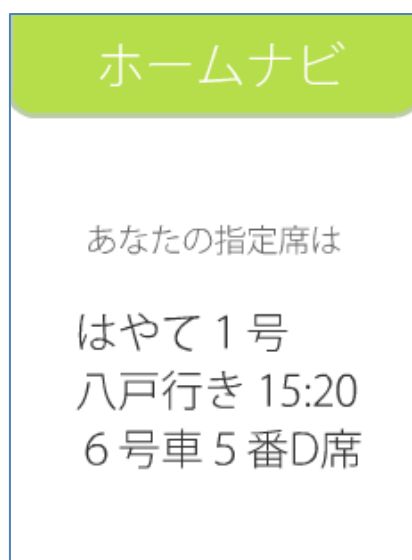


図 4-34 利用者の指定席情報

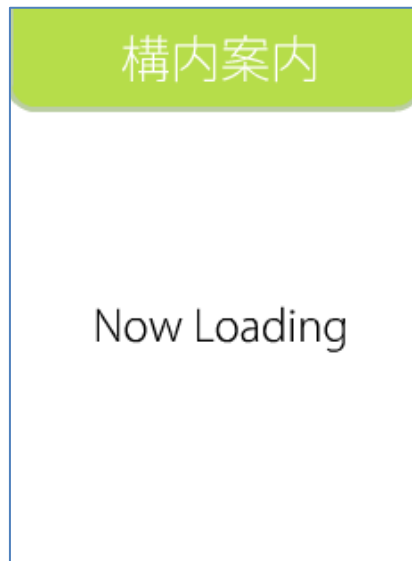


図 4-35 サーバ通信によるデータ取得

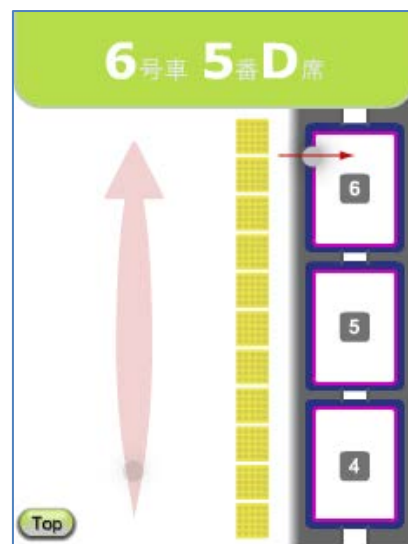


図 4-36 ホーム上のナビゲーションコンテンツ 1

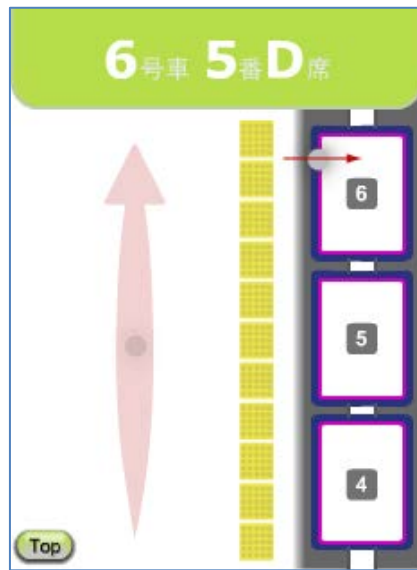


図 4-37 ホーム上のナビゲーションコンテンツ 2

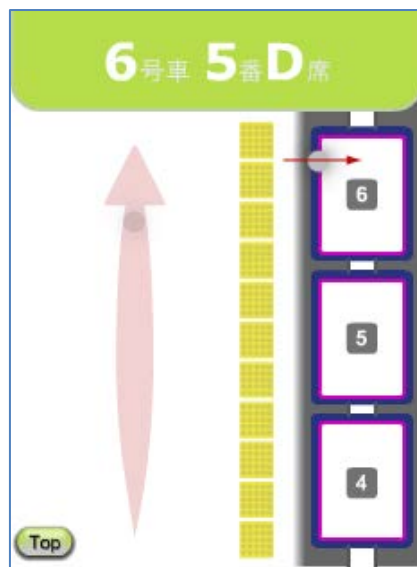


図 4-38 ホーム上のナビゲーションコンテンツ 3

#### 4.6.5.2 デモシナリオ 2

駅構内において、トイレやロッカーなどの駅設備の場所がわからない利用者がレスキュー信号を発する。まず、利用者の持つ端末に起動画面が表示される(図 4-33)。メニューから構内案内を選択すると、利用者の位置情報・向きに応じた駅構内の設備情報が表示される(図 4-39, 図 4-40)。



図 4-39 利用者の位置情報・向きに応じた駅構内の設備情報画面 1

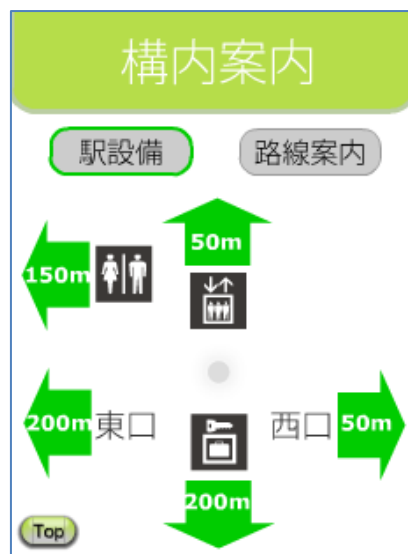


図 4-40 利用者の位置情報・向きに応じた駅構内の設備情報画面 2

#### 4.6.5.3 デモシナリオ 3

駅構内において、列車を乗り換えるための情報がわからない利用者がレスキュー信号を発する。まず、利用者の持つ端末に起動画面が表示される(図 4-33)。メニューから構内案内を選択すると、利用者の位置情報・向きに応じた駅構内の設備情報が表示される(図 4-39・図 4-40)。その画面で「路線案内」を選択すると、利用者の位置情報・向きに応じた乗り換えのための情報が表示される(図 4-41・図 4-42)。



図 4-41 利用者の位置情報・向きに応じて乗り換えのための情報画面



図 4-42 利用者の位置情報・向きに応じて乗り換えのための情報画面

#### 4.6.6 おわりに

本研究では、駅構内に多数設置されているセキュリティカメラを利用し、鉄道利用環境におけるユビキタス空間の構築を実現するデータベース技術に関する研究成果、および、その応用モデルの検討を行った。ユビキタス社会の実現に向けて、利用者の位置検知技術は非常に重要である。提案したシステムにおいては、駅構内に既に設置されているセキュ

リティカメラを利用することによって、利用者の位置・向きを検出する新しいユビキタスインフラの実現可能性を示した。

本研究は、**Passenger Empowerment** の 1 例であり、今後、間違いなく重要となる個人ナビゲーションを実装した 1 例である。さらにデモシナリオによって、今後の個人向けナビゲーションに関する情報インターフェイスについて様々な知見を得た。位置検知の技術や精度、デバイスによらず、これらの知見は今後引き続き重要である。

## 第5章 結論と展望

本論文は、社会基盤としての重要な存在である鉄道を対象とし、実世界に分散して存在する複数のデータベース（マルチデータベース）をメタレベル・データベースシステムにより統合し、メタレベルでの検索、結合操作により、鉄道の新たな運行制御、情報提供を実現するシステムを提案し、それらの実現可能性、有効性について、実システムの実装、実証的実験、および、6アプリケーションの構築によって示したものである。特に、本論文は、今後、地球規模で発展が期待されている鉄道構築において、“鉄道情報空間”という新たなコンセプトおよびその実現可能性を実証を伴って示したものであり、日本の質の高い鉄道を定量的かつ实际的に示した成果としても優れた内容である。これらの研究成果は、著者が、鉄道を対象として行った約10年間にわたる研究活動によって生み出した成果の集大成であり、マルチデータベース研究分野、時空間データの活用分野、鉄道における情報研究分野、情報デザイン分野等における研究成果である。

本研究では、鉄道の情報環境における乗客支援や事業者支援のための情報活用アーキテクチャの提案と、これを活用して、特に複数の情報源を組み合わせた様々なアプリケーションの実現を行う。実用性に拘りつつ、これまでは活用されてこなかったデータを中心に、乗客の鉄道利用力向上(**Passenger Empowerment**)、鉄道従事員の能力向上(**Employee Empowerment**)、鉄道事業者の運行管理力の向上(**Operator Empowerment**)を実現する新しいアプリケーションを提案した。

この全体概念の中で、特に重要な成果は以下の4点である。

第一にマルチデータベース環境を利用しつつ、応答性が高く効率的な制御を実現するシステムアーキテクチャを提案したことである。事象を制御、把握する複数のデータベースシステムが、必要なときに必要なだけ協調して動作することで最適な制御データを生み出し、その生成されたデータをデータベースシステムにフィードバックして事象を制御することで全体的な効率化を実現する新たなシステムとなる。近年、計算機能力向上やネットワークの広域化、高速化、さらにはデータベースシステムの処理能力向上が実現しているが、その一方で扱うデータ量、処理量も膨大となっており、依然として大きなデータ量を処理する計算機機構の実現は大きな課題である。提案するシステムアーキテクチャによって、既存システムにはほとんど影響を与えない形で、利用者へ応答性高く情報を提供するアプリケーションのシステム基盤が実現することが期待できる。

第二に、さらに、これを鉄道環境におけるマルチデータベース環境に適用することで、多種多様なデータを活用した乗客の鉄道利用力向上(**Passenger Empowerment**)、鉄道従事

員の能力向上(Employee Empowerment)、鉄道事業者の運行管理力の向上(Operator Empowerment)を主眼とした多種のアプリケーションを実現するシステムアーキテクチャの実現が期待できる。鉄道事業者は既存のシステムを活用しながら、実際にその上位レイヤに様々なアプリケーションを構築できる。本研究では実際に、上記のアーキテクチャを基盤として列車の混雑緩和や輸送力改善に資するアプリケーションを提案した。車両に装備されたセンサーや沿線のネットワークの充実により、リアルタイムに混雑状況が取得できるようになった混雑データを活用して、列車遅れの原因となる人の混雑データと、混雑の原因となる列車遅れのデータを踏まえて運行を制御することで、混雑の偏りや列車の遅れを減少させることができる可能性を示した。さらに、本研究では、これらのデータを利用して特にダイヤ乱れ時の列車の流動把握について新たな知見を得ることを可能とした。

第三に、特に鉄道において輸送障害が発生した時の鉄道事業者におけるオペレーション改善検討を目的として、利用者が実際に受けた影響を定量化する方法を確立することである。鉄道で輸送障害が発生すると多くの利用者に影響を及ぼすため、鉄道事業者はその影響を最小化すべく様々なオペレーションを行う。このとき、利用者が実際に受けた影響から輸送障害を定量的に評価できれば、利用者視点でオペレーション改善を検討できる。従来は難しかった個々の利用者のデータを交通系ICカードから取得することで、従来手法より精度の高い輸送障害の把握を可能とする。

第四に、鉄道の「利用しやすさ」を情報提供の形で実現することを目的として、ユーザビリティを考慮に入れて、利用者のコンテキストに応じた情報提供アプリケーションを作成した。鉄道においてマルチデータベース環境を構築することは、特に、データ活用によるアプリケーション創出につながる。これにより、鉄道事業者は既存のシステムを活用しながら、実際にその上位レイヤに様々なアプリケーションを構築できる。実際に、情報提供や時間の有効活用などを可能としたアプリケーションを提案する。更に、鉄道の「利用しやすさ」を情報提供の形で実現することを目的として、ユーザビリティを考慮に入れて、利用者のコンテキストに応じた情報提供アプリケーションの研究を行った。

本研究では上記4点を特徴として、鉄道のマルチデータベース環境における複数システムのデータ活用による最適制御の実現、流動把握とその指標化、さらには、実用性の高いアプリケーションを複数実現した。3つのコンセプトである、乗客の鉄道利用力向上(Passenger Empowerment)、鉄道従事員の能力向上(Employee Empowerment)、鉄道事業者の運行管理力の向上(Operator Empowerment)を方向性としつつ、鉄道空間内に分散するデータを統合、分析、活用すると同時に、社内外の利用者に対する提供方法を工夫することで、新しい運行管理効率化手法を提案すると同時に、複数の情報提供サービスを創出した。

本研究は、いずれも今後更なる発展が期待できる。第2章の混雑緩和システムは、更に駅における利用乗降データが取得できるようになれば、その遅延モデルの解析がさらに進



む。第3章の輸送障害定量化については、いわば鉄道の成績表のようなものであり、異常時だけでなくダイヤ作成やマーケティング等更なる発展が期待できる。第4章における情報提供アプリケーションは、デバイスの進化や、情報デザインの工夫によって、より分かりやすい形式に進化するであろう。また、昨今のAI(人工知能)の発展は、本研究のどのアプリケーションにも応用できることから、大きなインパクトを与える。引き続き研究を進めたいと考えている。

本研究が鉄道における実用的なデータ活用の一つの礎となり、本研究により鉄道のソーシャルイノベーションの一例が実現し、本研究を日本のみならず世界において、鉄道、公共交通機関、さらには都市の発展につなげていくことが今後の大きな目標である。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、慶應義塾大学政策・メディア研究科委員長兼環境情報学部清木康教授には、主査として、研究の基本構想から構成、論文内容に至るまで、多くのご指導とご助言を頂いた。筆者は2003年にJR東日本から派遣され、訪問研究員という形で清木研究室に所属した。データベースの分野は門外漢であったが、清木先生の構想の大きさと研究にかける情熱、人柄にすぐに引き込まれたことを覚えている。既に10年以上という長期に渡って、熱心にかつ温かくご指導いただいております、心より感謝申し上げます。

慶應義塾大学環境情報学部徳田英幸教授には、本研究内容はもちろん鉄道会社が他に取組む事柄まで、幅広いご見識とお立場から、いつも約束のお時間を超えるほど熱心にアドバイスを頂き、多くの示唆を頂戴した。ここに、心より感謝申し上げます。

慶應義塾大学環境情報学部小川克彦教授には、ICTだけでなく鉄道分野にお詳しいこともあり、様々な場で非常に实际的で的確なご助言をいただいた。ここに、心より感謝申し上げます。

慶應義塾大学環境情報学部武藤佳恭教授には、以前から個人的にだけでなく、会社としても技術的なご相談に乗って頂き、幅広いアドバイスを頂戴している。ここに、心より感謝申し上げます。

東日本旅客鉄道株式会社（JR東日本）では、上司（当時）の中川剛志氏には、鉄道の将来に対する想いを一致させた上で、多く開発や実証実験、ミーティングなどを通して、仕事のみならず、自身の研究開発に対する姿勢や考えをブラッシュアップする助言を多く頂いた。同じく、JR東日本研究開発センターフロンティアサービス研究所の皆様とは、鉄道の将来に向け切磋琢磨しながら研究を一緒にしたことで、研究としても導入実績としても多く積み重ねる重ねることが出来た。心より感謝申し上げます。

日立製作所の伊藤雅一氏、大関一博氏、大塚理恵子氏、助田浩子氏、柴田吉隆氏、加藤学氏をはじめ、多くの研究者、技術者の方に時には、会社という枠を超えて真剣に、かつ、楽しく将来の鉄道に資する議論や共同研究をさせて頂いた。ここに、心より感謝申し上げます。

また、清木研究室の皆様からは、長い研究活動を通じて多くの有意義な議論を積み上げると同時に様々な知見を頂いた。ここに、心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 国土交通省: 都市鉄道の現状 <http://www.mlit.go.jp/common/001096220.pdf>
- [2] 外務省, 財務省, 経済産業省, 国土交通省: 質の高いインフラパートナーシップ <http://www.meti.go.jp/press/2015/05/20150521003/20150521003-1.pdf> (2015)
- [3] 国土交通省: 鉄軌道輸送の安全にかかわる情報 (概要版) 鉄軌道輸送の安全にかかわる情報 (平成25年度) [http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo\\_fr8\\_000019.html](http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr8_000019.html)
- [4] J.F. Allen, Maintaining Knowledge about TemporalIntervals, Communications of the ACM, Vol.26,1983, 832-843.
- [5] Egenhofer, M.J.: "Spatial Relations: Models, Inferences, and their Future Application", Proc. Advanced Database Symposium '96, separate volume, Japan (1996)
- [6] Egenhofer, M.J., Rashid, A. and Shariff, B.M.: "Metric Details for Natural-LanguageSpatial-Relations", ACM Transaction on Information System, Vol.16, No.4, pp.295-321 (1998)
- [7] Guttman, A. "R-Trees: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching", Proc. of the 1984 ACM SIGMOD Int'l Conf on Mgmt of Data, pp.45-57 (1984)
- [8] M.W. Bright, A.R. Hurson and S. Pakzad, A Taxonomy and Current Issues in Multidatabase Systems, Computer, 25(3), 1992, 50-60.
- [9] Y. Kiyoki, T. Kitagawa and Y. Hitomi, A fundamental framework for realizing semantic interoperability in a multidatabase environment, Journal of Integrated Computer-Aided Engineering, 2(1), 1995, 3-20.
- [10] Y. Hosokawa, N. Ishibashi, Y. Yashiro and Y.Kiyoki, A Data Integration Method Realizing Evaluation for Temporal and Spatial Relationships in a Multidatabase Environment, Information Processing Society of Japan Transactions on Databases, Vol.40, No.SIG 8(TOD4), 1999, 95-111.
- [11] Ishibashi, N., Hosokawa, Y. and Kiyoki, Y.: "A Spatial and Temporal Data Integration Method for Heterogeneous Database Environments", Proc. the IASTED International Conference APPLIED INFORMATICS Symposium 2. Networks, Parallel and Distributed Processing, and Applications, pp.323-330 (2001).
- [12] N. Yoshida, Y. Kiyoki and T. Kitagawa, An Associative Search Method Based on Symbolic Filtering and Semantic Ordering for Database Systems, Proc. of 7th IFIP 2.6 Working Conference (2000)
- [13] W.S. Li and C. Clifton, Semantic Integration in Heterogeneous Database Using Neural Networks, Proceedings of the 20th VLDB Conference, 1994, 1-12.

- [14] A. Morishima and H. Kitagawa, A Data Modeling and Query Processing Schema for Integration of Structured Document Repositories and Relational Databases, Proceedings of the 5th International Conference on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA '97), 1997, 145-154.
- [15] 岩倉成志: 都市鉄道の遅延連鎖予測のためのエージェントシミュレーション, 運輸政策研究, Vol.15 No.4 (2013)
- [16] 川村孝太郎: 都市鉄道の遅延連鎖予測のためのシミュレーションモデルの再現精度の向上, 土木計画学研究・講演集, 48 ページ, No.156 (2013)
- [17] 仮屋崎圭司: 高頻度運行に伴う都市鉄道の遅延対策の検討, 土木計画学研究・講演集, No.43 (2011)
- [18] 山村明義: 首都圏稠密運転路線における遅延改善策の検証, 日本機械学会 第 19 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, No. 12-79 (2012)
- [19] 館雅憲: 輸送安定度指標「POINT」の開発と全社展開, 鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, Vol.44, 論文番号 101(2007)
- [20] 電気学会・鉄道における運行計画・運行管理業務高度化に関する調査専門委員会(編集): 鉄道ダイヤ回復の技術, オーム社(2010)
- [21] 岩崎興治: 首都高速道路における事故損失時間評価手法の検討, 交通工学研究発表会論文報告集, Vol.10 (2006)
- [22] X.Sun, S.Zhang, H.Dong, H.Zhu “Optimal Train Schedule with Headway and Passenger Flow Dynamic Models”, IEEE Conf. Intelligent Rail Transportation (ICIRT), pp. 307-312, 2013.
- [23] T.Kunimatsu, C.Hirai, N.Tomii, “Train Timetable Evaluation from the Viewpoints of Passengers by Microsimulation of Train Operation and Passenger Flow”, IEEEJ Transactions on Industry Applications Vol. 133, No.7, pp. 756-764, 2013.15
- [24] T.Fuse, K.Makimura, T.Nakamura, “Observation of Travel Behavior by IC Card Data and Application to Transportation Planning”, A special joint symposium of ISPRS Technical Commission IV and AutoCarto Conference 2010.
- [25] M.Trepanier, C.Morency, B.Agard, “Calculation of Transit Performance Measures Using Smartcard Data”, Journal of Public Transportation vol. 12, no.1, 2009.
- [26] W.Jang, “Travel Time and Transfer Analysis Using Transit Smart Card Data”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Vol. 2, pp. 142-149, 2010.
- [27] M.Pelletiera, M.Trepaniera, C.Morency, “Smart Card Data Use in Public Transit: A Literature Review”, Transportation Research Part C vol. 19, pp. 557-568, 2011.
- [28] 深沢紀子: 列車選択行動に対する予測情報の提供効果, 鉄道総研報告 25(12), 23-28,

2011-12

- [29] 山内香奈: 輸鉄道利用者のダイヤ乱れ遭遇時における不満足の規定要因, 心理学研究, Vol. 83 No. 2 p.117-125, (2012)
- [30] 山内香奈: 輸送障害時の旅客向け駅案内放送の改善に向けた検討, 鉄道総研報告 23(9), 53-58, 2009-9
- [31] 森薫: モバイルコンピューティング環境におけるユーザ情報の動的計量による能動型情報配信方式, データ工学研究会, 1-A-04, (2004)
- [32] 野末道子: 駅社員を対象とした異常時情報配信システム, 鉄道総研報告 18(12), 19-24, 2004-12
- [33] 土屋隆司: 利用者の移動行程と位置に基づくプッシュ型案内情報配信システム, 電気学会論文誌D (産業応用部門誌), Vol. 125, No. 4 P 338-347 (2005)
- [34] 鉄道総研報告 25(12), 23-28, 2011-12
- [35] 石橋 直樹, 細川 宜秀, 清木 康: “時空間的文脈に応じた動的関連性計量機構を有する異種データベース間結合方式”, 情報処理学会 論文誌:データベース, Vol.43, No.SIG2(TOD13), pp.128-145, 2002.
- [36] David Tennenhouse: Proactive computing communications of ACM May vol.43 no.5(2000)
- [37] 柴田史久, 屋内向け歩行者ナビゲーションシステムにおけるユーザの状況を考慮した目的地推論手法. 情報処理学会論文誌, (2002)
- [38] Y. Kiyoki, Y. Hosokawa and N. Ishibashi: “A Meta- database System Architecture for Integrating Heterogeneous Databases with Temporal and Spatial Operations,” Advanced Database Research and Development Series Vol. 10, Advances in Multimedia and Databases for the New Century, A Swiss/Japanese Perspective, pp.158–165, World Scientific Publishing, 2000.
- [39] S. Kurabayashi, N. Ishibashi and Y. Kiyoki: “A Multidatabase System Architecture for Integrating Heterogeneous Databases with Meta-Level Active Rule Primitives”, Proceedings of the 20th IASTED International Conference on APPLIED INFORMATICS (AI2002), Feb. 2002.
- [40] 倉林 修一, 石橋 直樹, 清木 康: “モバイル・コンピューティング 環境におけるアクティブ型マルチデータベースの実現方式,” 情報処理学会研究報告, 情報処理学会データベースシステム研究会,2000-DBS-122, pp.463-470, 2000.
- [41] Humphreys, 1977
- [42] 酒井 幸市, “デジタル画像処理の基礎と応用”, CQ 出版社
- [43] W. Niblack, R. Barber, W. Equitz, M. Flickner, E. Glassman, D. Petkovic, P. Yanker, C. Faloutsos, and G. Taubin. The QBIC Project: Querying Images by Content Using

Color, Texture, and Shape. In Proceedings of the SPIE Conference on Storage and Retrieval for Image and Video Databases, pp.173–187, 1993.

[44] A. N. Marana, M. A. Cavenaghi, Roberta Spolon Ulson and F. L. Drumond. Real-Time Crowd Density Estimation Using Images. ISVC 2005, LNCS3804, pp.355-362, 2005.

[45] Yunqian Ma, Pradeep Buddharaju and Mike Bazakos. Pattern Discovery for Video Surveillance. ISVC2005, LNCS 3804, pp.347-354, 2005.

[46] Takeshi Nakagawa, Fuminori Tsunoda, Koichi Wakasugi, Sayaka Isojima, Isao Saito, Development of Smart Navigation System "Cochira" for Customers in Railway Stations, The Seventh International Conference on Ubiquitous Computing(Ubicomp2005), 2005.

[47] goopas, <http://www.goopas.jp/>

## 研究成果

1. 角田史記, 加藤学, 大塚理恵子, 助田浩子, 大関一博: 交通系 IC カードを利用した鉄道輸送障害時の影響を定量化する方法の研究, 情報処理 学会論文誌データベース(TOD), TOD58 号,6(3), 187-196, 2013-06-28
2. Fuminori Tsunoda, Yasushi Kiyoki: "A Realtime Associative Computing System for Interactive Information Exchange in a Multi-database Environment," Information Modelling and Knowledge Bases (IOS Press), Vol.XXVII, 10 pages, March 2016.
3. Fuminori Tsunoda, Takayuki Matsumoto, Takeshi Nakagawa, Mariko Utsunomiya: CHI2007 (ACM/SIGCHI): "Implementation of interactive poster "SuiPo"", Experience report / extended abstracts on Human factors in computing systems, CHI Extended Abstracts 2007: 1863-1868
4. Fuminori Tsunoda, Go Yanagisawa, Koichi Wakasugi, Katsushi Nagumo, Takayuki Matsumoto, Takeshi Nakagawa, Mariko Utsunomiya: "Development of information terminal 'it scarecrow' for rural station", CHI2008 (ACM/SIGCHI) : Case Studies / extended abstracts on Human factors in computing systems, CHI Extended Abstracts 2008: 2135-2142
5. Fuminori Tsunoda, Takeshi Nakagawa: "Information Service for Customers with 'Suica' and Cellular phone", WCRR (World Congress on Railway Research) 2006
6. Fuminori Tsunoda, Masao Yamashiro, Rieko Otsuka, Manabu Kato, Hiroko Sukeda, Kazuhiro Ozeki: "Customer-Oriented Evaluation Method of Railway Performance", RailTokyo2015 (International Association of Railway Operations Research)
7. Nakagawa, Tsunoda, Wakasugi, Isojima, Saito: "Development of Smart Navigation System "Cochira" for Customers in Railway Stations", UbiComp2005 Demo
8. Wakasugi, Isojima, Kondoh, Nakagawa, Tsunoda, Utsunomiya: "Development of Anonymous Communication System 'Pollin' for Public space", UbiComp2006 Demo
9. Matsumoto, Tsunoda: "Train Location Display System for Customers by Utilizing Data of the Transport Operation Control System or the Global Positioning System", WCRR (World Congress on Railway Research) 2008

10. Nakagawa, Tsunoda, Tanabe, Yanagisawa, Tamayama, Shibata, Kato, Shitara, Amma, Shiraki, Sannohazama, Matsubuchi, Saijo, Washisu: "Development of a new interactive signboard terminal "Touch Map"", Pervasive2009 Demo
11. 角田史記, 清木康, 吉田尚史: 意思決定支援機構を有するマルチデータベースの実現とモバイルコンピューティング 環境への適用, DEWS2004: 第 15 回データ工学ワークショップ インタラクティブセッション
12. 角田史記, 中川剛志, 清木康, 吉田尚史, 森薫: データベース技術を応用した情報配信の研究, 第 41 回 鉄道サイバネ・シンポジウム論文集 (2004)
13. 角田史記, 中川剛志, 若杉浩一, 五十嶋さやか, 小澤信行, 二見芳之: 個人に応じた情報提供サービスの研究・開発, 第 42 回 鉄道サイバネ・シンポジウム論文集 (2005)
14. 角田史記, 柳澤剛, 松本貴之, 伊藤雅一, 柴田吉隆: 運行情報の提供に関する研究・開発, 第 43 回 鉄道サイバネ・シンポジウム論文集 (2006)
15. 森薫, 角田史記, 吉田尚史, 水鳥敬満, 中川剛志, 清木康: モバイル環境におけるユーザ依存の優先度制御と情報発信機能を有するアクティブマ ルチデータベースシステムの実現, DEWS2005: 第 16 回データ工学ワークショップ
16. 森薫, 関子泰三, 川田弘明, 角田史記, 清木康: 駅構内カメラを用いた位置検知とコンテキストウェアリングによる情報配信システムの実現, DBWS2006: 夏のデータベースワークショップ(情報処理学会研究報告. データベース・システム研究会報告) ,p245-251

(その他: 表彰など)

17. グッドデザイン賞: (財) 日本産業デザイン振興会  
     2007 鉄道の運行異常時における旅客案内  
     2007 JR 東日本 在線位置案内サイン  
     2007 JR 東日本 IT かかし  
     2008 電子案内板 [さわれる案内板]
18. ブルネル賞:  
     2008 異常時用案内ディスプレイ
19. 日本サイバネティクス協議会 技術賞:  
     2014 タブレット端末導入に関するシステム開発

(その他: 発表・寄稿など)

20. 画像電子学会ワークショップ発表 (2006 年 10 月 16 日: 早稲田大学) 「未来の駅「スマートステーション」の研究開発」



21. ユニバーサルデザインフォーラムニュース 24 号に寄稿 「JR 東日本 : Suica を利用したナビゲーション端末の開発」  
<http://www.universal-design.gr.jp/pdf/udfnews/24.pdf>
22. J R E A (Japan Railway Engineer's Association, 日本鉄道技術協会誌) 執筆  
「運行情報の提供に関する研究・開発」 2006, Vol.49 No.4, p 31547-31550  
「輸送管理システムのデータを用いた在線位置情報提供の研究・開発」, 2007, Vol.50, p 32468-32471  
「無人駅における情報提供システム」, 2008, Vol.51, p33547-33549  
「異常時案内用ディスプレイの開発・導入」 2009, Vol.52, p34125-34128