

オンデマンドバス運行管理ログを用いた 知識抽出システムの構築

Development of knowledge extraction system
from On-Demand Bus operation's log

大和裕幸 ○柳澤龍 稗方和夫 杉本千佳 坪内孝太 飯坂祐司

Hiroyuki Yamato, ○Ryu Yanagisawa, Hiekata Kazuo, Chika Sugimoto, Tsubouchi Kohta,
and Yuji Iizaka

東京大学
University of Tokyo

概要：オンデマンドバスのスケジューリングアルゴリズムによって作成された運行計画を熟練の運行管理者が修正し、その際に生じる運行計画の変化や修正理由をデータベースに蓄積するシステムを開発した。システムの利用により、得られたデータが運行管理者固有の考え方をとらえるのに役立つ「知識」としてスケジューリングアルゴリズムの進化に有効活用できることを示した。具体的には、修正によって3車両の総運行時間が19%短縮された、少ない車両で運行が可能になったなど、スケジューリングアルゴリズムによって導出された運行計画よりも効率的な運行計画が作成された。熟練運行管理者の独自の考え方によりスケジューリングアルゴリズムに活用できることを明らかにした。

Abstract: On-Demand Bus system makes the bus schedule based on fixed index of evaluation function. Now, there is need to make a bus schedule along local peculiarity flexibility. As to adapt these needs, the knowledge extracting system is developed, which stock up the knowledge from modification on the bus schedule by the operator. And by system proving test at private bus company, the effectiveness of this system is proven.

1 序論

1. 1 オンデマンドバス

オンデマンドバスとは、利用者が事前に行った予約に従って運行計画を動的に作成し、似たような移動があれば乗り合いにより効率的に移動する新しい公共交通機関である¹⁾。既存の路線バスは決まった時刻に決まった経路を移動するが、オンデマンドバスは乗客の希望に合わせて移動するため、予約がなければ運行せず、時刻表や決まった経路はない。オンデマンドバスは事前予約で運行されるので、タクシーのように思われるが、停車できる位置が事前に定まっている点、一度に多くの人が乗り合いできる点で、タクシーとは異なる。基本路線を移動しその経路の外側を利用者の要望に合わせて迂回するバスをオンデマンドバスと呼ぶ場合もあるが、本稿が扱

うのは東大で開発されたオンデマンドバスである。

1. 2 東大の開発したオンデマンドバスシステム

筆者らは、オンデマンドバスの予約受付、経路作成、配車をすべてコンピュータで行うシステムを開発した。オンデマンドバスにGPSを搭載して各経路を移動する際にかかる時間をデータベースに蓄積し、移動時間の精度を高めている。オペレータが運行経路を作成する場合、土地勘や個人の能力にばらつきがあり、作成に時間がかかる。しかし、コンピュータが運行計画を作成した場合、最適な運行計画を短時間で作成することができる。図1に本システムの全体図を示す。

本システムには2点の課題がある。

1 点目は、利用者の細かな要望に答えられないことである。高齢者が多く利用する地域において、バ

ス運転手は高齢者の介護の役割を担うことがあるが、その際にかかる介助時間を運行計画に取り込むことができない。実証実験に協力していただいた運行事業者では、高齢者や障害者が福祉バスを利用する際、バス運転手が病院の入り口まで利用者を見送ることや家の寝室まで利用者を迎えに行くことがある。

2点目は、運行管理者の持つ多様な評価軸に合わせて運行経路を作成できないことである。運行経路を作成する際に、各運行事業者が持つ評価基準は異なる。運行距離を最短にする場合もあれば、運行時間を最短にする場合、複数運行するバスの中で、特定の1台に利用者を集中させる場合などがある。現状のオンデマンドバス運行計画生成アルゴリズムは、目的地への距離、前後にある予約への移動時間、予約を受け付けた時点でのバスの目的地への方向と、目的地から新たな入った予約の地点の方向のなす角度などの複数のパラメータにより経路が作成されている。しかし、すべての計算において一律であり、運行管理者の持つ独自の評価指標に適應することができない。

- ・ 予約修正機能
- ・ 修正理由選択機能・追加機能
- ・ 全体予約表示機能

開発したシステムのインターフェイスを図2に示す。システムの実装には Visual Basic2005 の C#を使用した。サーバとの通信には Xml を利用した。



図2 開発したシステムのインターフェイス

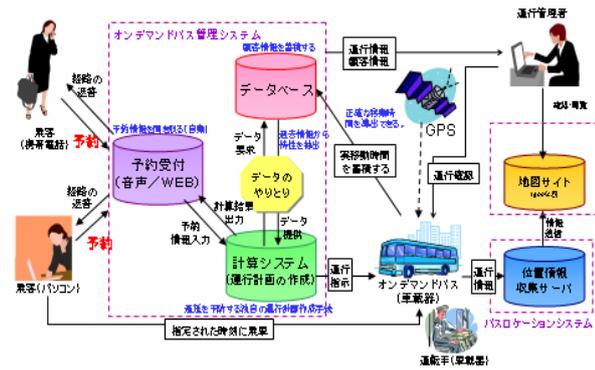


図1 東京大学のオンデマンドバスシステム

1. 3 研究の目的

本研究の目的は、コンピュータを使って運行管理者の作業を支援し^{2) 3)}、運行管理者のもつ独自の評価指標に基づく運行経路を作成するための知識をログから抽出するシステムの開発を行い、開発したシステムによって運行管理者の持つ評価指標を把握できることを示すことである。

2 手法

2. 1 抽出する知識の定義

オンデマンドバスシステムのスケジューリングアルゴリズムを用いて運行計画を作成し、専任の運行管理者が修正を加えることで、アルゴリズムと運行管理者の評価指標の違いが明らかになる。この違いをアルゴリズム改善のための知識と定義した。

2. 2 システムの概要

本研究で開発したシステムの機能は、以下の3つである。

2. 3 知識抽出のモデル

既存の知識抽出の研究では、知識の使用方法を可視化し、整理することで知識の抽出の過程を明らかにする人が多い。北原ら⁴⁾は高度な技術を必要とする作業において知識伝承を行うことを目的とし、組織の課題と結びつけて知識を整理するフローチャートを作成して知識を可視化している。本研究では、運行管理者の知識を抽出するために、修正作業の知識抽出するモデルを作成すべきと考え、知識を抽出するまでの過程を“知識の出現”“知識の抽出”“知識の蓄積”“知識の応用”の4つにモデル化した。

第1段階の“知識の出現”は、スケジューリングアルゴリズムによって計画された運行経路に運行管理者が修正を加えることを指す。変更を加えた運行管理者の意図がこの場合の知識である。運行しているすべての車両の運行計画を把握しやすいように、各車両の1日の予約を時系列に棒線に表示するよう画面構成を工夫した。その画面を図3に示す。横軸に車両番号を、縦軸に時刻をとる。白色の棒線は1号車にある予約を、黒色は2号車にある予約を示している。棒線の長さは、利用者のバスの利用時間を示している。

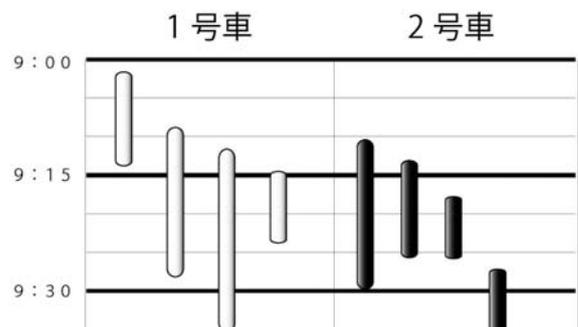


図3 予約の全体把握画面

第2段階の“知識の抽出”は、出現した無形の知識をデータとして蓄積できるように可視化する過程である。スケジューリングアルゴリズムによって計画された運行計画において、運行管理者が修正を加え、変更した理由を選択する。運行管理者が気づいた修正すべき予約の対応車両を、予約変更画面で車両番号を候補の中から選択して変更する。図4に予約変更画面での予約対応車両の変更を示す。



図4 予約対応車両の変更画面

変更理由を登録する画面は、予約対応車両を変更すると自動的に表示される。これによって変更の操作ログと管理者の意図を関連づけて蓄積することが出来る。図5に変更理由を登録する画面の例をしめす。

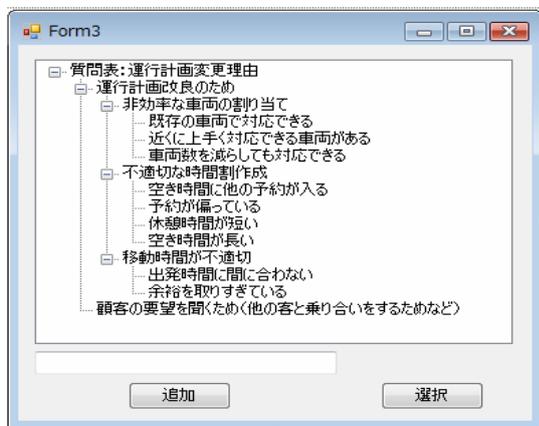


図5 変更理由選択画面

変更理由の選択肢の中に該当する理由がない場合は、画面下部にあるテキストボックスに書き込むことで追加できる。初期の変更理由は、実証実験に協力いただいた企業にて運行計画を作成する方へのインタビューを通して候補に挙げたものを記載した。その際、マインドマップ編集ソフトであるMindManager を利用し、各修正理由の関連を把握しやすくした。さらに、変更理由を根本的な原因、それに準ずる現象と階層分けしたロジックツリーを作成した。図6にMindManager で整理した変更理由のロジックツリーの例を示す。

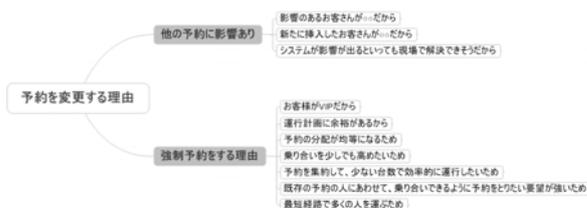


図6 変更理由のロジックツリー

変更理由は、「非効率な車両の割り当て」「不適切な時間割作成」「移動時間が不適切」の3つに大きく分類することが出来る。「非効率な車両の割り当て」の具体的現象として、「既存の車両で対応できる」「近くに上手く対応できる車両がある」「車両数を減らしても対応できる」の3つが挙げられた。また、「不適切な時間割作成」の具体的現象として、「空き時間に他の予約が入る」「予約が偏っている」「休憩時間が短い」「空き時間が長い」が挙げられた。「移動時間が不適切」といった理由は、「出発時間に間に合わない」「余裕を取りすぎている」といった具体的現象に分けることが出来た。

第3段階の“知識の蓄積”では、変更の際に予約に生じる影響と、影響を受ける顧客データ、さらに運行計画の変更理由をまとめて自動的に1つのログとしてデータベースに蓄積する。詳細については2.4にて述べる。

第4段階の“知識の応用”は、蓄積したデータを分析することで運行管理者の評価関数の特徴を把握し、その評価関数をスケジューリングアルゴリズムに反映させる過程である。スケジューリングアルゴリズムを運行管理者の評価指標に沿ったスケジューリングアルゴリズムに修正するために、アルゴリズムがもつ運行計画作成に関する関数のパラメータを変更する。本稿では、蓄積したデータから運行管理者の評価指標を把握するところまで行った。

図7に知識抽出モデルの4段階をまとめたものを示す。

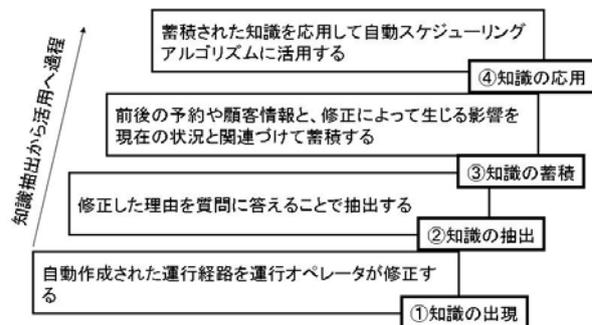


図7 知識抽出の概念図

2. 4 蓄積したログ

ここでは、知識抽出モデルの第3段階で蓄積されるログの詳細について述べる。ログには、予約対応車両の変更によって新たに設定された送迎時刻や、

各車両の運行距離、変更の影響を受ける利用者の登録番号、変更をした理由が含まれる。開発したシステムにて予約対応車両に変更を加え、変更理由に回答をした際、ログは自動的にデータベースに蓄積される。多様なデータを変更理由と結びつけて一括管理することで、データが有用になり、かつ分析等が容易になることが期待できる。

ログの抽出では、予約を変更した対象利用者だけではなく、当該予約に関連する車両に生じる他の利用者への影響に着目した。乗車する車両に変更が生じた場合、利用者がもともと乗るはずだった車両は、1つ予約が減ることになり、一方新しく挿入された車両は予約が1つ増えることになる。予約の影響を受ける2つの車両と、利用者の乗降イベントの2つ、合わせて4通りに分けてデータベースに蓄積し、この4つを1つのまとまりとしてログの抽出モデルとした。すなわち、1つの変更イベントに対し、この4つのログが蓄積されることになる。4通りに分けた中で、予約対応車の変更前と変更後でデータを蓄積している。図8に4つの場合に分けた中で蓄積されるログの詳細を示す。

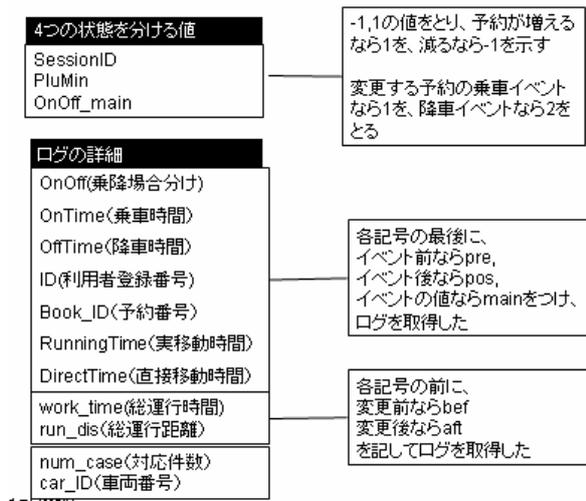


図8 蓄積するログの詳細

さらに、ログには車両を変更された人の乗車するイベントと降車するイベントそれぞれの前後に乗降する利用者の利用者番号をログとして蓄積した。予約対応車の変更によって生じる影響を把握するために、予約対応車の1日の最初から最後の予約までを送迎するためにかかる運行距離と運行時間の変化についても蓄積している。たとえば、最初の乗客を9時に乗せ、16時に最後の乗客を降ろした車両での運行時間は7時間となる。1日の間に車両が対応した予約の件数を予約対応車に変更があった場合にログとして蓄積する。

変更の前後で生じた変化を測定するため、利用者が直接目的地へむかった場合と運行計画に沿って目的地へ向かった場合にかかる移動時間の差異を変更

操作の前後でログとして蓄積した。

たとえば、予約対応車を変更された利用者がA地点からB地点へ向かう予約を行った場合を考える。生成された運行計画では途中でC地点を経由し、他の利用者を迎えに行くとする。この場合、A地点からB地点へ直接向かった時にかかる時間を直接移動時間、運行計画通りA地点、C地点、B地点の順で移動した時間を実移動時間という。図9に、実移動時間と直接移動時間の例を示す。

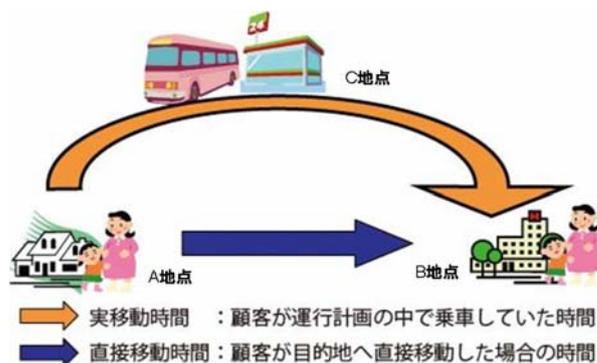


図9 直接移動時間と実移動時間

一方、号車変更で予約が新しく一件加わった車両についても、ほぼ同様なログが蓄積される。具体的には、予約対応車を変更された人の利用者番号と変更前後の乗車時刻、降車時刻、変更された人の乗車イベントの前と後に車両に乗車または降車した人の利用者番号、乗車位置、降車位置、乗車時刻、降車時刻、各予約に割り振られる登録番号、変更された人の変更が加わる前と後での直接移動時間と実移動時間、変更が加わった各予約対応車の運行時間と運行距離、対応した予約の件数、対応した車両番号をログとして蓄積する。

3 実証実験

東京都内の交通事業者にご協力いただき、開発したシステムの実証実験を行った。この交通事業者では、福祉タクシーの運行を行っており、専任の運行管理者が運行計画を作成していることから本実証実験を行うには適切な企業であるといえる。

3.1 実験内容

東京都内の交通事業者によって千代田区で事前に予約を受け付けて運行されている3台の車両の運行計画を、スケジューリングアルゴリズムを使用して自動作成し、開発したシステムを使用して、専任の運行管理者が運行計画に修正を加えるとともに、修正理由の質問へ回答した。実験は2009年7月21日から24日までの4日間行い、1日に約20件の予約を受け付けた。

3.2 実験結果の解析

蓄積したデータの解析例を示す。まず、対応件数を減らさずに予約対応車の変更によって3台の車両の総運行時間を短縮できたことを示す。

図10では、縦軸に運行時間、横軸に予約対応車の修正回数を置く。グラフ上の3本の折れ線は、各車両に対応している。予約対応車の変更ごとに変わる、車両の運行時間の推移を示している。横軸が0の時の各車両の運行時間は、スケジューリングアルゴリズムによって作成された場合のものである。スケジューリングアルゴリズムによって作成された運行計画の場合、車両の総運行時間は1307分であるが、修正後では1058分となり249分短縮された。このことから、対応する顧客の件数を変えずに総運行時間を短縮できることが読み取れる。また、予約対応車の変更によって2台の運行時間は微増し、1台は大幅に短縮されており、修正によって号車毎の運行時間の差が大きくなった傾向も読み取れる。

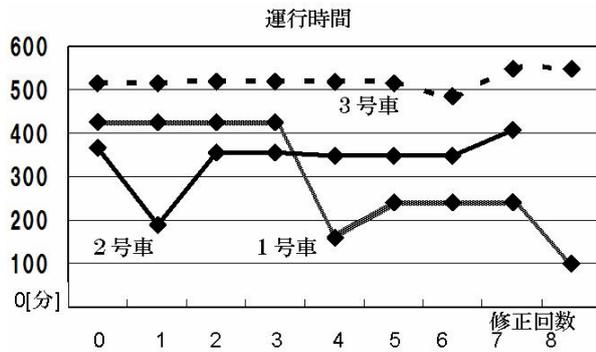


図10 修正回数と運行時間

図11で、運行計画の修正によって、運行距離は短縮せずに運行時間が短縮された例を示す。左側の縦軸は運行距離を、右側の縦軸は運行時間を示している。横軸は予約対応車の修正回数である。4回目の修正で、運行時間は短縮されているが運行距離は8kmほどしか変化していない。このことから、運行距離を変化させずに運行時間を短縮できることが読み取れる。この事例の場合、予約と予約の間の空き時間が長いため、運行距離は短く運行時間は長くなった。予約対応車の変更により、空き時間を短縮することで、運行時間を3分の1に短縮できた。

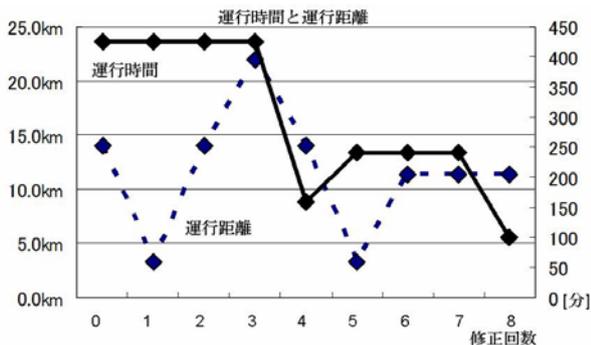


図11 運行時間と運行距離

図12では、予約対応車を変更した後に登録された修正理由の集計を示す。16件の回答を得て、その内訳の割合を円グラフで示している。回答としてもっとも多かったのは、「既存の車両で対応できる」であり、6件の回答があった。運転管理者がその回答を選んだ意図として、より少ない車両で対応したい狙いがあることが、インタビューの中で明らかになった。

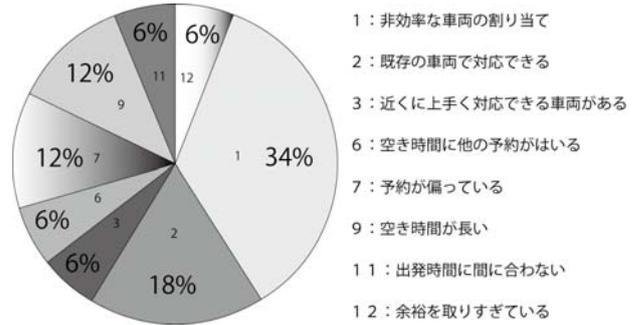


図12 修正理由とその割合

図13では、修正前と後における1号車と3号車にある予約の遷移を示している。縦軸は時間軸を表し、利用者が車両にのっている時間帯を棒線で示している。図13の左側が修正前で、図13の右側が修正後である。修正によって、1号車にあった予約は5件から3件に減り、3号車では9件から11件に増えた。この例から、各車両に予約を均等に割り振るのではなく、1つの車両に予約を集めようとしていることがわかる。

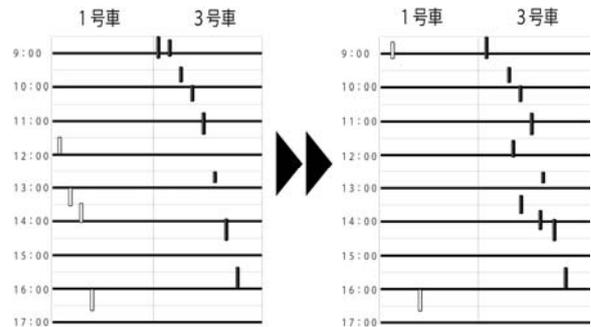


図13 予約変更の例

図14には、実験後の運行計画変更理由のログツリーの状態を示す。運行管理者が修正を加える過程で、選択肢の中に修正理由がない場合に、テキストボックスに書き加えることで、ログツリーは変化する。この実験では新しく2つの運行計画修正理由が知識として抽出出来た。すなわち、本手法により現場で運行管理をする際に現れる。修正理由を抽出できることがわかった。

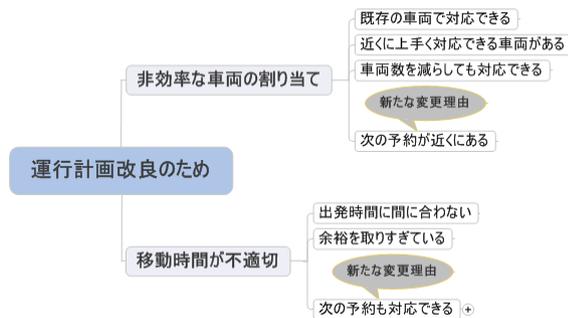


図 1 4 新たな修正理由が加わったロジックツリー

3. 3 考察

結果の解析から、本実験でご協力いただいた運行管理者の場合、3台の車両に予約を均等に割り振るのではなく、1台の車両に予約を集中させて、1台では対応しきれない予約に残りの車両を配車する運行計画を組む傾向があったことが明らかになった。運行管理者がこのような配車をする理由として、運行時間の短縮を評価指標の最優先事項にしていることがあげられる。それは、運行時間と人件費は比例しているためである。スケジューリングアルゴリズムの評価指標を、運行時間の最小化に設定することで運行管理者と同じ判断が可能になる。

したがって、本手法によって、蓄積したログから運行管理者の知識を抽出することで、運行管理者の運行計画の組み方の特徴を把握することができることが明らかになったといえる。

4 結論

スケジューリングアルゴリズムによって自動的に生成される運行計画に対して、専任の運行管理者が運行計画を修正する過程を知識と定義し、運行管理者のログを蓄積して、知識を抽出するシステムの開発をおこなった。実証実験により抽出した知識から、運行管理者の経路の組み方の特徴を把握でき、スケジューリングアルゴリズムの改善に有用であることを示した。

具体的には、スケジューリングアルゴリズムによって計画された運行計画に専任の運行管理者が修正を加えることで、総運行時間の19%短縮がみられた。このことから、スケジューリングアルゴリズムの評価指標である各車両への予約の均等配分よりも、総運行時間の短縮に重点を置く運行管理者の評価指標の特徴を確認できた。

今後の実験で、予約の修正により生じる運行計画への影響、運行管理者の修正理由、スケジューリングアルゴリズムのパラメータを関連づけるシステムを開発することで、スケジューリングアルゴリズムの改善が見込まれる。システムによって抽出された知識の分析の自動化と、分析から得られた運行管理

者の評価指標を各社毎のスケジューリングアルゴリズムへ自動的に反映することが今後の課題である。

また、スケジューリングアルゴリズムによって計画された運行計画へ修正を加える際、既存研究では、作業画面を完全同期して複数人が同時に作業できる環境を作成したものや⁵⁾、課題をグループ作業で行い際に web ブラウザを使って検索するプロセスを可視化するシステムを開発したものが⁶⁾。運行管理者同士のコミュニケーションを容易にして、協働を誘発することで、修正理由をより正確に抽出することも課題である。

謝辞

本研究の一部は CREST の助成による。また、実証実験には日立自動車交通株式会社様に全面的なご協力をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1]大和裕幸,稗方和夫,坪内孝太: オンデマンドバスのためのリアルタイムスケジューリングアルゴリズムとシミュレーションによるその評価, 運輸政策研究, Vol. 10 (4), No. 39, pp. 2-10, (2008)
- [2]石井裕, 原島博: CSCW とグループウェア—協創メディアとしてのコンピューター—, オーム社 (1994)
- [3]J.M.BOWERS, S.D.BENFORD: Studies in Computer Supported Cooperative Work (Theory, Practice, and Design), North-Holland Publishing Co,(1990)
- [4]北原洋子,東芝 PC&ネットワーク社 PC 開発センター:プロセス知の抽出と知見化フォーマットを用いた活用, SIG-KST, 2008-02-02
- [5]Steven Xia, David Sun, Chengzheng Sun, David Chen, Haifeng Shen: Leveraging Single-user Applications for Multi-user Collaboration: the CoWord Approach,CSCW'04,Volume 6, Issue 3,pp162~171
- [6]Sharoda A.Paul, Meredith Ringel Morris: CoSense: Enhancing Sensemaking for Collaborative Web Search, CHI 2009-SOail Search and Sensemaking,pp1771~1780