

## 平成30年度 講演会・調査研究発表会

### 〈講演〉 イノベーションと交通工学 ～交通行動と交通流の観測と分析～

朝倉 康夫

東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 教授

#### はじめに

今日は多数ご参集いただきまして、まずは、道路新産業開発機構の理事長として厚く御礼を申し上げます。

今日のタイトルは、「イノベーションと交通工学」ということですが、内容としてはサブタイトルにあるように、人の交通行動や車の流れを観測し、そのデータを収集することに焦点を当てて、イノベーションと交通工学についてお話ししたいと思います。内容について、ご質問・ご意見等ございましたら、メールをいただければ対応させていただきます。

東京工業大学には、私のほかに交通を研究している研究室が5つありまして、その研究室がTransport Studies Unit (TSU) ユニット (<http://transport-titech.jp/>) という交通研究グループを構成しています。TSUには、朝倉研究室、福田先生、屋井先生、室町先生、花岡先生と全部で5つの研究室がありまして、都市計画に近い交通の話、いわゆる交通まちづくりの話から、世界・地球規模の船や航空の交通にいたるまで、幅広くカバーしております。

まず本題に入る前に、私の研究室で最近どのようなことに関心を持っているかということをご紹介します（図1）。



この図はどのように見るかという、上のほうに、観測や実験に重きを置いた研究が分類されています。下のほうは、理論やモデル構築にフォーカスをかけた研究です。物理や数学に、理論と実験・計測があるのと同じように、分けてみるということです。一方、右には、自動車系の交通とかネットワークの分析があつて、左には、人間行動に関するテーマがあります。

皆さんが、交通工学に関する研究やアウトプットをご覧になるときに、それが一体どの辺にフォーカスしているのかをみる時にもこのダイアグラムは役に立つと思います。

人の交通行動のモニタリングや観測などに類する研究は第二象限です。自動車交通流の状態推定やプローブデ

## Recent Research Interests

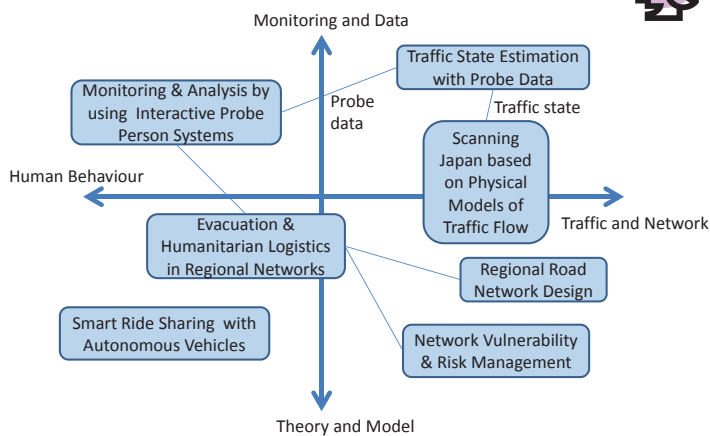


図 1

ータを使った交通状態の推定は第一象限にあります。日本全体でプローブの動きを分析して、日本全体のどこがどのように病んでいるのかを分析する。これをスキャンニングジャパンと呼んでいます。そういったことにも関心があります。

本日はこの図の上半分ぐらいを対象に話をしたいと思います。

なお、第三象限には、Smart Ride Sharing with Autonomous Vehicles と書いてありますが、自動運転の車をライドシェア（相乗り）に使うとすると、どのようなことができるのか、どのような課題があるかを考えようということです。自動運転の車を、単に動かすだけでは交通システム全体の改善につながらないと思っています。シェアリングと自動運転をつなぐと面白いことができるのではと思っています。

近いところに、Evacuation & Humanitarian Logistics in Regional Networks というのがあります。災害時の避難であるとか、あるいは、救援救急物資の輸送に関する研究を文科省の科学研究費をいただいて進めています。

第四象限には交通ネットワーク分析や計画の話題を置きました。広域のネットワークの形成やネットワークの信頼性、リスクマネジメントにも関心があって研究しています。

詳細は時間の関係で全体を説明できないので、この図の中の3つだけ紹介したいと思います。

1つめは、スマートフォンを利用した交通行動データの収集です。被験者が携帯する機器による行動の観測は

もう 20 年ほど研究していますが、スマートフォンを持っているだけで全てがわかるということはありません。例えば、移動の trajectory（移動軌跡）はスマートフォンを持っていれば収集できますが、トリップの部分と滞在の部分の分離は簡単ではなく、トリップを抽出できたとしても、トリップ中の移動手段、移動目的はわかりません。これらはスマートフォンを持っている被験者に質問しなければならないですね。交通行動の全容を知ろうと思うと、その質問を被験者がトリップを行う度に、繰り返し行わなければならないということになります。1日の調査ならがまんでできるとしても、1週間・1か月続けるとなると、被験者には負担が

重すぎます。ですので、被験者に最初は質問するけれど、次第にスマートフォンが賢くなって、交通目的を推定できるようになり、やがて質問をしなくても行動がわかるようになる、そういうシステムを作ろうとしています。質問しなくなったら、もうそれで完成ということ。ほぼ原型はできてまして、昨年、実証実験を高知で行いました。

2つめは、自動運転の車をシェアリングすることに関する研究です。とりわけ、車の配車・経路への割り当てと、車を使用する人と人との間のマッチングがおもしろいテーマです。例えば、利用者は、変な人とシェアリングしたくないという欲求を持っているので、それを上手に解決するような仕掛けを考えていきたいということです。

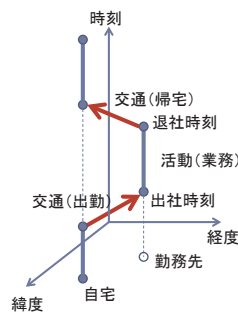
3つめは、巨大災害時の避難の話です。ものすごく広い地域が被害を受ける可能性があるときに、広域ネットワークをどのようにマネジメントしていくかということについて、避難と物資の輸送を対象にマネジメントを考えるということです。避難と物資輸送を上手に組み合わせなければ、被災者に必要な物資が届かないことが生じたり、無駄な輸送をすることにもなるので、そのような問題を生じさせないための基礎的な方法論の研究をしています。

これらの関心あるテーマの中で、本日は話をするのは、交通行動と交通流の観測と分析です。流行の言葉でいえば、交通のビックデータの分析に該当します。前半は交通行動の調査、後半はプローブカーを使った自動車交通流の観測という風に大きく分かれています。

## 2 交通行動の調査

まず最初に、活動と交通の話です。このダイアグラムは、都市空間を人がどのように行動するかを概念図で示したものです（図2）。

朝、自宅にいた人が、ある出勤時刻になると会社に行き、そこでしばらく滞在して、また戻るというのが、この人の行動だとすると、1日に2回移動があったことになります。トリップというはある目的をもった起点と終点の間の移動であって、このトリップに目的などの多様な属性が付いています。交通計画、交通行動の分析を



- 交通移動の単位＝トリップ(trip)
- トリップの定義  
ヒトがある目的を持って行う特定の出発地点(起点, origin)から目的地(終点, destination)までの一方向の移動
- トリップの目的  
目的地での活動に対応:  
通勤・通学, 業務, 私用, 帰宅...

図2 活動 (activity) と交通 (trip)

するときは、一連の人の動きに関するデータをどのように収集するかということが大きな課題です。伝統的な交通行動調査は、被験者に聞くということです。1人の人の1回の1つの赤い矢印について、何時に出発したのか、何時に到着したのか、どこが出発地でどこが目的地だったのか、目的地の場所、属性は何か、目的は何か、どんな交通手段を使ったのか、自分で運転したか、同乗者がいたかということを知りたいです。これまでパーソントリップ調査 (PT 調査) という調査で都市圏の交通行動を調べてきました。アメリカで1950年代に実施された調査の体系を日本に輸入して、最初に広島都市圏で実施されて以降、原則として10年に1回、人口30万人以上の都市圏で実施されています。

PT 調査は、調査員が家庭訪問して調査票を置いて、2週間ほど留め置いてもらって回収するという手順がとられていましたが、最近ではWEBが使われたり、郵送回収が行われたりします。家庭訪問すると、一定の回収率が得られますが、郵送すると回収率が悪くなります。

図3は、大分で実施されたパーソントリップ調査を実施したときに配布された調査表の記入例です。この調査表には、家を出て歩いて8分かけてバス停まで行って、

■左記の例の場合は、以下のように記入してください。

行き先と目的を記入してください

行き先と行き先間の移動を記入してください

A	から選択	B	から選択
C	から選択	D	から選択

は、選択枝票の凡例を参照してください。

ある会社員の活動・移動の例

最初の出発地 自宅

7:58発 徒歩8分

乗換え時間2分 バス7分

乗換え時間10分 鉄道10分

1番目の行き先 会社

8:50発 徒歩15分

1番目の行き先 会社

10:43発 車17分

2番目の行き先 工場

13:20発 車30分

ステップ① 調査日にあなたがいた場所全てで自宅、職場等を一つ調査票に記入してください

目的地の分類 1 Aから選択してください

格別名は+ (任意) (任意) (任意)

住所 〇〇〇〇〇〇

格別名または住所どちらかを記入してください

1番目の行き先 どちらに向かいましたか

格別の分類 2 Aから選択してください

格別名は+ (任意) (任意) (任意)

住所 〇〇〇〇〇〇

格別名または住所どちらかを記入してください

2番目の行き先 どちらに向かいましたか

格別の分類 17 Aから選択してください

格別名は+ 〇〇工場

住所 〇〇〇〇〇〇

格別名または住所どちらかを記入してください

3番目の行き先 9 Bから選択してください

ステップ② お答えいまだない「移動」について詳しくお答えください。

出発時刻	移動手段	移動時間	移動の距離	乗換え場所や高速に移動した場合は乗換え時間	乗換え時間	乗換えた車、乗換者について	乗換者について
7時58分	1	8分				乗換者について	乗換者について
8時50分	2	11分				乗換者について	乗換者について
1時3分	3	17分				乗換者について	乗換者について
1時20分	4	15分				乗換者について	乗換者について
3時30分	5	30分				乗換者について	乗換者について

〇鉄道・バスなどを乗りつがれた場合は、乗った駅のみ、乗ったバス停のみなどを記入してください。

〇駅から徒歩の場合は、移動の出発地(降りた駅)を記入してください。

〇鉄道駅名は「大分駅(JR)」のように記入してください。

〇住所が不明のときは分かる範囲の住所と施設名・店舗名または付近の有名な建物、目録などを記入してください。

図3 大分パーソントリップ調査の記入例より



バスに7分乗って、そのあと鉄道も10分待って、鉄道に10分乗って、最後15分歩いて会社に行く例が示されています。これが1回のトリップです。これを一日の全てのトリップについてやってもらうということは難しい。なかなか行動データを正確に取るということは難しいわけです。とはいえ、こういった調査が、都市圏内のマクロな交通の流動、とりわけ、起点(Origin)から終点(Destination)にどのぐらいの人数が移動するか、いわゆるOD交通量を知るには非常に重要な調査なので、PT調査が不必要だということはありません。

実際の都市空間での質問タイプの調査に加えて、被験者の行動を追跡する・観測するというタイプの調査や、あるいは、定点で人の動きを観測するという調査が研究されるようになりました。情報通信技術を使った交通行動の観測ということです。1つは、移動体型観測(ラグランジュタイプ)で、スマートフォン等の携帯可能で位置特定できる通信機能を持った機器を被験者に携帯してもらい、その動きをトラッキングするというものです。昔は改札機や車両感知器はボリュームが取れるだけでしたが、ICカードやETCカード、あるいは、AVIのナンバープレートの識別、カーナビのアップリンクデータのように、定点を通過した個々の車両や個人を特定することによってそれを追いかけていくという、オイラータイプの観測もできるようになってきています。

まず、移動体型の調査ですが、20年ほど前に、私が愛媛大学にいたときにPHSを用いた調査を行いました。PHSは常に自分の周辺にある3つから7つぐらいのアンテナのID番号とアンテナから飛んできてくる電解強度の強さを捕捉しています。そのデータを使って、PHSの位置を推定することができます。基本的アイデアはパナソニックから分社化されたローカスという会社があり、そこが位置特定サービスを始めました。私達のグループとローカスでそれを交通行動の調査に使おうということになり、1998年11月に調査を始めました。今東京大学にいる羽藤先生と柏谷先生と一緒に調査を企画して実施しましたが、被験者が10名、2週間、2分に1回アップリンクするという規模の調査でした。PHSの面白いところは、携帯機器の周

辺にある基地局とそこから電解強度で推定するので、位置特定の誤差がでます。密に基地局があったとしても50メートルぐらい、少し郊外にいくと150メートルぐらいの誤差がでます。それでも都市圏規模の人の動き、トリップの長さが10キロぐらいであれば、それを分析する上では、誤差は大きな問題になりません。誤差があっても、どのルートを通るかということはおおよそ推定ができます。推定ができるように3次元空間の点列からトリップを切り出す技術や、ネットワークの上で移動軌跡をマッチングさせていく、いわゆるマップマッチングの技術がこのような研究を通して開発されました。特許を取ってあるので、関連の仕事をやっている方はご相談ください。

調査結果を示すと、図4の左は概念図ですが、都市空間を移動する移動体の位置のデータがこのように時系列的に得られるということです。動画をお見せするとよくわかります。紫の丸と緑の丸が動いているのが見えますか。これは大阪湾の近くを動いている人々の動きを調査したもので、100人ぐらいの被験者の動きを地図上に置いています。色が青になるとあまり大きく動いていない。緑っぽい色は速度が速いということを表しています。西宮沖あたりに着目してみると、神戸空港付近まで船で行って、芦屋か西宮の港に戻るという、楽しい動きをしてくれる人もいることがわかります。このように、人の動きを調べ、ドットのデータを色々な断面で集計することができます。例えば、川の断面を通過する人のピー

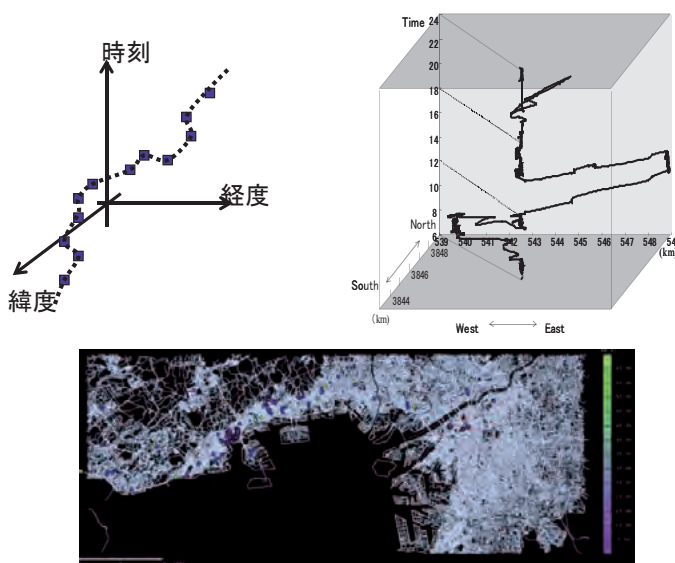


図4 3次元空間での行動の可視化(時空間パスダイアグラム)

クはいつ頃なのか、どのようなルートを使って大阪と神戸の間を移動しているか、そのときの路線の分担はどうなっているかがわかります。ある場所に滞在するとして、そこに滞在する時間の分布がどうなっているかなどもわかります。このようにドットで人の動きを調べることができるというのがこの種の調査の非常に面白いところです。

追跡型の調査では、1人の人の動きを一定期間継続して調査することも可能です。たとえば、宝塚周辺に住んでいて本町まで車で通っている人の動きを一週間追ってみると、3本の通勤ルートがあるということがわかりました。さらにそれを朝夕に分けてみると、朝は宝塚から西宮に出て、阪神高速を使って本町に出勤しますが、夕方は高速代がもったいないので経路を変えて高速には乗らずに帰ります。朝は、ほぼ同じルートですが、夕方は、時々別の道で帰るということもわかります。このように1週間、あるいは、もっと長い期間で人の動きを追跡調査すると、ネットワーク上で何かの事象が発生したときに、その人が普段の行動とは違う行動をするのかがわかります。新規路線の開通などの交通施策の変更があったときに、どのような感度が出るか、それが徐々に出てくるというものもわかります。

単に人の動きを追いかけて軌跡を得るだけなら簡単ですが、携帯機器でドットの点列を収集しても、トリップの切り出しをしなければ交通データとしては使えません。点列の中の、どこからどこまでがトリップかというのを切り出すのは結構難しいし、さらに、交通目的を推定するのも難しいので、わからない部分は被験者に聞かざるを得ないことになります。移動軌跡は携帯機器で観測するけれども、必要最小限の質問は聞くという調査システムも研究してきました。携帯機器とWEBダイアリーを組み合わせて交通行動を調査する方法をプローブパーソン（PP）調査と名づけました。プローブパーソン調査を実施して、たとえば、ある特定の時間にある特定のエリアに入ったということがわかれば、どういう目的でそのエリアに入ったのかがわかります。特定の時空間領域に入ったトリップを取り出し、その後で、被験者にそのときに利用可能であった手段を尋ねたり、将来、新しい交通手段が提供されたとしたら、その時にどのような利用意向があるのかを聞くこともできます。過去の行動を

観測した後で、その状況で災害が発生していたと仮定したら、一体どういう行動を取り得たかなどの質問をする。そういった使い方をすることによって、現実にはまだ存在していない新しい交通手段に対する需要を調べたり、あるいは、実際には起こっていない災害のような出来事に対する人々の動きを分析するためのベースを作ることができます。全く仮想的な状況で新しい交通手段を使いますかとか、どのように避難しますかと聞いても、現実性がないので被験者は答えようがないですね。ところが、あなたはある日このような行動をしていましたね、その時にももし新しい交通手段が使えたとしたら、それはどんなふうに使いますか。あるいは災害についても、このシチュエーションで何かが起こったらどういう行動をとるのですかという質問には比較的答え易いと思います。


それで、PP調査による現実の行動と、それに基づいた仮定の質問（SP調査）を組み合わせたという調査を作ってきました（図5）。

実際に、静岡でこの調査を実施して、何月何日の何時頃あなたは職場にいましたねと、職場にいたときに地震が発生して避難しなければならぬという時に、あなたは一体どのような避難をしますかということ調べました。津波の時は一斉に逃げろというのが大原則ですが、とはいうものの、誰かをピックアップしないで避難するというのはなかなか簡単ではありません。そうすると、そのような行動がどのぐらい起こりえるのかということも事前に把握しておく必要があり、それについて分析しようとして調査をしました。調査結果を分析することにより、そもそも避難自体が行われるのか、避難先が安全かどうか、避難方法自身が適切かどうかということ事前に評価できることになります。

新幹線で東京と大阪を往復するときに、浜名湖の出口を新幹線が通ると、とても綺麗なのですが、ここをやられるとちょっと大変かなと思いませんか。私は、通る度にそう思いますが、実際、浜名湖は津波によってできた湖といわれていて、一定のリスクがあると思います。この図（図6）は、このエリアにお住まいの方と津波の浸水の想定とをオーバーレイしたものです。赤のドットは、避難したと答えた人で、白のドットは避難しませんと答えた人です。避難する必要のない場所の人が避難している場合もあるし、またその逆に避難しないといけな



## 住民の日常行動の調査



**PP (Probe Person) 調査**

- 被験者の移動軌跡データ (GPSデータ) やトリップ情報データを収集する調査

**生活時間調査**

- 典型的な一日の時間帯ごとの行動を尋ねる調査

## 災害時避難行動調査(SP)



## 災害時避難行動分析

- 分析内容
- 想定した避難場所は安全か?
  - 避難方法は適切か?
  - どのような避難行動が行われるか?
  - 適切な避難場所はどこか? ...等

- 分析の特徴(メリット)
- 災害発生状況(場所, 時刻)に応じて変化する避難行動を把握可能
  - 個人の避難行動だけでなく, 家族や知人等の相互作用を考慮した避難行動データが取得できるため, より現実に即した避難行動を把握可能
  - 被験者の想定する避難場所のリスクが分析でき, 適切な防災対策(広報, 避難場所配置)の評価が可能

- 仮想的な災害状況の下で, 被験者がどのような避難行動をとるかを尋ねる
- 家族や知人等との相互作用を考慮

図5 災害時避難行動の調査・分析イメージ

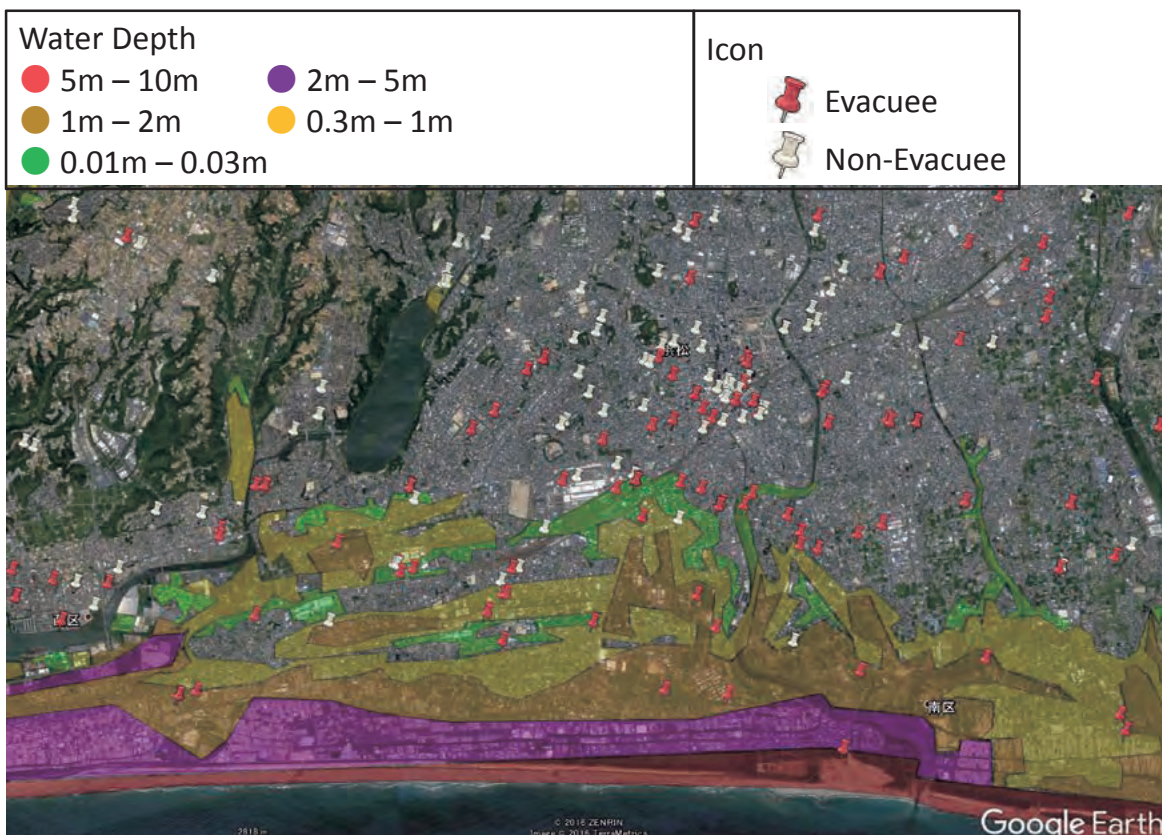


図6

域の方が避難していないケースもあります。避難する人々がどういう方向に行くか、誰かを迎えに行くような行動が出現するか、それを地図上に置いてみるということにも挑戦しています。

このように積極的に我々が調査をデザインして、その行動を調べるといふことのほかに、2次データとして得られた移動軌跡の分析も興味深い課題です。携帯やスマートフォンを持っていると、我々の位置データというのは自動的に吸い上げられています。積極的に行動調査はしていないが、結果的にそれがわかるということです。特に携帯アプリのGPSがONになっていると、その携帯の位置をアプリの提供者やキャリアが追跡可能です。もちろん個々のデータを開示することはできませんが、それをメッシュに集計することは可能です。たとえば、ドコモとゼンリンが扱っているデータでは、250m、500m、1kmというメッシュサイズで5分ごとに集計されています。これは、金沢大学の山口氏が集計してくれたもので、東京と石川で、北陸新幹線が開通したことによって、どのような効果が出たかということ进行分析するために使った一例です（図7）。

青い線は東京から石川へ移動した人、赤い線は、石川から東京へ移動した人です。北陸新幹線が整備されたのは実線の部分です。夏場には東京から石川に向けて北陸新幹線がなくても、前年の8月にはピークがありました。それが、新幹線開業後にどうなったかというのを示して

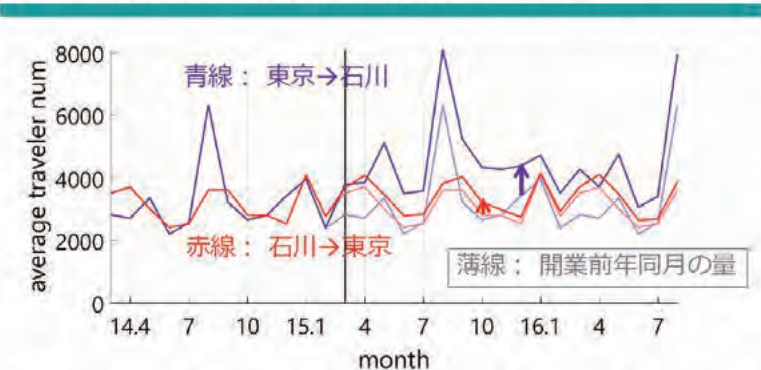
います。東京から石川に移動した人は5月の連休と夏場と秋が、対前年よりも上に上がっているということがわかります。それに対して、石川から東京に移動した人は、確かに前年度（薄い赤）よりは開業後（濃い赤）のほうが多いけれど、そんなに多くはない。東京から行く人は多いが、石川から東京へ行く人は多くはないといえます。もともとのマスの大きさもありますが、必ずしも対象性を持って移動しているわけではないということがわかります。それから、北陸新幹線の整備効果は、首都圏と北陸の間だけでなく、実は、近畿や中京圏にも出ているということがわかります。首都圏は当然利用者が増えていますが、それに付随して近畿や中京圏からのものも増えている。石川県としての旅行先としての価値評価が増加したのではないかと思います。そういう効果もデータを使って分析することができます。

さて、もう1つの違う種類のデータは、交通系ICカードのデータです。皆さんが普段使っている公共交通のICカードのデータを集めて分析すると、色んなことができます。ICカードのデータに関しては、事業者は顧客の長期間の利用の動向を分析して新しいサービスを提案するために使用したいけれど、分析のノウハウがない。我々のような交通研究者は、ICカードのデータを分析することによって長期間の交通行動の分析に繋がるので、データが提供されれば研究費を自前で出しても分析する価値

があると考えている。私が神戸大学に在籍の際に、近所の鉄道会社と一緒にICカードの分析を行いました。関西のデータは圧倒的に東京より面白いところがあり、カードを持っている人の個人属性がひも付けされています。残念ながら分析結果はお示しできませんが、非常に興味深い分析が可能です。

個人属性とは関係なく分析結果について一例を示します。ある1人の人が電車に乗って、ある駅で電車に乗り、ある駅で降りたという1回の移動をプロットすることを考えます（図8）。その人が駅に入った時刻と目的地に着いて駅から出た時刻は記録されているので、それを2次元座標に1つプロットします。そこに、その人が乗ったかもしれない電車を線

### 北陸新幹線の整備効果（東京 <-> 石川）



- 東京 -> 石川では、滞在人数が1000人/hレベルで増加
- 新幹線整備によりOD流動量が**非対称**に増加

2016/12/18 山口裕通(2016)集計・携帯電話位置情報データを用いた移動行動リズムの研究。科研ワークショップ沖縄資料より

図7 北陸新幹線の整備効果



で引きます。その人が駅に入った時刻の直後に駅を出た電車が水平の実線で、その人が駅を出た時刻の直前に駅に到着した電車が垂直の実線です。これを実際のデータに適用してみました。ある駅で、普通電車が出発したが、それに乗るために、この辺りに分布する人は青の電車に乗った可能性があります。ターミナル駅では、その集団が駅を出た直前に駅に着いたのは特急なので、その人々は特急に乗り換えてターミナルに着いたのではないかということが推定できるわけです。こうやって色々な固まりができます。これがぶどうの房のように見えるので、ぶどうの房分析と呼んでいます。これをダイヤ改正の前後で比較しました。特急が停車するようダイヤを改正したのですが、特急に乗った後、そのままターミナルまで行く人が多数ですが、普通に乘って特急に乗り換える人々も残っていて、ダイヤ改正の前後でどのような利用の変化があったのかを追いかけることができました。

- 利用者がある駅間を利用したとき、出発駅の入場時刻、到着駅の出場時刻をそれぞれ縦軸、横軸として時刻軸上にプロットする。
- 点Pは、ある利用者の特定の駅間を移動したときの入场時刻、出場時刻を表している。

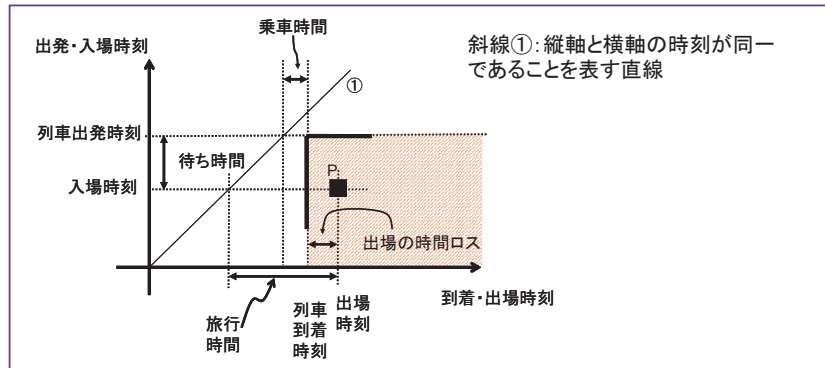


図8 改札通過時刻と列車ダイヤとの重ねせ

流業者が車両運行管理のために取っているものがあります。これは、数万台オーダーの車を対象に、1秒間隔で、時刻や車両位置、速度、加速度、車種などが収集できているというデータです。

これは、プローブ車両の走行軌跡図(図9)で、場所は首都高速の3号渋谷線の下りです。縦軸の上の方が東京で下は郊外方向です。横軸は時刻です。1本1本の線がプローブの走行軌跡を表しています。もう少し時間の解像度を上げると斜めに線が見えますが、時間を詰めているので縦に1本の線にしか見えないかもしれません。傾きだけでは速度がわからないかもしれないので、速度の遅い所に青色をつけて、速度の速い所に赤色をつけて示してみました。対象区間のちょうど真中あたりに

## 3 交通流の調査

次に車のデータです。車両のプローブデータには色々なデータがありますが、ETC 2.0のデータは国土交通省で収集されているし、商用車のプローブデータには、物

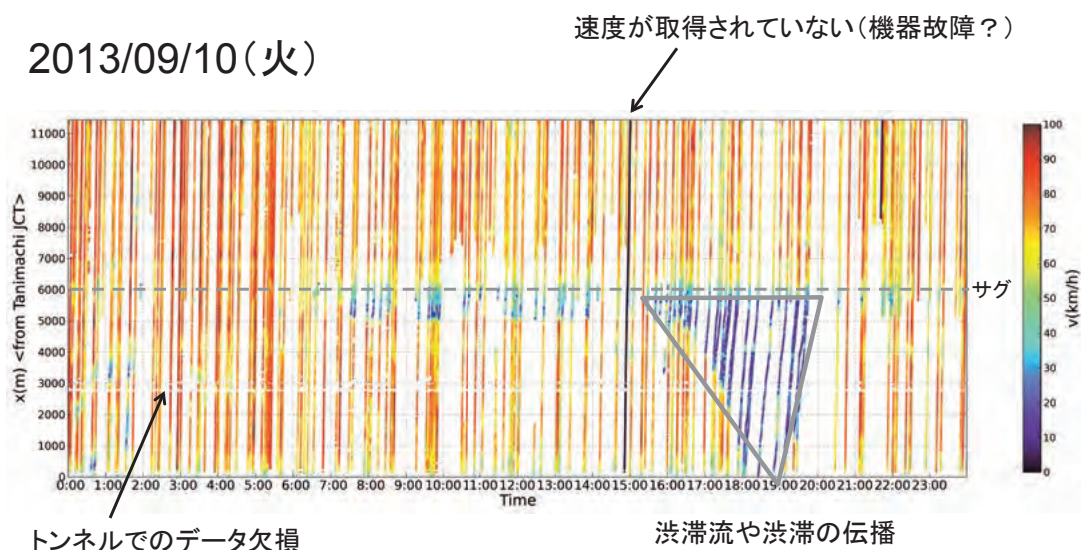


図9 プローブ車両の走行軌跡図



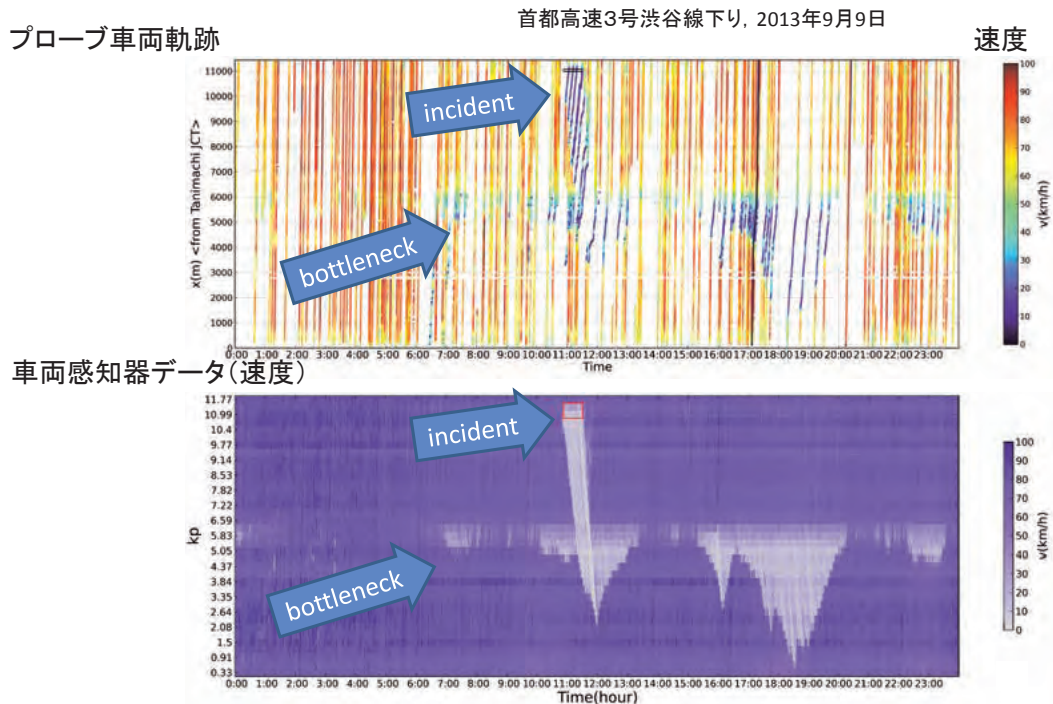


図 10 インシデント時の交通状態

大橋ジャンクションがあり、そのサグを先頭に渋滞列が発生したり、夕方は渋滞が伸びていく状況を確認することができます。

プローブデータだけでもこのようなことがわかりますが、首都高速では車両感知器のデータも整備されているので、車両感知器データの速度をプロットするとこのような図(図10)になります。こちらは、白が速度が遅く、紫は速度が速いところを表しています。そうすると、ボトルネックで渋滞が3回起こっているほか、交通集中渋滞のほかにインシデントが発生し、ショックウェーブが伸びているのがわかります。これらをプローブで見ると、上の図のようになり、上下の図を比べると、概ね同じようなことが観測できているといえます。もちろんプローブの流入率にもよります。この時は、2分～5分に1台ぐらいのオーダーでプローブデータが取れていました。

プローブデータは、色々利用することができます。最も普通のプローブデータの使い方は、二地点間の旅行時間の計測と情報提供です。もうひとつは、インシデントの検出です。都市内高速のように車両感知器・車両検知器が非常に密度高く置かれているところでは、インシデントがあれば非常に速やかに検知出来る可能性がありますが、感知器・検知器が密に配置されていないところで、インシデントを早く検出することにトライしています。

インシデントが発生後に、その場所を最初に通過したプローブを見つけたいわけです。インシデントの影響が始めてから場所を推定すること自体は、それほど難しいのですが、早くみつけるのはなかなか難しいので、そのための方法を開発しているところです。

もうひとつは、交通状態推定です。これはある時刻まで観測データがあるときに、そこから先どうなるのかということを使って推定・予測することです。使う方法論としてはデータ同化です。観測とモデルを組み合わせることで交通状態の推定をしていく方法です。

今日説明するのは、特定の時間空間領域の信頼性評価にプローブデータを使うことです。まず、プローブデータの集計を説明するために、単路(一本道)をプローブ車両が動くときの移動軌跡を考えます。移動軌跡の図にある特定の時間空間領域を重ねます(図11)。ある区間を対象にある時間領域をとって、この時間空間領域の中の交通状態を観測されたプローブデータから作ります。領域の中を走った全てのプローブカーの領域内の移動距離と移動時間は観測データから取ることができるので、プローブの総走行距離と総旅行時間を基に速度を作り出すということです。

全ての車を観測出来たとしたら、この速度は全ての車

特定の時間・空間領域の交通状態を知るために、走行軌跡図に着目している時間・空間領域(以下では、時空間セルと呼ぶこともある)を重ねて、その領域内でプローブデータを集計する。

$d_i$  プローブカー*i*の領域内移動距離  
 $t_i$  プローブカー*i*の領域内移動時間

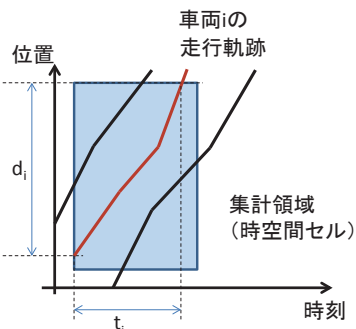


図 11 プローブの移動軌跡の集計：単路の場合

- 集計領域の時間の長さは任意。平均速度( $V$ )や平均旅行時間( $1/V$ )はピーク時のみ、1時間単位、日単位など、任意の時間集計単位ごとに求められる。

- 単路区間でなくても、任意の集計領域(平面×時間の3次元の時空間セル)を移動したすべてのプローブカーの総移動距離と総移動時間から、領域の平均速度や平均旅行時間が得られる。

平均速度( $V$ )  
 $=$  総走行距離( $D$ ) / 総旅行時間( $T$ ) (km/時間)

- 領域の速度(または旅行時間)の評価が可能

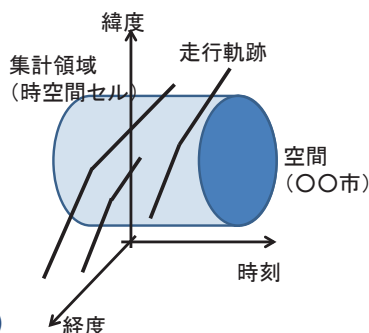
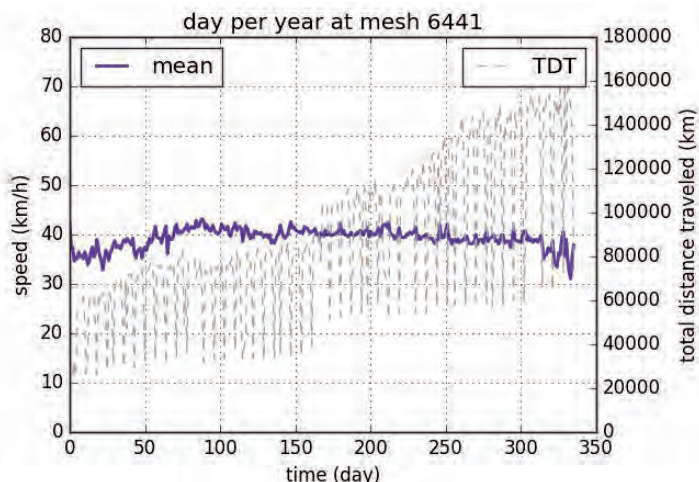


図 12 3次元セル(2次元平面×時間)での集計

## 札幌周辺1次メッシュ(#6441)



機器搭載車両数の増加に伴い、走行台キロは増加傾向。2014年初に比べ、年末は約3倍。走行エリアの変化(都心部からのデータが増加?)のためか、9月以降の平均速度は漸減。

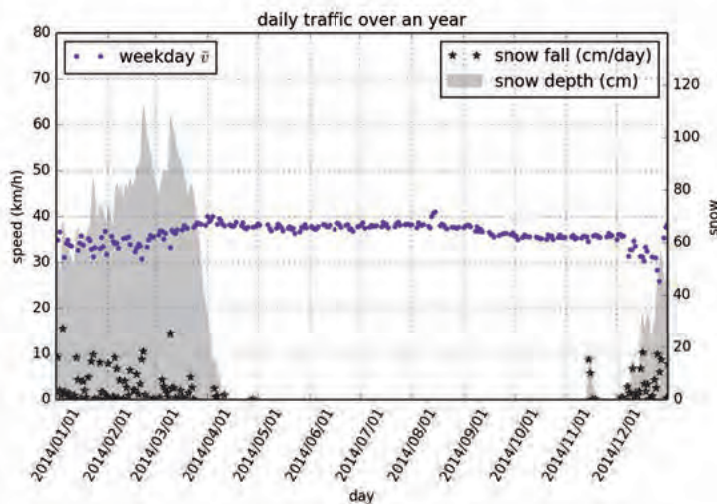
図 13 1日の平均速度、走行台キロの年間変化

の速度になるし、あるいは密度、および交通量も、この領域の交通属性を正確に表すものになります。プローブデータはサンプリングデータですが、プローブの速度と車全体の速度は概ね一致します。この速度を使ってこの領域の交通状態を評価しようということです。一方、密度と交通量はプローブデータが100%でない限りは、その領域の正しい値を代表することはできないので、注意が必要です。この考え方は、Edie,L.C.により1963年に提案されました。

もともと単路(一本道)の場合で考えられたものですが、一本道でなくとも面的に適用可能です。ある領域、つまり都市の空間の中を一定の時間のうちに通過したプローブの軌跡を集計することによって同じことが可能です。時間空間領域を通過するプローブの総移動距離と総旅行時間を割り算することによって、領域の中の交通の平均速度を作り出すことができます。そうすると、この領域の速度、もしくは、旅行時間の評価が可能になるということでもあります(図12)。

それを札幌エリアで調べてみました。札幌の周辺20kmのメッシュを取って、その中の速度の変化を調べました。年間365日のプローブ軌跡データをとって、各1日の平均速度を取ります。円柱の長さは1日で、円に相当するエリアは札幌というふうに見てください。そうすると、速度は時速40kmぐらいで推移していることがわかります(図13)。

秋と冬を比較するために、それぞれ特定の日について、5分ご



積雪期(12月～3月)は、非積雪期に比較して日平均速度が低く、日々の変動も大きい。降雪量の多い日は、日平均速度が低下する。

図 14 降雪量・積雪量と日平均速度（平日）

との平均と標準偏差の変化を調べたものです。秋（10月1日）は深夜・早朝は45km、そのあと30kmぐらいに落ちて、夕方から夜にかけて速度回復していきます。冬（12月16日）は、40kmで走っていた速度が、朝に25kmぐらいに落ちて、一旦回復しますが、なかなかその後は回復していません。そういう日だったということです。

今度は、秋の1か月と冬の1か月で、日々どのように

変化しているのかを見てみましょう。そうすると、10月は、1日の平均の速度は40kmでほとんど変わりません。ところが、12月になると、速度が結構暴れます。当然、誰もが考えるのが、雪が降ったのではないかということです。まさにその通りです。これは、積雪量、降雪量の変化を示したものです（図14）。平日に限定していますが、青い点が速度の平均で、星が降雪量、薄い山が積雪です。

1月～3月半ばまでは速度がばらついていきます。また、冬になると速度が急に落ちて行くということもわかります。

これを使って、時間信頼性の評価をしてみたいと思います。時間信頼性というのは速度の平均だけでなく、速度のばらつきを評価するというものであり、この箱ひげ図（図15）は、真ん中に中央値、上と下に、1か月（30日間）の最大値と最小値を示したものです。当然、日変

- 1次メッシュの旅行時間=1/速度
- 1時間帯ごとの旅行時間(中央値, タイル値, 最大・最少値)の日変化
- 10月, 12月の平日のみ

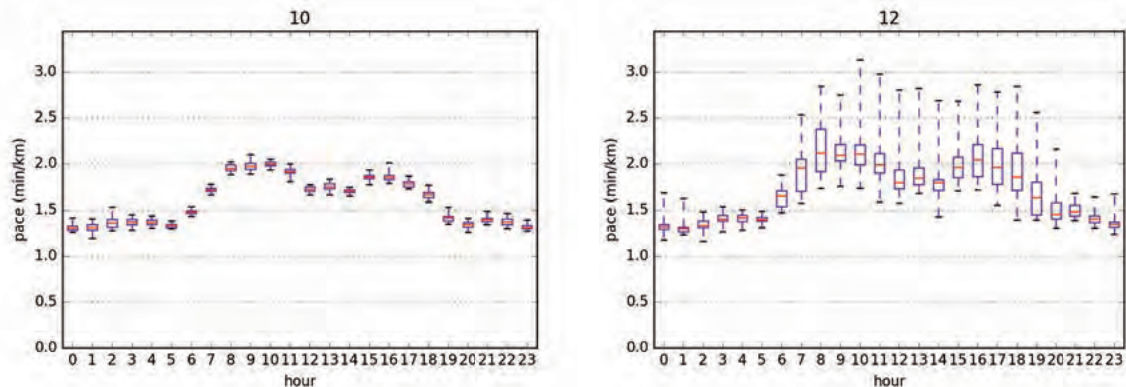
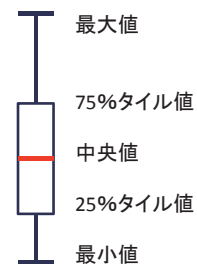


図 15 箱ひげ図による時間信頼性評価



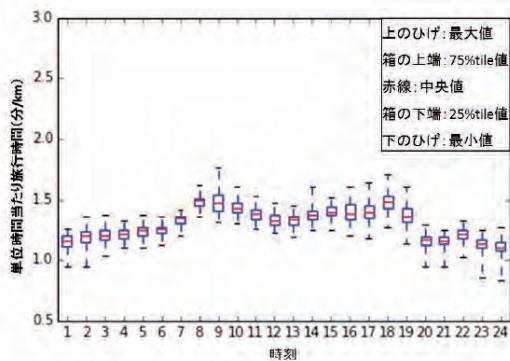


図-8 八王子市 箱ひげ図

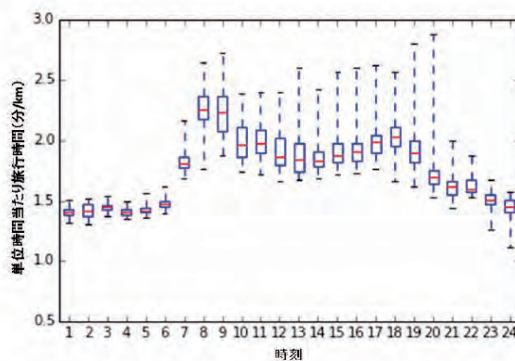


図-9 町田市 箱ひげ図

### 3か月間(2014年10月~12月)の平日のみ

出典：水口・日下部・福田・朝倉(2016) プローブデータを用いたエリアレベルでの旅行時間信頼性評価. 第54回土木計画学研究発表会, 長崎大学.

図 16 他地域の旅行時間信頼性との比較

動なので、朝から昼にかけて2こぶの山ができますが、あまりばらつきがないことがわかります。それに対して12月は幅広に広がっており、10月に比べて12月の時間信頼性がかなり低いということがみてとれます。

これだけだと、札幌は大変だねというだけですが、東京の八王子と町田の例を示します(図16)。町田は八王子に比べると、かなり暴れていて、町田の暴れ方は札幌の12月と同様です。このように、各都市・各地域ごとに、時間信頼性も様々なばらつきがあることがわかります。これらと、道路がきちんと整備されているか、あるいは、ネットワークがきちんと出来ているかということとは大いに関係があるかもしれません。この辺りをよく分析して道路インフラ整備の問題点を見つけるといような応用も可能で、そのときには使える指標ではないかと思っています。

## 4 おわりに

今、色々な種類(移動系や定点系など)の多様なデータが収集されつつありますが、データを分析するためには、データサイエンスの方法論を使うことのできる人材が求められています。単にデータサイエンスに秀でていだけでなく、やはり、交通工学の視点からデータを解析できる人材を育成していく必要があると思います。それから、データを分析するだけでなく、データを収集・解析するためには当然理屈が必要です。その理屈もあわせて構築していく必要があります。これまではデータがなくともある理論を組み立てて作ることができたわけですが、これだけ大量のデータがあれば、そのデータに基づいて新しい理論や手法が発展する可能性が交通工学の分野では非常に大きいと思います。そこについても、これから我々が研究を進めていく必要があると思いますし、実務の方々と大学等が連携する価値が高いと思うので、是非一緒に、分析・研究が出来たらと思っています。

以上で発表を終わります。ご清聴ありがとうございました。