

# 二輪車車体センシングデータ解析のための 研究者向けデータベースとデータ可視化ツールの設計

伊藤 亜依子<sup>a)</sup> 大庭 健太 宮崎 雄也 木谷 友哉<sup>b)</sup>

概要：自動二輪車の車体運動は複雑であり、未だ十分に力学的モデルが解明されていない。その理由として、運転者の運転動作による重心移動の影響を大きく受けるために、個々の車体運動の計測が難しいという問題がある。そこで、著者の所属する研究グループでは近年手に入りやすくなったセンサを用いたセンシングユニットを構築し、低確度であるが多数のユーザからの情報収集を可能にすることによって、車体運動モデルの解明やその他のサービスへの利活用することのできる二輪車運動センシングデータベースの構築を行っている。収集されたセンシングデータは変換処理や統計処理が必要になるが、収集した膨大なデータのままで二輪車の車体設計者やユーザ向けのサービス開発者が利用することは難しい。本稿では、現状のセンシングユニットから取得できるデータのみを格納したデータベースの構築と、取得したデータから解析に必要なデータを抽出する研究者向けツールの設計について報告する。

## 1. はじめに

現在、人と道路と自動車の間で情報の受発信を行うことで事故や渋滞、環境対策などの様々な課題を解決するためのシステムである高度交通システム (ITS) に関する研究が数多く行われている。しかし、これらの研究の多くは四輪車を対象としたものである。四輪車と二輪車では、運転操作や車体構造に大きな違いがあるため、四輪車を対象とした研究をそのまま二輪車に適用することは難しい。

また、警視庁によると平成 26 年度中の東京都内の交通事故による死者のうち二輪車乗車中の死者の割合は 26.2%と、四輪車の 12.2%を大きく上回っている [1]。二輪車乗車中の交通事故による死者の割合が多い 1 つの原因として、二輪車の車体運動の複雑な特性が解明されていないことにより二輪車向け ITS の開発が四輪車に比べて行われていないことが考えられる。

二輪車の車体運動特性の力学的モデルの解明を行うことができれば、安全性の向上や二輪車の設計の効率化に寄与できる。しかし、運転操作による運転者 (ライダー) の重心の動きが車体運動に大きく影響を与えるため、車体だけではなくライダーの動作センシングも必要であると考えられる。つまり、二輪車の車体運動センシングとライダーの動作

センシングの双方を行うことで二輪車の行動センシングができ、その結果は将来的に二輪車向け ITS の開発に必要なデータを網羅していると考えられるため、需要があるといえる。

近年では、スマートフォンに多くのセンサモジュールが搭載されていることを筆頭に、安価で多種多様なセンサが手に入るようになった。そこで、我々は二輪車に付随する様々なデータを安価なセンサを使ったセンシングシステムを用いて取得し、データベースに蓄積しておくことで、二輪車向け ITS のみならず様々なサービスへも利活用できるインフラを作成する研究を Bikeinformatics[2] と呼称して取り組んでいる。

Bikeinformatics では安価なセンサを用いて研究を行っているためセンシングデータは低確度であり、二輪車の車体運動を解明するために必要な特殊な計測項目のセンシングデータが不足している。そのため、大量のデータを収集して蓄積し統計的に処理を行うことと、そのデータの中から必要な部分のみを抜き出して不足項目の算出を行わなければならない。

大量のデータとは、安価なセンサを用いて収集したセンシングデータのほか、車種やライダーの情報など取得できる二輪車に付随するデータ全てをさす。それらの情報から、適切な条件を、簡単な操作で指定し、データを可視化した上で必要なデータのみを抽出できるツールが必要である。

本稿では、二輪車の車体のみならずライダーの行動に対しても、安価なあらゆるセンサを用いてセンシングを行い、

<sup>1</sup> 静岡大学 総合科学技術研究科 情報学専攻  
Department of Informatics, Graduate School of Integrated  
Science and Technology, Shizuoka University

<sup>a)</sup> a-ito@kitanilab.org

<sup>b)</sup> t-kitani@kitanilab.org

情報科学的アプローチによってビッグデータに対応したデータベースの作成手法について述べる。

## 2. 関連研究

本稿で開発する二輪車センシングデータベースの設計や、そのデータベースを用いた車体運動の解明のためのデータ抽出・可視化ツールに関連する研究として、従来の自動二輪車の車体運動センシングによる車体運動解明のための研究、二輪車やライダーではなく一般の人間の行動を対象にした行動センシングの研究、他のビッグデータの可視化手法に関する研究について以下で述べる。

### 2.1 二輪車車体運動センシング

二輪車の車体運動の力学的モデルを解明するためのセンシングの研究として、公益社団法人自動車技術会の二輪車の運動特性部門委員会が行う、精密な計測機器を用いた手法による研究がある [3]。自動車技術会では、車体運動を解析するためのデータの取得を高精度な慣性計測器を利用して行っている。計測に用いる主要な機材の詳細を表 1 に示す。

表 1 自技会による二輪車の車体運動特性計測時の機材

計測項目	機材	詳細
ステアリング角	ポテンショメータ	ステアリングに配置
前方速度	光学車速計	リアタイヤ後方に配置
車体運動 (ロール, ヨー)	ジャイロセンサ	タンク上に配置
操作入力	6 分力計	シートとステアリングに配置
移動軌跡	RTK-GPS	車両に搭載

これらの機材を用いることで、車体運動特性を解析する上で必要な挙動データを全て揃えることができる。しかし、機材のサイズが大きく 30kg 前後で重心も高いため、搭載された二輪車の車両本来の車体運動を損なうために、計測値からその車体の正確な運動特性が導出できるとは限らない。また、これらの機材は合計約 1000 万円程と非常に高価である。このような理由から、車種やライダーの種類による差を吸収するほどの大量のデータを取得することは困難である。

Bikeinformatics では、コスト面、重量面から安価で軽量のセンサモジュールを用いる。自動車技術会の機材と比較すると、センシングデータは低精度であり、必要な挙動データを全て取得することはできない。しかし、低精度なセンシングデータを大量に収集し、解析し、数値計算によって取得できない挙動データを算出することで、自動車技術会の計測における問題点を解消できる可能性がある。

### 2.2 人間の行動センシング

人間の行動データをデータベースに格納して扱う研究に HASC (人間行動センシングコンソーシアム) [4] がある。HASC とは、加速度センサや角速度センサ、気圧計、GPS などの複数のセンサデータを用いた人間行動理解を目的とした研究である。研究のためには、大量の人間の行動センシングデータを扱う必要があり、そのための大規模データベースを構築し、蓄積、管理を行っている。扱っているセンシングデータの項目は以下の 6 種類である。それぞれ行動データ、メタデータ、ラベルデータを含む。行動データとは、各センサから取得したデータであり、少なくとも加速度データが含まれており、他に角速度データ、地磁気データ、GPS が含まれる。

- (1) 静止 (直立)
- (2) 歩行
- (3) ジョギング
- (4) スキップ
- (5) 階段を上る
- (6) 階段を下りる

HASC では人間の行動を対象にセンシングを行っている。人間の行動は多種多様であるが、それぞれの行動の特徴をセンシングするために 10 ~ 100Hz 程度のサンプリングレートで加速度データを取得している。人間の行動センシングにおいて取得されたセンシングデータには、どのような動作のときのセンシングデータであるのかをラベルとして付加する必要があり、この負荷が高い。ラベリングは重要であり、後に行われる機械学習などの精度に影響を与えるため、入力者の手間を減らして効率的に行えるようにすることが、データを大量に集めることにおいても肝要である。そこで、HASC では、HASC Tool という行動情報処理のためのツールを開発し、データの解析やラベリングについてのユーザビリティを向上させている [5]。HASC Tool は以下の機能を備えている。

- データ関連
  - Hascllogger からのデータ受信機能
  - csv ファイル形式のデータ読み込み
  - メタデータ、ラベルデータの読み込み
- 信号処理関連
  - 直流波形、サイン波形などの簡単な波形の生成を行うフィルタの搭載
  - 入力波形に対し、平均、分散、フーリエ変換などの処理をする
  - 目的に応じたフィルタ組み合わせ機能
  - 簡単なコーディングによる新フィルタの作成可能
- ラベル付与機能
  - 加速度、角速度情報等の行動波形に対するラベルの付与
- 機械学習機能

- 機械学習ツール “WEKA” [6] との連携
- “WEKA” が有するアルゴリズムを容易に利用可能
- 大規模データ処理機能
  - 目的にあったファイルの自動選択, 編集
  - ファイル名, ファイルパスの自動編集

また, HASC は, 2010 年から HASC Challenge というものを行っている [7]. HASC Challenge とは, モーションセンサと HASC logger などのアプリケーションを用いて上記の 6 種類の行動データを提供する代わりに, HASC Tool などを用いて構築したデータベースを利用できるという取り組みである. その結果, HASC Challenge によって, 多くのデータを集めることに成功している.

Bikeinformatics においても, HASC 同様, 大量のデータが必要であるため, HASC challenge のような取り組みが必要である. その前提としてデータを扱いやすくするための HASC Tool のような可視化ツールが必要であるが, 現在存在していない. しかし, 二輪車センシングのデータは人間の行動センシングデータとは異なり, サンプリングレートが細かい必要がある. さらに, 車体運動データと計測位置との関係が重要であるため地図表示の可視化機能や, 可視化した上でデータを抽出するという機能が必要となるため, 改良が必要である.

## 2.3 データの可視化

MM 総研が発表した 2014 年国内携帯電話端末の出荷台数調査 [8] によると, 総出荷台数は 3793 万台であり, そのうちスマートフォンは 2770 万台である. 多くのセンサがモジュールが搭載されているスマートフォンの普及に伴い, センシングデータを用いる研究が増えた. 同時に, センシングデータを可視化することを目標とする研究も増加している.

一種のセンサではなく多種のセンサから取得したデータを大量に集約し, 異種センサデータ同士を比較, または同時に閲覧し, その相関を調べたり, どちらが有効か確認する等の利用を可能にするために, 異種センサデータの蓄積・管理・可視化のためのフレームワークを構築する研究 [9] が行われている. 蓄積は, FTP サーバを立ち上げセンサデータのログを収集し, ファイルシステムを用いてデータの分割管理をすることで行う. 管理は, シェルスクリプトを用いてデータの変換を行い, 各システムに埋め込むだけで使用できるシステム用データに変換し, 事前に組んだ可視化プログラムに埋め込みファイルを更新することで行う. 可視化は, JavaScript のライブラリである jQuery のアドオンの jqplot を利用し, HTML で表示することで行う. このフレームワークは, 3 つ程度の異種データの可視化を対象としている. しかし, 我々の扱うセンシングデータは 40 種類以上且つ膨大な量のデータを扱うため, データの蓄積と管理が困難であると考えられる.

また, 測地装置を用いたセンシングデータの可視化方法として, タイルディスプレイを利用したセンサネットワーク情報の可視化 [10] がある. 最終目標はタイルディスプレイを行うことであるが, 可視化フレームワークと可視化コンポーネントを用いて, ブラウザ上でユーザがデータベースシステムにアクセスを行うためのインターフェースを作成している. このインターフェースでは, 取得した緯度経度の値をブラウザに表示した地図上にプロットし, ポップアップで他の情報を表示するほか, データベース内のデータの検索フォームを表示している. これにより, 膨大な量のデータが格納されているデータベースを扱いやすくすることが可能となっている. しかし, このインターフェースは, データを表示することのみを実装している. このインターフェースにおいて, 我々の扱うセンシングデータを抽出するためには, ブラウザ上に数値を実際に表示し, コピーすることで取得する必要があるため手間がかかり, センシングデータ抽出の最も容易な方法ではない. そこで, 我々は測地装置の値を基に地図上にプロットし, プロットした点をマウス操作によって選択し, 必要なデータのみを選択し, 抽出することなどができるように設計を行う.

## 3. 二輪車センシングデータベースの設計

二輪車は, 四輪車以上に車体の状態や路面の状態, 操作するライダーの技術や体格などがセンシングデータに影響する. よって車体に装着した運動センサのデータや位置情報の軌跡だけではなく, どのような道路を通ったのかということや気象情報, ライダーの運転経歴なども同時に取り扱えるようにできることが望ましい. そのようなデータの一部では, 手入力として情報を追加することが必要である. 追加する際にも数値の羅列であるセンシングデータに対して直接追加することは難しいため, 可視化した上で入力し, さらに入力された情報をデータベースに格納するというデータベースと可視化の相関が重要となる.

Bikeinformatics プロジェクトにおいては, 自動二輪車の走行に付随する, 車体の状態や運動, ライダーの操作や状態, 道路などの周辺環境データを収集することを目的としている. ここでは安価なセンサを用いて取得された低確度で大量のデータを扱うため, SQL によるフィルタリングや信号処理によるノイズ除去など最低限の情報処理が必要である. よって, センシングデータのみならず, 後から情報を手入力から追加することと情報処理を行った上で格納することを考慮し, データベースを構築する. さらに, 膨大な規模のデータベースとなることが予測されるため, 1 つのトリップ, ライダー, 二輪車のそれぞれに ID を与え, 統括して管理できるように設計する.

### 3.1 データベースの構成

意味のあるセンシングデータ群の最小単位として, 同一

ライダーが同一自動二輪車を利用して移動した短時間の移動をトリップと呼び、この単位を基準にセンシングデータを管理する。いかでは、本データベースに含む情報について列挙して説明する。

このトリップに含まれるデータとしては、グローバルに静的なデータ、トリップ間において静的なデータ、動的なデータがある。

- グローバルに静的なデータ
  - ライダや二輪車の車種に関する情報など、複数のトリップ間で共通のデータ
- トリップ内で静的なデータ
  - センサの取付位置や開始時間、二輪車の整備状況など、1つのトリップの間で変化しないデータ
- 動的なデータ
  - 位置情報やモーションセンサの値、ライダーのバイタル情報などの経過時間に合わせて変化するデータ

また、それらのデータは、手入力が必要なデータ、センサから直接取得できるデータ、センシングデータ取得後に推定したり、外部のオープンデータ等から取得する必要がある付加データに分けられる。

- 手入力が必要なデータ
  - ライダ情報や二輪車情報、このトリップの移動目的や、トリップ端点の場所やトリップ途中でのイベント情報など、あらかじめ、もしくはトリップ終了後に入力する必要があるデータ
- センサから直接取得できるデータ
  - 経過時間毎に得られる、位置情報やIMUなどの運動センサの計測値、バイタルセンサからの計測値、カメラなどによる映像など
- センシングデータ取得後推定可能な付加データ
  - 停止中、走行中などの運転挙動や、運転操作入力の大きさなど
- 外部のオープンデータ等から取得する付加データ
  - 走行中の道路種別や道路の線形、時刻と場所に対応する気象データなど

ここで列挙したセンシング項目についてデータベース化し、二輪車の車体運動に付随するセンシングデータを一元的に取り扱う。

### 3.2 提案する二輪車センシングデータベースの設計

上記の議論を元に、二輪車センシングデータベースに格納するデータの項目を以下に示す。

- A. グローバルに静的な情報のテーブル
  - ライダ情報 (ID, 乗車歴)
  - 二輪車情報 (ID, 車種, 年式)
  - このライダー、二輪車でトリップのリスト (複数のテーブル B へのリンク)
- B. トリップ間で静的な情報のテーブル

- ライダ情報 (ID, 体格情報)
- 二輪車情報 (ID, サスペンションやタイヤの設定情報)
- 運動センサ数とそれらの取付位置
- イベント情報 (給油, 食事, 休憩など)
- センシング情報 (テーブル C) へのリンク
- 付加情報 (テーブル D) へのリンク

#### ● C. センシング情報

- 計測開始時刻
- 経過時間と位置情報 (緯度経度, 標高, 速度, 方向, 衛生状況)
- 経過時間と各センサ位置の運動情報 (3軸加速度, 3軸ジャイロ) × 複数箇所
- バイタル情報 (心拍数, 血圧, 呼吸数, 等)
- 車両の CAN から得られるエンジン制御データ
- 映像情報 (URL, 記録開始時刻, 長さ)

#### ● D. 付加情報

- 環境 (気圧, 気温, 大気の状態)
- 天気

本研究では上記のデータを格納するデータベースを PostgreSQL で構築した。PostgreSQL を使用した理由は、後の可視化で用いる地理情報の提示を行うフレームワークである PostGIS との親和性が高いからである。

## 4. 二輪車センシングデータ可視化ツールの設計

### 4.1 二輪車センシングデータ活用支援の概要

二輪車車体運動データベースを用いることで、二輪車の車体運動特性の解明の効率化の他、二輪車ライダー個人のデータのみを抽出し、地図やグラフに表示することでライフログ的な機能への応用も可能であり、同時にしくは同地点を通った二輪車のデータを統計的に解析することで、道路の線形の評価や路面性状推定など環境センシングへの応用も可能であると考えられる。

本研究では、このような応用に対して膨大なデータを利活用しやすくするための支援ツールの設計を行うことが目的である。主に支援する項目は2章の内容も含め、以下の5つを想定する。

- 付加情報のラベリング
- 付加情報の入力や値の構成を対話的に行うユーザインタフェースの設計
- 安価なセンサ故の正確度の悪さの補正
- 必要なデータを抽出しやすくするユーザインタフェースの設計
- 上記の機械学習等を用いた自動化

以上の項目について、最低限の情報処理を行い、データをグラフや地図表示を用いて可視化する GUI や、入力や値の構成を対話的に行うことのできるユーザインタフェースを用いて支援することを考える。以下では、提案するデー

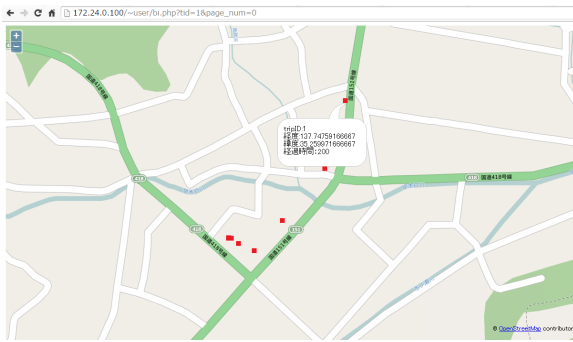


図 1 センシングデータの地図表示

データベースの想定する利活用例を元にして、可視化が求められる項目について考察する。

#### 4.2 センシングデータの可視化が求められる項目の考察

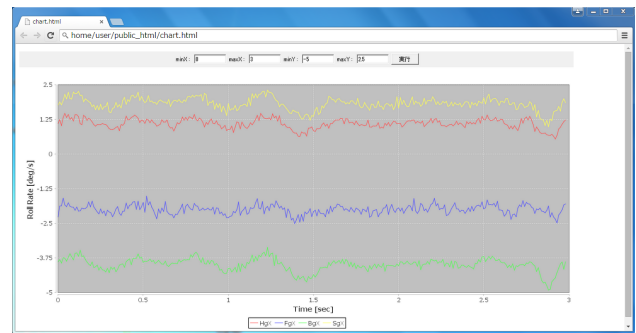
3.2 節で示した二輪車センシングデータベースに格納したデータは、時刻や ID でひもづけられているものの、主に時系列の数字の羅列である。そこで、まず、基本的な可視化としては、各トリップの位置情報の変化（移動軌跡）を地図上にプロットすること（図 1）、各トリップでのセンシング項目を横軸を時間としてグラフ表示できるようにすること（図 2）が重要であると考えられる。また、経過時間を基に複数のセンシングデータを比較できることが望ましい。基準にするデータの種類によって表示形式を変更することで、よりデータ比較を行いやすくなると考えられる。現段階では、表示するのみであるが、最終的には表示した上でマウス操作（ドラッグやクリック）によってデータを抽出できることが今後の目標である。これにより、データ比較だけでなく、抽出するデータの選択や、選択範囲の指定も効率化を図る（図 3）。

次に、提案するデータベースの応用例を元に、ケーススタディ的に可視化する具体的な手法について検討する。

まず、二輪車の車体運動特性の解明については、例えば以下のような可視化が求められる。

- 地図上で緯度経度範囲指定、センシングデータをグラフに表示、比較、抽出
- 特定の車体部分の振動数範囲を指定し、その振動に対応する周波数を持つ部分の地点表示
- センシングデータのグラフ波形から、地点を表示
- 「停止」「直進」等の動作を指定し、センシングデータをグラフに表示

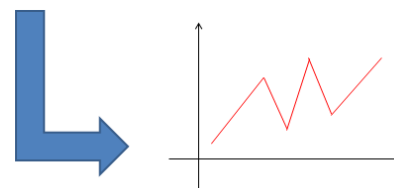
特定周波数の信号部分の抜き出しについては、ステアリングやサスペンションに起こる固有振動などを検出する際には、センシングデータに含まれる振動数がそれに一致する場所などを抜き出して比較する要求がある。それについては、図 4(a) のようなインターフェイスで対応する。また、移動軌跡の曲率半径を指定することなどによって旋回動作のみを抽出することも可能と考えられる（図 4(b)）。



(a) 時間範囲の指定

• tripID :

• 停止時 <input checked="" type="checkbox"/>	• H <input checked="" type="checkbox"/>	• 加速度 <input checked="" type="checkbox"/>	• X軸 <input checked="" type="checkbox"/>
• 直進 <input type="checkbox"/>	• F <input type="checkbox"/>	• ジャイロ <input type="checkbox"/>	• Y軸 <input type="checkbox"/>
• 右折 <input type="checkbox"/>	• S <input type="checkbox"/>	• 地磁気 <input type="checkbox"/>	• Z軸 <input type="checkbox"/>
• 左折 <input type="checkbox"/>	• B <input type="checkbox"/>		• 温度 <input type="checkbox"/>



(b) 表示項目の指定

図 2 センシングデータのグラフ表示

つぎに運転者個人のセンシングデータの解析において有効となる可視化としては次のようなものが挙げられる。

- 地図上に走行ルートを表示、地点を指定しイベントや映像の情報を簡易記録
- バイタル情報と運転操作との対応
- 運転技術推定のための履歴情報の表示や他者とのセンシング統計量の比較

最初の記録については、ライダーからの手入力情報が情報源となるため、地図に時刻や停止時間などを提示して、後でそのときのイベント内容や状況を入力しやすいように促すユーザインターフェイスが求められる。

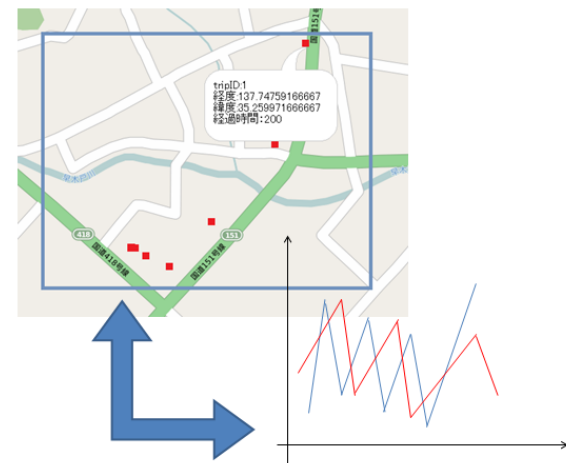
また、環境センシングの応用例として次のようなものが挙げられる。

- 道路性状把握 [11]
- 交通渋滞把握
- 交通状態把握

道路性状についての路面の凹凸や段差などの検出は、先述した周波数を指定した抜き出しによって抽出することで解析を支援することができると考えられる。

## 5. まとめ

本稿では、安価なセンサを用いたセンシングデータを含む二輪車に付随する全ての情報一元的に管理できる二輪車センシングデータベースの構築と、取得したデータから解析に必要なデータを可視化し抽出することのできるツールの設計を行った。さらに、それらを用いることで想定され



(a) 地図とグラフの対応の相互参照表示



(b) 地図範囲指定からデータ抽出

図 3 センシングデータの抽出支援

る応用例を示し、応用例に対して膨大なデータを活用しやすくするための支援ツールの設計を行った。今後は、設計したデータベースと可視化ツールの実装を行い、データを収集し、さらに多くの機能を持ち合わせた支援ツールの設計を行う。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 26330102 ( 基盤研究 (C)「二輪車の車体運動センシングシステムの研究」) の助成を受けたものである。

参考文献

[1] “二輪車の死亡事故統計,” 警視庁, 入手先 [http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/roadplan/2rin\\_jiko.htm](http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/roadplan/2rin_jiko.htm). ( 参照 2015-07-28 )

[2] 木谷友哉, “Bikeinformatics: 情報科学的二輪車 ITS の基盤研究,” 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル ( DICOMO2013 ) シンポジウム論文集, pp. 1517-1524, 2013.

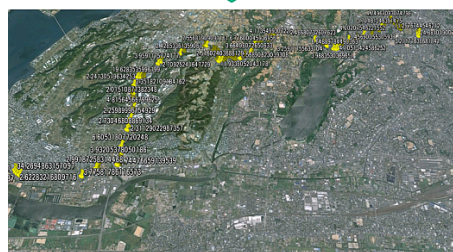
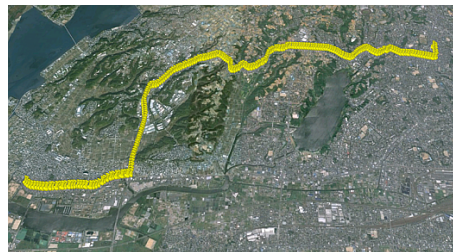
[3] 渡辺淳士, “2012 年二輪車の運動特性部門委員会 WG 二輪車の定量的評価手法構築 ~ 走行実験より学んだ事 ~,” Motor Ring, no. 34, 自動車技術会, 2012.

[4] 河口信夫, “人間行動理解のための装着型センサによる大規模データベース構築にむけて,” 情報処理学会 マルチメ

周波数  Hz ~  Hz



(a) 周波数を指定して特定の車体振動の抽出



(b) 移動軌跡から曲率を指定して旋回地点の抽出

図 4 データ変化量の範囲を指定して抽出し地図表示

ディア, 分散, 協調とモバイル ( DICOMO2010 ) シンポジウム論文集, pp. 579-582, 2010.

[5] 河口信夫, 小川延宏, 岩崎陽平, 梶 克彦, 寺田 努, 村尾和哉, 井上創造, 川原圭博, 角 康之, 西尾信彦, “HASC Challenge2010: 人間行動理解のための装着型加速度センサデータコーパスの構築,” 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル ( DICOMO2011 ) シンポジウム論文集, pp. 69-75, 2011.

[6] WEKA, The University of Waikato, 入手先 <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/> ( 参照 2015-07-29 )

[7] HASC Challenge 2012, 入手先 <http://hasc.jp/hc2012/hasc-tool.html> ( 参照 2015-07-28 )

[8] “2014 年度通期国内携帯電話端末出荷概況,” 株式会社 MM 総研, 入手先 <http://www.m2ri.jp/newsreleases/main.php?id=010120150514500> ( 参照 2015-07-28 )

[9] 後藤 航, 河口信夫, 梶 克彦, “異種センサデータからの蓄積・管理・可視化のためのフレームワーク,” 情報処理学会 第 74 回全国大会講演論文集, vol. 2012, no. 1, pp. 553-554, 2012.

[10] 浅川 和久, 仙道 航, 瀬川 典久: “大ルドディスプレイを利用したセンサネットワーク情報の可視化,” 情報処理学会研究報告, ヒューマンコンピュータインタラクション ( HCI ) 研究会, vol. 2012-HCI-148, no. 22, pp. 1-7, 2012.

[11] 木谷 友哉, 久保田 恭輔, 高田 宏輝, 神村 吏, “二輪車の車体運動解析および二輪車による道路路面調査のためのセンシング機器の設計と試作,” 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル ( DICOMO2014 ) シンポジウム論文集, pp. 36-43, 2014.