

3次元時空間可視化によるドライブレコーダデータからの危険領域探索

伊藤 正彦^{†,††} 横山 大作[†] 豊田 正史[†]

[†] 東京大学生産技術研究所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

^{††} 情報通信研究機構ソーシャル ICT 推進研究センター 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

E-mail: †{imash,yokoyama,toyoda}@tkl.iis.u-tokyo.ac.jp

あらまし 交通事故を予防するために、多くの自治体が聞き込み調査等でヒヤリハット地図を作成しているが、広い範囲における時間まで考慮したヒヤリハット地図を作成することは従来困難であった。近年、運送会社などでは安全運転促進の目的でドライブレコーダを導入し、多くの操作ログが利用可能になりつつある。ドライブレコーダのデータを用いることにより、どの場所で、どの時間帯にどのような運転操作が発生するか解析可能になる。本稿では、ドライブレコーダデータに含まれるハンドル操作やブレーキ操作などの操作ログを時空間的に探索し、そこから要注意領域を発見するための可視化・探索インタフェースを提案する。インタラクティブな3次元可視化時空間を用いることにより、詳細な情報が探索可能になる。実データとして、佐川急便株式会社の文京営業所のドライブレコーダデータ約1ヶ月分を用いて検証を行った。

キーワード ドライブレコーダ, 交通ビッグデータ, 時空間探索, 3次元情報可視化, ヒヤリハット地図

1. はじめに

総務省の統計によると平成25年の全国の交通事故は629,021件発生^(注1)しており、年々減少傾向にある^(注2)とはいえ、毎年多くの人が交通事故により負傷もしくは死亡している。

事故を予防するために、多くの自治体が、実際の交通事故発生地点と、歩行者、自転車利用者および自動車のドライバーなどからアンケート等で収集した「ヒヤッとしたりハットした箇所」を集めたヒヤリハット地図を作成し配布している。しかしながら、現状のヒヤリハット地図はボランティアを用いて小中学校まわりの調査を行ったものがほとんどであり、利用可能な領域が限られている。また、実際の事故発生地点以外の情報は記憶を頼りに記録されており、正確な状況を反映することが難しい。交通事故は時間帯や天候により発生状況が異なることがよく知られているが、現状のヒヤリハット地図には地理情報以外の環境要因は含まれていない。

業務の大半を車による移動で行う運送会社などの事業者にとって事故率を減らすことは業務の根幹に関わる問題であり、安全教育マニュアル^(注3)などの教育や、映像記録型ドライブレコーダを導入することにより、ドライバー個別の運転診断を行い安全運転意識を持たせ、事故率を減らす努力をしている。

個別のドライバーの日々の運転傾向ではなく、多くのドライバーの長期に渡る運転のデータをまとめて解析することにより、広大な時空間領域における要注意領域抽出が可能になる。抽出された要注意領域およびそれらの詳細情報は、事業者およびドライバーの安全運転教育へ役立てることが出来る。また、要注意領域として抽出された要因を詳細に調査することにより、道

路や街作りの構造上の問題を発見することも可能になり、交通事故を減らすための都市開発に役立てられる。

本稿では、ドライブレコーダデータに含まれるハンドル操作やブレーキ操作などの操作ログを用いて運転上注意すべき領域を抽出することにより、今まで経験則で作っていたようなヒヤリハット地図を生成することを目指す。そのために、まず、次々と収集されるドライブレコーダデータおよび実際の事故発生情報を用いて各操作の要注意度を算出するための指標を求め探索インタフェースを提案する。次に、算出した注意度により操作ログの時空間可視化を行い、要注意領域を発見するための3次元可視化探索環境を提案する。さらに、要注意領域に関して、具体的にどのような状況が起こっているのか詳細探索を可能にする3次元探索インタフェースを提案する。実データとして、佐川急便株式会社の文京営業所のドライブレコーダデータ約1ヶ月分を用いて検証を行った。

車載GPSデータなどの位置情報を用いた時空間探索システムとしては様々な2次元可視化システム[1],[2],[3],[4]および3次元可視化システム[5],[6],[7]が提案されているが、道路等の混雑状況探索や車や物資等の移動状況探索を目的としたものがほとんどである。Andrienkoらは、移動軌跡をクラスタリングすることにより特定の場所に繰り返し現れるイベントを抽出し[4]、3次元空間への可視化を行っている[5]。SAFETY MAP^(注4)は2次元地図上に事故発生箇所および急ブレーキ発生箇所をプロットしている。しかしながらこれらはイベント発生箇所と実際の事故発生箇所の関係性を利用した要注意領域抽出および探索のための仕組みは提供していない。ドライブレコーダから得られたハンドル操作やブレーキ操作などの複数の操作ログを用いることにより、注意すべき領域を探索可能にし、さらには運転軌跡データなどを用いた詳細な探索調査を実現する

(注1) : <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001117549>

(注2) : <http://www.stat.go.jp/data/nihon/zuhyou/n2602300.xls>

(注3) : 国土交通省安全教育マニュアル <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03safety/instruction.html>

(注4) : <http://www.honda.co.jp/safetymap/>

3次元時空間可視化システムは著者らの知る限り存在しない。

2. 探索システム全体像

図5に提案時空間ヒヤリハット地図生成探索システムのフレームワーク全体像を示す。

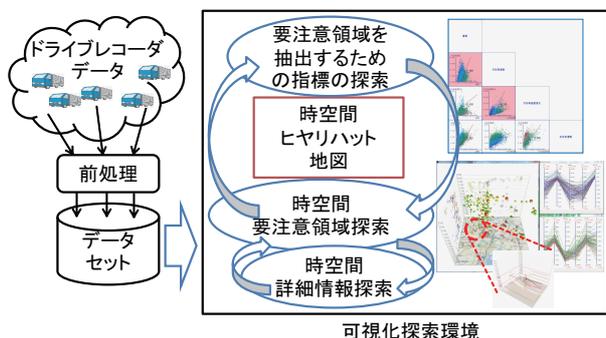


図1 時空間ヒヤリハット地図生成探索フレームワーク全体像

運送業務車両などから日々収集されるドライブレコーダデータの中には、様々なノイズデータ（時刻や座標が明らかに収集範囲外のものなど）が含まれるため、まず、前処理としてこれらを除く。また、本稿で用いるハンドル・ブレーキ操作ログには出庫経過時間は含まれるが、具体的な時刻情報が含まれないため、時刻情報の挿入を行い探索に用いるデータセットを生成している。データセットの詳細は3.節で述べる。

次に、要注意領域を抽出するための要注意度算出指標の定義を行う。そのために、自治体などが配布しているヒヤリハット地図のエリアごとの事故件数と、同じエリア内の操作ログから算出された値の相関が高くなるような指標を可視化を用いた探索インターフェースにより求める（4.節）。

上記で求めた指標を用いて各操作ログの要注意度を算出し、3次元時空間に可視化する。さらに、ダイナミックエリにより、運転上注意を要した方が良く考えられる場所および時間を対話的に探索する。要注意領域の3次元時空間可視化と探索に関する詳細は5.節で述べる。

さらに、探索した要注意領域に関して、実際にどのような運転が行われる傾向があるのか詳細な調査を行うことが可能である。詳細情報探索に関しては5.1節で詳しく述べる。

3. データセット

本稿では実験データとして、佐川急便株式会社の文京営業所管内の約80人のドライバーによるドライブレコーダ実データ約1ヶ月分（2014年7月21日から2014年8月20日まで）を株式会社データ・テックの協力のもと収集し用いている。データ・テック社の開発したドライブレコーダ^(注5)は前後加速度計、左右加速度計、方位ジャイロ、およびGPSを搭載しており、本稿では、ドライブレコーダから取得出来るデータのうち、0.5秒ごとに記録される軌跡データを含む経路走行データおよびブレーキ操作やハンドル操作など運転操作の発生時に記録される

(注5) : セイフティレコーダ”SRVideo”,
<http://www.datatec.co.jp/safetyrecorder/>

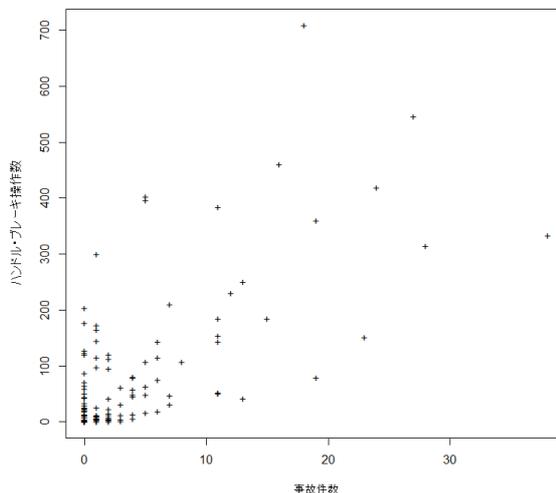


図2 ブレーキ・ハンドル操作ログ数-事故件数の相関図

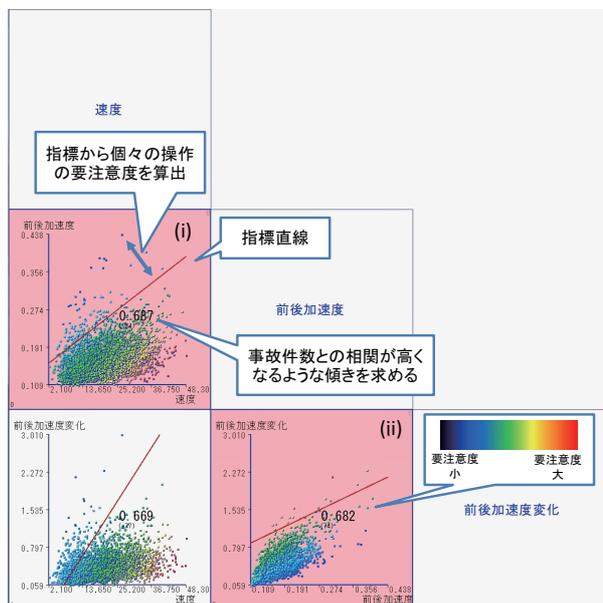


図3 ブレーキ操作における指標探索の例

操作ログを用いる。これら生データから、ノイズ除去および出庫経過時間から時刻情報への変換処理を行ったデータをデータセットして用いている。

今回用いたデータセットの種類、データ数、属性一覧を表1にまとめた。

4. 要注意領域を抽出するための指標の探索

ブレーキ操作およびハンドル操作の各属性値に基づいて要注意度を算出するための指標を求める。そのために、実際に事故が発生した場所を運転上注意を要する場所と考え、各領域における事故発生件数と同領域内操作ログから算出した要注意度の相関が高くなるような指標を探索する。

今回、基準となる事故発生データとして、向丘・弥生・根津・千駄木地区のヒヤリハット地図^(注6)にプロットされている平成

(注6) : 文京区, 向丘・弥生・根津・千駄木地区コミュニティ・ゾーン整備
<http://www.city.bunkyo.lg.jp/bosai/doro/jigyoo/community/>

表 1 データセットの詳細

種類	サイズ (プロット数)	属性
経路走行データ	約 1 千 750 万	日付、時刻、出庫経過時間、緯度、経度、GPS 速度、車速パルス速度、等
ブレーキ操作	約 10 万	日付、出庫経過時間、時刻、緯度、経度、速度、前後加速度、前後加速度変化 (前後加速度の時間微分)
ハンドル操作	約 12 万	日付、出庫経過時間、時刻、緯度、経度、速度、方位角速度、方位角速度変化 (方位角速度の時間微分)、左右加速度

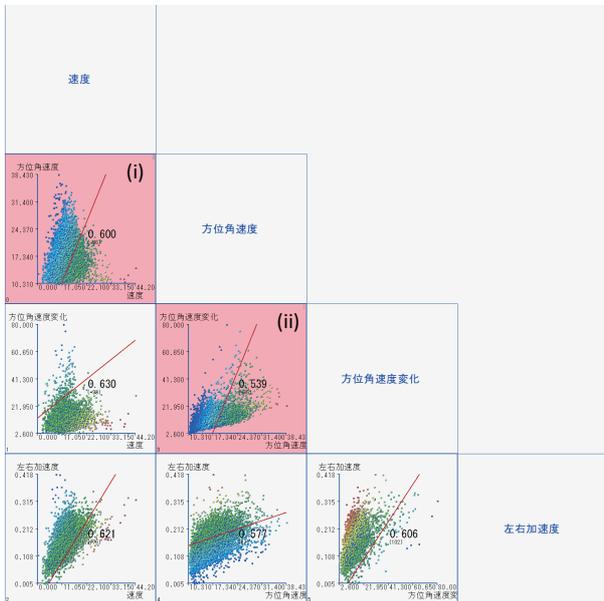


図 4 ハンドル操作における指標探索の例

18 年から平成 24 年までの交通事故発生箇所約 500 件を用い、100 メートルグリッドごとに件数をカウントした。予備調査として、同じ 100 メートルグリッド内のブレーキ操作ログ件数およびハンドル操作ログ件数をカウントし、それらの合計と事故件数との相関係数を計算したところ 0.672 となり、高めの正の相関があることが確認出来た^(注7)。図 2 にブレーキ・ハンドル操作ログ数と事故件数の相関図を示す。

図 3 および図 4 に散布図行列を応用した指標探索のインタフェースを示す。各散布図行列内のひとつひとつの散布図では、任意の 2 属性を軸とした空間中に上記ヒヤリハット地図と同範囲内の操作ログをプロットし、指標直線からの距離を各プロットの要注目度とする。100 メートルグリッドごとにプロットの要注目度の合計を求め、事故件数との相関係数を求める。直線を回転することにより、各プロットの値は変化し、それに応じて相関係数も変化する。ヒヤリハット地図作成ユーザは、最も相関が高くなるように直線の回転を行うことにより、各プロットの要注目度を算出することができる。また、ユーザ独自の観点から指標直線を設定することも可能である。

図 3 (i) は、ブレーキ操作に関して、速度を X 軸、前後加速度を Y 軸に設定した場合の指標探索の例を示している。ユーザはインタラクティブに指標直線を回転させることができ、それ

に応じて各プロットの値が更新され、プロットの色もそれに応じて変化する。同時に算出された相関係数は散布図の中央に表示される。これを散布図行列をベースにしたインタフェースを用いることで、複数の軸の組み合わせで行い、複数の指標を探索可能にする。

上記の手法で求めた指標により各操作ログプロットの要注目度を算出し、5. 節で説明する 3 次元時空間可視化環境での要注目領域探索に利用する。ユーザは、探索した指標のうち任意の指標のみを選択し利用することが出来る (例: 図 3 および図 4 におけるピンクにハイライトした散布図の指標)。

5. 3 次元時空間探索環境

4. 節で求めた指標および要注目度を用いて各操作ログを時空間に可視化し、そこからより注意が必要と考えられる場所および時間を探索可能にする可視化環境を提案する (図 5)。

本稿では、X-Y 平面を地理空間、高さ方向を時間軸とした 3 次元空間を用いて時空間情報の可視化を行う。

時空間情報を可視化する手法としては 2 次元空間を用いる手法と 3 次元空間を用いる手法がある。2 次元空間を用いる場合には、時間はスライドにより操作したり、複数 2 次元平面を利用することで時間変化を表現する手法が一般的である [1], [2], [3], [4]。3 次元空間を用いる場合は、3 次元空間の高さ軸を時間軸として用いる手法が一般的である [5], [6], [7]。Amini らは、移動体情報の時空間可視化に関して、様々なタスクにおける 2 次元可視化と 3 次元可視化の効果を比較した [8]。例えば「緑色のオブジェクトが 12 時から 14 時半の間にどこに存在するか?」のような時間も場所も単一で固定済みな単純なタスクの場合は 2 次元可視化を利用した方が効率的な探索が可能であるが、オブジェクト・時間・場所に関して不明な点が増える複雑なタスクに関しては、3 次元可視化を利用した方が効率的な探索が行えると結論づけている。本稿における時空間探索では、オブジェクト・時間・場所が特定されていない複雑な探索を行う必要があり 2 次元可視化環境よりも 3 次元可視化環境を用いる方が適切と考えられる。

各ブレーキ操作およびハンドル操作は、緯度、経度、および時間に対応した 3 次元空間中の位置に球状のオブジェクトとして配置される。ブレーキ操作オブジェクトのみの表示 (図 5 (a))、あるいはハンドル操作オブジェクトのみの表示 (図 5 (b))、もしくは両方の重畳表示 (図 5 (d)) などは自在に切り替え可能である。各オブジェクトのサイズおよび色は指標もしくは属性に対応付けできる。本稿の例では、以下のように対応付けているが任意の対応付けが可能である。

mukougaoka.html

(注7) : ブレーキ操作ログ件数のみの場合の相関係数は 0.659、ハンドル操作ログ件数のみの場合の相関係数は 0.610 となった。

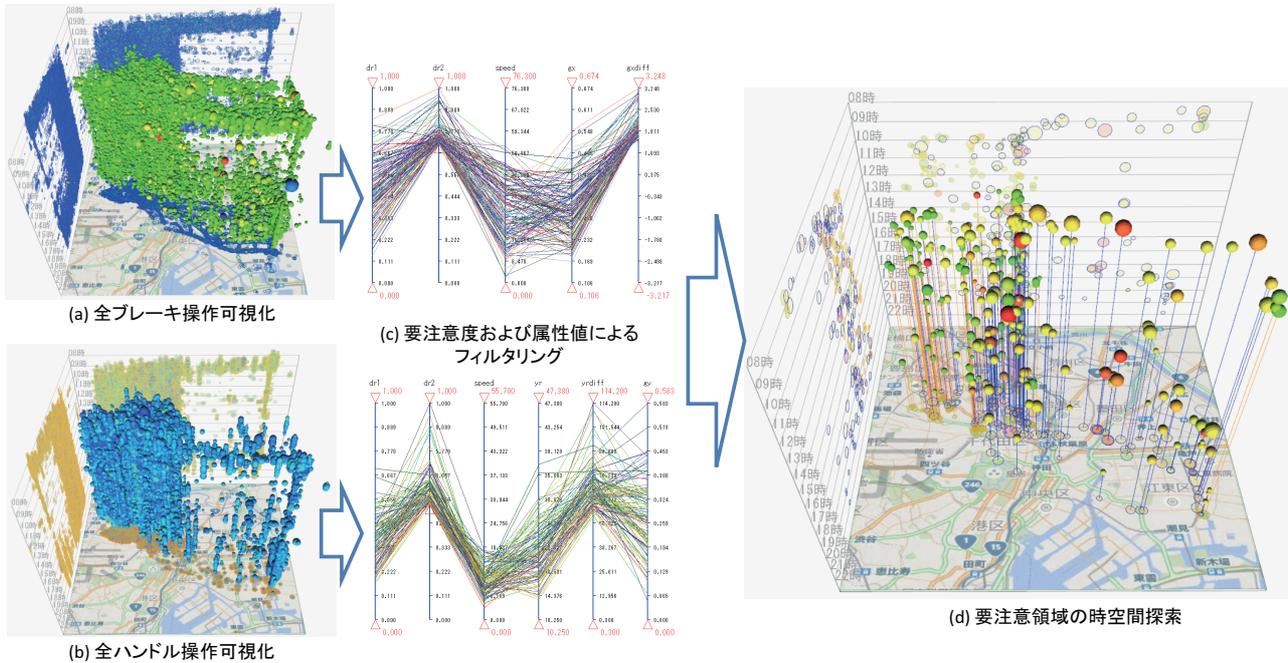


図 5 3次元時空間探索環境

- ブレーキ操作オブジェクトのサイズ：図 3 (i)
- ブレーキ操作オブジェクトの色：図 3 (ii)
- ハンドル操作オブジェクトのサイズ：図 4 (i)
- ハンドル操作オブジェクトの色：図 4 (ii)

3次元可視化空間は、直接操作によりパン、ズーム、回転を行え、任意の視点から観測が可能である。

地理平面には BingMap^(注8) から取得した地図画像を表示している。本稿の事例では道路地図を用いている。地理平面の表示領域もズーム、パンの操作が可能で、操作に応じて適切な場所、拡大レベルの地図画像を取得し表示している。

時間軸は、1時間ごと、1日ごと、1週間ごと、1ヶ月ごと、1年ごとなど様々なレベルの目盛に変更可能である。時間は上から下に増加するように空間を利用している。本稿では、1ヶ月分の全操作を1日単位で集約し1時間目盛で時間ごとの傾向を探索可能にしているが、特定の日の操作のみを表示し、詳細を探索することも可能である。

3次元空間を用いた可視化では、詳細な位置および背後にあるオブジェクトの情報が得にくという短所がある。Ritterらの Illustrative Shadows [9] は、3次元空間に補助平面を配置し、立体オブジェクトに関する補足情報などを描画することで3次元可視化による情報探索を支援している。本稿で提案する3次元可視化空間では、地理平面に加えて、左と奥に時間平面を設定し、様々な情報を投影可能にする。また、オブジェクトの位置および時間の特定を補助するための補助線を地理平面および時間平面に対して引くことが出来る。図 5 (d) の例では、各操作オブジェクトの影を地理平面および時間平面に描画している。同時に、地理平面に対する補助線を引くことで、どの領域に操作オブジェクトが集中しているか探索可能にしている。地理平

面もしくは時間平面に、影を投影するもしくは補助線を引くかはユーザが対話的に選択できる。影の枠および補助線には、ブレーキ操作とハンドル操作に応じた色を用いている。本稿の例では、ブレーキ操作に対しては青、ハンドル操作に対してはオレンジを用いているが、任意の色に変更可能である。

Parallel Coordinate View ダイアログ (PCV ダイアログ) を用いたダイナミッククエリにより、要注目度もしくは属性値の高い操作のみを表示するなどの探索が可能である (図 5 (c))。PCV ダイアログの各軸には、4. 節で選択した指標を属性の一つとして、利用できる。図 5 (c) の例では、図 3 および図 4 で選択した4つの指標を用いている。要注目度の他に各操作の属性も PCV ダイアログの軸として利用可能である。PCV ダイアログに引かれる折れ線はそれぞれ操作を表す。

5.1 詳細情報探索

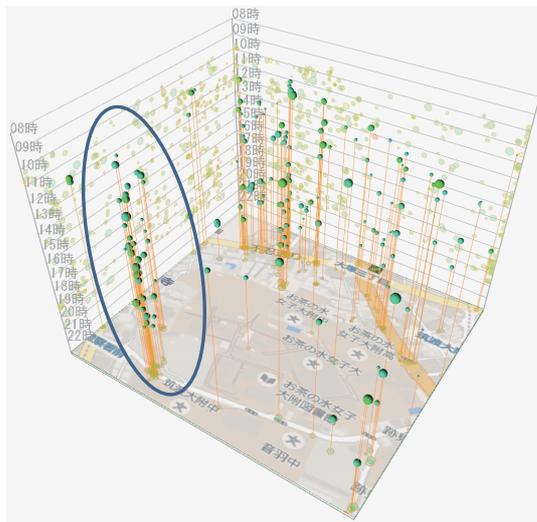
前節で探索した要注目領域に関して、抽出された操作に関する詳細な軌跡情報を表示することにより、具体的にどのような運転が行われたのか詳細探索を可能にする (図 6)。より細かい領域、時間に限定した詳細を探索するために、地理平面における領域選択、および、時間平面における時間範囲の選択を可能にしている。選択された領域は図 6 (b) の例のように赤で示される。

各操作に関する軌跡は、任意の時間分表示可能である。図 6 (b) の例では、操作の前後 10 秒間表示している。赤は操作の前 10 秒の軌跡、黒は操作の後 10 秒の軌跡を表す。軌跡は地理平面および時間平面に影としても表示でき、詳細な観測を可能にする。

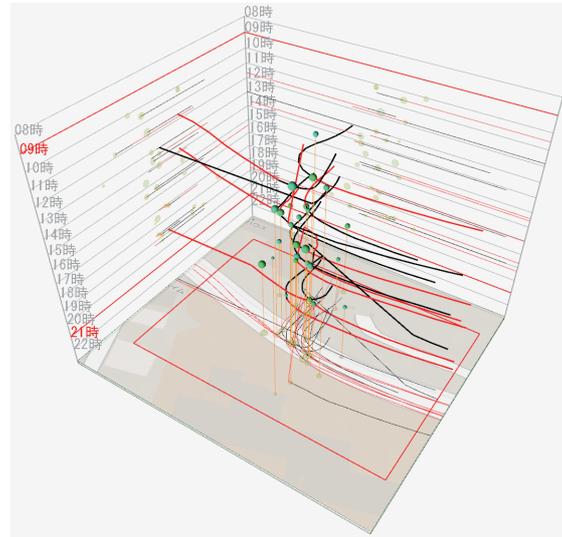
6. 探索事例

図 7 は、基準とした向丘・弥生・根津・千駄木地区のヒヤリハット地図と提案手法を用いて発見した要注目領域の比較である。図より、実際の事故発生箇所と同一の領域が要注目領域と

(注8) : <http://www.microsoft.com/maps/>

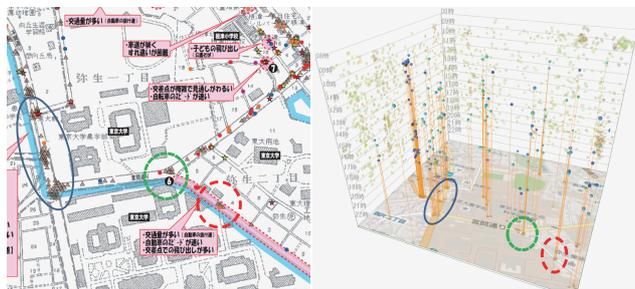


(a) 要注意度によるハンドル操作プロットの絞り込み



(b) 時間と位置を絞り込み詳細探索

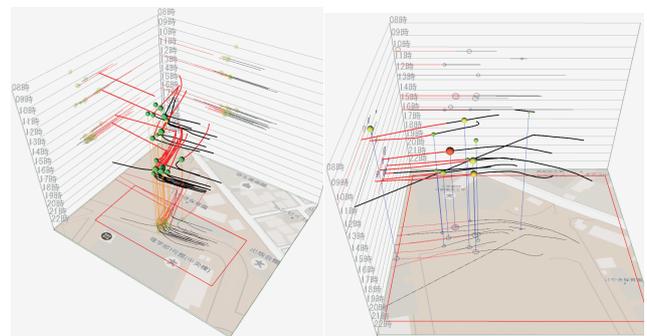
図 6 時空間要注意領域の詳細探索



(a) 向丘・弥生・根津・千駄木地区のヒヤリハットマップより

(b) ハンドル操作ログから探索した要注意領域

図 7 実際の事故発生箇所と抽出した要注意領域との比較



(a) ハンドル操作から探索した弥生門直後の要注意領域

(b) ブレーキ操作から探索した弥生門手前の要注意領域

図 8 大学構内の出入口周辺の例

して見つけられていることが分かる。以下、本節では実際の要注意領域探索事例を紹介する。これらの事例より、操作に前後する軌跡、地図から分かる道路構造および周辺の環境から、要注意領域として抽出された要因を詳細に調査可能であることが分かる。

東京大学本郷キャンパス内では、特に多くの要注意領域が見られた。図 8 は、東京大学本郷キャンパスの弥生門周辺のハンドル操作およびブレーキ操作の詳細を可視化した例である。図 8 (a) はハンドル操作に関して探索した事例である。この例では、大学の外から門を通過し左折するルートが要注意領域として探索されている。時間的に特定の時間帯に集中しているが、東大内の集配業務の時間帯が固定しているためと考えられる。一方、図 8 (b) はブレーキ操作に関して探索した事例である。この例では、大学構内から門の方へ向かうルートの直前が要注意領域として探索されている。この例でも時間帯が固定しており、上記ハンドル操作の事例と同じ要因と想定される。

大きな通りから細い路地や施設の入り口に進入するような場所では、注意を要する領域として抽出されることが多い。図 9 (a) および図 6 (b) は、大きな通りから細い路地やビルの入り口に進入するルートが抽出された一例である。図 9 (a) の場合、朝方にハンドル操作が集中して発生していることが分

かる。図 6 (b) の場合には、時間帯により進入方向の傾向が異なっている。

図 9 (b) の例では、ごく普通の交差点において多くのブレーキ操作が観測されており、詳細を調査したところ、一方通行のため南から北上している車は左折しか出来ない構造になっていることが判明した。また、google ストリートビューで道路の詳細を調査したところ、狭く急な坂道となっており、視界の悪い坂を登り切ったところに左折しか出来ない交差点があることから、ブレーキ操作が多発していると考えられる。図 9 (c) の例では、直進している道路上にブレーキ操作が多発している。地図および運転軌跡により詳細を探索したところ、南進してきたドライバーが特定の門の前でブレーキ操作を行っていることが分かった。さらに現場を google ストリートビューで調査したところ、人間が入り出す門はドライバーの視界には入らない環境になっていることが確認出来た。図 9 (d) の例では、狭い道を右折した直後にブレーキ操作が多発している。地図からはブレーキ操作が多発した要因を特定することが困難であったが、google ストリートビューでブレーキ操作が多発した周辺を確認したところ、非常に視界の悪い場所に駐車場およびマンションの出入りが存在することが確認された。

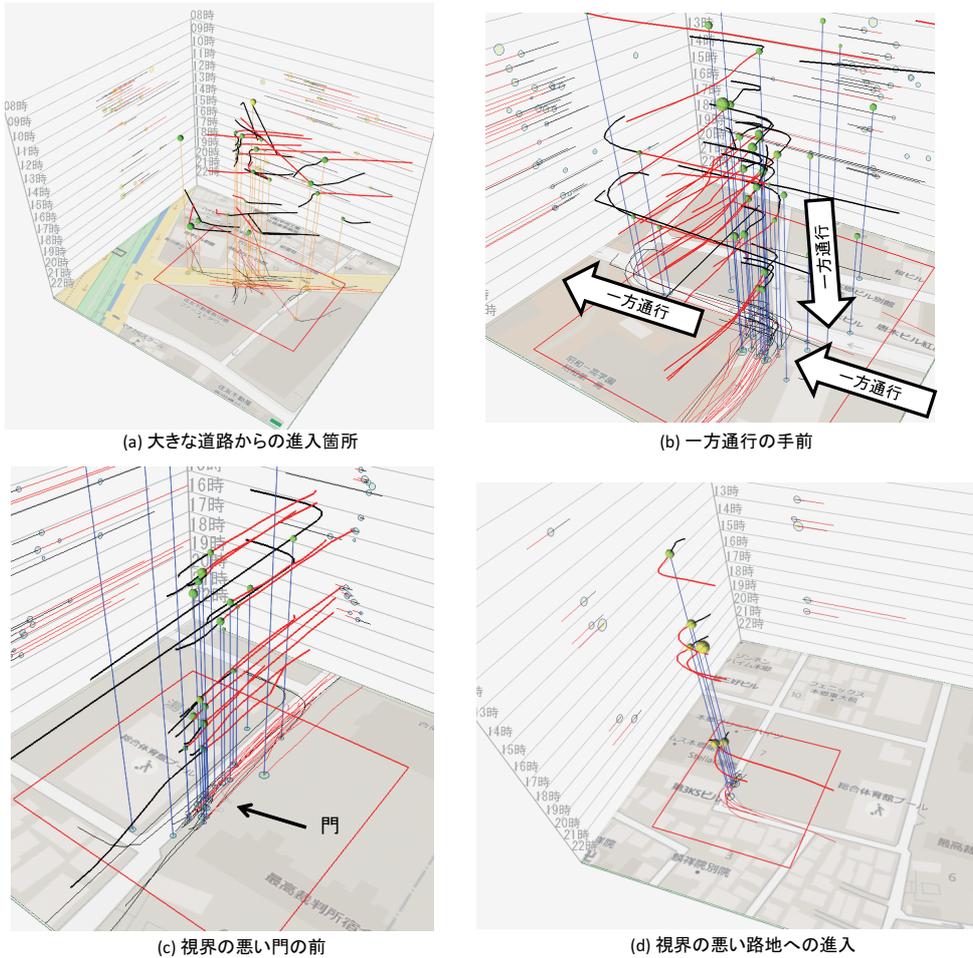


図 9 様々な要注意領域の探索事例

7. まとめと今後の課題

本稿では、ドライブレコーダデータを用いることにより、広い範囲における時間までも考慮した運転上注意を要する領域の探索を可能にする可視化探索インタフェースを提案した。提案システムを利用することで、今までアンケート調査などにに基づき手作業で作成していたようなヒヤリハット地図を、専門家が実データに基づき生成出来る可能性を示せた。発見された要注意領域の詳細情報は、運送業者などのドライバー教育等にも利用可能である。さらに、要注意領域として抽出される原因等を具体的に探索出来るため、得られた知見を都市開発等に生かしていくことも可能である。

今回探索された事例の中には、個々のドライバーの配達時間および配達ルートに依存しているような例も多く見られる。より一般的な時空間地図を生成するためには、より長期的なデータが必要になる。

今後の課題としては、より長い期間のデータの利用、他の種類の操作ログ（交差点操作、停止操作）の利用といったデータの拡張を行う。さらに、天候データ等を利用することで、天気ごとのヒヤリハット地図を生成する手法を検討する。また、図 9 の例からも標高情報、要注意領域周辺の画像情報などが道路状況の詳細探索に有用であることが分かっており、これらの

利用を検討する。

謝 辞

本研究の一部は文部科学省による「ビッグデータ利活用のための研究開発：実社会ビッグデータ利活用のためのデータ統合・解析技術の研究開発」の助成を受けたものです。特に、佐川急便株式会社および株式会社データ・テックからは貴重なドライブレコーダデータをご提供頂き、ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- [1] Zuchao Wang, Min Lu, Xiaoru Yuan, Junping Zhang, and Huub van de Wetering, "Visual Traffic Jam Analysis Based on Trajectory Data", In *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, 19(12), pp.2159–2168, 2013
- [2] Nivan Ferreira, Jorge Poco, Huy T. Vo, Juliana Freire, and Cláudio T. Silva, "Visual Exploration of Big Spatio-Temporal Urban Data: A Study of New York City Taxi Trips", In *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, 19(12), pp.2149–2158, 2013
- [3] Harish Doraiswamy, Nivan Ferreira, Theodoros Damoulas, Juliana Freire, and Cláudio T. Silva, "Using Topological Analysis to Support Event-Guided Exploration in Urban Data", In *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, 20(12), pp. 2634–2643, 2014
- [4] Gennady L. Andrienko, Natalia V. Andrienko, Salvatore

- Rinzivillo, Mirco Nanni, Dino Pedreschi, and Fosca Gian-notti, “Interactive Visual Clustering of Large Collections of Trajectories”, In *Proc. VAST '09*, pp.3–10, 2009
- [5] Gennady Andrienko, Natalia Andrienko, Christophe Hurter, Salvatore Rinzivillo, and Stefan Wrobel, “From Movement Tracks through Events to Places: Extracting and Characterizing Significant Places from Mobility Data”, In *Proc. VAST 2011*, pp. 161–170, 2011
- [6] Thomas Kapler, and William Wright, “GeoTime Informa-tion Visualization”, In *Proc. INFOVIS '04*, pp. 25–32, 2004
- [7] Tao Cheng, Garavig Tanaksaranond, Chris Brunsdon, and James Haworth, “Exploratory Visualisation of Congestion Evolutions on Urban Transport Networks”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 36(0), pp. 296–306, 2013
- [8] Fereshteh Amini, Sébastien Rufiange, Zahid Hossain, Quentin Ventura, Pourang Irani, and Michael J. McGuf-fin, “The Impact of Interactivity on Comprehending 2D and 3D Visualizations of Movement Data”, In *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, 21(1), pp. 122–135, 2015
- [9] Felix Ritter, Henry Sonnet, Knut Hartmann, and Thomas Strothotte, “Illustrative Shadows: Integrating 3D and 2D Information Displays”, In *Proc. of IUI '03*, pp. 166–173, 2003