

G空間プラットフォームにおけるリアルタイム情報の 利活用技術に関する研究開発

Research and development of techniques about use and application of
real-time information in G-space platform

研究代表者

菅原 敏 株式会社 日立製作所
Satoshi Sugawara, Hitachi,Ltd.

研究分担者

関本 義秀[†] 西山 智^{††} 小野 智弘^{†††} 富田仁志^{††††}

Sekimoto Yoshihide[†] Satoshi Nishiyama^{††} Chihiro Ono^{†††} Hitoshi Tomita^{††††}

[†]国立大学法人 東京大学 ^{††}KDDI 株式会社 ^{†††}株式会社 KDDI 総合研究所 ^{††††}株式会社 日立製作所

[†]The University of Tokyo ^{††}KDDI CORPORATION ^{†††}KDDI Research,Inc. ^{††††}Hitachi,Ltd.

研究期間 平成 26 年度～平成 27 年度

概要

大規模災害時には、防災機関が救助部隊の派遣や広域応援の要請、初動活動のため、迅速な被害状況把握が重要である。そのため、本研究開発では、スマートフォンやセンサネットワークが時々刻々と生成する大規模な G 空間情報を利活用するための G 空間情報の「リアルタイム処理技術」、「高速時空間検索技術」及び「複数種類の G 空間データの統合解析技術」を開発した。併せて研究開発技術の防災分野における有効性を有識者や関係機関の関係者に評価頂くため、首都直下地震での延焼火災を想定した統合実証実験を行い、研究開発技術の普及展開・実用化に向けた課題を明確にした。今後、成果の普及展開活動を継続していく。

1. まえがき

我が国は、その位置、地形、地質、気象などの自然的条件から、台風、豪雨、豪雪、洪水、土砂災害、地震、津波、火山噴火などによる災害が発生しやすい国土となっている。平成 23 年に発生した東日本大震災や平成 28 年に発生した熊本地震などは、甚大な被害をもたらしたことから我々の記憶にも新しい。また今後も、首都直下地震や南海トラフにおける巨大地震、富士山の噴火など大規模な自然災害の発生が示唆されている。

一方、スマートフォンやセンサネットワークが時々刻々と生成する大規模な G 空間情報（以下、「動的 G 空間情報」という）の利活用により、災害に強い社会の実現など

が可能になると期待されているが、大規模な動的 G 空間情報をリアルタイムで利活用するための技術基盤は開発されていなかった。

このような背景から本研究開発では、大規模な動的 G 空間情報を利活用するための基盤技術として、「リアルタイム処理技術」、「高速時空間検索技術」、「複数種類の G 空間データの統合解析技術」の研究開発に取り組んだ。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発では、大規模な動的 G 空間情報をリアルタイムで利活用可能な基盤技術の実用化に向けた技術を開発した。図 1 に研究開発課題の関係を示す。

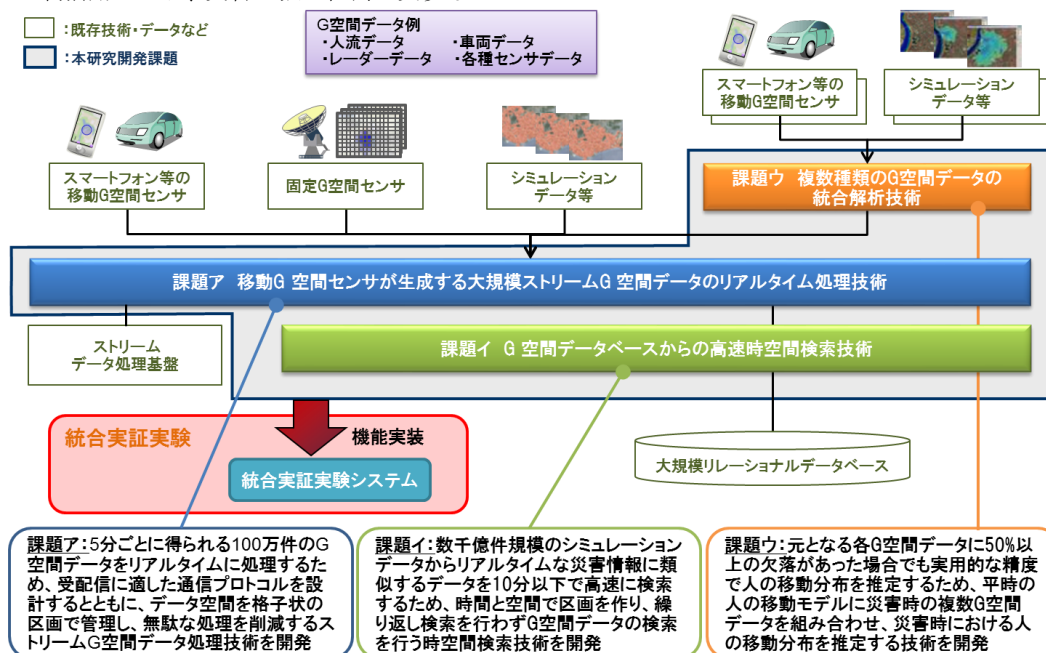


図 1 研究開発課題の関係

課題ア 移動 G 空間センサが生成する大規模ストリーム G 空間データのリアルタイム処理技術

(1) 課題ア-1 大規模ストリーム G 空間データの収集・配信に適した通信プロトコルの設計

移動 G 空間センサ（スマートフォンや通信カーナビなどの移動しながら G 空間データを送信するセンサ）および固定 G 空間センサ（雨量計や降雨レーダーなどの特定の観測地点や観測地域の G 空間データを送信するセンサ）によって得られるストリーム G 空間データ（移動 G 空間センサや固定 G 空間センサから、逐次的に収集される大規模な G 空間データ）を遠隔地にあるコンピュータに収集し、G 空間データベースサーバから外部へ情報を配信するのに適した効率的なアプリケーション層の通信プロトコルを設計した。

具体的には G 空間データの収集に適した通信プロトコルについて、複数の既存通信プロトコルの比較検討、及び基本的な通信性能の評価を実施し選定した通信プロトコルに基づく収集インタフェース（機能）仕様案を設計した。G 空間データの配信に適した通信プロトコルについて、Open Geospatial Consortium（地理空間情報分野における国際標準化団体）の標準仕様で対応できることを確認し、その標準仕様に基づく配信インタフェース（機能）仕様案を設計した。これらを取り纏め受信インタフェースの標準仕様案を作成し、さらに Open Geospatial Consortium への本標準仕様案の提示を行った。

(2) 課題ア-2 大規模ストリーム G 空間データの処理技術

大規模なストリーム G 空間データ群（例：時々刻々と変化する人々の位置）に対して、それらの間の距離が閾値以上（或いは以下）であることを高速に判定する（例：孤立状況にある人を見つけ出す）リアルタイム処理技術を開発した。

具体的には空間を格子状の領域に分割して管理し、大規模なストリーム G 空間データ群の中から対象となる区画のデータのみをリアルタイムに処理する技術と処理を並列化する手法を開発した。開発技術を対象に、100 万人、密度 10,000 人/km² 規模の擬似的な位置データを用いた性能評価を実施した結果、4 並列処理を行うことで到達目標（3,000 件/秒）を 1.9 倍上回る 5,814 件/秒の処理速度を達成した。

課題イ G 空間データベースからの高速時空間検索技術

(1) 課題イ-1 大規模グリッドデータの検索技術

自然災害シミュレーションなどで一般的に用いられる、格子状に分布する G 空間データ（グリッドデータ）形式で蓄積された大規模なデータベース（例：様々な条件でシミュレーションされた火災延焼データ）から条件（例：災害時の断片的な災害情報）に合致する時空間シナリオ（例：火災による現在の延焼状況と今後の時間的推移）を高速に検索する技術を開発した。

具体的には空間を格子状の区画に分割すると同時に時刻も一定間隔で分割して得られる時空間区画を定義し、グリッドデータはそれぞれ所属する時空間区画の識別番号を用いて管理する高速な時空間検索機能を開発した。開発技術を対象に、10 億件以下のグリッドデータを用いた従来手法と提案手法との性能比較評価し、提案手法の有効性（従来比 190 倍高速化）を確認した。

また、500 億件規模のグリッドデータを用いた性能を評価した結果、検索処理時間は 23 秒を達成した。性能評価過程でグリッドデータの拡大に対する検索時間の増加傾向を見たところ、指数関数的な増加や線形的な増加の傾向は見られなかった。このことから試算した結果、データ量の増加に対し検索処理時間が線形的に増加したと仮定した場合でも 154 秒（到達目標の 3.9 倍高速化）と見積ることができ、実際に 5,000 億件規模のデータを用いた評価を行わずとも到達目標である 5,000 億件規模のデータから観測データに類似するデータを 10 分以内に検索できることを確認した。

(2) 課題イ-2 大規模 G 空間データに対する結合検索技術

移動 G 空間センサやシミュレーションなどから得られる大規模な人や車の位置情報（ポイントデータ）を高速に検索するとともに、時空間シナリオ（例：火災延焼推定データ）などのグリッドデータとの時間及び空間の重ね合わせを高速に処理（例：火災に遭遇している可能性のある人の数を推計）できる結合検索技術を開発した。

具体的にはグリッドデータと同様に、空間を格子状の区画に分割すると同時に時刻も一定間隔で分割して得られる時空間区画を定義、ポイントデータにおいてもそれぞれ所属する時空間区画の識別番号を用いて管理し、従来の結合検索技術をこの時空間区画にあわせて拡張することによって、時間とともに推移するデータの高速な結合検索技術を開発した。開発技術を対象に、10 件/時間のポイントデータと 25 万件/時間のグリッドデータを用いた従来手法と提案手法と性能比較評価し、提案手法の有効性（従来比 780 倍高速化）を確認した。また時間間隔の異なる 140 万件/分のポイントデータと 25 万件/時間のグリッドデータを用いた性能評価を実施した結果、到達目標である検索処理時間 10 分以内を上回る 147 秒（到達目標の 4.1 倍高速化）を達成した。

課題ウ 複数種類の G 空間データの統合解析技術

(1) 課題ウ-1 平時移動モデル生成技術

災害によってスマートフォンから得られる移動体の G 空間データが欠落し、移動体分布の推定が困難な状況においても、平時の交通調査データやスマートフォンから得られる移動体の G 空間データを用いた移動体分布を「平時移動モデル」として作成した。この平時移動モデルに災害時複数 G 空間データを組み合わせることで、災害時においても実用的な精度で移動体分布を推定できる平時移動モデル生成技術を開発した。具体的な成果は以下のとおりである。

① 移動体の G 空間データからの平時移動モデルの生成

移動体の G 空間データから、「主要滞在地の推定」「主要滞在地の意味推定」「主要滞在地間の移動手段推定」を行う技術を開発し、それらによるユーザ行動の推定結果から平時移動モデルを生成した。開発技術について個別に許諾を取得した au ユーザ数十万人規模且つ長期間に及ぶ G 空間データを用いて開発技術の評価を実施し、第 11 回大都市交通センサズデータと比較したところ、総サンプル数 110 万件で相関係数が 0.768 となり、一般的に強い相関があるとされる相関

係数値 0.7 を上回った。このため実用的な精度で移動体分布を推定するという到達目標を達成できたと考える。また、G 空間データの量を減らして精度を確認したところ、約 10 万サンプルのデータでも相関係数 0.772 となり、同様に 0.7 以上であることから十分な精度が実現できたと考える。さらに、夏冬のデータを比較し、また札幌と東京の 2 つの都市のデータを比較することで、地域や季節に係らず今回開発の平時移動モデル生成方式が適用できることを確認した。

② 交通調査データからの平時移動モデルの生成

統計データから得られるカテゴリごとの人口数と調整後の拡大係数のカテゴリごとの総和の一致、拡大係数が 0~100 という 2 つの制約のもとで、調整後のメッシュ人口と観測値の差が最小になるように線形計画問題として BFGS-L 法を用いて拡大係数を調整した。その結果、相関係数の時間平均が 0.58 から 0.65 に改善した。

この結果に対して、更に拡大係数の調整に加えて Earth Mover's Distance を算出する際に用いられる最適化手法を用いて初期分布を調整することで相関係数の時間平均が 0.58 から 0.84 に改善し、一般的に強い相関があるとされる相関係数値 0.7 を上回った。これにより目標としたバイアスが少なく、高いサンプル率で収集した過去の交通調査データを用いて拡大係数等を調整しながら、全体の分布バリエーションを構成する技術を確立した。

(2) 課題ウー 2 突発的なイベント抽出技術

平時移動モデルではユーザの日常的な行動のみが表現されており、イベントなどによるユーザの非日常的な行動が欠落する事から平時移動モデルのみを使用すると、実際の移動体による G 空間データ分布と異なる推定分布となる恐れがある。そこで推定値を補正し精度向上を図る為の要素技術として移動体の G 空間データの統計値からリアルタイムにイベントを抽出する技術を追加で開発した。

具体的には k-近傍による異常値検出手法の一種である LPE 法をベースにリアルタイム化した手法と、その教師データの自動生成手法を開発した。開発技術について個別に許諾を取得した au ユーザ数十万人規模の G 空間データを用いて評価を行い、500m メッシュでのユーザ分布推定値を用いて、関東圏の 2014 年度夏季だけで 209 件のイベントを検出し、最終目標である年間 30 件以上のイベント検出を実現した。検出失敗も考慮した F 値は 0.7 となり、従来方式である平均値を閾値とする統計的手法(F 値=0.62 より高性能であることを確認し、推定値の補正の為のイベントが検出できる事を確認した。

(3) 課題ウー 3 複数 G 空間データ統合技術

災害時にはデータが断片的にしか得られない可能性があるため、災害時の人の行動をモデル化して得られる推定値と、断片的な観測値等を組み合わせて高精度な推定結果を得る複数 G 空間データ統合技術を開発した。

具体的には新たなデータ同化手法であるナッジング項のある提案分布を持つ粒子フィルタを考案した。また、移動体の G 空間データとそれ以外のユーザ提供型 G 空間データを組み合わせた推定として、通信ログ (CDRs) にもとづく人口メッシュデータとユー

ザからの災害情報にもとづく、火災延焼推定データを組み合わせて、災害時における人流をリアルタイムに推定する統合解析技術を開発した。開発技術についてリアルタイムな移動体の G 空間データから、5 割を超える欠落が発生した場合欠損が無い場合のそれぞれのケースについて移動体分布の推定精度を評価し、50%の観測値がある場合でも、一部相関係数がわずかに 0.9 を下回る以外は評価した全ての時刻において相関係数 0.9 以上の精度を達成し、一般的に強い相関があるとされる相関係数値 0.7 を大幅に上回る精度であり、実用的な精度であるといえる。また、正解データと推定値の比較において、推定に必要な観測値に欠落が無い場合の相関係数は 0.96 以上と非常に高く、実用的な精度を実現している。また観測値に 50%の欠落があった場合でも相関係数は 0.9 を超えた値を維持しているため、観測値に 50%程度の欠落がある状況下でも実用的な精度が維持できている。

統合実証実験

現実的・実践的な利活用シーンを想定した統合実証実験シナリオに基づき、研究開発技術を実装した統合実証実験システムを構築し、統合実証実験を実施した。また、統合実証実験システムにおいても到達目標を達成する性能が得られる事を確認した。

具体的には総務省の調査結果を参考に統合実証実験シナリオを策定し、有識者から頂いた意見をシナリオに反映する事で最終的な統合実証実験シナリオを策定した。次にこのシナリオに基づき研究開発技術を統合実装した統合実証実験システムを構築した。図 2 に統合実証実験システムのシステム構成を示す。

統合実証実験では、有識者や防災関係機関等の 108 名の方々にデモンストレーションを見て、業務での有効性や技術的課題等を評価頂き、統合実証実験により災害時の初動対応支援の迅速化などを実現するうえでの ICT 基盤技術として有効であることを確認頂いた。また、統合実証実験の結果を整理・分析することで、普及展開・実用化に向けた課題を抽出し、課題の解決に向けた対応指針を明確化した。

統合実証実験の様子を図 3 に示す。また統合実証実験デモ画面の例を図 4~6 に示す。

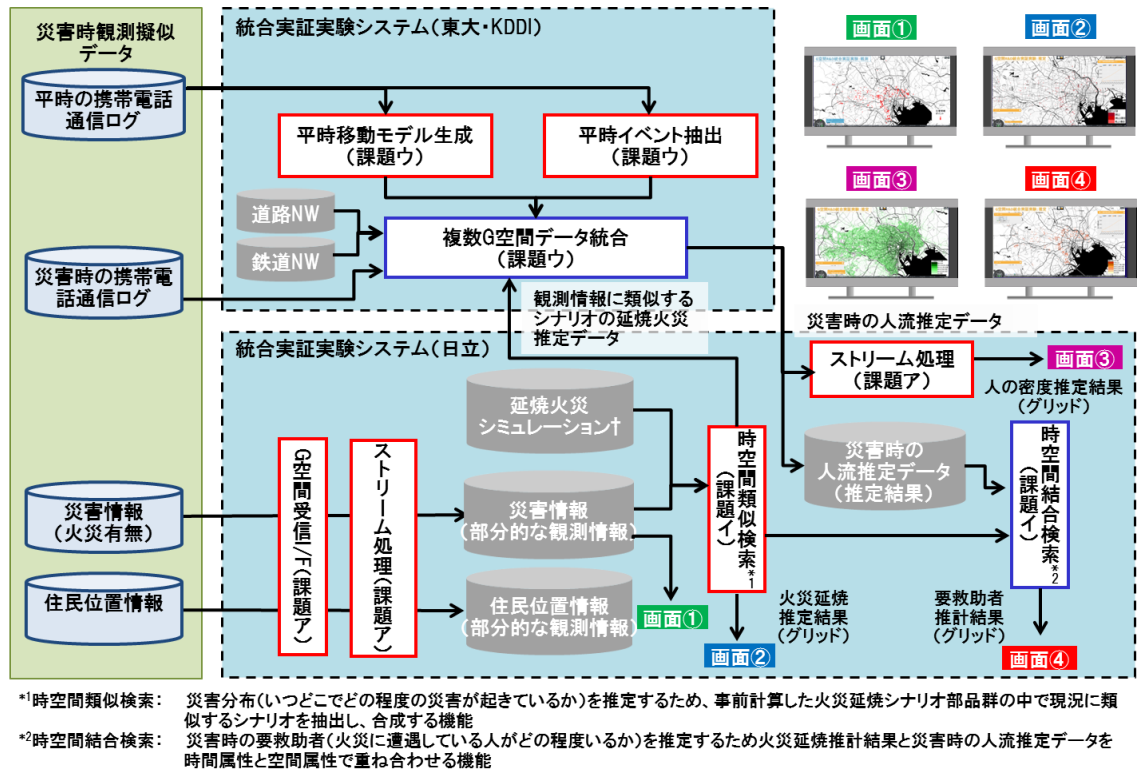


図2 統合実証実験システムのシステム構成

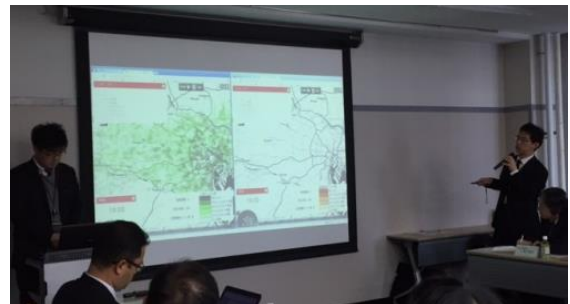


図3 統合実証実験の様子



(c) Map tiles by Stamen Design, under CC BY 3.0. Data by OpenStreetMap, under CC BY SA.
 図4 統合実証実験デモ画面例 (人の密度推定結果表示画面)



(c) Map tiles by Stamen Design, under CC BY 3.0. Data by OpenStreetMap, under CC BY SA.
 図5 統合実証実験デモ画面例 (火災延焼推定結果表示画面)



(c) Map tiles by Stamen Design, under CC BY 3.0. Data by OpenStreetMap, under CC BY SA.
 図6 統合実証実験デモ画面例 (要救助者推計結果表示画面)

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

(1) 研究開発成果の実用化・事業化

本研究開発成果である「高速時空間検索技術」を用いたプラットフォーム製品（Geomation Option for Hitachi Advanced Data Binder プラットフォーム）を核に、プラットフォーム事業者や防災関係機関などへの拡販を進めていく。また、「複数 G 空間データ統合技術」についてはオープンソース化に向けた取り組みを継続し、政府が整備を進める「G 空間情報センター」への研究開発成果の適用を提案していく。

(2) 国際標準化

研究開発した G 空間データの受信に適した通信プロトコルについて、Open Geospatial Consortium での配信インタフェースの標準化を進める。配信インタフェースについては標準仕様案を作成・提示し、平成 28 年度末の標準化を目指す。

(3) 予測される波及効果

本研究開発成果は様々な分野への利活用が期待できる。例えば防災分野においては、発災時の初動対応支援や要援護者の避難誘導支援などによる災害対応の迅速化による被害低減や発災時だけでなく、平時の避難訓練計画の策定支援などにより防災・減災への貢献も期待できる。また、交通分野においてはリアルタイムに車や人の位置情報、及び鉄道の運行情報などを収集・処理し、渋滞や鉄道のトラブルによる経済的損失の低減などへの貢献が期待できる。さらに、通信分野においては要素技術の活用により移動体通信サービスの通信品質の向上に結び付けることが期待できる。

その他交通計画やインバウンド観光、感染症伝播などの様々な分野での研究開発成果の利活用が期待できる。

本研究開発成果は今後大量のセンシングデータをリアルタイムに処理する技術は Industry4.0 や Industrial Internet など IoT (Internet of Things) に展開していく。

4. むすび

本稿では、スマートフォン等からの大量の位置情報をリアルタイムに処理する技術や大規模なシミュレーションデータ等から必要なデータを高速に検索する技術、スマートフォン等からの位置情報に欠落があっても精度良く人流を推定する技術に関し、平成 26 年から平成 27 年度の成果を報告した。本研究開発成果は、引き続き商用化も含め、多くの領域へ普及・展開を進める予定である。

本技術は、総務省の『G 空間プラットフォームにおけるリアルタイム情報の利活用技術に関する研究開発』による委託を受けて実施した研究開発による成果である。

【査読付発表論文リスト】

- [1] 矢部貴大、関本義秀、樫山武浩、金杉洋、須藤明人、“パーティクルフィルタを用いた災害時におけるリアルタイムな人流推定手法”、交通工学論文集 2(2) A_19-A_27 (平成 28 年 2 月 5 日)
- [2] 小林直、石塚宏紀、村松茂樹、小野智弘、“携帯電話通信履歴に特化した移動状態及び滞在位置推定手法の提案”、WebDB Forum 2014 (平成 26 年 11 月 19 日)
- [3] 小川 祐一、菅谷 奈津子、浅原 彰規、林 秀樹、富田 仁

志、“大規模災害時の要救助者検知のためのストリーム G 空間データ処理技術”、情報処理学会第 23 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(平成 27 年 10 月 14 日)

【受賞リスト】

- [1] 長谷川瑠子、関本義秀、樫山武浩、金杉洋、交通工学研究発表会研究奨励賞、“同化手法を用いたスパースな携帯基地局情報に基づく人の移動推定”、平成 26 年 8 月 7 日
- [2] Yoko Hasegawa, Yoshihide Sekimoto, Takehiro Kashiyama, Hiroshi Kanasugi, Poster Award, “Transportation Melting Pot Dhaka: Road-link Based Traffic Volume Estimation from Sparse CDR Data”, 平成 26 年 10 月 27 日
- [3] 若生凌、関本義秀、金杉洋、第 23 回地理情報システム学会学術研究発表大会優秀発表賞、“時空間メッシュ集計データを用いたデータ同化手法による人流推定”、平成 26 年 11 月 7 日

【報道掲載リスト】

- [1] 「人や車の動き地図上に表示」、日経産業新聞、平成 27 年 10 月 19 日
- [2] 「膨大な時空間を高速検索可能に」電気新聞、平成 27 年 10 月 19 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

- [1] <http://release.nikkei.co.jp/detail.cfm?relID=398519&lindID=1>
- [2] ITproACTIVE http://itpro.nikkeibp.co.jp/atclact/activer/nkpr/RSP398519_16102015/
- [3] <http://www.nikkeibp.co.jp/atcl/news/1510/101601398/?rt=nocnt>