

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560505

研究課題名(和文) センシング情報学の展開 グローバル情報を獲得するローカルセンシング手法

研究課題名(英文) Development of Sensing Informatics - Obtaining of Global Informations by Means of Local Sensings

研究代表者

出口 光一郎 (Deguchi, Koichiro)

東北大学・情報科学研究科・名誉教授

研究者番号：30107544

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：時間、空間において局所的に取得したデータから大域情報を獲得する手法について考察し、システムの構築を試みた。具体的には、平成23年の東日本大震災関連の被災とその後の復興過程に関する広域での地理学的、社会的な時間変化を可視化する試みを行った。そのため、24年度より継続して、東北地方の太平洋沿岸の都市部の画像データの収集を行ってきた。こうして得た大規模画像データベースを元に、市街地を時空間的にモデル化し可視化をすると同時に、変化の意味を理解する。すなわち、街がどのような被害を受け何を失ったか、そして、そこからどのように復旧、復興してきたのかを少数の観察から捉える方法を検討し、アーカイブ化を行った。

研究成果の概要(英文)：This research was done to develop a system to obtain global information from spatially or temporally local sensing data. We applied this trial to visualize the global damages suffered from the 2011.3.11 Earthquake and Tsunami and their recovery processes. For this purpose, we constructed a large scale data-base of city street images at the Tohoku coastal areas continuously obtained by us with an all-directional camera mounted by a special car. The total amount of the image data became 55 Tera-bytes. Then, from it, we analyzed what were lost globally and reconstructed in the recovery processes. The system constructed in this research provides techniques to figure out the global information from a relatively small number of local observations.

研究分野：センシング情報学

キーワード：センシング情報学 画像計測 大量画像データ 能動センシング 時空間画像アーカイブ 画像物体認識システム 東日本大震災 多分解能動的システム

1. 研究開始当初の背景

本研究の目標は、大規模・複雑化した系のグローバルな状態情報を、ローカルなセンシングによって獲得する方法論を確立することにある。現実の大規模・複雑系でのセンシングをローカルな計測で実現するためには、対象のローカルな特性とグローバルな情報の流れの構造を的確に、かつ、効率的にモデル化する新しい視点が不可欠である。

従来からの手法では、グローバルな系の全体を少数のシンプルな基本原理の組み合わせで記述しようとしていたため、例えば、大域的な構造と局所的な構造に共通する相似的な構造を想定していた。ところが、本研究の具体的な応用を想定している大規模画像センシングによる広い地域での環境や構造の時間変化や局所性の抽出・解析などでは、大域的な系の中での局所間の連結性が重要であって、対象全体を均一な構造とみなすことは適切ではない。このような応用においては、内部の情報の流れをネットワークとして表現し、その数量化することによって、ローカルな計測・予測がグローバルな計測・予測へどのように反映されるかを可視化する必要がある。

一般に「結合」ネットワークの数学的表現はグラフであり、その構造に関しては多くの知見がある。しかし注意すべき点は、従来の多くのグラフを用いたネットワークシステム論においては、ダイナミクスや信号の分解能あるいはその現実問題への整合性という概念は希薄であった。本研究を遂行するには、以上を踏まえ情報の流れを表す新たなグラフに基づくシステム表現の理論を構築しなければならなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的である、現実の大規模・複雑系でのセンシングをローカルな情報獲得で実現するためには、まず第一に、対象内での情報の流れの構造を的確に、かつ、効率的にモデル化する新しい体系が不可欠である。次に、各ローカルなセンシングによって、どれだけグローバル情報を獲得できるのかの定量化が必要である。

本研究では、(1)大規模系の情報の流れの構造をグラフを用いてモデル化する手法の確立をするともに、(2)そのグラフ内の実際の情報の流れを、申請者が開拓、提唱し、確立してきた「センシング情報学」に基づいて定量化する手法を示し、(3)それらに基づいて、具体的な大規模なシステムに対して、ローカルなセンシングによってシステムの大域的でグローバルな状態情報を獲得する例を提示する。

具体的な研究対象として、平成 23 年の東日本大震災関連の被災とその後の復興に関する広域での幾何学的、地理学的な時間変化そのものを可視化する試みを行う。そのため、24 年度より継続して、東北地方の太平洋沿岸

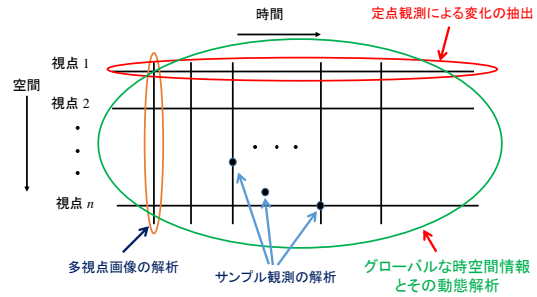


図 1. 画像アーカイブによる空間構造の再構成と時間変化の統合解析

の都市部の画像データの収集を行ってきた。こうして得た大規模時空間画像列を元に、市街地を時空間的にモデリングする方法を研究する。これは可視化をすると同時に、変化の意味を理解することが目標である。すなわち、街のどこがどのような被害を受け変わってしまったのか、何を失ったのか、そして、そこからどのように何が復旧、復興してきたのかを少数の観察から捉える方法を検討する。

すなわち、図 1 で示すと、空間構造の再構成と時間変化の統合解析を行うのが、具体的な目標である。図中の空間と時間の格子点の情報を全体として把握したい。これを時空間モデリングとその動態解析と呼ぶ。しかし、実際に得られるデータは、例えば、ある時間を固定しての多視点画像であったり、定点での時間変化の観察であったり、また、とびとびの時空間でのサンプルである。そこで、それらの局所データをもとに、図中で全体像として示される領域全体の情報を再構築することが、ここでの目的である。

3. 研究の方法

大域的な情報を一括してとらえるためには、航空機や衛星による観測が有効である。しかし、一方で、上記の様な変化の意味は、地上の生活の営みのさらに底流での情報の流れに依存している。すなわち、下図 2 に示すように、我々の地上での刻々の変化の観察によってのみ、ここで目的としている構造的

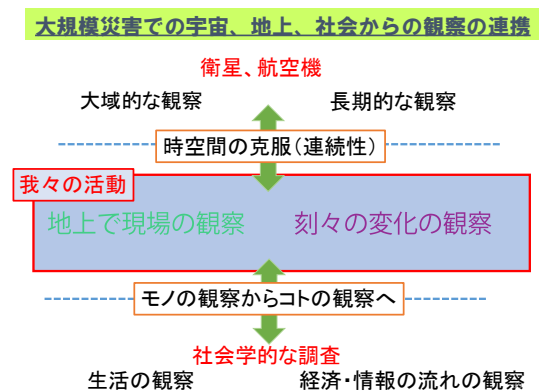


図 2. 大域的、長期的な観察、社会学的な観察と、地上での局所的かつ詳細な観察との連携によるグローバル情報の獲得の枠組み

- ▶ 2011年4月～2015年3月の2、3か月おきに撮影
- ▶ 青森県から福島県にかけて約500km
- ▶ 約105百万枚、55テラバイト超



図 3. 計測車と全方位カメラによる、画像データの取得と、その観測地域

な広域情報の獲得が可能となる。

具体的には、図 3 に示すように、東日本の太平洋沿岸部の 500 km にわたる広域での都市部の画像データの収集を、研究期間である 3 年間を通して行ってきた。3 年間のデータ収集で、画像を約 105 百万枚、55 テラバイト超のデータを得た。

このデータをもとに、コンピュータビジョン（3D 画像認識）の技術を駆使して；

- ・東日本大震災における被災と復興の時空間映像アーカイブの構築—震災と津波の被害，そこからの復興を映像で記録する
- ・東日本大震災被災地を対象とした市街地の時空間モデリング—市街地の被害と復興の時間経緯を可視化する

ことにより、画像から市街地の変化を意味的に理解することを試みた。すなわち；

- ・「人々の営み（の変化）」を可視化し、理解する
 - ・防災、街づくりや災害時のロジスティクスの検討等の社会的な応用に供する
 - ・今後起こりうる広域災害にて、被害を迅速に定量把握できる技術を実現する
- を目的として画像解析を行った。

実際に構築をした画像解析システム群とその間のデータ表現の関係を図 4 に示す。

4. 研究成果

24 年度より取得をした東日本大震災関連の被災と復興に関する画像データの量は、5



図 4. 本研究で構築をした画像解析システム群と、その間のデータ表現の流れ

5 テラバイト (画像 1 億枚超) に及んでいる。習得すべきデータが、当初計画での想定より広範囲におよび、はるかに上回る大規模データとなったため、データ取得の期間を延長し、26 年度までの全研究期間を通しての作業となった。それとともに、解析手法、ソフトウェア構成、システム的设计を見直し、作成を第 2 年度からやり直すこととした。ただし、実績としての研究成果は当初より上がっており、都市部での被災と復興の時間的・空間的な変化を構造的にとらえて可視化をしてきた。第 1 年度より、この成果を多くの場で発表をしてきており、その結果、研究の方向として、一定の評価を得た。

25 年度も、前年度に引き続き、東日本大震災関連の被災と復興に関する広域での都市部の画像データの取得を行ってきた。この年度は、こうして得た大規模時空間画像列を元に、主に市街地を時空間的にモデリングする方法を研究した。市街地の幾何学的、地理学的な時間変化そのものを可視化すると同時に、変化の意味を理解することが目標である。すなわち、少数の観察から、街全体のどこがどのような被害を受け変わってしまったのか、何を失ったのか、そして、そこからどのように何が復旧、復興してきたのかを捉える方法を検討した。

この研究では、コンピュータビジョンの手法を用い、街路から見た外観画像から市街地の営みの変化を意味的に理解しようとするものである。これらは、3. で述べたように、リモートセンシングなどによる上空視点からの大域情報のみを用いた「空間形状計測」では実現できない。地上でのローカルな、どの場所でもどのような建物が破壊され失われたか、復興の過程では建築物の完成状況などの継時的な観測から、町全体の経済活動の盛んさと人や物資の動きに至るまでのそれぞれを定量的に捉えたいと考えた。

まず、図 5 に示すような、市街全体の構造を走行計測車から取得した画像系列から再構成した。図は、岩手県釜石市の約 3 km 四方の構造の再構成の例であり、約 18,000 枚の画像を元にしてのいる。

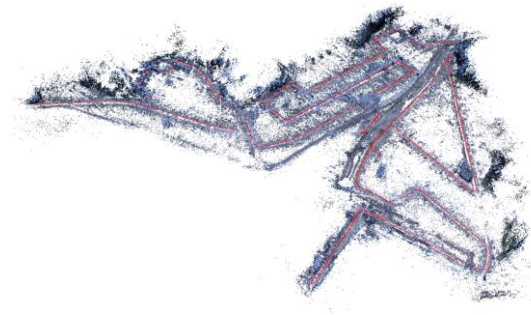


図 5. 走行計測車から取得した画像系列から再構成した、岩手県釜石市の約 3 km 四方の構造。約 18,000 枚の画像を元にしてのいる

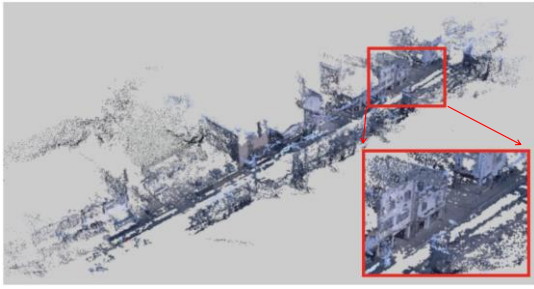


図 6. 走行計測車から取得した画像系列から再構成した街路部分の拡大を示す. このように、街路に沿った建物の立体構造を画像列から再構成した

図 6 にその一部の街路部分の拡大を示す. このように、街路に沿った建物の立体構造を画像列から再構成した.

東北地方の太平洋沿岸部を 10 地区：(1) 八戸・久慈・北三陸地区、(2) 宮古と周辺地区、(3) 釜石と周辺地区、(4) 大船渡・陸前高田地区、(5) 気仙沼と周辺地区、(6) 石巻・女川地区、(7) 仙台・塩釜地区、(8) 名取・岩沼地区、(9) 亶理・山元・新地町地区、(10) 相馬・南相馬地区に分けて、それぞれの中心市街部を重点的に解析した.

26 年度も、具体的な対象として、前年度までの研究活動に引き続き、東日本大震災関連の被災と復興に関する広域での都市部の画像データの取得と処理を行ってきた.

こうして得た大規模間画像列を元に、市街地を時空間的にモデリングするためには、市街地の立体構造の時間的な変化をとらえなければならない. ここで重要なことは、単に経年画像を比較するだけでは、この変化は得られないことである. 同一の視点から画像を得たわけではなく、また、シーンそのものの変化を天候や撮影条件の違いと対象の構造的な違いとに分離する必要があるからであ

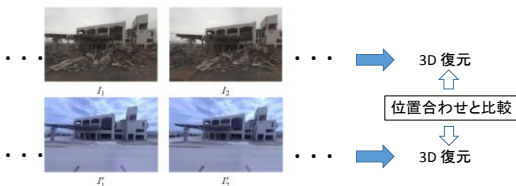


図 7. 市街地の立体構造の時間的な変化をとらえるためには、3 次元構造どうしを位置合わせして比較する必要がある

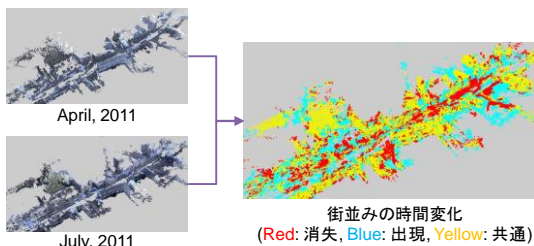


図 8. 街路上の個々の建築物などについて、時を経て消滅したもの、新しく出現したもの、共通して存在するものを判定した例

る時点ごとの画像列から 3 次元構造を復元し、その 3 次元構造どうしを位置合わせして比較する必要がある. そして、その上で、街路上る. そこで、図 7 に概略を示すように、個々の建築物などについて、時を経て消滅したもの、新しく出現したもの、共通して存在するものを判定した. その 1 例としての街並み変化の抽出を図 8 に示す.

この経時変化を抽出するための新たな手法の開発をまとめ、第 2 年度以降、関連学会等で発表した. 東北沿岸部における具体的な適用結果の例を、以下に示す.

図 9 は、それぞれ、岩手県大槌町 (左)、仙台市宮城野区 (右上)、釜石市 (右下) での、家屋の 2011 年の震災と津波による消失 (赤で示す)、2013 年までに新たに出現 (青) したものを表す. 緑は両時期に共通している建造物である. このように、街路からの計測車による観察で、街全体の空間変化の様子を捉えることができています.

また、図 10 に示すのは、同じ手法を、比較の一方を、震災前の市街地図から読み取った市街地構造として、震災直後の観察と照らし合わせ、震災、津波による建物の消失、残存の様子を捉えたものである.

さらに、図 11, 12 は、衛星リモートセンシング画像との重ね合わせにより、2011 年 4 月と 2013 年 8 月での、釜石市周辺の広域でのがれきの分布の変化、植生の回復状況を捉えたものである. 局所的なデータから市街地



図 9. 本手法で検出した、岩手県大槌町 (左)、仙台市宮城野区 (右上)、釜石市 (右下) での、家屋の 2011 年の震災と津波による消失 (赤で示す)、2013 年までに新たに出現 (青で示す) を表す. 緑は両時期に共通している建造物である

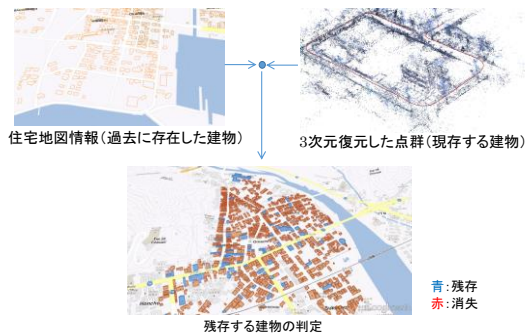


図 10. 比較の一方を、震災前の市街地図から読み取った市街地構造として、震災直後の観察と照らし合わせて抽出した、震災、津波による建物の消失、残存の様子

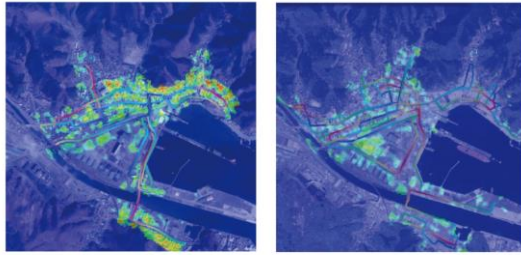


図 11 がれきの分布 (岩手県釜石市). 左: 2011 年 4 月. 右: 2013 年 8 月.

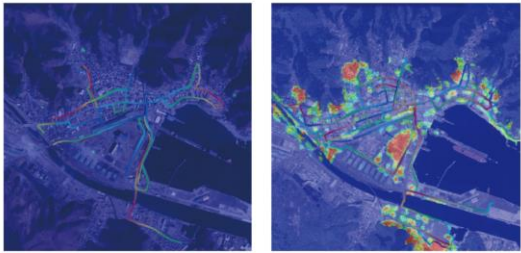


図 12 植生の分布 (岩手県釜石市). 左: 2011 年 4 月. 右: 2013 年 8 月.

を含む、広域の状態を可視化することができている。

今後、本研究で確立した手法を元に、アーカイブ化を図っていき、地上でのローカルな継時的な観測から、都市全体の経済活動の盛んさと人や物資の動きに至るまでのグローバル情報を定量的に捉えるシステムを構築する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 出口光一郎, 岡谷貴之, 3.11 東日本大震災の被災と復興の画像アーカイブの構築とコンピュータビジョンによる被災市街地の時空間モデリング, 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ機関誌, 査読あり, 第 6 巻第 4 号, 2013 年, 245-249
- ② 出口光一郎, 能動センシングと「センシング情報学」事始め, 計測自動制御学会誌「計測と制御」, 査読あり, Vol. 51, No. 9, 2012 年, 808-813

[学会発表] (計 1 4 件)

- ① Koichiro Deguchi, Archiving the Spatio-Temporal Detail and 360-degree Image Data of 3.11 Earthquake and Tsunami Disasters with Visualizations of Damages and Their Recovery Processes, The Tokyo Conference on International Study for Disaster Risk Reduction and Res, 2015 年 1 月 16 日, 東京
- ② 出口光一郎, デジタル図形の科学, 第 16 回画像の認識・理解シンポジウム MIRU2013, 2013 年 7 月 30 日, 東京

- ③ Ken Sakurada, Takayuki Okatani, Koichiro Deguchi, Detecting Changes in 3D Structure of a Scene from Multi-view Images Captured by a Vehicle-mounted Camera, The 26th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2013 年 6 月 25 日, Portland, Oregon, USA
- ④ Koichiro Deguchi, Multi-View and Spatio-Temporal Stereo Image Measurement of 3D Space - Applications to Video Archive of 3.11 Earthquake and Tsunami Disasters -, The 4th International Symposium on Computational Anatomy, 2013 年 2 月 24 日, 大阪
- ⑤ 櫻田健, 岡谷貴之, 出口光一郎, 少数の多視点画像を用いたシーンの 3 次元形状変化の認識, 第 15 回画像の認識・理解シンポジウム MIRU2012, 2012 年 8 月 3 日, 福岡
- ⑥ Takayuki Okatani, Koichiro Deguchi, Optimal Integration of Photometric and Geometric Surface Measurements Using Inaccurate Reflectance/Illumination Knowledge, IEEE Computer Vision and Pattern Recognition 2012, 2012 年 6 月 21 日, Rhode Island, USA

[図書] (計 2 件)

- ① 吉川弘之, 木村英紀, 出口光一郎, 鈴木久敏, 安岡善文, 遠藤薫 共著, 東京電機大学出版局, 〈知の統合〉は何を解決するのか—モノとコトのダイナミズム (第 3 章:「モノのセンシングからコトのセンシングへ」を担当), 2015 年, 150(41-70)
- ② K. Ikeuchi 編, K. Deguchi, 他著, Springer, Computer Vision - A Reference Guide, 2014, 898pages

6. 研究組織

(1) 研究代表者

出口 光一郎 (DEGUCHI, KOICHIRO)
東北大学・大学院情報科学研究科・名誉教授
研究者番号: 30107544