



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

出口 光一郎*¹

Image Archive of 3.11 Earthquake and Tsunami Disasters and Spatio-Temporal Modeling of Town Areas Supported by Computer Vision Techniques

Koichiro DEGUCHI*¹

Abstract—From April of 2011, we have been continuing to obtain video records of 3.11 Large Earthquake and Tsunami disasters at Tohoku coastal areas in Japan. We install 360° directional camera on a special car, and are visiting same areas at every one or two months, and obtained detail images at every 1m to 2m step on streets. Total amount of image data up to now, for six year activity, becomes more than 150 million 360° scenes of 100 Tera Bytes.

We construct a video archive for recording the real detail damages of towns, industrial areas, and agricultural lands. The main purpose of this activity is to visualize the process of reconstruction and long term recovery from the disaster. By those image sets, employing the computer vision techniques, we have been studying the spatial modelling of the temporal changes of city structure by the disaster and the afterward recovery process. They are summarized in this paper. One of additional role of our detail spatial and temporal observation on surface is to bridge between wide and global satellite or aerial observations and real local human lives. The combination of those observations with different spatial and temporal resolution and different view-points is important to estimate the effectiveness of the recovery from the serious disaster.

Keywords—The 3.11 earthquake and tsunami disasters, Image archiving, Spatio-temporal modeling, 3D reconstruction, Computer vision

1. はじめに

2011年3月11日に東日本を襲った大地震とこれに連動して発生した津波から、早くも6年が経った。この東日本大震災以降の災害では、情報・通信技術に関連しては、数々の新しい様相を呈したことが相次いで報告されている。携帯電話やカーナビなどのモバイル端末とネットワークの結びついた広域情報網が、大規模災害に際して新しい強力な道具となることが認識され始めている。この間の飛び交った情報の中身としてのこれまでにない特徴に「映像」がある。さまざまな映像が撮られ提供された。以下に述べる我々の使用したものと同様の全周カメラによる映像記録も、多くの場所でなされた。これら

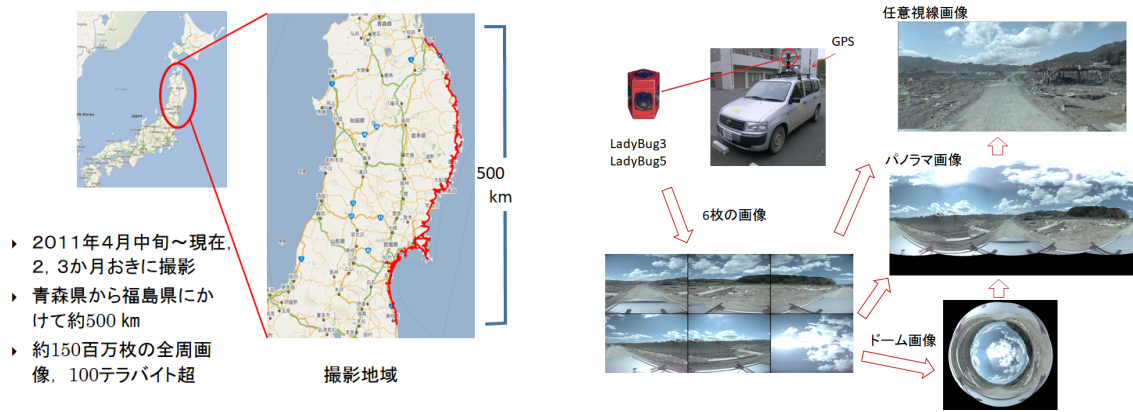
のアーカイブ化への取り組みを経て、いろいろなことが時間的なつながりと空間的なつながりと、そして情報の多様さのつながりという3次元の構造のなかで、膨大な記録映像が整理され、後世への貴重な教訓と遺産を形作っていくものと期待される。

我々は、コンピュータビジョンを専門としている。東日本大震災に際しては、被災地域の中心にいて、「コンピュータビジョンは大災害に対して何を成し得るのか」の問いが、重くのしかかってきた。周りの沿岸部の被災状況やそれに対して何かをすべきではないか、専門とする技術で何ができるかである。津波による壊滅的な被害を受け、一面のがれきとその中にわずかに骨組みのみを残した建物、そして、一向に水のひかない広大な水面と化した農地、押し流されてその水面から頭のみを出し押しつぶされた車や船などを当時眼にして、我々にはできることはわずかである。そこで手がけたことが、コ

*¹ 東北大学名誉教授

*¹ Tohoku University

Received: 28 July 2017, Accepted: 20 August 2017.



(a) 画像データの取得地点

(b) 取得画像の形式



(c) 撮影された画像例 (2011年4月, 岩手県大槌町) (全周画像を円筒パノラマとして表示.)



(d) 同 (2011年4月, 宮城県女川町) (全周画像を円筒パノラマとして表示.)

Fig. 1: 画像データ取得のあらましと、取得データの例

コンピュータビジョンの技術を使って、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、すなわち、震災と津波の被災の現状を映像として記録し、被害と復旧・復興の状況とその時間経緯を可視化する、特に、市街地、護岸や橋脚、堤防などの大型建造物の被害状況

を推定することのできるシステムを構築することである [1,2].

本稿では、この3.11大震災に関連する映像アーカイブ構築の試みと、その根底にある我々の考え方を述べたいと思う。

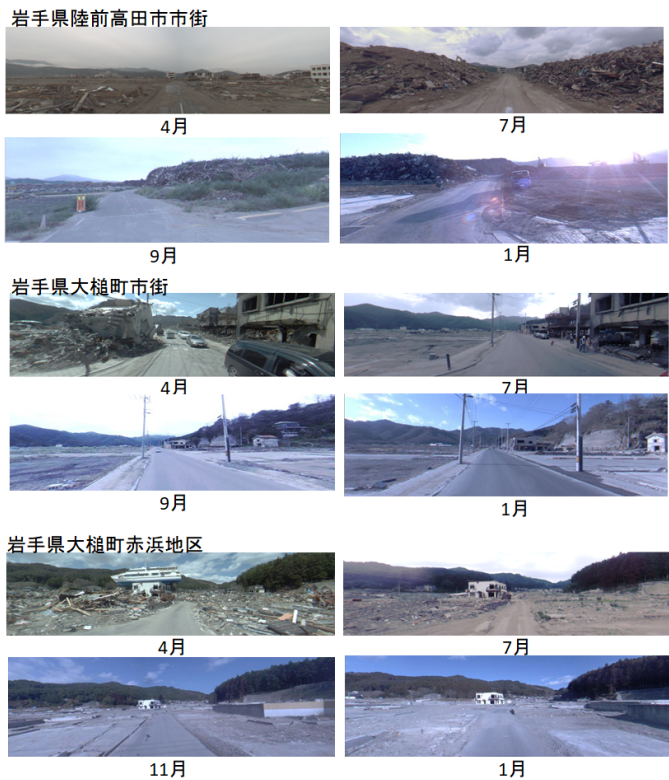


Fig. 2: 被災地市街の復旧の時間変化

2. 時空間映像記録活動の概要と目的

仙台平野の沿岸中心部にある亘理町を手始めに、我々は、北の青森県八戸市から南の福島県南相馬市とその南の浪江町にわたる東東北沿岸部 500km に沿った被災地の映像データを、全周の 360° の映像と GPS による場所情報を獲得できる計測車をしたてて取得している。撮影に訪れた地域と、取得した画像データの形式、取得された画像の例を、Fig. 1 に示す。ワゴン車のルーフ上に、全周カメラ (Point Grey 社製 LadyBug3、後半では LadyBug5) および GPS アンテナを取り付け、これらを車内に設置した PC と大容量ディスクに接続し、全周映像および GPS データを記録している。

Ladybug3 は 1,616×1,216 画素、LadyBug5 は 8,000×4,000 画素のカメラ 6 台が、鉛直下方の一部を除く全周の映像を撮影するように配置され、計測車の走行の 2m (市街地での詳細データ記録用には 1m) ごとに自動的に全周の 1 シーン、6 枚の画像が同時に撮影される。

この 1 シーン 6 枚の画像をつなぎ合わせて、全周の 360° ドーム画像、それを円筒に展開したパノラマ画像、さらに一部を切り出した任意視線、任意ズームのパースペクティブ画像を作る。撮影した車両の走行に合わせて時間的に連続して表示することで、任意位置、任

意時間、任意方向の様子を動画像として閲覧することができる。

最初の記録行程では東京大学生産技術研究所池内研究室の協力を得た。その後、初期は 2, 3 か月ごと、後半では半年ごとに同じ地点での映像取得を続け、6 年を経て、現在、画像は約 150 百万枚、データ量は 100 テラバイト超になっている。大きな町では、津波から残ったほぼ全街路を走行している。

被災地の市街は、刻々、変化をしていく。ほぼ同じ視点から見たいいくつかの市街地の被災後 1 年半での変化の様子を、Fig. 2 に示す。

この変化を的確に捉えるため、復旧の記録を長期間にわたって継続して残すことを計画する一方で、この映像をもとに、3 次元的なシーンを再構成する作業にもあたっている。全周画像を一定の走行距離ごとに機械的に撮影しているのは、画像からのシーンの 3 次元再構成のためにはあるが、その他に、予め視線を選ばない、すなわち、撮影者の意図を排した客観的なデータを記録したいというためでもある。

この活動の目的は、得られた映像データを元に、被災地の震災直後の被害状況を始め、短期的な復旧並びに長期にわたる復興の過程を可視化することある。すなわち、「コンピュータビジョンは大災害に対して何を成し得るのか」という問いに対して、3.11 東日本大震災に際して我々が行ったことは、

- 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試み；
 - 「人々の営み (の変化)」を同じ高さの視点で、時間・空間を共に密に可視化し、理解すること
 - それを、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学的な応用に供すること
 - 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こと、

を目的として画像解析を行った。

そのため、こうして得た時空間画像列を元に、特に市街地を時空間的にモデリングする方法を研究している [3]。大災害の記録としての映像資料としては、時・空間での網羅性と閲覧性、高品質で正確かつ精密であることが重要であり、復旧、復興を支援する映像資料としては、

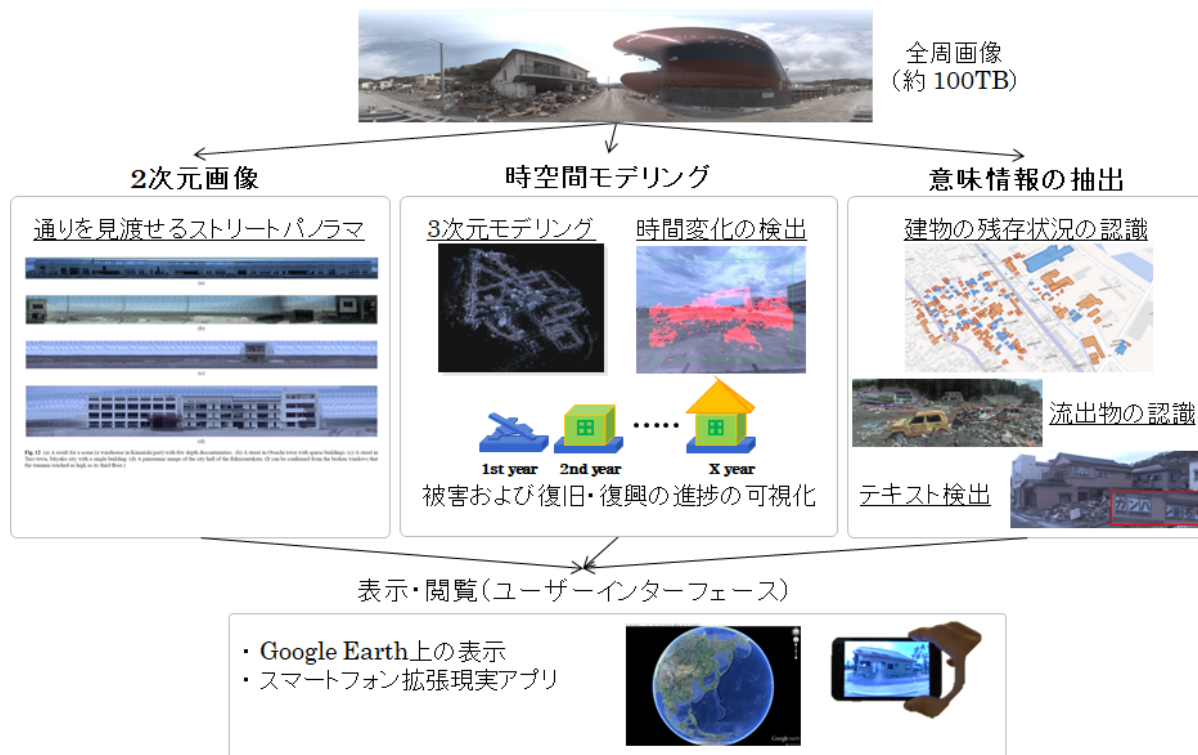


Fig. 3: 広域被災地画像の時空間モデリング

有用な情報の抽出とその効果的な表示が重要である。そこで、市街地の建物を含む立体構造の幾何学的、地理学的な変化そのものを可視化すると同時に、その変化の意味を理解することを目標としている。すなわち、一つには、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、その意味を捉えられるような復元をしたいと考えている。そのための画像処理は、Fig. 3 に示すように、大きく4つに分かれる。2次元の画像として大域的な状況を見やすくする、時間と空間を関連付けた3次元シーンを再構成する、画像に埋め込まれた意味を理解する手掛かりを抽出する、そして、これらの処理結果を分かりやすく閲覧できる表示をするである。

活動のもう一つの位置付けは、Fig. 4 に示すように、大規模災害での宇宙、地上、社会からの観察の連携をとることにある。広域・大規模での長期的な災害状況の推移の観察には、恐らく衛星や航空機を利用した俯瞰的で連続的な観察が向いているであろう。一方で、被災地での生活や経済、情報の流れの、云わば「コト」の観察には人間・社会に密着した社会学的な調査が必要である。同時に、それらの間を結ぶ、地上の現場、人間の目線の高さでの刻々の変化の観察が必要である。我々の、コンピュータビジョンの手法を用いる画像から市街地の変化を定量的に捉えるとともに意味的に理解しようとする活

動が、これを担うものと考えている。

3. 市街地の時空間モデリング

3.1 全周画像系列を用いた時間変化の抽出

市街地の時空間モデリングの核は、市街地形状が時間的にどのように変化したかを検出することである。同じシーンを異なる時刻に撮影した複数の画像列を使ってこ

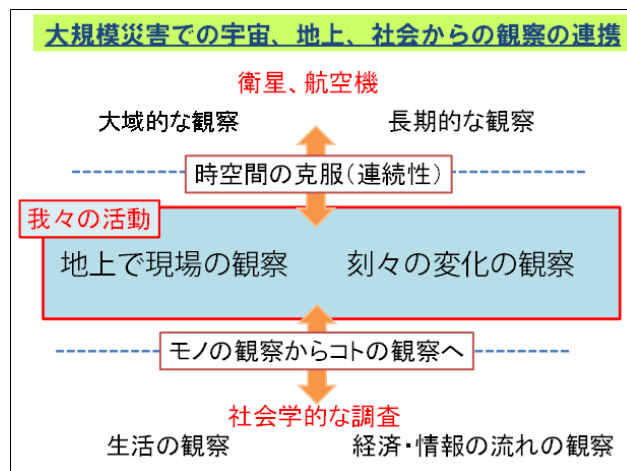
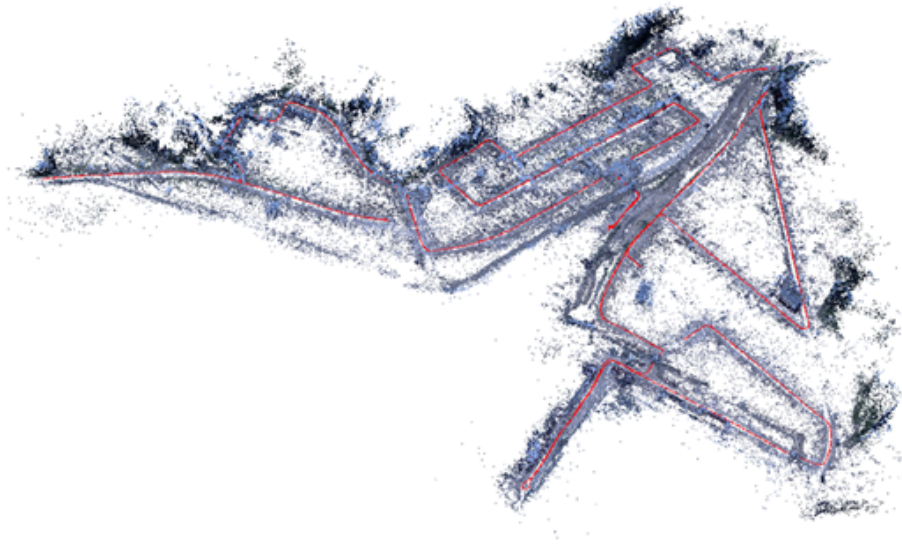
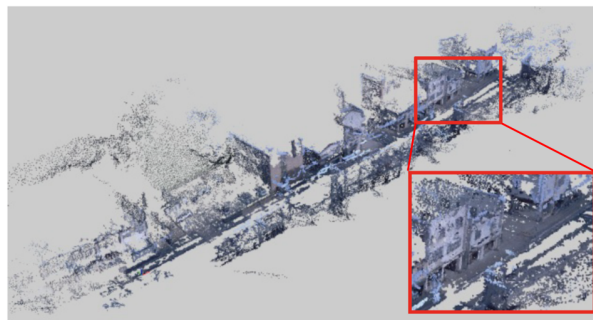


Fig. 4: 宇宙、地上、社会からの観察との連携をとる画像アーカイブ



(a) 画像列からの SfM による 3 次元復元の例. 岩手県釜石市の約 3 km 四方の市街構造を, 約 18,000 シーンの画像を元に再構成した. 赤い線はカメラ (車両) の軌跡. 黒い点が空間の点を表す.



(b) 多視点ステレオによる街路沿いの建物群の 3 次元復元の例. 右はその一部の拡大.

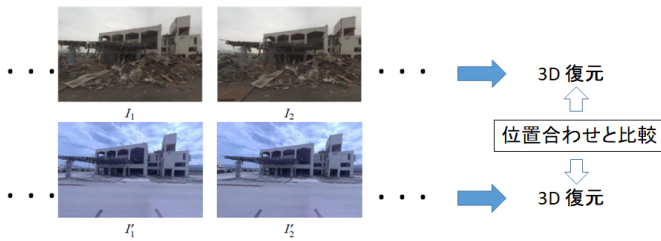
Fig. 5 : 画像列からの SfM によるカメラ視点の 3 次元復元の例と, この視点の位置、姿勢をもとにした多視点ステレオによる街路沿いの建物の 3 次元復元の例.

れを行う. ただし, 2つの日時の違う画像系列からその間の変化を抽出しようとするとき, その2つでは同じ場所を走行していても視点は微妙に異なる. GPS の情報では, この微妙な視点差異を決定するための精度が足りない. また, 天候や時刻により明るさや日照、日陰の位置が異なり, 何よりもシーンそのものが大きく変化をしている. 画像を直接比較しても意味のある抽出は困難である. そこで, 両画像系列からそれぞれの時刻での 3 次元シーンを復元し, その上で, 同一の場所の 3 次元形状を比較して, そこでの変わらないもの, 変わったものを検出する必要がある. この方針の下で我々の開発した手法は, 以下である [4,5,6].

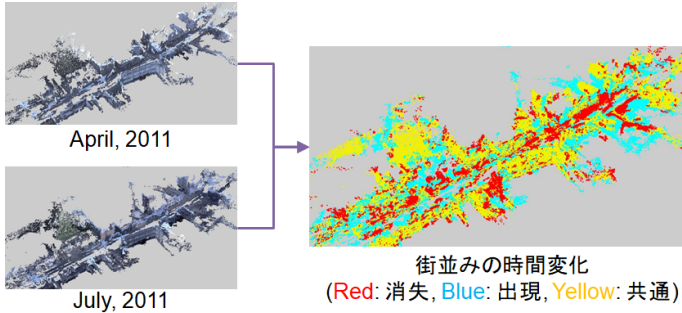
まず, SfM (Structure from Motion) と呼ばれる技法により, 各画像の視点を正確に決定する. SfM とは, 同一シーンを多数の視点から撮影した画像列を元に, シー

ンの 3 次元形状ならびに各画像を撮影したカメラの姿勢を同時に推定する手法である. 空間の同一点がカメラを移動させて撮影した画像系列の各画像上でどのように位置しているかを同定することにより, それらが与える幾何学拘束に基づいて, 各視点でのカメラの姿勢と 3 次元位置を計算する.

この SfM を, 共通の対象を捉えている撮影した多視点全周画像列グループごとに行い, それを連続させて一つの市や町での一回の走行でのカメラ視点の系列を作成する. 市街地全域にわたる復元例を Fig. 5(a) に示す. 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している. 図に示すように SfM では, シーンの形状は疎な点群として得られる. 各画像を撮影した視点の位置は, 図中で赤い点の列として表されている. SfM の目的は, 精度の良い視点の



(a) 異なる2つの時期に撮影された同一シーンの画像列からの変化の直接抽出



(b) Fig.4(b)の地点での、2011年4月と7月での街並み変化の抽出

Fig. 6 : 3次元構造復元に基づく、画像列からの街並みの時間変化の抽出

決定であり、そのために信頼性の高い画像特徴点のみを用いているからである。

同様の多視点画像を用いて、密にシーンの形状を得る方法に、多視点ステレオ (Multi-View Stereo, MVS) がある。この方法は各視点でのカメラの姿勢が既知であることを前提とする。SfMにより決定したカメラ視点のもとに、今度はできるだけ多数の対応点を連続した画像から抽出する。街路沿いの建物の3次元復元をした例を、同図 (b) に示す。ただし、我々の車載カメラで撮影した被災地画像列の場合、視点からの奥行きの変動が大きいこと、オクルージョンの多さ、市街地シーンでのテクスチャの小ささなどにより、最新の手法を用いても十分正確に時間変化を捉えることができるようにシーンの表面形状を細部まで復元するのは難しい。

そこで、3次元形状を陽に復元することなくシーンの形状変化を直接、推定することを考えた。ここでは Fig. 6 に示すような、同じシーンを2つの時期に撮影した多視点画像列のペアを用い、同時刻画像間でのみ濃淡比較を行い、異時刻の画像間では幾何学情報 (視点間の幾何および対象シーンの奥行き) のやりとりをするようにした。まず、一方の時刻の画像列を用いて、シーンの奥行きを画素ごとに確率分布として求める。ここでは画像の局所パッチの濃淡比較を行うが、一意に奥行きを決定することはしない。次にもう一方の時刻の画像列を用いて、同様に局所パッチの類似度を計算し、画像の各画素にお



Fig. 8 : 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 (岩手県大槌町)

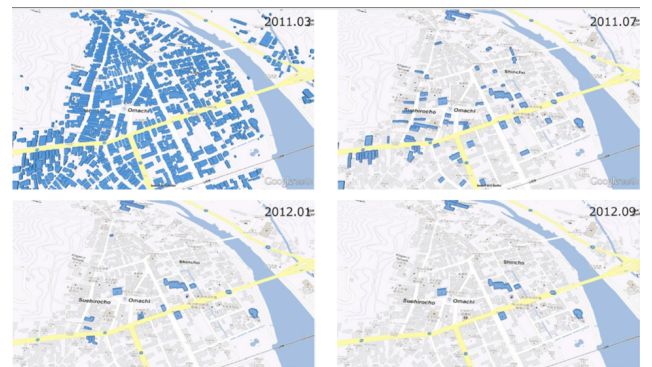


Fig. 9 : Fig. 8 の手法を適用し、岩手県大槌町での、震災前→2011年7月→2012年1月→2012年9月の震災、津波による建物の消失、残存の時間変化

けるシーンの奥行きが変化したかどうかを、先に求めておいた異時刻の奥行きの確率分布と合わせることで推定する (詳細は [1] を参照)。

この方法を使って、震災直後とその数か月後の2つの時期の間の変化を検出した。Fig. 7 に結果の一例を示す。道路沿いのシーンの変化を、連続的に検出した結果である。震災直後のがれきが、復旧が一段落して除去されていることが正しく検出できているのが分かる。

3.2 地図情報と組み合わせた建築物の損壊状況の推定

市街地や住宅地のデジタル地図には、建物の外周の輪郭形状をポリゴンデータとして持つものがある (国土地理院やゼンリン社のものなど)。震災前のそのような地図データを、車載カメラで撮影した画像列と対比すれば、どの建築物が消失し、あるいは新たに建てられたかを自動的に判定できる。基本的には、前節の時間変化の抽出手法において、一方の時刻の3次元シーンが地図として与えられているものと考えられる。

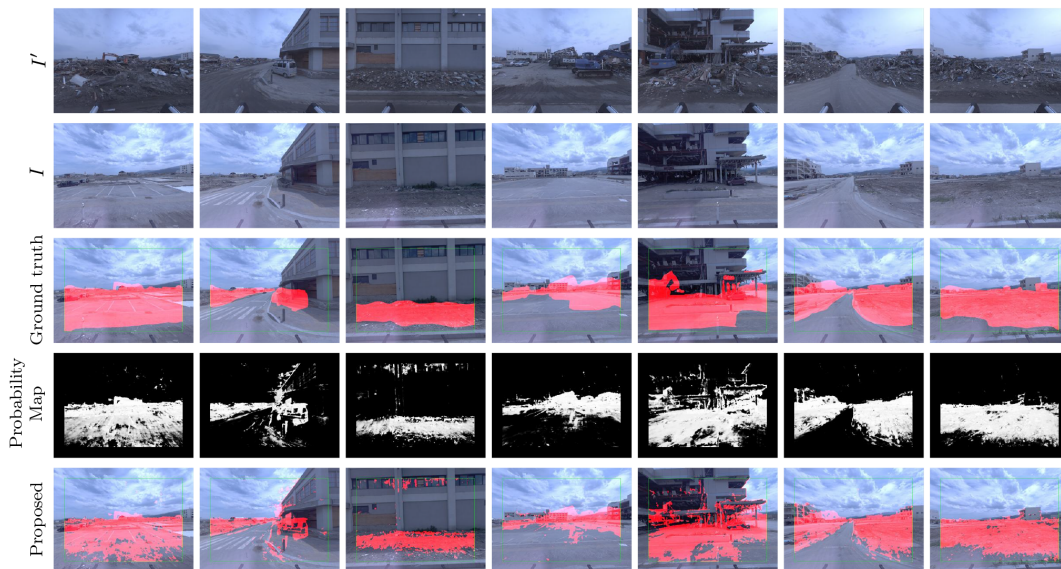


Fig. 7 : シーンの形状変化の街路に沿っての連続表示. 最上列が 2011 年 4 月, 第 2 列が同 7 月の岩手県陸前高田市での画像列. 第 3 列はその間の変化部分を目視で抽出し, 赤で示した. 第 4 列は自動抽出により「がれき」である確率の高いと判定された部分, 第 5 列は実際に物体がありがれきと判定された部分を 7 月の画像上に表示した.

このため, 画像列から SfM で復元した市街値の形状 (点群) と, 地図データの建物外壁の対応を調べて上述のを行う方法を開発した [7]. **Fig. 8** は, この手法のあらましを, 岩手県大槌町を例に示す. このように, 街路からの計測車による観察で, 街全体の時空間変化の様子を捉えることができている. また, **Fig. 9** に示すのは, 同じ手法を, 時期を追って適用して, 建物の津波被害とその後の残存, 撤去の様子を可視化した例である. 岩手県大槌町の, 震災前→2011 年 7 月→2012 年 1 月→2012 年 9 月の津波とその後の取り壊しによる建物の消失の変化を捉えている.

3.3 広域衛星画像解析への拡張

本活動で直接に撮影, 収集しているのは, 道路に沿った市街の画像である. 一方, **Fig. 4** で示したように, これらの線状の観測を, 衛星や航空機からの画像による大域的な面状の観測に結びつける必要がある. しかし, 倒壊した建物やがれきなどが航空からどのように見えるのかは, よくわかっていなかった. そこで, 前記の手法で道路沿いのがれきや倒壊建物, その他の構造物と判定した土地部分のマルチバンド衛星画像を抽出して, それらの間の関係をニューラルネットを用いた学習により構築した [8]. その後, この関係性を衛星画像上の街路以外の場所に拡張し, 街路からは見えなかった土地での被害状況の判読を行った.

Figs. 10, 11 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. 市街地を含む, 広域でのがれきの撤去状況と, その結果としての植生の回復の状態を可視化することができる.

3.4 画像に埋め込まれた手書きメッセージの抽出

この研究の最終的な目標は空間変化の意味, すなわち「人々の営みの変化」を地上の生活レベルで理解することにある. ここまでは主に幾何学的方法を中心に災害情報の抽出と可視化を紹介した. この他に, 画像内には被災した建物の撤去の可否やコミュニティ間での励ましあい, 外部からの支援への感謝のために, 構造物壁面に手書きのテキストなどが埋もれている. このような文字情報抽出は, 被災地でどの時点でどのようなメッセージが発せられたかの社会的な知見を得る意味で重要である. これらの文字情報を大量の画像データから自動的に抽出し認識する手法の開発にも取り組んでいる. ただし, がれきの散乱する画像内から文字と思われる特徴を抽出することは, かなり難しい.

Fig. 12 にテキスト抽出の例を示す. このような被災地の時空間変化の見えざる情報を可視化することで, 大震災からの復興と防災, 街づくり等の社会的な応用, 被害を迅速に定量把握できる技術の実現を目指している.

4. 画像提示の方法

4.1 街路パノラマ画像の生成

被災地では被害は広い範囲にわたり, したがって広域空間の損害状況を一瞥するだけで把握できるような画像

表示方法が望まれていた。

それに応える一手法として、長いシーンの画像をつなげて一枚の横長のパノラマ画像として表示する方法を開発している [9]。このようなパノラマ画像を生成する方法は、長い間研究されてきているが、これらのほとんどが、通りに面する建物の壁面が横方向に連続しているなど、視点からの対象の奥行き変化がなるべく小さいことを要請している。一方、ここで対象とするシーンは、建物がまばらにしか存在せず、空き地やがれきが散乱した街路沿いのものであり、この要請が満たされない。これを本質的に克服することはできないが、通りに面する建物の表面および地面のみを鮮明に描画し、それ以外の物体はぼかして提示することを考えた。それには、画像の各画素を建物表面、地面およびそれ以外の3種類のどれに対応するかを特定すること、並びに「それ以外の物体」の像をぼかすことが必要である。前者はマルコフ確率場の最適化問題を解くことで、後者をライトフィールドフォトグラフィーの原理を応用することで、それぞれ解決した。Fig. 13 に生成したパノラマ画像の例を示す。

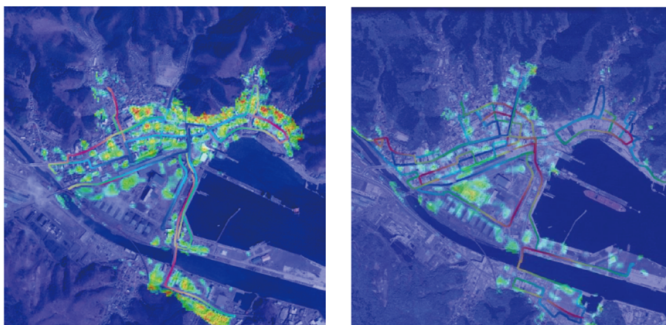


Fig. 10 : 衛星画像でとらえたがれきの分布とその時間変化 (岩手県釜石市周辺. 赤→緑でがれき層の高低を示す). 左: 2011年4月, 右: 2013年8月

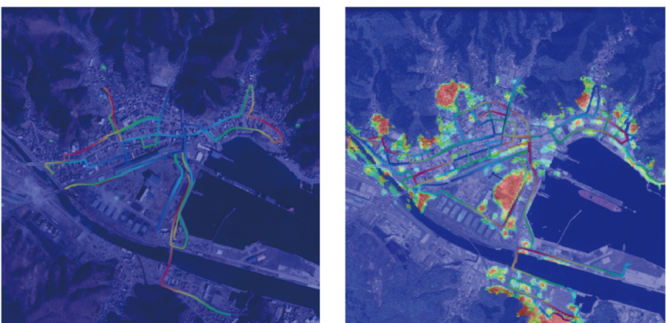


Fig. 11 : 衛星画像でとらえ被災後の緑地の回復 (岩手県釜石市周辺. 赤→緑で植生の密度の高低を示す). 左: 2011年4月, 右: 2013年8月



Fig. 12 : 被災地画像に埋め込まれた手書きメッセージの抽出。



Fig. 13 : 車載カメラの多視点画像を元に作成した被災地街路のパノラマ画像。

4.2 拡張現実との連携表示

上述の方法で抽出した時間変化や多視点パノラマ画像は、地図情報と連動させて提示し、適切なユーザインタフェースで閲覧操作ができることが求められる。一つの方法は、Google Earth のようなプラットフォームを選び、地理情報と連動させて上記の解析結果を提示するものである。

また身近なスマートフォンを用いて、被災地の現場でその場所の情報をユーザに提示する、拡張現実 (AR) の応用も開発している [10]。Fig. 14. に示すように、ある街の通りでスマートフォンをかざすと、可視化された情報や過去の街並などの仮想的な景色がスマートフォンの画面上に表示される。画面表示は実際に今ユーザがスマートフォンを向けている方向に連動させる。そのため、ユーザ (スマートフォン) の自己位置を GPS ならびにカメラで取得した画像によりその動きを検知し、画像データベースからの切り出し領域をリアルタイムで変化させ表示し、ユーザは画面を窓として仮想的な情景を

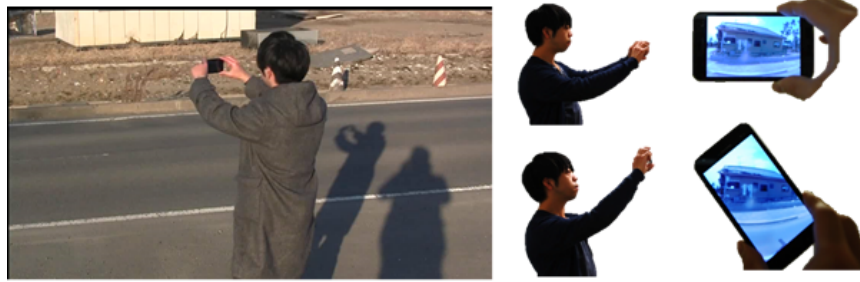


Fig. 14: スマートフォンを用いた拡張現実の利用. 被災地の現場でのスマートフォンの位置・姿勢情報から震災被災時の画像等を引き出し、目の前の情景の過去の街並や様々な情報を表示する.

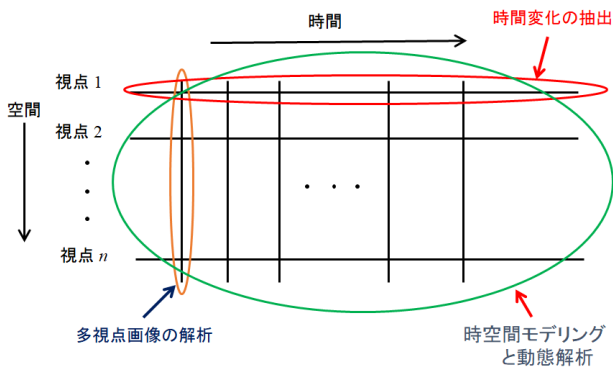


Fig. 15: 車載カメラの多視点画像を元に作成した画像アーカイブによる空間構造の再構成と時間変化の統合解析

見ていると感じられるようにする.

5. まとめ

東日本大震災被災地の被災と復興を記録し可視化するための、我々がやっている画像取得と市街地の時空間モデリングに関する一連の研究を紹介した. 最初に述べたように、大災害の被害の迅速な定量把握と、それに基づく復興と防災、街づくり等の社会学的な応用技術の実現を目指している. そのために、**Fig. 15** に示すように、空間（場所）を表す次元、時間を表す次元を持つ時空間に画像データを展開し、動態解析を試みた.

しかし、震災の被災と復興といったダイナミックな社会変動をとらえるには、時間と空間の次元に加え、さらに多様さを表す次元を持った3次元的なデータを十分に整理して可視化する必要がある. 例えば、ある時刻に何が起きていたのかの状況を把握するためには、場所とともに多様さを連結したデータが必要である. 本稿で示したのは、多様さの中の一つである画像データの時間と空

間の次元への展開に過ぎない. ただ、我々のデータはすでに 100 テラバイトを超える量となっている. ここで論じたような大災害の被災と復興を的確に表現するための有機的な連携データの総量は、はるかに膨大なものとなる. 研究の緒についたビッグデータの解析手法の開発が、今後、大きな役割を果たすと考えている.

なお、被災当初の画像データを、東北沿岸部の市・町ごとに分け、2013年にそれぞれの自治体に提供した. その後の復興状況をまとめて、追加画像データとしてさらに配布する作業を進めている.

また、データが膨大になったため、その概略を要約、一覧できるシステムを構築中である.

参考文献

- [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] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] K. Skurada, T. Okatani, and K. Deguchi, Detecting Changes in 3D Structure of a Scene from Multi-view Images Captured by a Vehicle-mounted Camera, to appear in IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2013 (CVPR2013), 2013.

- [6] Ken Sakurada, Takayuki Okatani and Kris M. Kiatani, Massive City-scale Surface Condition Analysis using Ground and Aerial Imagery, 12th Asian Conference on Computer Vision (ACCV2014), Singapore, Nov 1-5, 2014.
- [7] 手塚大基, 岡谷貴之, 出口光一郎, 車載カメラで撮影した画像列と市街地地図情報を用いた建築物の出現・消失の推定、情報処理学会 CVIM2013 年 1 月研究会 (第 185 回) 2013-CVIM-185(9) (2013)
- [8] Ken Sakurada and Takayuki Okatani, Change Detection from a Street Image Pair using CNN Features and Superpixel Segmentation, 26th British Machine Vision Conference (BMVC2015), 7-10 September, Swansea, UK, 2015.
- [9] T. Okatani, J. Yanagisawa, D. Tetsuka, K. Sakurada, and K. Deguchi, Creating Multi-Viewpoint Panoramas of Streets with Sparsely Located Buildings, The 8th International Conference on Field and Service Robotics (FSR2012), Paper No. 89, July 16-19, 2012, Sendai/Matsushima, Japan, 2012.
- [10] 佐藤慎也、岡谷貴之、出口光一郎、過去の街並みを可視化するスマートフォンを用いた拡張現実、情報処理学会 CVIM2012 年 5 月研究会 (第 182 回)、2012-CVIM-182(3) (2012)

出口 光一郎



1976 年東京大学工学系研究科修了 (計数工学) 同年より、東京大学工学部助手、講師、山形大学工学部助教授、東京大学助教授を経て、1998 年より東北大学大学院情報科学研究科教授、2013 年東北大学名誉教授。コンピュータビジョン、ロボットビジョン、画像計測の研究に従事。2011～2016 年、横幹連合会長。
