

東日本大震災遺構 3次元クラウドデータアーカイブ構築 公開事業中間報告

鹿納晴尚¹⁾・西 弘嗣¹⁾・藤澤 敦¹⁾・佐々木理¹⁾・高嶋礼詩¹⁾・根本 潤²⁾

¹⁾ 東北大学総合学術博物館、²⁾ 東北大学大学院理学研究科

Progress Reports of the Program for Archives and Publication of 3-D Point-cloud Data of the Great East Japan Earthquake for Tsunami Disaster Ruins

Harumasa KANO¹⁾, Hiroshi NISHI¹⁾, Atsushi FUJISAWA¹⁾, Osamu SASAKI¹⁾,
Reishi TAKASHIMA¹⁾ and Jun NEMOTO²⁾

¹⁾The Tohoku University Museum, ²⁾Graduate School of Science, Tohoku University

Abstract: The big earthquake and the following huge tsunami waves occurred in the Great East Japan Earthquake, on March 2011, and gave the strong damage for the extensive areas along the Pacific coast of Tohoku district. This earthquake was associated with the Fukushima Daiichi nuclear disaster, and their influences have not yet been finished at present, after seven years later. Although the reconstruction activity in these areas are still continued, the damaged and collapsed constructions and debris materials have been removed from these coast areas in Iwate, Miyagi and Fukushima Prefectures. The Tohoku district experienced huge tsunami waves at several times in the past, and these historical earthquakes had been recorded in references, pictures, photographs and video images. In order to keep the memory of the disaster from fading, we started a new archive project based on virtual 3-D digital methods to reserve the digital historical references, and to apply antidisaster lessons for the next generation.

In particular, the Fukushima Prefecture was recognized as a composite disaster among the earthquake, tsunami and nuclear accident. The residents near the power station do not return to their home town at present because of radioactivity influence. This long-time evacuation caused not only a crush of local life, but also lost of regional traditional culture in these areas. For Fukushima Prefecture, hence, we also focused on preservation of cultural properties. At present, we finished getting total 58 images since 2012 through August 2017. In the present study, these subjects of digital images are reported and we explain digital 3-D methods for these archives.

As the digital measurements methods, we used the Terrestrial Laser Scanner (TLS), Mobile Mapping System (MMS), and Structure from Motion (SfM) technic with Unmanned Aerial Vehicles (UAV). The 3-D archive images are also used as exhibition contents of Mixed Reality System (MR) and finally as materials of lessons of antidisaster and local culture. The present MR system can display cloud data over ten hundred million of points with software, but it is not sufficient for showing original digital data that consist of about one hundred million of point-clouds. Hence, we need to develop a new advanced operation program for enough ability of these huge cloud 3-D data.

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本太平洋沖地震で発生した地震・津波により、東北地方太平洋沿岸では多大な災害が発

生じた。さらにその影響により、東京電力福島第一原子力発電所で事故が発生し、メルトダウンと水素爆発により大量に放射性物質が放出され、福島県浜通りをはじめとして広範囲に放射性物質が飛散し、原稿執筆の2017年の末時点でもいまだに空

間線量が高く住民が帰還できない地域が福島第一原子力発電所周辺の浪江町、双葉町、大熊町や富岡町などに存在する。

東北大学学術資源研究公開センター総合学術博物館（以下総合学術博物館）では、「東日本大震災遺構3次元クラウドデータアーカイブ構築公開事業」（以下本事業）として、東北大学グローバル安全学トップリーダー育成プログラムと共同でこれらの被災地域、特に岩手県、宮城県、福島県において、津波被災を物語る建物や地域、さらに、原子力災害被災地域の福島県では津波被災建物・地域、当時のまま残された避難所、地域を代表する文化財等の三次元アーカイブを協力企業や地方自治体の協力のもと作成してきた（たとえば鹿納、2013）。本報告では、総合学術博物館が主導して震災後から2017年8月にかけて取得してきた57箇所の三次元アーカイブについての概要を報告する。なお、本事業を始めるきっかけとなった岩手県陸前高田市中央公民館・体育館の三次元計測データは株式会社中庭測量コンサルタントが2012年7月に計測したものであり、本論では同社から提供していただいたデータについても報告する。さらに、これらの三次元データを用いて、防災教育や普及活動をしており、これまでの概要等を記述する。

2. 事業のあらまし

東日本大震災遺構3次元クラウドデータアーカイブ構築公開事業（以後「アーカイブ事業」とする）は、当館に導入が決まっていたキャノン製MREALシステム（以後MRとする）で、東日本大震災の被害の様子を三次元3Dで見ることができれば、将来の防災教育に資することができるのではないか？との共著者の西教授の発案により中庭測量コンサルタントで取得していた陸前高田市中央公民館のレーザースキャナで計測された三次元点群データをMRで表示テストを行ったことがはじまりである。当初は点群データをvrm12.0形式に変換し、それをMR用ソフトウェアMR visualizerで読み込んで表示することから始めた。陸前高田市中央公民館のデータ量は、比較的計測点および点群数が少ないことから、読み込みして一度表示させれば問題なくMRで三次元体験ができた。このように震災遺構の三次元ポイントクラウドデータを三次元で体験できることが確認できたため、まずは将来に残すアーカイブであることを念頭に、できるだけ高精度でかつ短時間で被災地・被災施設等の3Dアーカイブを作成することに注力することとした。なお、MR Visualizerではすべての点群をビデオメモリに読み込むという仕様から、およそ1億数千万点の色付き点群データの表示が限界であることも分かった。点群数が多くなるにつれ、点群を間引くなど手間がかかることから、新たなソフトウェアの開発が必要となった。

また、2013年には震災遺構3DデジタルアーカイブをMRにて体験展示をすることにより、広く本アーカイブ事業の有効性を認知させることを目的とし、宮城県議会や仙台市議会をはじめ各地に出向き体験展示を行った。その結果、

宮城県のみやぎ地域復興支援助成金、さらに東北大学総長裁量経費の獲得が実現し、2013年度から本格的に三次元計測を開始することができた。

2014年には、MRに（株）エリジオン社製InfiPoints for MRを導入し、さらに多くの点群データをMRで体験できるようになった。InfiPointsは、レーザ計測で得られた点群データについて、合成処理、ノイズ処理、軽量化処理ができるソフトウェアであり、計測データの各種処理を博物館独自にできるようになった。一方で、2014年8月に、福島県立博物館に事務局を置く「ふくしま震災遺産保全プロジェクト実行委員会」から接触があり、福島県内の津波被災地および原子力事故被災地域に関する三次元アーカイブ作成について協力依頼があった（鹿納、2015）。2015年初頭から福島県富岡町のJR富岡駅をはじめとして福島県内の被災地の計測を本格的に実施することとなった。また、同時期、東北大学災害科学国際研究所アーカイブ分野の柴山研究室がFARO社製レーザースキャナ（Focus3D 120）を導入し、これを用いて共同で三次元計測を実施することにより、費用を抑えて三次元アーカイブを取得できるようになってきた。

2016年になり、津波で被災した富岡町の子安観音堂の三次元データをMRによる体験展示を福島県立博物館で実施した際、原子力災害により避難を余儀なくされた富岡町の住民に非常に好評で、ふるさとを思い出す効果が非常に高いことが分かった。地域の文化を代表する三次元アーカイブの作成と活用は、被災地の文化を継承することにもなることが分かったため、計測対象を文化財にも本格的に広げることとした。2017年2月には福島県双葉町の国史跡清戸迫横穴墓の装飾壁画等を三次元アーカイブ化した。2017年4月からは、ライカジオシステムズ（株）の協力により、帰還困難区域が残る福島県において三次元アーカイブ化を続けている。

3. データ取得手法

本アーカイブ事業では、大きく3つの手法でデジタルアーカイブを作成した。地上型レーザースキャナ（Terrestrial Laser Scanner: 以下 TLS）、移動型レーザースキャナ（Mobil Mapping System: 以下 MMS）、そして無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle: 以下 UAV）や手持ち撮影による三次元写真計測（Structure from Motion (SfM) 技術）である。ただし、福島県双葉町の清戸迫横穴墓については構造化光3Dスキャナ（Structured-light 3D scanner: 以下 デジタイザ）も使用している。デジタイザについては計測に使用した各論の清戸迫横穴墓の項で述べる。以下に各計測手法について概略を述べる。

3-1. 地上型レーザースキャナ（Terrestrial Laser Scanner: 以下 TLS）

これまで使用している機材で、最も使用頻度が高いものが TLS である（図1）。三脚で固定し、計測機が360度回転しな

からレーザー計測をし、足元以外の全天周三次元点群データおよび色データを取得するものである。使用した主な機材として FARO 社製 FARO Focus3D 120 (以下 FARO)、Trimble 社製 GS200 (以下 GS200)、Leica Geosystems 社製 P40 (以下 P40)、同 MS60 (以下 MS60) である。TLS で三次元計測をする場合、FARO と P40 で、機材から 20 ~ 30m 以内の範囲を詳細に取得し、より遠距離の 30m ~ 150m の範囲を重点的に計測する必要がある場合は GS200 と MS60 を用いて計測を実施した。

FARO での計測では、建物内であれば、5m ~ 10m ごとに計測を実施しているが、瓦礫の散乱状況が広範囲に渡り、詳細なデータを残すべきと考えられる場合は、できる範囲で配置間隔が 3m 程度のメッシュ配置になるように心がけている。

3-2. 移動型レーザースキャナ (Mobile Mapping System: 以下 MMS)

MMS は車両の上にレーザースキャナと 360 度カメラを搭載し、GPS や車速センサなどで補正しながら三次元計測ができるものである (図 2)。次に述べる UAV の写真計測が主体になるまで、広範囲にわたる被災地の三次元計測に使用した。

3-3. UAV および手持ち撮影による写真計測 (Structure from Motion 技術: 以下 SfM)

UAV では、空中からデジタルカメラにより多視点の地上

撮影を行う。得られた多視点の画像から SfM 技術で三次元再構成 (三次元化) を行う。UAV を使った SfM では、短時間で平面的な対象物を三次元化する場合に効果的である。ただし、標定点を設置し別に計測するか、または、スケールなどがわかる物を入れて撮影し、補正する必要がある。本手法は、広範囲の被災地の様子をアーカイブする際に使用することが多い (図 3)。UAV 以外での SfM の使用例として、後述の福島県双葉町国史跡清戸迫横穴の玄室床部分と福島県富岡町の中央商店街の道路沿いの町なみの道路から見える部分で使用し、手持ちのカメラで対象を撮影して三次元化している。

4. アーカイブ作成箇所

表 1 に東日本大震災後、東北大学総合学術博物館が主導して取得した 57 箇所の三次元デジタルアーカイブに中庭測量コンサルタントから提供のあった一か所 (岩手県陸前高田市中央公民館・体育館) の合計 58 対象のリストを示す。表には、使用した三次元計測手法も示した。

以下に表 1 にあげた三次元アーカイブの対象についてそれぞれの対象が持つ背景や特徴などを北から南へ県および自治体ごとに記述する。各自治体で複数三次元計測の対象がある場合は計測日順に示す。なお、対象ごとに合計取得点群数を示しているが、TLS の計測では各種のノイズや複数

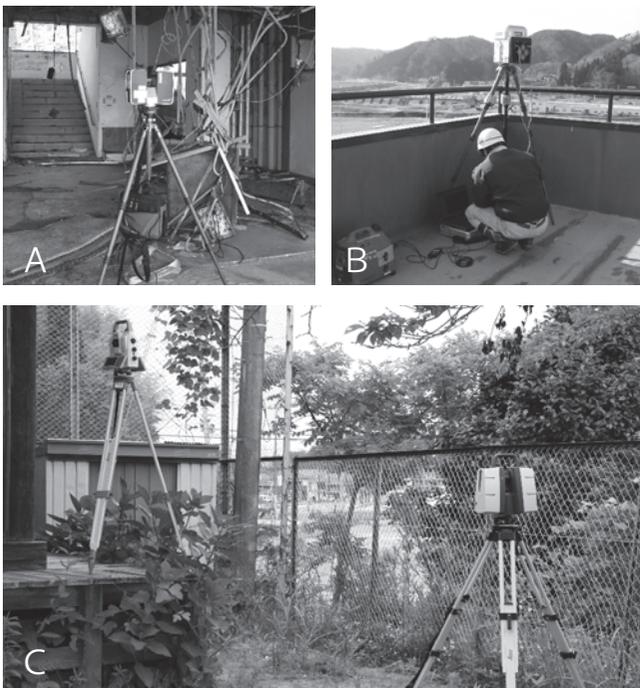


図 1. 計測に使用した地上型レーザースキャナ (TLS)。
A: FARO Focus3D。B: Trimble GS200。C: 左 MS60、右 P40。



図 2. 計測に使用した車載レーザースキャナシステム (MMS)
左: 女川町市街地で使用。右: 女川町以外の宮城県・岩手県で使用。屋根についている機器に、レーザー計測機および 360 度カメラが内蔵されている。



図 3. 計測に使用した UAV。A: 富岡町仏地区で使用した UAV。B: 富岡町仏地区での計測状況。

表 1. 三次元ポイントクラウドデジタルアーカイブ作成対象リスト

県	市町村	対象名等	計測日	位置図および図番号	手法	備考	
岩手県	宮古市	たろう観光ホテル	2014年1月21日～23日	図4-①、図5	TLS		
		田老地区第二防潮堤	2014年1月21日～23日	図4-②、図5	TLS		
	陸前高田市	陸前高田市中央公民館・体育館	2012年7月20日	図4-③、図6	TLS	(株)中庭測量コンサルタント提供	
宮城県	気仙沼市	陸前高田市街地	2013年11月19日	図4-④、図7	MMS		
		第十八共徳丸	2013年3月4日～5日	図8-①、図9	TLS		
		気仙沼市街地	2013年11月18日	図8-②、図10	MMS		
	南三陸町	気仙沼処理区災害廃棄物処理施設	2013年11月18日	図8-③、図11	MMS	気仙沼向洋高校敷地	
		南三陸町防災対策庁舎	2013年3月4日、2014年10月28日再計測	図8-④、図12	TLS		
		志津川市街地	2013年11月15日	図8-⑤、図13	MMS		
		八幡川防潮水門および防潮堤	2014年1月18日	図8-⑥、図14	TLS		
	女川町	水尻川防潮水門	2014年1月18日	図8-⑦、図15	TLS		
		女川町市街地	2013年7月12日	図8-⑧、図16	MMS		
		旧女川交番	2013年7月17日	図8-⑨、図17	TLS		
江島共済会館		2013年7月17日	図8-⑩、図18	TLS			
石巻市	女川サブメントビル	2013年7月19日	図8-⑪、図19	TLS			
	石巻市立旧門脇小学校	2013年3月1日、2015年10月8日、14日、15日	図8-⑫、図20	TLS			
	門脇～南浜地区ほか石巻市街地	2013年11月21日	図8-⑬、図21	MMS			
東松島市	石巻市立旧大川小学校	2014年1月16日～17日	図8-⑭、図22	TLS			
	JR旧野蒜駅	2014年10月29日～30日	図8-⑮、図23	TLS			
	仙台市	仙台市立旧荒浜小学校	2013年2月22日～23日	図8-⑯、図24	TLS		
		仙台市立旧中野小学校	2013年2月24日～25日	図8-⑰、図25	TLS		
		若林区荒浜地区	2013年11月21日	図8-⑱、図26	MMS		
	亘理町	亘理町荒浜～鳥の海地区	2013年11月22日	図8-⑲、図27	MMS		
	山元町	山元処理区災害廃棄物処理施設	2013年11月22日	図8-⑳、図28	MMS		
		山元町立旧中浜小学校	2014年1月14日～15日	図8-㉑、図29	TLS		
	福島県	南相馬市	小高川河口周辺	2013年11月23日	図30-①、図31	MMS	
			井田川河口周辺	2015年12月6日	図30-②、図32	UAV+TLS	
浪江町		相馬双葉漁業協同組合旧請戸支所	2015年2月19日	図30-③、図33	TLS		
		浪江町立荻野小学校体育館	2015年10月21日	図30-④、図34	TLS		
		浪江町立浪江中学校体育館	2015年10月21日	図30-⑤、図35	TLS		
		JR浪江駅前～陸前浜街道中央商店街	2015年12月1日～2日	図30-⑥、図36	TLS		
		浪江町請戸地区集会所	2015年12月2日～3日	図30-⑦、図37	TLS		
		浪江町南棚塩集会所	2015年12月2日～4日	図30-⑧、図38	TLS		
		浪江町中央公民館荻野分館	2015年12月3日	図30-⑨、図39	TLS		
		泉田川漁業協同組合およびサケ孵化場	2015年12月4日	図30-⑩、図40	TLS	(株)中庭測量コンサルタント協力	
		福島いこいの村なみえ	2015年12月3日～4日	図30-⑪、図41	TLS	(株)中庭測量コンサルタント協力	
		藤橋不動尊	2017年3月3日、5月9日	図30-⑫、図42	TLS		
		初発神社	2017年3月4日～5日、5月10日	図30-⑬、図43	TLS		
国玉神社		2017年3月5日、5月10日	図30-⑭、図44	TLS			
双葉町		原子力標語看板	2015年10月21日	図30-⑮、図45	TLS		
		双葉町海の家(マリンハウスふたば)	2015年10月22日	図30-⑯、図46	TLS		
		国史跡清戸迫横穴	2017年2月9日～10日	図30-⑰、図47	デジタルサイ+ SfM+TLS		
大熊町		福島県緊急事態応急対策拠点施設(旧大熊オフサイトセンター)	2017年3月6日～7日	図30-⑱、図48	TLS	2018年2月再計測予定	
		福島県原子力センター	2017年3月6日～7日	図30-⑲、図4	TLS	2018年2月再計測予定	
富岡町	JR旧富岡駅	2015年1月6日～7日	図30-⑳、図50	TLS			
	子安観音堂	2015年2月16日	図30-㉑、図51	TLS			
	相馬双葉漁業協同組合旧富熊支所荷捌所	2015年2月16日	図30-㉒、図52	TLS			
	富岡町災害対策本部(富岡町文化交流センター学びの森2F)	2015年2月16日	図30-㉓、図53	TLS	(株)中庭測量コンサルタント協力		
	仏浜周辺	2015年2月17日	図30-㉔、図54	UAV			
	被災バトカー	2015年3月25日	図30-㉕、図55	TLS			
	富岡町中央商店街	2015年12月6～7日	図30-㉖、図56	UAV			
	夜の森桜並木	2016年4月6日	図30-㉗、図57	TLS	(株)中庭測量コンサルタント協力		
	福島県立富岡高校三階教室群	2016年4月20日、5月25日	図30-㉘、図58	TLS			
	富岡町立富岡第二中学校体育館	2016年5月18日	図30-㉙、図59	TLS			
	大原本店旧店舗	2016年10月17日	図30-㉚、図60	TLS	C-lab 研修		
いわき市	薬師堂	2017年6月27日	図30-㉛、図61	TLS	ライカジオシステムズ(株)協力		
	宝泉寺	2017年6月27日	図30-㉜、図62	TLS	ライカジオシステムズ(株)協力		
	いわき市立豊間中学校旧校舎	2015年4月27日～29日	図30-㉝、図63	TLS			

の計測で重なる部分も含まれており、ノイズの消去や重なり部分の除去といった最適化処理をすると、点群数の値は計測手法にもよるが、2割以上点群数が減少する。

4-1. 岩手県での調査概要

岩手県では、東日本大震災の発生後、三年をめぐりに瓦礫の撤去がすすめられた。本事業を始めた2013年に岩手県陸前高田市～岩手県宮古市田老まで被災地の現状を確認するために自動車での現地調査を実施した。結果、岩手県宮古市田老地区と岩手県陸前高田市において三次元計測を3対象において実施することにし、2013年と2014年に三次元計測を行った。中庭測量コンサルタントが三次元計測を実施した岩手県陸前高田市中心公民館・体育館を含む計測場所については図4に示す。なお、調査を続けるうち、岩手県釜石市鶴住居の防災センター及びその周辺については、釜石市が三次元計測を実施していることを確認している(河北新報2013年11月2日朝刊。解体予定の釜石・鶴住居防災センター 3D映像化へ測量開始)。

4-1-1. 宮古市の調査概要

宮古市中心部には、2013年に行った事前調査では三次元アーカイブの対象となりえるものが残されておらず、市の北方の田老地区には、震災遺構として保存されている田老観光ホテルと破壊された防潮堤が残されていたため、計測対象とした。宮古市田老地区は、明治三陸地震津波や、昭和三陸地震、チリ地震津波など、過去に何度も津波被害を受けた歴史があり、長大な防潮堤を整備してきた。その中で、田老漁港に面する第二防潮堤は東日本大震災により、そのほとんどが破壊された。第二防潮堤の陸側の野原地区には市街地が広がり、その一角にたろう観光ホテルが位置していた。計測時の野原地区には、たろう観光ホテルのほかは、震災以前の建物は解体され残されていなかった。

・たろう観光ホテル(図4-①、図5)

計測日:2014年1月21日～23日。計測手法:TLS。計測点:FARO:83測点。GS200:5測点。取得点群数 1,752,003,418点。

たろう観光ホテルは、宮古市田老野原に位置し、土地は宮

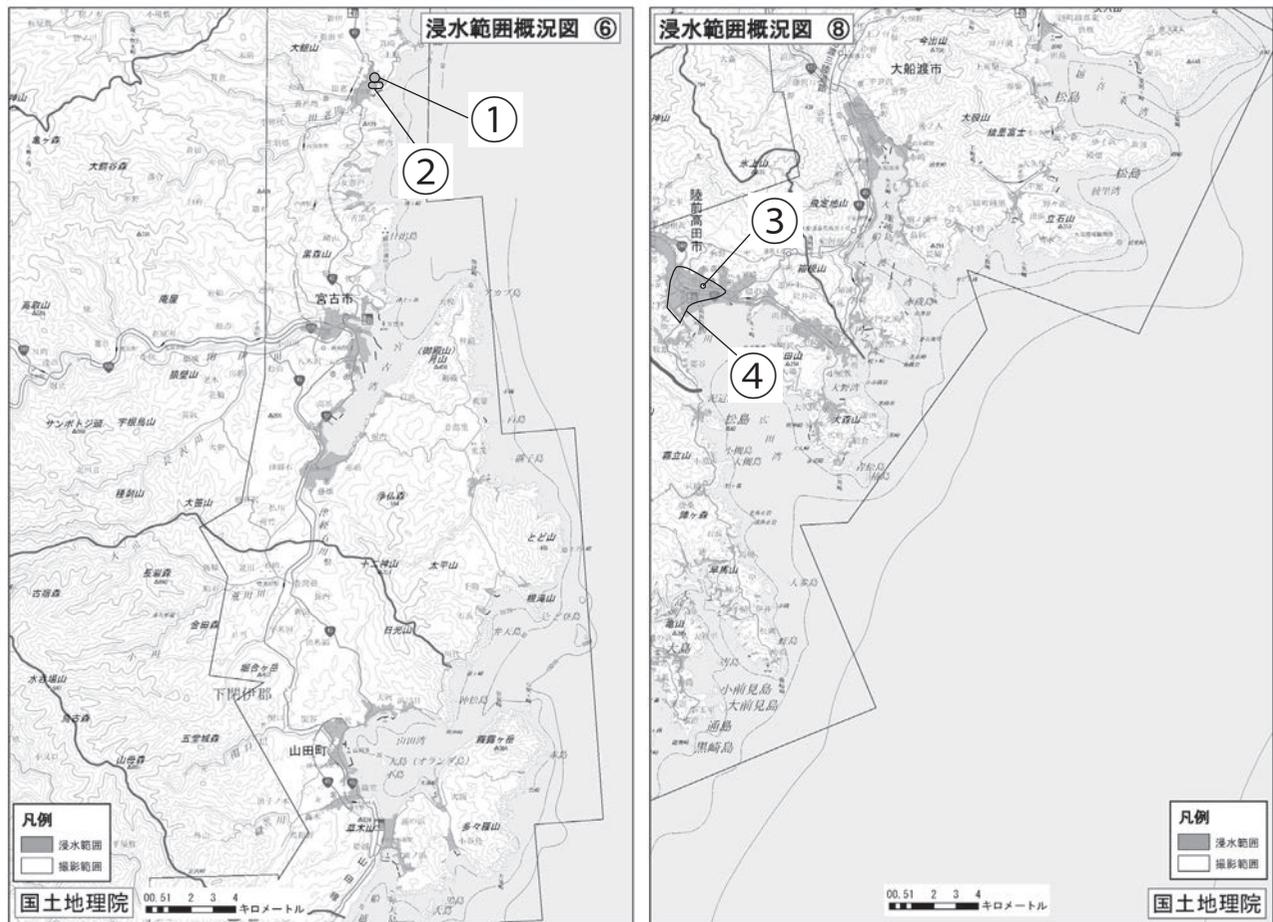


図4. 岩手県内の三次元計測実施場所。国土地理院10万分の1浸水範囲概況図⑥と⑧に加筆。①：宮古市田老のたろう観光ホテル。②：田老地区第二防潮堤。③：陸前高田市中心公民館・体育館。④：陸前高田市街地。

古市が買い取り、建物は宮古市へ譲渡された後、復興交付金により整備され震災遺構として保存されている。ホテルは第二防潮堤の内陸側に位置する(図5)。津波は4階まで到達した。建物2階までは壁がほぼ破壊されており、3階の一部も床が抜けていたり、窓が流されていたりする(図5B)。

計測は、FAROで建物外および津波により大きく破壊された1階、2階、3階で計測を実施した。屋上からはGS200により2点から計測した。また、たろう観光ホテルと田老地区第二防潮堤の間で、両方がデータに含まれるように高所作業車によるGS200での計測も実施した。

・田老地区第二防潮堤(図4-②、図5)

計測日:2014年1月21日~23日。計測手法:TLS。計測点:FARO:151測点、GS200:2測点。合計点群数:1,427,576,126点。

第二防潮堤は、宮古市田老野原の田老漁港に沿って設置されたものである。そのほとんどが津波により破壊されたが、水門やコンクリートブロックで作られたトンネル部分の一部は残されていた(図5C)。一方で、第一防潮堤はほとんど残されており、第二防潮堤との接続部分からGS200による計測も実施した。取得データでは、防潮堤から北側の野原地区の広い範囲の様子を確認することができる(図5A)。なお、第二防潮堤の西側の一部については震災遺構として保存されている。

4-1-2. 陸前高田市の調査概要

陸前高田市は震災前、高田松原から陸側の平野部に市街地が広がっており、津波は、その市街地を飲み込んだ。陸前高田市では、「奇跡の一本松」や気仙中学校、タピック45などの震災遺構を保存、活用することとしている(復興庁ほか、2015)。一方で、中心部にあった文教地区の建物群(博物館・体育館・中央公民館など)は2013年には解体されていた。

東日本大震災の津波で陸前高田市中心部の文教地区に位置した陸前高田市博物館も被災し、史資料・標本等に多大な被害が出た。博物館レスキューを進めていた国立科学博物館の真鍋真博士をはじめとするメンバーが、博物館を含む文教地区にあった中央公民館事務室の壁に、亡き母親へあてた

メッセージを見つけ、そのメッセージに感銘を受け、保存運動を開始した。その時、真鍋氏が専門とする恐竜化石に関する三次元計測で協力をしていた(株)中庭測量コンサルタントが真鍋氏から依頼を受け公民館の事務室と多くの人が避難して亡くなった体育館の一部について三次元計測をしていた。このデータの存在を東北大学総合学術博物館が同大広報課と共に母親へ宛てたメッセージに関するパネル展示を行う際に提供を受け、その後MRによる展示ができないかテストを中庭測量コンサルタント、(株)電通国際情報サービス、キヤノンマーケティングジャパン(株)、キヤノンITソリューションズ(株)の協力のもと実施した。実際に三次元で見ることができることを確認できたため、本事業が始まったものである。

計測対象は、かさ上げ工事が始まったばかりの、瓦礫がほとんど片付けられた平野部とし、MMSにより計測を実施した。ここでは、中庭測量コンサルタントが計測し、データを提供していただいた陸前高田市中央公民館・体育館と市街地の計測データについて記述する。

・陸前高田市中央公民館・体育館(図4-③、図6、中庭測量コンサルタント計測・提供)

計測日:2012年7月20日。計測手法:TLS。測定点設置数:FARO:19測点。合計点群数:224,233,728点。

陸前高田市中央公民館・体育館は、陸前高田市高田町字砂畑に位置し、海岸から800mほど離れた平野部に位置していた。計測は株式会社中庭測量コンサルタントにより、1階の事務室および玄関、さらに体育館につながる廊下と、避難所となっていた体育館内の1か所から実施した(図6)。

本公民館の事務室には、震災当時ここで働いていて、津波の犠牲になった母親に当てたメッセージが残されていた(図6B)。この壁は建物の解体前に切り取られ、旧生出小学校で保管されている。一方、棟続きの中央体育館は、震災当時、避難所とされ、近所の人など約100名程度が避難していた。津波は、体育館まで入り込み、多数の方が犠牲になった。体育館には、外壁を突き破って軽自動車流れ込んでおり、津波の破壊力を物語っている(図6C)。



図5. 宮古市田老地区の計測データ。A: 田老地区で計測した範囲。B: 田老観光ホテル外観。C: 田老地区第二防潮堤。

壁に残されたメッセージは FARO での計測のほかにデジタルカメラにて撮影され、テキストチャマッピングによる三次元表示も可能となっている。壁は切り出された後、内陸部の廃校になった旧生出小学校に運ばれ、保存されたとの報道があるものの、現在はどのようなになっているか未確認である。

中央公民館と体育館があった陸前高田市の文教地区にあった図書館、博物館を含めたすべての建造物は前述のとおり、MMS での計測時には取り壊されており、文教地区には災害廃棄物処理施設が設置されていた。

・陸前高田市街地 (図4-④、図7)

計測日:2013年11月19日。計測手法:MMS。合計点群:976,550,498点。

陸前高田市街地は、広い平野部に発達した町であり、そのすべてが津波にのみこまれた。MMSにより計測を実施し、

範囲は主に平野部である(図7)。計測時には、市街地中央部でもいくつかの建物が残されていたが、現在はかさ上げ工事が進み、震災遺構として残されたもの以外はその影を見ることもできない。陸前高田市中央公民館、体育館、図書館、博物館があった文教地区には、災害廃棄物処理施設があり、壁に覆われ、中は確認できない(図7B)。気仙川の河口には、隣接する山地からかさ上げ用土砂を運搬するためにベルトコンベアが設置されたが、その設置途中の様子が記録されている。なお、高田松原については復旧・嵩上げ工事のため車で入ることができなかったため、データを取得できなかった。

4-2. 宮城県での調査概要

宮城県は、岩手県同様、発災後三年を目処に瓦礫撤去がすすめられた。計測の開始は、2013年2月に、仙台市荒浜小学



図6. 陸前高田市中央公民館・体育館の計測データ(中庭測量コンサルタント提供データより作成)。A:右から体育館、時計塔、中央公民館、図書館と並んでおり、左手前に博物館が配置していた。B:中央公民館事務室の様子。右端には、メッセージが書かれた壁がある。C:陸前高田市体育館内部。

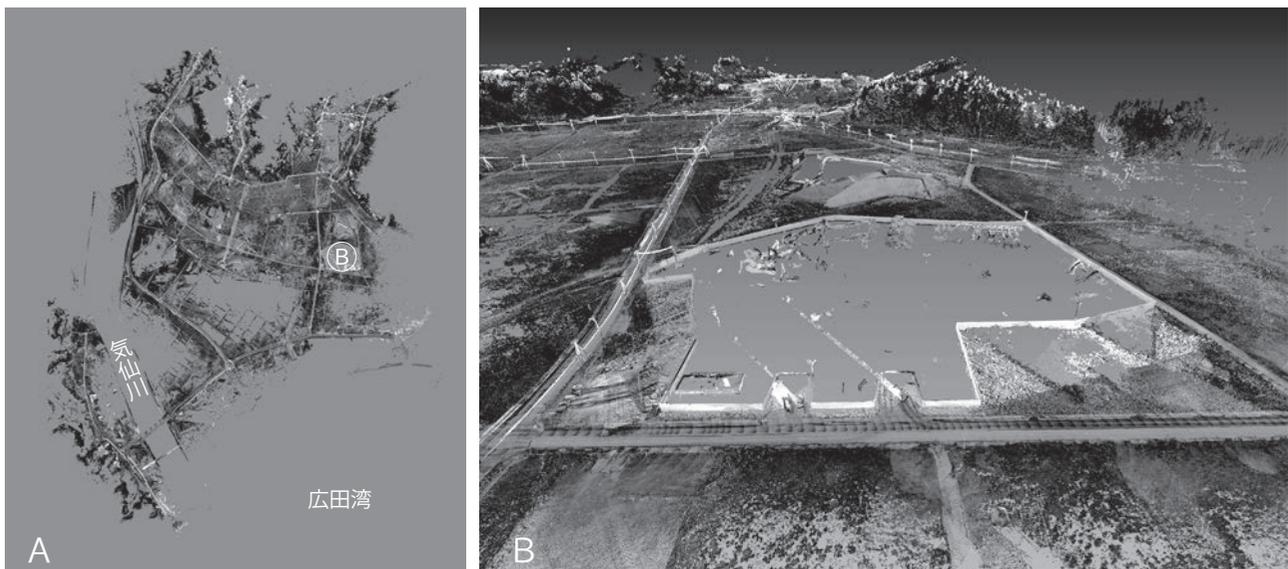


図7. 陸前高田市街地のMMSデータ。A:計測範囲全体図。北が上。南西に気仙川の河口部と気仙大橋が位置する。B:陸前高田市文教地区があった場所のMMSデータ。瓦礫処理施設が設置されており、内部の様子は不明。

校の体育館と中野小学校が 2012 年度内に撤去されるとの情報があったため、前記 2 つに加え石巻市立門脇小学校、南三陸町防災対策庁舎、気仙沼市第十八共徳丸について博物館の経費を用いて急いで実施したものである。その後、宮城県内の平成 25 年度第 2 回 みやぎ地域復興支援助成金や東北大学の

総長裁量経費を用いて、女川町の転倒ビル群や被災地域、大量の災害廃棄物を処理する処理場など、震災を物語る対象について 2015 年にかけて、気仙沼市、南三陸町、石巻市、女川町、東松島市、仙台市、亶理町、山元町の合計 21 箇所ですべて計測を実施した（表 1）。図 8 に宮城県内の計測箇所を示す。

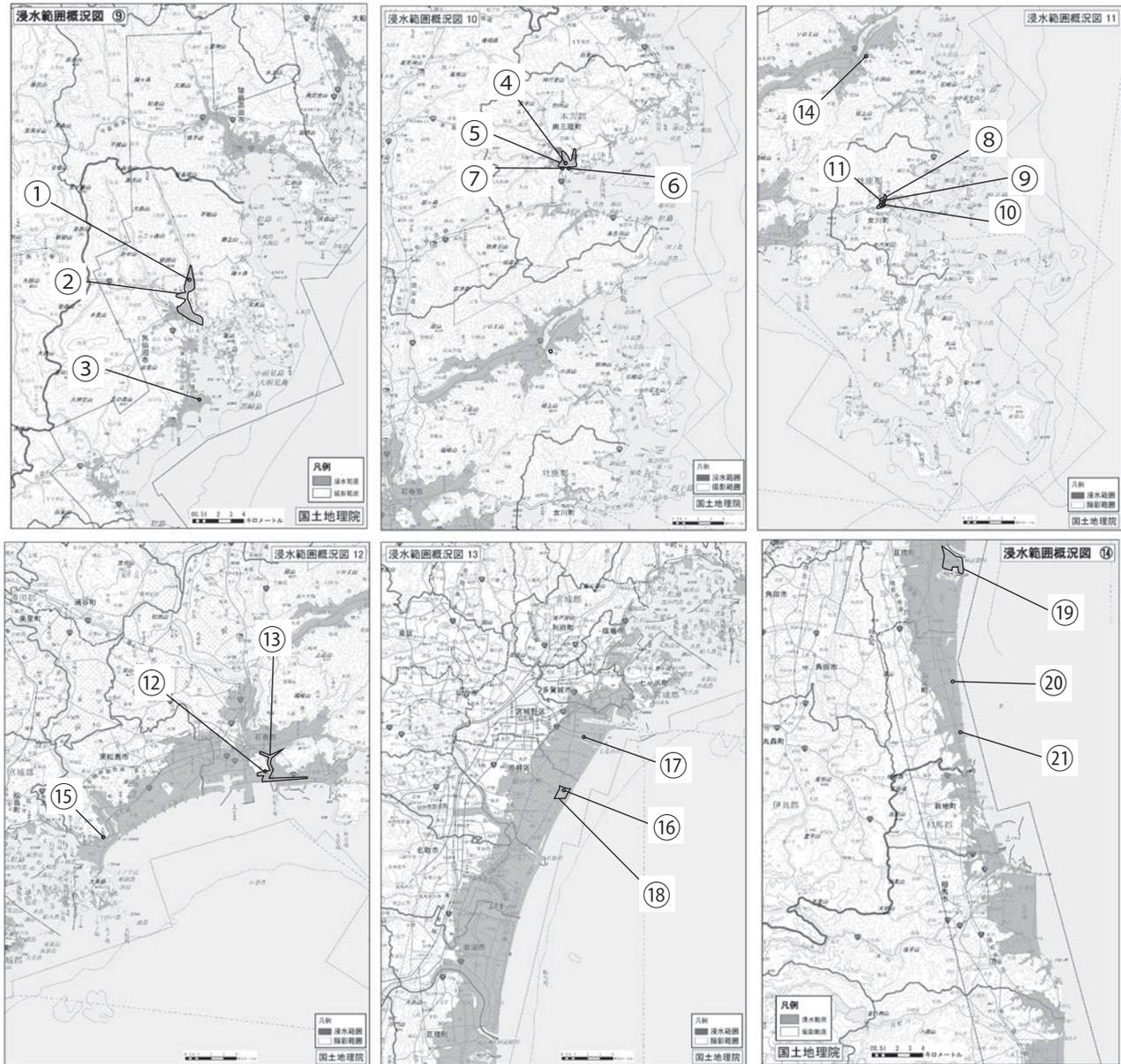


図 8. 宮城県内の三次元計測実施場所。国土地理院 10 万分の 1 浸水範囲概況図⑨～⑭に加筆。番号は宮城県内での本文中の記載順である。浸水概況図で重なる部分に位置する計測対象は、いずれか 1 枚の概況図に示す。①：第十八共徳丸。②：気仙沼市街地。③：気仙沼処理区災害廃棄物処理施設。④：南三陸町防災対策庁舎。⑤：志津川市街地。⑥：八幡川防潮水門および防潮堤。⑦：水尻川防潮水門。⑧：女川町市街地。⑨：旧女川交番。⑩：江島共済会館。⑪：女川サプリメントビル。⑫：石巻市立旧門脇小学校。⑬：門脇～南浜地区ほか石巻市街地。⑭：石巻市立旧大川小学校。⑮：JR 旧野蒜駅。⑯：仙台市立旧荒浜小学校。⑰：仙台市立旧中野小学校。⑱：若林区荒浜地区。⑲：亶理町荒浜～鳥の海地区。⑳：山元処理区災害廃棄物処理施設。㉑：山元町立旧中浜小学校。

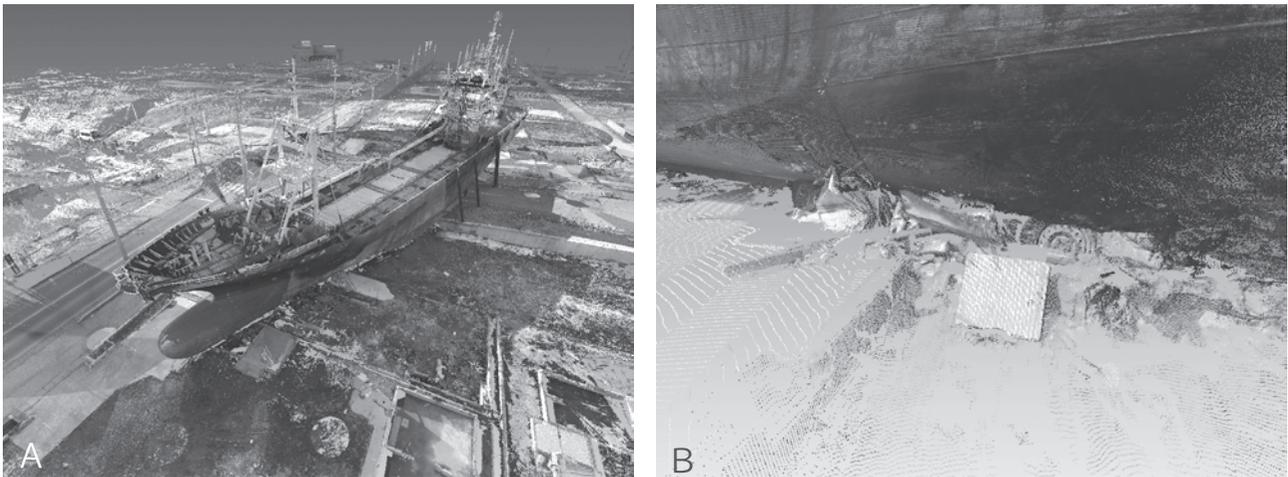


図9. 第十八共徳丸。A：全景。B：第十八共徳丸に押しつぶされた軽自動車。

4-2-1. 気仙沼市の調査概要

気仙沼市は、リアス式海岸が発達し、津波の被害が大きくなった地域である。新浜町に打ち上げられた第十八共徳丸、被災した気仙沼市街地（特に気仙沼湾西岸と鹿折地区）と気仙沼処理区災害廃棄物処理施設（波路上地区）について三次元計測を実施した。

・第十八共徳丸（図8-①、図9）

計測日：2013年3月4日～5日。計測手法：地上型レーザースキャン。測定点設置数：FARO：31測点、GS200：4測点。合計点群数：368,638,346点。

気仙沼港のドックに入るために気仙沼港に係留されていた第十八共徳丸は、津波によりJR大船渡線鹿折唐桑駅前の新浜町に打ち上げられた（図9A）。船体の長さは約60mで幅は約8.7m、プロペラスクリューの直径は約3mである。船体の下に軽自動車が押しつぶされていた（図9B）。船体は2013年度中に解体されている。なお、後述するMMSによる市街地のデータには、第十八共徳丸は存在しない。

・気仙沼市街地（図8-②、図10）

計測日：2013年11月18日。計測手法：MMS。合計点群数：2,802,222,377点。

北は鹿折地区から南は気仙沼港西岸地区の朝日町、西は気仙沼市役所前～大川左岸にかけて計測を実施した（図10）。計測時には、瓦礫はほとんど片付けられ、住宅の基礎が残る程度であった。鹿折地区にあった第十八共徳丸は解体されていた。なお、計測範囲の一部はアジア航測株式会社が2011年4月22日にMMSで三次元計測し、データの提供を受けている。

・気仙沼処理区災害廃棄物処理施設（図8-③、図11）

計測日：2013年11月18日。計測手法：MMS。合計点群数：402,287,594点。

気仙沼市波路上地区にある旧気仙沼向洋高校の敷地に設置された災害廃棄物処理施設内をMMSにより計測した（図11）。

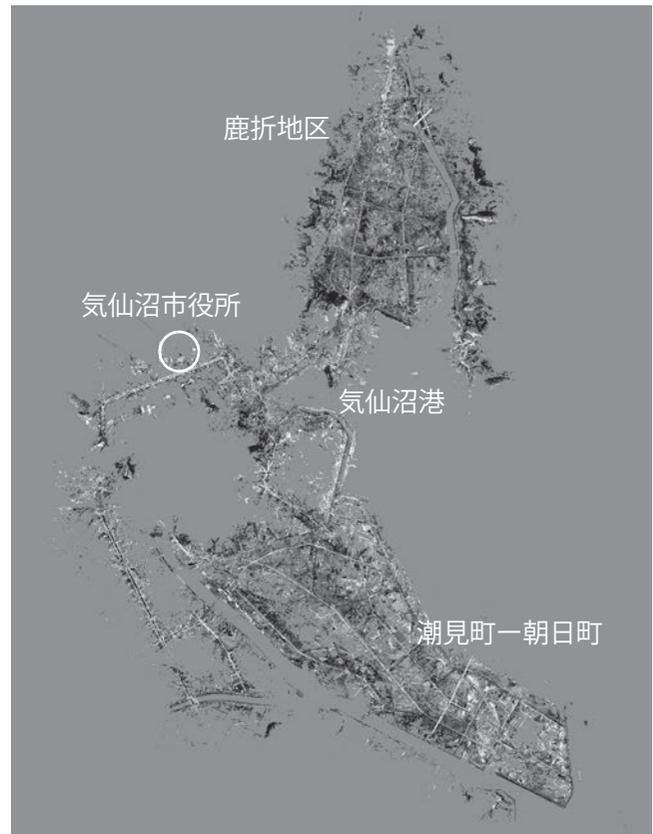


図10. MMSによる気仙沼市街地の計測データ。上が北。

宮城県気仙沼向洋高校の旧校舎の一部が確認でき（図11B）、校舎は震災遺構として保存が決定したものである（杉安、2016）。処理施設を取り巻くように壁が設置されており、全体

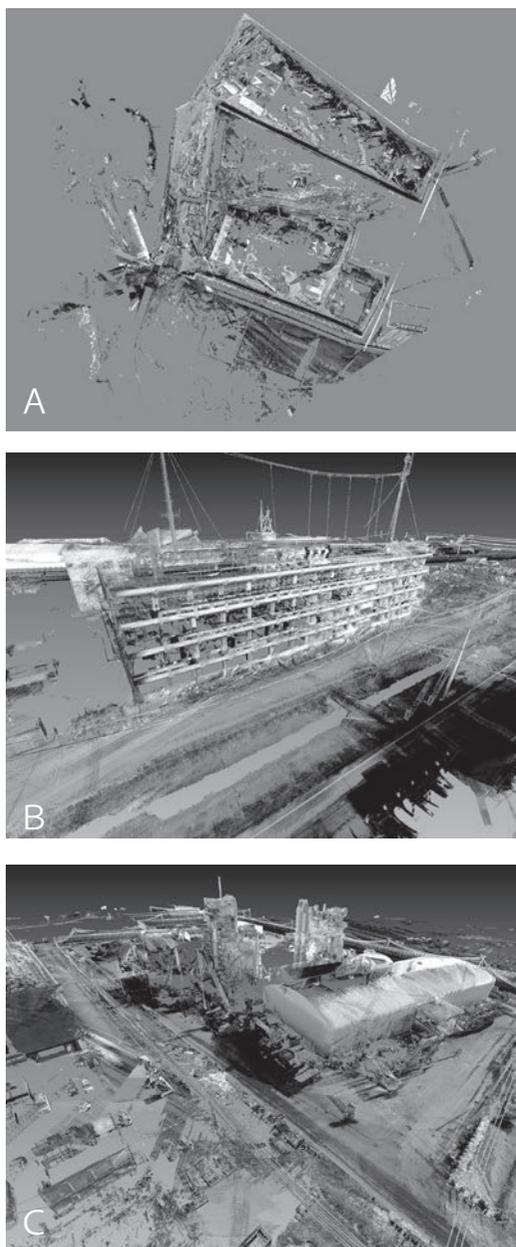


図 11. MMS による気仙沼処理区災害廃棄物処理施設。A：計測範囲全体。B：気仙沼処理区災害廃棄物処理施設内に位置した気仙沼向洋高校の校舎。C：気仙沼処理区災害廃棄物処理施設のプラント。

を把握するデータの取得が難しかったものの、プラントについては基部を除き確認することができる(図 11C)。

4-2-2. 南三陸町の調査概要

南三陸町は、リアス式海岸に位置し、外洋に面した石浜地区や志津川湾に面した一帯で大きな被害があった。三次元計測

については被害の大きい志津川地域で実施している。計測は震災遺構の候補として宮城県が震災から 20 年の間保存を決めた南三陸町防災対策庁舎、志津川の市街地、八幡川防潮水門および防潮堤、水尻川防潮水門を対象とした。なお、アジア航測株式会社が MMS により 2011 年 4 月 22 日に志津川市街地の主要道路から三次元計測を実施し、データの提供を受けている。

・南三陸町防災対策庁舎(図 8-④、図 12)

計測日:2013 年 3 月 4 日(第 1 回)、2014 年 10 月 28 日(第 2 回:再計測)。計測手法:TLS。測定点設置数:FARO: 17 測点、GS200:3 点(第 1 回)、FARO:53 測点 GS200:3 測点(第 2 回)。合計点群数 198,722,976(第 1 回)、1,133,216,419 点(第 2 回)。

防災対策庁舎は、南三陸町志津川塩入にあり、志津川中心部を流れる八幡川の河口からおおよそ 500m の右岸に位置する。南三陸町の防災対策庁舎は震災時に災害対策本部が置かれており、津波はその屋上を超える高さまで押し寄せた。庁舎では町職員や町民ら 43 人が犠牲になったとされる(宮城県震災遺構有識者会議、2015)。

1 回目の計測では不安定な高所作業車の作業台上から FARO にて計測を行っており、さらに計測点の設置数も少なかったため、データ量不足と色データの若干のずれが生じていた。図 12A,B に、1 回と 2 回目の全景を示すが、1 回目の屋上部分のデータが少ないことが分かる。そのため、2014 年に再計測を実施し、作業員は 2 階より上の階では建物内に立たないようにして高所作業車から TLS を各階の床に設置して測定点を増やし計測を実施したものである。各階の計測結果を図 12C ~ F に示す。津波が押し寄せるまで防災無線で避難を呼びかけた部屋は 2 階にあったとのことであるが、計測時には構造物は何も認められなかった(図 12E)。

・志津川市街地(図 8-⑤、図 13)

計測日:2013 年 11 月 15 日。計測手法:MMS。合計点群数:1,606,494,004 点。

志津川市街地については、津波で被災した市街地中心部のほか、避難場所となった志津川中学校や志津川高校へ上る道も計測対象としている(図 13)。市街地には、防災対策庁舎のほか、一部に高野会館といった被災建物が残されている(図 13B、C)ほか、かさ上げ工事が始まっている様子が記録されている。2011 年 4 月 22 日にアジア航測株式会社の MMS により主要道路沿いで計測されたデータが存在し、提供を受けている。

・八幡川防潮水門および防潮堤(図 8-⑥、図 14)

計測日:2014 年 1 月 18 日。計測手法:TLS。測定点設置数:FARO:66 測点、GS200:3 測点。合計点群数:694,778,337 点。

南三陸町志津川市街地の中心部を南北に流れる八幡川の河口にある防潮水門と防潮水門から東へ伸びる防潮堤を計測対象とした(図 14A)。防潮水門の水門ゲートは 4 つあり、そのうち、東側二つが下がっており、西側 2 つが上がった状態である(図 14B)。防潮堤はほとんど津波によって破壊されている(図 14C)。破壊された防潮堤周辺は、土嚢で仮設の防潮堤が作られている。防潮堤があった陸側の地形は、

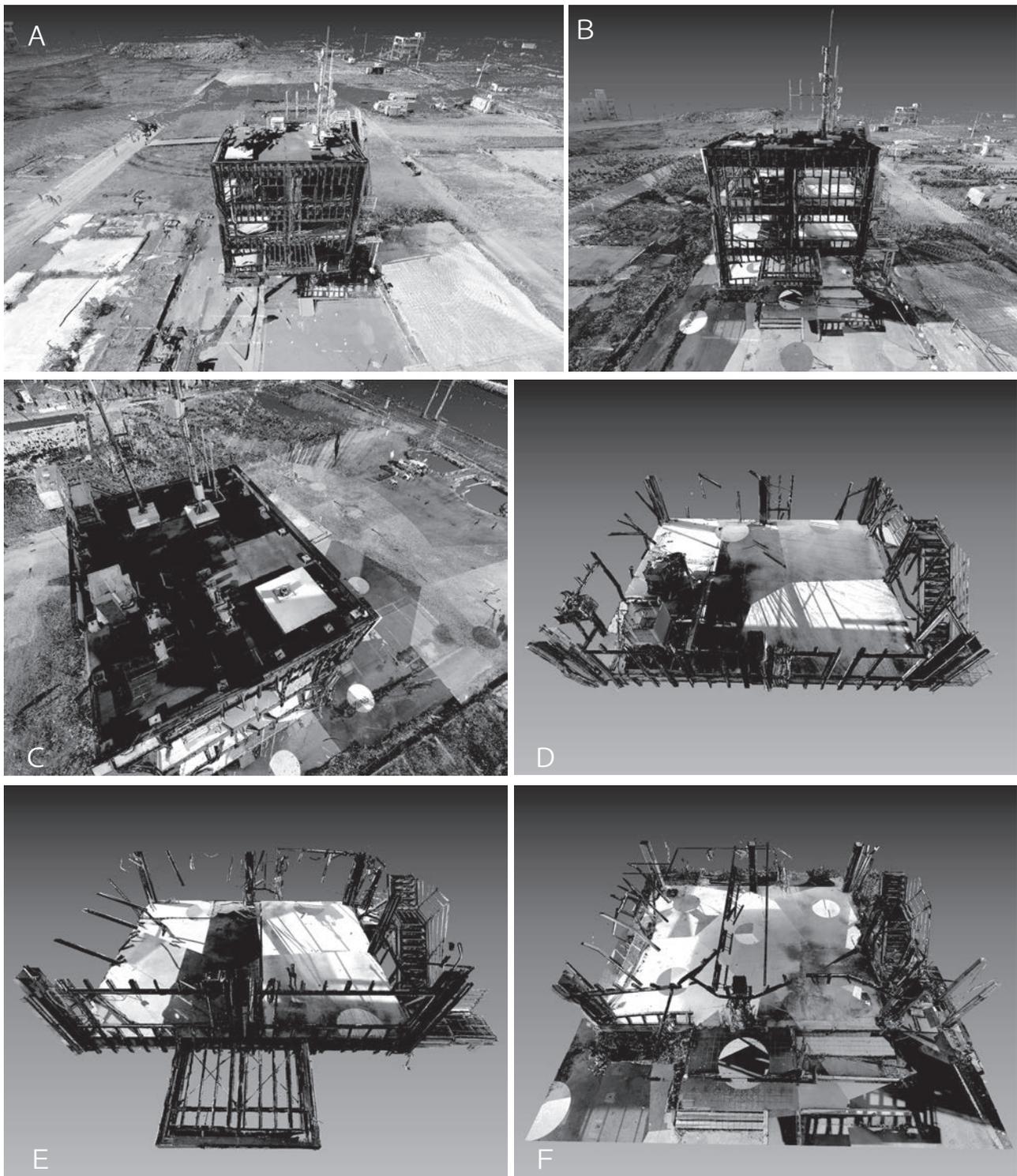


図 12. 南三陸町防災対策庁舎。A：計測 1 回目。B：計測 2 回目。C：計測 2 回目屋上。1 回目で取得できなかった部分が計測できている。D：計測 2 回目 3 階。E：計測 2 回目 2 階。F：計測 2 回目 1 階。

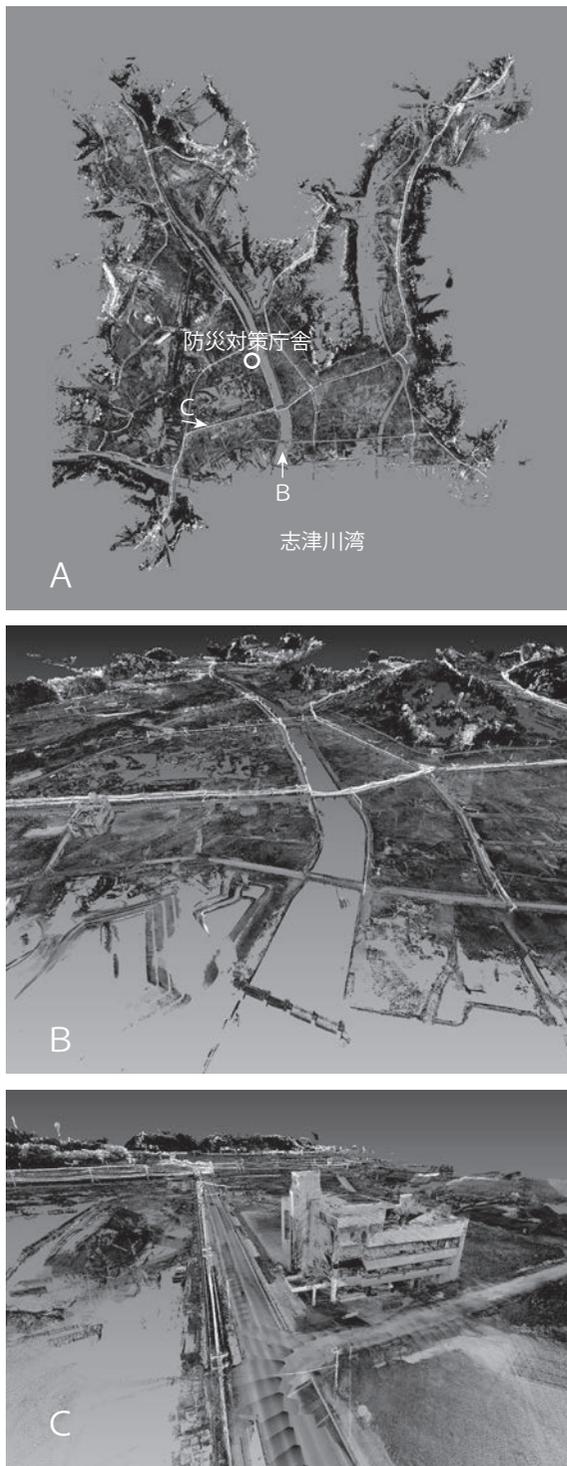


図 13. MMS による南三陸町志津川市街地。A:計測範囲。B:八幡川河口から見た志津川地区。C:国道 45 号線沿いに残された高野会館。

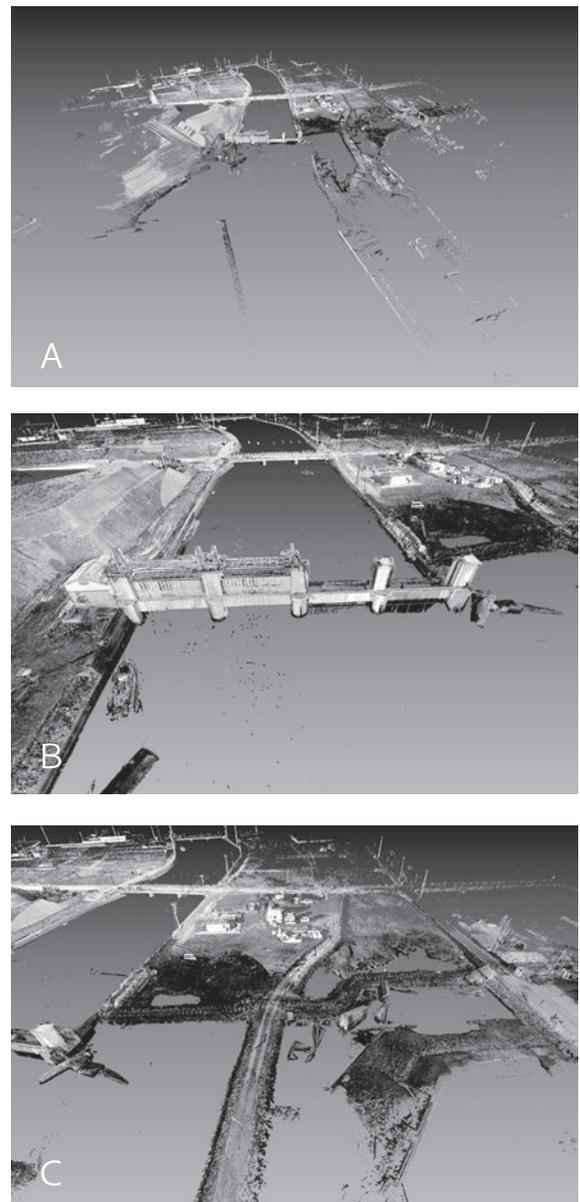


図 14. 八幡川防潮水門および防潮堤の遠景。手前は志津川湾。

越流の影響で地面が削られている様子もわかる。また、広範囲で地盤沈下の影響で水たまりが認められる。なお防潮水門の西側ではかさ上げ工事が始まっていた。

・水尻川防潮水門 (図 8-⑦、図 15)

計測日:2014 年 1 月 18 日。計測手法:TLS。測定点設置数: FARO:22 測点、GS200:1 測点。合計点群数:288,097,333 点。

志津川市街地南西に位置し、西から東へ流れる水尻川河口に位置する。水門のすぐ上流側にある国道 45 号線の橋は、津波のため破壊され、計測時には仮設の橋が架かっている状態である。水門ゲートは 3 つあるが、そのうち南側のひ

とつは完全に破壊され、残りの二つは下がった状態である(図15)。

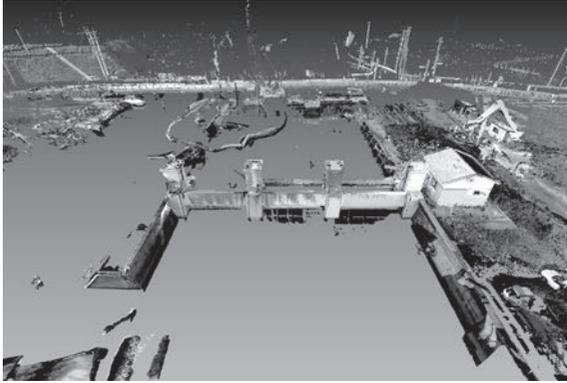


図15. 水尻川防潮水門。奥に国道45号線の仮設橋が架かる。

4-2-3. 女川町の調査概要

牡鹿半島の付け根のリアス式海岸に位置する女川町では、市街地全体が津波により被災した。鉄筋コンクリート建物が3棟転倒するという珍しい現象が見られた。震災遺構として転倒ビルの保存が検討されていたが、現在では女川交番が震災遺構として残されるのみとなっている。三次元計測は女川市街地、転倒した以下の旧女川交番、江島共済会館、女川サブプリメントビルで実施した。

・女川町市街地 (図8-⑧、図16)

計測日: 2013年7月12日。計測手法: MMS、TLS。測定点設置数: GS200: 3測点、熊野神社周辺: FARO: 4測点。GS200: 2測点(1点は福祉センター屋上より)。慰霊碑前: FARO: 1測点。GS200: 1測点。合計点群数: 全体: 554,342,317点(内訳: MMS および GS200 による市街地: 495,293,518点、熊野神社周辺: 46,133,298点、慰霊碑前: 12,915,501点)。

津波によって被災した女川町市街地の大部分をMMSにより、本格的なかさ上げ工事が始まる前に計測を実行した

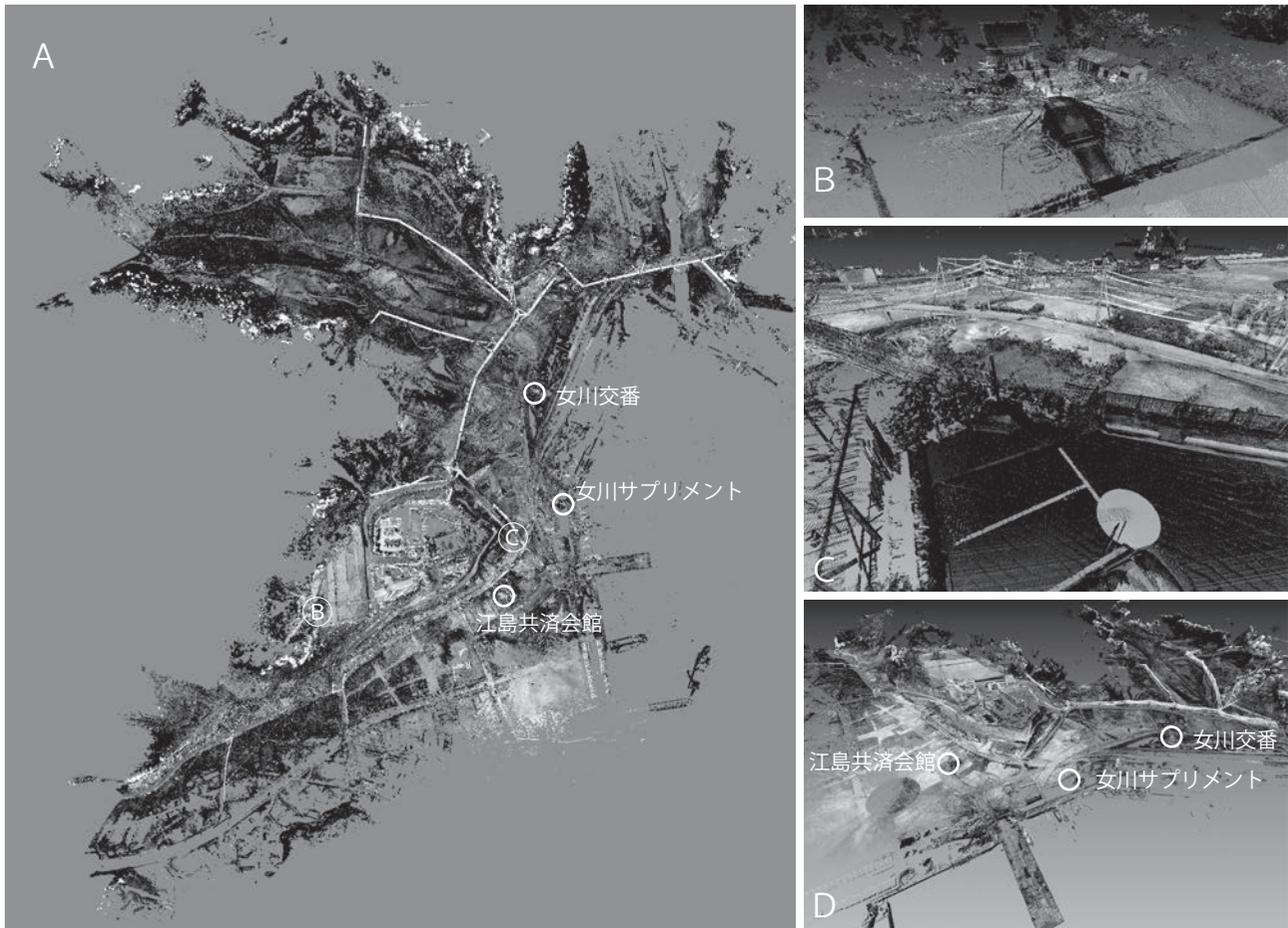


図16. MMSによる女川町市街地。A: 計測範囲。B: 熊野神社遠景。C: 高台の東端にある慰霊碑。D: 女川湾上空からの計測範囲遠景。

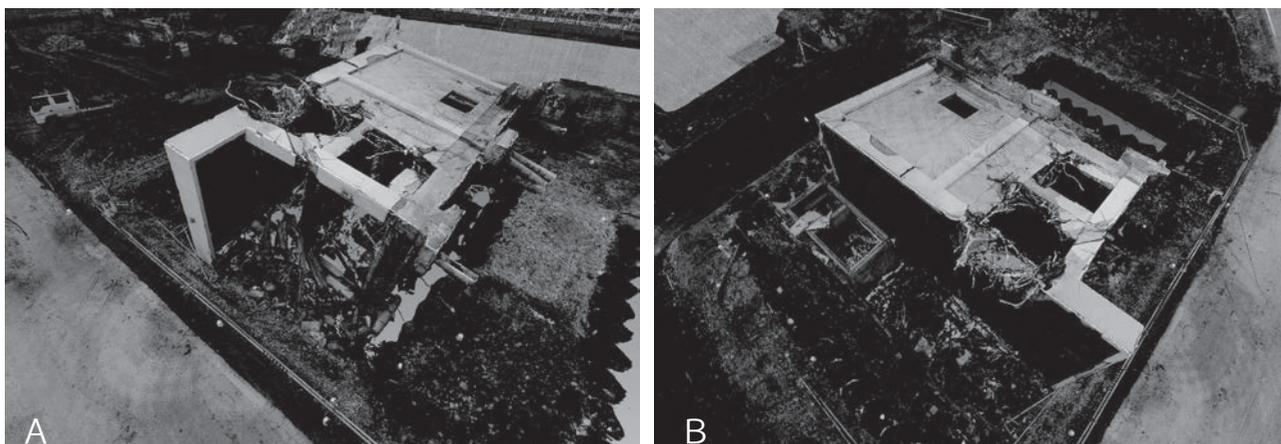


図 17. 旧女川交番。奥に見える白いものは海側とおる国道の斜面である。A：南西側上空からの旧女川交番。杭が残されている様子が見える。B：屋上面が見える方向（北西側）からの様子。壁面から天井にかけて、漂流物がぶつかって破壊されたと思われる痕跡が見られる。

(図 16)。また、避難した人が多かった熊野神社の周辺 (図 16B) を、神社および市街地中ほどの高台にある女川町地域福祉センターの屋上から計測を実施した。高台にある女川町地域医療センターの敷地東端に位置する慰霊碑前から TLS による計測も実施した (図 16C)。

市街地の大部分でがれきの撤去が進み、更地になっている。市街地北方の伊勢地区では、かさ上げ工事が進んでいる。計測時点では転倒した三棟のビルは残されており、位置関係がわかる (図 16A,D)。

・旧女川交番 (図 8-⑨、図 17)

計測日：2013 年 7 月 17 日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：17 測点。合計点群数 188,862,377 点。

女川町宿浜十二神に位置し、海岸から 100m ほど離れている。建物の転倒と共に抜けた基礎杭の長さは約 1.8m、直径は 30cm であり、支持層である砂礫層に届いていたとみられる。しかしながら、建物が建っていたと思われる窪地には水面が認められ、海水面の高さと同様と考えられるので、透水性の高い砂や礫層からなる地盤であったと考えられる。危険なため TLS は建物内部には設置していない。建物側面から屋上にかけて漂流物が当たって壊れたと思われる跡 (図 17) があり、この衝撃により北北東側の底面を支点として横倒しになった可能性が考えられる。

・江島共済会館 (図 8-⑩、図 18)

計測日：2013 年 7 月 17 日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：21 測点。合計点群数：249,139,058 点。

女川町の沖にある江島出身者向けの施設で、四階建てのビルである (図 18)。海岸にある埠頭の付け根から 120m ほど離れている。津波により転倒した鉄筋コンクリート建物の中で一番規模が大きいものである。2014 年 12 月 11 日に解体が始まった。屋上は陸側 (西南西方向) に倒れており、

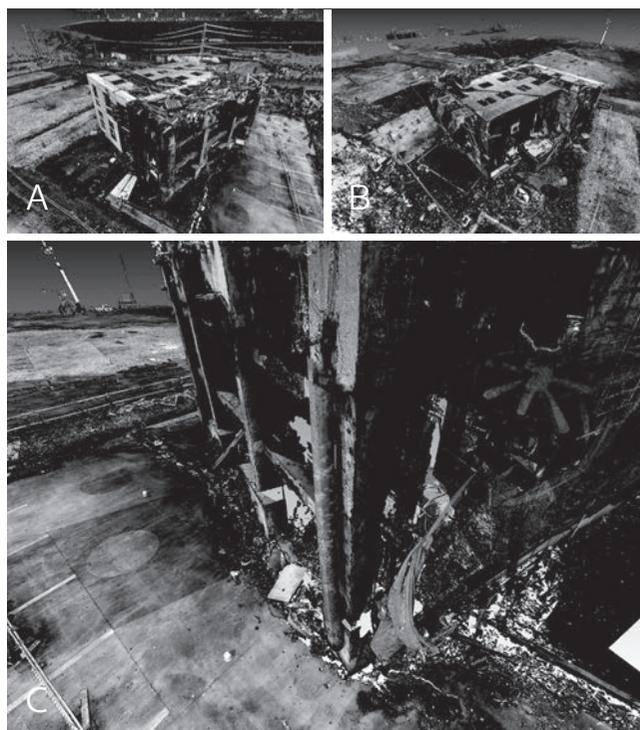


図 18. 江島共済会館。A：南東側から。B：北西側から。C：円柱状の基礎杭がぶら下がっている様子。

押し波によって転倒したと考えられる。崩落等の危険あったため、TLS は内部には設置していない。基礎の一番北側には約 5.5m の折れた杭がぶら下がっていた (図 18C)。上を向いている側面には、瓦礫が取り残されていた。

・女川サプリメントビル (図8-⑪、図19)

計測日：2013年7月19日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：15測点。合計点群数：167,089,378点。

女川町女川浜大原の女川サプリメントという薬局のビルであったが、津波で転倒したものである。転倒方向は北東方向で、海岸方向である。海岸から5mほど離れている。建物内には車が入り込んでいる様子もわかる(図19)。2014年3月3日に解体が始まった(河北新報2014年3月4日朝刊第16版(30)。記憶に刻んで 女川の被災薬局ビル解体始まる)。倒壊や崩落等の危険性があったため、TLSは内部には設置していない。

4-2-4. 石巻市の調査概要

石巻市は、東日本大震災で死者が3,552名(平成29年9月8日現在:消防庁災害対策本部、2017)と最も人的被害が多かった自治体である。北上川河口や旧北上川河口といった平野部で被害が大きく、北上山地が形作るリアス式海岸の内湾沿いにも被害が認められる。三次元計測は、津波の襲来後に火災に見舞われた旧石巻市立門脇小学校、市街地南部で最も被害の大きかった門脇市街地を含むその周辺、さらに児童・職員40名余りが死亡した石巻市立大川小学校旧校舎の三か所で行った。

・石巻市立旧門脇小学校 (図8-⑫、図20)

計測日：2013年3月1日、2015年10月8日、14日、15日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：241測点、GS200：6測点。合計点群数：6,029,762,578点。

石巻市立旧門脇小学校は石巻市門脇に位置し、北側は日和山(標高54.3m)の急な崖がせまり、南側は開けた平野部で、その先に石巻湾が広がっている。校舎は海岸から約600m離れて



図19. 女川サプリメントビル。画像右側は海岸である。屋上を海側に向け倒れている。

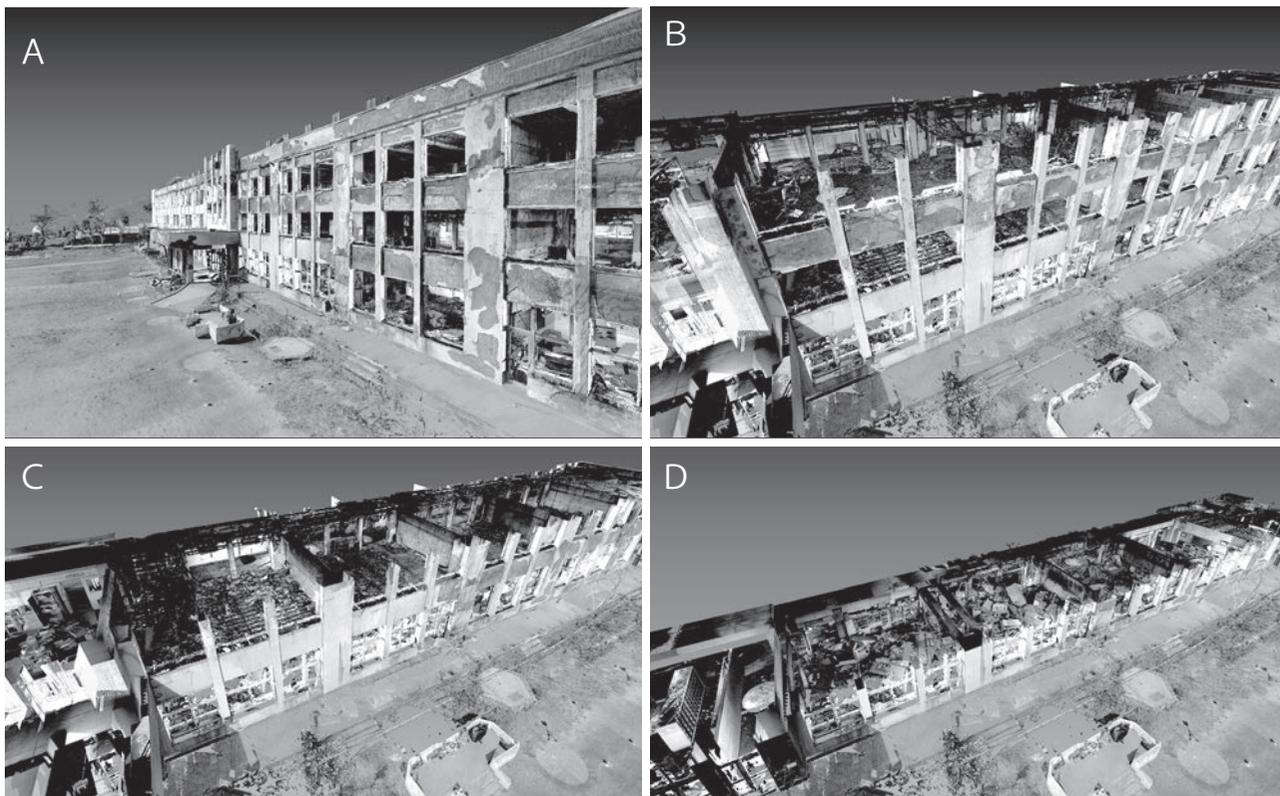


図20. 石巻市立旧門脇小学校。A：校舎東側からの遠景。B：校舎東側3階の天井を取り払った映像。C：校舎東側2階の天井を取り払った映像。D：校舎東側1階の天井を取り払った映像。

いる。計測は本校舎を対象とした。2013年3月に第一回計測に入り、外周、正面玄関から屋上までの階段、屋上および1階の一部教室などを計測した。なお、GS200での計測は、1回目の計測時のみである。2016年10月に3日に分けて、校舎内の残りの教室や廊下部分の計測を石巻市の協力のもと実施した。

津波は1階の廊下の床面から1.8m程度の高さまで押し寄せたことがわかる痕跡が認められた。津波で襲われた後の火災により、1階は東側の一部、2階も東側全体、3階は西端の階段と教室を仕切る防火扉より東側で火災が延焼していることがわかる(図20)。

・門脇～南浜地区ほか石巻市街地(図8-⑬、図21)

計測日：。2013年11月21日。計測手法：MMS。合計点群数：1,319,716,097。

石巻市南浜町、門脇小学校周辺、旧北上川右岸、石巻市役所前の県道の商店街沿いをMMSによって計測した(図21)。日和山南方の門脇町、南浜町は、大きな工場以外の住宅などはほとんど取り壊された状態である。門脇小学校の校舎は、覆いがかかっており、2013年3月以降に周辺住民の要望により設置されたものである。この門脇、南浜地域には復興記念公園が整備されることになっており、一角

に、県と市の震災アーカイブ関連施設が設置される予定である(復興庁・宮城県・石巻市、2015)。

・石巻市立旧大川小学校(図8-⑭、図22)

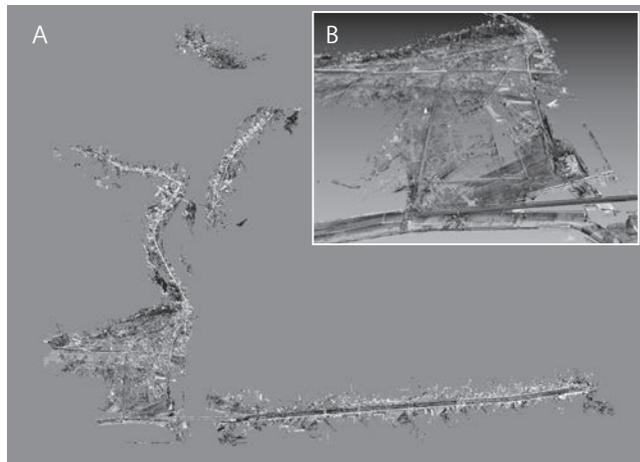


図21. 門脇～南浜地区ほか石巻市街地 MMS データ。
A：計測範囲。B：門脇周辺地域。

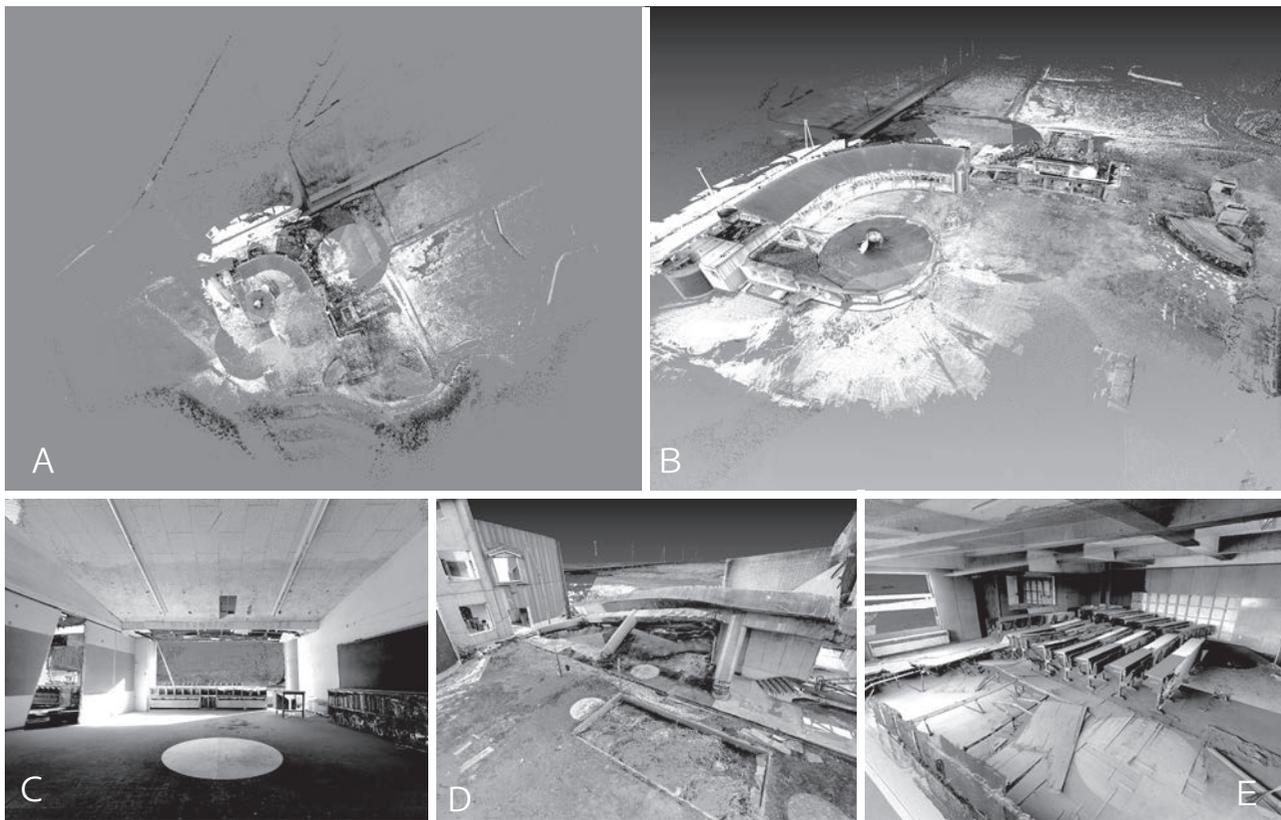


図22. 石巻市立旧大川小学校。A：計測範囲。B：校舎遠景。C：校舎2階4-1教室。斜めの天井に津波の浸水深を示す痕跡が見られる。D：倒れたコンクリート製渡り廊下。E：1階視聴覚室。

計測日：2014年1月16日～17日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：156測点、GS200：3測点。合計点群数：3,749,993,507点。

石巻市立旧大川小学校は石巻市釜谷山根の北上川河口からおおよそ4kmの南側（右岸）の山のふもとに位置し、北上川の河岸から約200mに位置する（図22）。多くの小学生や教員が避難途中で犠牲になった。津波は2階天井付近まで到達している（図22C）。2階床面の高さからおおよそ3.4mの高さ（校舎1階床面からおおよそ7.2m）に津波の跡が見られる。なお、校舎屋上には退避スペースは存在しない。校舎二階から渡り廊下がプールおよび体育館方面に延びていたが、根本から折れ曲がっていた（図22D）。倒れた方向は東であり（陸から河口・海方面）、引き波の力の影響が大きかった可能性がある。小学校の校庭の南側には山が迫っている様子も記録している。

4-2-5. 東松島市の調査概要

東松島市では、野蒜～東名浜地区での被害が甚大であった。JR仙石線は津波により、車両が流されている。JR野蒜駅は震災遺構として保存されている。2011年4月23日にアジア航測株式会社が野蒜地区の主要道路沿いでMMSを使った計測を実施し、データの提供を受けている。三次元計測は旧JR野蒜駅で実施した。

・JR旧野蒜駅（図8-⑮、図23）

計測日：2014年10月29日～30日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：98測点、GS200：4測点。合計点群数：1,265,955,052点。

JR旧野蒜駅は東松島市野蒜北余景に位置した移設前のJR仙石線の駅である。仙石線は震災後に東名運河周辺で内陸側の高台に移設された。JR旧野蒜駅プラットホームは震災遺構として保存されており、駅舎だったところには、東松島市震災復興伝承館が平成28年10月1日にオープンしている。計測当時は線路が残されており、駅北側にできた震災記念公園

もまだない状態である（図23）。JR旧野蒜駅は、海岸から800m弱の距離があり、駅舎南側に東名運河が東西方向に流れている。プラットホーム西側の照明の支柱が東側に倒れており（図23B）、津波の強い流れが西から東へかかったものと考えられる。海岸の方向は南東方向であるため、周辺の地形的な影響で、津波の流向が変化した可能性があると考えられる。

4-2-6. 仙台市の調査概要

仙台市では、太平洋沿岸地域に広がる仙台平野の海岸よりの宮城野区と若林区に甚大な被害が出た。津波は仙台東部道路まで達し、一部は東部道路より内陸側まで達した。津波で被災した若林区の仙台市立旧荒浜小学校体育館および宮城野区の仙台市立旧中野小学校を2012年度中に解体を始めるという情報が2013年1月24日に仙台市教育委員会の委員であった永広昌之東北大学名誉教授（東北大学総合学術博物館協力研究員）から一報が入ったため、解体前に旧中野小学校と旧荒浜小学校について急遽三次元計測を計画・実施したものである。旧中野小学校、旧荒浜小学校体育館の解体は2013年6月末に終了している（仙台市教育委員会 総務課、2014）。旧荒浜小学校が立地する仙台市若林区荒浜地区については、MMSにより2013年11月に計測を実施した。

・仙台市立旧荒浜小学校（図8-⑯、図24）

計測日：2013年2月22日～23日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：78測点、GS200：4測点。合計点群数：1,581,174,070点。

仙台市立旧荒浜小学校は、仙台市若林区荒浜新堀端に位置し、海岸から約700m離れた海岸平野に位置し、震災当時、児童や住民など約320名が避難したところである。現在、仙台市立旧荒浜小学校校舎が震災遺構および伝承施設として公開されている。計測は、解体される前の体育館と校舎外周、校舎内1階と2階廊下を対象とした（図24A）。

体育館の床は支柱があるところ以外は大きく沈み込み、

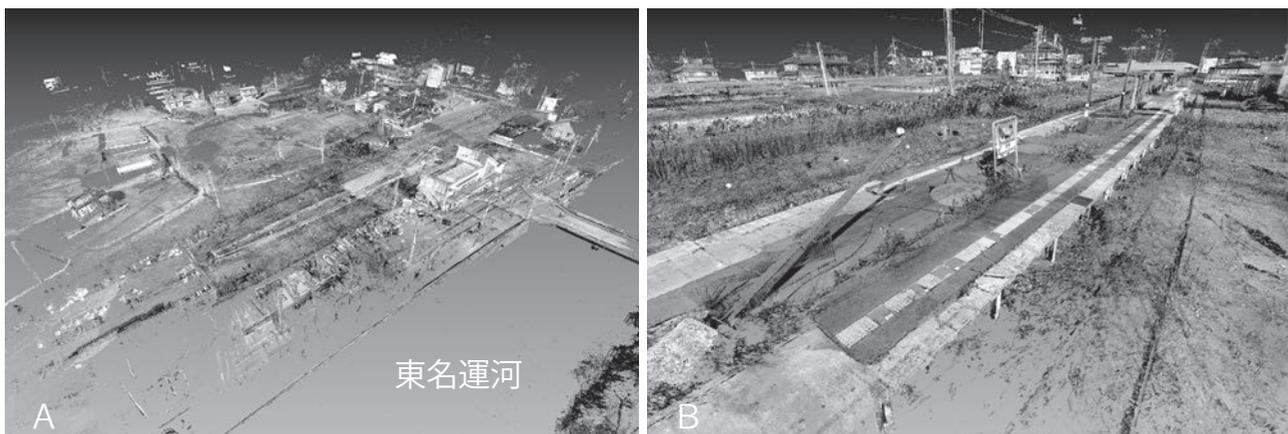


図23. JR旧野蒜駅。A：全景。B：ホーム西側。鋼鉄製の柱が東へ向かって倒れている。



図 24. 仙台市立旧荒浜小学校。A：旧荒浜小学校遠景。B：体育館内部を南側から見た様子。C：校舎 2 階廊下に残された津波の浸水跡（矢印）。D：校舎東側の破壊された 2 階の手すり。

波打っている様子がわかる。体育館東側の壁が西側へ傾いて破損しており、津波が海の方から来たことがわかる（図 24B）。校舎内は、主に 1 階と 2 階の廊下部分および屋上から計測を実施している。2 階の廊下に津波の浸水跡が認められ、2 階の床からおよそ 38cm の高さであった（図 24C の矢印）。また、校舎東側 2 階の手すり部分が津波により破壊されていた（図 24D）。

・仙台市立旧中野小学校（図 8-⑩、図 25）

計測日：2013 年 2 月 24 日～25 日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：101 測点。GS200：6 測点。合計点群数：2,228,248,350 点。

仙台市立旧中野小学校は宮城野区中野字西原の仙台湾に流れ込む七北田川左岸の河口から約 1km の川沿いにあった（図 25）。震災時、児童、教職員、付近の住民など約 600 名が避難したところである。津波は校舎 2 階床上まで達した。

前記の通り、旧中野小学校の校舎と体育館は 2013 年 6 月末に解体された（仙台市教育委員会総務課、2014）。

校舎 1 階は、いくつか壁が破壊されており、特に窓が広い開口部が大きいところで被害が大きい。校舎 2 階は、海岸側にある階段の壁で確認すると、2 階床上 60cm ほどまで津波が押し寄せた痕跡が認められた（図 25C）。しかし校舎 2 階では大きな被害は見られない。なお、機材の不調で、2 階の 2 箇所でカラーデータの取得ができていない。体育館は床が抜けており、体育館中央部にある支えとなっていたコンクリートのブロックが床を突き破って顔を出している（図 25D,E）。津波の海水が床下より先に床上に押し寄せたことを示している。この現象は、他地域の津波で被災した体育館にも見られることが多い。体育館の海岸方向に面した 2 階部分の窓周辺が破損しているが、そのほかの 2 階部分の窓は破壊されておらず、津波の破壊力が海岸側に集中していたと考えられる（図

25D)。なお、計測日の初日（2013年2月24日）の夜に雪が降ったため一部で校庭などに雪が残り、色が白くなっている。

・若林区荒浜地区（図8-⑩、図26）

計測日：2013年11月21日。計測手法：MMS。合計点群数：1,151,380,995点。

荒浜地区は震災以前、住宅地が形成され、仙台市唯一の海水浴場である深沼海水浴場があった場所でもある（図26A）。瓦礫がほぼ撤去され、住宅の基礎が残されている（図26B）。計測範囲は長辺南北約1.1km、短辺東西約900mの範囲である。計測時には、旧荒浜小学校の体育館は解体されていた。

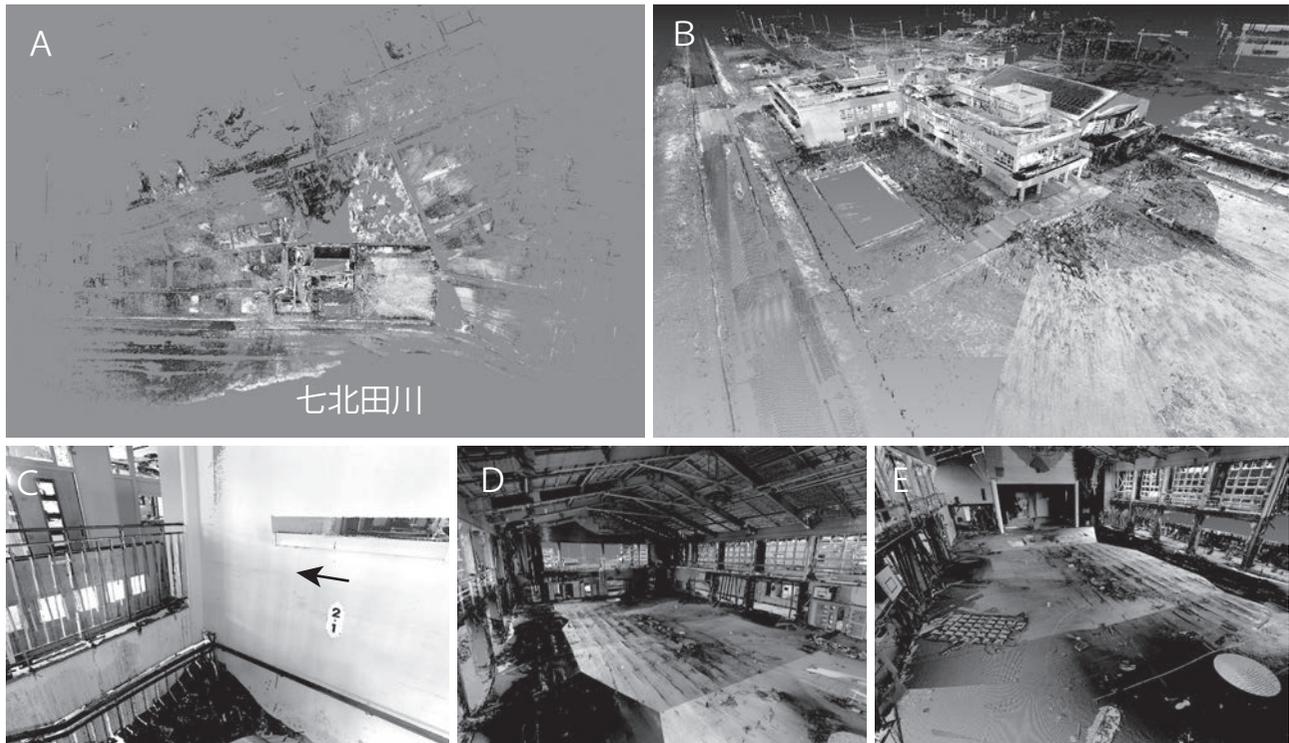


図25. 仙台市立旧中野小学校。A：計測範囲。上が北。B：旧中野小学校東側からの遠景。C：旧校舍東側にある階段。矢印は津波の浸水の。D、E：旧中野小学校体育館。Dが西側から東を、Eが東から西を望む。

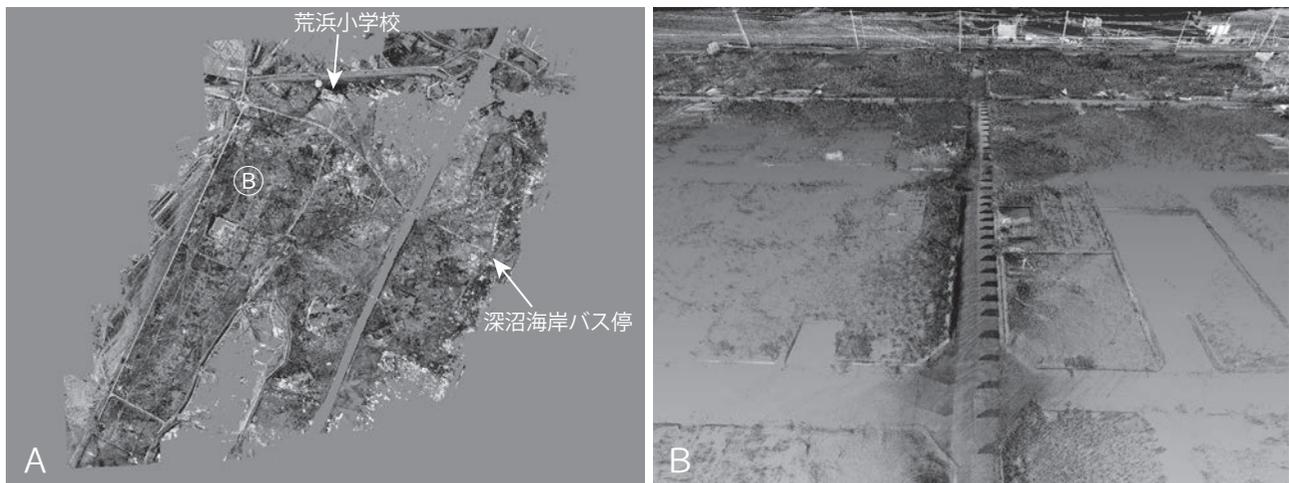


図26. 仙台市若林区荒浜地区。A：計測範囲。B：住宅地の基礎が残されている様子。

4-2-7. 亶理町の調査概要

亶理町では、沿岸部の広範囲で津波の浸水被害があった。鳥の海周辺の荒浜地区を中心に海岸や阿武隈川河口にあった集落が津波の被害を受けた。亶理町では、鳥の海北側の荒浜地区を中心に MMS を使用して、被災地域の三次元計測を実施した。

・亶理町荒浜～鳥の海地区 (図 8- ⑱、図 27)

計測日:2013 年 11 月 22 日。計測手法:MMS。合計点群数:1,370,808,838 点。

本地域では、鳥の海北側の荒浜港から荒浜地区および阿武隈川右岸の亶理大橋より下流側の県道等で計測を実施した (図 27)。鳥の海公園周辺で防潮堤の工事が実施されていた。住宅地では一部基礎が残されたままになっている。

4-2-8. 山元町の調査概要

山元町は宮城県最南端の太平洋岸の町で、沿岸部に散点的に住宅地が存在していた。JR 常磐線は津波で破壊され、陸側に移設の上再開している。山元処理区災害廃棄物処理施設と山元町立旧中浜小学校において三次元計測を実施した。

・山元処理区災害廃棄物処理施設 (図 8- ⑳、図 28)

計測日:2013 年 11 月 22 日。計測手法:MMS。合計点群数:156,086,485 点。

山元町高瀬に設置された山元処理区災害廃棄物処理施設 (図 28) は現在解体され、見る影もない。防護壁などでレーザーが届かなかったため、瓦礫置場はあまりデータが取れていないが、主要な処理プラントはデータが取れている (図 28B)。

・山元町立旧中浜小学校 (図 8- ㉑、図 29)

計測日:2014 年 1 月 14 日～15 日。計測手法:TLS。測定点設置数:FARO:175 測点。GS200:8 測点。合計点群数:4,010,009,113 点。

中浜小学校 (図 29) は山元町坂元久根にあり、海岸から

400m ほど離れた海岸平野に位置する。津波は、校舎 2 階天井近くまで押し寄せ、学校に残っていた生徒、職員など約 90 人は、屋上にある倉庫 (図 29B) に逃げて無事であった。また校舎以外の体育館などはすでに取り壊された後であった (図 29A)。校舎のデータを確認すると、校舎の屋根の一

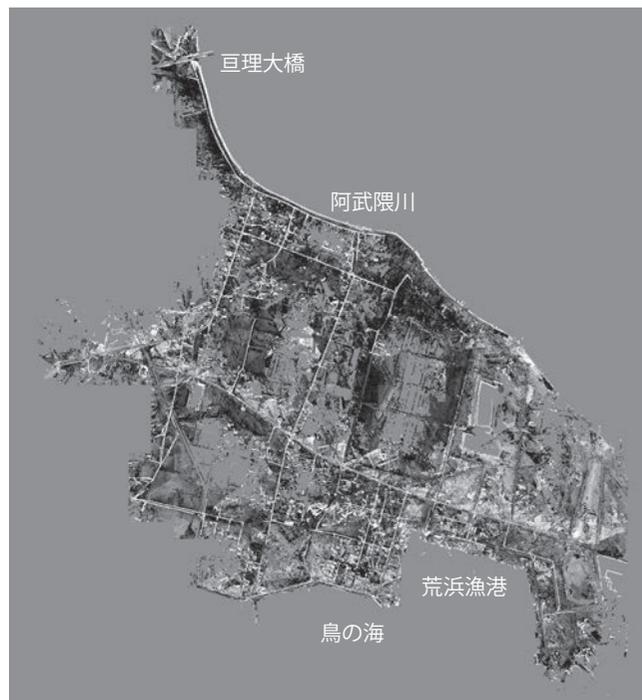


図 27. 亶理町荒浜～鳥の海地区の MMS による計測範囲。北が上。

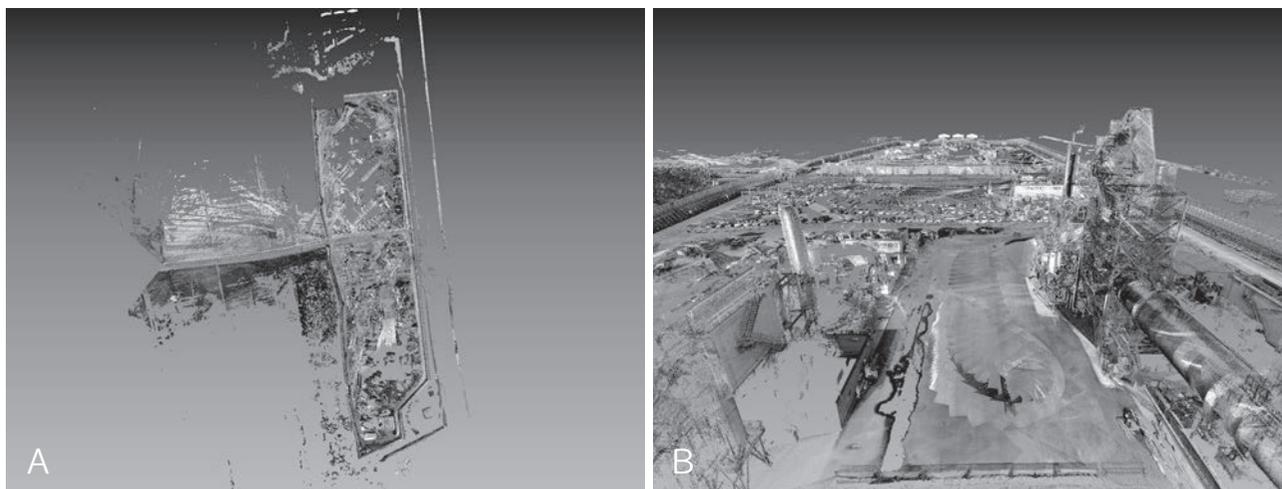


図 28. 山元処理区災害廃棄物処理施設。A:山元処理区災害廃棄物処理施設全景。上が北。B:処理プラント南側からの様子。

部が破損しており（図 29C）、流されたものがぶつかったものと推定される。校舎一階のホール状の部分には、木の根などのがれきが一部残されていた（図 29D）。

4-3. 福島県での調査概要

福島県では、原子力発電所事故のため、長期間立ち入りが制限され、2017年4月1日現在も双葉町、大熊町、富岡町等に帰還困難区域が設定されている。福島県相双地域での一回目の三次元計測は2013年11月に南相馬市小高区でMMSにより実施している。その後の2014年の前半までは、予算の都合や避難指示区域内の被災地の様子が総合学術博物館独自では詳細に把握することが難しかったことなどから、計測を進めることが難しかった。しかし、福島県内ふくしま震災遺産保全プロジェクト実行委員会事務局から2014年8月に三次元アーカイブ化の協力依頼があったことから、本格的な三次元計測を2015年から開始している（鹿納、2015）。三

次元計測は、南相馬市、浪江町、双葉町、大熊町、富岡町、いわき市で実施した（表1）。主に浪江町、富岡町で重点的に三次元計測を実施しているが、南相馬市、双葉町、大熊町では実施個所が少ない。これは、本事業では当初、津波の被災地域や建物を主眼に置いていたこと、南相馬市では、地域を代表する公的な建築物が沿岸被災地では特に認められなかったこと、双葉町と大熊町の沿岸域には福島第一原子力発電所があり放射線量も高く、立ち入りが難しかったことによる。図30に計測位置を示す。なお、浪江町、双葉町、大熊町では、平成28年3月18日に交付対象事業として決定された地方創生加速化交付金の「震災アーカイブ事業」により、独自に計測を実施している。浪江町と双葉町が取得したデータの一部は総合学術博物館と共有している。

4-3-1. 南相馬市の調査概要

福島県南相馬市は、津波被災を受けた沿岸域は田畑が多

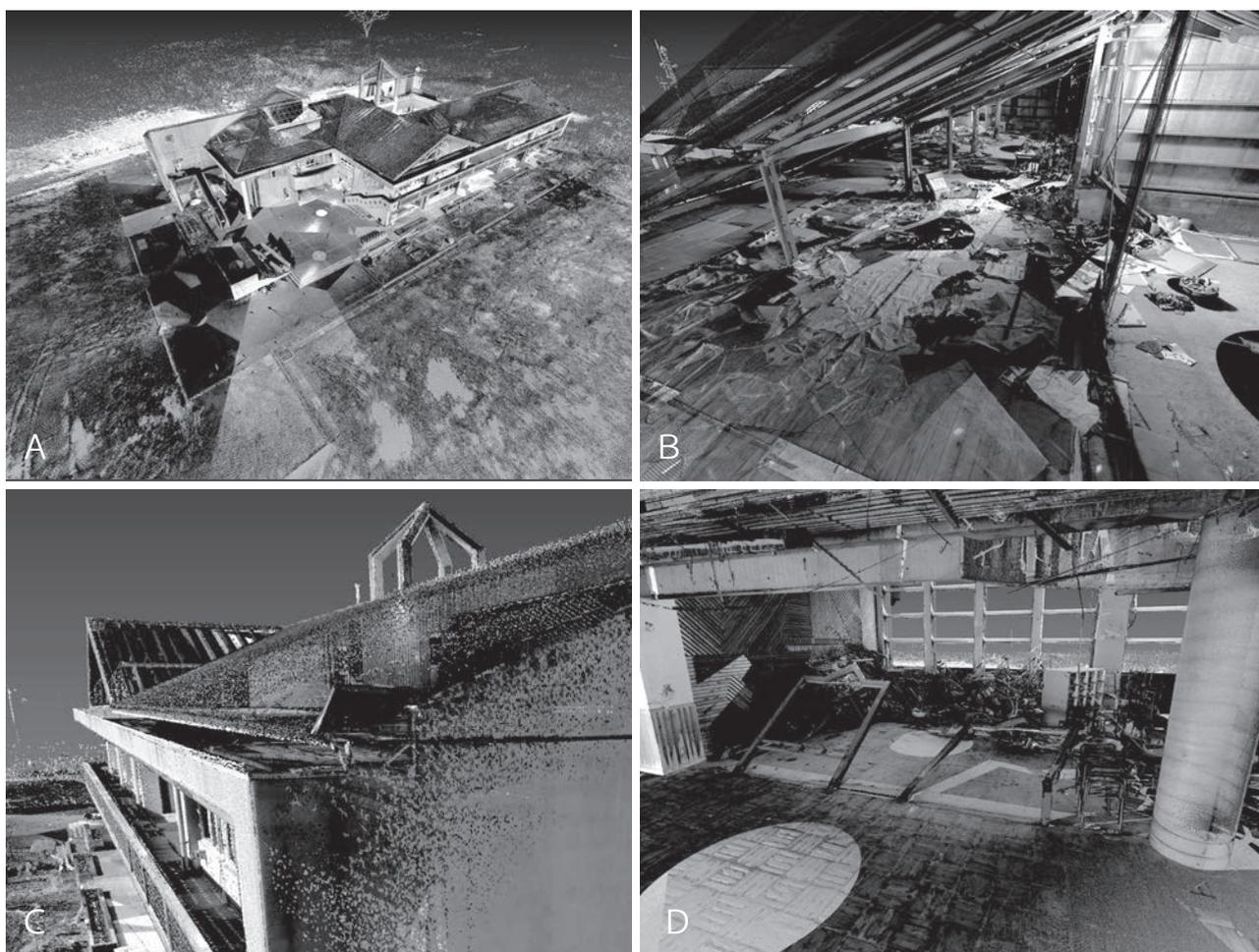


図 29. 山元町立旧中浜小学校。A：山元町立旧中浜小学校遠景。B：生徒や教職員などが逃げ込んだ屋上にある倉庫。C：校舎南東のめくれ上がった屋根。D：校舎1階ホール部分。

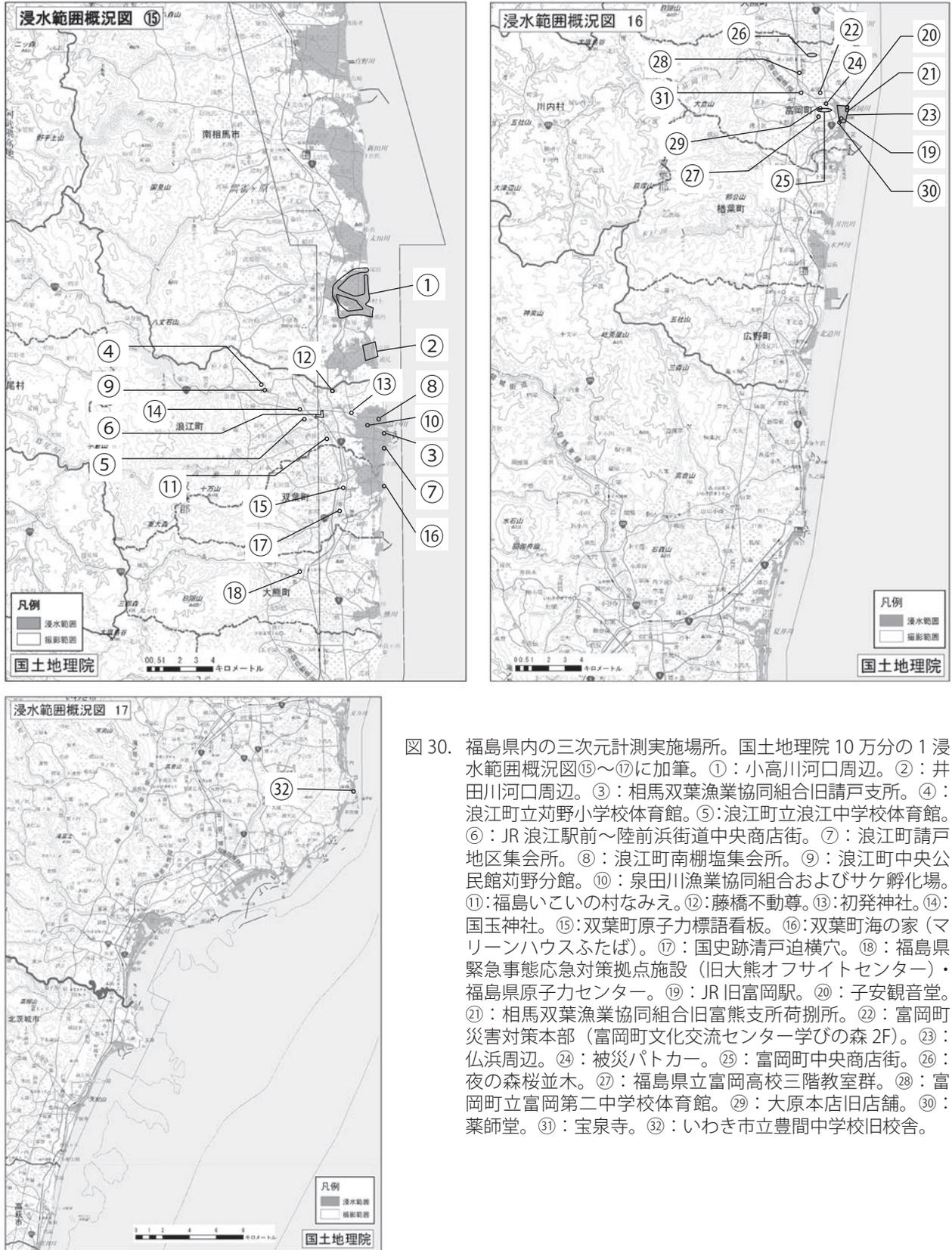


図 30. 福島県内の三次元計測実施場所。国土地理院 10 万分の 1 浸水範囲概況図⑮～⑰に加筆。①：小高川河口周辺。②：井田川河口周辺。③：相馬双葉漁業協同組合旧請戸支所。④：浪江町立荻野小学校体育館。⑤：浪江町立浪江中学校体育館。⑥：JR 浪江駅前～陸前浜街道中央商店街。⑦：浪江町請戸地区集会所。⑧：浪江町南棚塩集会所。⑨：浪江町中央公民館荻野分館。⑩：泉田川漁業協同組合およびサケ孵化場。⑪：福島いこいの村なみえ。⑫：藤橋不動尊。⑬：初発神社。⑭：国玉神社。⑮：双葉町原子力標語看板。⑯：双葉町海の家（マリンハウスふたば）。⑰：国史跡清戸迫横穴。⑱：福島県緊急事態応急対策拠点施設（旧大熊オフサイトセンター）・福島県原子力センター。⑲：JR 旧富岡駅。⑳：子安観音堂。㉑：相馬双葉漁業協同組合旧富熊支所荷捌所。㉒：富岡町災害対策本部（富岡町文化交流センター学びの森 2F）。㉓：仏浜周辺。㉔：被災パトカー。㉕：富岡町中央商店街。㉖：夜の森緑並木。㉗：福島県立富岡高校三階教室群。㉘：富岡町立富岡第二中学校体育館。㉙：大原本店旧店舗。㉚：薬師堂。㉛：宝泉寺。㉜：いわき市立豊間中学校旧校舎。

く、一部に宅地が広がっていた。計測を始めた2013年では、主に南相馬市沿岸南部では避難指示解除準備区域が設定されており（内閣府原子力被災者生活支援チーム、2013）、MMSによる計測を小高区の小高川周辺地域で実施するにとどまった。2015年になると、広い地域で立ち入り制限が緩和されていたが、津波被災を物語る対象が除染の関係もあり少なくなっていた。そこで、市で一番南側に広がる津波被災地である小高区井田川でUAVによる計測を実施することとした。

・小高川河口周辺（図30-①、図31）

計測日：2013年11月23日。計測手法：MMS。合計点群数：1,087,875,773点。

南相馬市小高区の小高川河口周辺地域は福島県で初めて三次元計測を実施した場所である。計測を実施した2013年当時は、すぐ南側の浪江町境まで原子力発電所事故の影響

で立ち入りが制限されていた。小高川河口南側には南北に伸びた砂州に沿って海水浴場があったものの、砂地が続いており、車が入らずデータの取得はできていない。また、瓦礫置き場も河口部の砂州沿いにあったが、これも防護壁のため、良好なデータは取れていない。津波の被害にあった住宅地は、塚原地区、村上地区、谷地地区などである。村上地区には、瓦礫の仮置き場が設置されていた（図31）。

・井田川河口周辺（図30-②、図32）

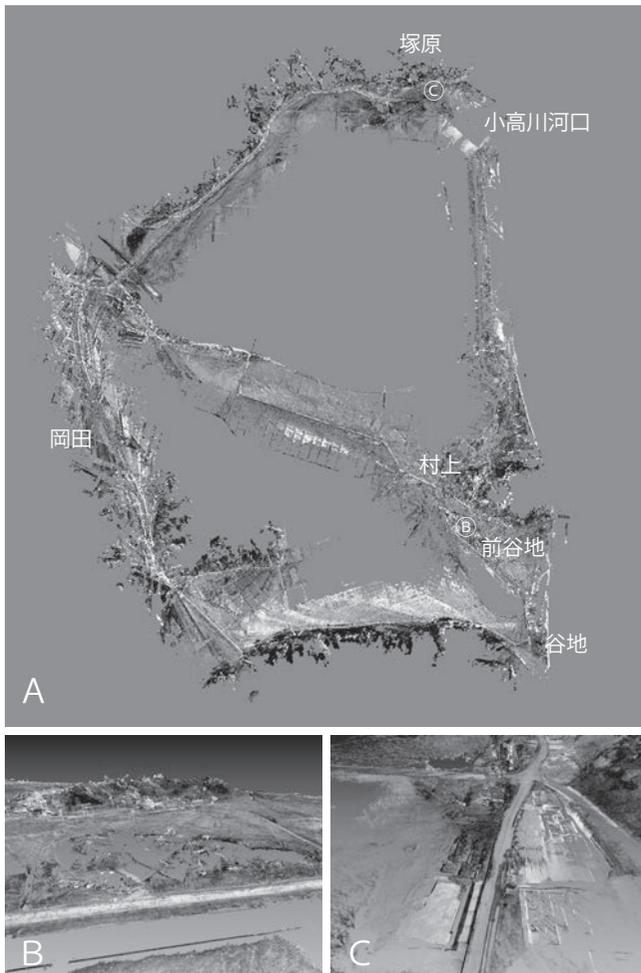


図31. 小高川河口周辺。A：MMSによる計測範囲。B：小高区村上地区の瓦礫置き場。C：小高区塚原の基礎が残された住宅地。

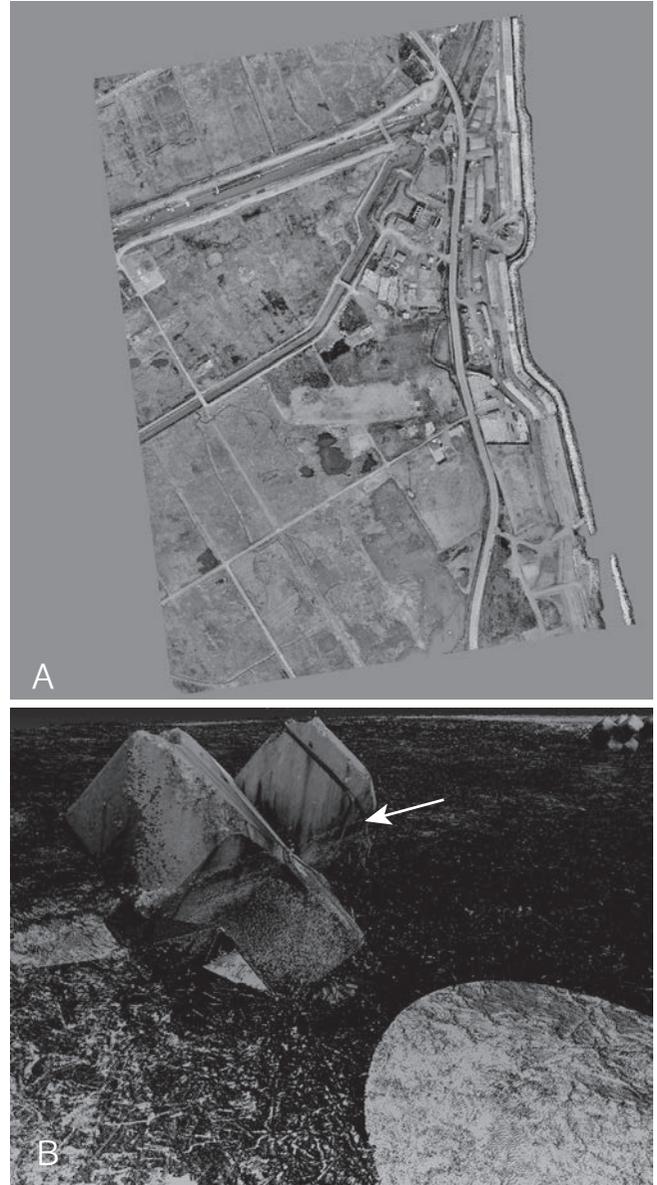


図32. 井田川河口周辺。A：UAVで計測したデータ取得範囲 上が北。B：TLSによるコンクリート製消波ブロックの近景。地面から80cmほどの高さにはフジツボが張り付いた上限が認められる（矢印）。

計測日：2015年12月6日。計測手法：UAV+TLS。測定点設置数：FARO：18測点。UAV撮影枚数：2,570枚。合計点群数：1,210,181,649点。

井田川河口は、南相馬市小高区井田川に位置し、河口から南南西方向に広い低地帯が伸び、水田が広がる地域であった。震災直後の地盤沈下の影響と排水機場の被災のため、この低地帯に長期間海水が入り込むようになっていた。本地域ではUAVにより、海岸から陸側へ約650m、南北約930mの範囲を計測した(図32)。震災直後は海岸から津波によって運ばれたコンクリート製消波ブロックが大量に散乱していたものの、計即時には保存を決めた6個の消波ブロック以外はほとんど片付けられた状態である。テトラポッドにはフジツボがついており、長期間海水につかっていた様子をうかがい知ることができる(図32B)。フジツボが付いた最も高い位置は地面からの高さが約80cmである。海岸沿いは防潮堤とかさ上げ工事がおこなわれていた。

4-3-2. 浪江町の調査概要

浪江町は、福島第一原子力発電所の北に位置し、2017年末でもなお、町の間山部に帰還困難区域が設定されている。計測は、浪江町、漁協の方や地区の方の協力のもと実施した。

また、浪江町独自で地方創生加速化交付金による三次元計測も実施され、例えば請戸小学校、マリパークなみえ、ドローンによるそれら周辺の三次元データ等が存在する。なお、2017年3月31日に町の沿岸部および中心部については、避難指示が解除されている。浪江町では、漁協請戸支所、南棚塩集会所、請戸集会所、泉田川漁協建屋および孵化場、浪江中学校体育館、苅野小学校体育館、中央公民館苅野分館、いこいの村なみえ、中心部の町なみ、国玉神社、初発神社と藤橋不動尊について三次元計測を実施した。

・相馬双葉漁業協同組合旧請戸支所(図30-③、図33)

計測日：2015年2月19日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：82測点。合計点群数：1,662,648,178点。

相馬双葉漁業協同組合旧請戸支所は浪江町請戸北久保にあり、浪江町で一番はじめに三次元計測を行ったものである。請戸川河口に接続する請戸漁港の南側に位置し、2階建ての建物である(図33)。はじめの現地調査時(2014年10月)では、2階に小型の漁船が突き刺さっていたが、2015年2月19日の計測時には撤去されていた。その作業のためか、2階の部屋は瓦礫がほとんどなかった(図33C)。一方、1階のほとんどは、おそらく被災当時のままと考えられる(図33B)。

・浪江町立苅野小学校体育館(図30-④、図34)

計測日：2015年10月21日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：7測点。合計点群数：187,620,631点。

浪江町立苅野小学校体育館(図34)は震災当日、卒業式が実施され、その後の地震で、そのまま避難所となったものである。ここも、浪江中学校と同様に、翌3月12日の避

難指示により、特に片付けられることもなく当時の様子が残されていたものである。計測後、除染作業のために平成27年度中に片付けられている。片付ける前に、ふくしま震災保全プロジェクト実行委員会により調査がされ、避難時に使用したストーブや椅子などいくつかの物品が保管され



図33. 相馬双葉漁業協同組合旧請戸支所。A：全景。B：支所1階の様子。C：支所2階の様子。



図34. 浪江町立苅野小学校体育館。

ている。計測は、体育館内部のみである。

・浪江町立浪江中学校体育館 (図 30- ⑤、図 35)

計測日：2015年10月21日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：10測点。合計点群数：270,389,072点。

浪江中学校体育館は浪江町川添にあり、苅野小学校と同様に震災当日に卒業式が執り行われた場所である。体育館はその後の東北地方太平洋沖地震の発生により避難所となった(図35)。避難所は福島第一原子力発電所の事故により、翌日には移動を強いられており、ほぼ当時のまま残されている状態である。植木鉢などがそのまま残されており、花は枯れていた。

・JR 浪江駅前～陸前浜街道中央商店街 (図 30- ⑥、図 36)

計測日：2015年12月1日～2日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：82測点。合計点群数：1,234,366,106点。

本格的に帰還が始まる前の市街地商店街のアーカイブであるが、MMSでの計測ではなく道路の歩道沿いに据え置き型レーザースキャナを配置して計測を実施したものである。



図 35. 浪江町立浪江中学校体育館。

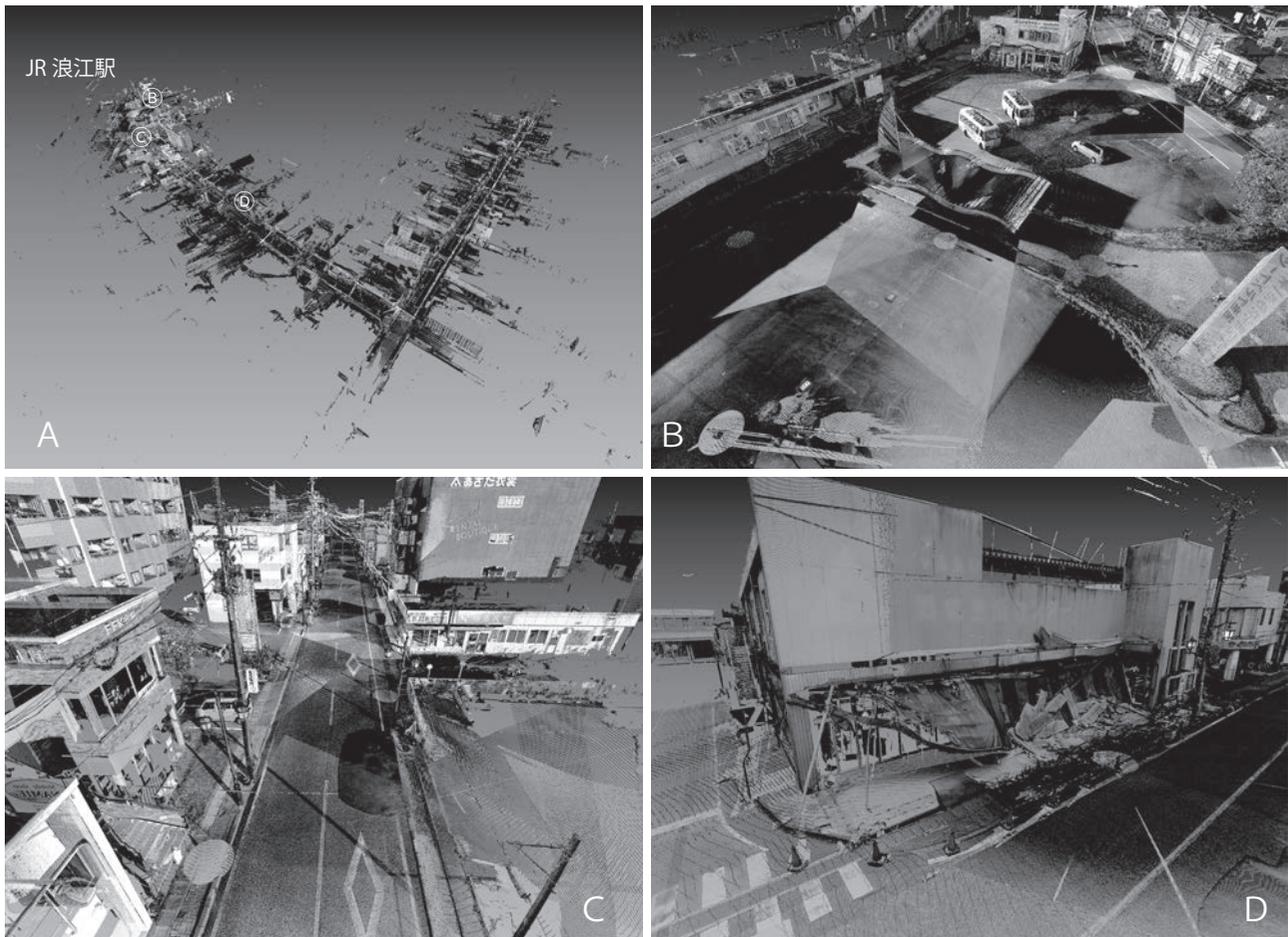


図 36. JR 浪江駅前～陸前浜街道中央商店街。A：計測範囲。B：JR 浪江駅前。ロータリーに町民バスが二台残されたままになっている。C：JR 浪江駅東側に位置する新聞販売店 (右中央)。D：JA ふたば農産物直売所の外壁が落ちている様子。

JR 浪江駅前から東へ続く県道 167 号道沿いの商店街と、県道 167 号と同 253 号との交差点から北へ総距離約 800m (図 36) の道路沿いを記録した。2015 年 12 月の計測当時は、立ち入り制限があり、除染作業用にガソリンスタンドのみ営業しているだけで、そのほかは除染作業や解体作業が実施されている程度であった。

浪江駅前には、町民バスが 2 台取りに戻ることができず残されていた (図 36B)。浪江駅から西に延びる道の南側に新聞販売店があるが (図 36C)、配達されずに残された新聞などがふくしま震災遺産保全プロジェクト実行委員会により保存されている。JA ふたば農産物直売所の壁が落ちている (図 36D) など、建物の損傷状況がそのまま残されていた。

・浪江町請戸地区集会所 (図 30-⑦、図 37)

計測日：2015 年 12 月 2 日～3 日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：45 測点。合計点群数：861,806,605 点。

浪江町請戸地区集会所は浪江町請戸小谷地にあり、津波で被災した浪江町立請戸小学校校舎の北東約 350m に位置する 2 階建ての建物である (図 37)。1 階の破損が激しく (図 37B)、2 階も天井の一部まで破損が認められる (図 37C) が、屋上には、瓦礫は存在しない (図 37A)。このことから、屋上の縁 (地面からの高さは約 8.4m) までは津波が達していない可能性がある。

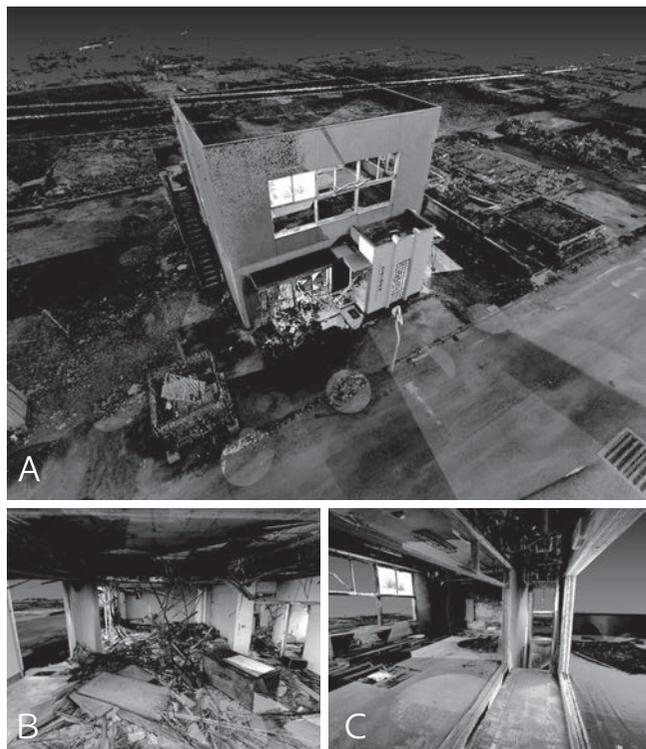


図 37. 浪江町請戸地区集会所。A: 全景。B: 1 階の様子。C: 2 階の様子。

・浪江町南棚塩集会所 (図 30-⑧、図 38)

計測日：2015 年 12 月 2 日～4 日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：148 測点。合計点群数：3,096,129,550 点。

南棚塩集会所 (図 38) は浪江町棚塩荒井前 17-1 にあり、海岸からおよそ 450 m 離れた請戸川左岸に広がる平野部に位置する。2 階まで津波で破壊されているが (図 38C, D)、屋上部分は大きな破損はない。津波の浸水高さと思われる



図 38. 浪江町南棚塩集会所。A: 全景。矢印は本文中に記載した津波の浸水深の基準となる道路面。B: 建物外から見た 2 階ホールの天井の様子。C: 1 階の様子。D: 2 階ホールの様子。

跡が、2階の各所に確認でき、その高さは、部屋により異なる。浸水深は建物西側の道路面（図38Aの矢印）からの高さがおおよそ7～7.5mの幅で認められる。一方、2階のホールでは、海岸側の窓近くの天井が破壊されており（図38B）、2階の天井付近（道路面から約8.6mの高さ）まで漂流物が当たった可能性がある。

・浪江町中央公民館荻野分館（図30-⑨、図39）

計測日：2015年12月3日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：16測点。合計点群数：436,989,838点。

浪江町荻野地区の荻野宮下にある公民館で、近傍に位置する浪江町立荻野小学校体育館に避難した人々のために炊き出しを行ったところである。炊き出し途中の状態がそのまま残されていた（図39B）。計測は、玄関前から事務室、日本間、調理室、ホールといった室内のみである（図39A）。

・泉田川漁業協同組合およびサケ孵化場（図30-⑩、図40、中庭測量コンサルタント協力）

計測日：2015年12月4日。計測手法：TLSおよび写真計測。測定点設置数：FARO：37測点（泉田川漁業協同組合17測点、孵化場：20測点）。合計点群数：980,156,792点。

泉田川漁業協同組合は請戸川左岸の河口からおおよそ

1.2kmの浪江町北幾世橋荒井前に位置する。震災前は築場として鮭が遡上する時節に観光でにぎわっていたところである。漁協の建屋は、堤防のすぐ横にあり、津波は建屋1階の中ほどまで達している（図40A）。計測は、小雨が時折降ったため室内のみである。

鮭孵化場は、組合建屋からさらに上流100mほど上流側に位置し、堤防より一段低いところに位置する。孵化場は屋内のみTLSで計測を実施した。孵化場内部には瓦礫が散乱しているようすが残されていた（図40B）。

・福島いこいの村なみえ（図30-⑪、図41、中庭測量コンサルタント協力）

計測日：2015年12月3日～4日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：65測点。合計点群数：1,763,750,114点。

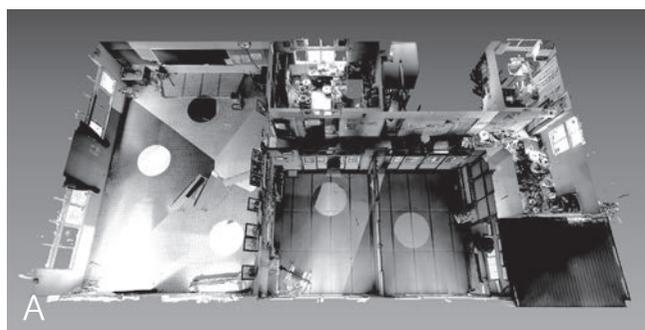


図39. 浪江町中央公民館荻野分館。A：荻野分館内部。B：調理室。炊き出しの途中のまま残されている。



図40. 泉田川漁業協同組合およびサケ孵化場。A：漁協1階の直販所の様子。B：孵化場内部の様子。



図 41. 福島いこいの村なみえ。A：1階エントランスロビーの様子。メモ書きが残されていた。B：客室内の様子。小動物により、畳がかじられている。

福島いこいの村なみえは浪江町高瀬丈六にあった保養施設で、結婚式や宴会などのイベント会場にもなった宿泊もできる施設である。震災当日、近所の住民が避難していた様子が張り紙などで残されていたが（図 41A）、翌日には全町避難となった。客室には、ネズミなどの小動物が入り込み、畳がぼろぼろになっている様子が残されていた（図 41B）。

・藤橋不動尊（図 30-⑫、図 42）

計測日：2017年3月3日。2017年5月9日再計測。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：95 測点。合計点群数：2,505,763,788 点。

福島県双葉郡浪江町藤橋字山居前にある藤橋不動尊では毎年旧暦1月28日に「藤橋不動尊大祭」がおこなわれ、参道や境内には露店が並び、春を告げる祭りが開催されていた（浪江町ウェブサイトより）。計測範囲を図 42A に示す。手水社が倒壊しており、本殿は瓦が落ち破片が散乱している状態である（図 42B, C）。本堂北側にある小さなお堂もかなり破損が激しく、おそらく地震動のほか、手入れができなかったため、荒廃が進んだものと考えられる。本データは参道から本殿まで含まれており、参道は平野部からで、本堂が丘の上に位置する。参道の階段を上りきったところにある石灯籠は一部落ちているものもある。

・初発神社（図 30-⑬、図 43）

計測日：2017年3月4日～5日。2017年5月10日再計測。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：139 測点。合計点群数：4,151,081,016 点。

初発神社（図 43）は町中心部から東方の北幾世橋に位置し、福島県の重要文化財（建造物）として初発神社本殿 附 棟札 15 枚が登録されている。社殿内部の重要なものは片付けられていたが、本殿（図 43B）はほぼそのままの状態であったが、天井に蜘蛛の巣が大量にあった。そのため、レーザー

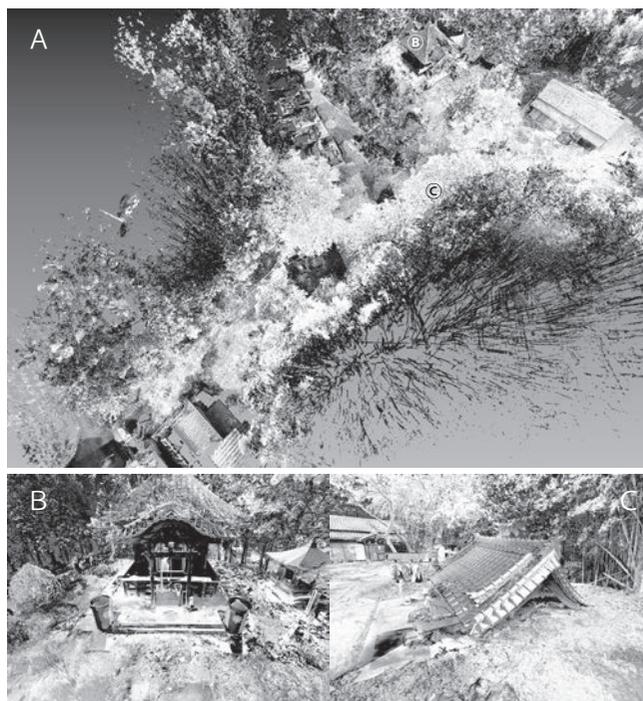


図 42. 藤橋不動尊。A：計測範囲。平地の参道から不動尊周辺。B：本堂。C：倒壊した手水舎。

計測ではノイズが大量に発生しており、今後、文化財の三次元アーカイブ化では気をつけなければならない点の一つである。

社殿および社務所は若干傾いており、社殿については、丸太の支持棒により支えられていた。社務所については大正時

代の建物であるそうだが、現時点で解体が決まっている。

・**国玉神社** (図 30-⑭、図 44)

計測日：2017年3月5日。2017年5月10日再計測。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：60測点。合計点群数：1,552,642,467点。

国玉神社は国道144号線沿いの浪江町川添清信に位置している。2015年に浪江町ではじめた現地調査の頃から傾いており、計測した結果5°東へ傾いていることがわかった(図44A)。社殿は傾いた影響からか、障子戸が一部外れており、内部に植生が認められ(図44B)、震災後の月日を感じさせるものである。社殿の屋根が一部剥がれ落ちていた。

4-3-3. 双葉町の調査概要

双葉町は町の南東部の沿岸に福島第一原子量発電所が立地する。津波は町の沿岸部に押し寄せ、沿岸部で津波被害があっ

た。現在も町の北東部の一部を除いて帰還困難区域に指定されている。双葉町では、双葉海水浴場のマリンハウスふたば、JR双葉駅前から伸びる陸前浜街道にあった原子力標語看板、国史跡清戸迫横穴墓で三次元計測を実施している。

・**原子力標語看板** (図 30-⑮、図 45)

計測日：2015年10月21日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：9測点。合計点群数：136,086,124点。

原子力標語看板は双葉町長塚のJR双葉駅前から東へ伸びる陸前浜街道の国道6号線と交差点の中央から西へ約80mの双葉町生涯学習センター前にかかけられていた原子力推進に関する標語の書かれた看板である。看板両面にはそれぞれ違う言葉が書かれている(図45)。この看板は解体後、ふくしま震災遺産保全プロジェクト実行委員会により保存処理され、現在は双葉町で保管されている。

・**双葉町海の家(マリンハウスふたば)** (図 30-⑯、図 46)

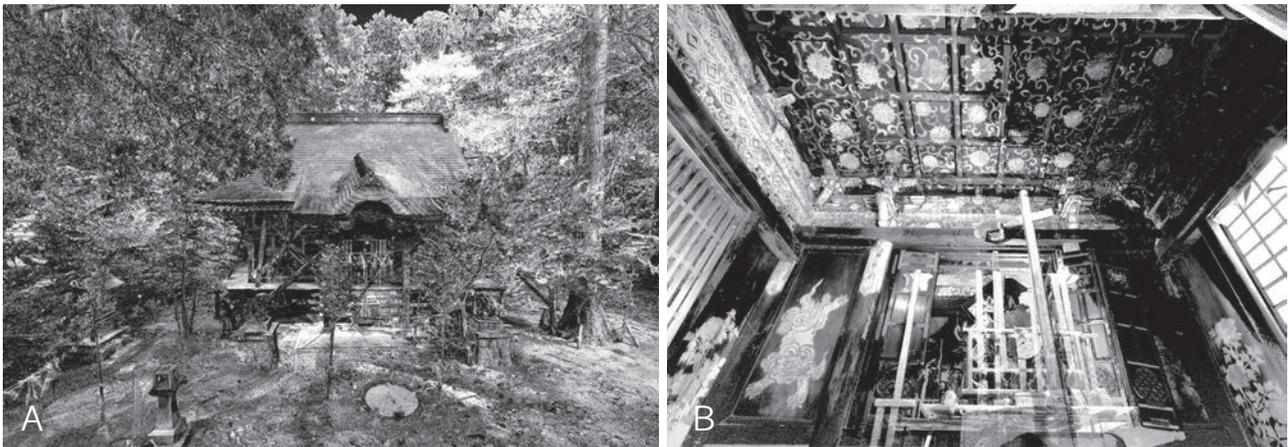


図 43. 初発神社。A：社殿遠景。B：本殿内部の様子。



図 44. 国玉神社。A：社殿遠景。B：社殿内部の様子。

計測日：2015年10月22日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：49測点。合計点群数：1,196,050,599点。

双葉町海の家（マリンハウスふたば）は双葉町大字郡山字北磯坂にあり、福島第一原子力発電所1号機から北へ約3.5kmに位置する双葉海水浴場の施設である（図46）。津波は、3階のひざ上ほどの高さまで来た跡が見られる。1階は資材置き場、2階（図46B）が受付とシャワー室、更衣室、トイレなどがあり、3階（図46C）に畳敷きの休憩スペースがある。3階の畳が浮いて陸側へ移動していたため、板張りの靴を履きかえる高さ（建物前のブロック敷きの高さからおよそ6.8m）を津波は超えたはずである。また、周辺住民がこの建物の屋上へ避難し、難を逃れている（福島県双葉町、2017）。

・国史跡清戸迫横穴（図30-⑰、図47）

計測日：2017年2月9日～10日。計測手法：デジタイザ+TLS+SfM。測定点設置数：FARO：27測点。床面写真撮影：267枚。デジタイザショット数：212。合計点群数：1,860,339,708点。

国史跡清戸迫横穴は、双葉町新山清戸迫にあり、福島第

一原子力発電所1号機から北西へ約3.2kmの丘陵の中腹に位置する。清戸迫横穴は昭和42年（1967）に双葉町立双葉南小学校造成時に発見され、横穴の奥にベンガラで書かれた人物や渦巻き、動物画等が認められる。清戸迫横穴は、震災以前は双葉町教育委員会により管理されていた。福島第一原子力発電所事故後、立ち入りが制限され、現在も帰還困難区域に指定されている。震災以前は春と秋に一般公開を行っていたが、現在は実施されていない。

玄室内の計測方法は、主にデジタイザを使用し、横穴の玄室壁面および天井部を計測した。玄室の床面はすでに人が歩いているため、SfMで計測を実施した。前室から地上への階段、史跡を示す石碑周辺および、前室の上方斜面については地上型レーザースキャナ（TLS）での計測を実施した（図47）。

玄室内での計測には、細心の注意を払い、入室する人員は最低限とし、カビ孢子の侵入を防ぐため、タイベックススーツを着用した。ケーブルは養生し、三脚の下にもスポンジを敷く等の対策をとった（図47）。玄室内の温度と湿度の管理も同時に行い、2度以上の温度上昇が起きないように計測を実施した。

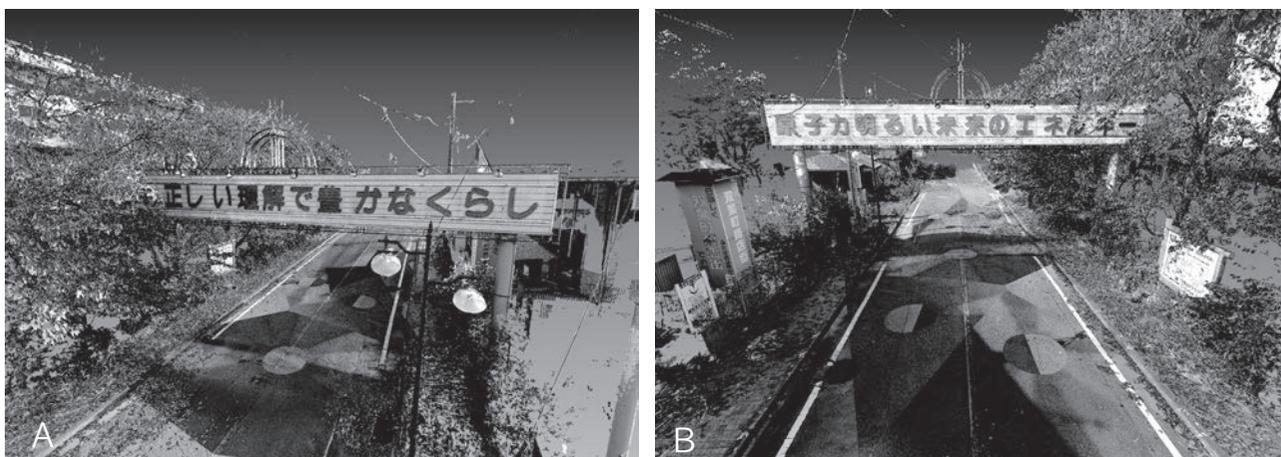


図45. 双葉町原子力標語看板。A：西側（双葉駅側）から。B：西側（6号線側）から。



図46. 双葉町海の家（マリンハウスふたば）。A：全景。B：2階受付付近の様子。C：3階の様子。

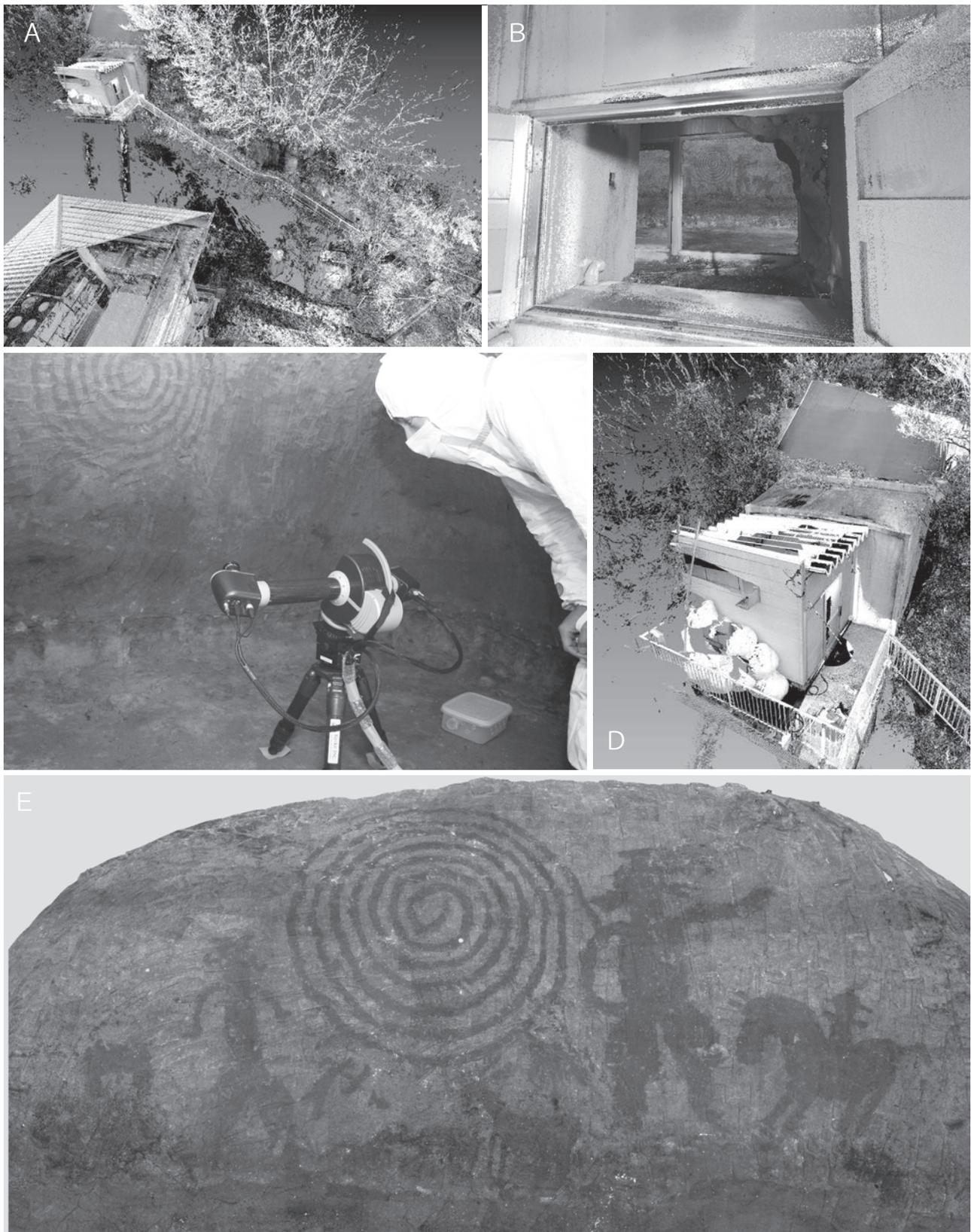


図 47. 国史跡清戸迫横穴。A：計測範囲。B：清戸迫横穴の前室から玄室を望む。C：デジタルイザによる計測状況。D：前室周辺のデータ。E：壁画のオルソン画像。

デジタイザでの計測は、AICON 社製 smartSCAN-HE C8-8.0Megapixel を用い、玄室内の詳細形状計測及びカラーデータの取得を行った。また、玄室内床面などのデータは SONY 社製 $\alpha 7 s II$ を用い画像解析用データの取得も行った。

使用したデジタイザおよび SfM の機器の諸元等は下記の通りである。

デジタイザ本体：smartSCAN-HE C8-8.0Megapixel。使用レンズ：FOV650。計測範囲 525 × 400mm。平面分解能 159 μ m。精度 42 μ m。1 ショットのデータ量 約 650 万点。

SfM での使用機材：カメラ本体： $\alpha 7 s II$ 。使用レンズ：ZEISS Batis2.8/18。RAW 現像ソフト：アドビシステムズ社製 Light Room。解析ソフト：Agisoft 社製 PhotoScan。

4-3-4. 大熊町の調査概要

大熊町での三次元計測は、福島県が管理する福島県緊急事態応急対策拠点施設（旧大熊オフサイトセンター）および隣接する福島県原子力センターについて実施した。しかしながら、1 台の TLS が不調だったため、2018 年 2 月に再計測を実施する予定である。オフサイトセンターは原子力発電所の事故時に、国、県および関係機関の最前線でありまとめをしていたところである。

・福島県緊急事態応急対策拠点施設（旧大熊オフサイトセンター）（図 30-⑱、図 48）

計測日：2017 年 3 月 6 日～7 日（再計測を 2018 年 2 月に予定）。計測手法：TLS。測定点設置数：200 測点。合計点群数：5,387,382,880 点。

福島県緊急事態応急対策拠点施設（旧大熊オフサイトセンター）は大熊町下野上大野にある 2 階建ての建物（図 48）で、1 階は普通の事務所と、2 階に対策本部が置かれた様子が残されていた。1 階と 2 階の天井の一部が落ちており、地震動の激しさを物語っている。国の文書はすでに国が回収済みであるが、県などの文書は残されていた。これらの文書等の調査がふくしま震災遺産保全プロジェクト実行委員会によって実施されている。

・福島県原子力センター（図 30-⑱、図 49）

計測日：2017 年 3 月 6 日～7 日（再計測を 2018 年 2 月に予定）。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：41 測点。合計点群数：1,137,025,291 点。

原子力センターは原子力発電の PR を兼ねた建物であり、オフサイトセンターの西隣に位置する。2 階会議室および展示室のデータを取得した。2 階の会議室は一部の公的機関により使用され、展示室の奥にあるホールに、寝泊まりした形跡が残されていた（図 49）。こちらも、ふくしま震災遺産保全プロジェクト実行委員会によって残された文書等の調査が実施されている。

4-3-5. 富岡町の調査概要

富岡町は、福島第一原子力発電所の南に位置し、町の南側

には福島第二原子力発電所が位置する。津波により仏浜地区および毛萱地区で大きな被害が出た。発災翌日の 3 月 12 日に福島第一原子力発電所の事故のため避難指示がでて、町民は川内村へ避難した。富岡町では、JR 旧富岡駅、子安観音堂、相馬双葉漁業協同組合 富熊支所荷捌き所、仏浜周辺地区、夜ノ森の桜並木、富岡町災害対策本部（富岡町文化交流センター 学びの森 2 階）、被災パトカー、富岡町立富岡第二中学校体育館、福島県立富岡高校 3 階一般教室、富岡町中央商店街、大原本店、薬師堂、宝泉寺について三次元計測を実施している。今後もさらに計測を実施する予定となっている。



図 48. 福島県緊急事態応急対策拠点施設（旧大熊オフサイトセンター）。右奥が福島県原子力センター。

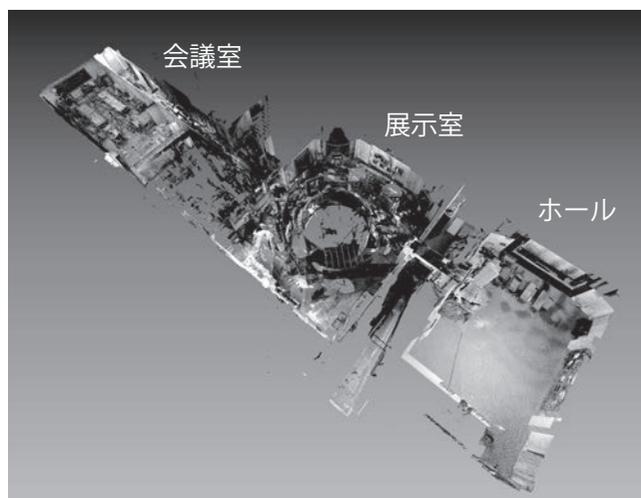


図 49. 福島県原子力センター 2 階。右のホールには、仮眠時にベッドにしたソファが並んでいる。

・JR旧富岡駅 (図 30-⑱、図 50)

計測日：2015年1月6日～7日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：135 測点。合計点群数：1,663,858,257 点。

JR旧富岡駅は、富岡町仏浜釜田にあり、海岸からおおよそ300m離れているが、福島県内で津波に被災した常磐線で最も海岸近くに位置する駅である。駅舎は津波で破壊され、跨線橋とホームの屋根、トイレ等が残されている程度である(図50)。駅舎にあった金属パイプ製の改札口(図50B)や表札などは、ふくしま震災遺産保全プロジェクト実行委員会により取り外され保存されている。また、駅前にあった郵便ポストが津波に流され、駅前の中華料理屋で発見されている。その移動前後の直線距離は30mである(図50C)。この郵便ポストもふくしま震災遺産保全プロジェクト実行委員会により回収され、保存されている。なお、2017年に再開した現JR富岡駅の駅舎は以前のホームの北よりに移動した。被災駅舎の解体は2015年2月に実施されたため、後述する仏浜周辺のUAVによる計測では駅のプラットホーム以外は存在しない。

・子安観音堂 (図 30-⑳、図 51)

計測日：2015年2月16日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：34 測点。合計点群数：793,278,885 点。

子安観音堂は富岡川左岸河口の河岸段丘上の富岡町小浜に位置したが、現在は解体されている。子安観音堂は、地元で子宝祈願などに古くから信仰を集めていた。津波は回廊部分、特に南東側を破壊している(図51A、B)。観音堂前の震災前にふさがれていた古井戸が津波によりふたが外れ落ち、口を開けていた(図51A)。津波は、観音堂内部まで侵入したが、漆喰の壁には特に大きな損傷は認められないため、本堂内部での浸水深は低かったと考えられる(図51C)。

・相馬双葉漁業協同組合旧富熊支所荷捌所 (図 30-㉑、図 52)

計測日：2015年2月16日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：41 測点。合計点群数：477,982,771 点。

子安観音堂から富岡川を挟んで南側の河口に接続した漁港の西側、富岡町仏浜釜田にあるする富熊漁協の施設である。漁港そばに立つ鉄骨造りの建物であり、津波により壁は破壊され残っておらず、鉄骨は大きな力で曲げられていることがわかる。周辺の防潮堤やテトラポッドなどが散乱している様子が見える(図52)。

・富岡町災害対策本部 (富岡町文化交流センター学びの森2F、図 30-㉒、図 53、株式会社中庭測量コンサルタント協力)

計測日 2015年2月16日。

計測手法：TLS。測定点設置数 FARO：18 測点。合計点群数：498,467,796 点。

富岡町役場に隣接する富岡町文化交流センター2階にある会議室で、発災当日に対策本部となった場所である。避難指示が出る翌2011年3月12日の昼頃まで使用されていた。発災当日は、ヒューマンエラーに関する講演会が開かれており、その名残が認められる。ホワイトボードには、刻々と入ってくる情報が書かれて、部屋の後方には食事でご飯がそ

のままになっていた(図53)。2017年現在、文化交流センターは大規模改修され、災害対策本部の面影はない。

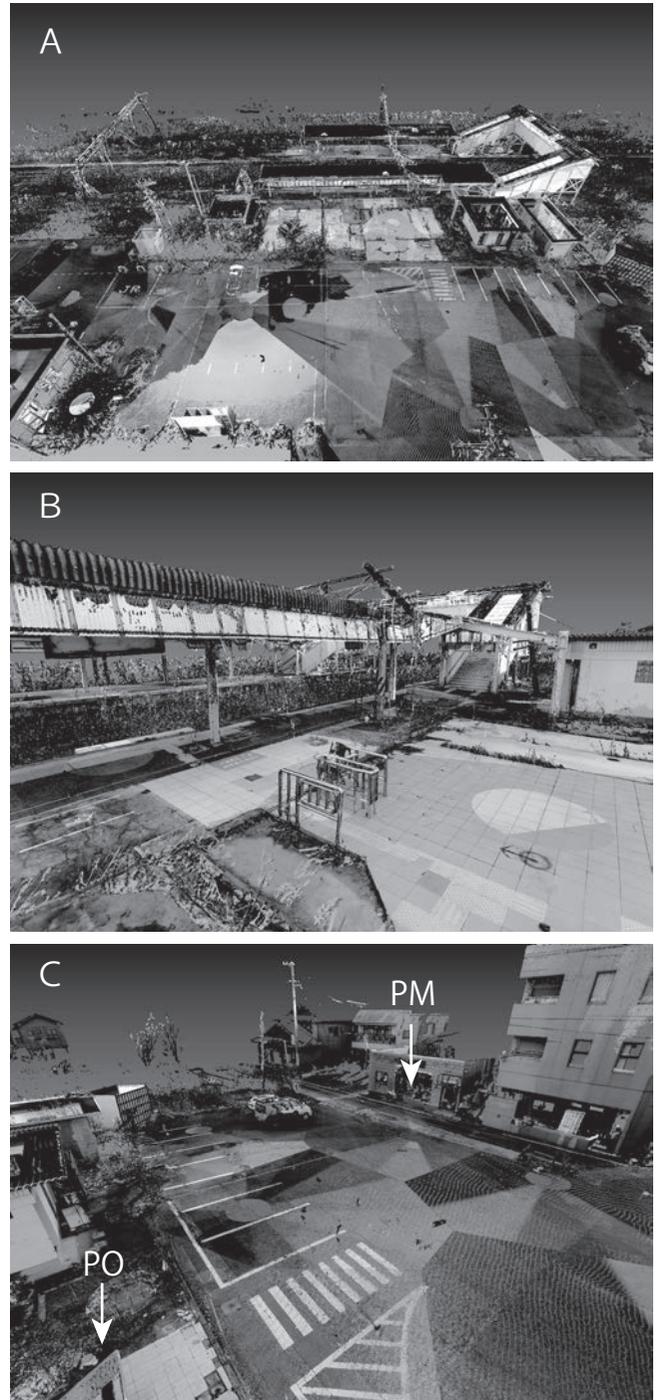


図 50. JR旧富岡駅。A：遠景。B：改札周辺。C：駅前の様子。POは郵便ポストが設置されていた元の場所。PMは郵便ポストが津波に流された後で見つかった場所。



図 51. 子安観音堂。A: 遠景。左下の穴が古井戸である。B: 東側からの遠景。C: 観音堂内部。

・ 仏浜周辺 (図 30-⑳、図 54)

計測日: 2015 年 2 月 17 日。計測手法: UAV。カメラによる撮影枚数: 1,618 枚。合計点群数: 580,686,100。

旧 JR 富岡駅から富岡川河口周辺の南北約 800、東西

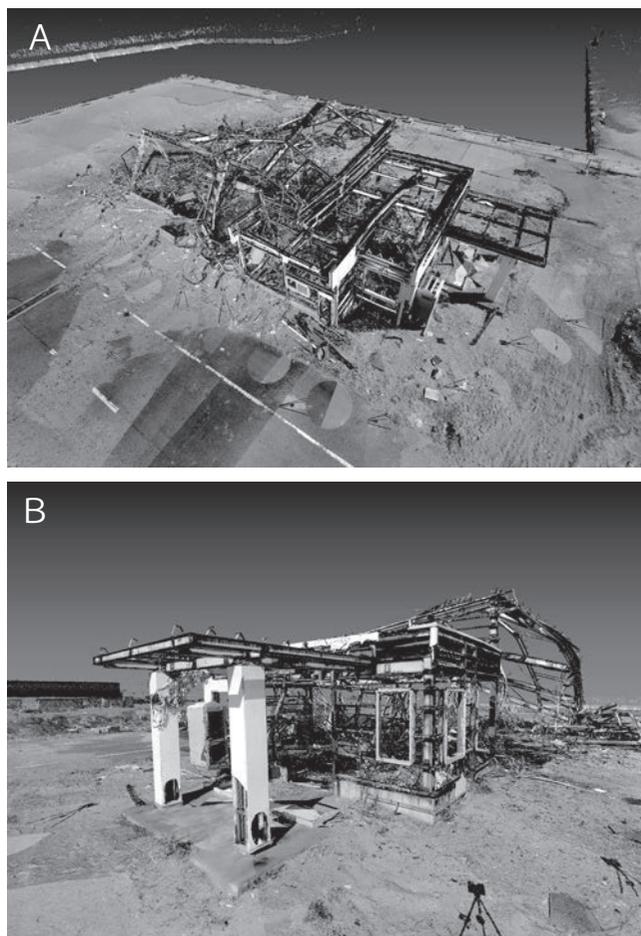


図 52. 相馬双葉漁業協同組合旧富熊支所荷捌所。A: 遠景。B: 近景。

400~700 m の範囲でデータを取得している (図 54A、B)。UAV による撮影飛行高度はおよそ 90 m で、使用システムは一眼レフカメラ CANON 製 EOS 5D Mark II レンズは EF 24mm である。

JR 富岡駅東側には、白い建物があり、災害廃棄物処理施設である。一方、周辺には、除染廃棄物が入ったフレキシブルコンテナバッグがうず高く積み重ねられている様子が認められる (図 54B)。富岡川河口および富岡漁港周辺では、防潮堤が破壊され、消波用コンクリートブロックが散乱している様子が認められる。建物側面については、斜めからの撮影が不足していたため、再構築されていない。計測範囲の北東に子安観音堂と相馬双葉漁業協同組合 富熊支所荷捌き所、南西に JR 旧富岡駅が位置する。

・ 被災パトカー (図 30-㉔、図 55)

計測日: 2015 年 3 月 25 日。計測手法: TLS。測定点設置数: FARO: 9 測点。合計点群数: 199,867,357 点。

東北地方太平洋沖地震発生後、津波が来るため沿岸から

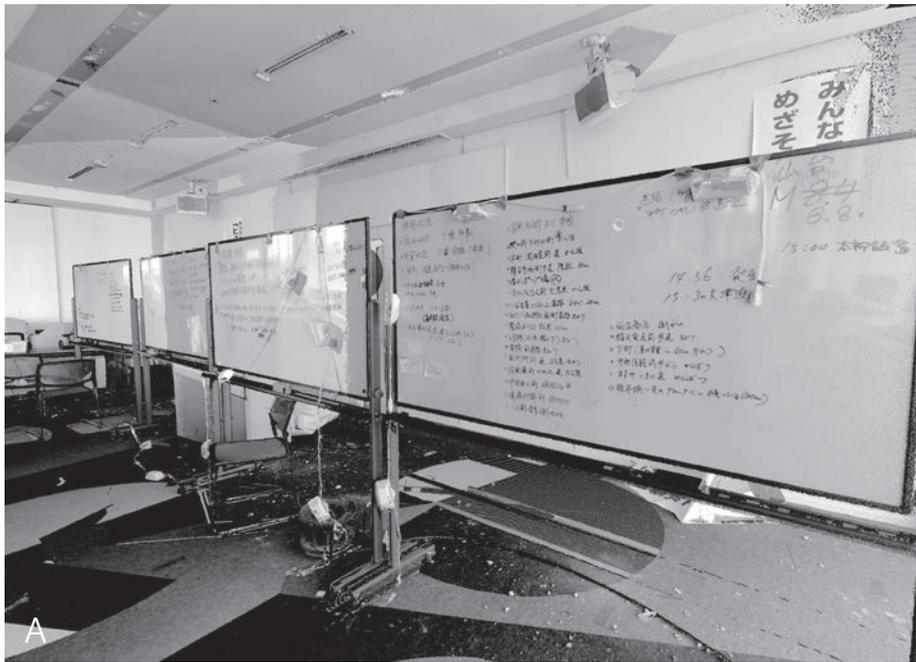


図 53. 富岡町災害対策本部（富岡町文化交流センター学びの森 2F）A：情報が書かれたホワイトボード。B：様々な資料が残されたテーブル。C：本部後方には、カップラーメンの空容器などのごみがそのまま残されていた。

避難を呼びかけて回っていたパトカーであり、津波にのまれ乗車していた警察官 2 名が殉職した（富岡町、2015）。一時、富岡川右岸の仏浜釜田に他の被災車両と共に積み上げられていた。その後、町民による被災パトカーの保存運動の後、町で保存することとなり、2015 年 3 月 16 日に富岡町にある双葉警察署北の岡内東児童公園に移転（富岡町、2015）、保存されている（図 55）。レーザースキャナによる三次元計測は児童公園に移動、設置後である。

・富岡町中央商店街（図 30-㉔、図 56）

計測日：2015 年 12 月 6～7 日。計測手法：UAV+手持ち撮影。徒歩による写真撮影枚数：3426 枚。合計点群数：

247,682,818 点。

富岡町中央商店街は富岡町で最も古い商店街であり、県道 163 号沿いの富岡駅前から富岡町中央までのびる。計測範囲は、東側は富岡町立第一中学校南側の県道 163 号を起点とし、西は県道 163 号の終点までである（図 56）。2015 年 1 月の旧 JR 富岡駅の計測を実施する時点で本商店街は住居制限区域に相当しており、この地域では避難指示区域解除に向け、除染作業が行われていた。さらに倒壊の恐れのある建物の取り壊し申請が富岡町に出されており、震災当時の様子が徐々に無くなっていく状態であった。そこで、富岡町の要望で震災当時の様子が数多く残されている商店

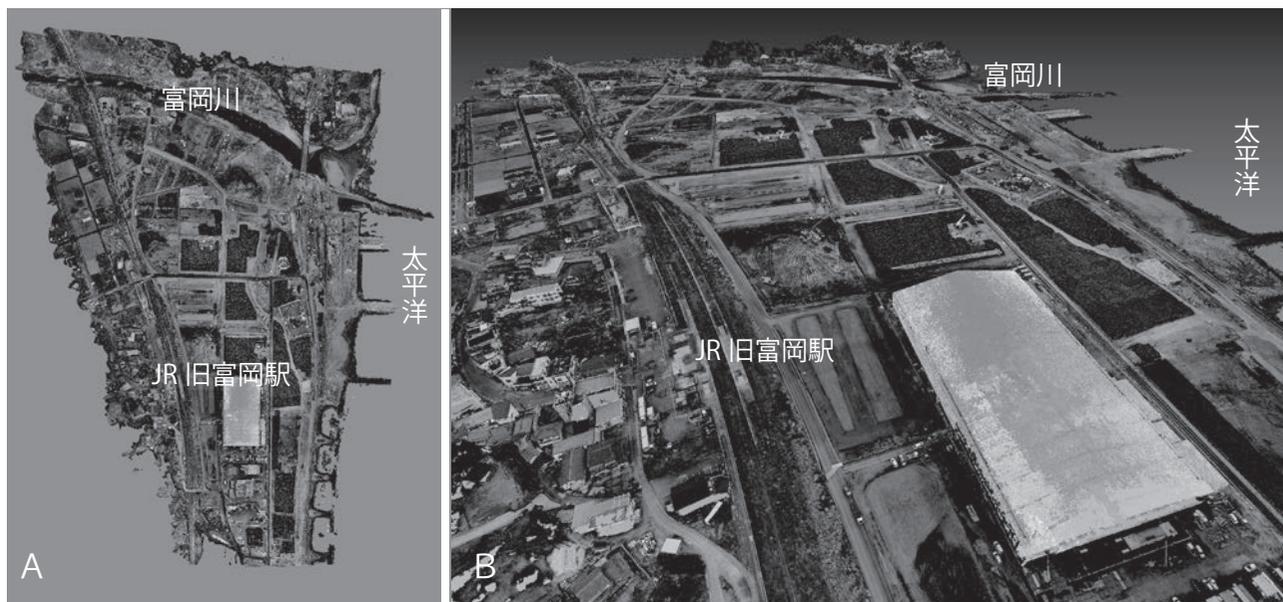


図 54. 仏浜周辺の UAV によるデータ。A：計測範囲。B：鳥瞰図。



図 55. 富岡町岡内東児童公園に移設された双葉警察署被災パトカー。

街の町なみを、UAV と徒歩による写真撮影を使った SfM 技術により三次元計測を実施した。下で述べる大原本店旧店舗も範囲に含まれる。UAV と徒歩による歩道からの撮影であるため、基本的に構造物外側の形状のみのデータとなっている。

・夜の森桜並木 (図 30-㉔、図 57、中庭測量コンサルタント協力)

計測日：2016 年 4 月 6 日。計測手法：TLS。同時期に富岡町の事業で、MMS および UAV を用いて三次元計測されている。

測定点設置数：FARO：82 点。合計点群数：1,926,417,566 点。

富岡町夜の森は桜並木で有名で、震災前は春の花見の時期に様々なイベントが開催されていた。富岡町を代表する名所である桜並木のうち、町道市の沢原線の満開となった東側の 340m ほどの道路について株式会社中庭測量コンサルタントの協力の元、地上型レーザースキャナ 3 台により計測を実施したものである (図 57)。ほかの桜並木部分については、富岡町が主体として計測を実施している。帰還困難区域を除く避難指示区域が解除された 2017 年 4 月 1 日時点でも帰還困難区域に設定され、立ち入り制限が続いている。

・福島県立富岡高校三階教室群 (図 30-㉕、図 58)

計測日：2016 年 4 月 20 日、5 月 25 日。計測手法：TLS。

測定点設置数：FARO：60 点。合計点群数：1,614,568,450 点。

福島県立富岡高校は富岡町大字小浜字中央にあり、震災当日のままになっている本校舎三階の 1 年生から 3 年生の合計 6 教室およびその前の廊下を計測した。書籍の散乱状況やロッカーの移動が当時の様子を伝えている (図 58)。ここでもふくしま震災遺産保全プロジェクト実行委員会の調査が実施された。

・富岡町立富岡第二中学校体育館 (図 30-㉖、図 59)

計測日：2016 年 5 月 18 日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：31 測点。合計点群数：750,065,112 点。

富岡町立富岡第二中学校は富岡町大字小浜字中央にあり、震災当日、周辺の住民が避難してきたところである。震災当日は福島県浪江町立浪江中学校と同様に卒業式が執り行われ、その後、避難所となった。翌日の 2011 年 3 月 12 日には富岡町に福島第一原子力発電所事故のため避難指示が

出され、避難所として使われたのは一晩限りである。避難当時の様子がそのまま残されていた（図 59）。

・大原本店旧店舗（図 30-㉑、図 60）

計測日：2016年10月17日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：41 測点。合計点群数：1,001,908,249 点。

大原本店旧店舗は富岡町中央1丁目にあり、昭和初期の近代建築で、富岡町内で残されているレンガ造りの近代建築の中でもっとも古い建物であり、商店街の顔でもある（図 60）。本対象は、東北大学安心安全学トップリーダー育成プログラムのC-lab研修の一環として計測を実施した。1階、

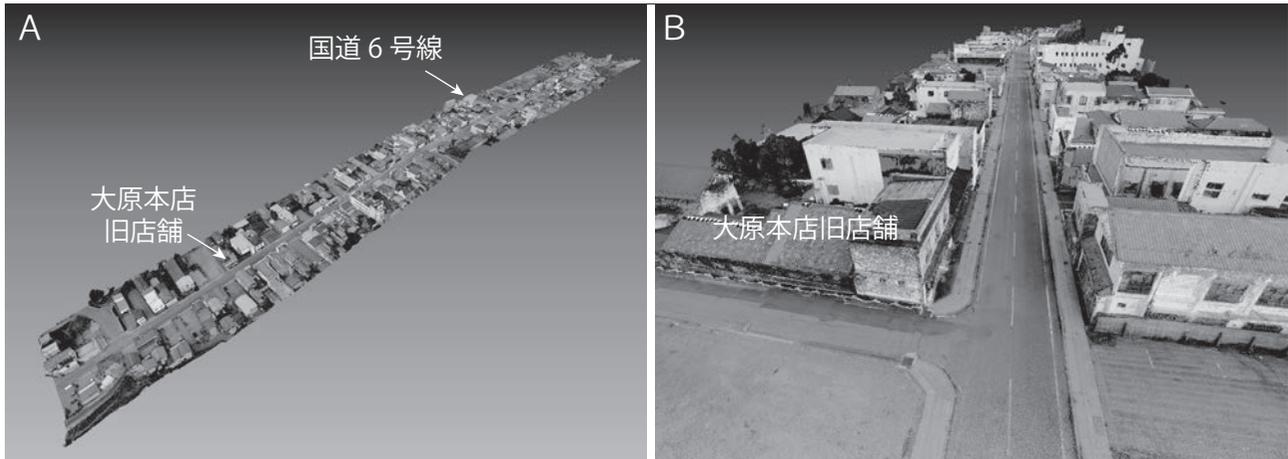


図 56. 富岡町中央商店街。A：UAVによるデータ計測範囲。B：大原本店旧店舗近くからの様子。



図 57. 夜の森桜並木の様子。



図 58. 福島県立富岡高校三階教室群。A：校舎三階教室計測範囲。B：1-B 教室内の様子。C：1-B 教室前の廊下の様子。

2 階とも大きく傷んでおり、床が抜け、天井が落ちている部分も存在した。大原本店の旧店舗部分の壁は、近くで作られていた富岡煉瓦が作成した耐火煉瓦を積み上げて建築さ



図 59. 富岡町立富岡第二中学校体育館。A：全景。B：舞台上の様子。



図 60. 大原本店旧店舗外観。

れており、その上をモルタルで覆ったものである。レンガは、ひび割れた外壁から見る事ができる。旧店舗は、一時解

体申請が富岡町に出されたものの、町が文化財として保存することとなった（読売新聞 2017年2月6日、解体予定の「れんが」店舗、復興発信へ保存）。

・薬師堂（図 30-㉔、図 61、ライカジオシステムズ株式会社協力）

計測日：2017年6月27日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：16 測点。P40：9 測点。MS60：1 測点。合計点群数：676,718,657 点。

薬師堂は旧 JR 富岡駅の南西の富岡町仏浜字西原の小さな公園の端に位置するお堂である（図 61）。津波は本堂床下あたりまで来たとのことであるが、本堂内部は破壊された様子は認められない。内部には、手掘りの小さな仏像（高さ 15cm 程度）が複数並べられていた（図 61B）。2017年11月16日時点で更地となっていた。

・宝泉寺（図 30-㉕、図 62、ライカジオシステムズ株式会社協力）

計測日：2017年6月27日。計測手法：TLS。測定点設置数：FARO：23 測点。P40：10 測点。MS60：1 測点。合計点群数：841,270,474 点。

宝泉寺は富岡町本岡字大塚にある寺で、町指定文化財の宝泉寺の枝垂れ紅桜がある。枝垂れ紅桜は、計測範囲の南西に位置する。本堂（図 62）は昭和期に建立されたものであるが、富岡町に解体申請が出されたため、富岡町教育委員会からの依頼で三次元計測を実施した。

4-3-6. いわき市の調査概要

いわき市では、2015年4月になって、いわき市立豊間中学校旧校舎が5月の連休明けに解体されるとの連絡が、福島県立博物館からあり、できれば3D計測を実施してもらえないかとの打診があったため、旧校舎の三次元計測を実施した。いわき市では豊間中学校以外の三次元計測は実施していない。



図 61. 薬師堂。A：外観。B：内部の様子。木彫りの仏像が並べられていた。



図 62. 宝泉寺。A：外観。B：内部の様子。

・いわき市立豊間中学校旧校舎（図 30-㉔、図 63）

計測日：2015年4月27日～29日。計測手法：TLS。測
定点設置数：FARO:148 測点。合計点群数：3,523,645,518点。

いわき市立豊間中学校旧校舎（図 63）はいわき市東部の
平薄磯の海岸近くに位置し、南方近くには塩谷崎灯台が位
置する。津波は、旧校舎1階天井付近まで達しているが、



図 63. いわき市立豊間中学校旧校舎。A：計測範囲。B：校舎北東側から。C：校舎1階。D：1階の部屋に集められた時計や看板などの保存物品。E：1階放送室前。表示灯が曲がっている。F：3階美術室。黒板に卒業生などのメッセージが書かれている。

明瞭な痕跡はなく、放送室前に天井からつりさげられていた表示灯が変形していたことで推測される（図 63E）。

校舎は一時震災遺構として保存が検討されたものの解体が決定した。そのため、いわき市からの要請で計測を実施した。新校舎は旧校舎から約 300m 内陸側の高台にある豊間小学校西側に建設された。計測範囲は旧校舎の全体と、旧校舎屋上からレーザーが届く範囲の、南側の校庭、北側 100 m 程度、東側は防潮堤、西側は旧校舎から 100m 程度先の丘までである（図 63A）。計測は FARO1 台により実施し、3 日間を要した。計測実施日は、旧校舎の見納め式（2015 年 4 月 26 日）が開かれた後であり、かなり片付けられており、震災で止まった時計や学校の看板などの保存物品が一つにまとめられていた（図 63D）。教室の黒板には、多くのメッセージが残されていた（図 63F）。旧校舎南側の校庭には、瓦礫が一時的に積み上げられていた（図 63A、B）。

5. 各種計測に関する注意点

これまで震災で被害を受けた建築物や文化財など様々な対象について、三次元計測を実施してきた。手法は前述したとおりであるが、各手法の注意点について記述する。

5.1 TLS における注意点

TLS による三次元計測を主とした震災遺構等の計測では、点群数（密度）と色データの精度が重要である。点群数は、経験的に 1 か所のレーザーสキャン計測で機器の足元を除く全天周で最低限必要な点群数は最低 2 千万点以上、できれば 5 千万点程度は必要である。このデータ量に見合った色データが必要であり、全天周の色データの元となるパノラマ画像データの画素数も、同様に計測点群数程度（2 ～ 5 千万画素以上）となる。しかしながら、条件を満たしたとしても、現在の技術では色彩マッチングの問題がまだに残されている。現時点では地上型レーザースキャナでは、それぞれのメーカーから、ハイダイナミックレンジ（HDR）対応や、計測機から直接 LED など照明を照射する手法等で改善・対策がなされてきているが、環境光の影響が大きく、まだ十分なものではない。現状で暗い場所で TLS 計測する場合は、照明を使用するなどの工夫が必要である。また、色の調整は手動で対応することもできるが、多大な時間とコストが必要であり、色調整作業の実施は現時点で見送っている。

また、TLS 計測では、震災遺構のような瓦礫が大量にある場合では、できるだけ対象物に影ができないように計測点の配置をする必要がある。文化財では、その対象の状態を記録するため、蜘蛛の巣などの障害物がある場合は障害物を移動・除去するなどして、計測をするように配慮する必要がある。

5.2 MMS における注意点

MMS のデータについては、360 度カメラの色データデー

タとレーザー計測点群をうまくマッチングしなければ出力される色データが本来の位置から大きくずれる現象が認められる。MMS に関しては、どうしても UAV の使用ができない状況、例えば悪天候等で UAV の飛行ができない場合等に限りて使用する方が賢明であると考えられる。

5.3 SfM における注意点（UAV を含む）

SfM による 3D アーカイブについては、撮影対象に対して、万遍なく多視点の画像が得られるように撮影をする必要がある。さらに撮影時の露出やシャッタースピード、F 値の設定など、できるだけ一定にした方が三次元化には良いが、特に明暗が大きい場合や対象の形状が複雑な場合などは、うまく再構成ができない場合がある。より現場に近い形状および色データを得ようとするなら、撮影時にはノイズが少ない ISO 感度を使用し、RAW データで保存、その後色補正を実施してからソフトウェアで三次元化処理をするべきである。また、SfM で三次元の精度を求めらるならば撮影方向だけでなく標定点の設置場所や設置数が重要となる。標定点は最低 3 か所以上必要であるが、できるだけ多くの標定点を設置し、しかもそれぞれの標定点は間隔をあけて設置されることが理想である。各標定点を計測前に測量しておくと共に、撮影枚数や、撮影方向、撮影位置を考慮してデジタルカメラで撮影することが求められる。なお、SfM が不得意な対象として、水面の波のように形状が変化するもの、光が反射したり屈折したりするもの、特徴点をつかみにくい色の変化が少ないもの等があげられる。なお、UAV で広範囲にわたる地域データを取得する際は、薄曇りがかつ風が弱い条件が良い事がわかった。UAV の飛行には、各種法令を順守することが求められる。

6. 震災遺構等の三次元アーカイブデータの活用とその課題

総合学術博物館では、取得した震災遺構等三次元アーカイブの MR 体験会を 2013 年度から開催してきた（表 2）。三次元アーカイブ活用当初は、本事業の意義を知っていたが、各方面の協力を得るためのイベントが占めた。各方面の協力を得られるようになると、次に三次元アーカイブを防災教育コンテンツの一つとして活用することを目指し、MR での体験会を 2014 年度から企画・開催するようになった。これらのイベントにおいて、MR 体験者の感想や反応を集め、改良が求められる点をまとめた。結果、①遺構データ（コンテンツ）の切り替え時間が長い、②点群の表示密度が低い、③一人ずつの体験のため、待ち時間が長い、の三点に集約された。①に関しては、本論 2. 事業のあらましでも触れているが、改良前は MR の標準ソフトである MR Visualizer を使用しており、本ソフトは点群数が多くなるにつれ、読み込み時間が数分以上かかるという状態であった。②に関して、改良前の MR Visualizer では 1 点 1 ピクセルの

表 2. デジタルアーカイブを使った主要な体験展示等イベントのリスト (2013 年～ 2017 年 8 月)

開催日	場所	対象	イベントタイトル (*) またはイベント内容
2013 年 7 月 8 日	宮城県議会棟 1 階ラウンジ	村井宮城県知事 宮城県議 宮城県職員	宮城県知事へのデモンストレーション
2013 年 7 月 4 日	東北大学総合学術博物館・自然史標本館	女川町長他	女川町長へのデモンストレーション
2013 年 8 月 28 日	片平キャンパス エクステンション教育 研究棟	東北大総長・理事・広報課 職員・一般市民・ミニコミ 紙取材	総長・理事へのデモンストレーション
2013 年 10 月 12 日	東北大学萩ホール	東北大学 OB・OG・萩友会 関係者・国会議員	* ホームカミングデー
2014 年 3 月 9 日	仙台ウエスティンホテル	シンポジウム参加者	*2014 年 東北大学災害復興新生研究機構シン ポジウム～「東北復興・日本新生の先導」を 目指して～
2014 年 3 月 16 日	片平キャンパス さくらホール 1F	シンポジウム参加者	* 東北大学片平レクチャー 2014 震災のこす べき記憶と私たち
2014 年 3 月 23 日	高知県高知市 高知県立追手前高校 芸術ホール	シンポジウム参加者・国会 議員・高知県知事ほか	* 高知から南海・東南海地震を考える 災害に 対して国土を強靱化するにはどうすべきか
2014 年 7 月 26 日	東北大学総合学術博物館・自然史標本館	小田原市 中高生	* 東北大震災被災地スタディツアー in 東北大 学
2015 年 1 月 17 日	神奈川県立 生命の星地球博物館	シンポジウム参加者・神奈 川県知事・国会議員ほか	* 地震津波シンポジウム～かながわ発！地震・ 津波から「いのち」を守る！～
2015 年 1 月 22 日	東北大学総合学術博物館・自然史標本館	福島県浪江町長ほか	浪江町長へのデモンストレーション
2015 年 3 月 14～18 日	東北大学総合学術博物館・自然史標本館 / 萩ホール	一般市民・国連防災世界会 議参加者	* 第 3 回国連防災世界会議 関連展示 「未来へと語り伝える大震災の記録」
2015 年 7 月 25 日	東北大学総合学術博物館・自然史標本館	小田原市 中高生	* 東日本大震災スタディツアー
2016 年 2 月 11 日～3 月 21 日	福島県立博物館	一般市民	* 震災遺産を考えるーガレキから我歴へ
2016 年 2 月 24 日～3 月 3 日	宮城県議会棟 1 階ラウンジ	一般市民	* 東日本大震災アーカイブ ～あの時を忘れな いたために～
2016 年 5 月 9 日	東北大学総合学術博物館・自然史標本館	福島県双葉町長ほか	双葉町長へのデモンストレーション
2016 年 12 月 20～25 日	せんだいメディアテーク	一般市民	* 震災と暮らしー震災遺産と人々の記録からふ りかえるー
2017 年 1 月 21 日、22 日、28 日、 29 日、2 月 4 日、5 日。	明治大学博物館	一般市民	* 震災遺産とふくしまの経験 ー暮らし・震災・ 暮らしー
2017 年 3 月 10-12 日	福島県立博物館	一般市民	* 「震災遺産を考える III」会津セッション 震 災遺産展～6 本の年輪～
2017 年 3 月 25 日	清水テルサ	一般市民	* 地震津波シンポジウム「東海・南海巨大地震 を考える in SHIMIZU」
2017 年 8 月 22 日	東北大学総合学術博物館・自然史標本館	高知県南国市小中学生	平成 29 年度南国市・岩沼市小中学校交流事業
2017 年 8 月 30 日	東北大学総合学術博物館・自然史標本館	復興副大臣・復興庁職員	土井復興副大臣・復興庁職員へのデモンスト レーション

表示であり、対象との距離が近くなると隙間が目立つものであった。さらに、1億数千万点の表示が限界であり、数億～数十億点に上る震災遺構のデータを表示するためには相当量の点群を間引く処理が必要であった。③に関しては、MRの様なヘッドマウントディスプレイ（以下HMDとする）を使う限り、ついて回る問題である。

優先的に改善する必要のある①と②については、3次元コンテンツ作成ソフトのUnityにキヤノンITソリューションズ株式会社のMR Plug-in for Unityを適応してコンテンツを作成してみたものの、特段の改善は見られなかった。協力企業とさらに検討を重ね、既存のソフトウェアで、大量点群データを扱えるものをMRに対応させるということにした。株式会社エリジオン社製InfiPointsにMRに対応させたところ、4億点程の点群データであれば30秒程度でコンテンツの変更が可能となった。本ソフトでは、さらにより大量の点群の表示と点の表示サイズの変更が可能となった。大量点群の例として、点群の分布範囲が数m程度と狭い双葉町清戸迫横穴の14億点からなる点群データは、2分程度時間がかかるものの、一度ソフトウェアのバッファに読み込ませることにより、ほぼストレス無く全データをMRで体験することができるようになった。しかしながら、点群の分布範囲が広く、大規模な学校の校舎のようなデータでは、ソフト導入後、間引き処理をしても表示がもたつく状態である。以上のことから更なるハードウェア、ソフトウェア両面からの改良が課題となっている。

残された③の改良点であるが、HMDでの体験で多人数への体験を実現するためには、複数台HMDとそのシステムを用意する必要がある。最近、普及価格帯のHMDが様々なメーカーから出てきている。これら比較的安価なHMDを複数で採用することにより、一度に多人数の体験を実現できるよう、株式会社エリジオンとシステムを開発中である（図64B）。

三次元データのMRまたはVR体験展示での注意点であるが、体験者が三次元酔いをする場合がある。体験イベント時には常に注意を払い、具合が悪くなった体験者ができた場合は早急に体験を中止し、横になるなどして休んでもらう必要がある。

以上の改善点を踏まえて、我々は、三次元アーカイブを実践的に防災教育プログラムへ組み込んだスタディーツアーを2014年の夏から実施している。このツアーは、2011年10月から東北大学片平キャンパス エクステンション教育研究棟広報展示スペースで開催されたパネル展示「東日本大震災 ～何が起こったか～ その記録と解析」で使用された展示パネル（鹿納、2011）、東北大学理学部自然史標本館に展示している津波堆積物、さらには東北大学災害科学国際研究所の「減災ポケット『結』プロジェクト」、MRで震災遺構の体験等をプログラム化したものである。これまでに、神奈川県小田原市や高知県南国市の小中学生に実施してきた。このプログラムは非常に好評であるが、HMDの関係で、時間がかかることが課題であるが、複数台のVR体験展示ができるようになれば、より効率的に実施できるであろう。一方で、パネル展示スペースや「結」プロジェクトを実施するスペースが必要であり、東北大学理学部自然史標本館を活動拠点としている総合学術博物館単独では、実施にあたり活動スペースが不足している。そこで現在では展示するパネル数を減らしたり、標本館を休館する措置をとったり、理学部の講義室を借りるといった対応をしており、活動スペース等の確保が課題となっている。

さらに、三次元アーカイブを使ったイベントとして、地震津波シンポジウムの開催と合わせて体験展示を実施している。このシンポジウムは、今後発生が予想されている南海トラフを震源とした巨大地震で被害が予想されている地域で、地震と津波のリスクを一般の方に再認識していただくことを



図 64. 3D アーカイブを使った体験イベント。A：宮城県議会棟で開催したイベント。村井知事が体験している様子。B：高知県南国市の小中学生への防災研修。安価なHMDを使ったシステムのテストを兼ねている。

目的に開催している（例えば鹿納、2017）。MRでの体験展示で、東日本大震災の被災地へ行ったことのない方々へ、津波の威力や津波の高さ等を体験してもらうことで、より一層防災意識を高めることができることが分かった。

一方、東日本大震災の被災資料等と共にMRで震災被災地に戻るといった体験ができるイベントを2016年2～3月と2017年3月に、ふくしま震災遺産保全プロジェクト実行委員会と共に福島県立博物館で実施している（例えば鹿納、2016）。これは一般向けの展示プログラムであり、被災自治体の震災アーカイブ施設の見本となるような展示プログラムとなった。ここでMRまたはVRの体験について恒久的な展示をする場合に課題となる点は、職員が体験中付き添う必要があるところである。将来VR技術が一般市民へ広がっていけば、職員が付き添う必要性が減る可能性もあるが、現時点では三次元酔いが発生する可能性がある点からも人員を配置した方がよい。また、この展示プログラムでは、福島県内各被災地域のいろいろな物や場所（MR展示）の展示を企画展示室内に凝縮して展示したため、それぞれの展示資料が持つ背景の解説が不十分なものであった可能性がある。被災物が物語る被災地域の記憶や震災の記録をより深く知ることができる展示施設には、十分な展示スペースや人員配置が求められる。さらに展示コンテンツの定期的なリニューアルや企画展等が可能となるようなスペースと人材の配置、様々な資料を保管できる収蔵庫等の確保も課題となるであろう。

7. まとめ

本論は、東日本大震災後、総合学術博物館が持つ三次元技術を生かした震災の新しいアーカイブ方法として実施してきた「東日本大震災遺構3次元クラウドデータアーカイブ構築公開事業」の中間報告である。2013年2月から2017年8月までの間に、総合学術博物館では岩手県、宮城県、福島県において、合計57に上る対象の三次元ポイントクラウドアーカイブを作成してきた。本事業の開始当初は、計測や体験展示で手探りの部分も多く、計測機材の特性やデータ形式、計測精度や密度など、協力会社や各団体等と共に試行錯誤して今日に至っている。改善された部分もあるが、体験展示に関する課題は今も残されている。今後も残された課題を改善しながら、東日本大震災の被災地、特に福島県内を中心に三次元計測を続けるとともに、後世へ東日本大震災がどのような災害であったかを伝え続けることが、被災地にある大学博物館の使命であると心に留め、本事業を続けていく。

謝辞

本事業は、東日本大震災の被災地自治体や関係者の皆様の協力の上で実施が初めて可能となったものである。宮城県には、三次元計測のために平成25年度第2回みやぎ地域復興支援助成金を援助頂いた。また、東北大学災害科学国際研究所アーカイブ分野の柴山明寛准教授には本論の査読のほか、FARO社製Focus3DとMRシステムの貸し出しや、2015年3月に開催された福島県立博物館でのシンポジウムにも講演者・パネリストとして協力をさせていただくなど多大なご協力いただいた。東北大学グローバル安全学トップリーダー育成プログラムには、MRシステムの提供、各種イベント等への支援、C-lab研修への協力などをいただいた。東北大学災害科学国際研究所の保田真理氏には、スタディーツアーにおいて、減災ポケット「結」プロジェクトの実施や指導をいただいた。東北大学には、本事業の計測やシンポジウム開催に関する予算を総長裁量経費により拠出していただいた。地震・津波対策を考える都道府県議会議員連盟には、高知県、神奈川県、静岡県での地震津波防災シンポジウムへの後援や様々なご協力をいただいた。株式会社中庭測量コンサルタントと同社の渡邊 淳氏、岩部吉成氏（現合同会社アイオフィス）には陸前高田中央公民館・体育館のデータの提供や、福島県内でのボランティアでの計測など多大な協力をいただいた。アジア航測株式会社および同社の南 幸弘氏には、車載レーザーデータについて、様々な助言をいただき、また、震災1か月後の車載レーザーのデータを提供していただきました。株式会社シン技術コンサルには、横穴墓での計測について様々な助言をいただいた。キヤノンマーケティングジャパン株式会社およびキヤノンITソリューションズ株式会社には、MRの運用に関する助言や協力をいただいた。株式会社電通国際情報サービスには、MRに関するソフトウェアについて助言や協力をいただいた。有限会社 アノン・ピクチャーズには、UnityでのMRコンテンツ開発にご協力いただいた。ライカジオシステムズ株式会社には、2017年から富岡町での計測に多偉大なご協力をいただいた。株式会社エリジオンには、点群データ処理に関してのソフトウェアやMRでの表示ソフトの開発など様々な所でご協力をいただいた。岩手県宮古市、たろう観光ホテル、宮城県、気仙沼市、南三陸町、女川町、石巻市、東松島市、東日本旅客鉄道株式会社仙台支社、仙台市教育委員会、山元町教育委員会、福島県、福島県立博物館、ふくしま震災遺産保全プロジェクト実行委員会、浪江町、双葉町、大熊町、富岡町、東日本旅客鉄道株式会社水戸支社、いわき市には、三次元計測時に多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 鹿納晴尚 2011 「東日本大震災 ～何が起こったか～ その記録と解析」片平キャンパス・エクステンション教育研究棟広報スペースでパネル展示を開催中。東北大学総合学術博物館ニュースレター Omnividens、No.40, pp4-5.
- 鹿納晴尚 2013 東日本大震災遺構 3次元クラウドデータアーカイブ構築公開事業。東北大学総合学術博物館ニュースレター Omnividens、No.44, p.8.
- 鹿納晴尚 2015 ふくしま震災遺産保全プロジェクトへの協力を始めました。東北大学総合学術博物館ニュースレター Omnividens、No.47, p.8.
- 鹿納晴尚 2016 連携展示「震災遺産を考えるーガレキから我歴へ」3D デジタル震災遺構アーカイブ体験展示報告。東北大学総合学術博物館ニュースレター Omnividens、No.51, p.6.
- 鹿納晴尚 2017 「地震津波シンポジウムー東海・南海巨大地震を考える in SHIMIZUー」を開催しました。東北大学総合学術博物館ニュースレター Omnividens、No.54, p.6.
- 消防庁災害対策本部 2017 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) について (第 156 報)。 <http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou/pdf/jishin/156.pdf>
- 杉安和也 2016 東日本大震災連続ワークショップ 2015 in 気仙沼開催報告。地域安全学会ニューズレター 第 94 号 pp.24 - 36、地域安全学会事務局。
- 仙台市教育委員会 2014 教育要覧 仙台。仙台市教育委員会 総務課、2014 年 9 月。
- 富岡町 2015 津波被災バトカーを町内に保存 震災の記憶を後世に。広報とみおか No.630, p.14.
- 内閣府原子力被災者生活支援チーム 2013 避難指示区域の見直しについて。2013 年 10 月 http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131009/131009_02a.pdf
- 復興庁・岩手県・陸前高田市 2015 高田松原津波復興記念公園 基本計画。 http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-15/20150821_4_kihonnkeikaku_iwate_honnbunn.pdf
- 復興庁・宮城県・石巻市 2015 石巻市南浜地区復興記念公園 (仮称) 基本計画。 http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-15/20150821_5_kihonnkeikaku_miyagi_honnbunn.pdf
- 福島県双葉町 2017 双葉町 東日本大震災記録誌 後世に伝える震災・原発事故。
- 宮城県震災遺構有識者会議 2015 宮城県震災遺構有識者会議報告書。 <https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/288105.pdf>