

災害復興
ワークショップ

東日本大震災遺構等の3Dデジタル アーカイブ作成における計測手法について

東北大学学術資源研究公開センター 東北大学総合学術博物館 技術支援員 鹿納 晴尚



スライド1



スライド2

東北大学総合学術博物館の鹿納です。よろしくお願ひします。これから表題(東日本大震災遺構等の3Dデジタルアーカイブ作成における計測手法について)について話をしていきたいと思ひます。

なぜ、東北総合学術博物館で3Dデジタルアーカイブを作っているか、ということですが、実は2008年からCTを使って色々な標本に関して3Dのアーカイブを作ってきました。3Dデジタルデータを世界中の研究者で共有するという新しい標本データベースを研究している、ということがまずベースとしてありました。この技術に関する経験が、東日本大震災後に被災地でのアーカイブ作成へつながっていくということになります。スライド2で見ていただいているものが、うちで使っている3D化の技術を一覧にしたようなものになります。CTスキャンがありまして、そしてハンドスキャンがあってMMS、ドローン。このようなものを使ってアーカイブを行っています。

では軽くCTについて紹介していきたいと思ひ



スライド3

ます。スライド3で一か所訂正があるのですが、表面構造が表面造となつてしまっていますので訂正をお願いします。左のアミメアリは、そこらへんにいる小さなアリですが、マイクロX線CTで撮ると内部の構造がよくわかるというものになります。右上は文化財の土偶ですが、土偶の作り方なんかもわかるというものになります。右下は有孔虫という、実はプランクトンの化石なんです、炭酸カルシウムの殻の密度が当時



スライド6

例えば気仙沼市の第十八共徳丸だったり、南三陸町の防災対策庁舎というものをとってきています。これらは主に据置型のレーザだったり、MMSでとったデータになります。

続きまして福島県でアーカイブ、どんなところをやってきたかということですが、左側に南相馬、浪江町、双葉町。右側にいわき市と富岡町を示したものです（スライド6）。これらの市町でアーカイブをつくったところを紹介しています。ここには載せていませんが、大熊町にあったオフサイトセンターもアーカイブをとっております。福島県というのは、原子力災害のために未だ町民が全町避難しているというところもありまして、長期間人々の生活が無かったということで、全然手が付けられていないところが多かったということもありますので、結構多くのアーカイブ対象物が残されていたということで、これだけの量になっている、というものになります。

では、次に、震災遺構のアーカイブ手法について紹介したいと思います（スライド7）。レーザスキャナだったり、SfMを使った写真測量、その他にドローンを使ったもの、ハンドスキャンといった手法を使っています。



スライド7



スライド8

はじめに、据置型レーザスキャンですが、スライド8の左上がFAROのFocus3D、右側が

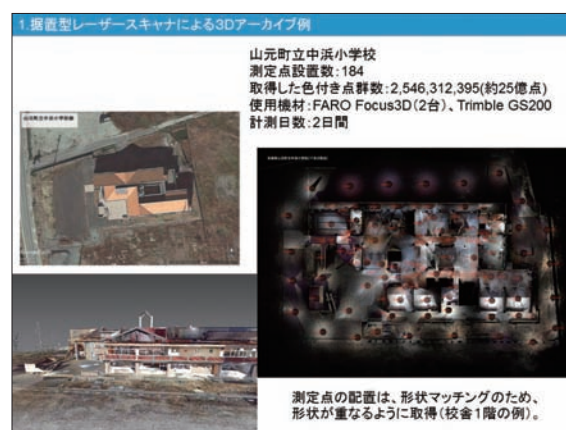
ライカジオシステムズのP40、下がTrimbleのGS200です。上二つが近距離用の細かいところをとる用に使っていて、下の方が中～長距離用ということで、高い位置に持って行って周辺の状況をとっている、というものになります。FAROは非常に軽くて、三脚に載せたまま簡単に運べるという利点があります。P40は若干重いのですが、絵は非常にきれいなものが出てくるということでかなり使わせてもらっています。実は、ライカジオシステムズさんが最近すごく小さなスキャナを作りまして、今後はこちらに期待をしている、というところです。



スライド9

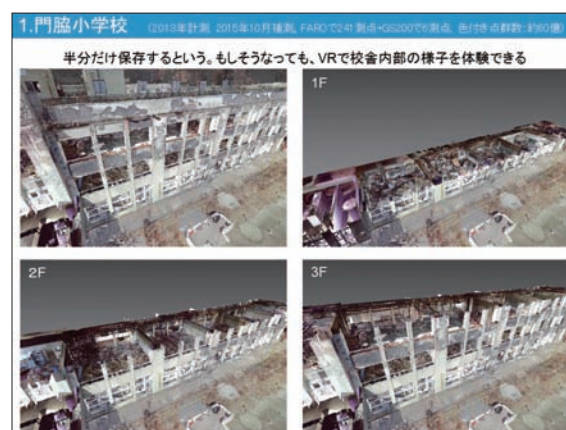
では、実際どのようにとってきたかということを紹介していきたいと思います。スライド9の左上は山元町立中浜小学校の屋根裏部屋なのですが、実は生徒たちが震災当日に、ここに避難して一晩過ごしたところになります。照明がないので、真っ暗だったのでわざわざ照明を持ち込んでとっているというところになります。その他には、南三陸の防災対策庁舎（右上）とか、共徳丸（右下）なんですけど、人が立ち入れない、触らないでほしい、とかそういった制限がある場合には、こういう高所作業車を使いまして、レーザスキャナをまわしている、ということになっています。

次に、実際どんな感じでデータをとってきたかというところを、配置などをわかるように示したいと思います。スライド10は山元町立中浜小



スライド10

学校です。測定点設置、校舎内と校舎外、1階2階と屋上ですが、184箇所から測定をしている、1か所で大体2000万点くらいとれますので、合計して約25億点の点群データがとれているというところになります。ここでは、ターゲットレスの測量をしないと雰囲気が悪化してしまうので、ターゲットレスで形状マッチングができるような測定点の配置をしなければならない、というものになっています。計測日数は2日間です。



スライド11

次に門脇小学校、石巻市のところですが、これは実は、現時点では校舎の半分だけ残すということになっていますので、全体は我々でアーカイブをとっています。スライド11は東側の校舎なんです。1階、2階、3階とちょっと見えにくいですが1階部分の途中まで津波が来ています。2階3階はその後発生した津波火災のせいで非常に焼けてしまっている様子が残されています。

危険なので一般の人は立ち入れないそうなのですが、臨場感があるように体験してもらうためには、高精度で高密度のデータを取ってくるという必要があるということでこのようにとってきています。ここでとったデータは、FAROを使って241の計測点で校舎内外でとってきています。それにGS200で6測点、合計で大体60億点の点群データを取得しているというものになります。

2.車載型レーザースキャナ(MMS)による3Dアーカイブ

- ・運搬の3Dデータ
- ・地域データ

計測箇所
被災後ひと月ほどの被災地(2011年4月)
アジア航測により実施
(亶理町島海)
(東松島市野蒜周辺)
(石巻市)
(女川町)
(南三陸町)
(気仙沼市)

・東北大学総合学術博物館で実施(2013年)
女川町被災市街地(ニコントリプル社製)
・気仙沼市市街地・がれき処理場
・南三陸町
・石巻市
・仙台市荒浜地区
・亶理町
・山元地区がれき処理場
・南相馬市小高区沿岸

アーカイブ化を始めたころは、まだドローンでの広範囲にわたる地域データの3D化の実績が少なく、場所によって車外に出ることが難しいところもあったため、車載レーザを使用した。



女川町での機材の設置

スライド12

次に車載型レーザースキャナ(MMS)による3Dアーカイブなのですが、スライド12の左側にアジア航測さんが震災後一か月くらいにとったデータを提供していただいたものをリストにしています。そのデータにある程度かぶるようにして、その後新しいところで、女川や南相馬で計測を行っています。アーカイブ化を始めたころには、まだドローンが主力ではなかったということもありまして、地域データをとりたいときには、MMSが一番当時としては短時間でとれるという利点として選択をしていました。

では、車載型レーザによるアーカイブ化の例ということになりますが、短時間でできるということで、この計測はアジア航測さんにやっていただいたんです。スライド13は、仙台市荒浜地区の様子です。今もほぼこのまま残されています。データ取得は1日で約11.5億点、広さは大体南北1km、東西も1km強の範囲をとっていただきました。

では、これまで説明した据置型と車載型レー

2.車載型レーザースキャナ(MMS)による3Dアーカイブ仙台市荒浜地区




計測は1日。約11.5億点の点群データ。

- ・道路を走行する車から連続してレーザースキャンを実施し、360°パノラマ写真、GPS、車速計等により3次元データを取得する。パノラマ写真の撮影は断続的に行う。
- ・車から見える範囲かつレーザが届く範囲のデータ化が可能。
- ・点密度(データの密度)は走行スピードで調整できる。
- ・走行する車の前後に色ハズとなる他の自動車等があると、着色処理に時間がかかる。
- ・ドローンでは取れない(飛ばせない)部分(建物の裏面や屋根下など)の広範囲の3Dデータを取得したい時に向いている。
- ・作業員の数は据置型と比べ少なく済む。

MMSによる仙台市荒浜地区での測量の様子

スライド13

南三陸町防災対策庁舎および周辺地域のデータ合成動画



26秒

庁舎周辺の被災市街地のデータはアジア航測のMMSによる2011年4月のデータを使用

スライド14

ザを合成した例として南三陸町の防災対策庁舎周辺の映像を見ていただきたいと思います(スライド14)。周辺のデータはアジア航測さんがとった2011年4月のデータを配置し、その後2013年ごろに取得した防災対策庁舎のデータを合成したものとなっています。庁舎の周辺は被災の状況が残されています。現在では庁舎の内部は普通の人は入れないので、この建物の中も見れない。しかも周りはかさ上げされて全然変わっている。そういう過去の被災の記録を、また元に戻って見られる、というのがこのアーカイブの利点だと思います。

では次に、ハンドスキャナについて御紹介していきたいと思います。ハンドスキャナでは主に、復興事業に関わる埋蔵文化財の調査などのアーカイブに使っています。スライド15の左下は石巻市でとった中沢遺跡なのですが、集団



スライド15

移転の土地から出てきたもので、その調査の時にちょっとだけとらせていただいた、というものになります。その右側なんです、SmartScanというスキャナで、福島県の大葉町にある国指定遺跡清戸迫横穴墓の装飾古墳の3Dアーカイブをとっています。ただ、この左側に示した博物館が持っているハンドスキャナはちょっとクセがあるものになりまして、どんな感じかを見ていただきたいと思います。



スライド16

スライド16は授業で大学院生たちにハンドスキャナを使って震災遺構のアーカイブをとって来い、とお願いしてやったものです。浪江町の清戸漁港や清戸小学校でアーカイブを作るということをやらせてみました。このハンドスキャナというものは結構クセがあって、ゆっくり動かすことや、対象との距離が決まってることなど、データのとり方を知らないときれいにとれないという



スライド17

特徴があります。しかも、高精細の上、データがかなり重いのでデータのハンドリングがやりにくい、という特徴があると思います。

次に、光学式のSmartScanの方に話を移します。スライド17は、大葉町にある清戸迫横穴墓の例になります。震災前は、すぐ近くにあった資料館の学芸員さんが定期的に管理をしていたのですが、震災後はそういったことができなくなったということで、もう7年ほど経っているのですが、劣化が心配だったので、うちの博物館としてアーカイブをするということになりました。ここでは、シン技術コンサルさんに協力をさせていただいております。玄室内の壁面で約14億点の点群を得ることができています。なぜここでSmartScanを使ったのかといいますと、色の再現性が文化財では非常に重要ですので、そこらへんをちゃんとキャリブレーションできるようなスキャナを使わせてもらっているということになります。計測時の注意点で、この写真(右上)が撮影時の写真ですが、タイベックススーツを着ているのは放射線量が高いわけではなく、中にカビを持ち込まないように養生するように文化庁から言われてたためです。その他に、温度上昇とか、湿度の上下変動をできるだけ抑えて計測するというようなことに注意を払って行いました。この周辺でもレーザスキャナでアーカイブをとっています。

この動画(スライド18) なんですけれども、入



スライド18

り口から、中央に石碑がありまして、左側に学校の校舎があります。この校舎を作るときに斜面を削ったところ見つかったということです。そして奥の階段を上がって行って、前室から中の玄室に入っていく。ここにうずまきのベンガラで描かれたものですね。そういう壁画を3Dアーカイブ化している、というものになります。



スライド19

では次に、写真計測SfMの話に入っていこうと思います(スライド19)。こちらも、はじめはレーザスキャナが我々の手元になかったということもありまして、フリーウェアも使ってなんとか3D化できないかな、と2014年ごろから私が個人的に始めていたものになります。始めはEOS40Dを使っていた、画素数は約1100万画素です。左上は2014年にテストしてみたものになります。撮った方向は画像から分ると思いますが、一か所から色々な方向を撮っているという、今では

あまり考えられない撮り方をしていました。最近になりますと、右上は2017年ですが、壁側に並行に歩いていく、そういう撮り方になってきています。これはソフトウェアのAgisoftのPhotoScanを投入した時にチュートリアルで示されたものでありますので、かなり効率的にアーカイブがとれるようになってきました。スライド下部にある山元町の合戦原から出てきた線刻壁画ですが、こちらもシン技術コンサルさんがSmart Scanでアーカイブをしているんですが、調査の時に同行させていただきまして、写真測量を試してみました。これは3分ほどちょこちょこ写真撮って作ったものになります。それなりに映像(データ)としては使えるな、というのがわかってきたので最近はこちらの方を主力としている、というものになります。



スライド20

その他にもう一つ、ドローンですね(スライド20)。こちらも写真測量なんです、先ほどもいっぱい例を出していただきましたが、広範囲にわたる被災地の三次元化というのは、やはりドローンの方が今はいいのかなという点もあります。2015年くらいからこの手法を使ってアーカイブを始めている、ということになります。

スライド21は、富岡町の富岡川の河口周辺でアーカイブをした例になります。1日でデータ自体(写真撮影)は取り終わっています。動画をちょっと見ていただきたいと思います。富岡駅のホームから、海の方に向かっていくこのフレコンパッ



スライド21

クの山は今はありません。こういう時系列的なものも記録ができるというのが利点かと思えます。そして、海岸沿いにきますとテトラポットとか護岸が壊れている様子なんかも見ることができます。こちらは富岡川なんですが、河口からどんどん上に上がっていきます。結構、きれいに取れているかと思えます。最後のところ、建物の側面がやっぱりうまくとれていないというのが、とり方を工夫しなければならない。アーカイブという点で考えると、そこはMMSで補完をするとか、わざわざそこをとりになくなくてはならないというものになります。

では、富岡町も含まれるのですが、原子力災害地域で我々は最近文化財に関してアーカイブをとってきています(スライド22)。例えば、浪江町の国玉神社、藤橋不動尊、初発神社、富岡町の宝泉寺、薬師堂。実は、この薬師堂は昨日見に行ったんですが、もうなくなっていました。こういう、街の文化を象徴するものがなくなっていくというのが、これからの福島現状かと思えます。ですので、我々としては出来る限り協力して、こういうものを残して伝えていきたいと考えています。

先ほど、清戸迫を説明しましたので、浪江町

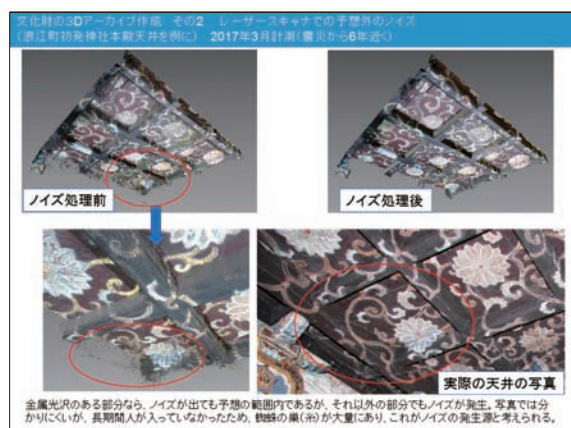


スライド23



スライド22

の初発神社についてちょっと解説していきたい
 と思います(スライド23)。初発神社は、福島県
 の指定文化財なのですが、ずっとそのまま放置
 されていたものになります。スキャン自体は3台
 使いました。FAROを3台使いまして、1.5日で
 134か所に据え付け、読み込んで位置合わせ。
 この辺までだと1日で終わるんですけども、
 その後にノイズ処理、自動のノイズ処理でもダメ
 な場合は手作業でやっていく、そういうような
 作業になります。全体で普通だったら4~5日で
 終わるんですけども、完成版のコンテンツに
 するにはもっと時間がかかってしまう、というも
 のになります。ただノイズ処理をしているうちに、
 変なノイズがいっぱいでくるな、というのに気
 がつきましたので、どんなノイズかというのを見
 ていただきたいと思います。



スライド24

スライド24は、ノイズ処理前のデータ(左上
 写真)、ノイズ処理後(右上写真)社殿の本殿
 の天井部分に色々な装飾があるんですけども、
 こちらが前のやつですね。ここに細かい
 点々・・・が浮き上がっているところが出てく
 るんですね。当日、写真を撮ってるものがありま
 したのでよくよく見てみると、蜘蛛の巣がいっ
 ぱい張っていたと。6年間ほど全然人が入れな
 かった、そういうところですので、蜘蛛の巣が
 非常に張っていたということです。我々としては、
 震災のアーカイブとしてはこれも一つのアーカイ
 ブの形ではあるだろうけれども、文化財の保護



スライド25

という点で考えると色々問題があるのかな、と
 ちょっと悩みどころです。その代り、文化財を
 保存するときにはこういう細かいところまで気を
 付けてやらなければいけない、ということがわ
 かりました。

実は、測量はいいとして、それをどうやって
 活用していくか、というものに頭を悩ますと思う
 んですけども、まず我々としては、MRシ
 ステムというものを使いましてバーチャル体験を
 してもらおう、と考えました(スライド25)。MR
 というのは、現実空間にバーチャルリアリティ
 を重ねあわせる技術といいまして、キヤノンさん
 が作っているものです。右側はウチの博物館に
 あるMRシステムなんですけど、周りに色々なQR
 コードみたいなマークがあります。ヘッドマウン
 トディスプレイにカメラがついてまして、初めに
 位置情報を登録しておいて、カメラを搭載した
 ヘッドマウントが向いた方向を瞬時に計算しま
 して、それプラス、ジャイロセンサーも駆使しま
 して位置を正確に把握して、それに合わせて映
 像を書き換えて、あたかもそこにあるように見せ
 る、そういう技術になります。

では、それを使ってどんなことをしてきたかと
 いいますと、震災スタディーツアーというものを
 開催しました(スライド26)。これは神奈川県
 の小田原市の中学生を対象にしたものをやった
 り、右上写真の、宮城県議会棟でできたばかり
 のアーカイブを村井知事にみていただいたり



スライド26

してきました、補助金を出していただけるようになった。こういうことも努力している。中央左側は富岡町に導入されたMRです。同じようなシステムを入れてもらって、データを共有しているというものになります。中央は福島県立博物館での展示の様子です。その他、各地で地震津波シンポジウムも毎年開催しまして、同時にMR体験も行っているというものもあります。

ただ、実はMRシステムは非常に高いんです(スライド27)。普通の博物館が買える値段ではないというものもありまして、どうにかして安くならないかなと思っていましたら、エリジオンさん

が、我々が使っているInfiPointsという点群データの編集ソフトなんですが、そちらを、Oculusに対応していただけるということになりまして、テストも兼ねて色々なイベントをやってみました。

スライド28がその活用の様子なんですが、こちらに2台あります(①)。ヘッドマウントディスプレイを付けて体験してもらっているのですが、実は、二人とも同じ場所に移動することができる。同じものを同時に見て、ここに集まって、というようなこともできるシステムになっている。MR1台1千万円以上するんですが、Oculusというのは非常に安くて、しかもそういうことができるというのがありますので、今後こういう方法、安価でいい方法ができたということは非常に喜ばしいことかなと思います。これで、実際私がこの時に取り仕切ったんですが、まずMR、VRで様子を体験してもらって、その他に博物館にあるコンテンツ、例えば、津波堆積物に関して勉強してもらおう(②)、その後、地震、津波がどうして起こるか、そういう解説をしまして(③)、他に、津波が起きたときにはこういう活動が必要なんだよ、こういうことが行われたんだよ、という災害の救助だったり、支援とい



スライド27

震災遺構等三次元デジタルアーカイブの活用 その2

オキュラスリフト (Oculus Rift) +MRを使った3D-VR体験(2017年8月22日@東北大学総合学術博物館)

①VRで被災地の様子を体験



②津波堆積物の解説



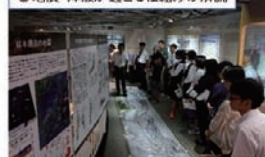
③災害からどうやって身を守るか？
(災害研の結プロジェクトと共同)



④津波被災後の救助・救援活動の解説



⑤地震・津波が起こる仕組みの解説



(株)エリジオン協力のもと高知県南国市小中学生向け防災研修ツアーでVR体験を実施

スライド28

これからの3D計測技術と応用

- 更なる短時間での高精度・高密度三次元計測
 - ・ スキャナの改良や再構成ソフトウェア、PCの処理能力の改良で実現
- 防災や災害時の基礎データとしての利用
 - ・ 災害時に短時間で3D化ができれば、救助活動のシミュレーションなどで応用
- 文化財等の3Dデータの活用
 - ・ 文部科学省・文化庁も文化財等に関して観光でのVRの活用を明言しており、今後需要が増える
- VR環境の普及
 - ・ 高速で大容量の3DデータをVRで見るためには更なるハードウェア・ソフトウェアの進歩が必要

ご清聴ありがとうございました

スライド29

うのをパネルで説明して(④)、最後にワークショップで、シミュレーション動画を見てもらって、津波がどういう風に襲ってくるか、というのを見てもらって勉強してもらう(⑤)、というような活動をしています。

最後になりますが(スライド29)、これから計測と応用ということで、もっと短時間で高精度・高密度の三次元計測ができると非常に助かるなと思います。この辺はスキャナの改良だったり、ソフトウェアだったりPCの能力の改良が欠かせ

ないですが実現できるだろう。その次に、防災や、災害時の基礎データとしての利用ができるだろう。文化財等の3Dデータの活用、こちらは文科省文化庁も文化財に関してバーチャルリアリティを観光分野に使ってくれ、そういうことを言われていますので今後はこの分野も需要が増えていくんじゃないかなと思います。最後にVR環境の普及なんですけど、我々が持っているデータは非常に重たいものが多くて、そういうものを簡単に見れるようなハードウェアができればいいなと。こういうのも今後色々考えて検討していきたいと思います。以上になります。ご清聴ありがとうございました。



講演者

鹿納 晴尚 (かのう はるまさ)
東北大学学術資源研究公開センター
東北大学総合学術博物館
技術支援員

本稿は平成29年11月17日の当協会の「地理空間計測・活用技術セミナー 2017 in 仙台」における鹿納晴尚氏の発表内容をまとめたものです。