

東日本大震災における 3 D 計測関連の初動利活用調査報告書
(2011. 3～4期間)

暫 定 版

平成 2 3 年 5 月

目 次

は じ め に

§. 1	発災直後の震源 3 D データについて -----	1
§. 2	「空」からの 3 D データについて -----	2
1.	観 測 衛 星	
2.	空 中 写 真	
3.	航 空 レ ー ザ ー	
§. 3	「陸」からの 3 D データについて -----	4
1.	地上型レーザースキャナー	
2.	移動式レーザースキャナー	
3.	デ ジ タ イ ザ	
4.	写 真 測 量	
§. 4	「海」からの 3 D データについて -----	6
§. 5	復興に向けての 3 D 計測の利活用について -----	7
§. 6	初動利活用緊急アンケート結果（参考） -----	8

はじめに

この調査報告書は、未曾有の被害をもたらした東日本大震災における被災状況、復旧、調査時における3D（3次元）計測の初動時における利活用状況を、3DNetworkJapanの組織内および関係機関・企業・報道のリサーチ、ヒヤリングにより、調査したものである。

3D計測の事例は、ここ数年災害時において利活用が多数報告されている。ただし1995年の阪神・淡路大震災では利活用の事例は無いに等しく、2000年以降において発災した震災・水害他での利活用の報告が間々存在している。特に情報量が増えたのは2007年の石川県能登半島地震以降からである。これは2000年よりレーザーを中心とした計測機器のユーザーが増え始め、2005年以降に急速にユーザー数が伸びたことが要因と考えられる。

3D計測といっても、「陸・海・空」からの多様なアプローチ、計測対象も島一つのマクロレンジから指先ほどのミクロレンジまであり、かつ目的に応じた分解能（性能）も細分化され、各対応レンジの計測機器も存在する。これらを一括りで論じることは不可能であるが、各分野・業種で幅広く浸透してきた根拠でもある。

今回の大震災においても、3D計測が「復興」への筋道のなかで利活用されることで、迅速化・効率化に繋がると予想される。本報告書がそれらの一助となり、今後の災害時の参考資料になればと考える次第である。

なお調査時点において、ご協力頂いた関係各位に感謝を申し上げます。

3DNJ東日本大震災における3D計測利活用調査チーム

§ 1. 発災直後の震源 3Dデータについて

東日本大震災は3月11日14時46分（日本時間）に発生し、国内観測史上最大のマグニチュード9.0を記録した。この地震を起因とした、場所によっては波高10メートル以上、再大遡上高38.9mにもものぼる大津波が発生し、東北地方太平洋沿岸部に未曾有の被害をもたらした。津波の他にも、地震の揺れそのものや液状化現象、地盤沈下などによって、広大な範囲に被害が発生し、ライフライン、道路・鉄道網も寸断されている。2011年4月28日時点で、震災による死者・行方不明者は約26,000人、建築物の全壊・半壊は合わせて10万棟以上、ピーク時の避難者は40万人以上、停電世帯は800万以上にのぼっている。

今回の地震発災直後の震源域データはWEB上に多数公開されているが、3Dデータとなると数は限定される。ここで活用範囲が広い3D震源域データとしては、SIO Visualization Center（※1）の3Dビュー「iView4D（※2）」を使用した発災から2日間の震源域を閲覧出来るデータがある。このデータは3月末に学術機関に活用されるよう提供されたようであるが、特筆すべきは、4Dデータ（3次元データに時間の推移を付加）となっていることである。図1にある下のスクロールバーをスライドすると時系列で次々と震源が表示される仕組みとなっている。これらは無償DL可能であるので興味がある方は直接ご覧頂きたい。（iView4DのDLも必要）

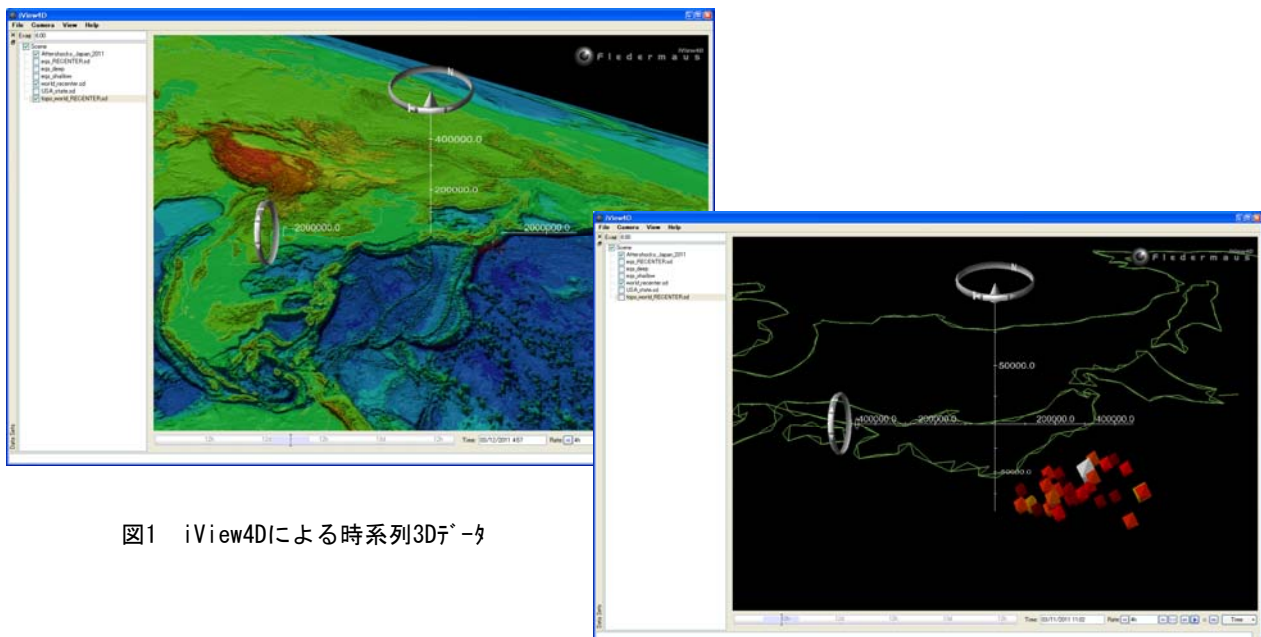


図1 iView4Dによる時系列3Dデータ

※1 学術的な研究（地球物理学など）をソフトウェアやイメージデータ等でサポートする機関
<http://siovizcenter.ucsd.edu/library/objects/index.php?category=Scenes>

※2 IVS 3D社のビューアソフト
<http://www.ivs3d.com/>

§ 2. 「空」からの3Dデータについて

1. 観 測 衛 星

本報告書での衛星観測については、JAXAが提供しているALOS（だいち）を中心に紹介する。建設・測量業以外の方についてはあまり聞き慣れない衛星ではあるが、「立体視センサ」を搭載したこの観測衛星は3Dデータを取得できる。3方の角度の異なる画像を取得し、一般的に言う「写真測量」の技法（バンドル交会法）を使用して、3次元化をおこなっている（詳細手法については※3のURL参照）。

今回の震災ではこの衛星画像データがフル活用されている。通常非公開のこれら画像は震災後営利目的用途以外には無償提供されており、図2のように震災前と震災後の画像が一目でわかるようになっている（※4）。また、解析でだいちのレーダー画像に基づいて3月15, 20両日と、大震災発生前の昨年10月などに観測された画像の比較をおこなうことにより、岩手県から福島県にかけての東北地方が沖合方向の東向きに最大約3.5mずれ動く地殻変動が起きていたことが判明している。地殻変動は、震源（宮城県・牡鹿半島の東南東沖約130キロ）に近いほど変動が大きく、牡鹿半島付近が約3.5mと最大であり、岩手県釜石市付近で約2m、同県宮古市や山形県東根市、福島県伊達市付近は約1mずれていた（水平方向では最大約5.3m、上下方向では約1.2m）。また地盤沈下などの高さ方向の地殻変動も調査されており、今後も様々な活用が期待される。

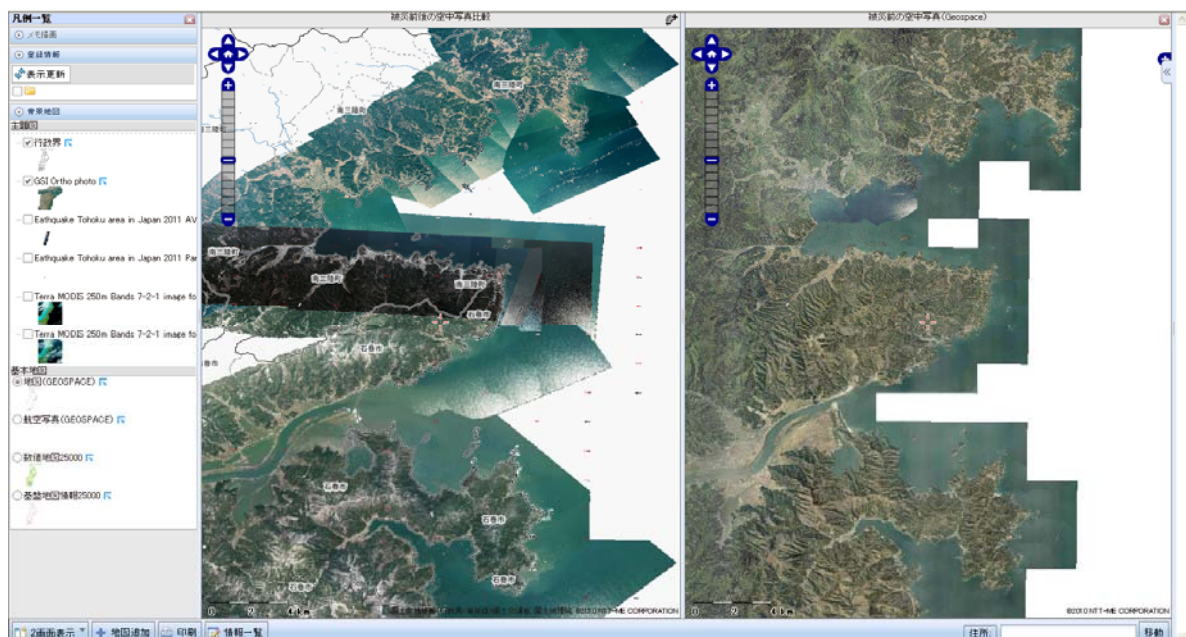


図2 衛星画像による震災前と震災後の画像

※3 ALOS 解析研究プロジェクト

http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/about/about_index.htm

※4 平成23年東日本大震災に関する国土地理院被災後空中写真緊急WMS配信 暫定（独立行政法人防災科学技術研究所）

<http://bosai-drip.jp/ap/wms.htm>

2. 空 中 写 真

主にセスナによる空中写真（航空写真）撮影は当組織メンバー内でも余震域での観測が確認されており、広域で複数社が実施していると予想される。ただし、位相撮影による3Dモデルの取得については定かでは無い。

今回の震災では、地震と津波による被害を受けた福島第一原子力発電所では全電源を喪失して原子炉を冷やせなくなり、大量の放射性物質の放出を伴う重大な原子力事故が発生した。これにより、自立飛行が可能な無人機による原発区域周辺の撮影や、無人化施工可能な土木重機などの活用が進んでいる。また、あたかも自分がそこにいるかのように見える3Dモニターでのリモートサポートが可能な機器が注目されているとの情報もある。



図3 事故前の福島第一原子力発電所空撮写真【画像提供サイトより】

3. 航 空 レ ー ザ ー

航空レーザーによる3D計測も大手航測業者により実施されている。国交省や国土地理院は震災後の3月中旬～4月上旬、航空レーザー（他衛星画像解析も使用）の計測を実施した。その結果、震災前に約3平方キロあった仙台平野の海拔0m以下の面積が約16平方キロに増えたことが判明している。（震災前の約5倍）

航空レーザーは、地上に基準点（評定点）を設置して精度管理をおこなっているが、今回の震災で東北地方太平洋沿岸の沖合方向東向きに最大約3.5mずれ動く地殻変動が起きていたことから基準点の精度管理において問題が発生、初動に遅れたとの不確定情報もあった。しかしながら、電子基準点（※5）他をGPS観測値などで暫定的に改測・補正しリカバーしていると思われる。

また、災害では大量の瓦礫が発生するが、その撤去作業も迅速におこなわなければならない。ここではそれらに関連しアメリカでの同時多発テロ（いわゆる9.11事件）で実施された事例を記載する。世界貿易センタービル（ツインタワー）に旅客機が衝突しビルが崩落した現場で瓦礫を撤去する作業をサポートするため、航空レーザーによる計測を実施、瓦礫の3Dマップを作成したことが報告されている（※6）。なおこのマップをもとに、瓦礫の総量を算出、移送手法なども検討したという。今回の大震災でも津波により被災した建物等瓦礫の撤去が実施されているが、一部でこのノウハウを活用できる場面も予想される。

※5 国土地理院 「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」に伴う基準点測量成果の取り扱いについて
<http://sokuseikagis1.gsi.go.jp/SysMsg/h23toughokutaiheiyou.html>

※6 米国世界貿易センタービルの被害拡大過程、被災者対応等に関する緊急調査研究 平成14年6月 文部科学省
<http://scfdb.tokyojst.go.jp/pdf/20012020/2001/200120202001dm.pdf#search=米国世界貿易センタービルの被害拡大過程、被災者対応等に関する緊急調査研究>

【P. 160にレーザースキャナー画像が掲載されている】

§ 3. 「陸」からの3Dデータについて

1. 地上型レーザースキャナー

地上型レーザーによる被災地での計測は、当組織メンバー内においても確認されており、問い合わせも複数受けている。

被災地において初動としては法面崩壊などの土砂災害、道路・河川復旧、橋梁等構造物の診断などの計測に威力を発揮していくことになる（図4）。広範囲の地殻変動の確認には観測衛星や航空レーザーが適しているが、地上型レーザーは経験上1Km²以下の一定範囲でかつ高分解能での詳細計測に適しているからである。また既に稼働していると思われるが、ビル等建造物（民間）の地震による診断などにも今後効果を発揮していくと予想される。

一方、文化遺産の被災状況を確認することも期待される。建築物の変位（傾斜・沈下・隆起）を確認し対応策の検討をおこなったり、被災状況全体を確認・記録保存するなど使用法も予想される（図5）。

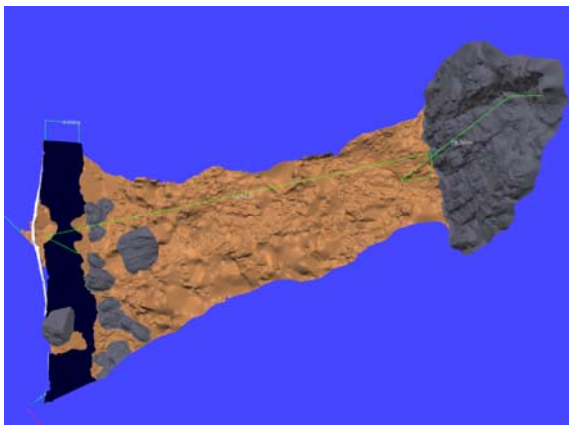


図4 震災およびその後の豪雨により発生した土砂災害の3D計測例（左は道路）
 【3DNetworkJapan実績より】

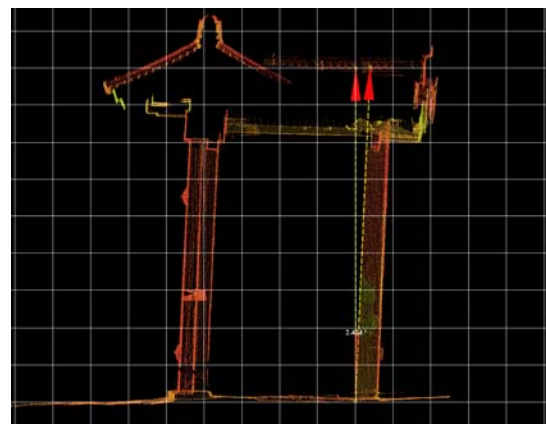


図5 文化財における変位確認のための3D計測例（門・石垣）
 【3DNetworkJapan実績より】

2. 移動式レーザースキャナー

今回の震災での車載型の移動式レーザースキャナーの利活用については、当組織メンバー内での計測は問合せ等にとどまり、確認されていない。これは初期において大津波により道路が寸断され、その後においても被災地でのガソリン不足と開通した道路に釘やガラスなどがあり、タイヤのパンクが多数発生していることが原因の一つと考えられる。

今後は長距離区間での開通された幹線道路、合わせて周辺の建築物に対しての計測が期待され、実際に津波に被災していないエリアについては稼働していると予想される。

3. デジタイザ

デジタイザやハンディスキャナーについては、数mというショートレンジであるが、高分解能（1mm以下）の計測が可能である。これらを活用する分野は主に文化財（仏像、装飾、収蔵物など）の被災状況や破損した収集部材の修復・再現（図6）の補助資料である。

東日本大震災で地震や津波による被害を受けた国宝や名勝、史跡などの文化財は、3月までの文化庁の調べによると、19都道県で約300件にのぼる。津波の直撃を受けた東北・北関東地方沿岸部の文化財が甚大な被害を受けたほか、地震の影響も広範囲に及んでいる。

被災した文化財を保護するため、文化庁は4月1日、「文化財レスキュー隊」を派遣する救援事業（※7）を始めている。

この事業は阪神・淡路大震災でも活躍し、段ボール箱約60箱分の古文書や仏像などを瓦礫の下から手作業で拾い集めたが、今回はそれを上回るのは間違いない。ただ阪神・淡路大震災が発生した1995年当時は、3D計測自体が皆無であったが、今回は初動より活用される機会になると予想される。

なお当組織にも問合せがあり、それに伴う準備を整えている段階である。

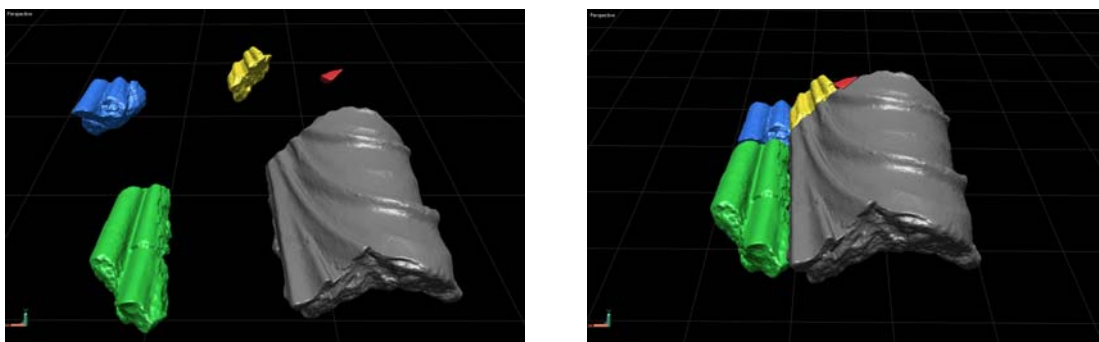


図6 デジタイザ計測データによる部材の組み立て例（仏像）
【3DNetworkJapan実績より】

※7 東北地方太平洋沖地震被災文化財等救援事業（文化財レスキュー事業）

http://www.bunka.go.jp/bunkazai/tohokujishin_kanren/index.html

4. 写 真 測 量

デジカメ写真による現況の記録については土木・文化財のみならず、調査のベースとなっている。写真測量による3D化については、いわゆる「3Dデジカメ」も含め、被災地でも相当数使用されていることが予想される。今回の大震災での観測衛星画像・空中写真画像などの利活用の頻度を考えると、画像解析の有効性・即時性については明確である。

なお災害での写真測量による災害状況の把握については、JACICによる「災害復旧効率化支援システム」（※8）として公開され、写真撮影から復旧工事の査定設計書までの作成の流れが明記されているので、今回の大震災でもこのシステムの活用が考えられる。

※8 財団法人日本建設情報総合センター

<http://www.gis.jacic.or.jp/gis/photog/about.html>

§ 4. 「海」からの3Dデータについて

海底（港湾・水路など）の3D計測については、マルチビーム測深器・サイドスキャンソナーなどでの音響測深が行われている。

これらに関連しているが、海上保安庁の発表（※9）によると測量船「明洋」により海底基準局（宮城県沖）の被害調査を実施し、観測可能であった海底基準局から得られたデータを解析した結果、今回の地震により、震源のほぼ真上に位置する宮城県沖の海底基準点が地震前と比べて東南東に約24m移動、約3m隆起したことがわかっている。この移動量は、陸上で検出されていた最大移動量の4倍以上に相当している。

同庁では4月初めには5隻の測量船が東北地方太平洋側に投入され、3月14日塩釜港と初めとして宮古、仙台塩釜港、八戸、宮古他の水路（航路）測量を実施している。測量船の仕様をみると、マルチビーム測深器を搭載している測量船も複数あることから、海底の3D計測が実施されたことが想定される。

今後は津波による破壊された港湾施設（岸壁、物揚場）、防波堤、突堤などを復旧するために更なる3D計測が実施されることは間違いない。

※9 海上保安庁 広報資料 宮城県沖の海底が24メートル動く

<http://www.kaiho.mlit.go.jp/>

§ 5. 復興に向けての3D計測の利活用について

調査内容および当組織アンケート結果を踏まえ、今後の復興へ向けての3D計測の利活用については、表1のような項目が予想される。これ以外にも多様な利用法があると思われるが、参考としてご覧頂きたい。

表1 復興に向けての3D計測の利活用

取得エリア	計測手法（機器）	初動での利活用状況	今後の復興に向け 現状と予想される利活用
「空」から	観測衛星	【超広域被災状況の把握】 - 東北地方が沖合方向の東向きに最大約3.5mずれ動く - 地盤沈下→浸水図 - 広域ガレキ分布図 - 原子力施設の状況把握	- 超広域津波シミュレーション - 超広域被災状況マップ→被災前との比較 - 復興都市計画（案）の作成
	空中写真	【広域被災状況の把握】 - 各地域の土砂災害などの把握 - 詳細な変動調査 1:1,000の図面作成 - 原子力施設の詳細把握	- 詳細被災図の作成 - 家屋等の詳細写真→罹災証明書の発行など - 文化財（史跡、記念物）の全体被災状況 - 被災前写真との比較による検証
	航空レーザー	【被災状況の把握】 - 地殻変動（特に高さ：Z軸方向）→地盤沈下域の把握 - 広域な地域全体の現状（形状・地形）把握	- 詳細な被災形状の把握 - ガレキ詳細マップ（撤去計画、総量算出） - 地物状況の形状を把握 - 幹線道路、河川、港湾の全区間形状を把握（概略）
「陸」から	地上型 レーザースキャナー	【災害査定に必要な形状把握】 土砂災害、道路・河川・港湾・文化財の緻密な形状把握	- 構造物、地物の緻密な形状把握（詳細計画）（傾斜、破損状況の詳細） →橋梁、カルバート、擁壁、港湾施設、公共施設など - 文化財建造物の詳細な形状把握
	移動式 レーザースキャナー	【初動では活用例少】	幹線道路の緻密な形状把握（詳細計画）（路面、トンネル、沿道地形、沿道施設）
	デジタル ハンディスキャナー	【初動では活用例少】	【文化財の災害復旧・修復】 - 収蔵物破損による状況、形状記録 - 仏像、装飾の破損状況の記録 - 破損による分割された部材の記録
	写真測量	【緊急・応急的な災害査定対応】 - 災害査定に必要な設計図書作成 - 仮設計画への対応	- 土砂災害（法面など）の形状把握 - 施設外面・屋内詳細の記録 - 文化財施設（寺院、城壁など）の外観記録
「海」から	マルチビーム測深器 サイドスキャンソナー	【広域・港湾海域の状況把握】 - 宮城県沖の海底基準点が地震前と比べて東南東に約24m移動、約3m隆起したことが判明 - 航路の安全性を確認（形状把握）	- 水路（航路）、港湾施設内の形状把握 - 海底防波施設（離岸堤）の被災状況把握 - 海底沈下物の状況把握・撤去計画

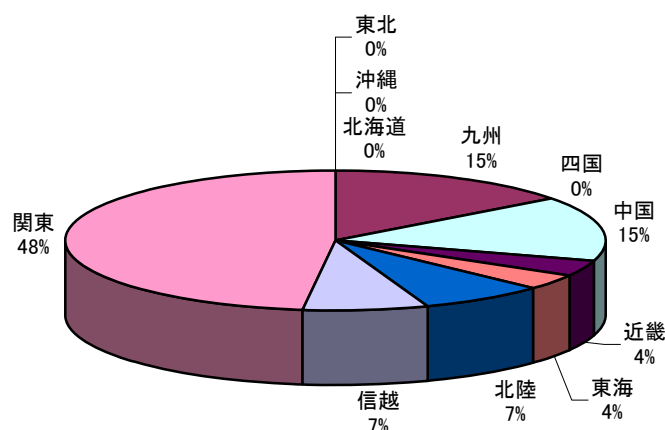
§ 6. 初動利活用緊急アンケート結果（参考）

3D計測の初動の利活用状況を調査するため、3DNetworkJapanの全会員においてアンケートを実施、回答結果を参考として記載する。なお今回のアンケートは、復興中途に実施するアンケートとの増減比較資料になると考えている。

アンケート実施期間	2011. 04. 14～04. 25
手 法	メールによるアンケート送付
アンケート対象者	3DNetworkJapan正会員・一般会員
回答数（サンプル数）	27（同企業会員の重複カウントは排除）

1. 回答者の地方区分について

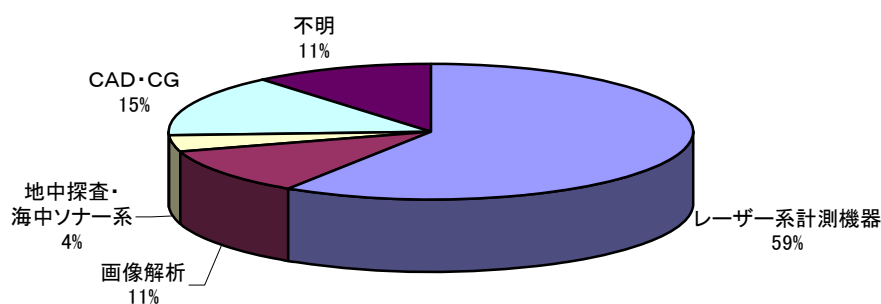
地 方	サンプ ^ル 数
沖 縄	0
九 州	4
四 国	0
中 国	4
近 畿	1
東 海	1
北 陸	2
信 越	2
関 東	13
東 北	0
北 海 道	0
合 計	27



回答数の半数が関東地方からであり、被災地域からの回答は残念ながら無かった。これは元々の会員の比率にも呼応しているためと思われる。

2. 3D使用機器区分について

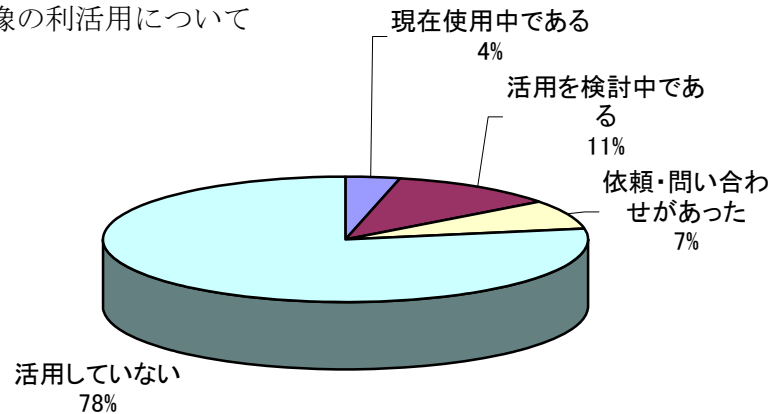
使 用 計 測 機 器	サンプ ^ル 数
レ ー ザ ー 系 計 測 機 器	16
画 像 解 析	3
地中探査・海中ソナー系	1
C A D ・ C G	4
不 明	3
合 計	27



回答数の過半数がレーザー系（主にレーザースキャナ）の保有者である。これは当組織発足時の割合に近い。

3. 大震災における観測衛星画像の利活用について

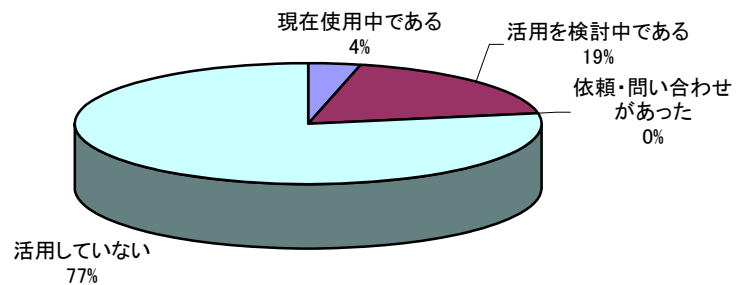
項 目	サンプ ル数
現 在 使 用 中 で あ る	1
活 用 を 検 討 中 で あ る	3
依 頼 ・ 問 い 合 わ せ が あ っ た	2
活 用 し て い な い	21
合 計	27



活用・検討している割合は約 1 / 4 である。衛星画像の使用は、報道等でも多数報告されており、関心の高さはコメントからも見られた。

4. 大震災における空中写真（セスナ、ヘリ、ラジコン）の利活用について

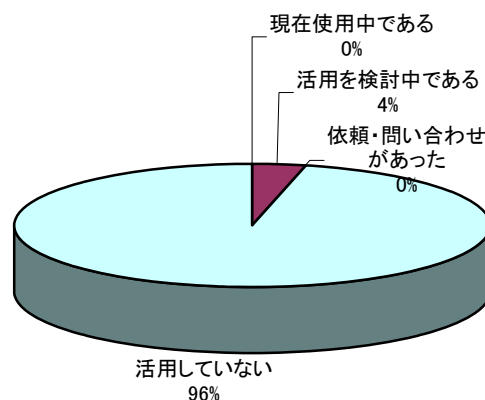
項 目	サンプ ル数
現 在 使 用 中 で あ る	1
活 用 を 検 討 中 で あ る	5
依 頼 ・ 問 い 合 わ せ が あ っ た	0
活 用 し て い な い	21
合 計	27



活用・検討している割合は約 1 / 5 である。使用中の回答者において、地上型レーザースキャナとの併用であるとの興味深いコメントがあった。

5. 大震災における航空レーザースキャナー（セスナ、ヘリ）の利活用について

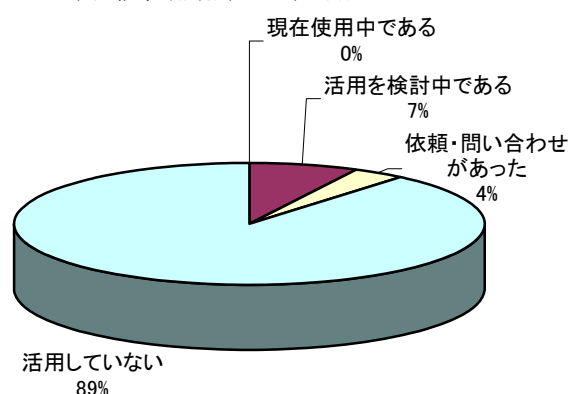
項 目	サンプ ル数
現 在 使 用 中 で あ る	0
活 用 を 検 討 中 で あ る	1
依 頼 ・ 問 い 合 わ せ が あ っ た	0
活 用 し て い な い	26
合 計	27



検討中の回答も一部あるが、大多数が利活用の検討は無い。これは航空レーザのユーザー数が元々少数であることも考慮に入れるべきである。また大手における観測結果に関心を持っている旨のコメントもあった。

6. 大震災における移動型レーザスキャナー（車載、船舶）の利活用について

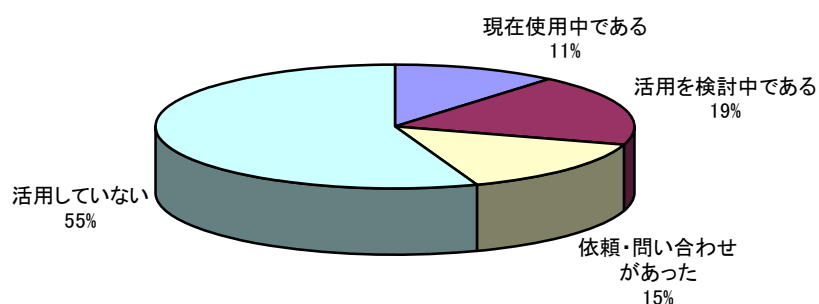
項 目	サンプリング数
現在使用中である	0
活用を検討中である	2
依頼・問い合わせがあった	1
活用していない	24
合 計	27



検討中、問い合わせの回答もあるが、大多数が利活用の検討は無い。これは航空レーザー同様ユーザー数が少数であること、また初期の現地状況（道路の寸断、ガソリン不足）も考慮すべきである。

7. 大震災における地上型レーザスキャナー（三脚設置）の利活用について

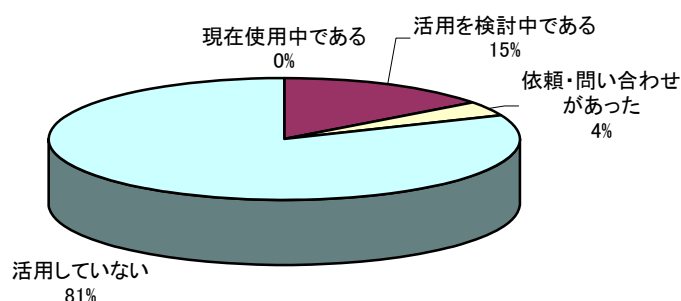
項 目	サンプリング数
現在使用中である	3
活用を検討中である	5
依頼・問い合わせがあった	4
活用していない	15
合 計	27



ユーザー比率に呼応し、半数近くで動きがある回答があった。詳細な計測事例や計測箇所等のコメントも見られた。

8. 大震災における3Dデジタイザ、ハンディスキャナーの利活用について

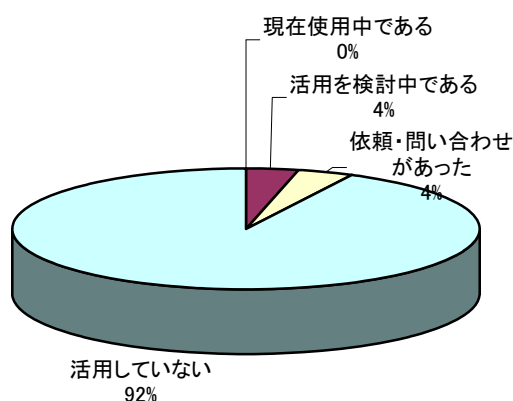
項 目	サンプリング数
現在使用中である	0
活用を検討中である	4
依頼・問い合わせがあった	1
活用していない	22
合 計	27



計測事例は無かったが、文化庁の「文化財レスキュー隊」派遣の報道等により、関心が高いとのコメントも複数あった。

9. 大震災におけるマルチビーム測深器・サイドスキャンソナーの利活用について

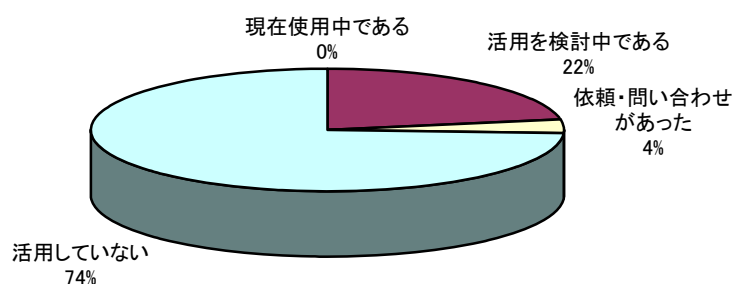
項 目	サンプ ^ル 数
現 在 使 用 中 で 有 る	0
活 用 を 検 討 中 で 有 る	1
依 頼 ・ 問 い 合 わ せ が あ っ た	1
活 用 し て い な い	25
合 計	27



検討中、問い合わせの回答も一部あるが、大多数が利活用の検討は無い。これは航空レーザー同様のユーザー数が元々少数であることも考慮に入れるべきである。

10. 大震災におけるデジカメによる地上からの写真測量の利活用について

項 目	サンプ ^ル 数
現 在 使 用 中 で 有 る	0
活 用 を 検 討 中 で 有 る	6
依 頼 ・ 問 い 合 わ せ が あ っ た	1
活 用 し て い な い	20
合 計	27



撮影自体についてのコメントは多数認められたが、写真測量における使用回答は無かった。なお約1/4について動きがあるとの結果となった。