

緊急撮影と東日本大震災以降の対応

公益財団法人日本測量調査技術協会

1. 東北地方太平洋沖地震と協定に基づく緊急撮影

2011（平成23）年3月11日14時46分、東北地方太平洋沖地震が発生し、東北地方から関東地方にかけての広範囲で強い地震動にみまわれ（最大震度7）、大津波が、東日本の太平洋沿岸地域を襲った。

公益財団法人 日本測量調査技術協会（以下「測技協」）は、東北地方太平洋沖地震発生後、国土地理院との緊急撮影に関する協定に基づき、2回にわたり緊急撮影を実施するとともに、航空レーザ測量についても同様の協定を新たに結び、データ取得及び数値標高モデル（DEM）の作成を行った。このときの緊急撮影の状況とその背景については、当協会が本誌103号（特別企画：東日本大震災への対応、2012年2月発行）に「緊急撮影及び緊急航空レーザ測量に関する協定に基づく活動報告」と題する報告を投稿した。

以下、この報告から部分引用し、当時の状況を確認する。引用にあたっては、一部の用語・用法を、現在よく使われているものに変更している。一部の図表は省略し、表番号は本稿のために修正している。

(1) 第1次緊急撮影

測技協は東京都新宿区にあり、震央から約400km離れていたが、非常に大きな地震動を体感し、緊急撮影の可能性を予感させられた。余震が連続的に続くなか、発震約45分後に国土地理院から緊急撮影のための待機依頼があり、測技協も緊急撮影の体制に入った。

発震約45分後には、国土地理院の調査要請を受けて、直ちに登録会社に緊急撮影の可否を紹介したが、災害の規模があまりに大きいことから、撮影対象地域や撮影仕様を明示できず、各社は対応に苦慮したようである。

約3時間後には国土地理院に第1報の調査結果を連絡した。その経過は次のとおりである。

3月11日（金）

- 14：46 地震発生
- 15：30 国土地理院より待機依頼
- 15：45 対応可能会社について国土地理院から調査依頼
- 15：54 関係各社に調査メール発出
- 17：59 7社対応可能と国土地理院に報告
- 22：37 9社対応可能と国土地理院に報告

3月12日（土）

- 12：07 6社に分割発注する旨国土地理院から通知

以上の結果として、対象地域を6社で分担して撮影することとなった（表1）。栗駒山東部及び西部は天候不順が続き撮影が一部中止されたが、沿岸部の4地区は3月12日（土）及び3月13日（日）に撮影が完了した。

表1 第1次緊急撮影の実施状況（H23.3.12：11：00時点）

撮影地区	面積	実施状況
三陸北	818km ²	11：00離陸
三陸南	1,044km ²	9：10離陸
仙台・石巻	529km ²	10：00離陸
仙台湾	663km ²	11：00離陸
栗駒山東部	673km ²	八尾で調整中
栗駒山西部	673km ²	9：23離陸

(2) 第2次緊急撮影

第1次緊急撮影を実施中に、第2次緊急撮影の実施が決まり、調査要請が行われた。調査の手順は第1次緊急撮影とほぼ同様である。2回目の調整であり、連絡は円滑に行われたが、第1次緊急撮影の他にも航空機を利用する業務が急増したこともあり、対応可能と決定するまでに各社とも社内調整に手間取ったようである。なお、今回は、調整の最終段階で計画が縮小されたため、関係各社には大変迷惑をかけた。

調整の経過は以下のとおりである。

3月13日(日)

午後 対応可能会社について国土地理院から調査依頼

15:05 関係各社に調査メール発出

17:42 7社対応可能と国土地理院に報告

18:25 9社対応可能と国土地理院に報告

20:24 10社対応可能と国土地理院に報告

3月14日(月)

00:12 計画を縮小し1社のみと契約すると国土地理院から通知があり、測技協による調査結果に基づき作業機関が決定した。

撮影対象は、第1次緊急撮影で未撮影であった海岸線部分である。撮影は、天候の影響により、3月19日(土)に行われた。

以上2回の緊急撮影により、4,820km²の撮影が行われた。なお、緊急撮影は、被害発生地域だけでなく想定被害区域内で被害が及んでいない地域を明らかにすることも目的としており、地震災害の場合震度6以上の地域をカバーする撮影を行うことになっている(神前ほか、2006)。しかしながら今回は、地震の規模が想定を越えているほか、津波の被害があまり甚大であったため、撮影範囲は津波の被害地域をカバーするよう設定され、震度6以上でも撮影されなかった地域を生じた。

(3.3緊急撮影に使用された機材は省略)

(3) 緊急航空レーザ測量の実施

今回の災害では、海岸部における広範囲での地盤の沈降や河川堤防の損壊があった。そのため、数ヶ月後の出水期を控え、洪水氾濫の危険性が高まっていると想定された。また、津波による建物等の破壊により生じた瓦礫が大量に堆積して応急対策の妨げとなった。

これらの変状は航空レーザ測量により精密かつ効率的に把握できることから、その実施が要望された。

(4) 数値標高モデル作成

上記経緯から宮城県は航空レーザ測量のデータ取得部分のみを応急的に実施し、がれきの堆積量を計測していた。そのデータは、地上の特徴的な建物の座標値と関連付ければ簡易的ではあるが地盤高データとなり、洪水危険度の把握に有効であることから、データ解析を緊急航空レーザ測量として実施することとなった。

このため、緊急撮影協力協定に準じて3月23日に対応可能会社の調査と調整が行われた。その経過は以下のとおりである。

3月23日(水)

12:41 対応可能会社について国土地理院から調査依頼

13:39 関係各社に調査メール発出

16:55 3社対応可能と国土地理院に報告

19:32 5社対応可能と国土地理院に報告

3月25日(金)

10:28 5社に分割発注する旨国土地理院から通知

その結果、5社で分担して数値標高モデル(5mDEM)を作成することとなった。

(5) 航空レーザ測量

上記のように簡易な方法による数値標高モデ

ルが応急的に作成されたが、本格的な出水期を控え、また本格的な復興事業を推進する上からもより精度の高い標高データを取得する必要性が生じた。このため、被災地を包括的にカバーする広範囲な地域において航空レーザ測量を実施することとなった。この場合も、出水期を1ヶ月後に控え、通常の契約方式によっては間に合わないため、測技協の緊急航空レーザ測量の体制を活用して実施機関が選定された。

その調整経緯は以下のとおりである。

4月25日(月)

- 19:15 対応可能会社及び可能な場合福島原発から40km圏直近の計測が可能かについて国土地理院から調査依頼
- 20:15 関係各社に調査メール発出
- 21:07 2社対応可能、ただし、原発40km圏直近計測への対応については社内協議が必要と国土地理院に報告
- 22:29 7社対応可能、ただし、原発40km圏直近計測への対応については1社のみ可能で、他社は検討中と国土地理院に報告

4月26日(火)

- 16:08 原発40km圏直近計測への対応について、直近まで可能2社、計画避難区域を除けば直近まで可能1社、50km圏直近まで可能2社、60km圏直近まで可能1社、80km圏直近まで可能1社と国土地理院に報告

4月27日(水)

- 15:58 7社に分割発注する旨国土地理院から通知

以上の結果、7社で分担して測量を実施することとされた(表2)。

(6) 東日本大震災の特徴

当地震は、我が国最大規模の地震エネルギーにより、想定外の津波をもたらし近年まれに見

表2 東北地方太平洋沖地震に伴う航空レーザ計測実施計画

地区	面積
松島・岩手山東部	1,129.4km ²
宮古・蔵王山	2,001.6km ²
いわき・駒ヶ岳	1,763.8km ²
大船渡・磐梯山	1,971.7km ²
日立・安達太良山	1,003.4km ²
銚子・栗駒山	1,892.4km ²
南三陸・岩手山西部	1,217.3km ²

る大被害を残したが、緊急撮影に実施に関しても大きな影響または制約を与えた。

1) 原子力発電所の事故(飛行禁止処置)

今災害では、原子力発電所で事故が起き、災害対応が大きく制約されたが、空中写真の撮影や航空レーザ計測も例外ではなかった。

本震発生の翌日には、原子力発電所周辺に飛行自粛要請が発出され、同日15:36の1号機爆発事故を踏まえて、同日中にその範囲は半径20km、高さ無制限と拡大された。これにより福島県浜通の中央部は撮影ができなくなった。さらに、14日11:01の3号機、15日06:14の4号機と続けて爆発事故が発生し、15日11:59には半径30km、高さ無制限の空域が航空法第80条に基づく飛行禁止区域に設定された。ちなみに3月17日には自国民を対象としてではあるが、駐日米国大使により半径50マイル(≒80km)の範囲からの避難が推奨された。

このように、時間を追って待避をすべき地域が拡大され、その範囲が日米で異なっていたため、航空レーザ計測において撮影機の進入範囲が実施機関により異なる結果を招いた。

今後、放射能汚染の上空飛行への影響について研究を進める必要がある。

2) 拠点飛行場の被災

今回の災害では、被災地の中心にある仙台空港が津波により使用不能になった。このため、撮影機の発進地は、主に調布飛行場が使用されたが、対象地域から約250~550kmあり、表5

に示すように、使用された航空機の巡航速度が約300kmであることから往路に1~2時間を要することとなった。また、航続距離を勘案すると現地での撮影時間は1~3時間が限界となった。

また、緊急撮影登録会社の撮影機の中には仙台空港で被災し、使用不能になったものもあった。このことは、多くの撮影機が根拠地としている調布飛行場が被災した場合の深刻な影響を予感させる。平常時からそのような状況に対する対応を検討しておく必要がある。

3) 広範囲における基準点成果の利用停止

3月11日の東北地方太平洋沖地震により地殻変動が観測され、日本の東半部の電子基準点及び一般基準点の実用成果（公共測量等に用いる座標値）の利用が停止された。GNSSによる電子基準点の座標値観測機能は比較的早い時期に復旧したが、余震が続き、不規則な地殻変動が続くことが予想されたので、その実用成果も余震による地殻変動が落ち着くと思われる半年以上先まで未定とされた。

空中写真撮影または航空レーザ計測の成果を図化等計量的に利用するには、実施時点の基準点(与点)の座標値が必要である。通常は、観測を先行して行い、与点の実用成果が改定された後に計算・整理を行えば、支障なく測量作業を実施することができる。しかし、今回の地震では、上記のように基準点の座標値は不規則に変動している可能性があり、半年後に改定された実用成果は、撮影または計測時点の座標値とは異なる可能性があった。

このような状況に対処するため、国土地理院は電子基準点の日々の座標値を計算し(表3)、

提供していたが、その情報が十分普及しておらず、測量現場では対応に苦慮した。このような平常時の測量では不要な災害時特有の対応方法を関係者に周知しておく必要がある。

以上が、先端測量技術103号の報文からの部分引用である。

2. 東日本大震災その後

(1) 緊急撮影成果の公開

東日本大震災における緊急撮影の成果は、国土地理院のWebサイトを通じて迅速に広く公開され、その後の調査・観測成果等も加えて、現在も「平成23年(2011年)東日本大震災に関する情報提供」として公開されている(http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h23_tohoku.html)。

協定に基づく緊急撮影の直接的な成果は、空中写真と航空レーザ測量による数値標高モデルであるが、オルソ画像化のうえ地理院地図と重ね表示、空中写真からの図化による電子国土基本図(→地理院地図)の修正、判読等による津波の浸水範囲概況図、数値標高モデルからデジタル標高地形図などが作成され、各々公開・提供されている。

(2) 基準点の改定値の公表

東北地方太平洋沖地震による広範囲の地殻変動の影響から、東日本の電子基準点及び一般基準点の実用成果(公共測量等に用いる座標値)の利用が停止されていた。

リアルタイムでGNSS観測を行っている電子基準点は、2011年5月31日に改訂した成果が公表

表3 GNSS連続観測システムの解析実施状況

解析の種類	解析結果	GPSの軌道暦	解析データ	間隔	入手時間
最終解析(F2)	F2(最終解)	IGS最終暦	24時間	1日	約2~3週間後
速報解析(R2)	R2(速報解)	IGS超速報暦	24時間	1日	1日後
迅速解析(Q2)	Q2(迅速解)	IGS超速報暦	6時間	3時間	3時間後

国土地理院Webサイト<http://www.gsi.go.jp/common/000043457.pdf>より

され、その後の余効変動等に対応して、2012年5月18日、2017年2月28日、2018年2月28日に改訂されている。

標石基準点の三角点、水準点では、2011年10月31日に改訂した成果が公表され、その後の変動に対応し、数回に分けて成果を順次改訂し公表されている。

(3) 放射線量分布の地図化

東京電力福島第一原子力発電所の事故の初期段階では、広範囲に飛散した放射性物質の分布が把握できていなかったため、事故現場からの半径に応じた進入規制が行われていた。

文部科学省を事務局として、2011年6月から、「放射線量等分布マップの作成等に係る検討会」が催された。このプロジェクトには、産学官の多くの研究者・技術者が参加し、土壌採取、定点モニタリング、開発したセンサを積んだ車両や航空機による広域計測等が実施された。それらの結果として作成された放射線量等分布地図は、電子国土Web（現・地理院地図）を基図として公開され、事故状況の把握等に活用された。

(4) 熊本地震の緊急撮影

平成24年度以降今日まで、指定行政機関等との協定に基づく緊急撮影の発動実績は、次のとおりである

- 2012年：土砂災害1件、
- 2013年：風水害1件、
- 2014年：土砂災害2件、
- 2015年：火山噴火1件、風水害1件、
- 2016年：地震2件、風水害2件
- 2017年：風水害2件

これらのうち、2016年の「地震2件」は熊本地震によるもので、前震と本震とがほぼ1日強の間隔で発生したため、要請件数としては2件となった。

熊本地震は、阿蘇火山付近から八代海沿岸にかけて全長約80kmにわたる布田川-日奈久断層帯の活動により発生した、いわゆる内陸直下型地震で、緒元は次のとおりである（各項上段が前震、下段が本震）

地震発生時刻：

2016（平成28）年4月14日21時26分

2016（平成28）年4月16日01時25分

発生場所（震源位置）：

北緯32度44.5分、東経130度48.5分、深さ11km

北緯32度45.3分、東経130度45.8分、深さ12km

規模：

Mj6.5（マグニチュード）、最大震度：7

Mj7.3（マグニチュード）、最大震度：7

海溝プレート境界型地震である東北地方太平洋沖地震にくらべ、震源が浅くかつ居住地域に近いこと、マグニチュードの割に最大震度が大きく、被害や地形変化が中部九州の広範囲にまたがった。このため、東北地方太平洋沖地震の時と同様に、地区分割したうえで複数社への発注となった（図）。

(5) 緊急撮影の拡がり連携の必要性

東日本大震災における緊急撮影は、当協会と国土地理院との協定に基づき実施され、そのなかで空中写真撮影（狭義の「緊急撮影」）に加えて航空レーザ測量も行った。

その後、緊急撮影の協定先とデータ取得手段が拡がってきた。2018年4月現在、当協会は、国土地理院の他に5つの地方整備局、国土技術政策総合研究所（国総研）及び中日本高速道路（株）八王子支社など、災害対策基本法第2条に基づく指定行政機関や指定公共機関との間で、航空レーザ測量等を加えた、いわば広義の緊急撮影協定を結んでいる。

自然災害への対応を、警戒発令期～発災混乱期～避難救援期～応急復旧期（二次災害警戒期）と時系列的に区分し、各々の段階で最

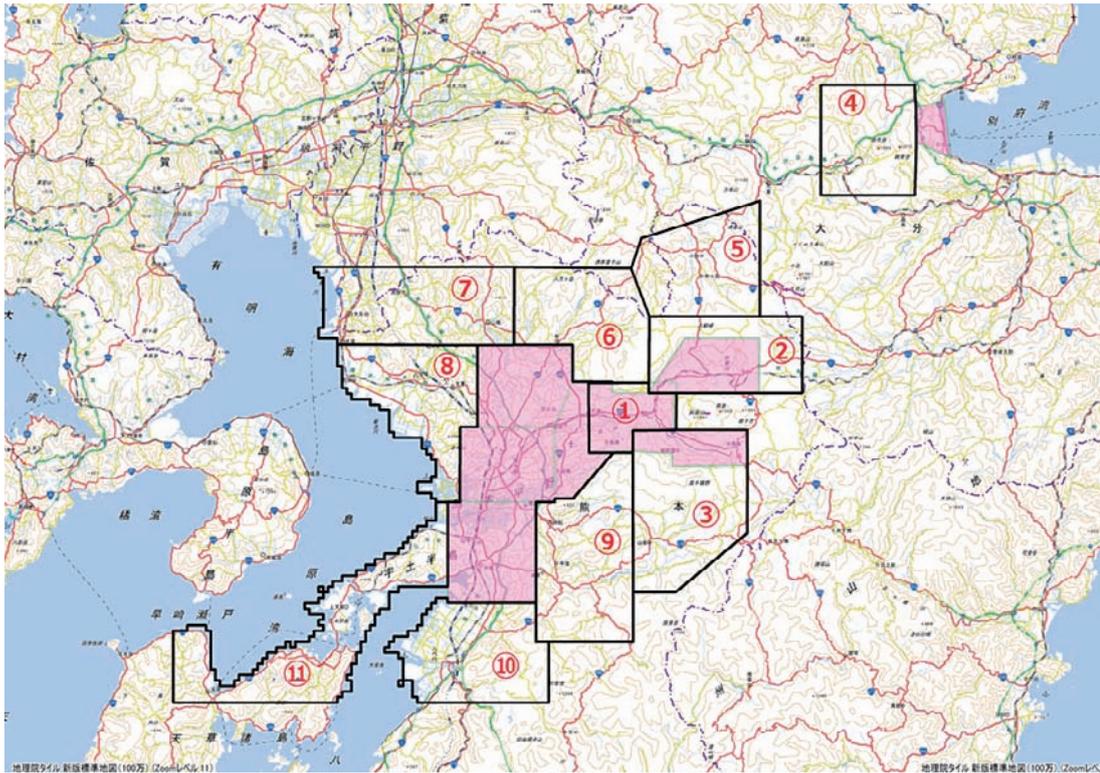


図. 熊本地震における緊急撮影範囲(中央の塗りつぶし区域が、前震後の撮影範囲、線で囲った区域が本震後の撮影範囲)

適な地理空間情報の取得・提供について検討されたことがある(津沢1992)。実際の災害では、段階が明確に区分できるとは限らないが、概ね初期の応急対応の段階では地方整備局や道路管理会社が、次の災害把握や測量成果改訂あるいは二次災害への警戒段階では国土地理院や国総研が、それぞれに撮影・計測を行っていることが多いと考えられる。

これまでの実績では、複数機関から同時期の緊急要請はないが、広域の災害の場合その可能性はあり、当協会のリソースだけでは対応が厳しくなるかもしれない。指定行政機関や指定公共機関、測技協などの公益または一般法人、測量会社等が更なる連携をはかり、役割分担を防災訓練などにより通常期から確認していくことが必要である。

■引用・参考文献

気象庁地震火山部(2018):平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について～7年間の

地震活動～. 報道発表<http://www.jma.go.jp/jma/press/1803/08d/1802jishin.html>

(公財)日本測量調査技術協会(2012):緊急撮影及び緊急航空レーザ測量に関する協定に基づく活動報告. 先端測量技術, 103, 8-19.
地震調査委員会(2011):平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の評価. 地震調査研究推進本部, 平成23年4月11日資料.

国土地理院(2016):平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(累積). 平成23年(2011年)東日本大震災に関する情報提供http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h23_tohoku.html#namelink3

消防庁災害対策本部(2018):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157報). 総務省消防庁「東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)とりまとめ報」<http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou.html>

津沢正晴(1992):災害情報システム-防災用デジタルマップ. APA, 53, 1-14.