

東日本大震災に対する国土地理院の取り組み Actions of GSI in Response to the Great East Japan Earthquake

企画部 仲井博之・永山 透・林 保・津久井 誠・瀬川秀樹・秋山一弥¹・松本 哲²
**Planning Department Hiroyuki NAKAI, Toru NAGAYAMA, Tamotsu HAYASHI,
 Makoto TSUKUI, Hideki SEGAWA, Kazuya AKIYAMA and Satoshi MATSUMOTO**

要 旨

国土地理院は、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下、「東北地方太平洋沖地震」という。）発生と同時に非常体制に入り、直ちに院長を本部長とする東北地方太平洋沖地震災害対策本部（以下、「本部」という。）を設置した。国土地理院本院（茨城県つくば市）や東北地方測量部（宮城県仙台市）では、この地震によって、庁舎の構造物には大きな被害は無かったものの、停電や通信障害が発生した。その様な状況下での初動対応、本部の運営と活動方針の決定、国土交通本省（以下、「本省」という。）を始めとする関係行政機関からの要請に応じた地理空間情報の提供、リエゾンや国土地理院緊急災害対策派遣隊（以下、「TEC-FORCE」という。）の派遣など国土地理院の人的・物的資源を集中的に投入するとともに、これまでに経験したことのない最大限の災害対策活動を実施した。本稿では、初動の活動を中心に上記の取り組みについて報告する。

1. 東日本大震災の概要

1. 1 東北地方太平洋沖地震の概要

東北地方太平洋沖地震の本震は、2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に宮城県牡鹿半島の東南東約 130km 付近の深さ 24km を震源として発生した（気象庁, 2011）。この地震は、プレート境界域で発生した海溝型地震で、震源域は岩手県沖から茨城県沖にかけて南北に約 400km、東西に約 150km と広範囲に及び、モーメントマグニチュード 9.0 は国内観測史上最大であるとともに、全世界でも 1900 年以降 4 番目の巨大地震であった（USGS, 2011）。この地震により、宮城県栗原市で最大震度 7 を記録したほか、宮城県、福島県、茨城県、栃木県の広範囲で震度 6 強の強い揺れを観測するとともに、東北地方太平洋側で波高 10m 以上、遡上高 40m 以上にもなる大津波が発生した。

1. 2 被害の状況

本震によって発生した大規模津波は、東北地方から関東地方の太平洋沿岸に甚大な被害をもたらした。死者と行方不明者の合計は、19,447 名（2011 年 11 月 29 日現在）となっている。大半は岩手・宮城・福島の 3 県が占めるが、9 割以上が津波による被災で、沿岸部の多くの建築物は津波で流出・倒壊した（写

真-1 (A)）。また、岩手県から福島県にかけての沿岸部では、大きいところで 1 m もの地盤沈下が発生し、三陸沿岸を中心に浸入した海水が引かず、浸水被害が長期化し復興上深刻な問題となっている。

千葉県や茨城県でも、軟弱地盤上の埋立地を中心に液状化現象が多く場所で発生し、随所で建築物の傾斜、断水、ガス供給の停止、水田への土砂の堆積などの被害が生じた。特に東京湾と利根川下流での被害（写真-1 (B)）が目立ち、千葉県浦安市などの東京湾沿岸の軟弱地盤では埋設物が損壊した。

東京電力福島第一原子力発電所では、地震の揺れで送電線の切断・ショート・倒壊や変電所などの各設備が故障し、起動していた非常用発電機と原子炉がその後に襲った津波で停止に陥り、大量の放射性物質の放出を伴う過去最悪の原子力事故に発展し、周辺住民は長期の避難を今も強いられている。

(A)



(B)



写真-1 被害の状況

(A) 宮城県石巻市の被害状況（2011 年 3 月 16 日撮影）

(B) 茨城県潮来市の電信柱の傾き（2011 年 5 月 16 日撮影）

2. 観測施設の主な被害の状況

国土地理院の観測施設も、大津波によって被害を受けた。GPS 連続観測施設のうち、電子基準点「田老」（岩手県宮古市）と「名取」（宮城県名取市）は、津波の浸水により架台本体が腐食し、連続観測に支障が生じた（大島ほか, 2011）。地殻変動観測施設「S 相馬」（福島県南相馬市）は、架台本体が倒壊し、完全に観測機能が失われた（写真-2）。

被災した 3 点は、今回の津波浸水域から外れた場所で既存の位置近傍へ再設置することになった。

験潮場は、地震発生直後から相馬験潮場（福島県相馬市）と油壺験潮場（神奈川県三浦市）のデータが取得できなくなった。相馬験潮場は、施設の基礎



写真-2 観測施設の被害の状況

- (A) 電子基準点「名取」に津波が到達した痕跡（2011年3月16日撮影）
- (B) 地殻変動観測施設「S相馬」は観測施設本体が倒壊して基礎のみ残る。（2011年4月19日撮影）

部分が津波により破壊されており観測井戸を残して建築物が流出した（写真-3）。油壺験潮場は、海面に浮かべる浮標と機器とを結ぶワイヤーが外れたことが原因であった。加えて、潮位データは現地で保存されていたものの、12日12時50分まで北海道・東北地方の6箇所の験潮場と本院間のIP-VPN回線が不通となり、潮位データを取得できない状況が続いた。相馬験潮場は、相馬港の復旧状況を待って再建に着手する予定である。



写真-3 相馬験潮場の被害の状況
相馬験潮場中央には傾斜した観測井戸のみ残る。（2011年4月19日撮影）

3. 国土地理院の対応

3.1 国土地理院災害対策本部の設置

国土地理院は、地震発生と同時に非常体制に入るとともに、本部を設置した。15時10分に第1回災害対策本部会議（以下、「本部会議」という。）を開催し、施設の被害状況などの調査と初動対応方針を確認した。同日の17時と19時に開催された第2回、第3回の本部会議では、測地部からは陸域観測技術衛星「だいち」の合成開口レーダーでの観測予定、測地観測センターからは験潮場での津波検知とGPS連続観測システム（GEONET）での解析状況、測図部（同年4月1日「基本図情報部」に改組）からは防災・測量用航空機「くにかぜⅢ」（以下、「くにかぜⅢ」という。）が定期点検中であることから緊急撮影

協定に基づく測量会社との連絡に着手していること、など具体的な初動対応が報告された。

翌12日から15日は、災害対策活動状況及び本省緊急災害対策（以下、「本省緊対」という。）本部会議の開催に対応して本部会議を1日に2回から4回実施し、各部・センターからの活動報告と方針を議論した。測地部からは基準点成果改定連絡会で審議された東北地方から関東・甲信越地方に至る基準点測量成果の公表停止、測図部からは空中写真撮影の進捗状況と画像データの公開・提供の手順、地理調査部（同年4月1日「応用地理部」に改組）からは空中写真を用いた津波浸水域の判読と図化、地理空間情報部からは関係行政機関への地図の提供と関連ホームページの開設、測地観測センターからは電子基準点の通信の復旧状況と地殻変動解析結果、地理地殻活動研究センターからは震源断層モデルや地震時・地震後のすべり分布モデルが報告された。

(A)



(B)



写真-4 本部会議の状況

- (A) 第6回本部会議の様子（2011年3月12日撮影）
- (B) 3月15日22時31分頃に発生した静岡県東部の地震における第1回本部会議において本院と地方測量部をWeb会議システムで結び情報交換する様子（2011年3月16日撮影）

その期間中、12日には最大震度6強を観測した長野県・新潟県県境付近の地震（M6.7）及び15日には静岡県東部の地震（M6.4）が発生し、当該地震の災害対策本部を設置するとともに別途本部会議を開

催した。これらの本部会議では、検出された地殻変動や北陸・中部地方測量部での活動状況について情報を共有した（写真－4）。

3月16日から29日の間は、本部会議を連日1回開催した。会議では、「だいち」の観測データから得られたSAR干渉解析結果の追加、GEONET定常解析より得られた余効変動の時間変化と空間分布、空中写真から作成される一連の画像データ（正射写真・モザイク写真、正射写真地図）と写真を判読して得られる浸水範囲概況図などの更新状況のほか、現地調査の作業報告から明らかとなった被災地の状況をもとに想定される関係行政機関や被災自治体からの要望に応えるための応急対策活動について活発に議論された。

3月17日には、地理空間情報の提供を迅速化・効率化するために地理情報支援班の設置が了承され、関係行政機関が必要とするデータ提供の窓口として始動した。加えて、頻発する余震や誘発地震に対しても適確な初動を行うために電話会議システムを導入し、深夜・休日などの勤務時間外においても自宅や出張先などの遠隔地から即座に会議に出席できる体制を整えた。

3月30日には、企画部長を議長として各部・センターの筆頭課長を構成員とする第1回災害対策会議（以下、「対策会議」という。）を開催した。4月8日までは、本部会議もしくは対策会議を連日開催し、災害対策活動報告と新たな活動方針について情報を共有した。4月7日23時32分には、最大震度6強の宮城県沖の地震が発生して、当該地震の本部設置と本部会議を翌日未明までに3回実施するなど、余震に対しても迅速に本部運営がなされた。

その後も本部会議と対策会議は、国土地理院の活動の軸足が災害対応から復旧・復興事業にシフトした5月末まで開催され、本部会議は活動の司令塔として、対策会議は情報共有の場として機能した。

3. 2 関係行政機関との連携

国土地理院は、地震発生当日から本省と内閣官房にリエゾンとして職員を派遣した。リエゾンは、派遣先からの要望の伝達、本院との連絡調整、情報収集及び関係省庁への地理空間情報の提供に携わった。

内閣官房に設置された緊急災害対策本部では、政府調査団の派遣が決定し、3月11日から関東地方測量部長を政府現地対策本部（宮城県庁）に、翌12日には防災地理課長と関東地方測量部防災課長をそれぞれ福島・岩手県庁の政府現地連絡対策室に派遣し、現地調査や県の災害対策本部からの要望調査を行った。

内閣官房においては、発災当日から危機管理センターに24時間交替体制でリエゾンを1名派遣した。

3月中旬までは、関東地方測量部職員2名が交互に勤め、それ以降は本院各部・センターから職員を派遣して、地図、空中写真、浸水範囲概況図、地殻変動情報等の地理空間情報の受け渡しのほか、地理空間情報を担当する者の指示に従って、危機管理センターが要請する地図作成とデータ提供に関する綿密な連絡の任務にあたった。特に、福島第一原子力発電所の事故関連では、原子力発電所を中心とする同心円及び市町村名・行政区などを地図に強調表示するといった多様な重ね合わせ作業を取り次ぐための連絡調整を行った。内閣官房から4月22日に計画的避難区域や緊急時避難準備区域が公表されたのを期にリエゾンは、翌23日までの任務をもって終了した。

本省においては、参事官が発災後直ちに本省防災センターに参集するとともに、本省緊对本部の情報整理班として関東地方測量部防災担当職員3名も参集した。その後、本省内に設置されている東京分室職員に加えて都内出張中の職員が駆けつけ、本省緊对本部会議への出席、国土地理院が緊对本部会議に提出する資料作成、情報収集及び本院との連絡調整を行った。翌日以降は、発災当日の活動に加えて本省緊对本部に組織された情報整理班が主として行う交通ネットワークの復旧状況を示す復旧状況図の作成、本省内部部局や関係省庁から寄せられた地理空間情報の連絡調整などに従事する要員として、関東地方測量部と本院からリエゾンを派遣した。

リエゾンは、5月9日までの2ヶ月間は、夜間と昼間にそれぞれ人員を配置して3区分の勤務交替制で24時間対応した。3月中は、6名以上を派遣して体制を強化したが、地理空間情報提供の要望の減少や本省緊对本部会議の隔日開催に応じて体制を縮小し、4月末には1日4人に、大型連休明けの5月10日からは24時間を解除して1～2人の体制で午後8時まで、5月30日以降は週1回の頻度で月曜日に交通ネットワークの復旧状況図の更新を行った。

本省緊对本部会議には、主に参事官が出席し、国土地理院の取り組みを報告した。院長や関東地方測量部長他の出席もあった。会議に提出した添付資料のうち、対外的に公表することが適切と判断した資料は、本省広報課を通じて記者ブリーフィングで発表するとともに、報道機関に配布して情報提供した。東京分室は、緊对本部会議や国会対応、本省内部局や内閣官房をはじめとする関係省庁に情報を提供する活動拠点として機能した（写真－5）。

3. 3 国土地理院緊急災害対策派遣隊の活動

3月14日の本部会議においてTEC-FORCEが了承され、翌日から宮城県庁に設置されている政府現地災害対策本部に2名を派遣した。

TEC-FORCE第1次隊は、被災自治体や関係行政機

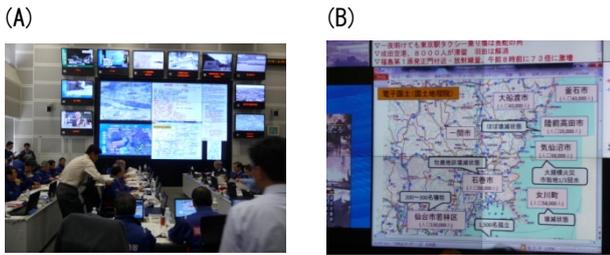


写真-5 本省緊対本部会議の状況

- (A) 本省第6回緊対本部会議の様子 (2011年3月12日撮影)
 (B) 情報整理班が電子国土を用いて作成した災害状況図 (2011年3月16日撮影)

関が必要とする地理空間情報を提供するため、電子国土 Web システムが単体で動作するパソコン、A0 サイズ対応大判プリンター、カラーレーザプリンター、ハードディスク及び電子媒体の他、宿泊施設不足を想定した非常食や寝具などを携えた。

被災状況を把握できる空中写真や浸水範囲概況図などが本院から送付されると、東北地方測量部と TEC-FORCE は、大判プリンターで出力した印刷物や電子媒体にコピーしたデータを宮城県災害対策本部をはじめ多くの被災自治体や行政機関に提供した (写真-6)。

さらに、県の災害対策本部などを通じて被災現場で復旧業務に携わる機関に提供可能な地理空間情報を連絡し、ニーズに沿った形式でデータを提供して災害復旧活動を支援した。また、政府現地対策本部会議に出席して国土地理院に対する要望を本院に伝達したほか、被災地の状況を本部会議で報告した。

4月上旬までは、本院職員で基本的に2名体制5泊6日の行程で前隊と業務を引継ぎながら活動したが、4月中旬以降は、地方測量部次長や防災情報管理官等も派遣し、地方測量部等も含めた院全体で TEC-FORCE 業務を展開した。情報提供が落ち着き始めた4月30日に出発した第13隊の派遣から1名に縮小し、5月15日の第15次隊の活動をもって終了した。

3. 4 地理情報支援班の活動

発災当初は、企画部防災担当や各部・センターが個別に地理空間情報を提供していたが、国土地理院が整備する空中写真や浸水範囲概況図などの地理空間情報の提供業務が急増したことを受けて3月17日の本部会議で地理情報支援班が組織され、地理空間情報の提供窓口を一本化した。地理情報支援班は、企画部、測図部、地理調査部及び地理空間情報部から招集された4名で編成された。結成当初は、半日に5~10件の情報提供要請及び電話・メールによる質問対応に追われ、1件の案件が完結しないうちに

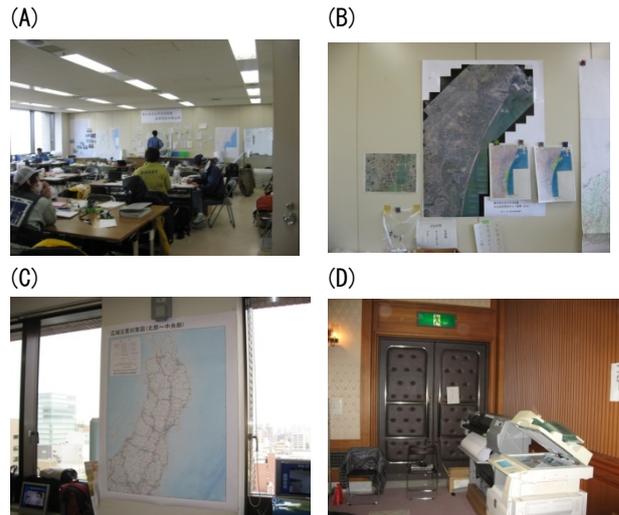


写真-6 政府現地災害対策本部の状況

- (A) 政府現地災害対策本部の様子 (2011年3月17日撮影)
 (B) 政府現地災害対策本部で使用された仙台地区のモザイク画像 (2011年3月17日撮影)
 (C) 政府現地災害対策本部で使用された広域災害対策図 (2011年3月17日撮影)
 (D) 宮城県災害対策本部で使用された大判プリンター (2011年3月17日撮影)

次の案件が寄せられるという状態であったが、選任スタッフの配置により、情報の取り扱い基準や提供時の留意点が整理されて、徐々にシステムティックな対応が可能となり、地殻変動、空中写真、浸水範囲概況図及び災害復興計画基図など多くの情報を各部・センターから収集して一元的に情報を管理するとともに提供実績も整理した。

地理情報支援班は、国土の変貌や被害状況把握と被災復興に役立ててもらうため、関係機関からの提供要望に基づき、各部・センターが整備した情報について情報の取り扱いを整理・明記した上で、必要な地理空間情報を迅速・確実に提供した。

地理情報支援班からの情報提供は2系統あった。一つは提供先の潜在的なニーズをくみ取り自主的に提供したもの、もう一つは相手機関の要望を受けて提供したものである。

提供手法は、紙に出力したもの、電子データをハードディスクなどの媒体に格納して手渡したもの及び電子メールや大容量ファイル転送システムを用いて電子的に提供したものなど様々である。

3月11日から11月25日までに提供した地理空間情報の延べ件数は、1,491件である。提供要請が最も多いのは浸水範囲概況図であるが、空中写真、正射写真及び正射写真地図などの空中写真関係も多数を占めた。震災対応で特別に整備した情報ではないが、地形図や電子国土基本図などのベースマップも少なからず利用されていることが明らかとなった

(表-1).

表-1 地理空間情報提供件数 (情報種別)

情報種別		自主的	要請	計
	基準点成果	0	7	7
	地殻変動データ	0	6	6
ベ ー ス マ ッ プ	小縮尺地図	38	1	39
	20万分1地勢図	8	0	8
	5万分1地形図	33	8	41
	2万5千分1地形図	1	11	12
	電子国土出力図	3	17	20
	旧版地図	0	2	2
	広域災害対策図	6	28	34
写 真	空中写真	234	73	307
	正射写真	195	81	276
	斜め写真	0	6	6
	正射写真地図	161	59	220
	交通関係復旧状況図	2	0	2
	浸水範囲概況図	167	175	342
	災害復興計画基図	4	12	16
	デジタル標高地形図	1	7	8
	原発同心円図	2	15	17
	5mDEM	0	30	30
	MMS画像	0	2	2
	関係機関限定HP	26	2	28
	特注地図	5	20	25
	その他	16	27	43
総計		902	589	1491

利用目的別では、被害把握、空間分析、情報共有及び復旧・復興として広く使われているほか、当初想定しなかった現地活動や罹災証明にも用いられていることが判明した(表-2)。

表-2 地理空間情報提供件数 (利用目的別)

利用目的	自主的	要請	計
空間分析	11	67	78
現地活動	2	28	30
情報共有	144	78	222
搜索	0	20	20
被害把握	636	308	944
復旧	3	28	31
復興	103	47	150
物資輸送	0	4	4
補償	2	2	4
罹災証明	0	3	3
防災	0	5	5
総計	901	590	1491

組織別では、全体の9割弱が、政府機関及び地方公共団体への提供であった(表-3)。

表-3 地理空間情報提供件数 (組織別)

組織	自主的	要請	計
学校法人	0	1	1
国(政府機関)	139	334	473
国立大学法人	0	17	17
指定公共機関	5	25	30
地方公共団体	758	185	943
民間	0	27	27
総計	902	589	1491

3.5 GPS観測で得られた地殻変動の検出と断層モデルの推定

発災後は、東北地方太平洋沿岸部を中心に300点以上の電子基準点や地殻変動観測施設(以下、「GPS連続観測点」という。)で通常(IP-VPN)回線の通信に障害が発生し、データ取得ができなくなった。不通となったGPS連続観測点では、災害時を想定して整備した代替通信(携帯電話)回線により約100点のデータ回収に成功した。これらのデータを正常な通信状況の観測点に加えて地震後3時間分のデータをもとに解析し、この時点では石巻市に設置されている電子基準点「河北」で最大4mの東向き水平変動と、70cmの沈降が明らかとなった(水藤ほか, 2011a)。この結果は、同日21時に開催された地震調査委員会(臨時会)で報告した。

12日以降、携帯電話回線でのデータ回収と通常回線の復旧もあいまって、太平洋沿岸の観測点でも徐々にデータ回収が進んだが、地殻変動を監視する上では不十分であった。測地観測センター職員で編成された現地緊急測量調査班は、13日深夜に現地に出発し、東北地方測量部の協力を得ながら岩手県及び宮城県で観測が停止中のGPS連続観測点のうち、余効変動を監視する上で重要となる点を重点的にデータ回収と応急復旧を実施した(写真-7(A))。地殻変動量が大きいと予想された地殻変動観測点「M牡鹿」(宮城県石巻市)では、太陽光発電装置や衛星携帯電話を装備するGPS火山変動リモート観測装置(REGMOS)と接続して電力と通信を確保することで連続観測機能を復旧させた(写真-7(B))。

地震後の通信障害でデータ回収ができなかった観測点の地殻変動量を解明するため、通常回線の通信が復旧した点、携帯電話回線で回収に成功した点及び現地の受信機から直接ダウンロードした点のデータを加えて再解析した。この解析により3月19日には、震源に近い電子基準点「牡鹿」(宮城県石巻市)で東南東方向に5.3mの水平変動と1.2mの沈降が

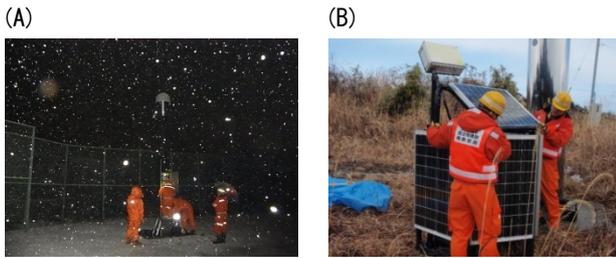


写真-7 電子基準点等での作業の状況

- (A) 電子基準点「遠野」での作業の様子 (2011年3月15日撮影)
 (B) 地殻変動観測施設「M牡鹿」にREGMOSを接続する作業の様子 (2011年3月16日撮影)

検出された (水藤ほか, 2011a).

地震前後の観測点の座標値を用いて推定する, 矩形断層モデル及びすべり分布モデルは, GEONET による定常解析に追従して適宜ホームページなどで公開した。

3月13日, 地震後にデータ回収に成功した観測点のみで矩形断層モデル (暫定版) とすべり分布モデル (暫定版) を推定し公開した。日本海溝に沿った断層面2枚で近似した総延長400km, 幅80~85kmの矩形断層モデルと, 震央付近を中心に最大約25mのすべり分布モデルが推定された。このモデルから岩手県から茨城県に至る太平洋沿岸で大きな沈降が想定された (水藤ほか, 2011b)。暫定版とした理由は, 震央に近い観測点のデータが通信障害により計算に組み込まれていないこと, GEONETの定常解析の基礎となるGPS衛星軌道情報が速報値であること及び地震後の観測時間が十分でないことから, 最終的な解析結果としていない。

GEONETの定常解析から高精度な最終解が算出された4月22日には, 再度地殻変動量の分析, 矩形断層モデルとすべり分布モデルを推定し, 最終版として公表した。モデルの最終版は, 各観測点の座標値が高精度に求められていること, 通信が途絶していた観測点や現地データ回収した観測点に加わって点数が格段に増えたことにより信頼性が高められ, 震源域は, 南北に約380km, 東西に約90~130km, 最大すべり量は約25mと推定された。

3. 6 干渉 SAR を用いた地殻変動の把握

国土地理院は, 「だいち」(ALOS) に搭載されているLバンド合成開口レーダー (PALSAR) の観測データを用いて, 定常的な SAR 干渉解析から面的に地殻変動を監視している (山中ほか, 2011)。本震発生後, 「だいち」を用いた防災利用実証実験の一環として2008年3月に設置した「衛星データを用いた地震・地盤変動データ流通及び解析グループ」の事務局である国土地理院は, 直ちに (独) 宇宙航空研究開発

機構 (以下, 「JAXA」という。) に対して東北地方全域の観測要求を行った。PALSARによる緊急観測は, 4日後の3月15日に開始され, 5月12日にALOSの運用が終了するまで続けられた。

北行軌道では4月18日に東北地方全域の観測が終了し, 新潟県西部・長野県東部・山梨県・静岡県東部を結ぶ幅約70kmの帯状区域も観測された。南行軌道では3つの軌道で観測が実施されたが, 東北地方中央を縦断する区域が観測できなかった。

JAXAからデータを取得すると, SAR干渉解析を実施して, 3月17日には震災後初の観測データをもとに解析結果を報道発表し, その後も新たな観測が実施される毎に随時解析し, ホームページで公開した。地震に伴う地殻変動は, 震央を中心に同心円状に東北地方から関東・中部地方まで及んでおり, 少なくとも南北600km, 東西200kmの範囲で変動幅を確認できる。また, その変位量は, GPS解析結果をSAR干渉画像が表す方向 (ALOSの視線方向) に換算した値と整合し, 牡鹿半島先端で約4mの変動を捉えた。

本震後には, 東北・関東地方での余震や誘発して発生したと考えられる中規模地震が頻発した。本震による大局的な地殻変動の中に見られる局所的な干渉縞は, 3月12日に発生した長野県・新潟県県境付近の地震 (M6.7), 19日に発生した茨城県北部の地震 (M6.1) 及び4月11日に発生した福島県浜通りの地震 (M7.0) によると思われる内陸で発生した地震の地殻変動を検出した。

3. 7 基準点測量成果の停止と成果改定

電子基準点の観測データにより東北地方から関東・甲信越地方にかけての広い範囲で顕著な地殻変動が明らかになったため, 3月14日, 東京の島しょを除いた東北・関東地方の全都県と新潟県・長野県・山梨県に及ぶ1都15県の電子基準点・三角点の測量成果を停止した。水準点の停止は, 電子基準点データから上下変動量が数cm以上となる東北から南関東地方に至る地域とした。加えて, 電子基準点438点の改定成果を公表した5月31日にも北陸3県 (富山県・石川県・福井県) と岐阜県の三角点成果を停止した (檜山ほか, 2011)。測量成果を停止した基準点総数は, 電子基準点438点, 三角点約44,000点, 水準点約1,400点に及び, 全基準点総数の35%以上が対象となった。

被災地の復旧・復興事業の実施のためには, 震災後の測量成果を早急に提供する必要があり, 国土地理院に対して測量計画機関等から改定成果の早期公表の要望が寄せられた。特に電子基準点成果は, 後続の三角点の改測や改算, 航空レーザ撮影の際に利用されるため, 緊急性が高かった。しかし, 長期にわたる余効変動により測量成果を改定しても位置が

変動して測量成果を再停止することにならないよう、余効変動量が小さく、将来においても安定した測量成果を提供する時期を検討する必要があった。また、新成果算出にあたって、地殻変動の影響や測量成果を改定しない地域（成果非停止地域）との境界で相対精度 2 ppm 以内を確保するための調整を加えるなど不整合が生じないように考慮しなければならなかった。

電子基準点成果の改定は、地震の影響を受けていない海外の VLBI 観測局との国際共同観測から求められた VLBI つくば局の座標値に GPS-VLBI コロケーション測量（GPS 観測局と VLBI 観測局間の正確な相対位置関係を取得するために行う測量）の成果と GEONET 定常解析結果を組み合わせて計算することを基本とし、5 月 31 日に成果を公表した。

同日には、三角点約 1,900 点と水準点約 1,900 点で基準点の改測作業を開始し、改測を実施しない三角点の成果は、電子基準点成果と GPS 測量を実施した三角点約 1,900 点の改測成果から点ごとに補正パラメータを算出して求めた。10 月 31 日にその測量結果を取りまとめ、三角点約 43,300 点と水準点約 1,900 点の改定成果を公表した。また、改定点の成果を含めた全国の測量成果を「測地成果 2011」と呼称することにした。測量法施行令で規定している日本経緯度原点及び日本水準原点の測量成果については、位置や高さが変動したことから、測量の正確さを確保するため、測量作業を実施し、原点数値を改正し、10 月 21 日に公布・施行された。

3. 8 被災地の空中写真撮影と災害復興計画基図の整備

東北地方太平洋沖地震とそれに伴って発生した津波による甚大な被災状況を把握することを目的に、太平洋沿岸部を中心に空中写真を緊急撮影することが 3 月 11 日の第 1 回本部会議で決定した。緊急撮影は、「くにかぜⅢ」が震災前日から 3 月末まで航空法に定める定期点検中であったこと、各地の被災状況が甚大で地域が広範囲であると予測できたことから、2005 年 3 月に（財）日本測量調査技術協会と締結した「災害時における緊急撮影に関する協定書」に基づいて協定に加盟する民間測量会社に発注して実施することになった（長谷川ほか、2011）。撮影範囲は、本省緊対本部や東北地方整備局からの優先順位付きの要望及び本部長の指示をもとに本部会議で決定した。緊急撮影対応可能な会社のリストからカメラの装備状況を判断し、デジタルカメラを使用する会社を沿岸部に、フィルムカメラを使用する会社を山間部に配置して撮影範囲を区割りした。4 月 1 日以降は、定期点検が終了した「くにかぜⅢ」を運用して直営による未撮影地区を補完する撮影を機動的に実

施した。

山間部の撮影を除き、沿岸部の撮影を担当した協定各社は、撮影後のデジタル画像処理、標定図作成に加えて、正射画像生成、ハードディスクへの格納とプリント出力までを一連の作業として実施し、撮影した日の翌日には東京分室に納品した。これらの空中写真は、デジタルデータと印刷物を本省各部署、地方整備局、内閣官房、内閣府、防衛省のほか、政府現地対策本部や被災した県や市町村に提供した。データ提供と並行して、背景となる電子国土基本図（地図情報）と一致するように空中写真を回転処理した画像を直ちにホームページに掲載した。その後、写真をつなぎ合わせ主要な地物や地名が入ったモザイク写真、電子国土基本図（地図情報）の注記と重ね合わせた正射写真地図など、作成する画像の処理状況に応じてホームページに載せる画像を随時差し替えや追加をしてコンテンツを充実した。

4 月には、緊急撮影の対象外であった茨城県については、被害が大きい沿岸部の写真を民間企業から著作権とともに買い取り、4 月にホームページに掲載した。

5 月には、地図作成を目的とする垂直写真よりも被災地の状況を立体的に捉えることができる斜め写真を被害が大きい地域を対象として「くにかぜⅢ」で撮影し、撮影方向を付してホームページで公開した。加えて、関係機関の要望に応えるように、高解像度画像をダウンロードできるサイトを別に立ち上げた。

被災地の空中写真撮影作業が一通り完了すると、次は被災地における復旧・復興事業を推進するために、青森県八戸市から福島県いわき市に至る約 5,100km²の沿岸地域において、公共事業で共通して利用可能な空中写真情報と災害復興計画基図を整備することとなった。縮尺 1/2,500 の災害復興計画基図は、撮影縮尺を 1/8,000 とし、5 月から空中写真撮影を開始して得られた正射画像をもとに作成した。なお、福島第一原子力発電所事故で設定された警戒区域内は、衛星画像を用いて整備した。

災害復興計画基図は、対象とする全自治体からの調査をもとに、流出した家屋やがれき等により遮蔽された道路縁も表現した迅速図と、公共測量作業規定の準則に準じた都市計画図に相当する図の 2 通りの図面を作成・提供した。

7 月以降は、作成した基図を随時被災自治体及び関係機関へ提供した。

3. 9 浸水範囲概況図とデジタル標高地形図の作成

内閣官房から津波の浸水域の特定に関する要請に応えるため、浸水範囲概況図の作成が 3 月 12 日の本

部会議で決定し、撮影した空中写真を入手するまでに表現方法や作成手順を検討した(渡辺, 2011)。大量の空中写真を迅速に判読しなければならないことから、実体視から判読する通常の方法ではなく、単写真から判読する効率的な方法を採用して数値化することにした。最初の判読作業は、12日に撮影した写真を13日午後から開始し翌日朝に終了した。13日撮影分も同様に繰り返して、2日間で判読した写真は、約1,900枚に達した。14日には、浸水範囲概況図は、東北地方測量部や陸上自衛隊を通じて政府現地対策本部をはじめ公的関係機関に空中写真とともに順次配布された。3月18日には、それまでに作成した青森県八戸市から福島県相馬市に至る浸水範囲概況図をもとに市区町村別の浸水範囲面積を集計し、概算値を記者発表した。概算値とした理由は、石巻市以北に未撮影地域が残っており浸水範囲の全体を捉えていないことによる。

3月19日に撮影した写真についても翌日に判読を行い、浸水範囲概況図の追加とともに、市区町村別毎の浸水範囲面積を更新して23日にホームページに掲載した。3月28日は津波浸水域の土地利用別面積を、翌日は浸水域の土地利用図をホームページで公開した。その後も空中写真撮影の進捗に合わせて3月24日、4月4日に更新した。4月18日には、津波の被害が想定される青森県六ヶ所村から千葉県一宮町までの全ての海岸域について、概況図、津波浸水面積及び土地利用別分類を最終版として公開した。これまでに公開した浸水範囲概況図は、縮尺1/100,000での公開であったが、再判読、現地での確認及び縮尺の大きい地図の要望が寄せられたため、6月30日に精度の限界を示した上で縮尺2万5千分1地形図に重ね合わせて公開した。

判読に用いた画像は、青森県から福島県までは国土地理院が撮影した空中写真、原発事故に伴う飛行制限域は人工衛星画像、茨城県は民間企業から購入した空中写真、千葉県内の一宮町以北の区域は千葉県が撮影した空中写真である。総浸水面積は、山の手線内側面積の約9倍に相当する561km²に達し、そのうち仙台平野を擁する宮城県が327km²と半分以上を占めた。市区町村別では石巻市が最大の浸水面積(73km²)となった。

また、国土地理院は、地震による沿岸域の沈降や津波で改変した地形を捉えるために、航空レーザ測量を実施し高精度な標高データを取得し、数値標高モデルの作成及びデジタル標高地形図を整備している。整備したデータは、被災地の復旧・復興計画に活用できるように関係機関へ順次提供している。

3. 10 地理空間情報の提供

国土地理院は、緊急時に必要な地図を関係機関に

迅速かつ的確に提供するため、(財)日本地図センター(以下、「JMC」という。)と「災害用常備地図の保管業務」や「地図の運搬業務及び地図等の刊行業務」などを取り交わし、24時間対応可能な体制を確立している(大塚, 2011)。3月11日、JMCは取り交わしに基づき、100万分1日本I・II、50万分1地方図「関東甲信越」以東の図面、20万分1地勢図、青森県から茨城県に至る太平洋側区域の2万5千分1地形図など異なる4種類の紙地図約1,500枚を内閣官房、内閣府及び本省防災センターに搬入した。翌12日にも、JMCに対し本省道路局に2万5千分1地形図の納入と、被災地に提供するための2万5千分1地形図を陸上自衛隊東立川駐屯地まで搬入することを指示した。15日には、本省道路局から5万分1地形図の追加要請にも対応しJMCが搬入した。

地図の電子データは、ホームページに「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震関連(後に「東日本大震災関連情報」に変更)」ページを構築し、20万分1地勢図や2万5千分1電子国土基本図のダウンロードを関係機関に情報提供した。2万5千分1地形図サイトの利用にはパスワードを設定し、地方自治体向けに限定した。

被災地を緊急撮影した空中写真は、電子国土Webシステムを活用して撮影日ごとにその整備範囲が判るようなインターフェースを用意して画像を公開した。その後、引き続き行われた撮影に対しても、順次単写真から正射写真への処理を待って、シームレスな正射写真を追加公開した。代表的な被災地区については、震災前後の写真、地図と震災後の写真及び撮影日の異なる被災後の写真を左右に配置して、それらを動的に比較できる仕組みを構築し、被災による変貌が容易に判るように工夫した。

3月22日には、東北地方整備局や岩手、宮城、福島の各県及び東日本高速道路(株)と連携し、東北地方道路規制情報集約マップを開発し、道路規制状況の情報提供に一翼を担った。

地理空間情報は、主に4つの方法でデータが提供された。一点目は陸上自衛隊が被災地に物資輸送する便を利用する方法、二点目は東北地方測量部とTEC-FORCEにより岩手、宮城、福島の各県の災害対策本部に地理空間情報の提供について周知を図り、要望に応じて政府現地対策本部に持ち込んだプリンターから出力した印刷図や電子媒体にコピーしたデータを直接手渡す方法、三点目は地理情報支援班を通じた提供方法、四点目はホームページから発信し、インターネットを通じた一般への情報提供方法である。国土地理院のホームページアクセス数は、震災以降の3ヶ月間は、前年比約2倍で推移しており、増加分は東日本大震災関連によるものと推測される。

4. 評価と課題

国土地理院は、これまでに地震、火山活動、風水害への災害対応を経験してきたが、東日本大震災は以下の点で過去に発生した災害と大きく異なった。

- (1) 1900年以降4番目の巨大地震により顕著な地殻変動が発生し、基準点成果の改定方法と公表時期の判断を迫られたこと。
- (2) 地震に伴い発生した津波により、被災地が海岸沿いの広い範囲に及んだこと。
- (3) 本院が被災し、関係機関と本院間の通信障害により地理空間情報提供業務に影響が生じたこと。
- (4) 原子力災害が発生した中で、初めての災害対応を行ったこと。
- (5) 地理空間情報の膨大なニーズに対応するため新たな体制整備が求められたこと。

これらの点について、迅速かつ適切な対応を迫られながら得た教訓や評価及び課題について報告する。

(1) 地震による地殻変動の様相を明らかにするには、電子基準点などの観測データを平時と同様に回収することに尽きる。通常回線が寸断された観測点では、回線断を想定して整備した代替回線によりデータが回収でき、通信二重化の成果が現れた。しかし、代替回線でも通信できない観測点では、停電によって受信機のメモリやバッテリーの容量不足が原因で地震後の貴重な観測データが欠測となったところも少なからずあった。その対策として、バッテリーの72時間対応やソーラーパネルを設置など電子基準点の改造を行っている。

電子基準点によって明らかとなった東北・関東地方から北陸・中部地方まで及んだ地殻変動をもとに基準点測量成果の公表は、これまでの地震災害と同様に速やかに停止した。測量成果は、電子基準点が余効変動速度の低下と復旧・復興事業への必要性の頃合いを見計らって5月31日に改定され、追隨して改測した三角点と水準点が10月31日に改定された。しかし、測量成果の停止範囲の妥当性や成果停止区域と非停止区域の境界における整合性の確保や計算手法について課題が残った。

(2) 津波による被災の全貌を捉える方法として空中写真撮影は有効だった。定期点検中の「くにかぜⅢ」に替わり、「災害時における緊急撮影に関する協定書」に基づき機動的な対応により、翌日から撮影を実施した。空中写真から津波の浸水範囲を判読した浸水範囲概況図を、空中写真とセットで関係機関や被災自治体に提供することができた。一方、優先順位を踏まえた空中写真撮影のニーズや合理的な写真解像度の見極め、浸水範囲概況図作成にあたっての空中写真判読の基準と現地調査結果の反映について、改善の余地がある。

(3) 本院では停電と同時に通信網が寸断され、電子メールの送受信やホームページが停止するなど通信手段が限られた。それにより、被災状況に関する情報収集や他機関への連絡手段が限られ、初動時の地理空間情報の提供や関係機関への情報提供などが遅れたことが課題となった。本院は、非常用発電設備の強化など冗長性を高める対策を検討している。

(4) 原子力災害により、航空機や車両での進入が規制された区域への対策として、浸水範囲概況図や災害復興計画基図の作成において人工衛星画像の有用性が挙げられる。また、内閣官房からの要請に対応して計画的避難区域と緊急時避難準備区域を表した地図の作成は、内閣官房に派遣されたリエゾンや本院関連部署が連携して取り組んだ成果である。

(5) 地図、空中写真及び浸水範囲概況図などの多数の要望に迅速・確実に応えるために、本部に地理情報支援班を設置して提供窓口を一本化した。政府現地災害対策本部に派遣されたTEC-FORCEと東北地方測量部が連携して、必要な地理空間情報を直接提供したことは初の取り組みである。また、本省防災センターや内閣官房にリエゾンを派遣して関係行政機関との連絡体制を強化した。しかし、膨大なデータを迅速に提供する手段の確立や、地理空間情報を利用するユーザーのニーズが多様化しており、それに対応するための方針と体制の整備が今後の課題である。

5. まとめ

国土地理院は、東日本大震災の災害対応で得た教訓と浮き彫りになった課題をもとに、防災業務計画、災害対策要領、本院が被災したことを想定した業務継続計画を改定作業中である(2011年12月現在)。

今後発生が予想される東海地震やそれと連動して起こると想定される東南海・南海地震をはじめ、火山活動、風水害に対して万全な体制を備えることが、災害対策基本法の指定行政機関としての責務である。職員は、防災意識の高揚と災害対応能力の向上を図るため研鑽することを通じて万全の準備を整える所存である。

参 考 文 献

- 気象庁：http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/index.html (accessed 30 Nov. 2011).
- USGS：http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10_largest_world.php (accessed 30 Nov. 2011).
- 水藤尚, 西村卓也, 小沢慎三郎, 小林知勝, 飛田幹男, 今給黎哲郎, 原慎一郎, 矢来博司, 矢萩智裕, 木村久夫, 川本智司 (2011) : GEONETによる平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う地震時の地殻変動と震源断層モデル, 国土地理院時報, 122, 29-37.
- 水藤尚, 西村卓也, 小沢慎三郎, 飛田幹男, 原慎一郎, 矢来博司, 矢萩智裕, 木村久夫, 川本智司 (2011) : GEONETによる平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に引き続いて発生している余効変動と余効すべりモデル, 国土地理院時報, 122, 39-46.
- 山中雅之, 野口優子, 鈴木啓, 宮原伐折羅, 石原操, 小林知勝, 飛田幹男 (2011) : 衛星合成開レーダーを用いた平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 122, 47-54.
- 檜山洋平, 山際敦史, 川原敏雄, 岩田昭雄, 福崎順洋, 東海林靖, 佐藤雄大, 湯通堂亨, 佐々木利行, 重松宏実, 山尾裕美, 犬飼孝明, 大滝三夫, 小門研亮, 栗原忍, 木村勲, 堤隆司, 矢萩智裕, 古屋有希子, 影山勇雄, 川元智司, 山口和典, 辻宏道, 松村正一 (2011) : 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改定, 国土地理院時報, 122, 55-78.
- 長谷川裕之, 斎藤勘一, 高橋広典, 首藤隆夫, 甲斐納, 廣田三成, 柴原充, 畠山裕司, 根本正美, 大野裕幸, 石関隆幸 (2011) : 東日本大震災に対する基本図情報部の取り組み, 国土地理院時報, 122, 79-89.
- 渡辺信之・中島秀敏・吉岡貢・長谷川学 (2011) : 東日本大震災に対する応用地理部の取り組み, 122, 91-96.
- 大島健一, 三浦優司, 影山勇雄, 古屋有希子, 矢萩智裕, 丸山一司 (2011) : 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震によるGPS観測施設・験潮場の被災状況及び復旧対応, 122, 113-125.
- 大塚康弘, 明野和彦, 勝田啓介 (2011) : 東日本大震災に対する地理空間情報部の取り組み, 122, 163-167.
- 国土地理院(2011) : 東日本大震災 国土地理院の災害対応記録集.