

東日本大震災に対する応用地理部の取り組み Measure of the Geocartographic Department of GSI to the Great East Japan Earthquake

応用地理部 渡辺信之・中島秀敏・吉岡 貢・長谷川 学
Geocartographic Department
Nobuyuki WATANABE, Hidetosi NAKAJIMA, Mistugu YOSHIOKA
and Manabu HASEGAWA

要 旨

3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、青森県から千葉県の太平洋に面した沿岸域を中心に津波による多大な被害が発生し、また、地盤沈下などの大きな地殻変動も生じた。

国土地理院は津波被害の状況把握のための浸水範囲概況図の作成をするとともに被災状況調査を行った。また、地盤沈下の著しい沿岸部や土砂災害のおそれが高まっている山間地を中心に被災後の地形を詳細に把握し、広域にわたる道路、港湾、都市の復興計画の基礎資料としていただくため、航空レーザ測量による精密標高データの整備を実施し、関係機関に提供を行った。

1. はじめに

今回の大震災で各沿岸域を次々に襲った津波は、東日本の太平洋沿岸に甚大な被害をもたらした。国土地理院地理調査部（同年4月1日「応用地理部」に改組）では直ちに緊急作業チームを編成し、津波災害の実態を明らかにするために、空中写真等による調査を行った。

調査初期には迅速性を重視し、時間の経過につれて可能な範囲で精度向上を行うことを目標として「浸水範囲概況図」を作成し、被災地の市町村や国の災害対策本部等に逐次配布するとともにホームページに掲載した。また、空中写真撮影の進捗に伴い浸水範囲概況図の作成範囲を拡大するとともに、浸水面積や到達距離・標高の解析を試みた。また、復旧・復興計画の基礎資料としていただくため、地盤沈下が著しい沿岸部及び土砂災害のおそれが高まっている山間部について、航空レーザ測量を実施し、整備が完了した地域から標高データの提供を行った。

2. 浸水範囲概況図の作成

2. 1 作成方法

地理調査部では地震発生後直ちに、津波被害の現況を明らかにするため「浸水範囲概況図」の作成を決定し、空中写真データ入手までの間に被害概況図を作成するとともに、表現方法や作成地区、作成方法の検討を行った。

浸水範囲概況図作成にあたっては、写真判読を行

いその結果を2万5千分1地形図上に記入する「判読班」と、その情報をGISでデータ化する「数値化班」の2班体制で行った。通常、写真判読では空中写真を印画紙に焼き付けるかプリンタ出力し、隣接するペア写真を用いて実体視を行い、地形や地物の形状を詳細に観察する。しかし、今回は大量の写真を迅速に判読する必要があったため、最初の段階では速度を優先して単写真データで判読することとした。具体的にはパソコンのモニターに高解像度写真データを表示させ、必要に応じて拡大することによって瓦礫の有無などを判読し、手元の地形図上に浸水範囲を順次記録した。

誤差要因としては「判読誤差」と「地形図への移写の誤差」が考えられる。単写真による判読であるため、前者に地形判読技術力の差はあまり影響しないが、後者を最小限にするにはやはり地形判読技術力が必要である。そのため、今回の判読作業も全て地形判読の経験者が担当することとした。

2. 2 判読基準

津波到達範囲の判読とは、津波で浸水した地域の水深が地表面上で0mとなった箇所を記録していくことである。一般に、そのような箇所は津波が到達したかどうかの判断が困難である。また、判読は8名で分担して行ったが、判読者によって判断が異なるのは好ましくない。そこで、判読に先立ち「湛水」、「建築物の破壊」、「林地の侵食・破壊」、「水田・集落等への浸水跡」及び「瓦礫・流木などの分布」などの判読基準を定めるとともに、複数の判読者のクロスチェックにより判読精度の向上を図った。

2. 3 判読と数値化

3月13日昼過ぎに、前日撮影の空中写真データ（宮城県南部・福島県北部）が到着し、13時40分から判読作業を開始した。判読結果は随時数値化班に送られ、6人の手によってGIS上で数値化された。なお、12日撮影分の判読に要した時間は3時間弱、数値化に要した時間は4時間30分であった。その後データの点検と地図化を行い、翌14日から東北地方測量部などによって現地災害対策本部など公的機関への提供を順次開始した。

3. 浸水範囲面積（概略値）の公表

3月12・13日撮影分空中写真（計1,886枚）の判読・数値化は15日夕刻までに終了し、同日夜には岩手県および青森県の概況図を提供した。一方、東北地方の天候不良によって14日以降は新たな空中写真の撮影ができない状態が続いていた。

そこで、この間にこれまでに作成した浸水範囲概況図から、浸水した範囲の面積を市区町村ごとに集計した。この時点では、北は青森県八戸市から福島県南相馬市までの範囲である。ただし、石巻市から北は写真撮影したコースが少なかったためこの時点では浸水範囲の全体像を捕らえていなかった。そこで、集計に当たっては誤解を招かないように浸水範囲概況図に撮影済み範囲を明示するとともに、今後の撮影予定範囲も同時に公表した。

震災から1週間後の3月18日、「津波による浸水範囲の面積（概略値）について」報道発表を実施し、ホームページで市区町村別浸水面積と「浸水範囲概況図」を公表した。なお、その後の撮影の進捗に伴い、3月24日と4月4日に更新した。

4. 全域の「浸水範囲概況図」の公開

4月8日に、国土地理院が撮影した福島県南相馬市から青森県六ヶ所村までと、福島第一原子力発電所の事故によって航空機運航が規制されている区域の衛星画像による判読を終了し、浸水範囲概況図を作成するとともに浸水範囲の面積をホームページで公開した。その後、千葉県等によって3月12日と27日に撮影された千葉茨城沿岸の空中写真を入手、いわき市南部の衛星画像とあわせて判読・数値化を実施し、青森県から千葉県までの「浸水範囲概況図」を4月18日に公開した。

これによって、今回の津波で浸水被害があったと想定される太平洋沿岸全域について浸水範囲の判読を完了した。図-1に整備した浸水範囲の索引図、図-2に浸水範囲概況図出力例を示す。

5. 浸水範囲の面積

今回の津波によって浸水した県別面積は以下の通りである（4月18日集計時点）。

- 1) 青森県：24km² 岩手県：58km²
- 2) 宮城県：327km² 福島県：112km²
- 3) 茨城県：23km² 千葉県：17km²

浸水面積の合計は561km²となり、山手線内側の面積の約9倍に相当する。仙台平野を擁する宮城県の浸水面積が群を抜いており、宮城県だけで半数以上を占めている。

市区町村別では石巻市が73km²浸水しており、次いで南相馬市が39km²と広い（仙台市は市全体で見



図-1 浸水範囲概況索引図

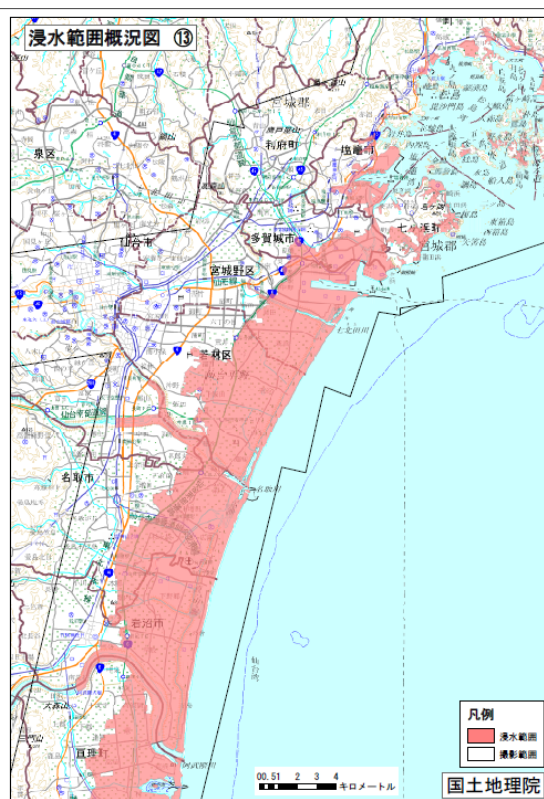
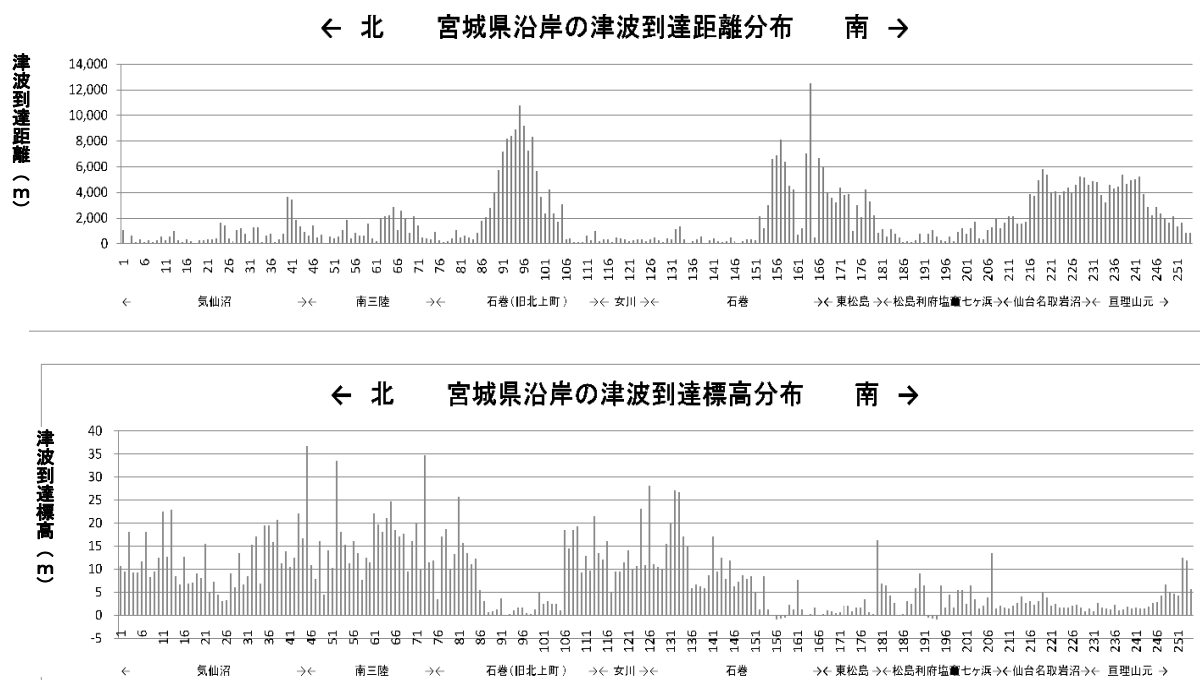


図-2 浸水範囲概況図出力例



図－3 津波到達距離と到達標高

ると 52km²). 市区町村の総面積に占める浸水面積割合で見ると、仙台市若林区は総面積 48km² のうち約 60% の 29km² が浸水している。

6. 津波到達距離と到達高の分析

4 月 18 日公開の浸水範囲概況図のデータを用いて、宮城県を対象に海岸からの津波到達距離と到達地点の標高について分析を実施した。

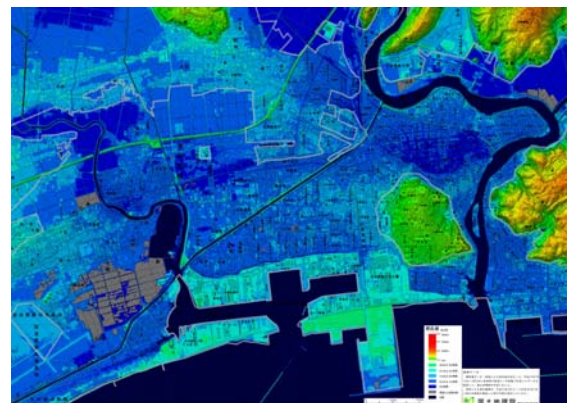
図－3 は宮城県沿岸の海岸からの津波到達距離と到達標高（浸水範囲概況図で浸水範囲の境界線が引かれている地点の標高）を浸水範囲概況図と震災直後に航空レーザ測量で計測したデータを基に作成した高精度標高データ DEM を用いて GIS 上で計測しグラフ化したものである。これによると、石巻市の北上川及び旧北上川沿いで海岸から 8～10km 以上の内陸まで到達している。しかし同地域の到達標高は 0～2 m ときわめて低い。一方、リアス式海岸では標高 20m 以上まで到達している地点が多数見られる。

7. 2 万 5 千分 1 浸水範囲概況図の公開

浸水範囲概況図の判読結果は 2 万 5 千分 1 地形図上に一旦記入し GIS 化していることから、「2 万 5 千分 1 原稿図」が存在するが、作業の初期段階では迅速性を優先したために、この「原稿図」は 2 万 5 千分 1 レベルの精度を満たしていない（例えば、地形図には建物記号が記載されているが浸水範囲概況図は個別建物レベルの精度は持っていない）ものであった。このため、判読の精度と図の精度をあわせる

ために浸水範囲概況図は 10 万分 1 レベルの地図として公開してきた。しかし、行方不明者の捜索や復旧作業にはより大縮尺の地図上に浸水範囲を示したものが必要とされたことから、情報精度の限界を踏まえた上で活用していただくことを前提として、国や市町村など公的機関に「原稿図」情報を提供してきた。

4 月 18 日の概況図全域公開以降、緊急作業チームは逐次再判読を実施してきた。また、4 月末には震災後の航空レーザ測量（9. を参照）による宮城県沿岸部の高精度標高データ DEM が概成したため、これによる点検を行うことができるようになった。このため、一定の精度向上がなされたとして、宮城県内について、前述の高精度標高データから作成した「2 万 5 千分 1 デジタル標高地形図 (PDF 版)」(図－4) の公開の際に浸水範囲をあわせて記入し、5



図－4 デジタル標高地形図 (石巻付近)



図-5 2万5千分1 浸水範囲概況図（南三陸町歌津付近）

月31日から公開を開始した。また、浸水範囲概況図についても、電子国土基本図を基図とした「2万5千分1 浸水範囲概況図」を全域について公開した(図-5)。

地の詳細な情報を自治体や国の復興関係機関で共有できる。GPS 等により撮影地点の正確な位置がわかり、画像上の対象物の位置や高さ等の3次元計測もできるシステムである。

8. 浸水地域の被災状況及び浸水到達状況調査

8. 1 調査の概要

建物被害状況及び浸水深調査を行うため、車載型画像計測システム(写真-6)を用いて岩手県久慈市～宮城県岩沼市にかけて現地調査を行うとともに、空中写真判読により作成した浸水範囲概況図の浸水到達状況の確認を実施した。

8. 2 車載型画像計測システムによる被災状況調査

1) 車載型画像計測システムとは

本システムは、360度の全方位画像データが取得可能な装置であり、津波による個々の建物や道路の被災状況、瓦礫撤去の進捗等の復旧状況を、住民の目線の高さでデジタル映像情報として記録することが可能であり、記録をすることにより、地域に密着した復興計画にとって不可欠な、被災



写真-6 車載型画像計測システム (MMS)



写真-7 撮影した360°画像データの映像の再生
(釜石市)

2) 調査の概要

総延長約 700km（被災地以外の移動距離も一部含む）の走行道路周辺の360度全方位画像データの取得を行った。写真-7はその画像の一部である。

8. 3 被災状況及び浸水到達状況の調査

建物被災状況と浸水深の調査を行うとともに、空中写真判読により緊急に作成した津波による浸水範囲概況図の浸水範囲及び到達状況の確認を行った。

1) 建物被害と浸水深に関する調査結果

①浸水深が1.5～2m程度では、家屋は原形を留めている場合が多かった。3～4m以上になると、古い木造住宅は全壊している場合が多かった。10m以上の場合には、鉄筋の4、5階建の堅牢な建物を残してほぼ壊滅的な被害を受けていた。

②湾の形状（狭長、湾口の幅）や水深等の違いによって、調査地点の浸水高や建物被災状況がそれぞれ異なっている。

2) 津波浸水範囲及び到達状況の確認調査の結果

①浸水範囲及び到達状況の確認は、瓦礫、ゴミの堆積状況や建物の浸水痕跡から行ったが、痕跡が不明な場合は、住民にも一部聞き取りを行った。

②空中写真判読により作成した浸水範囲概況図については、現地確認の結果、概ね判読通りであった。

9. 復旧・復興に向けての事業の取り組み

前述の通り、東北地方太平洋沖地震では太平洋沿岸を中心に、広い範囲で地殻変動に起因する地盤沈下が生じるとともに、津波による地形変化が発生した。そこで応用地理部では宮城県と連携し、震災直後に宮城県が計測した航空レーザ測量のデータを用いて宮城県沿岸域の高精度な標高データを緊急整備し、4月下旬から関係機関に提供した。

また、平成23年度1次補正予算の成立をうけて、5月からは岩手県から千葉県にかけての太平洋沿岸

と土砂災害の恐れが高まっている山間地を中心に航空レーザ測量を行い、河川・道路・港湾などの復旧計画や地域の復興計画などの基礎資料となる高精度な標高データを広範囲に取得するとともに、デジタル標高地形図整備を実施した。

整備したデータをできるだけ早期に復旧・復興作業に役立てるため、作業工程を航空レーザ測量による地形計測、計測データよりDEM（数値標高モデル）の作成、DEMを使つてのデジタル標高地形図作成の3つに分けて行っている。工程毎に整備したデータはできあがり次第、関係機関へ提供を行った。しかし、平成23年は沿岸であっても悪天候が続き、沿岸部の計測が全て完了したのが9月下旬となり、後続作業に影響を及ぼす結果となっている。また、山間地においても悪天候が続き全ての計測が完了したのが10月中旬となった。航空レーザ計測が完了した地域に

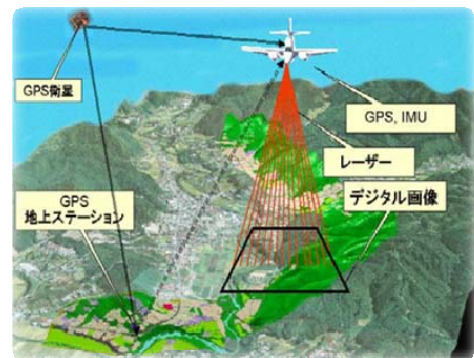


図-8 航空レーザ測量

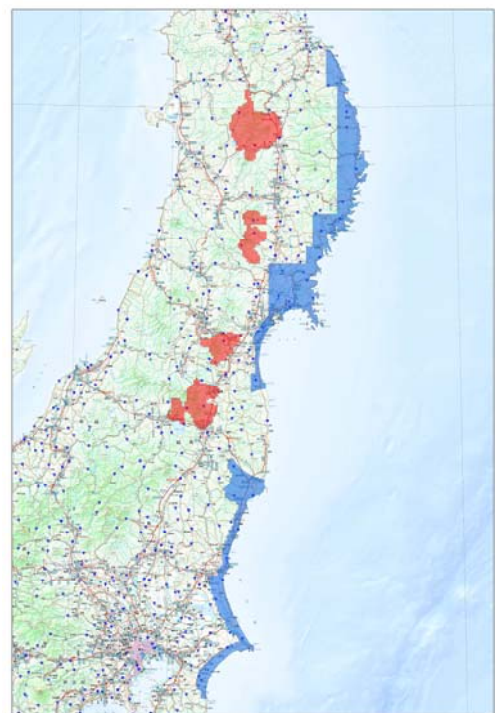


図-9 高精度標高データ整備地域図

についてはDEMの作成及びデジタル標高地形図の作成を順次行い、8月下旬より関係機関への提供を開始した。航空機によるレーザ測量のイメージを図－8に示し、整備範囲を図－9に示すとともに図－10、11に震災前後のデジタル標高地形図を示す。

10. まとめ

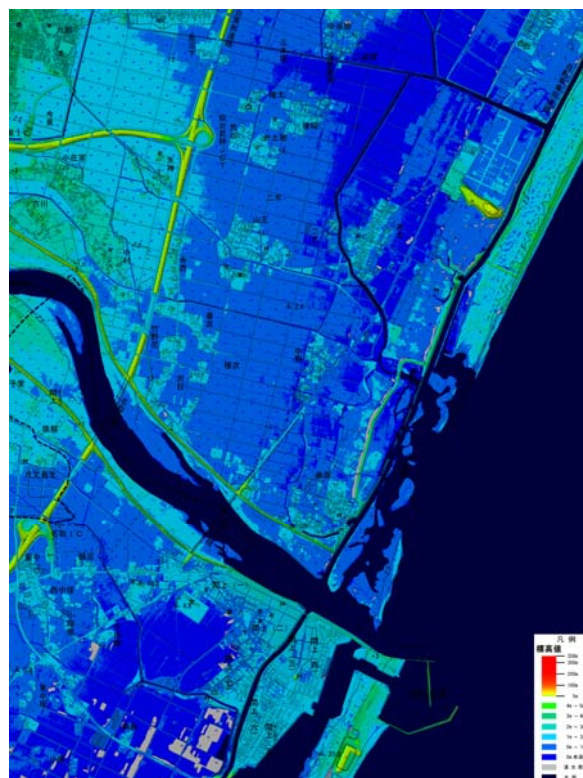
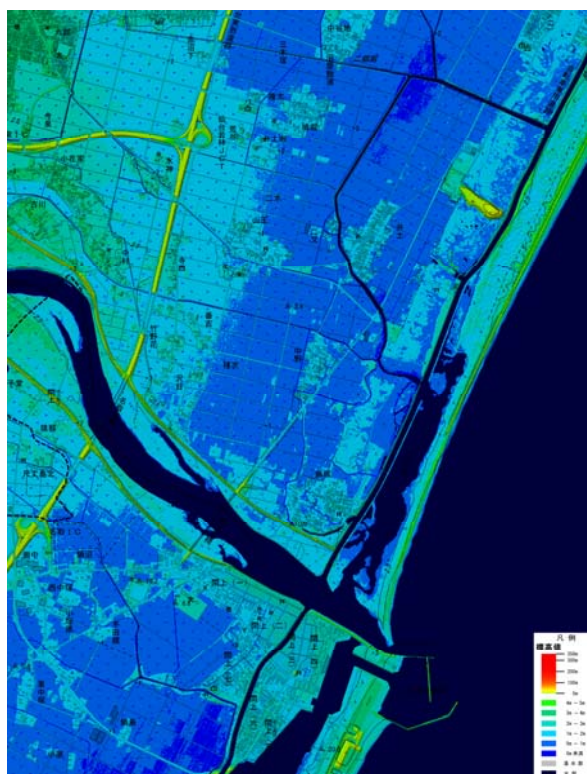
東日本大震災は極めて広域の大災害であり、発生直後はその実態把握が緊急に求められていた。その中で地震翌日から直ちに空中写真撮影が行われ、その写真を使い作成した浸水範囲概況図等を交通・通信インフラが制限されている中、関係機関へ提供できたのは、これまでの災害対応で蓄積してきた経験と技術力が活かされた結果と考えている。今後は今回の経験を集約するとともに新技術への対応を継続し、今後の災害対応へと繋げていく必要がある。

特に、航空レーザ測量の成果である高精度標高データとデジタル標高地形図は津波浸水範囲の判読精

度向上と分析に極めて有効であった。これは事前の防災対策にも極めて有効であることを示しており、今後は活用方法をより拡げていくとともに地方公共団体などに周知していく必要がある。

今回の大震災を契機として津波対策における地理空間情報の有効性が再認識された結果、平成23年度第3次補正予算では「千島海溝沿いの地震」「東海・東南海・南海地震」などによる災害が懸念される地域について航空レーザ測量を行う予算が認められた。南海地震による津波被害が懸念されている徳島・高知・愛媛・宮崎沿岸地区については既に測量を開始しており、2012年4月頃には成果を提供できる見込みとなっている。他の対象地域についても気象条件を勘案しつつ順次測量を開始する予定である。

東日本大震災に対して、国を挙げて復旧・復興に当たることが求められている。今後も災害に対し迅速に対応できるよう日頃より地理空間情報整備と技術向上に心がけたい。



図－10 デジタル標高地形図（名取川河口付近：震災前） 図－11 デジタル標高地形図（名取川河口付近：震災後）