

津波による広域的浸水被害の把握

中島秀敏* 渡辺信之**

1. はじめに

国土地理院は、災害対策基本法による指定行政機関として、災害発生時にはその姿を迅速に明らかにする責務を担っている。今回の東日本大震災に際しても、3月11日14時46分の地震発生直後から、つくばの本院と仙台の東北地方測量部などが連携して災害実態の把握、地図の緊急提供、空中写真撮影と簡易オルソ画像地図緊急作成と被災地への提供、電子基準点等による地殻変動の把握など、様々な活動を行ってきた。

今回の大震災で各地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（当時）では直ちに緊急チームを編成し、津波災害の実態を明らかにすべく調査を行うこととした。調査は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地図作成範囲を拡大するとともに（表-1）、浸水面積や到達距離・標高の解析を試みた。

2. 空中写真の緊急撮影

国土地理院では翌12日から太平洋沿岸の空中写真緊急撮影を開始し、13日までに南相馬市から八戸市にかけて撮影を実施した（この時点では石巻市～八戸市は1コースのみ）。

空中写真と標定図は13日から順次ホームページで公開すると同時に、被災地の関係機関には紙出力とデータ入りハードディスクを東北地方測量部職員などが直接手渡すという形で提供した。

3. 浸水範囲概況図の作成

3.1 作成方法

国土地理院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。

浸水範囲概況図の作成は、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班で行った。通常、写真判読では空中写真を印画紙に焼き、隣接した写真2枚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。近年は空中写真もデジタル化が進んでいるが、それでもプリンタ出力等によって実体視するのが通常である。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、最初の段階では精度より速度を優先し、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に高解像度写真データを表示させ必要に応じてズーム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ていった。

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、今回の判読も全て地形判読の経験者が担当した。

3.2 判読基準

津波到達範囲の判読とは、言い換えると「津波による浸水深が地表面から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のか判断が困難である箇所も少なくない。また、判読は8人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」、「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の向上を図ることとした。

3.3 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

Grasp of flood damage area by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Tsunami

(宮城県南部・福島県北部) が到着し、13時40分から判読を開始した。判読結果は随時数値化班に送られ、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ている。

表-1 浸水範囲概況図公開までの流れ

3月11日	地震発生、災害対策本部設置
"	被害概況図作成
3月12日	緊急撮影開始
3月13日	空中写真提供・HP公開開始、判読開始
3月14日	浸水範囲概況図提供開始(宮城県、福島県)
3月15日	概況図追加提供(岩手県、青森県)
3月18日	概況図HP公開開始
"	市区町村別浸水面積公表
3月24日	概況図追加公開(宮城県など)、面積値更新
4月4日	概況図追加公開(岩手県など)、面積値更新
4月8日	相双地区衛星画像判読終了
"	概況図追加公開(青森、岩手、福島)、面積値更新
4月18日	概況図追加公開(福島、茨城、千葉)、判読終了
"	全域の浸水範囲概況図と浸水面積を公開

4. 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することとした。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」(図-1)を公表した²⁾。

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。

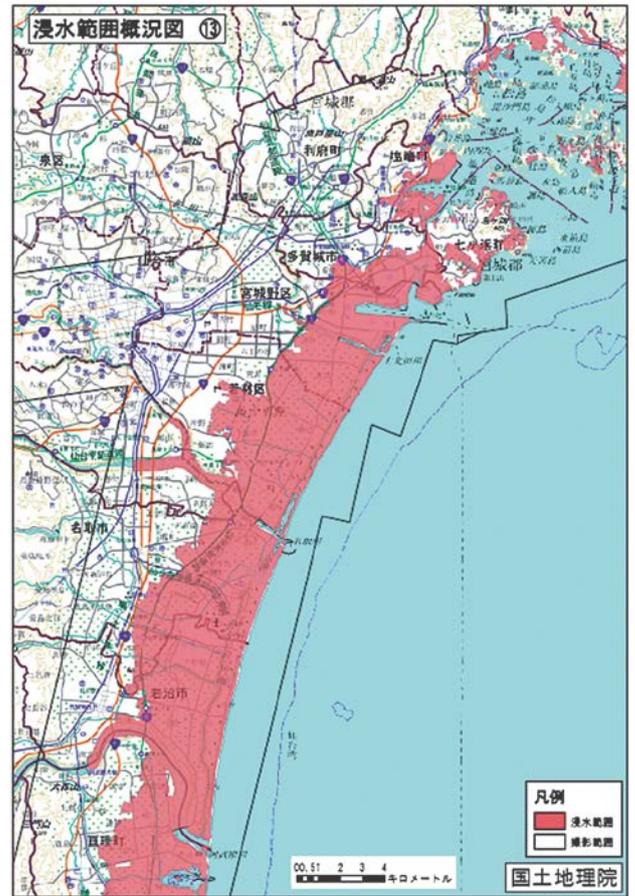


図-1 10万分1浸水範囲概況図(仙台付近)

5. 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面積を計算して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¹⁾。

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。

6. 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)。

青森県： 24km² 岩手県： 58km²
 宮城県： 327km² 福島県： 112km²
 茨城県： 23km² 千葉県： 17km²

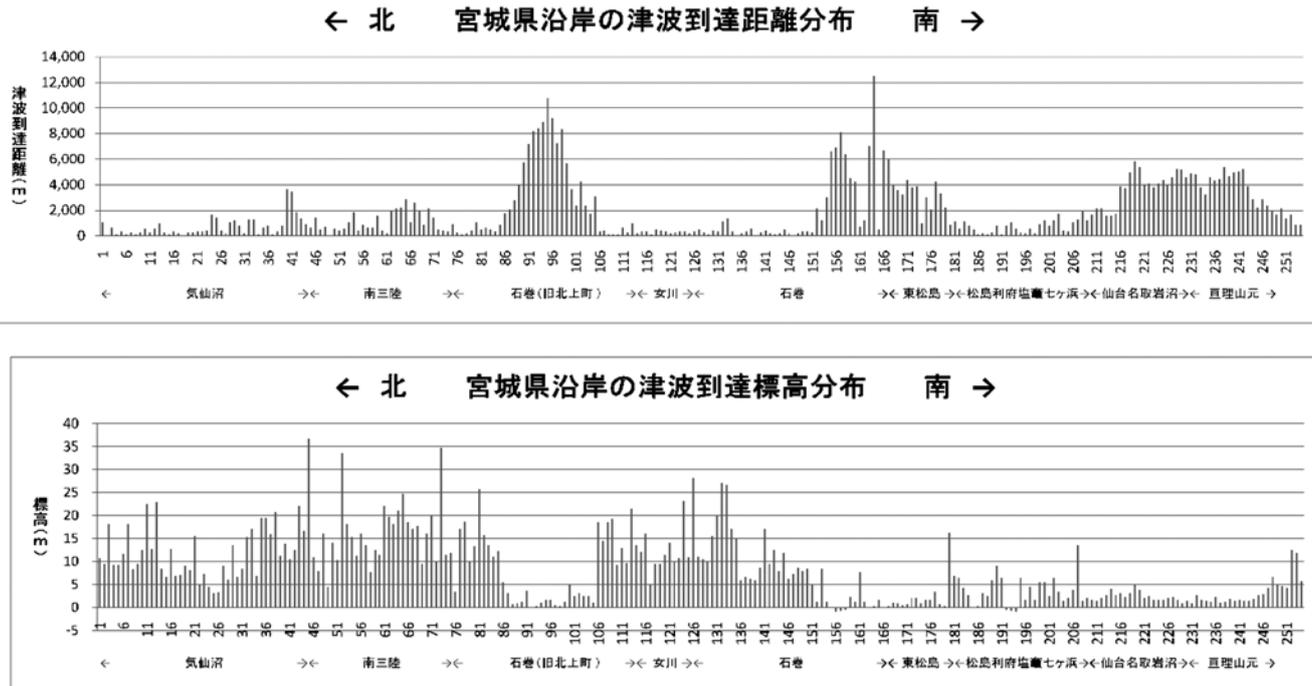


図-2 津波到達距離と到達標高

浸水面積の合計は561km²となり、山手線内側の約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¹⁾。

7. 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行った。

計測方法は以下の通り。

- ① 岩手県境から福島県境までの浸水範囲概況図における浸水範囲境界線（浸水範囲ポリゴンの外周線のうち、海岸線などの水涯線ではない部分）の存在する経緯度1分メッシュにつき1点、計254点の津波到達地点を任意に選定し、北から海岸線時計回りにID番号を付与
- ② ①の各点に津波が進入した経路をGIS上で推定し、その距離（津波到達距離）を計測
- ③ 浸水範囲概況図と震災直後に測量した高精度標高データ（DEM）をGIS上で重ねあわせ、津波到達地点の標高を計測

図-2は宮城県沿岸の海岸からの津波到達距離と

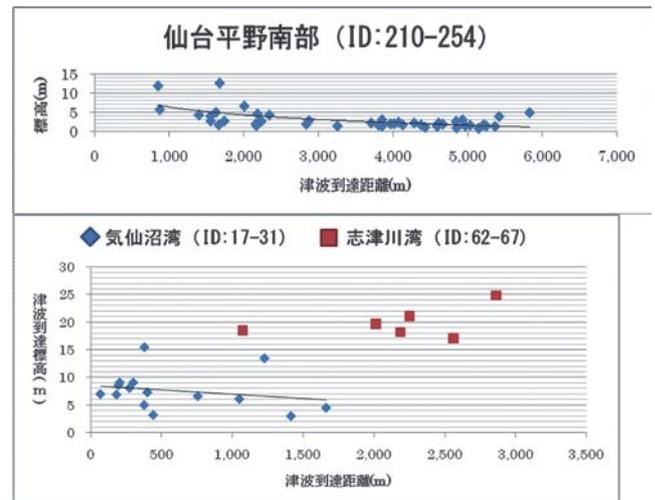


図-3 津波到達距離と到達標高の関係（宮城県）

到達標高をグラフ化したものである（横軸の数字はID番号と市町村名）。これによると、石巻市の北上川およ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0～2mときわめて低い。一方、気仙沼市や南三陸町などの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。

図-3は津波到達距離と到達標高の関係を地域別にグラフ化したものの一例である。仙台平野などの低平な地域では海岸から離れるにつれて津波到達標高が低下しており、標高を考慮した地域計画を考える際に示唆を与える事例と考える。リアス式海岸では地域によって傾向が異なり、例えば気仙沼湾（湾口南向き、南北に細長）では平野部と

有意な違いは見られないが、南三陸町の志津川湾（湾口東向き、ラップ型）では逆の傾向が見受けられる（湾中央付近から奥のデータを使用）。

8. 2万5千分1浸水範囲概況図の公開

概況図の判読結果は2万5千分1地形図上に一旦記入されたうえでGIS化されているため、2万5千分1「原稿図」が存在する。初期段階においては迅速性を優先したため、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）。そこで、判読と精度をあわせるため、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。このため、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し5月31日から公開を開始した¹⁾。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¹⁾（図-5）。

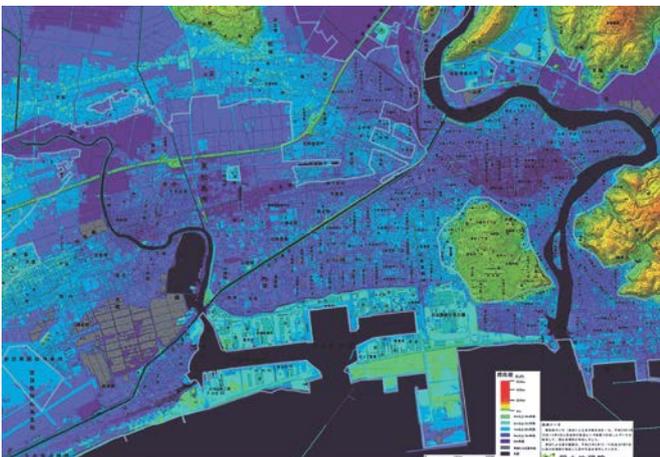


図-4 デジタル標高地形図（石巻付近）
白線の内側が津波浸水範囲

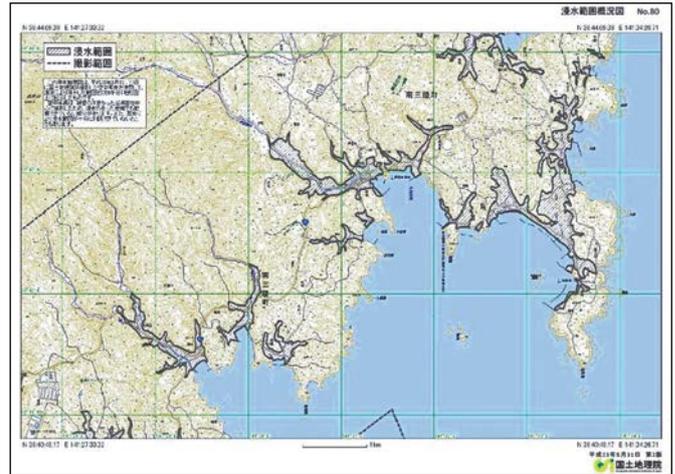


図-5 2万5千分1浸水範囲概況図（南三陸町歌津付近）

9. おわりに

国土地理院応用地理部（2011年4月1日に地理調査部などを組織改編）では、地盤の沈下が著しい沿岸域などを対象に航空レーザ測量を実施している。DEMの完成後は2万5千分1デジタル標高地形図を作成し、8月から順次ホームページで公開していく予定である。なお、宮城県沿岸部については前述の通り、震災直後の計測データによるPDF版デジタル標高地形図を既に公開している¹⁾。

2万5千分1浸水範囲概況図については、DEMによる点検がなされた宮城県を「第2版」として、それ以外を「第1版」として公開している。今後は岩手県と福島県についてもDEMの完成に合わせて「第2版」を順次公開する予定である。

参考文献

- 1) 国土地理院ホームページ：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
- 2) 国土地理院ホームページ：津波による浸水範囲の面積（概略値）について
<http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60001.html>

中島秀敏*



国土交通省国土地理院
応用地理部企画課長
Hidetoshi NAKAJIMA

渡辺信之**



国土交通省国土地理院
応用地理部企画課長補佐
Nobuyuki WATANABE