

地震災害に備える空間計測技術

菱山 剛秀*

1. はじめに

日本は、世界の中で自然災害の多い国である。中でも地震災害は、時を選ばず一瞬の内に多くの生命や財産を奪う。このため、政府は、巨大地震の発生に備え、被害を最小限にするための取り組みを行っている。しかし、甚大な被害が予想される地震災害について

は、国や地方公共団体だけで被害を軽減することは不可能であり、民間企業を含めた国民全体がそれぞれの立場で、実施可能な対策を進めることが求められている。

地震災害に備える上で、空間計測技術の果たす役割は大きい。特に、全国に設置した電子基準点による精密で連続的な測量技術は、

地殻の広域的な変動を捉え、地震発生の予測に不可欠だけでなく、地震発生後は、変動量の解析による地震発生メカニズムの解明が、余震の推移予測の基礎資料として重要である。

また、救援や復旧対策を迅速に進めるためには、速やかな被害状況の把握と関係機関の情報共有が重要である。被害状況の広域的な把握には、航空機による空中写真の撮影や人工衛星データの解析等の地図作成技術が有効である。さらに、把握したさまざまな情報を共有するには、GISの技術が今後ますます重要になることが予想される。

表.1 明治以降の主な被害地震

発生日月日	M*	地震名	死者**	津波
明治5(1872)年3月14日	7.1	浜田地震	555	
明治24(1891)年10月28日	8.0	濃尾地震	7,273	
明治27(1894)年10月22日	7.0	庄内地震	726	
明治29(1896)年6月15日	8.5	明治三陸地震	約22,000	
明治29(1896)年8月31日	7.2	陸羽地震	209	
大正12(1923)年9月1日	7.9	関東地震 (関東大震災)	99,331 43,476	
大正14(1925)年5月23日	6.8	北但馬地震	428	
昭和2(1927)年3月7日	7.3	北丹後地震	2,925	
昭和5(1930)年11月26日	7.3	北伊豆地震	272	
昭和8(1933)年3月3日	8.1	昭和三陸地震	1,522 1,542	
昭和18(1943)年9月10日	7.2	鳥取地震	1,083	
昭和19(1944)年12月7日	7.9	東南海地震	998	
昭和20(1945)年1月13日	6.8	三河地震	1,961	
昭和21(1946)年12月21日	8.0	南海道地震	1,330 113	
昭和23(1948)年6月28日	7.1	福井地震	3,769	
昭和35(1960)年5月23日	9.5*	チリ地震津波	122 20	
昭和58(1983)年5月26日	7.7	日本海中部地震	104	
平成5(1993)年7月12日	7.8	北海道南西沖地震	201 29	
平成7(1995)年1月17日	7.3	兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災)	6,433 3	

* 地震の規模(マグニチュード) ただしチリ地震津波はモーメントマグニチュード。

** 上段は、死者数。下段は行方不明数。(被害数は宇佐美「日本被害地震総覧」、総務省 消防庁の資料による。)

* 国土地理院 企画部

東海地震などの大規模地震や、阪神淡路大震災のような大都市の直下で起こる地震に備え、官民それぞれの立場で、空間計測技術を生かし、地震災害を軽減するための取り組みが求められている。

2. 地震災害の特徴

平成7年1月17日の未明に兵庫県南部を襲った地震では、6,433人が死亡した。明治以降で死者が100人以上を数える地震は19件を数え、時期に粗密はあるものの、平均すると約7年に1回発生していることになる。(表1)

地震による被害には、地震が引き起こす揺れと海域で発生した場合の津波によるものがある。

巨大地震と呼ばれるものは、主に地球表面を覆う複数のプレートが接するところで発生している。日本周辺は、複数のプレートが接する場であることから、地殻変動が活発で、巨大地震の発生も多い。このため、プレート内での破壊も起こり易く、内陸部では地表付近の浅い部分で発生する地震により、大きな被害が出ている。

地震は、直接の揺れによる建物等の倒壊、斜面崩壊、地盤の液状化等の被害に加え、火災や破堤による洪水などの二次災害も発生させる。1923(大正12)年の関東大震災では、死者が99,000に達し、このうちの半数近くが火災による死者であった。また、日本列島周辺の海域で発生する大規模地震には、津波を伴うものが多い。津波に襲われると強い水流による流出、漂流物による建物等の破壊、浸水等の被害が発生する。1896(明治29)年の明治三陸地震では、津波による死者が22,000人に達した。

3. 地震に対する政府の体制

3.1 法律等の整備

わが国の地震災害に関する法整備は、1959(昭和34)年の伊勢湾台風を契機に、1961(昭和36)年に災害全般の基本的な考え方を示した災害対策基本法が制定され、その後、東海地震、東南海地震及び南海地震等の大規模地震や千島海溝及び日本海溝で発生する海溝型地震の発生に備えるため、個々の地震災害を対象にした個別法の整備が進められた。

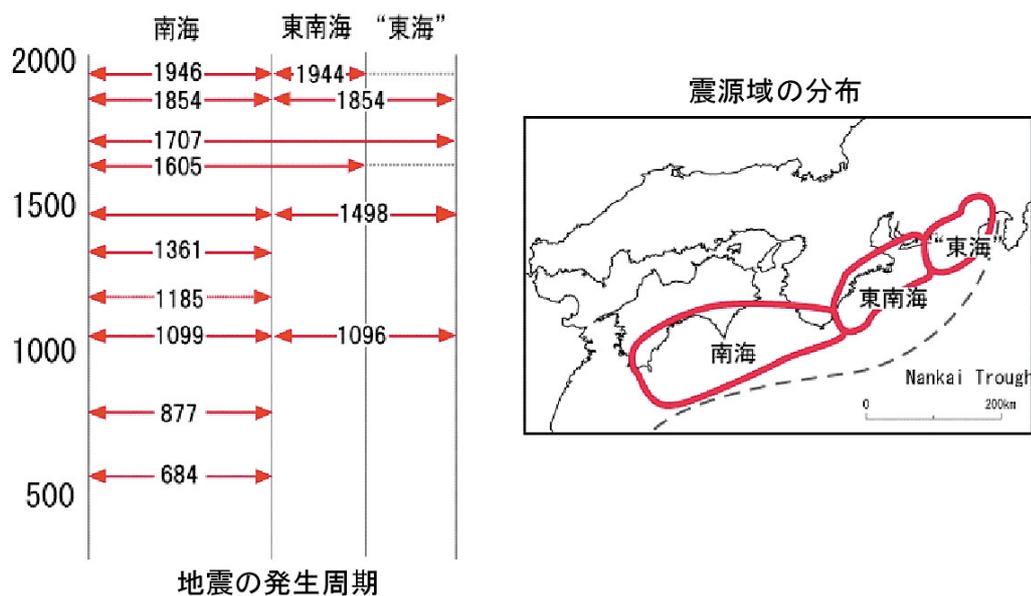


図.1 東海地震・東南海地震・南海地震の発生周期と震源域の分布(内閣府資料による)

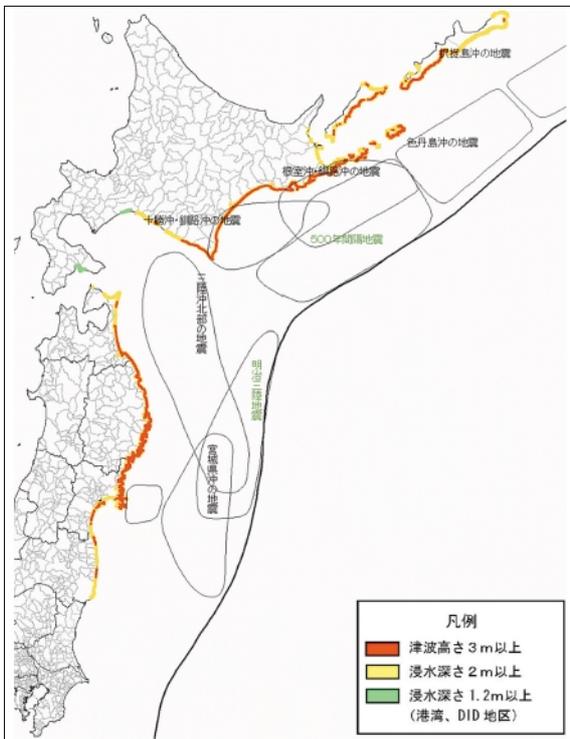


図.2 日本海溝・千島海溝周辺海溝型の対象地震

特に、大規模地震で切迫性が高く、発生した場合には被害も甚大となることが想定される東海地震については、1978（昭和53）年に大規模地震対策特別措置法が制定され、震災対策を実施するための財政面での措置として、地震防災対策強化地域における地震対策緊急整備事業に係る国の財政上の特別措置に関する法律、いわゆる地震財特法が1980（昭和55年）に制定された。

その後、1995（平成7）年1月に発生した兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）を契機に、内陸の直下型地震の対策も考慮した地震防災対策特別措置法が制定された。この法律に基づき、政府の特別の機関として地震調査研究推進本部が設置され、活断層や地震発生の危険性などの調査研究が進められている。

また、大規模地震対策特別措置法の対象となった東海地震の発生に伴い、過去にその西側で東南海地震や南海地震が同時又は数年の間に発生している（図.1）ことから、2002（平成14）年には、これらの地震を対象にし

た東南海・南海地震防災対策の推進に関する特別措置法が制定された。

さらに、2004（平成16）年には、関東地方以北の太平洋沿岸で発生している地震に備えるため、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法が制定された。（図.2）

これらの地震については、発生する被害の予測が行われ、防災対策を推進する地域が市町村単位で指定され、被害の軽減に向けて具体的な取り組みが進められている。

3.2 調査研究体制の整備

兵庫県南部地震は、プレート間で発生する巨大地震以外に、内陸部で発生する直下型地震の脅威を見せつけた。

このため、政府として地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、一元的に推進するため、地震防災対策特別措置法に基づき、政府の特別の機関として、地震調査研究推進本部が設置された。

本部の中には、政府全体の地震に関する基本施策や調査観測計画及び予算の調整、広報を行うための政策委員会と、関係機関の調査結果を収集・整理・分析して総合的な評価を行う地震調査委員会が設置されている。

地震調査研究推進本部は、これまでの活断層の調査結果等から、個々の地震について長期評価による地震発生確率値や全国を概観した地震動予測地図等を公表している。

なお、地震調査研究の基礎資料となる地震、津波、地殻変動の観測、活断層の調査等については、国土地理院、気象庁、海上保安庁、大学、地方公共団体等の各機関が実施している。

3.3 地震を予知した場合の体制

現在唯一、地震発生の短期的な予測の可能

性が想定される東海地震については、地殻変動等の観測結果に異常現象が観測された場合、地震発生の可能性を判断するため、1979（昭和54）年に気象庁長官の私的諮問機関として、学識経験者からなる地震防災対策強化地域判定会が設置されている。

気象庁長官は、この判定会の結果を受け、観測情報、注意情報、予知情報等を発信することになっている。また、内閣総理大臣は、東海地震の発生が確実と判断された場合には、閣議を開催し、警戒宣言を発するとともに、地震災害警戒本部を設置し、対応に当たることになっている。

4. 地震災害に備える空間計測技術

4.1 GPSによる連続観測

地震予知のための調査観測や地震発生のメカニズムを研究する上で、地殻の動きを捉え

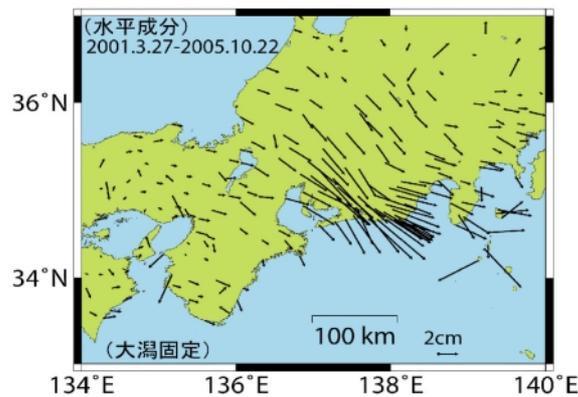


図.3 東海地方の地殻変動

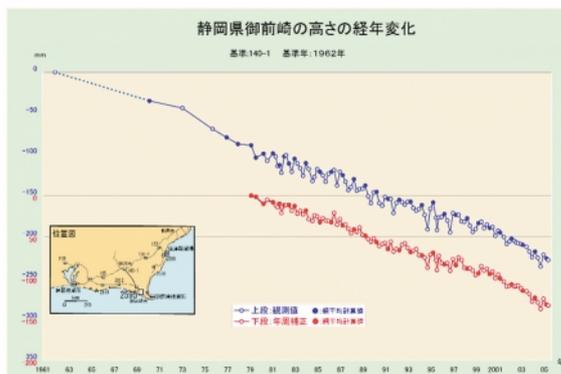


図.4 静岡県御前崎の高さの経年変化

ることや、土地に刻まれた過去の地震の記録を地図に整理することが重要である。

中でもGPSを利用した電子基準点による地殻変動の連続観測は、水平位置や垂直方向の変化とともに、動きの速度も捉えることが可能になり、広域的な地殻変動の監視に不可欠な技術となっている。(図.3)

しかし、GPSによる測量は、高さの精度において従来の水準測量に及ばない。こうした電子基準点による観測を補うため、東海地震の対象地域においては、高精度な水準測量を繰り返し実施し、電子基準点の成果と合わせて地殻変動を監視している。(図.4)

4.2 活断層の調査

兵庫県南部地震が野島断層の活動によるものであったことから、陸域のプレート内で発生する地震については、活断層の調査が重要であることが認識された。活断層は、地震発生時に地震断層として地表に出現し、痕跡を残すが、時間が経つにつれ風化や人為的な土地の改変により薄れてしまう。

このため、活断層を効率的に見つけ出すためには、地震断層が出現して間もない時期に

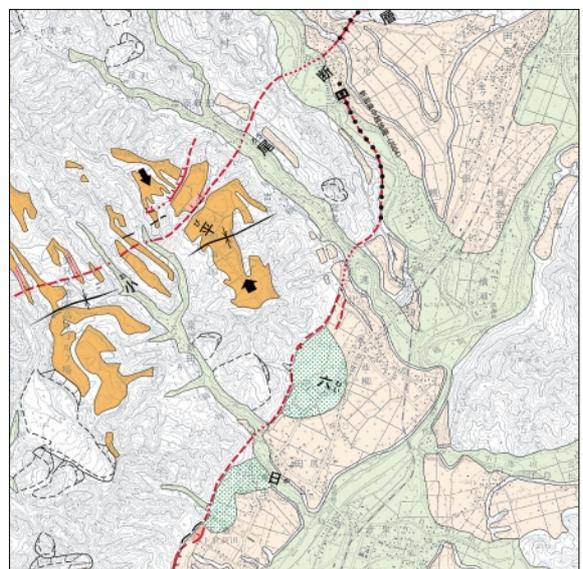


図.5 1：25,000都市圏活断層図「小千谷」

撮影された空中写真や人工改変が行われる前の地形図等が不可欠である。国土地理院は、過去に作成した地形図や地形図の作成に使用した空中写真を保有していることから、阪神淡路大震災直後からこれらの資料等を利用して活断層の詳細な位置を調査しており、調査結果は、2万5千分の1都市圏活断層図として公表している。(図.5)

4.3 土地条件調査

昭和34年伊勢湾台風の前後に行われた濃尾平野の地形調査と水害調査により、土地の生い立ちや性状、地盤の高低、干拓・埋立の歴史などをあらかじめ調査しておくことで、洪水や高潮などにより、何処がどのような被害を受けるかをある程度まで推定できることが明らかになった。これを契機に土地条件調査が始められ、調査結果は、2万5千分の1土地条件図にまとめられている。

土地条件調査は、水害の予測を目的に始められた調査ではあるが、成因により分類された平地の地形は、地盤の性状を表しており、地震による揺れやすさや、液状化発生等の予測にも利用可能なことから、最近の調査では、調査項目に活断層の位置を加えるなど、地震による被害予測の基礎資料としても利用

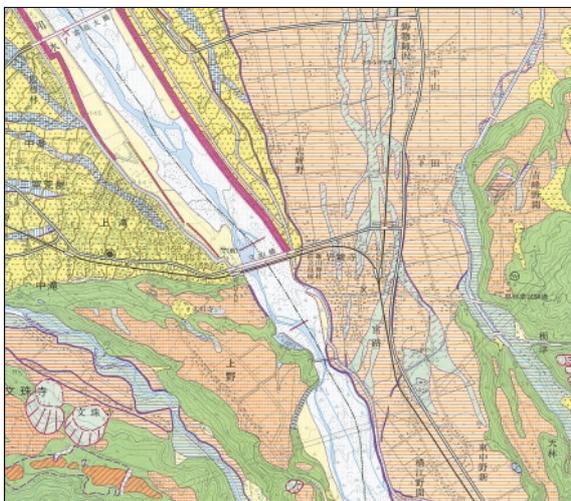


図.6 1:25,000土地条件図「富山」

できる内容になっている。(図.6)

4.4 精細な地形データ

土地の形状を表す地表面の起伏データは、これまで個々の地点が直接計測されたものではなく、地図に描かれた等高線を元に作成されていたため、地表面の微細な地形を把握することは困難であった。

しかし、航空機に搭載したレーザスキャナによって、地表面のデータを直接取得する技術が実用化し、建物や道路などの構造物を含む微細な地表面の凹凸を取得した数値地表モデル(DSM: Digital Surface Model)の作成が可能になった。

一方、自然災害に対する危険性を考える場合には、こうした数値地表モデルとともに、市街地の建物や橋、樹木などを取り除いた地表面の高精度な数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)も重要であることから、国土地理院では、南北及び東西方向の格子状にそれぞれ5m間隔の数値標高モデルを作成している。

このデータを使用することにより、平野部

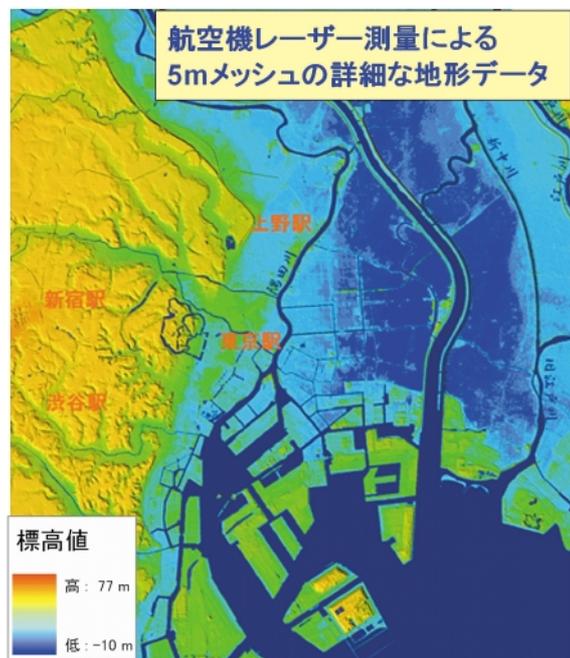


図.7 5mメッシュ標高データによる段彩陰影図

においても陰影段彩図等により微細な地形が表現できるほか、浸水被害、河川災害等のシミュレーションがより高精度に行えるようになった。(図.7)

こうした詳細な土地の起伏を示すデータは、平野部に立地する都市部の災害防止対策に不可欠な情報といえよう。

4.5 過去の災害記録

災害を軽減するためには、そこに暮らす住民の意識が大事である。特に、津波の場合は、地形によって、災害の様子が大きく異なることから、地域ごとの対策と住民の意識が被害の大きさに直結する。

住民の津波に対する意識を高めておくためには、過去の津波の記録を教訓として伝承するなど、平常時からの対策が重要である。

しかし、災害の記録は、災害発生時には応急対策、復旧事業等を実施する目的でさまざまな資料が作成されるものの、多くの場合、詳細な災害の状況を記録した地図は残されていない。

そんな中で、国土地理院が昭和20年代から被害の大きかった災害ごとに作成してきた災害状況図は、災害の状況を地図に記録した貴重な資料と言えよう。

図8は、1960(昭和35)年に南米チリで発生した地震による津波で、宮城県志津川町(現:南三陸町)の被災状況を記録した地図である。津波災害が発生した直後に撮影された空中写真を使用して、津波遡上状況の予察を行い、その後の現地における被害の聞き取りと痕跡調査により、津波の侵入方向、到達限界、湛水状況、家屋・橋梁の流失、破堤地点、侵食・堆積地域などが詳細に記録されている。

4.6 危険地域の広報

住民への広報という観点では、どこでどの

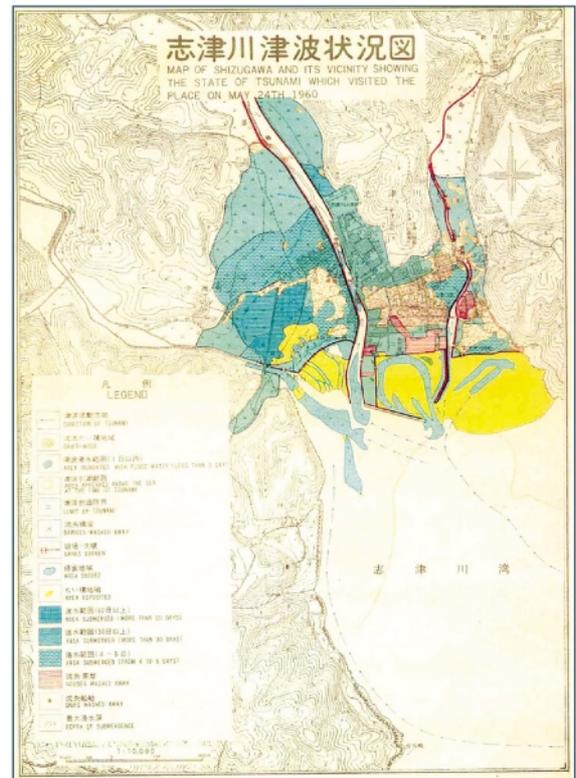


図.8 志津川津波状況図

ような被害が発生するかといった災害予測地図とともに、災害発生時の危険の程度を示す地図や災害が発生した場合に住民が実際の避難に必要な情報を得るための避難用地図が必要である。

災害予測地図(ハザードマップ)の整備については、これまでも必要性が叫ばれており、特にわが国で発生頻度の高い洪水については、多くの市町村が整備を進めている。

しかし、地震のハザードマップについては、対象とする地震像の特定をはじめ、揺れの規模や液状化発生等の基礎となる地盤情報の扱いなどに専門的な知識が必要であり、地図の表現も含め整備方法のさらなる検討が必要と思われる。

そうした状況の中で、内閣府が地形区分の情報をもとに作成した「揺れやすさマップ」やこれに建物等の耐震性や可燃性等を考慮した「地域の危険度マップ」などは、地震を対象とした広報用地図の表現方法のひとつとい

えよう。

また、住民の避難用地図のひとつとして、「帰宅困難者支援マップ」が最近話題になっている。名古屋市でも作成されているが、大都市で平日の昼間に地震が発生された場合、交通機関が利用できなくなり、都市の中心部に多くの帰宅困難者を抱えることが予想される。こうした帰宅困難者のうち、徒歩で帰宅可能な人を支援するための地図が帰宅困難者支援マップであり、住民避難用の地図の一種といえる。

5. 地震発生後に必要な空間計測技術

地震が発生した場合、速やかに被害状況を把握し、二次災害の発生を防止する等、被害の拡大防止に努める必要がある。

また、新潟県中越地震では、強い余震が続いたが、余震発生の予測には、震源や震度分布などとともに被害者の救出、非難対策、復旧対策を進めるためには、迅速な被害の実態把握が不可欠である。

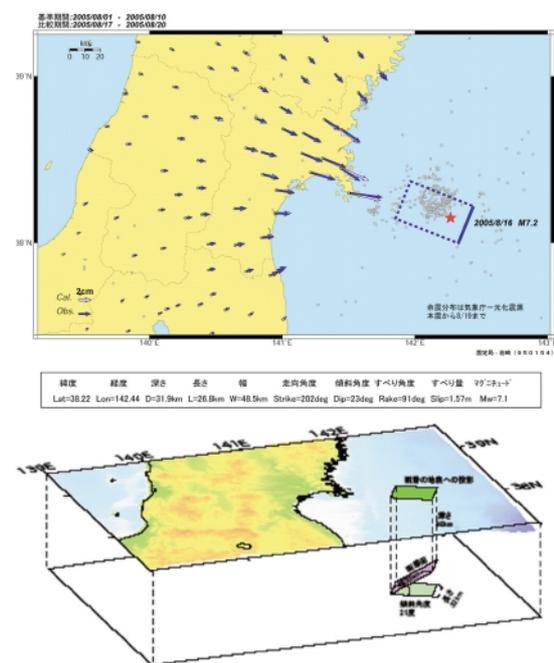


図.9 平成17年8月16日宮城県沖で発生した地震の地殻変動と断層モデル

5.1 発生した地震像の解明

国土地理院では、全国に設置した電子基準点の連続観測結果を分析し、地震発生に伴う地殻変動の様子を広域的に把握するとともに、地震のメカニズムを推定し、地震像の解明を行っている。図.9は、昨年6月16日に宮城県沖で発生したマグニチュード7.2の地震に伴う地殻変動と地殻変動をもとに推定した断層モデルである。

5.2 被害状況の把握

地震等による広域的な被害状況の把握には、航空機による空中写真の撮影が有効である。このため、大規模な災害が発生した場合、国土地理院が保有している航空機「くに



図.10 航空機による空中写真の撮影

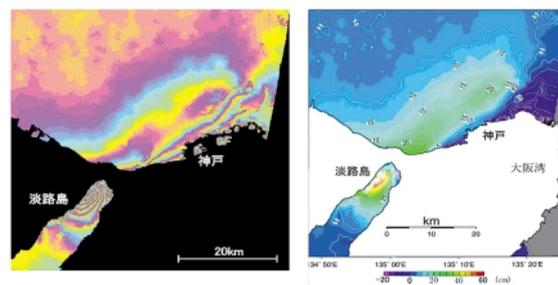


図.11 人工衛星データによる地殻変動の把握

かぜ」により空中写真の撮影を実施している。しかし、地震による被害が広域に及んだ場合、1機しかない航空機では、撮影に長時間を要することから、平成17年に民間の航測企業と共同撮影の協定を締結し、迅速な対応がとれる体制をとっている。

また、撮影後の処理をより迅速化するため、デジタル航空カメラの導入や人工衛星搭載センサ実利用化を進めている。(図.11)

5.3 情報の共有

地震に限らず、災害が発生した場合、災害の状況はもとより、被災者の安否や所在、救援の状況、交通やライフラインの復旧状況等の情報は、行政機関だけでなく、一般国民にとっても重要な情報である。しかし、これらの情報は、担当する行政内部にとどまることが多く、被災者や一般国民を含めて共有されることがない。

行政内部の情報共有についても、ほとんどが文字情報であり、被害の全体像が認識されにくいといった課題がある。



図.12 電子国土Webによる新潟県中越地震災害状況図

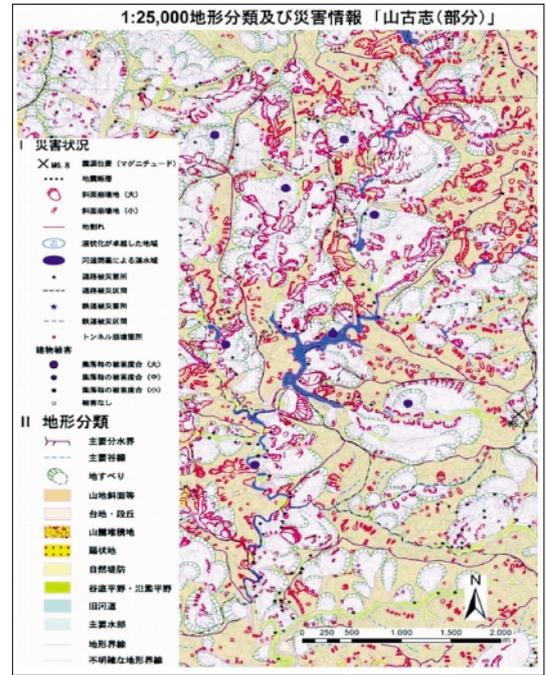


図.13 1:25,000地形分類及び災害情報

このため、平成16年9月23日に発生した新潟県中越地震では、国土交通省内で保有していたさまざまな情報を国土地理院の「電子国土Web」上に集約し、インターネットで配信した。(図.12)

GISの機能を利用したこの仕組みは、国土地理院の最新の地形図が利用できるほか、表示させたい災害情報を自由に選択して、重ね合わせる事ができ、現地の様子を撮影した写真などの画像データも表示できるようになっている。

また、電子国土Web以外にも土砂災害の状況を2万5千分の1地形図上に表示した災害状況図を印刷して、地元の地方公共団体等関係機関に配布している。(図.13)

5.4 復旧事業に必要な基準点の整備

被災地の復旧・復興には、被害を繰り返さないためにもしっかりした計画が必要である。

復旧・復興計画の基礎になるのが、被災前あるいは被災の様子を記録した地図や空中写真であり、被災によって消えたり、変形して

しまった地形から地域の骨格を再構築するための基準点である。国土地理院は、被災地を支援するため、三角点や水準点の再測量を行い被災地の基準点を再整備した。

5.5 復旧計画等に必要な地図の整備

災害の復旧・復興計画の策定や事業の実施に詳細な地形図は不可欠である。新潟県中越地震では、山間部で多くの道路が被災し、孤立する集落が続出した。このため、特に生活幹線となる国道等の早期復旧が求められたが、復旧工事には、災害の様子を定量的かつ詳細に表した地形図が必要であった。

しかし、詳細な地形図の作成には一定の期間を要するため、地形図に代えて、被災状況を撮影した空中写真を正射写真に変換し、既存の地形図と重ね合わせた「正射写真図」を応急的に作成することとした。

正射写真図には、被災状況と地形図の情報が重ねて印刷されていることから、地名などの情報に加え、広範囲が1枚の地図になっており、空中写真では位置が特定しにくいといった欠点を補うことができる。また、デジタル化されていることから、地図の縮尺も一定の範囲内で自由にえられる。新潟県中越地震の際は、要望のあった地域や縮尺に合わせ6,500分1、2,500分1、1,000分1で作成した。



図.14 5,000分の1新潟県中越地震災害対策基本図

また、土砂災害の被害が著しかった旧山古志村については、5,000分の1地形図の要望もあり、国土地理院が平成17年3月までに作成し提供した。

さらに、被災地全体の復旧に必要な地図の要望があったことから、平成17年度に空中写真を再撮影し、被災地全体を53面でカバーする5,000分の1正射写真図(図.14)を作成し、被災地の関係機関に提供した。

6. まとめ

わが国では、地震、火山の噴火、集中豪雨による洪水や土砂崩れなどの自然災害により、毎年多くの人命や財産が失われている。

こうした災害の発生を予め知ることができれば、災害が発生する前に避難行動をとることが可能となり、多くの人命を救うことができる。

地震は予知が難しい災害の代表ではあるが、GPSによる精密な位置測定の繰り返しにより、日本列島全体の動きが監視できるようになった。また、人工衛星による観測データの解析技術も進んでおり、地域的な変動を面的に捉えることができるようになってきている。現在でも地震発生の危険地域や長期的な発生を予測することは可能であるが、こうした技術は、まだ、緒に着いたばかりである。今後、地殻の動きと発生した地震のデータが増えるにつれ、地震発生の長期的な予測から、短期的な予知も可能になるときが近づくものと期待している。

また、GISは、地殻変動や被害予測などの空間情報の解析、各種ハザードマップの作成をはじめ、災害発生後の避難者、救援、復旧などにおける情報共有にも欠くことのできないツールとなっている。

このように、空間計測技術は、防災の分野における基盤的な技術となっている。

7. おわりに

災害に際しては、一人ひとりの工夫の総和が大きな減災効果を生む。災害による被害を軽減するためには、行政による公助だけでなく、個々人の自覚に根ざした自助、地域コミュニティ等による共助が必要との認識に立ち、昨年の防災白書では、災害被害を軽減するために、社会全体で生命、身体、財産を守るための具体的な行動を実践する国民運動の展開が提起された。

国民運動の展開においては、国民一人ひとりの防災意識の向上、家庭や職場における備え、地域コミュニティ等による防災力の向上が必要である。家具の固定、食料や水の備蓄といった初歩的な災害対策だけでなく、住宅・建築物の耐震化、ハザードマップの整備確認、企業の災害時事業継続計画（BCP）の策定、防災ボランティアの活動環境の整備、商店会やNPO等の防災活動等の具体的な行動を実践するよう社会全体に、広く呼びかけるとともに、新たな手法を開発することとしている。

こうした、社会的要請に応えるためにも、測量及び地図作成に携わる私たちは、空間計測技術をさらに進展させるとともに、地域防災マップの作成、災害に対する知識の普及活動等を通して、平常時から地域に根ざした活動を進めることがこれからますます重要になってくるであろう。

（講演日：2006年1月26日）

参考

内閣府ホームページ：

<http://www.bousai.go.jp/>

国土地理院ホームページ：

<http://www.gsi.go.jp/>

気象庁ホームページ：

<http://www.jma.go.jp/jma/>

地震調査研究推進本部ホームページ：

<http://www.jishin.go.jp/main/>

講演者紹介

菱山 剛秀（ひしやま たけひで）

所属：国土地理院 企画部