

# GIS を用いた地域防災支援システム

中田慎介\*      那須清吾\*\*      高木方隆\*\*\*

高知工科大学工学部

〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185

**要約:** 現在, リモートセンシングと GIS を用いた地域防災支援システムの開発が急務となっている。つまり, 災害監視のためのデータの取得方法を開発し, 防災に関連する様々なデータを整備し, それらを活用することによって被害を最小限にするためのシステムを確立することが要求されている。そこで, リモートセンシング技術を用いた災害監視について, 要求精度を明確にした上で有用性を検討した。その結果, 画像において高精度を達成するためには, 不変的な高精度の基準点が必要になり, 農地等の形を利用した基準点が有効であることが判った。また, データの取得数と精度との関係を誤差モデル式で明らかにすることが出来た。さらに, 災害情報の集約のため, Web GIS を構築した。GPS 内蔵のデジタルカメラにより撮影された画像情報が, Web を介してサーバーにアップロードされることにより, 位置情報とともに状況を把握できる仕組みが構築された。これにより, 紙地図を用いた状況の把握に比べて, 二倍近い効率で情報を集約できることが確認された。一方, 災害に関連する様々なデータを整備し, それらを活用することで, 様々なハザードマップを作成することができ, 避難場所の選定にも有効であることも確認された。

**Abstract:** Disaster prevention system using remote sensing and geographic information system should be established. Development of data acquisition method for disaster monitoring, preparation of various dataset which related to disaster prevention and establishment of management systems for minimization of damage are required. Firstly, disaster monitoring using remote sensing was investigated. The results showed accurate control points are needed for detecting disaster. And error distribution model was developed, which is related with number of data and accuracy. Secondary, Web GIS was established, which can open to the public the geographic information. And gathering system for disaster information using GPS digital camera was developed. When images by GPS digital camera are uploaded to the Web Server, information of location, time and image file name can be converted to GIS data. This system could be achieved the twice efficiency comparing with conventional method using paper maps. Various GIS data can performed generating hazard map and supporting suitable point selection for evacuation.

## 1. 背景

災害についての研究は, 従来, 発生要因の分析

と発生予測に偏りがちである。特に自然災害は, ある程度の地域性はあるものの自然条件の微妙

な違いによって、その災害の発生状況は毎回異なるものである。したがって発生予測は極めて困難であり、危険地域を特定することは出来ても災害発生時刻は特定できていない。このような状況において、完璧な防災システムを構築すること自体困難であるが、財政状況を考慮した上で、被害を最小に抑えるため、最適なハードウェア整備や災害発生後のソフト的体制の整備を提案する必要がある。特に防災のためのハードウェアの設計については、数多く議論されているが、ハードウェアの配置手法に関する研究は少なく、災害発生後の対応体制のあり方について言及しているものはない。そこで防災をシステムと捉えてマネジメントする観点から、改めて防災対策のあり方、ハード・ソフトのインフラのあり方、災害原因の調査方法について問い直さなければならない。したがって、災害原因の究明・ハード・ソフトの防災対策、リスク評価・管理にとどまらず、戦略目標に対してそれらを如何に効果的に運営するかについての研究を実施する。近年情報通信技術の発展は目覚ましく、様々なセンシング技術や情報処理・公開技術が開発されて来た。リモートセンシングや地理情報システム（GIS）は、代表的な例である。これらは、防災システムの構築に大きく寄与できるものの、膨大なデータを処理するためには、非常に高価で利用に際しても専門知識が必要となることから、普及が進んでいなかった。しかし近年フリーの画像処理ソフトウェアやGISが利用できるようになり、一般的なコンピュータで十分な機能を発揮できるようになって来た。そこでリモートセンシングとGISを用いた地域防災支援システムの開発が急務となっている。システムの開発自体は、特に大きな課題は存在しないが、重要なのはデータ整備である。今まで様々なGISが自治体において導入されつつも、年数が経つうちに利用されなくなる原因は、データが更新できていないことや他のシステムのデータと連携できないことにある。したがって、データの要求精度や必要更新頻度をデータごと

に明らかにし、効率の良いデータ更新手法を確立しながらシステムを構築しなければならない。

## 2. 目的

### 2.1 災害監視技術

防災ハードウェアの整備と災害監視は、被害を軽減するための重要な項目であり、常に同時に考慮しなければならない。防災ハードウェアの完備は、莫大な経費を必要とし、現状では部分的な整備となってしまう。したがって、この状況を補間するために、精度の高い災害監視技術を併用する必要がある。そこで、現在のセンシング技術とセンサを登載するプラットフォームを調査し、災害監視に適したセンシング技術を構築する必要がある。レーザー計測、デジタル写真測量等を用いて、広域監視、特定領域監視の両面からシステムティックな災害監視のワークフローを提案する。

### 2.2 防災データベース構築

現在様々な機関で、既往災害について、その素因・誘因を解析し、各機関でハザードマップを作成しているが、これらが絵地図としてしか活用されていない状況である。これを用いて、他のデータと連携させて防災システムに役立てたり、防災ハードウェアの配置計画を進めるまでには至っていない。そこで、様々な情報の基礎となる地理情報システムを構築し、防災ハードウェアの適地評価を行う必要がある。

現在地方自治体で利用している紙地図は、500～50000分の1の縮尺レベルであるが、地理情報システムにおいては縮尺の概念がないため、用途に応じた要求精度が明らかにされなければならない。さらに地形情報、気象情報、社会経済データなど、どのような項目が必要となるかを精査しておく必要がある。

さらに、災害時において、被災状況を効率よく取得するためのシステム構築も行う必要がある。GPS機能付きのデジタルカメラとWebGISを連携させ、効率よいデータの取得と現況把握の仕組みを構築しなければならない。

## 2.3 被害最小化マネジメントの提案

ある地方自治体を対象に、防災マネジメントシステムを構築する。防災システムを構成する施策を分類し、災害発生時に防災システムの目的を達成するための体制を構築する。目的として、発生後の被害最小化、トータルの被害最小化を取り上げ、ハードウェア・ソフトウェアの最適な施策選択をシステムティックに行える仕組みを構築する。

## 3 災害監視技術

災害監視は、距離の計測や物体を判読する機器であるセンサと、そのセンサを搭載するプラットフォームとの組み合わせが重要となる。例えば、プラットフォームとしての人工衛星は、数日間の周期的な観測が出来るものの、大気の影響とも相まって、災害直後の状況をピンポイントで捉えることは困難である。一方、現地に据え置くタイプのプラットフォームは、ピンポイントで捉えることは出来るものの範囲は限定的である。したがって、それぞれのプラットフォームの役割を明確にした上で、災害監視の運用にあたらなければならない。

### 3.1 人工衛星を利用した災害監視

プラットフォームとしての人工衛星は、災害監視というよりも、災害前の定期的な観測業務と位置づけるべきである。周期的な観測が可能であるので、地形や・土地被覆状態の変化を追跡し、来るべき災害に備えるためのハザードマップ作りに期待される。現在人工衛星により得られるデータを用いて変化を追跡する技術は多く存在するが、精度において曖昧な部分が多く解決されていない。変化追跡技術の確立が急がれている。昨年度は、高精度の変化抽出手法を提案したが、その

ためには、多時期データを精密に重ね合わす必要がある。具体的には、少なくとも1/4ピクセル未満の誤差で幾何補正されていなければならない。したがって、現時点において、基準点の構築が最重要課題である。

高精度の基準点は、円形ターゲットを利用することが望ましいとされている。例えば、空間分解能1m未満の高分解能人工衛星の場合、直径10m程度以上の円形ターゲットが地上に配備されていなければならない。しかし、そのような円形ターゲットを多数配備することは実際問題として困難であり、もし今後配備されたとしても特に過去に取得された画像については、高精度の幾何補正が出来ない。したがって、円形ターゲット以外の基準点を利用できるか検討する必要がある。なお、円形ターゲットを用いて幾何補正を行った場合でも、約1/3ピクセル程度の誤差が残ってしまう状況であり、更なる精度向上策が必要となる。

今回、多角形の基準点を利用できるかどうかを検討した。多角形の基準点を利用できれば、農地の形状等が利用可能となり、様々な地域においての利用が期待できる。そこでまず、シミュレーションにより、多角形の図心を基準点として利用可能かどうか検討を行った。その結果、センサの角度が10°未満であれば、要求精度の範囲内であることが確認された。そこで、実際に高分解能人工衛星画像IKONOSを用い、多角形の基準点を用いた幾何補正を試みた。

15カ所において、農地の周囲を計測した。その基準点の分布を図3.1に示す。

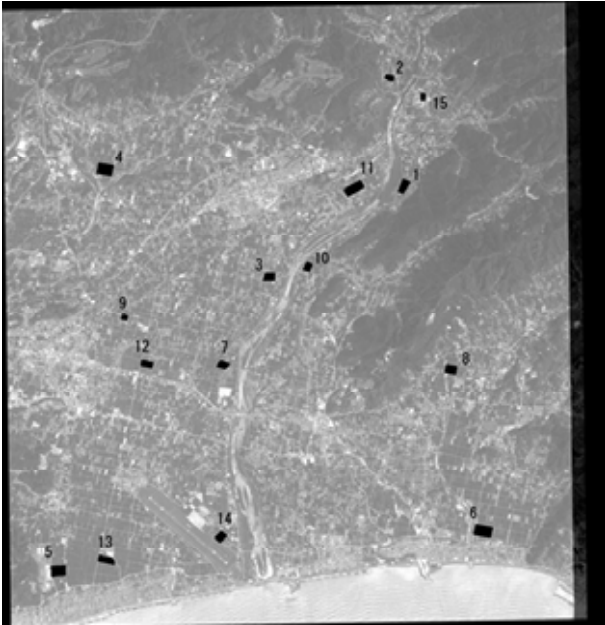


図 3.1 基準点の分布

計測には GPS を用いたキネマティック測量を用いた。この測量の誤差は、数 cm なので、基準点の測量には十分な精度である。これら 15 カ所の基準点のうち、8 カ所を幾何補正のための基準点、7 カ所を検証点として利用した。その結果、約 1/3 程度の誤差で補正することができた。したがって、円形以外の多角形の基準点でも同等の精度で幾何補正できることが確認できた。さらに精度向上を求めるためには、イメージマッチング等の手法も取り入れることで対応できると考えられる。

### 3.2 地上観測による災害監視

現地据え置き型のプラットフォームは、あらかじめ危険であると判定されている地域に限定される。例えば斜面の監視に利用されている伸縮計やボーリング孔内の傾斜計等がその代表である。しかし災害は危険とは判定されていない地域でも発生することがある。したがって、携行生が高く、簡易に計測できる機器による監視システムが必要とされている。例えば、デジタル写真測量やレーザースキャナ測量は、期待されているが、地

盤の微妙な変位を追跡するほど計測精度がまだ十分でなかったり、データ量が膨大になるため、データ処理に専門的な知識が必要となる。実際に運用するには、精度向上策を検討した上で洗練された地盤変位抽出法を確立する必要がある。

昨年度、レーザースキャナを導入し、実際に地すべり防止区域において計測実験を行い、その有用性について検討した。導入したレーザースキャナは、0.032 度毎に距離を観測し、レーザースキャナの位置と姿勢より高密度の三次元座標を取得することが出来る。精度は、標準偏差で  $\pm 2.5\text{cm}$  であるが、オブジェクトマッチングの手法により、約  $\pm 1\text{cm}$  程度の動きを抽出することが出来た。今年度は、さらに精度を向上させることが可能かど

$$\sigma_0 = \frac{P\sigma}{r\sqrt{n}}$$

うか、レーザースキャナの平面計測における誤差モデルを構築し、検討した。構築した誤差モデル式を以下に示す。

$\sigma_0$ : 誤差量

$\sigma$ : 計測機器の精度の標準偏差

$n$ : 取得データ数

$P$ : 未知係数

$r$ : 計測平面の一辺の長さ

この誤差モデル式は、平面計測において得られるデータ数が多ければ、誤差が小さくなることを表している。シミュレーションデータを作成し、上記モデル式における未知変数  $P$  を求めた。さらに室内において平面を計測し、誤差モデル式の検証を行った。図 3.2 に誤差分布モデルと室内計測との比較結果を示す。

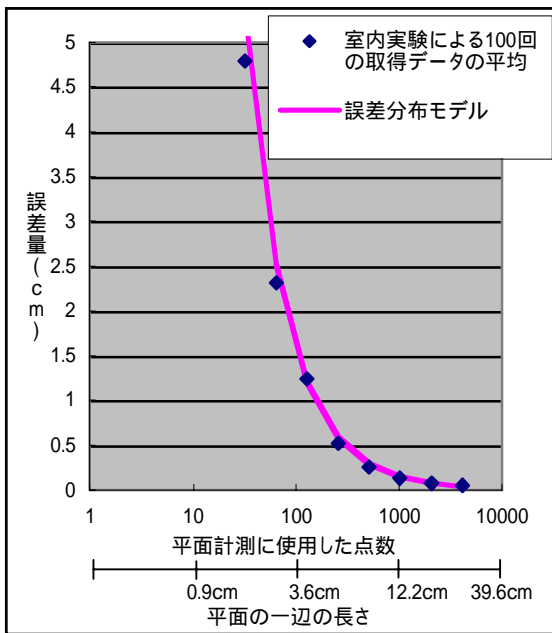


図 3.2 誤差モデルと実験結果の比較

その結果、構築したモデル式は、室内での計測結果と一致することが確認された。この誤差モデル式を用いれば、データ数がどの程度得られれば、要求精度を満たせるかが判断できる。したがって、効率の良い計測が可能となる。今後実際の地すべり地域において変化抽出を試みるが、高精度で変化を抽出するためには、高精度の基準点が必要となる。人工衛星画像における基準点と同様に、現地計測においても新たな高精度基準点を提案しなければならない。現在、三次元の立体物による基準点について検討中である。

#### 4. 防災データベース構築

災害監視と同時に必要な要素がデータベースである。特に地理情報システム (GIS) は、災害監視結果を管理するだけでなく、既往の災害に関する情報や災害に関連する様々な情報をもとに災害解析や防災計画に役立てることが出来る。最終目標は、防災ハードウェア配置手法の確立であるが、初年度の平成 16 年度より、防災データベース構築を試みている。

##### 4.1 今回追加したデータ

平成 17 年度は、津波シミュレーションデータや、斜面災害危険地域のデータを整備した。津波シミュレーションデータは、高知県が独自に作成したものであるが、データが一般的な地理情報システムで利用できるフォーマットではないため、フォーマット変換が必要であった。そのフォーマットは、グリッド型のデータをベースとしているものの座標系が特殊で、グリッドの空間分解能が地域によって異なるものであった。したがって、標準的な座標系に設定し直した上で、同一空間分解能となるように変換した。同一空間分解能にするためには、距離の重みによる線形内挿手法を適用した。図 4.1 に GIS データに変換した津波シミュレーション結果を可視化したものを示す。

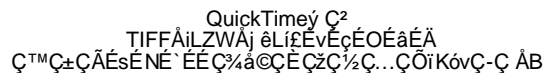


図 4.1 可視化された津波シミュレーション

GIS データとなっているため、様々なデータとのオーバーレイが可能となっている。図 4.1 は、人工衛星画像 Landsat のデータと重ね合わせた例である。

##### 4.2 Web GIS と GPS デジタルカメラを用いた被害状況把握システム

近年、地理情報の公開に Web GIS が利用されている。特に最近では、オープンソースの Web GIS 用サーバーも登場し、容易に Web GIS が構築できるようになって来た。そこで、当 COE プログラムにおいても Web GIS を構築し、防災だけでなく様々な地理情報を公開することとした。Web GIS には、Minnesota 大学が構築したサーバー (Map

Server)を利用することとした。様々なGISフォーマットのデータを公開でき、オープンソースで、独自の機能を付加することも容易に行える。図4.2に構築されたWeb GISの例を示す。



図 4.2 構築された Web GIS の画面例

一方、GPS機能のあるデジタルカメラも最近では利用できる。このデジタルカメラを利用すれば、撮影したときの正確な時刻に加えて、位置情報も取得される。この時刻と位置の情報は、Exif形式として、画像ファイルの中に書き込まれるため、被災状況の画像データベースを構築するのに非常に便利である。そこで、GPSデジタルカメラの画像をインターネットを介してサーバーにアップロードすれば、自動的にGISデータに変換し、その情報をWebGISによって公開する仕組みを構築した。画像データのアップロードは、Webプログラミング言語であるPHPを利用して開発し、GISデータへの変換は、C言語を利用して開発した。



図 4.3 構築された GPS カメラによるデータ収集

図 4.3 に構築された結果例を示す。これにより、

現地の状況を効率よく取得し、かつ地図上で表現できるため、状況の把握を容易に行うことができる。従来であれば、紙地図に現状を書き込み、その後GISソフトによってデジタル化し、公開する。この手続きに要する時間と今回構築したGPSデジタルカメラを用いた場合とを比較した結果、GPSデジタルカメラを用いることによって、紙地図と比較しておよそ二倍の効率でデータを集約できることが明らかになった。今後、様々な昨日を付加し、防災GISを完成させる予定である。

## 5. 被害最小化マネジメントの提案

今までに整備されたデータを用いれば、各種ハザードマップを作成したり、避難場所の選定をしたりできる。今回、高知県旧香美郡土佐山田町において道路閉塞危険マップの作成と、高知県旧香美郡吉川村において津波防災のための避難場所選定を試みた。

### 5.1 道路閉塞危険マップの作成

高知県旧香美郡土佐山田町においては、海岸線より約5kmの内陸にあり、地震による津波被害は心配されないものの、市街地は狭い道路が多く、木造住宅が密集しているため道路閉塞が心配される。したがって、各種GISデータを用いて道路閉塞危険マップを作成した。道路幅が狭く、建物が道路に沿って存在する場合は、道路閉塞の危険性が高い。使用したデータは、空間データ基盤道路中心線、高分解能衛星画像IKONOSと樹木や構造物の高さ情報が修められているデジタル表層モデル(Digital Surface Model)である。DSMを用いれば、影のできる場所をシミュレーションによって特定することができる。光源を様々な方位角に設定し、影の多くできる場所は建物に囲まれている可能性が高いため、道路閉塞の危険性も高いといえる。ただし、その影が樹木によるもの場合は、その危険性が低い。したがって、影の原因が樹木か否かを判定する必要があり、その判定にはIKONOS画像を用いた。IKONOS

画像は、近赤外の画像も取得されているため、植物かどうかをある程度判定できる正規化植生指標 (Normalized Differential Vegetation Index) を計算できる。この指標を用いて影の原因が、樹木か否かを判定した。そして、作成された影画像と道路情報を重ね合わせ、道路閉塞の危険性の高い道路を特定した。

QuickTime 2  
TIFF file ZWAj 6LifEVcEOEaEÄ  
Ç™Ç±ÇÄEsENE'EEÇ%â@ÇEÇÇ½Ç...ÇÖiKónÇ-Ç Ä

図 5.1 道路閉塞判定結果

図 5.1 に道路閉塞判定結果を示す。道路閉塞の可能性の高い道路が太い線で表されている。作成された危険マップについては、実際に現地において有用か否か検証を行った。その結果は、概ね良好であった。このように、様々なデータを重ね合わせて使用することにより、有用なハザードマップを作成できることが確認された。

### 5.2 津波に対する避難場所適地選定

高知県旧香美郡吉川村においては、海岸線に沿った人口 2000 人余りの小さな村である。したがって、津波被害の危険性が極めて高い地域である。津波防災のための避難場所は、2カ所指定されているものの避難場所から遠くはなれている集落もあり、十分とは言えない。したがって、津波シミュレーションデータ、デジタル表層モデル、家屋マップ、河川マップを用いて避難場所の適地選定を行った。

まず、既に指定されている避難場所から各家屋がどの程度離れているか、距離解析を行った。その結果、戸の家屋が避難場所から 400m 離れていた。次に津波シミュレーションデータを重ね

合わせ、浸水被害がないと想定される場所まで遠い家屋の割り出しを行った。さらに地震によって橋梁が使えなくなることも想定した結果、新たに 2つの避難場所が必要になることが判った。そこで、再度距離解析を行い、最も避難場所として向いている地点を選定することが出来た。

図5.2 避難場所適地選定結果

図5.2にその結果を示す。

災害に関する様々なデータの収集は極めて重要であることが確認された。

## 6 . 考察

リモートセンシングによる災害監視技術、防災データベースの構築、被害最小化マネジメントの提案を目標に研究を行っている。今回、画像を用いた災害監視においては、基準点の整備が極めて重要であることを再認識した。

防災データベースの構築においては、Web GIS を立ち上げ、GPS デジタルカメラの画像をアップロードすることで、被災状況を効率よく収集し、確認するシステムを構築することが出来た。紙地図を用いた情報収集に比べて、約二倍近い時間的効率を達成することが出来た。

被害最小化マネジメントの提案においては、道路閉塞危険マップの作成と津波防災のための避難所適地選定の仕組みを確立することが出来た。

今後、発生後の被害最小化、トータルの被害最小化を取り上げ、ハードウェア・ソフトウェアの最適な施策選択をシステムティックに行え

る仕組みを構築する

## 7 . 発表論文

1 Jong Hyeok JEONG and Masataka TAKAGI, Empirical Evaluation of Data Acquisition Methods for Disaster Monitoring, Proceedings of International Symposium on Management Systems for Disaster Prevention, JAPAN, Session G6, 2006

2 Takeshi MIYATA ・ Jong Hyeok JEONG and Masataka TAKAGI, Extracting Method of Mudflow Disaster by using Arial Photography, Proceedings of International Symposium on Management Systems for Disaster Prevention, JAPAN, Session B6, 2006

3 Tomoya SAKAI ・ Jong Hyeok JEONG and Masataka TAKAGI, Measurement Method of Landslide displacement with ground based portable laser scanner, Proceedings of International Symposium on Management Systems for Disaster Prevention, JAPAN, Session B6, 2006

4 Tomoya SAKAI ・ Jong Hyeok JEONG and Masataka TAKAGI, Laser Scanner Measurement for Monitoring Landslide Displacement, Proceedings of the 26th Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi VIETNAM, pp.LID2-2, 2005

5 Takeshi MIYATA ・ Jong Hyeok JEONG and Masataka TAKAGI, Suitable Type of Ground Control Point for High Resolution Satellite Imagery, Proceedings of the 26th Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi VIETNAM, pp.HRP3-3, 2005

6 山本高史・木下和・Jong Hyeok JEONG・高木方隆, 衛星画像のための地図画像を用いた検証データ作成, 日本写真測量学会平成 17 年度秋季学術講演会発表論文集, pp.13-16, 2005

7 坂井知也・高木方隆, レーザースキャナによる位置情報精度向上策の検討, 日本写真測量学会平成 17 年度年次学術講演会発表論文集, pp.83-86, 2005