

巨大地震による緊急対応と災害情報管理に 対するリモートセンシング技術の応用*

多 賀 直 恒**
城 野 博***

Emergency Response for Huge Earthquake and Application of Remote-sensing Technology to Disaster Information Management

Naotsune TAGA and Hiroshi SHIRONO

The Great Hanshin Earthquake was the urban earthquake disaster generated in 1995. It is the broader-based disaster in which 3 million people in 10 city 10 towns lived, and emergency correspondence of the administration, the company and residents at the time of earthquake event generating and emergency management were giving a lesson as important subjects. When the Tokai earthquake, the Southeast sea earthquake, and the Nankai earthquake will be happened simultaneously now, damage prediction is announced from the Central Disaster Prevention Council, and the damage amount far exceeding the Hyogo Ken-nanbu earthquake is predicted. When a big earthquake occurs, it is a very important disaster prevention subject to gather information in the whole damage image and the outline of a stricken area region first. For the reason that damage may include a wide area, it is difficult to grasp the whole stricken area region image only from a terrestrial information. In this case, it is possible to use the ground data using the airplane and artificial satellite from the sky.

Recently, a main subject examines whether application is effective to the earthquake disaster prevention plan of remote sensing under which the applied technology is expected. As reparation-work for that, emergency correspondence, the seismic capacity evaluation of the accuracy of disaster information management and photogrammetry technology, decision of a local disaster prevention plan, and the existing disqualified building, and antiseismic reinforcement have been performed.

Here, against the background of these researches, the present condition about the emergency correspondence at the time of the occurrence of a great earthquake, acquisition of required disaster information, and practical use is investigated, and the possibility of the utilization is examined. The subject which carries out the present data analysis of the present condition which is remote sensing technology, the concrete realization to the analysis technology / disaster prevention problem of the application situation / satellite data to a disaster prevention problem, the possibility of application", etc., and is especially turned to the realization in question is arranged.

Key Words: Remote-sensing, Emergency Response, Artificial Satellite, Aril Photograph Satellite image, Disaster state, Earthquake Disaster Prevention, Information Share, Disaster Recovery, Meteorological Disaster, Damage Prediction, Hazard Map

* 平成16年5月31日受付

** 福岡大学大学院工学研究科

*** 福岡大学大学院工学研究博士後期課程

1. 巨大地震発生に対する緊急対応の必要性の背景

阪神大震災は1995年に発生した都市直下型地震災害であった。10市10町300万人に及ぶ広域災害であり、災害発生時の行政・企業・住民の緊急対応と危機管理が重要な課題として教訓となった。

現在、東海地震、東南海地震、南海地震が同時発生した場合の被害予測が中央防災会議から発表され、兵庫県南部地震を遥かに越える被害災害が予測されている。

大地震が発生した場合に、まず被害の全体像と被害地域の概要を情報収集することがきわめて重要な防災課題である。被害が広域に渡るため地上の情報資料だけから被害地域の全体像を把握することは難しい。この場合、空からの航空機や人工衛星を利用した地上データを利用することが考えられる。最近その応用技術が期待されるリモートセンシングの地震防災計画へ応用が有効ではないかを本論で検討する。そのための準備的作業として、緊急対応と災害情報管理、写真測量技術の精度、地域防災計画の策定、既存不適格建築物の耐震診断と耐震補強を行ってきた、ここでは、これら研究を背景に、巨大地震発生時の緊急対応と必要災害情報の取得と活用に関する現状を調査してその実用化の可能性を検討する。特に、リモートセンシング技術の現状と防災問題への適用状況／衛星データの解析技術／防災問題への具体的実現と適用の可能性」などを現状分析し問題の実現に向けての課題を整理する。

2. リモートセンシング技術の応用と可能性

都市の環境やその中での人々が直面する様々な問題点を理解するためには、多くの情報が必要である。特に人々の活動の背景となる都市の形態や物理的環境に関する情報を収集する手段としてリモートセンシングに着目する。本来、リモートセンシングは衛星や航空機などから地表面を撮影することから様々な情報を得る手段であった。しかし、センサーの多様化や高度化により、静的な地図的情報だけでなく、人間活動までに踏み込んだダイナミックな情報を得ることが可能になりつつある。

リモートセンシングとは ⇒ リモートセンシングは対象物に直接接触することなく離れたところから情報をセンサーにより得る技術である。具体的には、プラットフォームに載せられたセンサーを用いて対象物が反射したり、放射する光や電磁波場合によっては音波を計測する。

反射とは既存の太陽光源からの光を単に反射することを意味するのに対し、放射とは、対象物自体が光や電磁波を放射することを意味する。反射の場合も太陽を既存の光源とするばかりでなく、センサー自体が電磁波などを発しその反射波をセンサーが捉えるという場合もある。

典型例にレーダがある。こうしたセンサーを能動型といい、太陽光などの反射をとらえる受動型センサーと区別する。受動型センサーにはカメラ、ビデオカメラから人間の目には感じない波長の光まで計測できるマルチスペクトルセンサー、特に物体の表面温度に関係する波長の長い電磁波を検知できる赤外線センサーなどがある。

プラットフォームとは、センサーを搭載するためのものであり、航空機に限らず、人工衛星、ヘリコプターから車両まで多岐にわたる。これらの組み合わせにより、計測範囲や計測の詳細さ、解像度などいろいろ変えることができ、様々な情報を得ることが可能となる。

人工衛星のうち ANDSAT や SPOT などの地球観測衛星は、それぞれに地球の周りを飛ぶときの道筋である「周期」をもっている。どのような軌道を飛ぶかについては、人工衛星の目的によって決まっている。地球観測衛星には、地球全域を観測する目的があるので、この目的に適した軌道として「太陽同期準回帰軌道」を飛行している。

「太陽同期準回帰軌道」は、衛星と太陽の位置関係が常に同じになるよう軌道を飛行する「太陽同期軌道」(図1)と衛星が地球を一周するたびに、観測する地域が少しずつずれていき、数日後に再び同じ場所の上空に戻ってくる軌道を飛行する「準回帰軌道」(図2)を組み合わせた軌道である。衛星が地球を一周する時間を「周期」といい、同じ地域の上空を通過する日数を「回帰日数」という。「周期」・「回帰日数」は衛星によって異なる(表1)が、いくつかの衛星を組み合わせることで、特定の地域の連続したシーンを観測することは可能である。しかし、衛星のよってセンサーや空中分解能の違いや解析方法などが異なるためそれらの統一が望まれている。

都市の物理的環境を測る ⇒

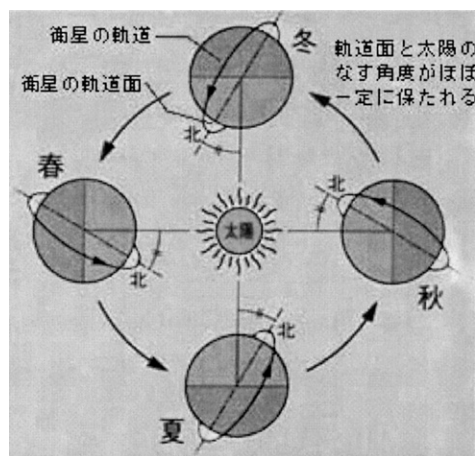


図1 太陽同期軌道図

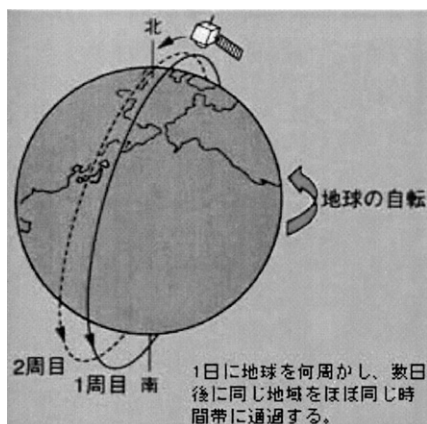


図2 準回帰軌道

表1 主な人工衛星の回帰日数と分解能

衛星名	回帰日数	分解能
LANDSAT	18日	30m
SPOT	26日	20m
IKONOS	11日	1.0m

植生環境 熱環境

都市の三次元環境形状 建物や構造物、地表面から構成される都市の三次元計上データは、都市景観、風や気温などの局地気象、氾濫解析からカーナビゲーション、歩行者ナビゲーション、コンピューターゲームまで幅広い分野で利用できる。

航空写真に匹敵する解像度を持つデジタル画像を空や宇宙から取得し、コンピューター処理を併用することにより効率的に都市の三次元形状を計測する技術が開発されている。

人間や社会・経済の動きを捉える ⇒ 都市の環境問題や災害問題などに対処するためには、都市の物理的な環境に関する情報を集めて十分ということはなく、人々の活動、自動車などの交通状況から社会経済の状況などに関する情報を収集する必要がある。

明らかに着目する

監視カメラを利用する

レーザーを利用する

車からの映像を利用する

リモートセンシングに対する今後の課題と期待

リモートセンシングは本質的に物理的な環境情報をうるために有効な手段である。そのため都市よりも森林、農地などの比較的人間活動度の希薄な地域、自然環境要素の強い地域でこれまで活用されてきた。しかし、センサーやプラットフォームの自由度が広がる中で、都市に

おける人間活動を対象にしたモニタリングや計測にも有効に適用できる可能性が高まっている。また情報化の進展に伴って様々な活動や状況の変化に関するリアルタイム情報に対するニーズが高まっている。また情報端末を持って移動する人々の数も増えるに従い、そうした情報を有効に利用できる環境や市場も整備されつつあるといえる。今後、都市のリモートセンシングデータを統合してより確実に都市で生じている様々な変化や事象を把握することが出来れば、こうした情報に基づいて都市施設の運用を適恰に変化させたり、人々により快適・安全な都市空間・施設の利用方法を提示したりする事が出来るなど新しい都市サービスを提供することが可能となる。特に災害時などの人々が日常生活などで蓄積してきた経験が役立たない場合には大きな威力を発揮すると期待される。

3. リモートセンシング技術の現状と新たな展開

安岡善文によれば、リモートセンシング：データから情報へ ⇒ 対象に触れることなく、航空機や人工衛星を利用して、地表面や大気の状態を観測する技術のリモートセンシングと呼ぶ。近年その技術の進歩は著しく、衛星センサーから観測される空間分解能は1m以内まで改善されるようになった。一方、観測センサーの技術開発に比較して、得られたデータをどのように活用していくのか、その利用技術については必ずしも十分な研究開発がなされていない。この原因の一つは、データから情報に変換するための知識モデルをわれわれが有していないところにある。

リモートセンシングモデルの最前線 ⇒ リモートセンシングの技術は、測定対象の空間分布、時間変動を広域的に観測することに特徴がある。その観測のスケールは都市のレベルから全地球のレベルまで広い。リモートセンシングの空間分解能は飛躍的に改善され、近年の衛星の打ち上げにより、1m以下の高い分解能を実現した。ハイパースペシャルデータでは、従来困難であった高い分解能を必要とする建物、樹木や道路の抽出、計測が可能になり、都市災害や環境の監視・評価に不可欠な都市三次元モデルの構築が可能といわれている。

都市から地球まで ⇒ 環境の劣化や大規模災害の発生が地球規模で問題となっている今日、リモートセンシングが、都市から地球まで様々なレベルでのモニタリングシステムを構築していくうえで重要な役割を果たすことは間違いない。しかしながら、一方でリモートセンシング技術に限界があることも事実である。またリモートセンシング技術で観測できない項目もまだまだ多い。リモートセンシングを利用するにしても地上での観測に比較して精度が得られていないことが多い。リモートセンシ

グ技術の活用に向けては、データから情報への変換を可能にするモデル知識の蓄積が不可欠である。

4. 地震防災における緊急対応と災害情報管理

1) 災害発生時の緊急対応の目的

情報管理の目的『地震発生直後の人命救助・被害の拡大抑制・復旧復興の過程で、情報の果たす役割は大きく、その後の災害の推移を支配する。これを地域を軸に、行政レベルから個人レベルにいたる緊急対応を最適に運用するための被災情報の収集から利用を含めたシステムの提言を目的にする』

- (1) 阪神大震災を対象に、被災状況・緊急対応の流れに着目し時系列的に整理する。
- (2) 各被災事象ごとに情報管理の在り方を示す。
- (3) 個別課題を統合し、発災後の情報の収集利用の具体的システムを提示する。
- (4) 具体的な行政体を対象に検証する。

都市災害情報の種類と内容はどのようなものが考えられるか。発災対応型とは何を意味するのか。都市災害情報管理とは具体的には何をどのように管理するのか。誰が誰に対して何をどのように扱うか。情報管理システムとは、地域を軸に、行政レベルから個人レベルまでを対象に災害時の情報の流れを時空間で考える。システム構築には、情報の内容と情報の伝達が必要である。ガイドラインとは、地域を軸に、行政レベルから個人までを、時系列的には、地域防災システムとして予防、応急、復旧、再建を対象とする。

情報の種類と流れは、緊急性、優先性を考慮し情報管理システムの基本的な構成と災害の全体像を想定した連関図(図3)を考え、情報を収集し、内容について選別し、必要な情報を伝達する仕組みを構築する。

1. 災害情報管理に必要な基本調査/2. 緊急対応における情報管理/3. 地域防災計画の基本構造/4. 地方都市の地震被害の全体像/5. 地震災害情報の社会的活用の再構成に当たっての4つのステップで考えた。即ち(1)災害状況・緊急対応を時系列として表現(2)情報管理の在り方を提示(3)発災直後の情報の利用システムを提示(4)具体的行政体に適応して検証、などの課題を明らかにすることが目的である。

2) 緊急対応の位置付け

震災以前、阪神地域での地震危険性に関しては、地域行政や一般住民は殆ど関心がなく防災意識も希薄で震災への備えもなかった。そのため、被災地にとっては不意打ちの状態であった。発災時の初動期の状況判断、緊急対応活動の成否はその後の状況に多大の影響を与える。従って、発災直後の緊急対応の実態の概要を把握し課題と教訓を検討することは重要である。

緊急対応期としては、地震発生直後から社会的混乱が一段落する時期をいい、人的被害を最小限にする時間的に切迫性の極めて強い活動など短時間内に多種多様な対応行動が要請される時期と位置づけられる。被害の発生や拡大を抑え、終息を早め復旧復興に寄与する対応としてどのようなことが考えられるか。地域社会ではどのような情報管理システムが望ましいかを明らかにする。

これまでの地域防災計画では、全て対応機関の諸機能が順調に運用されること職員の参集も円滑に行われることを前提に組み立てられてきた。関係機関の施設自身が被災し破壊することが実際に発生し、被災した職員の参集が難しかった。従来の災害対応では行政主導で行われてきたが、地域社会、企業組織、地域住民と一体となった防災力の強化と発揮が重要な鍵であり、緊急時の対応をリードするキーパーソンの養成が大切である。緊急対応期の主たる対応は、個人にとっては自分自身の身の安全や家族を防御し安否を確認する行動をとる、地域にとっては、近隣や周辺の被害状況に対応して緊急参集した対応機関と協力し組織的な活動として被災者の捜索、救出、救命、消火活動をする、危険な場合には避難行動をとる。雲仙火山災害・阪神大震災を契機に行政や組織の危機管理の問題が議論されるようになった。その位置付けとしては、危機管理は緊急時の対応であり、十分な機能をするには、災害情報管理が重要である。

現代社会は、高度に調密化し複雑多様化している。日常の営みも多様化している。非常時(災害、戦争、事故、暴動)に、都市活動や社会的機能が停止したりマヒしたりするので、日常の営みを維持し早急に回復することが大きな課題である。緊急対応として、国は基本的活動体系を法律「災害対策基本法」で規定し中央防災会議は災害基本計画を改訂して阪神大震災を契機に基本方針を示した。現実の災害に際しては、県および市町村が、直接具体的対応をするがその基本的な考え方は地域防災計画に記載されている。その内容は、総則に続き時系列的な対応として、予防計画、応急計画、復旧計画が示される。緊急対応は主として応急計画に対応するものと考えられる。各自治体は、地域性に従った個別の対応が準備されている。緊急対応を迅速に円滑に実行するには災害情報管理が重要な役割を演じる。

3) 阪神大震災の巨大都市での緊急対応

阪神大震災で実施された項目別対応状況

- (1) **情報収集** ハリコプターによる市街地の被害地調査/ボランティア受け入れセンターの開設/避難者調査
生活物資の価格情報収集/商店市場の被害状況調査/火災被害調査
地滑り危険箇所調査点検/建物被害調査/応急仮設

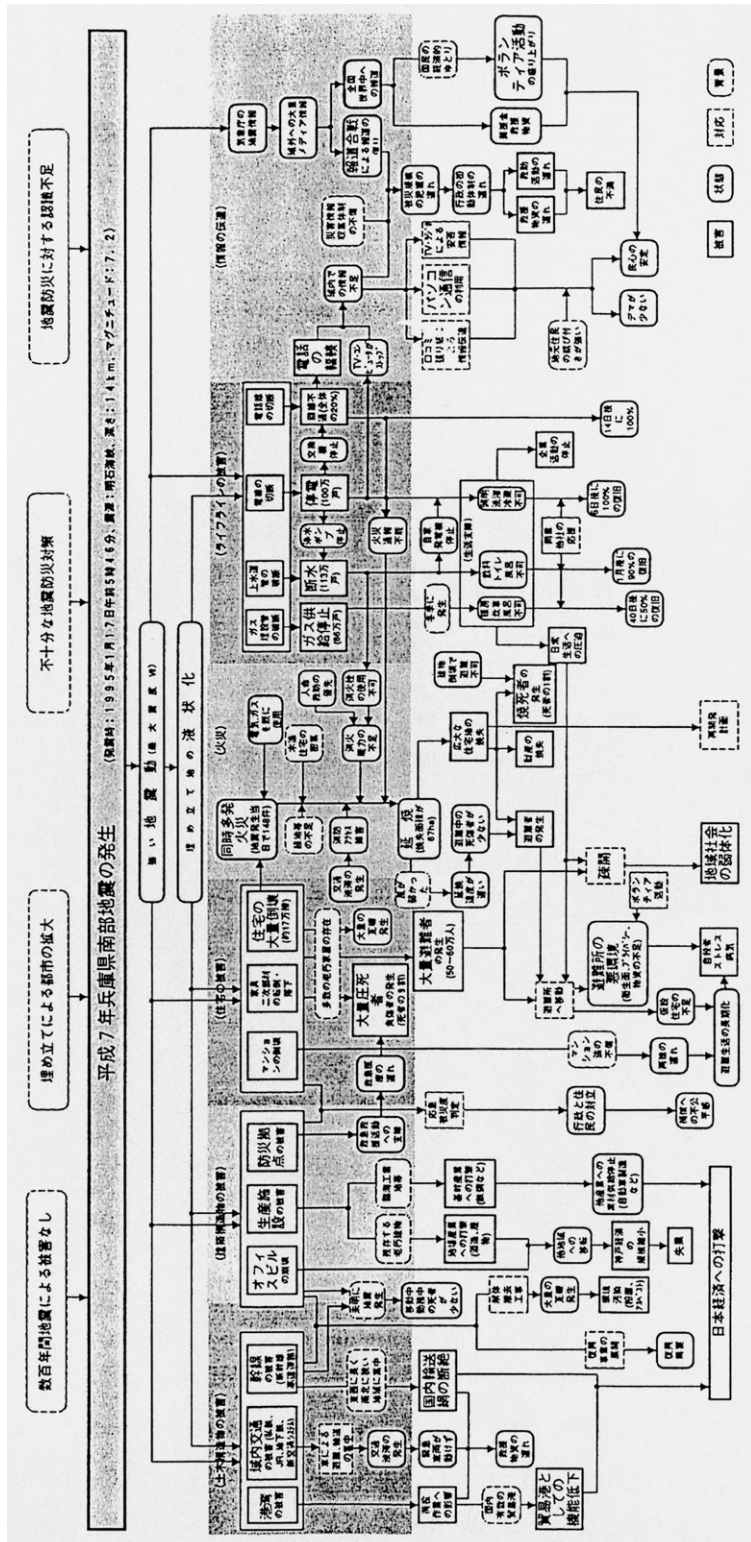


図3 阪神淡路大震災の被害関連図

住宅入居状況調査／

- (2) **広報活動** 消防局による火災防止広報／紙面による被災者広報／インターネット被害情報発信／FMラジオで義援金救援物資ボランティア募集
FAXによる災害関連情報提供／災害関連情報提供／出火防止広報／インターネットで市長のメッセージ発信
- (3) **交通輸送対策** 1月19日から交通規制／有料道路の無料開放／海上ルートの開設
災害弱者 高齢 通訳サービス／被災動物の保護／高齢者一次受け入れ／難病患者支援／外国人相談コーナー
臨時教室の設置／児童向けメンタルケアサービス／被害軽微地域からの教職員支援
- (4) **議会対応** 政府への財政補助要望／地震対策特別委員会の設置／従前居住地域への居住対策
議員のヘリコプター視察／外国人学校への助成
- (5) **被災者対策** 阪神大震災で実施された項目 避難所の開設／食料の支給／メンタルケア・ケースワーク／住宅の斡旋／住宅修繕／避難所救護班／応急危険度判定／見舞金、特別ローン／中小企業向け融資／避難所に冷蔵庫設置／家屋等解体除去無料化／テントガレージで生活する人へ援助／
大型店との協定発動及び要請／小売店への営業継続／早期再開の要請／生活関連物資の価格監視／罹災証明発行／義援金配布／仮設住宅供給／災害弔慰金支給／埋葬費助成／仮設住宅への食生活巡回指導など

神戸市の対応の問題点

- (1) 県知事の「希望者全員の応急仮設住宅を建設する」方針の表明は、被災者の被災地外移転に歯止めをかけ、長期間にわたる避難所の解消に苦慮する結果となる。
- (2) 被災建築物の解体・撤去を公費負担としたため、修復補修すれば十分に補修しうる被災建物まで解体され、その後の所要住宅供給量を増大させたという、意見もある。
- (3) 広域応援体制 阪神大震災では、広域応援体制に関する多くの課題が露呈した。その多くは広域応援の要請に関するものであった。予知困難性・震源域の非特定性・被災地域の極値性という内陸性の直下地震においては、被災地域外からの物的・人的な応援が火災等の二次的災害の現象や被災者救済といった被害拡大防止の鍵を握っている。

4) 災害対策本部の活動状況

緊急対応のシステム化 ⇒ 災害発生時の対策本部の想定状況 活動体制の確立 必要情報 システム化

—建物の崩壊—電力供給停止—一般化入電話の輻輳

庁舎が地震で被災したり庁舎内のロッカーや家具が転倒落下して対応行動が出来なくなったり機能がマヒする可能性がある。災害対策活動の拠点となる市町村庁舎から退避を余儀なくされることは、その間に災害対策本部機能が著しく低下することを意味し異は重大である。対策としては、長期的には庁舎の耐震化が必要であるが、短期的には家具調度の転倒落下防止措置などにより対応する必要がある。震災発生直後は高い確率で停電が発生する。停電になった場合、夜間における対策業務に支障が生じるばかりでなく、コピーやFAXなどの事務機器が使用不可能になり緊急対応機能が大幅に制限される恐れが多い。通常自家用発電装置が用意されているが、過去の地震災害の経験から自家発電装置の耐震性不備のため機能しなかった例もあり、この点を留意する必要がある。停電と同時に一般化入電話が輻輳により著しく利用困難になる。この傾向は震度が高くなるほど困難になり庁舎から庁外への一般化入電話による通話が困難となるのでこれを念頭に置いた緊急活動の在り方が検討される必要がある。

5) 災害の時系列発生状況と初動対応

- (1) 時系列で変化する情報：災害が発生すると、国や地方公共団体を始めとする防災関係機関は、地震警報や津波情報、雨量や河川の水位などの自然現象に関する情報とともに被害規模等の情報を収集し、関係機関に連絡を行い、その情報に基づき所要の体制を整備して、人命救助、医療、搬送活動などの緊急対策に取り組みなければならない。また、災害時における社会的混乱を防止し、民心の安定を図るとともに、被災地の住民の適切な判断と行動を助け、住民の安全を確保するためには、正確な情報の速やかな公表と伝達、広報活動が重要であり、防災基本計画においても、国や地方公共団体は被災者並びに国民への的確な情報伝達を行うこととされている。

災害が発生した後に必要な情報は、発生後の時間とともに変化する。阪神大震災時に必要とされた情報の調査によると、災害当日に必要な情報として、一余震の今後の見通し—家族や知人の安否—地震の規模や発生場所—地震の被害—ライフラインの復旧見通し—自宅の安全性—火災の状況—の順で挙げられているが、被害情報や安否情報が必要とされている。

地方公共団体の防災無線やテレビ・ラジオによる緊急時の災害に関する放送を通じて、第一には自然現象に関する情報、次には被害に関する情報が提供されるが、発災直後の混乱状況の中においては、被災者に対して次の適切な行動を示唆する情報をあわせ流すことが望まれる。例えば、地方公共団体では、防災行政無

線網を介して地震に関する情報とともに、津波に関する警戒や今後の情報に関する注意を呼びかけたり、テレビは地震発生直後に火の取り扱いの注意や電気のブレーカーを切って避難すること等呼びかけている。更に不安解消のための余震情報や次に自分がどうすればよいかということの示唆を与える情報例えば、被害が少ない地域はどこか、何処が安全か、といった情報が流されることが望ましい。その際には、高齢者、障害者、外国人等の災害弱者に配慮した伝達を行う必要がある。

一方、発災一週間後の必要情報としては、一余震の今後の見通し－ライフラインの復旧状況－交通機関や道路の開通状況－食料や生活物資の状況－入浴に関する状況－水食料の配給場所－の順に挙げられている。復旧情報、生活情報の必要性が高まっている。国や自治体はこれらの被災者に役立つ正確な且つきめ細やかな情報を適切に提供することが必要となる。また住民からの問い合わせに対応できる体制を整備する必要がある。

- (2) 安否情報と電話の輻輳：災害が発生したときに知りたい情報として、多くのものが家族や知人の安否に関する情報を挙げている。安否情報の提供はその後の救護活動、復旧活動を円滑に進める上でも極めて重要である。しかし、災害発生時には一般的に交通通信の途絶により個人の安否の確認を行うことが難しいことが予想される。阪神大震災の発生日には全国から神戸方面に対し通常ピーク時の50倍の電話回数が集中し、電話がかかりにくい状態となったが、それが回線の輻輳をもたらすという悪循環を呼び、救急救助活動などの応急対策に必要な緊急連絡の障害となったことが指摘されている。これは阪神大震災の重要な教訓の一つであるが、その後の調査でも家族で安否確認方法、集合場所を決めている人の割合は、16.5%に過ぎない。なお、回線の輻輳から電話がかかりにくくなるという阪神大震災の教訓からN T T災害用伝言ダイヤル(171)が導入された。

被災地住民の安否に関する情報をマスメディアを通じて迅速且つ的確に提供することも電話回線の不可を避ける上で非常に有効である。阪神大震災の教訓を踏まえて各放送局では安否情報の効果的な収集、報道システムについて様々な工夫がなされつつある。

- (3) 被災住民の情報収集：非常時に災害対策本部を担当する自治体の防災担当者によると、災害時の情報収集についてはどうも消防機関に依存する傾向があるという。しかし消防機関に依存するだけでなく防災部局としても能動的な災害情報の収集努力を行う必要がある。災害対策本部など本部レベルでは足を持っていないた

め情報収集は電話による入手を基本としている。いわゆる草の根的な情報収集は、地区レベルでの課題であって地区レベルから本部への連絡は、電話が使用できないときは無線に依るのが現状である。電話が輻輳によって十分機能しないときに災害情報の収集体制は現状では十分とは言えない。一般市民からのかけつけ情報の受け入れ体制や草の根情報収集体制－市内を積極的に巡回して能動的に災害状況を把握する体制－については、現時点で行政ではあまり意識されていない。地区の災害対策本部におけるパトロール班や参集職員員の役割、位置づけを明確にすることによって災害情報収集体制が整備される可能性がある。この問題は、行政の防災担当における災害情報、特に地震発生直後の初期の情報収集に対する必要性の認識、位置づけによって決まると考えられる。

- (4) マスメディアの役割：災害発生時の適切な対応に関する情報及び事前に周知しておくべき情報を住民に伝達するための手段として、テレビ、ラジオ、新聞等のメディアの果たす役割は非常に大きい。放送機関は平成10年度末で973施設、新聞社が平成9年現在約54百万部が毎日発行されている。これらのメディアは、災害発生時には、被害の大きさ等被害情報を全国、全世界にいち早く伝達するという大きな意義を持つ。さらに、大規模災害時には、被災地にニーズである住民の安否情報、鉄道道路の復旧情報、避難所炊き出し等の生活情報がこれらの媒体を通じて、定期的に繰り返し伝達されるとともに、それぞれのメディアが特徴を生かした情報提供を行った。災害発生時において、被災地と被災地外、発生からの時間の経過等によって、求められる情報も入手する媒体も変わることから、その時々々のニーズに応じた情報の提供が各媒体から適切になされることが望まれる。

大規模な災害が発生した際に備えて、メディアがお互いに情報の共有・提供、放送内容の役割分担、機材・設備等の融通、人員の応援体制等の協力関係を結ぶことが多く見られるようになった。協力関係の連携としては、同一地域内におけるAM放送、FM放送、コミュニティ放送などが連携するパターン、地域内の同種メディアにより災害時に連携するパターン、自社の取材能力の不足を補うための他社からの情報提供を受けるパターンなどが見受けられる。これらの役割分担や連携関係は、被災者にとって、多様な情報を様々な手段で受け取ることが出来るメリットを有しておりより一層推進されることが望まれる。

災害情報の収集

- (1) 情報収集主体：対策本部として想定すべき災害情報の発見者、情報の提供者などの収集主体の体制を整理

する。災害情報の収集主体は、自治体・消防・警察などの公的機関の職員、報道機関、タクシー・郵便配達・宅配業者等の民間組織、一般市民、公的機関や報道機関のヘリコプターなどである。ヘリコプターは、広域の災害情報の把握に有効で、全体状況の把握や火災に発見に特に役立つ。夜間、悪天候、視界条件の悪いときなど期待できないので万能というわけには行かない。報道機関や民間の組織など連携を緊密にするにはあらかじめ情報協定を結んで情報の通報や情報収集に対する自発的積極的協力を依頼するなど事前に行っておくことが必要である。タクシー宅配便の無線、郵便配達システム 事前協定と自発的積極的な協力を図る。公的機関の職員の参集途中の情報収集や一般的には高所見張り、巡回広報車などが基本である。一般市民は自発的なもので何らかの体制を期待するのは難しい。ただし、自主防災組織、消防団などの情報収集体制があれば別であるが、情報の伝達方法をどのようにするか、具体的のどのような体制を計画し期待するか。最大のネックは、電話回線の故障、輻輳、無線の混信や電話FAXが日常的に使用できない状況下での災害情報を如何に伝えるかが問題である。かけつけ情報として、過去の災害事例からも貴重な災害情報の伝達ルートと位置づけられる。あらかじめ受け入れ体制を整備しておく。市役所の出先機関、消防署の分署、他の公的機関、学校の指定避難場所、消防団、自主防災組織など連絡体制をあらかじめ作り、市民に周知しておくことが必要である。

- (2) 避難のための情報：市町村長は、災害が発生し又はその恐れのある場合には、災害対策基本法に基づき地域の住民に対して避難のための立ち退き勧告を指示することが出来る。このような住民の避難を円滑に実施するため、地町村は地域防災計画において、災害発生時の避難誘導體制、避難場所の確保、避難所の適切な運営等を定めている。市町村においては、地域防災無線の活用などの活用を通じて消防、警察等関係各機関と連携し災害に関する情報を逐次住民に伝えるとともに、災害の発生が予測される場合には避難の勧告等の決断を的確に行い、迅速に住民等に伝達する必要がある。一方、市町村からこのような避難の勧告が出された場合に住民は早急に安全な場所に避難することが求められる。
- (3) 避難誘導の判断：台風の接近等風水害の発生が予想される場合に備えて、多くの市町村では、降雨量、河川水位、過去の災害経験など地域の実情を勘案して、避難の勧告を行うための基準を設けている。これらの基準は、観測データの蓄積、災害経験の積み重ね、技術開発の進展に伴って、随時見直されて行くべきもの

であり、関係機関においては、新たな技術・手法の開発や精度の向上に努めていく必要がある。

専門家の活用：災害発生の前兆現象の早期発見、発生情報・被害情報の迅速な収集などを目的として、専門家を対象としたボランティア制度が創設されている。

郵便局においては、市町村と連携し、業務に支障のない範囲で、職員が郵便配達の業務途上で発見した道路の損傷について、市町村に情報提供をする取り組みも行われている。

- (4) 地域コミュニティの活用：災害から身を守る上で、地域の最小単位であるコミュニティが自主的に地域の危険を察知したり、災害発生の前兆現象を把握し、住民に適切な避難行動や初動対応を行うよう誘導していくことが非常に有益で且つ重要である。例えば、阪神大震災の際、従来からのコミュニティ活動が活発であった淡路島の北淡町では住民一人一人の生活に関する情報が的確に把握されていたことから、安否の確認、空助救急活動が迅速に行われたといわれている。しかしながら、都市化の進展に伴い、住民の移動が広域化、大規模化するとともに、住民同士のつながりも希薄化し、地域コミュニティの脆弱化が進んでいるため、自分で住んでいる地域について過去に発生した災害発生の前兆現象を知らない人が多くなりつつある。このため特に、災害に危険個所を抱えている地域では、古くからの住民による地域の災害履歴を新住民へ語り継ぐとともに、警戒や避難を始めるべき時期等について目安を話し合っておくことが望まれる。なお発災時には、高齢者、障害者などの災害弱者に配慮した対応が必要となり地域として災害弱者の存在等の情報を把握しておくことが、円滑な避難行動や初動対応に有効である。

災害情報の伝達

- (1) 情報の的確な伝達とマスメディアとの連携：阪神大震災の際には、発災当日の情報収集方法は多い方からラジオ、テレビ、近所の順になっている。また1週間後になり、ライフライン等の復旧情報や水や食料の配給情報などの生活情報を収集する上で役にたったのはテレビ、新聞、ラジオの順であった。例えばテレビでは水の入手場所、出産受入病院、スーパーマーケットの営業状況などこれまでになく多様な生活情報を長期間にわたり繰り返し提供していた。また、文字で情報を提供する新聞の役割も大きく、日本新聞協会研究所の調査によると、震災1週間後における生活情報を新聞から入手したというものは約4分の3に上っている。国や公共団体もリーフレットの作成や広報車の巡回等により情報伝達を行っていたが、被災者や国民一般に対する情報伝達に当たっては、放送事業者、通信社、

新聞社等の報道機関の協力を依るところが大きく、国や地方公共団体はマスメディアとの円滑な連携関係を保ちつつ、災害対策本部などの情報を集約して定期的な情報提供を行うことが重要である。また電子情報ネットワークも進んでいる。パソコン通信やインターネットは同報通信が可能、蓄積が可能、読み返しが可能、情報の双方向性があるという利点があり、阪神大震災の際には避難所間の連絡や国や県などの行政機関の情報提供に役立った。

阪神大震災の際の住民の情報収集方法として近所の人から話を聞いたという人も多数に上っているように口コミによる情報伝達も非常に有用な伝達手段の一つであった。コミュニティーやボランティアがこの様な口コミの生活情報の収集と伝達の中心的役割を果たした避難所等もあったといわれている。従って災害時においてはマスメディアにより一斉に伝達される情報と身近な人々等を介して伝えられる個別の情報とが双方で補完しあい、より正確できめ細かい情報が被災者に伝達されることが重要である。

- (2) 住民への伝達：観測情報、注意報・警報等の情報は、防災関係機関に通知されるとともに、テレビラジオ等の放送機関の協力を得て地域の人々に伝えられる。これらのメディアでは、災害発生時にはニュース速報等で即時に状況を伝達する。また地震発生時など緊急時に自動的に電源が入り情報を伝達するテレビやラジオが開発されている。その他、防災情報のうち、注意報・警報、台風の進路等の情報については、気象協会や河川情報センターのホームページ上でも公開されている等、新たな伝達手段もとられ始めている。一方で、注意報・警報や避難勧告については、当該地域の住民が適切に避難を行うために、迅速かつ確実に伝達されることが必要であり、従来からの市区町村が広報車による巡回、サイレン等による伝達を行ってきたが、近年は防災行政無線の整備が進展したことを受けて、防災行政無線による伝達を行う市区町村が増えてきている。また災害時に重要な役割を果たす地域コミュニティーである自主防災組織を情報伝達の手段として活用している市区町村も増加している。

さらに、近年急速に増加しているケーブルテレビの地域密着性を利用して、市町村がケーブルテレビを通じて直接情報を提供するための緊急放送・割り込み放送の設備を整備しているケースが多く見受けられる。

- (3) 住民の対応：住民において予警報が発令された場合には、警戒に努め以後の気象情報等に十分注意を傾けるとともに、市町村から避難の勧告が出された場合には、迅速に安全な場所に避難を行うなど対応が求められる。避難勧告が出されても様々な理由から避難しな

い人が見受けられる。逆に、最近発生した災害において、事前に地方公共団体から避難の勧告が出されなかったが、住民が災害の発生を予兆する異常な現象に気づき、いち早く避難を行ったために災害に巻き込まれずにすんだ例も多く報告されている。

この様に住民は、市町村から避難勧告が出された場合はもとより、出されなかった場合でも、自らの危険を察知した場合は、自主的に避難するなどの対応が必要である。

- (4) 防災関係機関への伝達：観測された情報、予警報等の情報は、防災関係機関、報道機関等に迅速且つ各々に伝達されるとともに、それらの機関を通じて住民に周知される必要がある。観測情報、注意報・警報等の情報は、気象庁に設置されている予警報一斉伝達装置や全国中枢気象資料自動編集集中継装置などを通じて中央省庁に伝達される他、全国の各気象台に整備された予警報一斉伝達装置や気象資料伝送網等を通じて地方公共団体に伝達されるとともに、気象業務支援センターから報道機関を通じて、一般に対しても提供されている。
- (5) 地方公共機関の体制整備：地方公共団体においては、情報提供を受けるとともに、自ら管内の雨量、河川水位、潮位等の観測体制を整備し、情報の高度化・詳細化を図っている。最近では、多くの都道府県で、庁内各部局、出先事務所、消防機関、警察機関、管内市町村との情報収集・処理・提供を迅速に実施するための総合的な防災情報システムの構築を進めている。特に注意報・警報等の情報を気象庁から入手した場合には、自動的に市町村に伝達するシステムを導入するなど、情報をより円滑に伝達する体制が整えられてきている。

6) 災害情報管理の重要性

システム活用上の課題の検討 ⇒ 災害情報の重要性
住民意識の高揚

緊急時の災害情報管理システム ⇒ 災害情報管理の重要性
初動対応 情報収集 情報伝達

発災直後の災害情報は、発災当初は、何が何処で起こったか分からず、暫くは情報の真空状態である。災害時に情報伝達網が十分機能しない、しかし日常時に機能して使えるものを使うことが重要である。他方では、様々な情報が乱れ飛ぶ情報の混乱も生じる。

この様な状況下で災害対策本部としては、迅速かつ正確な災害情報の把握を如何に行うかその体制作りが重要である。多くの限られた災害情報の中から防災対策実施上、優先すべき重要な情報、緊急性を有する災害事象を的確に把握することが緊急対策の初動対応の成否を左右する。電話通信機器の十分機能を果たせない状況での、災害情報収集体制は果たして十分行えるか、情報収集体

制の計画を実践的に立てることは、一般市民からの駆けつけ情報(草の根情報収集体制)、米国の事例を教訓とした対応として例を挙げる。地震発生直後における災害対策本部における緊急を要する災害情報の早期収集の意義と課題を整理する。

構造物の破壊、道路の破壊、火災の発生などの諸災害事象の発生は時間的ズレで生じる。災害の発展段階として、災害の発生から災害の規模、程度、発生の時間差をもって時系列的に規模の拡大と二次・三次災害の発生へと展開していく。従って、災害情報収集把握には変化の流れを的確に掴むことが重要である。災害現場の発見と、複数の情報収集主体からの災害情報を整理する体制の整備、関係機関や被災者への情報の通報するためには、情報の整理、確認の方法、対応の優先順位、対策化の関係における情報の整理判断方法をどのように考えるかが課題である。さらに、電話、無線、駆けつけ情報など複数の伝達ルート体制を効率よく活用する。

管理体制の定着 地震情報を社会的に活用してあるいは地震災害の教訓を定着するには、社会的に活用定着するためのシステムが必要となる。自然に生活の慣習の中に定着していく場合はいいが、国の法律や制度を制定改訂して半ば社会的な強制により従来の方向を変更する場合もありどのような情報が具体的に緊急性を持つか、自然の社会的な順応を期待するだけでよいのかの判断が必要となる。地震災害は多岐にわたり、地震防災は学際的であるが、専門的で断片的で部分的な災害に関する情報を集約して全体構造をイメージして総体的な災害の姿を捉えて地域の安全対策や構造物の安全設計の概念を統括する情報管理のマスタープランを考える必要がある。しかし部分の専門家だけでは全体構造が掴めず全体構造が掴めなくては、全体の安全を全うできない。

7) 緊急対応改善の課題

災害が発生し緊急対応で初動対応の活動に際して、多くの関係防災機関の協力が必要である。災害状況に対応してこれらの関係機関間の連絡調整が不可欠である。連絡調整を迅速かつ円滑に行うには、情報の共有化と連絡調整を支援するシステムの整備が望まれる。災害対策本部に、トップと関係機関の責任者を常時一堂に会しておくことは大変困難であるから、次善の策として現実的には、テレビ会議システム又は音声会議システムの支援により必要に応じて頻りに調整会議を開催することが望まれる。緊急時に本部の意志決定にはトップと各応急対策担当責任者との協議で緊急対応を分担すれば関係者全員を一堂に会するような空間は必要ないであろう。むしろコンパクトなブースを設置して、作業空間としては、トップと少数の補佐役や対策責任者などが協議するスペースと各機関直通の連絡システムにより支援されていること

が必要と考えられる。情報が共有化されていれば物理的な同一空間よりも容易に意志決定が行いうると考える。

住民意識の高揚 防災は基本的には行政主導ではなく、市民による市民のための防災である視点が必要であろう。どんな優れた計画も市民の立場に立って、市民自身の問題として捉え受け止めて市民の都市防災の必要性を認識する自発的な発想がなければいけない。都市防災を地域の総合的な問題として考え、住民・行政・事業者など関係者の協力の上に防災力を発揮して地域の安全を守るには、そこに住み生活している人々の自覚が不可欠である。そのためには、住民が積極的に防災計画の立案審議過程から参加し内容に対する十分な理解と有効な施策の提案など住民参加を推進することが大きな課題となる。住民参加を実効性ある実践的なものにするためには、地域の防災に関するあらゆる情報を公開し地域の関係者が共有して地域防災の内容を把握理解することにより住民参加の実質的な価値を向上させることが出来る。

発災後の多岐に亘る多くの関連事象をなるべく多く包含する形で課題を設け、これを個別に進める、最終的には全体としての連関性を明らかにして一つの纏まったシステムとしての提案に結び付けて行く。都市直下地震の発災後の情報に関する問題は多岐に亘る。これを短期間のうちに網羅的に取扱うのは至難である。本研究では個別課題ごとに重要な項目、着手可能な問題から取り組んでいるが、精粗とりどりでありに抜け落ちている項目も少なくない。全体のバランスをどのようにとるかが一つの課題であり、全体討議の場を多く持つようにしている。

防災計画の整備と検証 防災計画は市町村単位で策定されており、この範囲を超える大規模な水災害を想定した広域防災体制が整備されていない。

地域コミュニティ活動 日常性 都市中心部の地域コミュニティ活動が衰退し、市民の防災意識も希薄化しており、地域における自主防災体制が確立されていない。

避難基準、場所、行動、勧告 気象庁・国・県からの災害情報を受け、市町村長が住民に避難勧告、避難指示を行うことになっている。しかし、判断基準が未整備であったり、具体的なものとなっていないため、市町村長が判断を逡巡する場合がある。勧告を出したとき避難行動をとらない住民がいる。

危険マップの周知 地域の災害危険要因の開示 市町村毎に、洪水ハザードマップ・土砂災害危険図の作成公表が始まっているが、災害に関する情報の住民への事前提供はまだ充分ではない。

地域の防災力の高揚 防災・医療・福祉の専門家が、ボランティアとして迅速かつ的確に組織的に活動して、多数の被災者に的確できめ細やかな対応体制が確立して

いない。

土地利用空間計画利用 水災害、土砂災害を考慮した土地利用・空間利用を行うことは、一部でしかなされていない。災害に強い土地利用の誘導 建築に移転 抜本的な利用形態の再編

8) 総括と今後の展望

災害情報管理の目的は、直下地震の発災後の人命救助・被害の拡大抑制・復旧復興の過程で、緊急対応担当者が具体的に情報収集し行動の判断をし、活動するための体制を準備することである。その際、災害情報の果たす役割は大きく、危機管理活動の内容が、その後の災害の推移を支配する。これを地域の軸に、行政レベルから個人レベルに至る緊急対応に最適に運用するための被災情報の収集から利用を含めたシステムの構築を意図したものである。

5. 衛星情報の獲得方法と解析方法の学習

1) 地震被害、衛星から把握 数時間で全体像 写真のズレ検出 2002.11.5日経

大地震の発生直後、人工衛星で被災地の写真を撮影し、平常時の写真とのズレを検出して被害が大きい地域を特定するシステムを内閣府が2003年末までに実用化する。完全に自動化すれば発生から数時間で被害の全体像を把握できるといい、復旧対策などに役立てない考えである。

内閣府が写真の発注を予定しているのは、米国の企業が打ち上げた商用衛星イコノスなど、高度五千から千キロの軌道を南北に周回している地球観測衛星。地震発生後、最も早く日本上空を通過する衛星に撮影を依頼する。現在利用可能な衛星の解像度は1-10m程度で、解像度1mのイコノスは止まっている車なども識別できるといふ。届いた写真は平常時の写真と重ね合わせて、建築物の輪郭などのズレを検出。ズレが密集しているエリアを被害地域と特定し、数時間以内に国の緊急対策本部に情報を送って、自衛隊の派遣など応急対応に活用する。

橋、道路、鉄道などの重要施設については、事前にコンピュータに登録することで被害の有無がピンポイントでわかるという。

大地震の際には、通信網や交通網が寸断されるため短時間で情報を集約して被害規模を把握するのは困難を極める。1995年の阪神大震災では、「被害の全体像をつかめたのは三日後だった」（内閣府地震火山対策担当）内閣府は96年度から震度や地盤などのデータを基に30分以内に建築物被害や人的被害を推計するシステムを運用している。衛星写真による被害情報でこの推計を補強・修正することでさらに信頼性を高めたいとしている。

残る課題のひとつは、ズレを検出する精度の設定。自動車やベランダに干した布団などを被害と判断しないよ

うにズレの検出の仕方を調整する必要があるという。2003年度待つまでにシステムを実用化する予定であり当初は一部で人手が必要になるが2004年度末までには完全に自動化する計画である。

2) 空から注ぐ衛星の「視線」イコノスがとらえた東京 2001.1.12

高度680kmの軌道上を時速2万kmで周回する人工衛星イコノスが地球を丸裸にし始めた。地上の82cmの物体を識別できる巨大レンズを搭載、撮影した写真に乗用車や樹木の一本一本まで写っている。秘密は髪の毛の十分の一までの幅に振動を抑える究極の制御技術である。打ち上げたのは、ロッキードマーチン、レイセオンの防衛関連企業が三菱商事などと出資する合弁会社。つまり、イコノスには軍事偵察衛星の技術が詰め込まれている。三菱商事は一年前にイコノスが撮影した画像を販売し始めた。1平方kmで七千円。こう区域写真よりはるかに安く、画像のゆがみや建物の死角もほとんどない。衛星画像の国内市場規模は2010年に千億円から何千億円に膨らむ予測がある。2003年末には解像度50cmの次世代イコノスが打ち上げられる。上空から撮影を制限する規制は原則としてない。

3) 災害状況「衛星の目」ですぐ 倒壊の家屋や橋を識別 自動システム国が導入

阪神大震災のとき、通信の途絶や交通網の混乱で、被災の全体像を把握するのに三日もかかった。その轍を踏まないため、大災害の際、地球観測衛星から被害状況を把握するシステムを政府が準備しており来年度にスタートさせる。24時間以内に観測結果を解析し、緊急対応などに役立てようという狙いである。

阪神大震災を教訓に政府は96年度から、震度や地盤の情報を基に、地震発生から約30分以内に、死者数や倒壊家屋数、避難者数などを推計する被害早期評価システム(EES)の運用を始めた。しかし、死者ゼロだった鳥取県西部地震(00年10月)で209人と推定し精度はよくない。衛星を利用するシステムはE S Sを補強するほか火山噴火、大規模火災、船からの油流出事故などにも対応する。

その仕組みは、まず、災害発生時に最も早く被災地上空を通る地球観測衛星で撮影をする。22日に3.4号機も打ち上げられる予定の情報収集衛星、来年度に上がる陸域観測技術衛星のほか米国の商業衛星の利用も見込まれる。これらの衛星が撮影した写真から、被害状況を自動的に検出する。

6. 広域地震防災におけるリモートセンシング技術の応用

1) 概要：1995年兵庫県南部地震では、阪神・淡路地

区の広域にわたり甚大な被害が発生し、災害発生初期における被害情報の重要性が認識された。現場踏査が困難な地域や時期における地表モニタリングとして人工衛星や航空機等を利用したリモートセンシングがある。現段階では、**地上分解能**が数〜数十メートルと低いが将来的には、高分解能衛星が打ち上げられる予定である。

今研究では、建物被害データと地震前後に阪神・淡路地区を観測したERS衛星のSAR画像とを用いて、建物被害地域における後方散乱特性の変化を定量的に評価し、衛星画像を用いた被害分布の抽出を試みた。今回使用した画像は、1995年5月23日に観測したERS-1/SARを用いた。結果は、カージナル効果により後方散乱強度が大きくなった。地震後4ヶ月経過したものであることから、衛星は地震直後の建物被害状況を観測しているのではなく、瓦礫化した建物、瓦礫が撤去されて空地になった地域、新築の建物などの様々な状況を観察していると考えられる。**被害地域における後方散乱強度の値の平均的な傾向を利用することで、被害地域の大局的な分布は推定できる可能性があることが明らかになった。**判読精度の向上のためには、衛星の位置を含む観測環境、天候等のマイクロ波の伝播環境、地震被害以外の地表面の凹凸環境の変化や湿度度等の散乱環境を反映した詳細なデータに基づき誤判読の要因を検討する必要がある。日本をはじめ世界の各国が打ち上げる計画の複数衛星を利用することで、回帰日数の課題を解消するような努力をすることや複数衛星のデータの仕様をと統一し、データの一元管理をする仕組みが必要である。

2) 地表モニタリングとリモートセンシング

1995年兵庫県南部地震において、災害発生初期における被害情報の重要性が認識された。

現地踏査が困難な地域や時期における地表モニタリングとして人工衛星や航空機等を利用したリモートセンシングがある。人工衛星によるリモートセンシングでは、広範囲の情報を、ほぼ同一時刻にかつ同一地域の状況の経時変化を容易に得ることが可能である。都市構造物を把握するためにはより高い地上分解能が必要である。しかし、数〜数十メートルの分解能を有する衛星は回帰日数が数〜十数日であり、被害の早期把握の観点では、課題がある。人工衛星を利用したリモートセンシングは、大きくは、光学センサとレーダによる観測に分けられる。レーダ観測のひとつである合成開口レーダ (SAR) は人工衛星等のプラットフォームから照射したマイクロ波パルスの地表での反射 (後方散乱) 強度及び送受信したパルスの位相差などを測定する能動型センサーである。SARは、昼夜を問わず、かつ、雲を透過して地表を観測できることから、地震等の発災後における被害状況把握への利用が期待されている。

3) SARによる観測

SARが用いる照射する電磁波は可視域や赤外域よりも長い波長を持った位相のそろったマイクロ波である。SARによって照射されたマイクロ波は地表付近の物質の形状や物性、表面の状態などによって変化する。SARのセンサーは、地表で反射して戻ってきた後方散乱成分を観測する。後方散乱強度の大きさは、図4のようにマイクロ波の波長や地表への入射角度、地表面の凹凸等の影響を受ける。観測される位相についても地表付近や大気の状態によって複雑になる。地震などによって地表に何らかの変化が発生した場合、後方散乱特性が変化する。人工衛星により照射されたマイクロ波は建物と道路との間での複数反射 (カージナル効果) によって後方散乱強度は大きくなる。

4) SARデータ

兵庫県南部地震後に、阪神・淡路地域を観測したSAR搭載の人工衛星には、日本のJERS-1と欧州宇宙機関のERS-1がある。地震後のJERS-1/SAR画像には輝線状のノイズが多く含まれている。

地震後の画像として利用可能な最も早い時期のものは、1995年5月23日に観測したもので観測地域は図5で示した地域であり、地震後約4ヶ月経過している。また、画像の特徴の検討作業手順を図6に示す。複数時期の画像

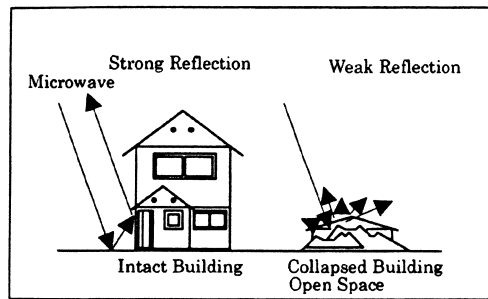


図4 SARによる後方散乱特性

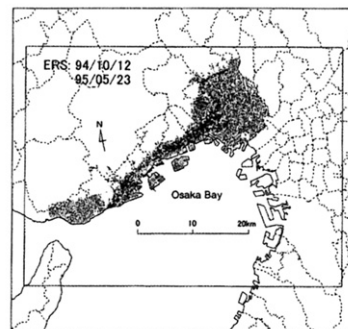


図5 ERS-1による観測地域

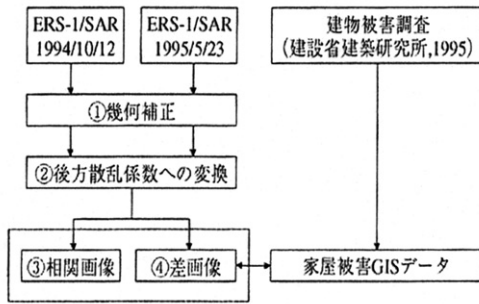


図6 SAR 画像の特徴検定の作業手順

データの比較には画像間の重ね合わせ (レジストレーション) が必要である。

5) 建物被害地域の SAR 画像特性

兵庫県南部地震の建物の被害調査報告はいくつかあるが、震災復興都市づくり特別委員会の結果に兵庫県都市住宅計画課による結果を加えた被災度調査結果が、建設省建築研究所により整理されている。兵庫県南部地震では、被害の大きかった地域は、市街地中心部であり、建物や道路が比較的密集している。このような地域では、カージナル効果により後方散乱強度が大きくなりやすい。被害の少なかった地域は、山や海側に分布し、植生や空地が多く存在するなどカージナル効果の影響は比較的少ない。本研究で使用した画像は、地震後4ヶ月経過したものであることから、衛星は地震直後の建物被害状況を観測しているのではなく、瓦礫化した建物、瓦礫が撤去されて空地になった地域、新築の建物などの様々な状況を観察していると考えられる。

6) 要約

被害地域における後方散乱強度の値の平均的な傾向を利用することで、被害地域の大局的な分布は推定できる可能性があることが明らかになった。判読精度の向上のためには、衛星の位置を含む観測環境、天候等のマイクロ波の伝播環境、地震被害以外の地表面の凸凹環境の変化や湿度等の散乱環境を反映した詳細なデータに基づき誤判読の要因を検討する必要がある。高分解能になることで、マルチルック処理がしやすくなることから、ERS 衛星と同程度の分解能に低下させて比較した場合には、判読精度の向上が期待できる。日本をはじめ世界の各国が打ち上げる計画の複数衛星を利用することで、回帰日数の課題を解消するような努力をすることや複数衛星のデータの仕様を統一し、データの一元管理をする仕組みが必要である。

7. 写真測量の計測精度に関する研究

1) 研究の概要 写真測量の分野において、デジタル

カメラを用いた測量が行われるようになってきた。最近、デジタルカメラの CCD 撮像素子の高解像度化が進み、現在では600万画素を超えるようなデジタルカメラまで登場している。しかし、画素数と計測精度の関係について公開されている資料は少ないのが現状である。

本研究では、81,121,266万画素で撮影した写真を、開発したステレオ写真による位置測定方法を用いたプログラムを使用し地上座標の計算値を算出し、その計測精度を調べた。結果をもとに具体的に画素数と撮影距離とオーバーラップ率の違いによる精度の影響を調べた。調べた内容は、次の4つである。

- ①画素数と計測精度の関係
- ②オーバーラップ率と計測精度の関係
- ③撮影距離と計測精度の関係
- ④計測誤差の傾向

さらに、単写真による位置測定方法とバンドル調整法によるプログラムを使い、精度を検証し先のステレオ写真測量による位置測定方法の精度と比較する。

2) 写真測量の原理

写真測量とは、写真に写されている被写体の物理量を測定することである。測定対象の物理量は、主として被写体の三次元座標である。今回用いた測量法について紹介する。

2.1 「ステレオ写真による位置測定方法」(図7)

ステレオ写真は同一の被写体を2箇所異なる位置から重なるように撮影し、得られた写真2枚1組を用いて3次元計測を行う方法である。この方法では、相互標定を行い、立体像(モデル)を形成し、絶対標定を行って測定写真座標から被写体の3次元座標を求める。撮影については、カメラを平行に動かして撮影を行う。ステレオ写真による位置測定方法では、計測したい領域が2枚の写真にどのくらい重なるかという重なり具合によって、計測精度は異なる。

2.2 「単写真による位置測定方法」(図8)

単写真測量は、1枚の写真から共線条件を用いて被写体の3次元座標を得る方法である。このとき、単写真測量のみで求められる座標は、X、Y座標のみでZ座標を求めることはできない。Z座標を求めるには、複数の単

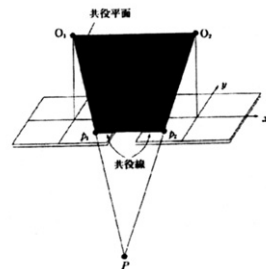


図7 ステレオ写真による位置測定方法

写真を撮影し、バンドル調整法を用いて行う必要がある。

2.3 「バンドル調整法」(図9)

バンドル調整法は、写真測量の基本式である、共線条件式をもとに異なる位置から撮影した2枚以上の写真(単写真)を用いて、写真1枚を単位として調整する方法である。バンドル調整(Bundle Adjustment)では、標定要素のみではなく、写真座標及び対応する地上座標も未知変量として同時解を求めていく方法である。単写真・バンドル調整法で使用する写真は、ステレオ写真と違い、カメラの傾きや重なり具合などを考える必要がない。

3) 撮影条件

テストターゲットのステレオ撮影に使用した点と基準点を、図10のように設定した。基準点6点を含む測点55点で構成された放射状に配置されたテストターゲットを使用した。テストターゲットの大きさは、0.5m×0.5mで、対角長は0.71mである。なお、プログラムでは、基準点の計測値を正確に計測すれば残りの測点が計算されるが、本研究では、計測精度の研究のためすべての点の計測には鋼巻尺を用いた。

ステレオ写真撮影に使用したデジタルカメラについて表2に示す。表2のカメラを使用し、ステレオ写真撮影を行った写真の条件を表3に示す。写真は、「撮影時の画素数」「カメラと被写体の距離」「オーバーラップ率」の順に決めて、撮影を行った。

写真撮影は、すべての種類において3回ずつ行った。また、カメラと被写体の距離とテストターゲットの対角長の比を α とおき、 α を次の式で定義する。

$$\alpha = \frac{\text{カメラと被写体の距離}}{\text{テストターゲットの対角長}}$$

今回の撮影におけるカメラと被写体の距離1.5m, 2.0m, 2.5mを α で表すと、 $\alpha = 2.11, 2.81, 3.52$ となる。

4) 計測の概要

ステレオ写真測量を行うためには、2枚の写真が必要である。本研究において、2枚の写真を、撮影した位置から「左写真」「右写真」と決めた。まず、「左写真」は、三脚にデジタルカメラを据付けて被写体の左側から撮影した写真で、一方の「右写真」は、被写体の右側から撮影した写真である。撮影は平行撮影法で行った。平行撮影法とは、2台のカメラ光軸を平行にし、さらに基線と光軸が直角に交わるようにした上で撮影する方法である。次に、撮影した写真を「Adobe Photoshop」などの画像処理ソフトで基準点や、測点のX,Y座標を読み取る。読み取った座標を機械座標とし、その機械座標をプログラムを用いて写真座標に変換する。写真座標をステレオ写真による位置測定方法を用いたプログラムと、実際に計測を行った地上座標を用いて計算すると地上座標が算出される。この地上座標は、プログラムによって計算さ

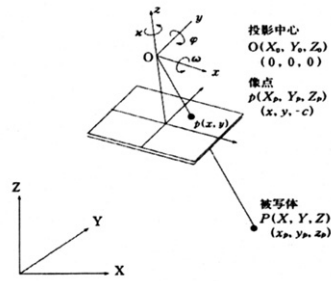


図8 単写真による位置測定方法

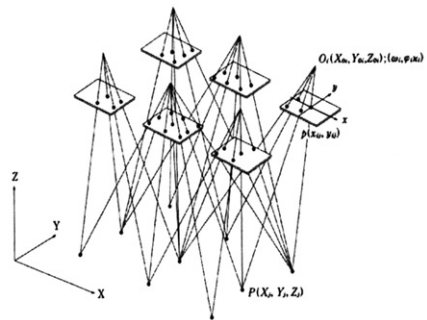


図9 バンドル調整法

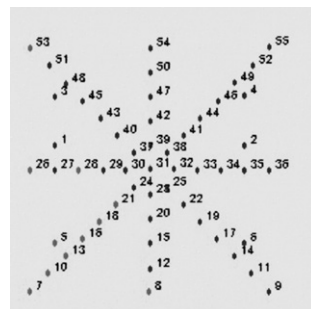


図10 テストターゲット

表2 使用したデジタルカメラ

画素数(pixel)	80万画素	121・266万画素
品名	Olympus C-820L	Sony CyberShot DSC-F505V
撮像素子サイズ(mm)	4.8×3.6	6.91×3.6
画素インチサイズ(インチ)	1/3	1/1.8
焦点距離(mm)	5	7.1~35.5(撮影時は7.1)
画素数(pixel)	30・121・200万画素	
品名	Fine Pix A201	
撮像素子サイズ(mm)	5.34×4.00 (対角長 6.67)	
画素インチサイズ(インチ)	1/2.7正方形画素	
焦点距離(mm)	5.5	

れた座標であり、実際に計測を行った地上座標とは異なったものである。

5) 測定精度の検討と考察

テストターゲットのステレオ写真撮影を行った結果を最大誤差で示す。右図に距離2.5m、266万画素のときのX、Y、Z座標の最大誤差のグラフを図11に示す。X、Y座標の差が0.001mであるのに対しX、Z座標の差は最大で0.007mと大きく出ている。一方X、Y座標に関しては最大誤差の値は最大値と最小値の差が3mm以内と安定している。このことは、撮影したすべての写真についてZ座標がX、Y座標に比べて大きく出ている。このことから精度の悪いZ座標に注目して結果を見ていく。

① 画素数と計測精度の関係

画素数と計測精度については図12のようになり、画素数が大きくなるにつれて標準偏差の値が小さくなる傾向がある。このことから、画素数と計測精度の関係は、画素数が低いと精度が悪くなり、画素数が高いと精度がよくなる。

最大誤差についても図13に示すように、画素が大きくなるほど最大誤差の値も小さくなっている。このことから最大誤差についても画素数が高くなると計測精度が上がる事がわかる。

② オーバーラップ率と計測精度

図14に示すように、画素数にかかわらずZ座標については、オーバーラップ率が大きくなるほど標準偏差の数値が大きくなった。また、一般的にはオーバーラップ率60%がよいとされるが、今回の計測では、オーバーラップ率40%のときに標準偏差の値が小さくなり、精度がよかった。

図15に示すように、最大誤差についてもオーバーラップ40%のときに最大誤差の値が小さく、オーバーラップ率が大きくなるにつれて最大誤差の値も大きくなる。このことから、オーバーラップ40%のとき精度が最もよいことがわかる。

③ 撮影距離と計測精度の関係

図16に示すように、オーバーラップ率40%のときの計測精度に関しては、距離によって標準偏差の値は減少傾向にあるが、全体としては0.00025付近で安定していた。このことから、ターゲットサイズと距離の比による計測精度の差は見られない。

図17に示すように、最大誤差については増加傾向にあるが、どの画素数でも最大値と最小値の差が2~3mmと差がなく、ほぼ安定していた。このことからターゲットサイズと距離の比による計測精度の差は、ほとんど見られない。

④ 誤差分布

図18と図19の上段に誤差分布をさせた図、下段に誤差

表3 ステレオ写真撮影を行った写真の条件

画素数(万画素)	81,121,266
オーバーラップ率 (%)	40,50,60,70,80
被写体とカメラの距離 (m)	1.5,2.0,2.5

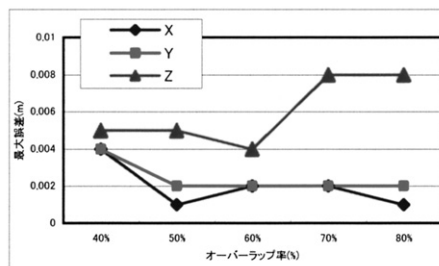


図11 距離2.5m, 266万画素の X,Y,Z 座標の最大誤差

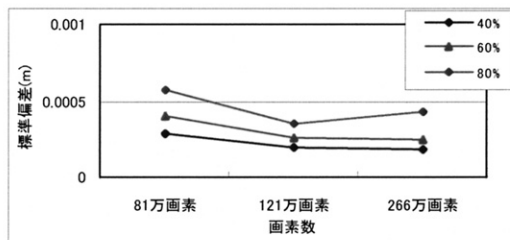


図12 距離2.5m のときの Z 座標の標準偏差

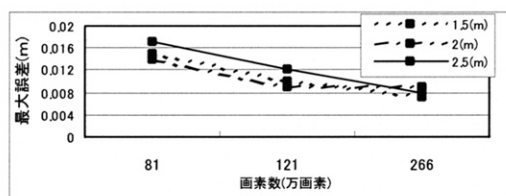


図13 画素数ごとの Z 座標の最大誤差

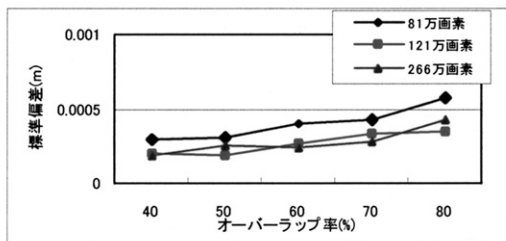


図14 距離2.5m のときの Z 座標の最大誤差

分布を上から見た図を示す。この誤差分布は、赤色がプラス、青色がマイナス側に誤差が出ていることを示す。上段の図の誤差分布から中心からテストターゲットの周辺部へ誤差が大きくなる傾向がある。一方下段の図においては、上段のように特定の点で傾向が見られるというような規則性はない。このことから、事後補正によって

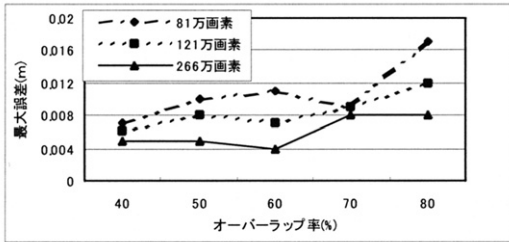


図15 距離2.5mのZ座標の標準偏差

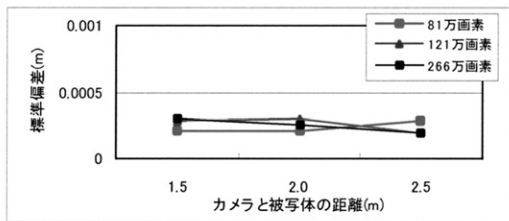


図16 距離と標準偏差の関係

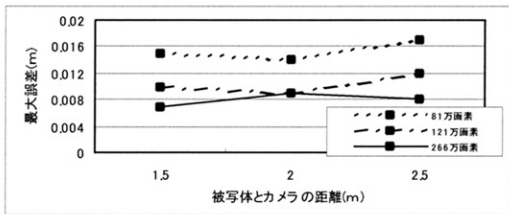


図17 距離と最大誤差の関係



図18 距離2.5m, 266万画素, 40%のZ座標の誤差分布



図19 距離2.5m, 266万画素, 70%のZ座標の誤差分布

計測精度を上げることはできないことがわかる。

⑤ 3つの写真測量法の比較

3つの写真測量法による比較を行った。比較に使用した写真の種類を表4に示す。写真は、ステレオ写真のときに最大誤差が出た写真の写真座標を使い、3つの写真測量法の最大誤差の比較を行った。

図20のように、画素数が大きくなると最大誤差の値も小さくなる傾向になった。また、ステレオ写真測量に比べて、バンドル調整法で、計測を行ったほうが、誤差の値が小さくなり、精度がよくなる傾向がある。

6) 11号館の正面の3次元計測

11号館の正面の3次元計測を行った。計測条件として、カメラと被写体の距離が29mでオーバーラップ率は60・70・80%で、画素数は、30・121・200万画素である。地上座標は、ステレオ写真で計算を行い比較を行った。比較の対象は、テストターゲットの写真撮影の121万画素、カメラと被写体の距離2.0mのときのオーバーラップ率60~80%の最大誤差の14.5倍したデータである。図21に

表4 比較で用いた写真の種類

OverLap(%)	81(万画素)					121(万画素)					266(万画素)				
	40	50	60	70	80	40	50	60	70	80	40	50	60	70	80
1.5(m)					○						○			○	
2.0(m)				○	○										○
2.5(m)				○						○					○

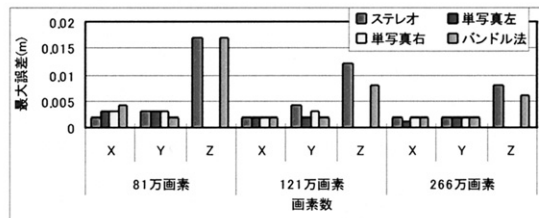


図20 計測の違いによる最大誤差の比較

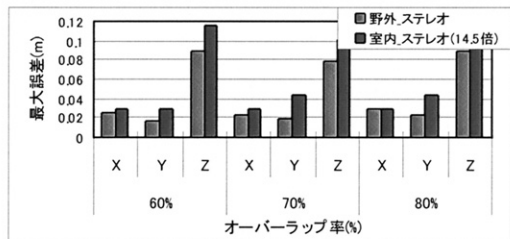


図21 3次元計測の結果と室内計測の最大誤差の比較

最大誤差の比較のデータを示す。

図21のように X,Y,Z 座標とも、テストターゲットの写真撮影の最大誤差の値の14.5倍が、ほぼ11号館の3次元計測の最大誤差の値になっていることがわかった。このことから、テストターゲット写真撮影のカメラと被写体の距離に対する誤差と割合的にほぼ同じ傾向になることがわかる。

7) 結果の要約

- ① 室内計測において、81万画素の最大誤差が0.017m、121万画素の最大誤差が0.012m、266万画素の最大誤差が0.008mと画素数が多いほど計測精度が上がった。
- ② 室内計測のすべてのテストターゲットの計測において、Z座標の計測精度がX,Y座標の計測精度に比べて悪かった。
- ③ 室内計測では、Z座標の場合オーバーラップ率40%のときに計測精度がよい。
- ④ 撮影距離を1.5m、2.0m、2.5mと変えた場合、最大誤差の差が0.002~0.003mであった。
- ⑤ 誤差分布は、中心から周辺部へ誤差が広がる傾向はあるが、規則性はない。
- ⑥ Z座標の精度は、バンドル調整法で行うほうが、ステレオ写真測量よりもよかった。

7. 広域地震防災とリモートセンシング技術の連携

1) 倒壊の被害を瞬時に推定 防災科学技術研究所

地震直後にヘリコプターや飛行機で撮影した画像から、建物の被害状況を自動的に推定するシステムを防災科学技術研究所が開発した。わずか1分足らずで画像を処理し、建物の被害状況を色分けする。被害状況を早期に把握するのに役立つそうだ。

画像では、倒壊していない建物は直線的で屋根の輪郭のはっきりしているのが倒壊すると、直線的なところが減り瓦礫で屋根の部分に複雑な線が現れる、こうした変化をコンピューターが見分け倒壊の程度を推定して色分けするもので、どのあたりの被害が大きそうか、といった情報がすぐに得られる。解像度が10-50cm程度の画像なら入力して1分もあれば処理できる。より広い撮影した画像で、解像度が8-30m程度のものでも被害が甚大な地域の推定が可能という。

システムを組み込んだパソコンを減りに持ち込めば、より早く全体の被害状況がつかめる。

同様のシステムは、人工衛星でも計画されているが、被災地を撮影できる位置に来るまで時間がかかる場合もある。ヘリなどの方が柔軟に運用でき、解像度が高い画像が得られる。災害発生前後の画像の変化で被害を算出する方法もあるが、新システムは地震前の画像がなくて

も対応出来る点に特徴が認められる。

2) 日本も偵察衛星時代に 大災害の把握や資源探査に期待 2001.9.2日経

H2A ロケット一号機の打ち上げ成功で、日本の衛星計画が再び動き始める。2004年度には、偵察機能を備え、初の情報収集衛星といえる陸域観測技術衛星 (ALOS) を打ち上げる。大規模災害の把握や資源探査などで活躍を期待できるが、機能を十分に生かせるのかいくつかの課題も残っている。

最大分解能1mに ⇒ 観測衛星として最大級のALOSは、高度約690kmと比較的低い、地球を南北に回る軌道に乗る。一周する間に地球の自転で軌道は西に少しずれ四十六日間に地球を671周し再び同じ地点の上空に戻る。三種類のセンサーを搭載することが決まっており、これらで地上をくまなく観測することが出来る。

各センサーは、それぞれ違う役割を持つ。立体視センサーは地形の標高を計測する。地表に発信した電波の反射波から情報をつかむ合成開口レーダーは、雲の有無や時刻に左右されずに観測できる。可視近赤外放射計が得た観測データからは、カラー画像が合成できる。

このうち最も分解能が高いセンサーは、合成開口レーダーである。地表で1mの対象物を判別できる。これは1999年に打ち上げられた米国の民間偵察衛星とイコノスと同等の能力である。現在宇宙開発事業団と資源探査用観測システム研究開発機構が共同で開発している。

ALOSの観測で得られる情報は膨大で多様である。分析の仕方によって非常に質の高い情報となる。石油資源を見つけられるかもしれないし、海洋に不法投棄されたごみの監視も出来る。植物分布の変化を調べ、ある感染症の原因となる病原菌の拡大範囲を推定することも可能とされる。

常時観測がカギに ⇒ そのデータを24時間体制で観測するには、様々な分野の専門家が集まった200人くらいのチームが最低三組は必要といわれる。日本では今のところ、内閣に設置される委員会によって管理されるといわれている。解析する人材と施設を、しっかりと確保できるのか。こうした情報収集活動にはコストがかかることを認識し、政府だけでなく国民にも役立つ利用法を考えておかななくてはならない。

ALOS 開発が決まった98年11月6日、米スミソニアン協会の航空宇宙博物館に新たな展示物が加わった。60年代に極秘裏に打ち上げられ、冷戦下の旧ソ連と東欧諸国を監視していた米国家偵察局のコロナ偵察衛星である。同衛星は、地上の4m大の物体を識別する分解能があった。クレムリン宮殿をはじめ様々な軍事基地をフィルムに撮影し、カプセルに詰めて地球に再突入させ回収させていた。68年12月にはバイコヌール宇宙基地でN1型有

人月ロケットを撮影，地表に写った影の長さから全長のを100m強と解析した。月到着を目指した米口の開発競争の陰には常に衛星の偵察情報があつた。

2004年度には旧式 ⇒ ALOS の性能は，学術的な資源探査や動植物の分布状態を観測する用途には十分である。ただ，国土保全や防衛などですでに活躍している世界の偵察衛星の性能と比較すると能力不測は否めない。米港とロシアはもとより，カナダの地球観測衛星レーダーサットや，韓国が米国と協力して打ち上げた地球観測衛星キトサットはすでに，1mより小さい対象も判別できる能力を持つ。ALOS は陸域観測という目的があり，純然たる偵察衛星とは異なるかもしれないが，打ち上げ予定の2004年度には，最高水準とは言えなくなる。日本の最先端技術を駆使すれば分解能 5 cm は可能はずといわれる，高い目標に挑んでほしい。

3) 被災状況 衛星でキャッチ 倒壊など分析 避難誘導 新システム導入へ 2001.8.19読売

内閣府は地震や火災・水害など大規模災害地に人工衛星を利用して建物の倒壊や土砂崩れなどの被災情報を発生直後に把握できる「被害早期把握システム」を2003年に導入する方針を固めた。システム開発費2億円を2002年に予算概算要求に盛り込む。政府が2003年2月に打ち上げる予定の情報収集衛星から，建物の高さや地面の色，温度などのデータを収集し，内閣府内のコンピューターで被災状況を分析する。建物の高さや地面の色の変化から，建物の倒壊，土砂崩れによる道路の寸断や橋の落下，河川氾濫による浸水情報を入手。温度やガスのデータからは地震に伴う火災の広がりや火山噴火の場合は非難が必要な地域を判断する。データの分析結果は，内閣府が首相官邸の内閣情報収集センターや国土交通などの関係省庁，地方自治体に送信し，救助・救援活動の迅速化を図る。

内閣府は現在，地震に限って震度と過酷の木造比率などから人的被害を大枠で推計する「地震被害早期評価システム」を運用しているが，新システムは地震，風水害や噴火などについて，人的被害以外の被災状況を瞬時に詳しく把握できる。

4) 衛星画像で検出 地盤沈下や活断層の動き

2001.2.20日経

イメージワン（画像処理システム商社）は，人工衛星が撮影した地表面の画像をもとに地盤沈下や活断層の動きを検出するサービスを平成13年3月から始める。

欧州で開発された先端技術を用いて地面の動きを広範囲・長期間にわたって観測できるため，災害予防のほか環境対策，地盤調査などの産業用途も幅広いという。基本技術を持つ英国企業と提携し，イメージワンが日本で

独占的に手掛ける。

8. 地域防災計画の総合化と連携化

防災白書より国（政府レベル）での緊急対応をみると，阪神・淡路大震災を教訓に，発災時における応急対策活動を円滑に行うための課題として，特に被災地の状況を迅速に把握するとともに，情報を統合化し，総合的な意志決定を行うことの重要性を指摘している。

内閣府では，様々な防災情報を地理情報システム（GIS）を活用してコンピュータ上の数値地図と関連づけて管理し，事前対策，応急対策及び復旧・復興対策の各段階における防災活動を支援する「地震防災情報システム（DIS：Disaster Information Systems）」の整備を進めている。DIS(図22)は，あらかじめデータベースに登録されている地形や地盤状況，道路・鉄道などの社会基盤施設，行政機関，防災施設などに関する情報と様々な被害情報をシステム上で重ね合わせることで，震災対策に求められる各種の分析や発災後の被害情報の管理を行うものである。

DISの機能を活用することにより，事前対策，応急対策，復旧・復興の各段階に応じて，[1]地震発生時の被害の想定の実施や被害想定に基づいた地震に強いまちづくり計画の作成等の支援，[2]地震発生後に送られてくる震度情報に基づく被害推計による被害規模のおおまかな把握や被災地の被害情報に基づいた緊急輸送，救助・医療，避難，ライフライン，ボランティアなどの各種応急対策計画の策定の支援，[3]公共施設や輸送機関などの復旧・復興に有用な情報の提供や復旧・復興計画の進捗状況の適切な管理等が可能となり情報の統合的な活用による各種震災対策の充実が可能となる。

さらに，総理官邸をはじめとする関係省庁に DIS 端

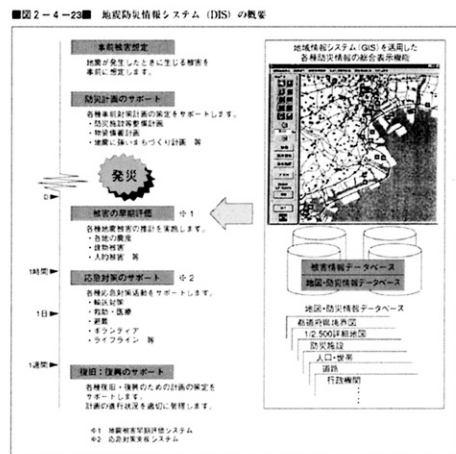


図22 地域防災情報システム(DIS)の概要

末を設置して、関係機関における防災情報の共有化を支援するほか、ライフライン業者など防災関係機関とのオンライン化によりライフライン施設の運転情報などの被害状況を早期に把握できるように努めている。

DIS は主に地震被害早期評価システム (EES)、応急対策支援システム (EMS) 等から構成されている。

「応急対策支援システム (EMS: Emergency Measures Support System)」は、あらかじめ防災情報データベースに蓄積された情報と、発災後に防災関係機関から提供される実際の被害情報や応急対策の状況等に関する情報を、GIS を用いて集約・整理し、関係省庁間で共有することにより、各種応急対策活動を支援するものである。このうち、広域医療搬送活動については、「南関東地域の大規模震災時における広域医療搬送活動アクションプラン」に対応した機能の整備を行い、平成11年度から稼動している。

また、平成14年度には、東京電力や東京ガスといったライフライン業者より停電情報、ガス供給停止情報といった被害情報をオンラインで受信する機能を追加した。

さらに、宇宙開発分野の防災への活用方策として、人工衛星のリモートセンシング技術を活用した被害早期把握システムの構築を図っており、これにより、交通寸断や情報網の途絶による情報空白が改善されることとなる。

一方で、地方自治体においても、県庁などの本庁と出先機関を光ファイバー網で結ぶ「情報ハイウェー」などを導入し、災害時に出先機関からの被害情報や災害救助ヘリコプターの画像などを瞬時に伝送できるようにし、被害早期把握を目指している。

しかし、人工衛星のリモートセンシング技術やインターネットを介した高速かつ大容量伝送システムの構築が急がれる一方で新たな問題も出てきている。2003年5月26日に起こった宮城県沖地震で被害の大きかった岩手県では、前述の「情報ハイウェー」を2000年に導入し専用回線を導入し、災害時の被害の早期把握を目指していた。しかし、出先機関の一つから情報が受信できないというトラブルが発生した。原因は、対応した職員が操作に戸惑うといったものであった。また、岩手県では「情報ハイウェー」システムの導入に伴い今まであった防災無線を廃止したため、現場と出先機関との連絡が携帯電話のみとなり、その携帯電話が地震直後からの発着信規制により使えなくなり、職員が現場と出先機関との往復に奔走する結果となった。このように、システムを導入しても使える職員が少ないためにシステムを生かしきれないという現実に対処すべく職員への機器の使用法の周知徹底や防災意識の高揚、また防災システムだけでなくタクシー無線などを利用した災害情報の収集し、正確かつ迅速性に情報伝達できるようなシステムを構築することが

今後の課題であり、克服すべき問題であると考えられる。

参 考 文 献

1. 城野博, “デジタルカメラの計測精度に関する研究”, 平成15年度福岡大学大学院工学研究科建設工学専攻修士論文
 2. 松岡正志・山崎文雄, “1995年兵庫県南部地震での建物被害地域における人工衛星 SAR 強度画像特徴”, 日本建築学会構造系論文集, 第546号, pp.55-61, 2001
 3. 安岡善文, “リモートセンシング技術の新たな展開”, 土木学会誌2004年1月号特集, 2004
 4. 緊急対応と災害情報 多賀直恒の関連報告書
 5. 防災白書 航空機・人工衛星の撮影画像支援による探査 衛星画像の実例
 7. 最近の新聞記事による情報収集 衛星 GPS, GIS
 8. 長谷川均, “リモートセンシングデータ解析の基礎”, 古今書院 2001年1月 第二刷 3500円
 9. 地震被害, 衛星から把握 日本経済新聞, 2002.11.05
 10. 空から注ぐ衛星の視線アイコンスがとらえた東京, 2001.1.12
 11. 災害状況「衛星の目」ですぐ 倒壊の家屋や橋を識別 自動システム国導入
 12. 倒壊の被害を瞬時に推定 防災科学技術研究所
 13. 日本も偵察衛星時代に 大災害の把握や資源探査に期待 日本経済新聞2001.9.2
 14. 被害状況 衛星でキャッチ 倒壊など分析 避難誘導 新システム導入へ 読売新聞 2001.8.19
 15. 衛星画像で検出 地盤沈下や活断層の動き 日経 2001.2.20
- GPS/GIS に関する資料 新聞リスト 2004.5.7
1. 欧州版 GPS, 米に挑戦, 日本経済新聞, 2000.03.12
 2. 広域災害 衛星で素早く対応, 西日本新聞, 2000.08.01
 3. 空から注ぐ衛星の「視線」, 日本経済新聞, 2001.01.12
 4. 日本列島 動きます, 2001.02.24
 5. 21世紀の情報基盤・GIS シンポジウム, 日本経済新聞, 2001.03.20
 6. 「ゆっくり地震」東海地震の前兆? 週刊朝日, 2001.08.17
 7. 雷災害の予防対策を万全に, 朝日新聞, 2002.06.21
 8. 大災害に国際共通番号, 日本経済新聞, 2002.08.17
 10. 「仮設」減り増える建物, 日本経済新聞, 2003.01.11
 11. 村山知博 「時空のゆがみ」観測へ, 朝日新聞, 2004.05.05
 12. 桜井林太郎 GPS で「津波をキャッチ」, 朝日新聞
 13. 桜井林太郎, 被災状況「衛星の目」ですぐ, 朝日新聞

