

ワークショップ 「リアルタイム地震情報伝達システム」 —今後の産官学連携のために—

開催日： 2001（平成13）年2月23日（金）

会場： つくば国際会議場（エポカルつくば）

主催： つくばサイエンス・アカデミー、防災科学技術研究所

開催報告

情報を提供する側と情報を必要とする側の連携

防災科学技術研究所 石田 瑞穂

今回のワークショップは、以下のような経緯の下で開催されました。

1995年1月17日の未明に発生した兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）を契機に、地震防災の重要性と日常の地震に関する情報の大切さが再認識され、その結果として、日本列島を均一に覆う地震観測網（高感度地震計、強震計、広帯域地震計）の整備が国策として強化されるようになりました。それと同時にこれら新観測網と従来の観測網からの膨大なデータは併せて処理され、その解析結果は国民への義務として即時公開されることとなりました。

しかし、現時点でこのようなデータそのものの利用はどのようになっているか、これらデータを用いた即時情報の発信のためにどのような研究が進められているかなどは、従来利用機関である自治体や企業あるいは個人にはあまり知らされてきませんでした。情報を提供する側と情報を必要としている側が、どのような連携をとれば膨大な地震観測データが真に効力を発するようになるかを知ることは、リアルタイムデータ情報処理と伝達を進めようとしている研究者のすべき第一歩です。今回の「産官学の連携のために」というサブタイトルは、このような意図の下に付けられました。午前中には、一般の人々を対象とした講演を、午後には実際にデータに携わ

っている人々を対象とした講演を企画したのも、同じ理由です。

午前中には、最初に災害社会学を専門とし、災害現場に出向いて災害時（地震、台風など）の人間情報を調査することにより、どんな情報が必要かを研究している東京大学社会情報研究所の廣井教授から「地震と防災情報」について講演がありました。そこでは、適格な情報が災害軽減にいかに重要であるか、1995年兵庫県南部地震が阪神・淡路大震災として人々の記憶に残されるようになった一因には、適格な情報の不足があったことなどを挙げながら指摘されました。次に、鉄道総合研究所（JR）の前ユレダス推進部長であり、現在システムアンドデータリサーチ株式会社の社長である中村氏から「地震警報と情報」について講演がありました。ユレダスは、日本におけるリアルタイム地震情報の草分けとして広く知られていますが、これは中村氏がJR勤務時代に実用化したシステムです。しかし、どんなに早く情報を提供したとしても、地震動による災害をすべて防ぐことは不可能であるから、事前に耐震強化や防災対策が必要であるという論旨は、早期情報システムの創始者である当氏から言われると一層説得力が増しました。

午後は、地震情報伝達や防災関連の産官学の関係者に



向けた講演がなされました。最初は、「USAにおけるリアルタイム地震情報と防災」というタイトルで、カリフォルニア工科大学の金森教授が講演されました。リアルタイム地震情報伝達システムを災害軽減に役立つシステムにするためには、データの提供者側と利用者側の相互理解がいかに重要かを、1990年代初期に金森氏が中心となりカリフォルニアで構築したCUBE（現Tri-net）というシステムの活用例をあげながら、説明されました。このシステムは、その後日本をはじめ世界中の研究者にリアルタイム地震情報伝達とはいかにあるべきかを認識させるものとなりました。さらに、この講演では、産官学の協力においてTri-net（新CUBE）がいかに実用的なシステムとして更新され続けているか、最近の地震情報が耐震技術の進歩にどのように貢献しているかなどと併せて紹介されました。

その後の講演は、日本においてリアルタイム地震情報と地震防災に関与している機関が、それぞれの立場から現状と今後の方向性を紹介しました。まず、防災科学技術研究所では、1995年兵庫県南部地震以降、地震調査研究推進のために日本中に整備しつつある高感度地震観測網、強震動観測網、広帯域観測網の現状とデータ処理について、さらにこれらのデータを用いたリアルタイム地

震情報伝達システム(ROSE)、地震動推定、被害推定などの研究成果について、最後にこれらのデータを統合する研究データセンターの今後の展望について紹介されました。次に、東京大学地震研究所地震予知情報センターで取り組んでいる、グローバル地震観測網の準リアルタイムデータを用いた世界中の大地震の解析について、どのくらいの時間内でどこまで詳しく地震情報が求められるかなどが紹介されました。次に、国民一般に地震・津波の情報を提供することを業務としている気象庁から、一元化データ（気象庁、防災科学技術研究所、大学等の地震観測網からのすべてのデータを統合したデータ）を用いていかに早く正確な情報を提供しようとしているか、現状と今後の方針とが紹介されました。横浜市からは、横浜市高密度強震ネットワークに基づく地震動の把握と被害推定にとどまらず、さらに現場からの被害情報をいかに迅速かつ効果的に収集・集約するかまでを目指した同市で開発している「横浜市リアルタイム地震防災システム（READY）」が、紹介されました。東京都建設局道路管理部からは、被災した道路ネットワークを有効に制御していくために、地震による道路施設の被害情報に基づくだけでなく、地震による交通需要の発生量の予測や地震発生から復旧に至るまでの道路交通シミュレーショ

ンを視野に入れた対策が紹介されました。日本原子力研究所からは、ユーザの地震情報に対する種々の要求項目・要求時間・要求精度に対応するために、各パラメータ間のトレードオフを考慮し、必要に応じて任意に手法を選択できるシステムを開発したことが報告されました。日本で唯一のTri-netの会員であるサイエンスソリューションズ株式会社からは、災害軽減のためのリアルタイム地震情報として利用者は何を要求しているか、迅速かつ適格な情報に基づき素早く対応することにより、どのように被害を軽減できるか、情報通信技術、エレクトロニクスなどの新規技術の積極的利用がいかに必要ななどが報告されました。最後に、伊藤忠テクノサイエンスから、札幌市において既に構築された地震観測情報と被害予測結果を利用者（公的機関から個人まで）に自動的に配信するシステムと、現在構築中の災害時に意志決定支援システムとして機能することを目指したGISを組み込んだ被害情報収集システムとが紹介されました。

当初、このワークショップの参加者として午前中に100名程度、午後には30～40名程度を考えていました。午後の講演発表の最初に金森教授が、このワークショップは内輪の勉強会ということで講演を依頼されたが、参加者が多くて驚いたとおっしゃっていましたが、120～130名が午前10時から午後6時過ぎまで、予定時間をはるかに超えて続けられた総合討論にまで残って、活発な議論を展開しました。予想を超えた参加者の多くは、参加者名簿から伺われるように地震情報発信側の専門家ではなくデータ利用者側の様々な産官学の関係者でした。このことから、今までいかに地震情報発信者側からのデータ全般に関する情報発信が少なかったかが伺われると同時に、こうした産官学の連携が非常に望まれていることがわかりました。今回のワークショップを皮切りに、今後もこうしたワークショップが継続されることが望まれます。

「リアルタイム地震情報伝達システム」 ワークショップ プログラム	
「リアルタイム地震情報伝達システム」ワークショップ プログラム	
午前の部 / 一般向け講演会 「地震が起きた時、災害をどれだけ減らせるか」	
10:00 ~ 10:05	開会挨拶 藤井友竝（つくばサイエンス・アカデミー理事・土木研究所長）
10:05 ~ 11:05	講演1 地震と防災情報 廣井 脩（東京大学社会情報研究所）
11:05 ~ 12:05	講演2 地震警報と情報 中村 豊（システム アンド データリサーチ）
午後の部 / 専門家会議 「リアルタイム地震情報伝達」に関するワークショップ	
開催挨拶: 片山 恒雄（防災科学技術研究所） 司 会: 石田 瑞穂（防災科学技術研究所）	
13:10 ~ 13:30	I. USAにおけるリアルタイム地震情報と防災 金森 博雄（カリフォルニア工科大学）
13:30 ~	II. 日本におけるリアルタイム地震情報と防災
13:30 ~ 14:55	1 防災科学技術研究所 ・高感度地震観測網: 小原 一成（防災科学技術研究所） ・強震動観測網: 藤原 広行（防災科学技術研究所） ・広帯域地震観測網: 福山 英一（防災科学技術研究所） ・リアルタイム情報伝達システム(ROSE): 大井 昌弘（防災科学技術研究所） ・地震動推定: 久田 嘉章（工学院大学） ・被害推定: 澤飯 明広（構造計画研究所） ・防災研究データセンターの展望: 笠原 敬司（防災科学技術研究所）
14:55 ~ 15:10	休 憩
15:10 ~ 15:30	2 地震予知情報センター 菊地 正幸（東京大学地震研究所）
15:30 ~ 15:50	3 気象庁 横田 崇（気象庁総務部企画課）
15:50 ~ 16:10	4 横浜市 中島 徹也（横浜市総務局災害対策室）
16:10 ~ 16:30	5 東京都 小川 好（東京都建設局道路管理部）
16:30 ~ 16:50	6 地震情報緊急伝達システムの研究開発 蝦沢 勝三（日本原子力研究所）
16:50 ~ 17:10	7 リアルタイム地震情報の活用 西川 正名（サイエンスソリューションズ）
17:10 ~ 17:30	8 GISを利用した地震防災システム 坂上 道年（伊藤忠テクノサイエンス）
17:30 ~ 18:00	III. 討論(今後の連携等)
18:00 ~	懇親会 小会議室 304(3階)

講演要旨

USAにおけるリアルタイム地震情報と防災

金森 博雄 (カリフォルニア工科大学)

地震情報の一般公開を目的としたCUBE

地震情報を一般に公開する目的で、CUBEというプロジェクトが1990年にカリフォルニア工科大学 (Caltech) とアメリカ地質調査所 (USGS) で始められました。

CUBEはCaltechとUSGSが南カリフォルニアに整備した地震観測網でデータを集め、それを処理・解析して商業ラジオペイジャーを使って情報をユーザーに流すというものです。当初は公益事業体や行政機関がユーザーとなり、年に2回程度ユーザーミーティングを行い、ミーティングの結果がデータを処理している我々のところへフィードバックされました。データ配布とユーザーが一体化したシステムをとったためにユーザーが必要としている情報がわかり、また我々のほうからもユーザーにどのような情報を提供できるかを提案することができました。このようなやりとりの中で、CUBEを有効に使う上ではユーザーとの情報交換が重要であることを学びました。

安定性と信頼性を重視したトライネット

CUBEをさらに技術的に改良し、CaltechとUSGSにCalifornia Division of Mine and Geology (CDMG) も加わり、連邦緊急事態管理局 (FEMA) の資金によって1997年からはトライ (3機関) ネットのプロジェクトが始まりました。トライネットでは我々がもつ150の観測地点を改良し、CDMGのもつ400の地震計とネットワークでつなぎ、精度よりもシステムの安定性と信頼性を重視しました。

カリフォルニアで1980年代以降に経験した大地震では、普段は100%動いていた我々のシステムが必ず動かなくなるというアクシデントが起きました。そこでトライネットでは、地震が起こると開始するというそれまでのトリガーモードではなく、信号を連続して処理するという特徴的な手法を取り、時間的に戻って処理する必要がないようにしました。この手法では地震が起こっていないときも常に地面の振動のデータを処理・解析して情報を出しています。

連続処理手法が最初に試されたのが1999年10月16日にカリフォルニアで起こったマグニチュード7.1の地震 (Hector Mine地震) で、トライネットがすぐに情報を出した大地震はこれが初めてでした。

トライネットとCUBEの違いは、テレメーターが改良され、ダイナミック・レンジが広がり、観測点の信頼性が良くなったことで技術的観点からみてもはるかにトライネットの性能が上がっていることです。

5年間に約20億円の予算をかけて進められたトライネットのプロジェクトは今年で終わりますが、その成果が認められ、トライネットの考え方をういたネットワークをアメリカ中に整備する計画 (Advanced National Seismic System) が今年度から始まります。

リアルタイム地震情報の利用法

トライネットによって地震のリアルタイム情報が出るようになったので、さまざまな用途に使うことを考えています。

例えば、地面は地震が起こってなくても揺れているのでリアルタイムの地面の揺れを地図にするシェイクマップ作り、基準点の地表の地震動を測る (ground motion studies) ことや、地震によって壊れた建物がどのような地震動の被害を受けたかを明らかにするためにできるだけ多くの場所に地震計を置き、建物を壊す地震動を調べる (reference motion for structured advanced buildingcode) ことも考えています。

地震後に地震動の地図を作り、その後の対策に使う (post earthquake response) ことはすでに始まっています。また、本当の意味でのリアルタイム、日本では「ナウキャスト」と呼ばれているような、非常に早い情報を使って地震動が起こっている間あるいは起こる前から何かを始めようとする思想です。たとえば、工学的活用としては地震動を素早く検知し、その情報をもとに建物が揺れないようにストラクチャルコントロールすることなどです。

今後はリアルタイム地震学を技術的に向上させつつ、幅広い目的で有効に使う方向で研究を進めていきたいと思えます。



金森博雄先生の講演風景

リアルタイム地震情報の最前線



講演 1

東京大学社会情報研究所 廣井 脩

阪神・淡路大震災 - 空白の4時間

私は災害社会学を専門としていて、ここ二十数年は地震、噴火、津波、風水害といった大きな自然災害が起こると、災害の現場に行ってソフト防災についての調査・研究をしてきました。研究テーマの一つである災害情報の研究では、災害が起こったときに災害情報の収集や伝達がどう行われたのか、どこに問題があったのか、そもそも災害時の情報の収集や伝達はどうかあるべきかといった調査をしています。

阪神・淡路大震災は、1995年1月17日午前5時46分に発生しました。このマグニチュード7.2の地震によって、地震直後の死者が5,500人、負傷者が4万人と、人的被害としては大正12年の関東大震災以来、最大の被害を出してしまいました。その後、都市防災について、いろいろな面から批判や反省があげられましたが、阪神・淡路大震災では、警察や消防、自治体の初動態勢が大幅に遅れたことが、ソフト防災の面から見たときの、一番の反省点ではないかと思います。

具体的な例をあげますと、兵庫県警には防災業務計画というのがあり、災害が発生したら直ちに災害対策本部を設置することになっています。この本部は災害による死者の捜索や負傷者の救出、交通規制といった大変重要な役割を果たすのですが、阪神・淡路大震災のときには、兵庫県警が災害対策本部を正式に設置したのは、地震が発生してから約4時間後のことでした。

神戸市内の火災の発生状況を把握して、神戸市消防局では手には負えないという判断をし、神戸市長、兵庫県

知事を通じて、自治省消防庁長官に全国の消防機関からの応援を要請するのにも大体4時間かかりました。

兵庫県知事が自衛隊の出動を要請したのも、午前10時と地震発生から4時間以上かかったのは有名な話です。ですから、警察も消防も自治体も、事態の重大性を把握して防災活動を本格的に開始するまでに、地震発生後およそ4時間かかりました。地震後4時間は、ほとんど何の対応もできず、初動態勢が遅れたと言われても仕方がないと思います。しかし、問題はなぜ初動態勢が遅れたかということで、これには情報が深くかかわっています。

まず、消防、警察、自治体、防災対策を行う防災機関の建物などの被害が大きかったこと、地震が連休明けの明け方に起こったということがあげられます。警察や消防は24時間体制をとっていますが、自治体の職員はほとんど自宅にいました。また災害時には緊急参集の態勢をとりますが、交通機関が途絶えている、職員の家族がけがをした、職員の家が崩壊したということで、職員がほとんど集まりませんでした。地震当日の兵庫県の職員の参集率は20%、神戸市は40%ということで、戦力が半減していました。

主要な防災機関や都道府県、市町村長には防災業務計画や地域防災計画といったものがあります。その中に、災害が発生したときにどういうふうに情報を集めるか、という項目があります。例えば、災害が発生すると職員が防災無線の端末を持って災害現場に行き、「ビルが崩壊して、多数の人が生き埋めになっている」といった個々の点の情報を集めて市町村や都道府県の災害対策本部に送ると、災害対策本部で市町村の地図に被害の状況

をプロットする仕組みがあります。そういう点の情報がだんだん集まって、被害の全体像が明らかになるというのが通常の戦略でした。

しかし、阪神・淡路大震災の場合は、あまりの大災害のために、こつこつと被害情報を集めて被害の全体像を構成するという通常の情報収集の戦略を、ほとんどとることができませんでした。この地域は「地震の被害はあるまい」という一種の神話が浸透していて、災害時に情報を収集したり伝えたりする防災専用情報システムである「市長村防災行政無線」がほとんどなかったのです。ちなみに兵庫県内の普及率は2割でした。

また「都道府県防災行政無線」という、都道府県から市町村に情報を伝えたり、市町村の被害情報を都道府県に送ったりする無線システムの電源が、地震のために切れてしまいました。カード公衆電話も、停電するとカードの読み取り装置が動かないので、使えませんでした。また携帯電話による119番通報にも、接続の問題がありました。当時は淡路島から携帯電話で119番をすると、淡路島の消防ではなく、神戸市の消防局に連絡が行ってしまうということが起こりました。こういった問題が積み重なって、被害情報が集まらず、阪神・淡路大震災では初動態勢が遅れてしまいました。

きめ細くなる予測システム

大災害であればあるほど、交通が止まる、職員が少なくなる、通信ができなくなるということが生じ、こつこつ被害情報を集めて被害の全体像を構成するという、従来の方法が機能しなくなります。そこで、阪神・淡路大震災の後、注目を浴びたのが「被害予測システム」です。これは具体的な被害情報以外の情報から被害を予測する仕組みです。こういった仕組みは、気象庁の震度階という形で、阪神・淡路大震災の前からあり、日本では、地震の3分後には各地の震度がテレビ等を通じて流され、これによって我々は被害情報をおおまかに推測します。

しかし阪神・淡路大震災では、この気象庁の震度階にも問題がありました。当時の気象庁震度階は0～7までの8段階で、震度7が激震でした。ところが震度7は、建物の30%以上が倒壊した地域に適用されるので、定義上、速報震度としては使えませんでした。震度7は後日の調査を経てから発表されるので、どんな強い地震でも、速報震度としては震度6が最大という仕組みでした。現に、気象

庁は地震の3日後に、阪神・淡路大震災で被災地域の一部を震度7と修正しました。

震度6の地震としては、阪神・淡路大震災の2年前と2ヵ月半前に起こった釧路沖地震（1993年1月15日、死者2名）と北海道東方沖地震（1994年10月4日、死者0名）がありましたが、どちらも壊滅的な被害には至らなかったため、阪神・淡路大震災のときも、震度6という情報を聞いた防災関係者は、それほどひどい被害ではないと推測してしまっただと思います。

気象庁の震度階は被害を予測する尺度ですが、被害が大きければ大きいほど予測の正確性が保証されないという、大きな弱点がありました。このため、阪神・淡路大震災後に被害予測システムで最初に改定されたのが、気象庁震度階でした。気象庁震度階の改定は震災直後からスタートし、気象庁の震度問題検討会で検討を重ね、震度7を速報する仕組みをつくりました。今までは定義上、震度7は速報されませんでした。震度の定義を変え、現在では計測震度計ではじき出される数字から判断して、気象庁の震度階を出しています。また、震度5、震度6をそれぞれ震度5弱、5強、震度6弱、6強と細分化して、0～7までの10段階をとれるようにし、今までよりもきめ細かい防災対策が可能になりました。

現在、東京23区では震度5強、23区以外は震度6弱が記録されると、国の防災関係機関の局長クラスが一斉に集まり、緊急参集チームをつくることになっています。また震度5弱では、自衛隊や海上保安庁、東京消防庁、東京警視庁が、ヘリコプターや偵察機を飛ばして、情報収集をするという仕組みもでき、警戒態勢をスタートさせる仕組みができてきているのです。

さらに、震度階級解説表という身のおおまかな被害の予測をする解説表も、新しく書き直されました。現代風にして、電気・ガス・水道、家の中の家具、木造家屋、鉄筋・鉄骨家屋はどうなるか、歩いている人間はどういうふうを感じるかということ、大変きめ細かく表現し、街の様子の見当が今までよりもつきやすくなりました。

リアルタイム地震情報

以上是一般市民のため、あるいは地方の行政機関のための予測システムですが、「リアルタイム地震情報」は、ハイテクを使った被害予測システムで、地盤条件、建物

の密集度、木造建物の比率、人口密度といった基礎的なデータベースをつくる一方、計測震度計や強震計という、地震の揺れを記録する器械をきめ細かく埋め込んでおき、地震発生時に揺れの記録を1カ所に集中させて、データベースと掛け合わせて被害を予測するものです。

日本で被害予測システムに注目して、社会に定着させようとしていた先覚者に、元地震研究所にいた太田裕先生がいます。太田先生が考えていたリアルタイム地震学は、地震発生時にラジオなどで揺れを感知して情報を知らせる、データベースをつくっておいて、揺れの情報と掛け合わせて被害を予測する、P波（縦波）からS波（横波）の大きさを予測して防災対策を講じる、といったものでした。太田先生は、データベースと揺れの情報を合わせて被害を予測する仕組みが有望だと感じ、川崎市でそういったシステムをつくりあげました。また阪神・淡路大震災の直前に、東京消防庁でも火災の被害予測システムをつくりました。ですから、被害予測システムは、震災以前にもプリミティブな形で存在していたのです。

しかし、阪神・淡路大震災では、大災害になればなるほど被害情報を集めて、被害の全体図を構成するという戦略は働かないことがわかり、揺れの情報から被害を予測して、対応することが大事だという認識が広がりました。それが、新たな被害予測システムを開発するきっかけになりました。

なかでも、「E E S（地震被害早期評価システム）」という国土庁（現在の国土交通省）の仕組みはもっとも大規模なものです。気象庁からリアルタイムで入ってくる震度情報をデータベースにして、震度分布の推定をし、人的被害も含めて建物被害を予測するという仕組みが、現在稼働しています。大きな災害時にはE E Sが動いて、約30分後には災害地域の被害が予測できるようになっています。また、気象庁の震度情報がどんどん入ってくると、被害の予測が修正されるという仕組みもできています。鳥取県西部地震（2000年10月3日、震度6）でもE E Sで被害の予測をし、対応を決めました。

他にも、道路、ガスの被害予測システムがありますし、今後は鉄道の被害予測システムもできる予定です。また、東京海上火災には、契約者の住宅を地図上にプロットしておき、地震が起こったときに被害予測システムが作動して、火災が起こった契約者数を予測し、見舞金や火災保険料の額の計算を行い、約1週間後に請求される火災保険の資金調達に役立るというシステムのデモンスト

レーションがあります。このように、被害予測システムは業務に活用することができるので、いろいろな分野で使われる、大変重要な仕組みになると思います。

ただし、これにも問題がないわけではありません。一番の問題は精度です。鳥取県西部地震では、E E Sが死者200人、倒壊家屋7,000棟という数字をはじき出してしまいました。ところが実際は、死者0人、倒壊家屋360棟と、かなり誤差が生じてしまいました。もちろん予測に誤差はつきものですが、実態よりも被害が多少大きな予測をしてくれた方が、防災対応としては万全な対応ができます。しかし、桁違いの数字をはじき出されては、対応に困ってしまいます。もう少し精度を上げることが、今後の課題の一つになっています。

精度を上げるには、まずデータベースを充実させることが大切です。地方自治体では、データベースでは建物の構造がキーポイントになりますが、固定資産台帳を使ってデータベースをつくっていけば、建物の情報がより詳しくなり、精度は高くなります。また、計測震度計や地震計の配置をもっときめ細かくすることも必要です。この二つの方法で精度を上げていくことが、今後の課題です。

また、現状では予測システムを、防災機関の初動態勢を迅速に立ち上げるために使いますが、他にも使いようがないだろうかと考えています。現在、マスコミは自由に国土庁の被害予測システムにアクセスできるので、大きな地震が起きると、すぐにシステムにアクセスして取材体制を組むそうです。被災した地方自治体も情報を手に入れることができます。問題は、マスコミが一般市民に伝えるべきかどうかです。予測情報だから一般市民には伝えない、というマスコミもありますが、予測システムをどういうふうに活用するかは、今後の課題かも知れません。

ナウキャスト（緊急即時情報伝達システム）

さて、今後10年の間に注目を浴びるであろう防災情報システムは、ナウキャスト（緊急即時情報伝達システム）だといわれています。ナウキャストは、P波とS波の伝播速度の差を利用して、P波の強さからS波の強さを予測し、短いときで十数秒、長くて数十秒の間に必要な防災対策をとるシステムです。このシステムは、もともと三菱総合研究所の自主研究からスタートしています。地

震予知は当面は難しいので、むしろ地震が起こった後の情報を活用しようという発想から始まりました。

例えば、東海地震の震源域を駿河湾としてみると、駿河湾からP波に続いてS波が発生して、気象庁のある東京に波が伝わります。気象庁で「東海地震かもしれない」というP波の情報をキャッチしてから、東京に大揺れが来るまでには40秒という時間があります。その間に、一体何ができるかというところから、ナウキャストの議論が始まりました。当初は、大きなS波の到来を予測させるP波をキャッチしたら、交通信号を一齐に黄色から赤にして自動車を停止させる、工場などでの危険な作業をストップさせる、家庭のガスなどの火気を消す、関係機関にいかにしてスピードをもって情報を知らせるかという議論もしました。現在、国が本腰を入れてナウキャストの実用化を考え始めています。

ナウキャストには、災害情報にかかわる大きな問題が一つ絡んでいます。実は当初、会員制にして、お金を払ってくれる企業にナウキャストの情報を伝えようという考えがありました。しかし、人間の命にかかわる情報が有料というのはおかしい、ナウキャスト情報は一般公開する必要がある、と私などは強硬に主張しました。

例えば河川に関しては、河川情報センターという、河川の水位の情報、雨量の情報等を地方自治体に有料で提供するところがあります。3年ほど前に、栃木県那須地方で水害が起こりましたが、建設省の雨量レーダー計は、那須上空の大雨をとらえていました。那須と黒磯が河川情報センターの仕組みに入っていれば、どちらの地域もこの情報が得られたはずですが、しかし、河川情報センターが有料なために、この情報を得られませんでした。最近、そういった重大情報は、河川情報センターから国土交通省に情報が流れて、国土交通省から一般市民に情報を知らせるという仕組みができつつあります。

また、河川管理ではCCTVという、光ファイバーを引いて、河川のキーポイントの水位を映像でキャッチして、常時監視するシステムもあります。避難の調査をしていますと、ただ「危ないから逃げなさい」と言っても市民は逃げません。しかし、今にも決壊しそうな堤防の映像と、避難を呼びかける情報が出れば、大変効果的です。最近、河川情報センターとNHKが契約を結び、緊急事態のときにはCCTVの映像を放送することが決まりました。河川の領域では、命にかかわる情報は無料で流すということが、次第に行われるようになってきてい

ます。

ですから、ナウキャストも同じように、一般市民に知らせる必要のある重要な情報だというスタンスで、考えていかなければいけないと思っています。

一方、ナウキャストは、P波からS波を予測するシステムですから、間違いもあるし、誤差もあります。東海地震の大規模地震対策特別措置法ができたときにも、もし警戒宣言が発令されて、1週間もそれが長引き、結局地震が起こらないで警戒宣言解除ということになったら、一体、警戒宣言が発令されている間の企業の経済的損失はどうするのかという問題が出てきました。

また、ナウキャストの仕組みは、地震予知が実用化されるまではかなり有効ですが、直下地震のような地震、つまりP波とS波の時間差があまりないような地震に対しては、威力があるかどうかわかりません。それでもこの仕組みを有効に使えば、今まで不可能だった防災対策が可能になるという期待があります。今後もより詳細な調査を行い、ナウキャストの活用方策の検討、伝達方式の検討、システム運用方策の検討などが実施されることになっています。

予測とオペレーションの結合

最後に、先の地震研究所の太田先生の「リアルタイム地震情報というのは、被害予測をしているだけでは、半分しか目的は達成していない。オペレーションシステムと合体する必要がある」という印象深い話に触れることにします。

国土庁では、輸送計画や応急対策などとリンクさせようという計画もありますし、兵庫県でも「今年の10月から被害予測システムとオペレーションシステムをくっつける」という話を伺いました。これは、例えば神戸市灘区の被害が一番大きいといった場合、「灘区に消防をどのくらい投入せよ」という情報まで出てくるオペレーションシステムを、被害予測システムにくっつけるというシステムです。少しずつ、予測とオペレーションが結合するような仕組みもできつつあります。

リアルタイム地震情報の仕組みは、まだまだ向上させなければいけない点もありますが、現在検討されているシステムが実用化され、多様な防災機能を果たすことが期待されています。

地震警報システムと非破壊耐震性調査



講演
2

システムアンドデータリサーチ
中村 豊

ユレダス

地震時の対策として、JRではユレダス(UREDAS: 早期地震検知警報システム)という方法を使っています。地震は一般に、P波(縦波)の後にS波(横波)が来て、大きく揺れますが、地震の警報には、P波で警報を出すものと、これまでのように地震が大きくなったら警報を出すという二つがあります。また、震源の近くで揺れをとらえるという前線警報のような考え方もあります。

前線警報の考え方は古くからあり、明治維新の年にクーパーという人が、サンフランシスコを対象にして考えたシステムがありました。これは、サンフランシスコでは震源が大体わかっているので、震源近くに地震計を置き、地震が来ると、地震の情報を電信(ベル)で市の中央まで知らせて、大きな揺れが来る前に警報を出すというものでした。技術的な問題などがあって実現しなかったようですが、東北新幹線では開業時(1982年)からこれと同じ考えをとっています。

東北新幹線は内陸70kmくらいを走っていますが、太平洋沿岸で起こる大きな地震に対しては、太平洋沿岸に地震計を置くことによって、地震をより早くとらえることができるのではないかと考えています。地震の検知は、S波が来た後の地震動を震源により近いところでとらえて警報を出す方法で、20年近い実績を持っています。現在では、P波で地震を検知して警報を出すところまで研究が進んでいます。前線警報とP波警報の両方を組み合わせることによって、今までより早く警報を出せるだろうと考えています。P波の場合は揺れが小さく、これまでのように大きく揺れたから警報を出すという方法はとれないので、どこで地震が起きたかを推定して警報を出すようにしています。

震源付近でP波を検知して警報を出す場合、震源から遠いところでは、大きな揺れを起こすS波の到達までに時間がかかるので有効な方法といえます。一方、震源付近ではP波とS波のどちらで検知しようと、時間的にはあまり変わりがありません。

鉄道のような建造物の被害の実績を、マグニチュードと震央距離の関係で見ると、大体マグニチュード(M)5.5よりも大きいところで被害が生じることがわかっています。被害の大きさもM6で約半径10km、M7で半径50kmくらいに被害が出てくることがわかっています。

ガルという単位で警報を出す方法では、地震動の最大値だけで制御しようとするので、被害が明らかにならないと思われるものに対しても警報を出してしまいます。そこで、ユレダスの場合には、精度が多少悪くても、地震の規模(マグニチュード)と震央の位置、震源の深さの地震諸元を大体3秒でキャッチして、大きく揺れ出す前にどこに警報を出すべきかを推測して知らせています。

ユレダスでは、まずP波では上下動が卓越することを使って、P波とS波との波動の識別をしています。次に、地震は断層が壊れたときに発生するものだとすれば、断層が壊れるのに要する時間が当然あるわけですから、初動の周期が断層に絡んできているだろうと考え、初動の周期が長ければ大きい地震、短ければ小さい地震に対応するだろうという簡単な考え方で地震の規模を決めています。初動の周期は、加速度を速度で割れば、次元的には周波数になるので、それで卓越振動数を決めています。大きい地震の場合は3秒間待ち、その間で一番長い周期を見れば、警報には充分だろうと考えています。ただし、早く警報を出すために一点観測、つまり3成分の情報だけを使う方法をとっています。また、地震の初動とS波が来たときの2回、震源要素を推定し、初動のときは多少精度が悪くとも危険性を判断してすばやく警報を出し、S波でそれを是正するという形をとっています。ですから、運転再開やその後の対応は、S波によるより確かな情報と、多くのところからセンターに集まってくる情報に基づいて決めています。

また、ユレダスでは常に揺れを監視していて、地震諸元を調べる処理を片っ端からやっていくので、どんなに

地震が頻発しても、負担はあまりかからないシステムになっています。

地震動の破壊性能

今までは地震動の諸元に基づいて地震の破壊性を判断してきましたが、地震動そのものの破壊性をもっと物理的に判断できないだろうかと考えました。通常、地震は最大加速度で制御すると言われていますが、これはあまり被害と結びつかないことが実績として知られています。また、エネルギーに関係する速度も、被害と結びつかないことが知られています。そこで、動きの持っている仕事率、つまりパワーで見れば、地震動の破壊性能を表すことになるのではないだろうかと考え、加速度と速度をかけたような、慣性力に対してどちらの方向に動いていたかという内積をとり、被害指数としてDIと名付けました。ただし、非常に大きな値になりますので、対数をとります。

DIは、P波が来たところで急激に上がり、その後はゆっくりと最大値に達する形をとります。ですから、DIがある大きさを越えたときに警報を出す、というシステムができるのではないかと考えています。DIと計測震度との関係は、計測震度が被害と密接に結びついた量であるとするれば、DIも被害と結びついた量になることがわかっています。しかも、DIはリアルタイムに計算できるものですから、常時の監視にも使えます。

そこで、DIの値がP波の警報レベルを超えたらP波警報を出し、次にS波の警報レベルを超えたらS波警報を出すという二段構えにして、信頼性と迅速化を図ったシステムを東北・上越新幹線の沿線に置き、直下型地震にも対応するようにしています。今まで警報を出すのに3秒以上かかっていたのが、このシステムでは1秒に縮みました。東海道新幹線は1992年に「のぞみ」が開業したときから、また営団地下鉄でも今年からP波警報を使い始めています。

昨今は世界のあちこちで地震が起こるので、例えば地震が起きた後のイスタンブールにもユレダスをつけるとか、カリフォルニア工科大学（カリテク）と共同してパサデナあるいはパークレーやメキシコシティーにもユレダスを置く計画が進んでいます。ですから、我々のところにあるものを含めると、世界には五つのユレダスがあることになり、これがインターネットでつながれば、研究として非常に面白くなると期待しています。

パサデナにあるユレダスについては、すでにインター

ネットに情報が入ってくるようになっていきます。例えば今年1月のインド西部での大地震も、パサデナのユレダスが地震の波をつかまえ、パサデナの真北の地震情報を送ってきました。日本でも、真西で地震が起こったことがわかったので、両方の情報を合わせると、インドあたりで大きな地震が起きたことが推測されました。

構造物が壊れない状況をつくる

最近の地震による被害状況を見ていても、構造物には壊れたものと壊れていないものがありますが、地震が起きたときに構造物が壊れない状況をつくり出すことが一番重要だと、私は考えています。地震発生の要点は、地震外力が構造物や基礎地盤の耐力を超えることです。被害が出るところは弱点箇所になりますが、この弱点箇所を自然が抽出してしまえば、自然災害になりますし、人間が抽出することができれば、事前に対策をとって災害を起こさないようにできるのです。

地震の対策は、地震前、地震時、地震後の三つに分けられます。しかし、地震警報や地震直後の救援は、災害を減らすということに関してはあまり大きな役割はしないので、事前の準備、つまり災害に対してどこが弱いのかを調べ、対策をとる方がより重要だと考えています。災害を軽減するためには、どのような外力が来ているかを常時監視することと、地盤や構造物の耐力をあらかじめ調べておく必要があります。また、常時微動を使う非破壊耐震性の調査によって、ピンポイント的に弱点箇所を抽出することも必要です。

従来行われているようなマクロの被害予測というのは、統計的に意味があっても、個人的には意味がありません。ピンポイント予測は住民に直結したものですから、自分の建物がどのくらい壊れるのかを知らせるという意味では、非常に重要なものだと考えています。さらに、迅速かつ大量に耐力を調べる方法があれば、被害を受けたときに被害の程度を迅速に把握することにもつながるので、地震の前後どちらにも有効になってきます。

地震動の中で被害に影響するものに、振幅、震動の周期、共振をするか、しないか、どのくらい揺すられ続けるのか、があります。そこで常時微動を使って、周期と地震がどれくらい増幅されるのかを判断しようと考え、ある一つの地震で、こういった波形が各地点でとれるかを調べてみました。例えばM7くらいの地震で、2地点での地震の波形を見ると、同じ地震でありながら、異なる

波形を示していました。逆に、同じ地点であれば違う地震でも同じような揺れがおこることがわかりました。ですから、その地点がどのような特性を持って動くのかということが重要だと思い、いろいろと調査しています。

たくさん測定するために専用の器械を使い、1989年のロマブリータ地震以後、大きな地震があると現地まで出かけて測定しています。日本の鉄道の場合、鉄道の沿線100mおきに、表層地盤や構造物の特性を測って、台帳をつくってあります。首都圏については、鉄道が走る大体1,500キロの区間については台帳がつくられています。新幹線については東京～博多間のトンネル区間を除いて、台帳がつくられています。

K値の精度

そういう地震動に対する特性を使って、それぞれの構造物の危険性を判断するのに、加速度をかけるとその構造物のひずみの大きさが予測できるK値というものをつくってみました。K値がわかっているれば、生じるひずみの大きさによって、構造物や表層地盤がどうなるかという物理的な判断ができるのではないかと思います。こういう方法で危険性を判断することができれば、これを使って被害予測システムをつくっていくことができると考えています。ただ、K値がどの程度の精度を持っているかが問題になってきます。そこで、ロマブリータ地震のマリナ地区での埋め立て地区から山の上までを調べて見ました。すると、K値は地盤のよい山の方では小さく、被害の大きい埋め立て地のところでは大きくなって、被害の大きさと対応していることがわかりました。

また、兵庫県南部地震のときの状況を見ると、被害の少なかった山側ではK値は非常に小さな値、被害の大きかったポートアイランド側では大きな値ということが示されていました。その間の被害域のところでも、大きな値が出ています。K値は地盤や構造物の被害状況なども、かなり正確に予測できることが確認されました。

木造家屋の場合のK値も、築年数が古くなるほどだんだんK値が大きくなるという傾向がありました。また、増・改築をするとK値が大きくなることもわかりました。屋根を軽量化したところが2軒ほどありましたが、増改築をしたにもかかわらず、K値が小さくなりました。

北海道東方沖地震の前後で、釧路湿原と台地にかかっている盛り土のK値も計ってみました。ある区間では、同じ盛り土でありながら、台地つまり固い地盤に乗った

方が大きなK値を示していたので、おかしいと思っていました。しかし、地震後に盛り土の被害を見ると、台地側はひびが入って段差ができ、湿原側の方は見ただけではわからないくらいの小さな被害だったので、地震前の結果はたしかに被害を表現していたことがわかりました。

他にも高架橋のK値は通常20よりも小さくなりますが、北海道南西沖地震の後に北海道の高架橋でK値を調べたところ、K値が20よりも大きいところでは損傷を受けていることがわかりました。比較のために本州にある同じタイプの高架橋を測ったところ、K値が20を超えるような大きいものが一つだけありました。そこは試験的に先行してつくった部分で、日本海中部地震の地震動によって損傷を受け、その後、補強していない部分でした。

非破壊耐震性の調査は、常時微動を使うので対象に被害を与えずに調査できることから、歴史的な構造物に対しても使うことができます。一昨年の6月にインドでモスクなどを調査したのですが、その2ヵ月後にインドのコジャエリで地震が起きたので、すぐに飛んで行って同じものを再び測定し、どのくらいの損傷を受けたかを固有振動数の変化で確認しました。比較のために14階建ての新しいビルなども測定しました。一番新しい構造物と一番古い構造物のK値が大きく、被害もひどかったのですが、500年くらい前の構造物はK値も小さく、被害もそれほど大きくなかったことがわかりました。また、阪神大震災の前に得たK値を見ても、被害の状況とK値の分布が大体よく合っていました。ですから、非破壊耐震性の調査によって、地震前には被害予測や構造物の健全度を判断することが可能になり、地震後にはどこに損傷を受けたかも調べることができます。

このK値を世界にもアピールするため、世界遺産的な寺院などを現在、測っているところでは、例えば、地震のためにその半分が崩壊したといわれているローマのコロッセオは、崩れた部分の地盤が非常に弱いことが測定の結果わかっています。また、地盤改良されたピサの斜塔についても、地盤改良前に測定を行っていますので、今後は地盤改良後のK値をもう一度測って、どのように変わったかを確認したいと思っています。

地震災害を減らす唯一の、また効果的な方法は、壊れやすいかどうかを事前にチェックして対策をとることだと考えていますので、私は非破壊耐震性の調査をもっと大々的に個人住宅のレベルでやっていくべきではないかと提案します。

(2001年2月23日実施) SAT