

リアルタイム地震防災 - 10年間の進歩と今後の動向 -

やまざき ふみお

山崎 文雄

千葉大学工学部都市環境システム学科

1. はじめに

10年前に本誌ではリアルタイム地震防災の特集を行った。筆者もその中で、「リアルタイム地震防災システムの現状と動向」という小論を書いた。それからもうはや10年が経過し、リアルタイム地震防災を標榜するシステムが多数、実用化し発展を遂げている。また、早期の地震情報を機器の制御や人間の避難に利用とする動きも活発化している。本稿では、リアルタイム地震防災とは何かを再考するとともに、その近年の動向を振り返り、何が進歩し発展してきたか、今後の課題と進むべき方向は何かについて考えてみる。

2. リアルタイム地震防災とは何か？

筆者は10年前には、「リアルタイム地震防災システムの基本的考えは、地震動を遠隔監視(モニタリング)し、その情報に基づいて、被害防止もしくは軽減のための対応を迅速に開始する点にある。」と書いた。この定義はやや地震計と情報システムに意識が片寄っていたように思う。この時点では地震計の配備や、防災情報システムの開発が真っ盛りであり、地震情報をどう伝え、防災にどのように役立てるかという「ひと」に関する部分や、地震計以外のセンシング手段への認識がやや不足していたように思う。

また、リアルタイム地震防災という言葉の、とくにリアルタイム(実時間、同時、即時などと訳される)の部分がやはり言葉になると同時に、何に対してリアルタイムなのか、どの程度の時間遅れならリアルタイムといえるか、という議論も度々交された。10年前の特集で総論を書かれた太田裕先生は、その中で時間をどう評価するかについて詳細に議論し、「地震防災の対象によってリアルタイム性の意味も違って来る」と述べている。このあたりについて、筆者なりにイメージとして表したものが図1である。

「地震そのもの」についての実時間を目指して、日

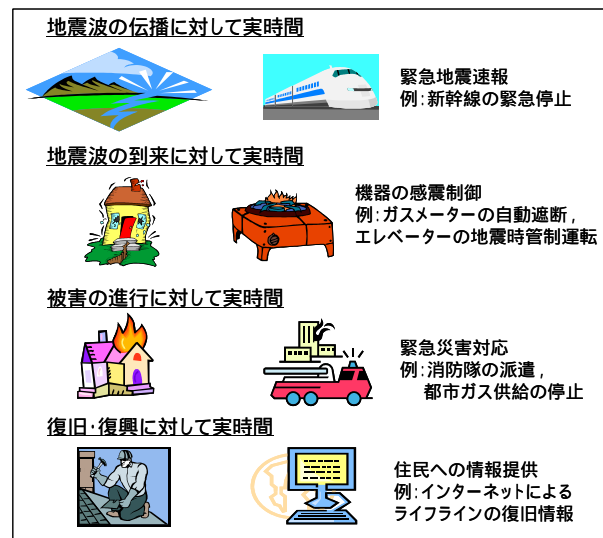


図1 リアルタイム地震防災とは？

本では伯野元彦先生が、1972年に「10秒前大地震警報システム」を提唱した。これは、地震波の伝わる速度と電気信号の伝わる速度の差を利用して、地震波が到着する前に、警報を流そうというアイデアである。JRのユレダスは、実際にこの考え方を世界で最初に実用化し、約15年前より新幹線の地震時緊急停止を行っている。また最近、気象庁と防災科学技術研究所などが同様の発想で、重要施設や都市施設に直前地震警報を流す「緊急地震速報」に関する研究を続け、今年の夏には加入した一般ユーザーにも直前地震警報を流す予定である。建築分野における直前警報の利用としては、エレベーターの緊急停止装置の作動や、工事現場の安全確保などが主なものと考えられる。

次に、地震波の伝播とは競争しないものの、施設に震動が到着した時点で感震制御を行うシステムは多数存在し、たとえば都市ガスの各家庭におけるマイコンメーターやエレベーターの地震時管制運転装置などがその代表的なものである。

また、地震発生直後に(即時的ないし準リアルタイ

ムに),揺れの情報を収集して,建物やライフラインなどの被害推定を行う「早期被害推定システム」も地震そのものに対する即時性を追求したものである。しかし,新幹線などと異なって,一刻一秒を争うという訳でもないので,地震発生後,数十分程度の時間内に被害推定が行えれば,「リアルタイム」に含める場合が多い。本特集でも紹介されている東京ガスのSUPREMEはその代表的な例で,地震発生後10分程度で地震動強度の収集と被害推定を行い,都市ガスの緊急停止を遠隔操作で行うシステムである。10年前の特集で紹介されたSIGNALの機能を大幅に向上させたもので,不必要な供給停止を避けるために情報精度の向上への継続した努力が続けられている。

さらに,「地震防災」に対してリアルタイムということになると,地震直後はもちろんのこと,火災などの災害の進行状況をモニタリングし,タイムリーな対応策を提示するようなものも含まれるであろうし,復旧・復興の過程や,地震前の予防対策においても,その時々状況に応じた「リアルタイム」もあり得よう。たとえば,定点観測カメラを設置して市街地の復興状況を観測するようなことも,事後の防災においてはリアルタイムといえよう。

このように,「リアルタイム地震防災」に関する統一的な定義は定まっているとはいえない。本文では,やや幅広い観点からリアルタイム地震防災について近年の動向を振り返るとともに,今後の課題と方向性について考えてみることにする。

3. 10年間で情報通信手段が変わった

阪神・淡路大震災とほぼ機を一にして,情報通信の世界で急激な変化が起こったといえるだろう。震災の発生当時,始まったばかりでほとんど普及していなかったインターネットは,2004年末には日本での人口普及率が62%にまで拡大した(図2)。現在では,成人の大半と子供までを含む約8,000万人が,パソコンや携帯電話などを用いて,これを利用するようになった。10代から30代に限定すれば,インターネット利用率は90%を越えている。今日,ビジネスや普段の生活において,インターネットの無い状態はもはや考えられないだろう。

2004年の新潟県中越地震では,被害写真,ライフラインの復旧状況,ボランティアなどのさまざまな情報

が即座にインターネット上に掲載され,重要な情報発信・収集の手段として活躍した。インターネットは,災害時における安否情報の連絡法としての役割も期待されており,電話の輻輳の最有力な解決策といえよう。

携帯電話などの移動通信ツールも,阪神・淡路大震災後に急激に普及したものである。1995年度末に約1,200万件であった契約数が,2000年には6,000万件を越えて固定電話より多くなり,その後固定電話の数を遥かに超え,現在ではほぼ1人が1台を保有するようになっている(図3)。したがって,災害時の固定電話の役割も,かなりの部分が携帯電話に移行しつつある。固定電話で最初に取り入れられた輻輳対策の「災害用伝言ダイヤル」も,最近は携帯電話にも導入されるようになり,安否確認手段として大きな役割を担うようになった。さらに携帯電話によるメールがいつの間にか普及し,家族や友人との連絡手段として,最も一般的なものになった。このような個人情報通信機器の急速な普及は,10年前には大半の人が予想しなかったも

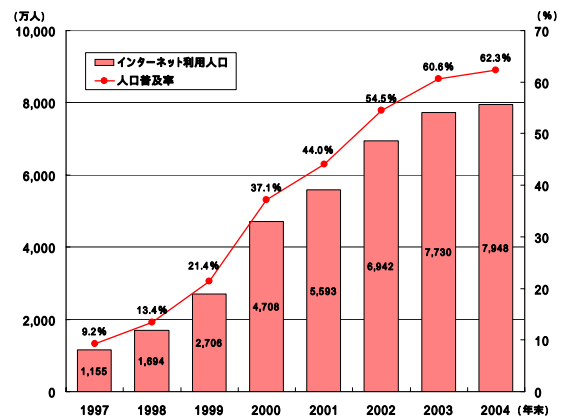


図2 インターネット利用人口及び人口普及率 (情報通信白書¹⁾より作成)

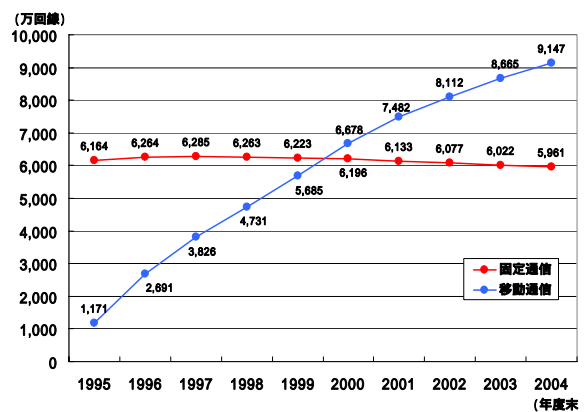


図3 固定通信と移動通信の契約数の推移¹⁾

のであろう。

さらに最近では、NTT ドコモによる携帯電話によるデータ通信サービス DoPa など登場してきた。これは、通信時間ではなく送受信したデータ量に応じて課金する、パケット通信方式を採用しているのが特徴で、通信速度は一昔前のモデム並みの早さである。たとえば東京ガスの SUPREME では、自前の地震計ネットワークからの震度情報収集を、固定電話回線から最近これに切り替えた。

地震情報の一般市民への広報手段として、従来からのテレビやラジオによる緊急放送に加えて、Web サイト、電子メール、携帯メールなどが一般的になりつつある。今後のリアルタイム地震防災においては、これらの情報通信ツールがますます重要な役割を担うものと考えられる。

4. きめ細かな震度情報が得られるようになった

兵庫県南部地震では「震災の帯」と呼ばれる震度 7 地域にほとんど強震計がなかったことなどの反省から、その後、多数の強震計が全国に配備されることになった。気象庁は、震動被害の甚大な地域を見逃さないため、強震観測点を全国約 600 箇所に拡大するとともに、情報の途絶を防ぐため、地上回線や衛星回線で通信網の多重化を行った。また、消防庁も全国の各市町村に 1 台ずつ計測震度計を設置する事業を行い、防災科学技術研究所も全国をほぼ 25km メッシュでカバーするような強震計ネットワーク(K-NET)を展開した。このような従来の数十倍の密度の強震計の設置が 1999 年頃には完了し、地震発生時の震度分布が正確にかつ迅速に得られるようになった。

これらの強震計から地震動のデータが次々と蓄積されるようになり、地震動の強さや空間分布に対する知識が深まりつつある。たとえば新潟県中越地震では、川口町役場に設置された気象庁公認の震度計で、計測震度が 6.5 を越える値を記録した。すなわち「震度 7」が初めて地震計の記録として観測されたことになる。しかし、残念ながら停電等の影響で、この震度情報は新潟県や気象庁には伝わらず、記録が回収されたのは 1 週間を経過した後であった。震度計には予備電源があり、停電しても観測データは残るようになっていたが、データ送信機能が停止し、県や気象庁に情報が届かなかった。このように、リアルタイム的に収集する

地震情報に関しては、地震発生時に確実に観測・収集ができるよう、より一層の信頼性向上が望まれる。

詳細な震度情報は、市民の防災意識の向上にも役立つことが期待されている。たとえば横浜市では、1996 年に市内 150 カ所に地震計を設置し、災害対応に利用している。この地震計ネットワークですでに多数の地震記録が観測されており、横浜市危機管理室のホームページから、震度分布が一般にも公開されている。このような詳細な震度情報を公開した結果、想定地震に対して作成した地区ごとの詳細な震度予想マップに対しても、市民が関心を持つようになったという。

さらに K-NET のように全国規模の地震計ネットワークからの記録を用いると、地震波が震源から各地へ伝わる様子をアニメーションで表現することもできる。2003 年 9 月 26 日の十勝沖地震では、長周期の地震動により、苫小牧市で石油タンクのスロッシング現象が発生し、大規模なタンク火災につながった。K-NET などの地震波形を補間することによって、勇払平野などの堆積平野の深部地盤構造により励起された長周期地震動が、日本列島を伝播する様子が画像処理で表現された(図 4)。これはもちろん、地震に対してリアルタイムではないが、実現象を科学的に理解するうえで、大いに役立つものといえよう。

5. 自動制御用の地震センサの普及

地震計や震度計は、地震動の波形や強度を観測し記録することが主たる目的である。一方、正確な記録は得ることができなくとも、対象とする地点での揺れの強さを検知し、何らかの機器の自動制御を行うものを制御用地震センサとここでは呼ぶことにする。最も一般に広く普及している制御用地震センサは、都市ガスのマイコンメーターであろう(図 5)。マイコンメーター

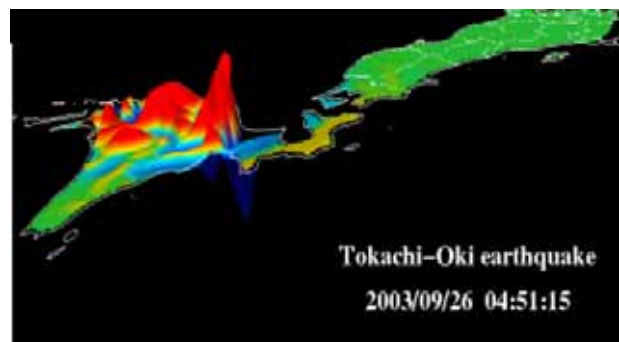


図 4 十勝沖地震の地震波が苫小牧に到着する様子 (K-NET ホームページより)

には、落球式などの簡単な仕組みの感震器が組み込まれている。現在、全国約 2,700 万件のほぼすべての都市ガス需要家にこのメーターが設置されており、地震の揺れが約 200 ガル程度になると、ガス供給を自動的に遮断する仕組みになっている。したがって、地震波の到来と連動してリアルタイム制御を行う個別システムとも呼べるであろう。また、ユーザーが自分で復帰ボタンを押すことにより解除できる点もその優れた特徴である。

このマイコンメーターの普及により、都市ガスの使用による室内での地震時の火災発生危険性は大幅に低減されたといえよう。ちなみに、阪神・淡路大震災の被災地域では、当時、マイコンメーターの設置率が約 90% であり、都市ガスの漏洩が、多発した火災の要因の 1 つとなったと考えられる。一方、マイコンメーターの装着がほぼ完了後に発生した新潟県中越地震では、都市ガスによる火災の発生は 1 件も報告されていない。

もう 1 つの一般的な地震センサが、エレベーターに設置される地震時管制運転装置である(図 5)。これは、主要動より先に到来する P 波(縦揺れ)を検知するタイプのものと、主要動である S 波(横揺れ)を検知するタイプのものがある。P 波感知のものは、初期の微動を感知して地震時管制運転装置を作動させ、最寄階に停止してドアを開く仕組みとなっており、制御が早い点で望ましい。しかし、まだ S 波感知の装置も多いし、地震時管制運転装置そのものも全国約 58 万台のエレベーターのうちの約半数に導入されているに過ぎない。

2005 年 7 月 23 日の千葉県北西部地震では、首都圏で約 6 万 4 千台のエレベーターが運転休止し、78 台で閉じ込め事故が起きた。閉じ込め事故のうち、地震時管制運転装置つきのエレベーターは 73 台であり、その

停止原因はドアの異常を検知して停止する緊急停止装置が、優先して作動した影響と考えられる。これを受けて国土交通省はセンサの改良をメーカー側に求めた。また、地震の規模に対して、停止したエレベーターが非常に多くの復旧時間を要したことから、管制運転装置を作動させる地震動の強さについても再検討することになった。さらに、新たに設置するエレベーターに対しては、P 波感知型の地震時管制運転装置を義務づけることを決定した。

このほか、このような閉じ込め事故を防止するための対策として、「緊急地震速報」をエレベーターの管制運転に利用しようという実証的研究²⁾も始まった。このように、地震時のエレベーター制御は、現在、都市地震防災における大きな課題となっている。

6. 直前地震警報は有効か？

揺れが到来する直前に地震発生情報を得られたとしたら何が出来るかは、興味深いテーマである。このような直前地震警報システムは、JR が既に新幹線などにユレダスとして実用化している。地震が発生した場合、高速で走行中の列車はすぐには停止できないことから、大きな揺れが来る前の小さな揺れを震源の近くで検知することが、警報を早めるための手段として考えられる。このシステムでは、P 波初動部より地震のマグニチュードと震源位置を瞬時に推定し、S 波到来前に信号を送って地震波を先回りし、列車を減速・停止する仕組みである。本特集においても紹介があるように、このシステムでは更に警報を早め、かつ信頼性を向上させるための研究開発を続けている。

しかし、このような地震波の伝播速度との競走は、震源からの距離が近いと余裕時間がなくなるという弱点を持っている。新潟県中越地震で脱線した新幹線車両は、自動制御がかかったという話もあるが、あまりに震源から近く、地震波と制御信号がほぼ同時に来たようである。このように、直前地震警報システムは常に有効とはいえないが、効果的な場合もあると考えられる。

現状で直前地震警報が最も有効と思われるのは、海溝型の巨大地震が発生した場合の、鉄道車両の緊急停止とエレベーターの管制運転であると筆者は考えている。また、通報手段や周辺環境などの条件によっては、工場・危険物施設や建設現場などに伝達することが、

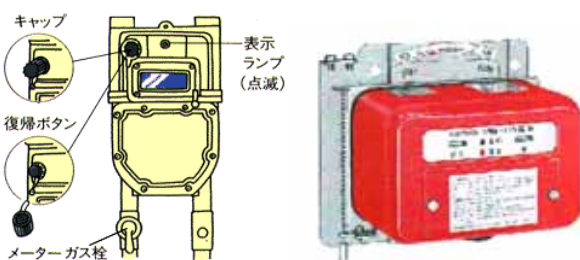


図 5 都市ガスのマイコンメーター(左)とエレベーターの地震感知器(右)

安全確保に有効な場合もあるだろう。

筆者らは数年前から、高速道路を走行する車両に対し、直前地震警報が有効かどうかについて研究を行っている。鉄道が列車自動制御装置により瞬時に地震情報を伝達できるのに対し、現状では、高速道路走行中の車両に一齐に通報する手段はない。電光表示板を密にすることは限界があるし、道路交通情報通信システム(VICS)も普及率がそれほど高くない。しかし、カーラジオの利用や専用の受信機を作成することも考えられるので、通信手段が確保されたとの仮定のもとに、ドライビング・シミュレータを用いた、地震時の被験者による模擬走行実験を実施した³⁾。

直前地震警報ありと警報なしの2ケース各11人ずつの被験者に対して、走行中に地震の揺れを与え、その3秒後に前方路上に障害物を置いて、運転者の挙動を観察した。その結果、警報ありの場合は、被験者は警報に従って路肩に減速し、11人中9人が難を逃れることができた。一方、警報なしの場合は、大半が揺れが来てもそのまま走行を続け、11人中9人が障害物を避けきれず激突した(図6)。この模擬実験はあくまで限定された条件のもとであり、周辺他車との事故の危険性は考慮できていない。一方、気象庁が予定している「緊急地震速報」を一般のラジオで流したとすれば、その放送を聞いた運転者と聞いていない運転者でブレーキ等の操作に違いが生じ、事故を誘発する危険性もある。今後、「緊急地震速報」を一般に流すとすれば、このよ



図6 ドライビングシミュレータによる高速道路走行時の早期警報模擬実験の様子

うな危険性も考えて十分な検討を行うとともに、ユーザー教育を徹底する必要があると思われる。

7. 様々なセンサの利用も考えられる

これまで、リアルタイム地震防災においては、地震計が最も重要なセンサとして考えられてきた。確かに「緊急地震速報」に関しては、地震計が最も一般的な地震センサであろう。しかし、図1に示したような様々な「リアルタイム」を考えた場合、他のセンサがより有効な場合もあると考えられる。4節で紹介した都市ガスやエレベーターの地震センサは、地震計とは呼べなくとも、「接触型」の感震装置であることに変わりはない。

このほかの接触型のセンサとしては、光ファイバーを用いたひずみや衝撃のセンシング⁴⁾も、道路や埋設管などの変状を1本のケーブルで多数の点で観測できるなどの長所を持っている。現状ではまだシステム構築のコストが高いが、計測点で電源が不要な点や、メンテナンスの容易さ、耐久性などを考慮すれば、今後、大規模なモニタリングにおいて有力な手段となりうるであろう。

そのほか、GPSを用いた変位計測も最近では高精度化しており、複数の受信機を用いた干渉測位を行えば、動的な変位を数センチの精度で観測できるようになった。今後、受信機のコストが下がれば、とくに長周期構造物の地震や風に対する変位計測法として期待される。

さらに、観測対象に直接設置しない「非接触型」のセンシング手段も考えられる。たとえば、コンビニエンスストアや放送局に設置されたビデオカメラは、既に地震の揺れを映像的にセンシングし記録する役割を果たしている。地震や津波の際に記録されたビデオを用いて、画像解析によって地震の変位や津波の流速を計測した例は、既に知られている。これらをさらに進めて、始めから計測を目的として利用することも、既に一部で行われている。たとえば、落石や崩壊の危険性のある斜面をCCDカメラや赤外線カメラで監視し、自動画像解析により異常があれば警報を流すようなシステムが開発されている(図7)。このようなモニタリングシステムは、電気計測や光ファイバー計測に比較して安価であると同時に、危険箇所 접촉せずに遠隔から計測できるという長所を持っている。振動台実験な



図 7 定点カメラが捕らえた斜面崩壊の瞬間
(NTT インフラネット提供)

どにおいて、試験体の動きをレーザー計測するのこの一種といえるであろう。

以上に述べた様々なセンシングの方法は、地震の揺れのリアルタイム観測にも用いられるが、平常時のヘルスマonitoringや、地震以外の異常事態の検知にも利用できる。たとえばカメラによる映像は、火災や事故の発生も監視できる。リアルタイム地震防災のみならず、リアルタイム安全監視にも使えるセンサやシステムが今後、より重要なものになってくるのではなかろうか。さらに、最近ではユビキタス社会の到来が叫ばれている。誰でも、どこでも、いつでも感知し受送信できるような携帯型の安全情報端末機器が、近い将来開発されるかもしれない。

7. おわりに

リアルタイム地震防災について総論を書くつもりだったが、最後はやや脱線してしまったかもしれない。実は10年前は、「リアルタイム地震防災システム」の

紹介の文章を本誌のみならず、いろいろなところで書いた。その後、当時書いたことはもう常識化してしまい、今さらその延長で書くことも余りなくなってしまった。そこで今回は、ほぼ書き下ろしで「リアルタイム地震防災」について、新しい気持ちで挑戦してみた。

情報技術(IT)から情報通信技術(ICT)へと社会は移行しつつある。コンピュータはもはや計算のための道具というより情報通信機器となり、インターネットに接続しないことには、その価値はあまりない時代となった。リアルタイム地震防災も情報の受け手を意識して、どのような情報をどう伝達しどう使ってもらえるかについて、真剣に考える時期に来ているのではなかろうか。

参考文献

- 1) 総務省：情報通信白書 平成 17 年度版，2005.
- 2) 日本建築設備・昇降機センター：緊急地震速報をエレベーター制御に活用するための課題整理検討委員会報告書，2005.
- 3) 丸山喜久，山崎文雄：ドライビングシミュレータを用いた地震動早期警報の効果検討，土木学会論文集，No. 787/I-71，pp.177-186，2005.
- 4) 藤橋一彦他：光ファイバセンシング技術による地盤変状等のモニタリングシステム，リアルタイム災害情報検知とその利用に関するシンポジウム論文集，土木学会大地震時のリアルタイム地盤変状把握技術開発小委員会，pp.171-178，2004.