

委員会活動に見られたリアルタイム地震防災の姿

野田 茂

正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部社会開発システム工学科
(〒680-0945 鳥取市湖山町南 4-101)

リアルタイム地震防災においては点から面、オフラインからオンライン(リアルタイム)への展開が必要となる。すなわち面的広がりをもつ地震動、人的・物的被害の推定、避難行動・復旧過程・システムの制御など、これらの時間軸に沿った評価方法、その精度、更新過程などが問題となる。リアルタイム地震防災システムは既存システムを超える概念を有している。本委員会では「リアルタイム地震防災」のあるべき方向性を明確にすることを目的に議論を重ねてきた。ここではその中から提起された考え方を示すとともに、著者の私見も交えながら「リアルタイム地震防災のあるべき姿」を指摘する。

Key Words: real-time earthquake engineering, disaster-management philosophy, information management, orientation of committee

1. まえがき

定期的に来襲する台風であれば、それなりに普段から考えて準備を怠ることはない。地域によっては運がよければ一生に一度も災害を経験することがないため、災害への準備をすることがないかもしれない。このような認識が住民だけでなく、行政・企業に浸透していると、地域全体の災害に対する備えが疎かになり、災害が拡大することになる。

1995年兵庫県南部地震は、地震災害が起きたときどのような状況が起きるのか、具体的な災害イメージを人々の目に焼きつけさせた。日本列島は至る所で地震災害が起こる可能性がある。大都市は人口が過密しており、空間的なゆとりが少ないため、地震災害の危険性は特に高い。地震列島に住む我々としては、今後予想される地震災害に立ち向かうため、都市が準備すべき防災対策について総合的に考えておく必要がある。

阪神・淡路大震災が起こる前、我が国には世界に誇れる防災システムがあった。中でも地震直後におけるライフラインの緊急時制御として地震情報・被害推定に基づいたJRのUrEDAS/HERAS、東京ガスのSIGNALが有名である。また、川崎市や東京消防庁の早期被害推定システムも先駆的なシステムである。都市基盤施設の地震時制御システムに関する要素技術、現状、動向については文献1)~3)に紹介されているが、阪神・淡路大震災後の新技術・各種支援システムなどについては本シンポジウムの論

文に詳しく述べられている。

1995年兵庫県南部地震を教訓として、事前準備や応急対策などに関してかなり詳しく具体的な方針が示され、具現化された。災害発生直後の迅速かつ適切な対応決定のためには最新の情報通信技術を駆使した早期被害推定システムや救援復旧支援システムなどの開発・整備が必要となる。このようなことから官民学では地震計ネットワークの拡大・増設、早期被害推定システムの導入を積極的に行った。

地震発生直後に素早く機能して、被害を最小限に食い止めるために「リアルタイム地震防災」なる用語が用いられるようになった。リアルタイム地震防災は地震動モニタリング、被害推定のみ限定された技術ではないが、一般的にはそのような定義で使われることが多い。そこで本委員会では「リアルタイム地震防災のあるべき姿」を明らかにするため、1997年12月8日~9日において集中的な発表・討議(ワークショップ)を行った。一日目には委員各位が考える「リアルタイム地震防災」のイメージとそのための要素技術に関する個別発表が行われた。二日目にはKJ法を用いることにより、問題整理が行われ、「リアルタイム地震防災」に関する認識構造が明らかになった。文献4)にはその中間報告結果が示されている。

著者には、現状のリアルタイム地震防災システムは本来あるべき姿の一部のみが機能しており、その思想を十分に活かし切れていないように考えられ

る。そこで本小文では委員会で紹介された資料ならびに委員が考えた「リアルタイム地震防災の姿」を参考に、本小委員会が目指すべき「リアルタイム地震防災」のあり方を探るため、その問題点、解決策、今後の方向性などを述べる。

2. 思い描くリアルタイム地震防災

ここでは、まず、委員各自がワークショップにおいて提起した「リアルタイム地震防災」に対する考え方、方法などの代表例を紹介する。

地震防災においては地震被害の評価技術が基本となる。その課題としては、地震動評価、物的被害評価、社会的・経済的影響評価が挙げられる(A 委員)。

地震動評価においては、ポーリングデータの電子化の促進、情報公開が重要である。地震基盤上の地下構造調査が主要地域に限定されていること、地震計の特性・設置状況に違いが見られることも課題である。地盤、土木・建築構造物、地震火災などの物的被害評価においては、1 km, 500m, 250m などのメッシュ単位から町丁目単位、個別構造物単位のように、概要評価から個別評価を行うことが望ましい。ライフラインなどにおいては点ではなくネットワークデータを構築する必要がある。社会・経済的影響評価においては、1) 電子データ整備の地域格差、2) ネットワーク評価技術の高度化、3) 個人、法人などの秘密保護が課題となる。こうした課題は今後解決していかなければならない必要不可欠なものと考えられる。

GIS を利用したシステム構築の必要性は委員間の共通認識となっている。このためには汎用言語を用いて特定の GIS ソフトに拘束されず、データの相互利用ができるオープン GIS を意識したシステム構築が必要である。インターネットの利用、航空写真や衛星写真などの画像データの自動処理・分析はリアルタイム地震防災を確立する上で重要な技術となる。

B 委員は、リアルタイム地震防災の役割、定義、特徴、あるべき姿、検討課題について貴重な提言をしている。その結果を以下に要約する。

リアルタイム地震防災の役割

- 事前の教育や訓練の効果により、地震リスクを軽減する。
- 評価関数に基づいた判断や行動により被害の拡大を防ぐ。
- 大量かつ多様な情報を処理し、復旧・復興を早期実現する。

事前対応においては潜在的地震リスクの評価、補修・補強、教育・訓練が重要である。事後対応においては地震発生直後からの時間経過に応じた被害拡大防止、早期復旧を行えばよい。

リアルタイムとは？

- リアルタイム情報(準リアルタイム情報?)を利用する。
- リアルタイムの状況を評価する。

地震発生前にはシミュレーションによる擬似体験が重要だが、これには擬似情報が必要となる。震災後にはリアルタイム情報を利用して評価を行い、その結果を基に制御、対応、推定がなされる。時々刻々変化する多種・多様な情報から、評価・管理、対応が反復的に繰り返される。

リアルタイム地震防災の特徴

- ソフト(情報)による防災である。
- 多様な技術によって構成され、情報によって有機的に結合している。

目的によって必要とする情報は異なり、かつ多様である。この目的は、例えば地方自治体に注目すれば、震災後からの時間経過に応じて、人命の安全、被災者の日常生活の安定、被災者の人生や地域の再建へと変化する。その結果、必要とする情報も、地震情報や被害情報、医療情報や輸送路情報、避難所や資源の管理情報、ボランティア情報、復興計画情報へと変わる。

情報を得るには様々な機能や技術が必要となる。その核となるのは、データベース、モニタリング、通信、数値解析、制御、表示、対応である。データベースには震源情報、地震動伝播特性、地盤特性、被害関数、施設管理、住民・土地管理などがあり、効率化・更新を伴わなければならない。モニタリングには各種計測機器、GPS、映像などがあり、その際精度が重要となる。通信では専用回線、衛星回線、インターネットなどを利用するが、信頼性が問題となる。各種データ、計測情報を用いて、同定機能、被害推定機能、各種計算機能などの数値解析が高精度・高速化の下に実施され、制御情報、表示情報が出される。振動制御、緊急遮断などの制御においては最適性が問題となる。表示においては使用性が問題となるので、GISなどが利用される。この結果が事後対応に活かされることになる。

上記機能条件を考えると、リアルタイム地震防災においては精度、効率化・更新、信頼性、高速化、最適性、使用性が時々刻々保証されなければならないことがわかる。

リアルタイム地震防災のあるべき姿

- 利用目的が明確になっていること

- 効果的な情報を提供する
- 最新の技術やデータベースに更新できること
 - リアルタイム地震防災は総合技術であり、技術は常に進化する。
- 評価関数およびシステムの信頼性が高いこと
 - 信頼性の低い情報やシステムでは判断ができない。
- 事後防災だけでなく、事前防災にも有効利用できること
 - 平常時に多くのシミュレーションを行い、地震時に的確な行動をとれるようにする。
 - 地震時だけのシステムでは信頼性が低い。

検討課題

- 地震防災に役立つ情報とは何か。情報をどのように利用すべきか。
 - 最適なシステムのあり方
 - 利用すべき情報について
 - 精度向上や効率化のための方法論や技術について
 - 評価情報の不確定性について
 - 平常時におけるシステムの有効活用法
 - システムの連携、データベースの共有化
- その他、リアルタイム地震防災の定義、考え方、問題点として、委員各位から以下のような意見が出された。
- 地震発生時に大きな問題が起きないようにするための措置、方法、手段、考え方の第1歩である。予防対策、緊急対策、復旧対策が地震対策の基本である。(C委員)
 - リアルタイム地震防災の視点は、1)オンライン情報の活用、2)アップデート情報の加工方法の検討、3)利用するユーザの明確化にある。(D委員)
 - 地震防災分野ではコンピュータ活用技術が重要である。例えば、地震動シミュレーション技術の高精度化、各種被害関数の評価検討、液状化予測手法の検討、GIS技術による工学的情報の可視化、通信技術およびデータベース活用技術の応用である。GIS/データベースの設計には、地盤データベースシステム、オブジェクト指向によるデータベース管理システム、インターネットの積極的利用、オンライン情報の検索と収集が必要である。(E委員)
 - 供給の継続性を重視しながら、被災状況把握、応急復旧支援、応急給水支援を迅速に行うことが重要である。震源情報に基づいた地震動推定、被害推定結果については、携帯端末を使った現場調査/作業報告によって被害再推定が行われ、

最新状況が把握される。その結果は応急復旧支援に役立つ。オンラインのプロセスデータ(圧力、流量)を利用し、需要修正型管網解析法により、漏水量、漏水分布、断水領域が推定される。その結果応急給水量が求められる。(F委員)この方法は、観測事実によって推定結果を時々刻々更新していく利点を有しており、リアルタイム地震防災を確立する上で役立つ。

- 地震動モニタリング、地震情報システム、被害推定システムの確立はリアルタイム地震防災システムの課題である。地震動モニタリングにおいては、時刻歴波形/地震動強度指標の決定、観測システムの設置・維持管理、観測データの共有・公開が問題である。地震情報システムにおいては、情報伝達の時間、通信・広報の手段、震源の情報(断層面、震源パラメータ)、画像情報(衛星、ヘリテレ)、現場情報(GPS、モバイル端末)が必要である。被害推定システムでは、GISデータの整備(マクロ、ミクロ)、震前・震中・震後の一貫したシステム、予測から確認情報を取り入れた被害情報への更新、被害推定式の精度向上、情報の共有・公開が求められる。(G委員)
- 災害の空間的波及・災害事象の全体像の把握、事前・最中・事後防災の連続性、災害(被災)情報の更新がリアルタイム地震防災を確立する上で必要不可欠である。(H委員)
- データベースの整備と活用、地震時即時対応に対してはインターネットが有効に活用できる。情報の可視化、位置情報の授受においてはGISを利用すればよい。オブジェクト指向によるデータ構造の分析は、インターネット稼働型都市地震防災情報統合GISの構築を可能にする。(I委員)
- 提供されるデータの質は時々刻々と更新されるべきである。シナリオ地震による地震動計算の実施、ネットワークを用いたGISの相互更新、モニター用センサーの開発、専門職の利用、必要な情報伝達のためのラジオ、電子掲示板の活用などはリアルタイム地震防災のための基本コンセプトである。発災直後には事前シミュレーションで得られた地震動予測を観測情報で補正する。新たな情報が入手される度に必要な具体的対策を時々刻々更新・判断・決定する。(J委員)
- 空間的な広がりをもつシステム(ライフラインネットワーク、市街地、地下街など)のブロック分割は、被害の局限化と波及防止に有効で

ある。緊急遮断、ブロック分割、防火区画は即時対応のためのブロック遮断システムを構成する。そのためには、空間的構成の最適化が必要である。(K 委員)

- リアルタイム震害予測システムは施設被害の全体像の早期把握に必要である。情報の少ない時期における意思決定は、緊急点検の効率化、被災地域外からの支援体制の早期確立、復旧資機材の効率的な運用のための支援となる。(L 委員)
- 各構造物またはシステムの地震後被害を精度よく、かつ簡単に想定できることが重要である。そのためには震害統計に基づき、震度、機能(断水率)、埋設管の耐震化の程度を関連づける簡単な関係式が必要となる。(M 委員)
- 事前の準備に基づいて、今回の地震を原因として発生する現象やその経緯を予測・推定し、あるいは逐次それを修正したりモニタリングしたデータを利用して、今回の地震災害軽減対策へフィードバック可能であれば、それを可能とする時間レンジは、絶対時間の短長に関係なく「リアルタイム」の範疇として扱う。(N 委員)
- 誰のためのリアルタイム地震防災なのか。何をするのか(地震発生後の時間経過に応じて、地震情報処理、早期被害予測システム、実被害情報収集システム、災害発生時行動支援システム・危機管理支援システムへと変化)。実被害情報収集システム、危機管理支援システムは費用対効果の高いシステムである。早期被害予測システムの開発においては、1) 詳細な被害想定をしてもきりが無い、2) 多大な費用がかかる、3) いくらやっても被害予測の域を越えない、4) 被害予測のみでは決断ができない、5) 相当ラフなシステムでもよい、などの疑問点・問題点を解決しなければならない。(O 委員)

以上から、委員各自が考える「リアルタイム地震防災」に関して共通項目が浮かび上がることがわかる。リアルタイム地震防災技術以前における既存の防災システム概念も重要視されているが、これは既存システムがあって初めて新しい防災技術が確立することを物語っていると言える。またリアルタイム地震防災の概念だけでなく、個別の要素技術や統合システムの開発の必要性も指摘されている。その結果は「リアルタイム地震防災」に関連したカードを KJ 法によってとりまとめた全体像⁴⁾に反映されている。

3. 現状のリアルタイム地震防災は本物か

著者らは、第 22 回地盤震動シンポジウム(1994 年 10 月)において、面的・時系列的な評価のために「リアルタイム地震工学を目指して」という題目の論文を発表した。その後の兵庫県南部地震の結果を踏まえてまとめ直したのが文献 3) である。著者らはその当時提案した「リアルタイム地震防災学」の枠組みが実現できるようになるのは 10 年先になるであろうと想像していた。この分野における阪神・淡路大震災後の発展はめざましいが、最近使われ出した「リアルタイム地震防災システム」において何が問題となっているのであろうか。2. で示された委員各自の意見を受け、ここでは紙面の都合上 6 つの問題点について私見を述べる。

第 1 に、リアルタイムの解釈である。現在開発中のあるいは開発済みのシステムは「早期被害推定システム」が中心であり、その意味でリアルタイムとは地震直後の時間を指していることが多い。初期の一撃で都市部が壊滅的な打撃を受けると、リアルタイム地震防災は威力を発揮しないという意見がある。しかしながらリアルタイムとは地震直後のある時間帯に限定されたものではない。もちろん処理時間などの問題から、現在はリアルタイムではなく準リアルタイムな処理をしていることが多い。

第 2 に、地震動モニタリングシステムは充実してきたが、方法論に新しさがあるかどうかである。現状では、既往の静的システムをそのまま適用したリアルタイム地震防災システムが構築されているように思われて仕方ない。すなわち時々刻々得られるデータを既存の(ときにはブラックボックス的な)プログラムに入力して、地震情報、被害推定などの出力値を求めているだけではなかろうか。推定結果を得ることは大いに意義あることではあるが、ここで問いたいことはリアルタイムオンライン処理にふさわしい方法論が導入されているかどうかである。

第 3 に、リアルタイム地震防災の使用目的に関することである。UrEDAS, SIGNAL は明確な目的を有する特殊なシステムであるから、リアルタイム地震防災の意味はあるが、このようなシステムをあらゆる(不明確な)分野に適用すべきではないという意見がある。リアルタイム性を重視した研究・実務はその目的を限定すべきであるという意見には一理ある。しかしリアルタイム地震防災学の意味を限定して考える必要はないと考えられる。このようなシステムは UrEDAS, SIGNAL のような緊急時警報・制御システム以外には必要ないのであろうか。リアル

タイム地震防災の適用に当たってはふさわしい対象が多くあるのではなかろうか。

第4に、面的な地震動・被害推定などへの取り組みに関することである。震源の位置と地震の規模さえわかれば、被害状況を把握できる、1地点での地震動を計算することができれば、面的な地震動は単に点情報の集積として評価できるという主張がある。すなわち、面的な取り組みは必要ないという論理である。第22回地盤震動シンポジウムにおいても同様な意見が地震学の専門家から提起された。地震動のシミュレーション技術さえ完成すれば、未観測点の地震動は求められるのであろうか。モデル/システムの不確定性、観測データを活かした高精度な条件付補間問題は必要ないのであろうか。

第5に、精度の問題である。これまでの解析では入力としての地震現象、対象システムのモデル化、被害関数の設定などに多くの仮定を必要としてきた。一方で、ミクロな解析は時間・労力を要するから、地震直後のリアルタイム地震防災には適さないという考え方がある。つまりマクロな評価で十分であると言う主張である。地震現象、相互連関を有する社会システム、都市構造はダイナミックに変化し、極めて複雑なカオスである。加えてそれらは不確定性を伴っている。技術革新の中でいつまでも先述したような発想でよいのであろうか。不確定性を減らし、精度を向上させるためにはマクロに固守すると限界があろう。時間経過に応じて推定精度を向上させる努力は必要ないのであろうか。

第6に、リアルタイム地震防災の対象範囲に関する問題である。現状では、力学系の構造体を対象にしたシステムが主に構築されており、人間そのものはあまり対象になっていない。すなわち、人間の生命・生活と関連づけて人間行動をも考慮した社会システムの実時間制御の問題はほとんど注目されていない。リアルタイム地震防災はハードだけでなく、このようなソフト的なテーマにも大いに関連していると考えられる。

4. 実時間震災制御システムのあるべき姿

従前の研究では、地震現象のシミュレーション、地震動予測、地震防災に係わる事前対策のように、じっくり腰を落ち着けたオフライン的研究が中心であった。地震発生時点を時間軸の原点と見なして直後の短時間レンジのみを考えるのではなく、事前・最中・事後において時々刻々変化する状況を把握するためにはオフラインからオンラインに変身したアイデアが必要である。そこで著者らは、今後

の地震防災において、図-1に示すような「リアルタイム地震工学」を積極的に取り入れていくべき時期にきていると提案した³⁾。

リアルタイム地震防災あるいはリアルタイム地震工学においては、今まさに起こっている現象をリアルタイムにモニターした観測データを利用して、時々刻々予測・推定し、あるいはそれを逐次更新させていくためのフィードバックループを有する。ここでは、事前のオフライン処理によって構築されたシステム(モデル)に、逐次収集されたデータを入力して解析を行う。解析精度は事前に準備されたシステムの精度と、地震後に入力されるデータの質に依存する。しかしながらシステムを時々刻々更新しながら、逐次入力されるデータの更新によって解析の精度を高めていくことが可能である。2.で示したように委員の中にもこうした考え方と同一の意見が提起されている。

処理時間は対象とする現象によって違ってくる。秒、分、時、日、月の時間スケールになることが考えられる。しかしながら、入力→システム→出力の時系列的なフィードバック処理をすることは絶対時間の短長に係わりなく共通であり、このことがリアルタイム地震防災を特徴づけているのである。このためには、今後、時空間場における社会システムのカオス的な非線形現象に特有の更新理論を開発していくことが必要である。観測事実に伴う推定情報に関する更新の重要性については委員の意見にも見られる。

リアルタイムとは事前・最中・事後の一貫した時間レンジを意味する。従って、最適復旧・復興戦略システムの構築においてもリアルタイム地震防災は役立つのである。すなわち、早期被害推定システムだけがリアルタイム地震防災ではなく、最適復旧戦略、ライフライン・人間行動の実時間制御など、リアルタイム地震防災が対象とする周辺分野は多い。

今日の収集系・伝達系・処理系に関するハード面の技術の発展を考えると、地震時に都市基盤施設を実時間で制御することは十分に可能である。しかしながら、モデル・システムの検討や評価手法の開発以外に、情報の公開、データベースの構築と更新、日常的な利用、共有化など、多面的・総合的な取り組みがリアルタイム地震防災をより一層現実的なものにしていくに違いない。

本章で述べた「リアルタイム地震防災のあるべき姿」は委員全員の合意形成を見たものではないが、一部委員の考え方と調和的である。

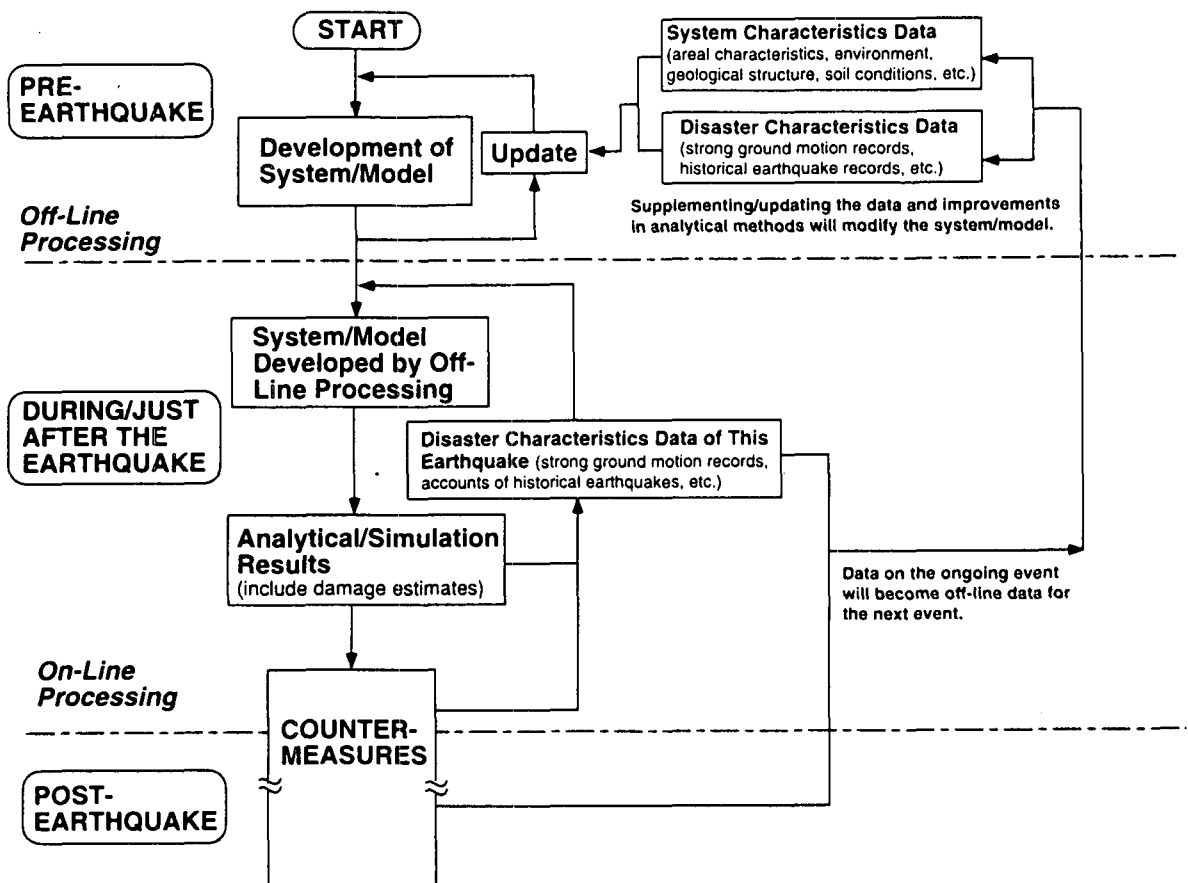


図-1 リアルタイム地震防災の概念的なフロー

5. あとがき

本小文では委員会活動に見られた委員の意見ならびに私見を交えながら、リアルタイム地震防災システムの基本的な姿について述べた。防災技術としてのリアルタイム地震防災については文献 2), 3), 5), 6) にも詳しく報告されている。また著者の考えは目黒の主張とほぼ同じであるので、文献 6) も参照されたい。

本委員会ではほぼ2箇月ごとに開催し、資料提供と議論を通して委員間の相互理解と「リアルタイム地震防災」の概念に関する共通認識を深めようとしている。これまでは「リアルタイム地震防災」のための要素技術が中心的に議論されてきたが、今後は「リアルタイム地震防災のあるべき姿」について委員間の合意形成をはかり、最終成果を社会に還元していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 野田 茂：リアルタイム地震災害制御システムの現状と将来，鳥取大学工学部研究報告，Vol. 26, No. 1, pp. 261-293, 1995年7月。
- 2) 山崎文雄：リアルタイム地震防災システムの現状と展望，土木学会論文集，No. 577/1-41, pp. 1-16, 1997年10月。
- 3) Noda, S. and Meguro, K.: A new horizon for sophisticated real-time earthquake engineering, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol. 17, No. 2, pp. 13-46, 1995.
- 4) 能島暢呂：KJ法を用いたリアルタイム地震防災の問題整理の試み，第1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，1999年1月(印刷中)。
- 5) 野田 茂・目黒公郎・山崎文雄：リアルタイム地震工学のすすめ，第23回地震工学研究発表会講演概要，pp. 699-702, 1995年7月。
- 6) 目黒公郎：私の考える「リアルタイム地震防災の姿」，第2回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集，pp. 315-318, 1997年11月。