



JP0050858

JAERI-Tech
2000-063



地震情報緊急伝達システムの 研究開発の進捗

2000年9月

地震情報伝達研究特別チーム

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2000

編集兼発行 日本原子力研究所

地震情報緊急伝達システムの研究開発の進捗

日本原子力研究所東海研究所
地震情報伝達研究特別チーム

(2000年8月29日受理)

平成7年1月の阪神・淡路大震災を契機に、科技庁は、総合的地震調査研究を推進するため、平成8年度から「地震総合フロンティア研究」実施している。このフロンティア研究の一環として、原研はリアルタイム地震情報研究を進めている。

阪神・淡路大震災の後、震災の経験を基に大地震発生直後に正確かつ迅速な地震情報の伝達の重要性が認識されている。この背景から、原研では、「地震情報緊急伝達システムの研究開発」を中心にリアルタイム地震情報研究を進めることになった。研究開発は、9年度から4年計画で進めている。東海研に地震情報伝達研究特別チームが設置され、防災科研との協力の下に本研究計画を実施している。本報告書は、平成11年度までの研究開発の進捗概要をまとめたものである。

地震情報緊急伝達システムの開発では、最新の地震工学の知見を反映した震源・地震動パラメータの推定手法開発を行うとともにこの手法や最新の通信・情報伝達技術を反映したシステム造りをめざしている。これまでに、震源・地震動パラメータの推定手法とソフトウエア開発等、主要部分を整備している。また、システムの適用性検証を行うため、原研東海研周辺の地盤データベース、試験用地震計ネットワーク、想定地震時の推定地震動分布データベース、表層地盤の増幅率関数データベースの整備等も進展している。さらに、地震情報の伝達方法としてホームページ及び電子メールを利用し、地震情報の発信を行っている。

Progress of R&D on Seismic Emergency Information System

Seismic Emergency Information System Research Team

**Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken.**

(Received August 29, 2000)

After the Great Hansin-Awaji Earthquake Disaster occurred in 1995, the Science and Technology Agency commenced “Frontier Research Program on Earthquake” in FY1996. As a part of this research program, four-year program on “Research on Real-time Earthquake Information Transmission” has been carried out at JAERI since FY1997.

Through the experience of the above earthquake disaster, the importance of accurate and prompt seismic information transmission immediately after the occurrence of the earthquake has been recognized from the viewpoint of disaster mitigation. Under this circumstance, the main activity in Real-time Earthquake Information Transmission Research at JAERI has been placed on the development of a seismic emergency information system.

In order to respond to the above R&D, Seismic Emergency Information System Research Team was organized in JAERI in FY 1998. In the meantime a part of this R&D program is performed under the coordinated research between JAERI and NIED(National Research Institute for Science and Disaster Prevention). This report describes the recent progress of R&D until FY1999.

In the R&D, estimation techniques of hypocenter, fault and earthquake motion parameters, in which the latest results in the field of earthquake engineering were involved, were developed.

Until the end of FY1999, the main part of the system, in which the above estimation techniques are introduced, is completed. By this system the seismic information is being transmitted using E-mail and homepage through the inter-net. In addition the databases on the estimated earthquake motion parameter distribution under scenario earthquakes and the surface soil amplification function around JAERI-Tokai site are prepared to examine the applicability of the system.

Keywords: Real-time Earthquake Information Transmission, Seismic Emergency Information System, Source and Earthquake Motion Parameters, Earthquake Disaster Mitigation

目 次

1. はしがき -----	1
2. 研究開発の経緯 -----	3
2. 1 リアルタイム地震防災国際ワークショップ-----	3
2. 2 研究計画の策定及び研究評価 -----	4
2. 3 防災科研との共同研究 -----	5
2. 4 地震情報緊急伝達法等研究専門部会の設置 -----	5
2. 5 国内ワークショップの開催 -----	5
3. 地震情報緊急伝達システムの研究開発の内容 -----	6
3. 1 リアルタイム地震防災システムと原研システムとの関係 -----	6
3. 2 地震情報システムのニーズと開発上の課題に係る検討 -----	6
3. 2. 1 地震情報システムのニーズ -----	6
3. 2. 2 地震情報システム開発上の課題に係る検討 -----	6
3. 3 システム開発の基本的考え方とシステム構成 -----	9
3. 3. 1 システム開発の基本的考え方 -----	9
3. 3. 2 システムの構成・機能 -----	10
3. 4 システム開発上の具体的課題と開発手順 -----	11
3. 4. 1 システム開発上の具体的課題 -----	11
3. 4. 2 システム開発の手順 -----	12
3. 5 研究開発のスケジュール -----	12
3. 6 11年度までの進捗の概要 -----	12
3. 6. 1 要素技術の開発・整備 -----	12
3. 6. 2 システム化 -----	14
3. 6. 3 システムの適用性の検討 -----	14
4. 要素技術の検討・開発とシステムの構築 -----	31
4. 1 要素技術の検討・開発 -----	31
4. 1. 1 地震計ネットワーク・地震動伝送・地震動収集に係る検討 -----	31
4. 1. 2 震源及び断層パラメータ推定手法に係る検討 -----	34
4. 1. 3 地震動パラメータ推定サブシステムに係る検討 -----	36
4. 1. 4 地震情報の発信、利用方法に係る検討 -----	43
4. 2 システムの構築 -----	48
4. 2. 1 地震計ネットワーク・地震動伝送サブシステム -----	48
4. 2. 2 地震動収集サブシステム -----	48
4. 2. 3 震源・地震動パラメータ推定サブシステム -----	51
4. 2. 4 地震情報発信、利用サブシステム -----	52
4. 2. 5 ハードウェア・ソフトウェア構成 -----	53

4. 3 地震情報緊急伝達システムの適用 -----	55
4. 3. 1 適用地域の選定 -----	55
4. 3. 2 システムの設置 -----	55
4. 3. 3 適用地域の浅層・深層地盤データベースの整備 -----	56
4. 3. 4 適用地域の想定地震による予測地震動分布の算定 -----	57
4. 3. 5 適用地域の增幅率関数モデル分布の作成 -----	58
5. まとめ -----	137
謝 辞 -----	140
参考文献 -----	141

Contents

1.	Introduction -----	1
2.	Progress of R&D -----	3
2. 1	International Technical Workshop on Real-time Seismic Disaster Mitigation -----	3
2. 2	Establishment and Review of Research Program-----	4
2. 3	Research Coordination with NIED -----	5
2. 4	Establishment of Research Advisory Subcommittee on Seismic Information Transmission -----	5
2. 5	Implementation of Workshop -----	5
3.	Items of R&D of the Seismic Emergency Information System -----	6
3. 1	Position of the JAERI's System in the Real-time Earthquake Disaster Mitigation System -----	6
3. 2	Needs for Seismic Information System and Issues in the System Development -----	6
3. 2. 1	Needs for Seismic Information System-----	6
3. 2. 2	Issues in the System Development -----	6
3. 3	Basic Concept of the System Development and Construction-----	9
3. 3. 1	Basic Concept of the System Development -----	9
3. 3. 2	System Configuration and Functions -----	10
3. 4	Subjects of System Development and Procedure -----	11
3. 4. 1	Subjects of System Development-----	11
3. 4. 2	Development Procedure -----	12
3. 5	Schedule of R&D -----	12
3. 6	Progress until FY1999 -----	12
3. 6. 1	Preparation of Element Techniques -----	12
3. 6. 2	Construction of System -----	14
3. 6. 3	Validation-----	14
4.	Development and Preparation of Element Techniques and Construction of System-----	31
4. 1	Development and Preparation of Element Techniques-----	31
4. 1. 1	Issues on Seismometer Network, Seismometer Data Transmission and Acquisition-----	31
4. 1. 2	Issues on Hypocenter and Fault Parameter Estimation Techniques -----	34
4. 1. 3	Issues on Subsystem for Earthquake Motion Parameter Estimation -----	36

4. 1. 4 Issues on Earthquake Information Transmission and Utilization--	43
4. 2 Construction of System -----	48
4. 2. 1 Subsystem for Seismometer Network and Observed Earthquake Motion Data Transmission-----	48
4. 2. 2 Subsystem for Earthquake Motion Data Acquisition -----	48
4. 2. 3 Subsystem for Hypo Center and Earthquake Motion Parameter Estimation -----	51
4. 2. 4 Subsystem for Earthquake Information Transmission and Utilization -----	52
4. 2. 5 Composition of Hardware and Software-----	53
4. 3 Validation of Seismic Emergency Information System-----	55
4. 3. 1 Selection of Test Area-----	55
4. 3. 2 Installation of System-----	55
4. 3. 3 Preparation of Shallow and Deep Soil Database in Test Area-----	56
4. 3. 4 Preparation of Predicted Earthquake Motion Distribution in Test Area -----	57
4. 3. 5 Preparation of Amplification Function Distribution Model in Test Area-----	58
5. Conclusion -----	137
Acknowledgement -----	140
References -----	141

[用語リスト]

本用語リストは本報告書で便宜上使用している用語とその内容を列挙したものである。専門用語、技術用語は本用語リストの対象外である。

用語リスト

分類	用語	内 容
団体など	原研	日本原子力研究所
	原研東海	日本原子力研究所東海研究所
	原研大洗	日本原子力研究所大洗研究所
	原研那珂	日本原子力研究所那珂研究所
	防災科研	防災科学技術研究所
設備など	地震計ネットワーク	複数の地震計を通信回線などで接続した地震観測設備
	リアルタイム地震計	検知器による地震観測データをガードなどに保存せず地震観測と同時に通信回線などを介して即時に収集局に伝送する構造を持つ地震計
	準リアルタイム地震計	検知器による地震観測データをガードなどで一時保存し地震観測終了と同時に地震観測データを通信回線などを介して収集局に伝送する構造を持つ地震計
推定手法	波形インバージョン	観測波形と理論波形の比較から震源での破壊過程を推定する逆問題解析法
システム構成	地震動観測データ	地震観測ネットワーク及び地震動伝送サブシステムから地震動収集サブシステムに伝送されるリアルタイム観測データのパケット
	地震動収集データセット	地震動収集サブシステムが作成する地震動観測データの集合
	地震動推定データセット	震源・地震動パラメータ推定サブシステムが作成する地震動分布データ及び震源・断層データの集合
	浅層・深層地盤データベース	地表から工学基盤までの地層・地質構造をモデル化した浅層地盤データとせん断波速度上面構造をモデル化した深層地盤データによる 500m メッシュ単位の地盤情報
	全波形データ	地震計による観測データの全てで構成される加速度時刻歴波形データ
	ノイズ	地震計による観測データに含まれる全ての誤信号
	地震動パラメータ	地震動観測データから算定できる地震動情報の総称 ・各種特性値(最大加速度・最大速度・最大変位・計測震度・SI 値) ・時刻歴(加速度・速度・変位) ・フーリエスペクトル(加速度・速度・変位) ・応答スペクトル(加速度・速度・変位)
	特性値	地震動観測データの内最大値などのスカラ量で表される値 ・最大加速度 ・最大速度 ・最大変位 ・計測震度 ・SI 値

用語リスト（つづき）

分類	用語	内容
システム構成	即時補正手法	事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法
	等価線形解析手法	等価線形解析による表層地盤特性評価手法
	増幅率関数手法	増幅率関数による表層地盤特性評価手法
	伝達関数手法	基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法
	断層モデル手法	断層モデル地震動予測式手法
	システム間通知	地震情報緊急伝達システムを構成する6つのサブシステムが各自の処理状況を他のサブシステムに通知するイベント <ul style="list-style-type: none"> ・システム間通知・A：地震動収集サブシステムから地震動パラメータ推定サブシステムへの情報通知 ・システム間通知・B：地震動パラメータ推定サブシステムから地震情報発信サブシステムへの情報通知

1. はしがき

1995年1月17日早朝、淡路島北部から神戸市を直撃した兵庫県南部地震（M7.2）は、鉄道、高速道路、橋、その他ライフライン、建築物・家屋、工業施設等あらゆる人工物に甚大な損壊を与えた。死者・行方不明者6310人、家屋の全・半壊20万戸、火災294件[1.1]にも上り、1923年の関東大震災以来の大被害をもたらした。

都市における直下型大地震として、近年、米国ノースリッジ地震（1994年、M7.0）が発生しているが、国内では福井地震（1948年、M7.1）以後50年間、都市直下での地震は発生しておらず、近代都市直下の大地震としては、ほとんどのことが未経験のものであり、被害の大きさは防災専門家の当初予想を遙かに越えるものとなった。

地震発生直後、地震関連情報の不足・錯綜、防災対策中枢と災害現場の情報伝達の混乱などにより国及び自治体、災害現場における防災関係者が適切且つ迅速な初動対応が採れなかつたため、被害の拡大を招いたとされる。

その後、この震災の教訓を踏まえ、「地震による災害から国民の生命、財産を保護する」ことを目的とした「地震防災対策特別措置法（平成7年6月16日成立、同年7月18日施行）」が議員立法により制定され、これに基づき科技庁長官を本部長とする地震調査推進本部が総理府に設置され、地震に関する調査研究（観測、測量、調査、研究）を総合的に推進することとなった。地震調査研究は、国の防災基本計画における地震防災対策の一部として位置づけられるものである。

地震調査推進本部の施策として、次の2プロジェクトが8年度から新規に開始された。

- ・ 地震防災科学技術の総合的推進： 地震防災研究基盤の効率的整備と研究拠点作り
- ・ 地震調査研究の推進： 地震観測・調査研究、地震総合フロンティア研究

前者では、都市における地震災害の軽減を目指す総合的な研究の一環として、直下型実地震動に対する構築物の挙動を解明する観点から大型三次元振動台を研究拠点の中核に据えた研究開発が防災科研（科学技術庁防災科学技術研究所）を中心に進められている。

また、後者では、科学技術庁傘下の研究機関それぞれが有する研究ポテンシャルを活用し、分野を越えた研究者の横断的協力のもとに先端的地震防災研究を展開するとの趣旨で、下記項目に関するフロンティア研究が進展している。

- ・ 地震国際フロンティア研究（理化学研究所）
- ・ 地震防災フロンティア研究（理化学研究所）
- ・ 地震リモートセンシング研究（宇宙開発事業団）
- ・ 陸域地下構造フロンティア研究（核燃料サイクル機構）
- ・ 海底地下構造フロンティア研究（海洋科学技術センター）
- ・ 耐震安全・防災フロンティア研究（日本原子力研究所）

原研の耐震安全防災フロンティア研究は、8年度発足時、

- ・ 確率論的地震リスク研究

- ・機器免震に関する研究
- ・緊急時対応における情報伝達最適化に係る研究

で開始され、これらは従来から実施してきた研究を強化拡充し再編したものである。

これに加えて、8年度の途中から、科技庁の要請に基づき「耐震安全・防災フロンティア研究」の一環として「リアルタイム地震情報研究」を防災科研との協力の下に実施することになった。この研究を実施するため、9年度に安全性試験研究センター長付きアドホックグループが結成され、さらに、10年度には地震情報伝達研究特別チーム（地震チーム）が東海研に設置された。

地震チームは現在、「リアルタイム地震情報研究」として「地震情報緊急伝達システム」を中心据えた研究開発を進めている。このシステム開発では、最新の地震工学の知見を反映した「震源・地震動パラメータの推定手法開発」を行うとともにこの手法や最新の通信・情報伝達技術を反映したシステム造りをめざしている。

地震チームによる研究開発は、12年度に終了を予定している。収束に向けて、11年度末までに、地震情報緊急伝達システムにおける震源・地震動パラメータの推定手法とソフトウェア開発等、主要部分の構築や、システムの適用性検証を行うための原研東海研周辺の地盤データベース整備が完了している。本報告書は、地震チームの主な任務である「地震情報緊急伝達システム」の開発の進捗をまとめたものである。

2. 研究開発の経緯

リアルタイム地震情報研究を開始するにあたり、原研で従来行ってきた地震リスク研究、機器免震研究、計算システム開発等で培った研究ポテンシャルを生かして所内関係部課室の横断的協力を得るとともに地震学及び地震工学の専門家を擁する防災科研との協力の下に実施する方針で研究開発を進めることになった。

8年度は、研究計画の検討を開始するとともに国際ワークショップを開催した。

9年度からは、安全性試験研究センター長付きのアドホックグループを結成し、研究計画の詳細検討・立案、研究評価による審査、防災科研との共同研究開始、地震情報緊急伝達法等研究専門部会の設置等を行い、研究体制を整えた。これらに併行して、「地震情報緊急伝達システム」の研究開発を進めた。さらに、10年度からは東海研究所に「地震情報伝達研究特別チーム（地震チーム）」を設置して研究を引き継いでいる。

地震チームの任務は、12年度までの4年計画で、大地震時に自治体、産業施設の地震防災初動対応に有用な地震動の情報を提供できる「地震情報緊急伝達システム」の原型版を開発すること、システム構築に関連して大洗研敷地において地震観測を実施している免震構造の信頼性に関する研究も併せて実施することである。

上記のリアルタイム地震防災国際ワークショップ、研究評価、専門部会の設置、防災科研との共同研究について以下に概略を述べる。

2. 1 リアルタイム地震防災国際ワークショップ

原研が進める「リアルタイム地震情報研究」に関して、研究開始に先立ち国内外の関連研究開発の現状を把握し、原研が計画する研究内容について専門家の討議を経るとともにこの分野の研究者・技術者との交流を図るため、平成9年3月19日に原研主催のリアルタイム地震防災国際ワークショップ(International Technical Workshop on Real-Time Seismic Disaster Mitigation)を横浜市横浜シンポジアで開催した。参加者は約50名であった。

原研の研究計画の紹介(Introduction of Preliminary Program on Real-Time Seismic Disaster Mitigation)に引き続き、テレメトリー法、リアルタイム地震情報のニーズ、地震情報システムの信頼性、システムティックな地震対策法、日本における初期地震被害評価システムの開発の動向について米国と日本から5件の特別スピーチがあり、その後、原研の計画に関する討議とまとめが行われた。米国(11名)及び日本(39名)における大学、研究機関、自治体、鉄道、消防、公益事業者等から専門家約50名が参加し、今後のリアルタイム地震防災システムのあり方、動向に関して活発な討議が行われた。

原研の研究開発の紹介では、原子力の研究と地震防災に係る研究開発との関わり等に関する質疑があったが、今後の原研の研究開発の進展への期待が表明された。

全体を通じて、原研としてはこの分野のワークショップは初めてであったが、斯界の専門家や政府、自治体の防災担当者の中に入つて討議に参加したことにより、その後の研究開発の進展につながる成果が得られたと評価できる。

2. 2 研究計画の策定及び研究評価

リアルタイム地震情報研究は、8年度途中から開始することになったため、実施に当たり、研究計画を策定するとともに研究評価委員会による計画の承認を得ることが必要であった。そのため、安全性試験研究センター長付きアドホックグループは、研究の具体的計画を作成するとともに、研究評価の準備を進め、研究評価専門部会（9年度に設置、部会長：柴田碧日本大学教授）への説明と研究評価委員会の審査を経て正式承認を得た。このような研究の立ち上げと並行して研究開発についても実質的に作業を進めた。

リアルタイム地震防災研究の研究目的、内容は以下のとおりであり、研究期間は12年度までの4年計画である。

研究目的 :

都市や産業施設の地震防災に役立てるため、既存の地震計ネットワークによる地震動観測データを有効利用し、震源及び地震動の詳細情報を迅速に通報する「地震情報緊急伝達システム」の原型版を開発する。

研究内容 :

[1] 地震情報緊急伝達システムの研究開発

・ 地震動の検知・伝送サブシステム

既存の地震計ネットワークを利用し、地震動観測データをホストコンピュータへ伝送する最適システムを設計する。

・ 震源・地震動パラメータの推定・発信システム

地震計から伝送された地震動データを用い、震源及び地震動パラメータを推定・発信するシステムを開発する。基盤の不整形性や表層地盤の非線形性を考慮した地震動推定手法を開発するとともに、時空間補間法や断層モデル法により高精度の地震動パラメータを推定・発信するシステムを開発する。開発システムを検証するため、対象地域の詳細地盤データを整備する。

・ 地震情報の受信・表示システム

震源及び地震動パラメータの情報を受信・表示するシステムを開発する。

[2] 地震情報伝達システムの原子力施設への応用

原子力発電所外の広域に設置されている変電・送電施設損傷確率の評価に必要なこれら施設近辺の地震動分布を開発したシステムにより推定し、原子力発電所の地震時の外部電源喪失事象の検討に資する。

[3] 地震動到達前の地震動情報予測技術の検討

地震動が対象地域に到達する前に、震源近傍の地震計データにより、対象地域の地震規模や地震動の大きさを予測する技術について検討を行う。

2. 3 防災科研との共同研究

開発システムは、地震計から伝送されてきた地震計観測データから震源及び対象地域の 500m メッシュの地震動パラメータを推定し、さらに地震情報を発信する。ここでは、震源及び地震動パラメータを短時間に推定するための手法開発を行うことが必要である。また、データの伝送に対する知識・経験も必要とするので、研究開発にあたり、地震学・地震工学の分野の専門機関である防災科研のポテンシャルを活用するための協力が要請され、共同研究を 9 年度から行っている。

この共同研究では、下記の 3 項目の開発を進めることとした。

- ・震源情報推定手法の開発（防災科研）
- ・地震動情報推定手法の開発（原研）
- ・リアルタイム地震情報システムの開発検討（防災科研、原研）

2. 4 地震情報緊急伝達法等研究専門部会の設置

研究体制の整備の一環として、標記専門部会を設置した。本専門部会は、地震情報緊急伝達システムの研究開発を有効かつ効率的に進めるため、確率論的安全評価研究委員会の下に設置したものである。委員は、所内外の地震学、地震工学、耐震工学及び防災の専門家関係者からなり、オブザーバーとして、科技庁と気象庁の研究及び地震情報システムの担当者も参加している。本専門部会では、地震情報緊急伝達システムの研究開発の他、免震構造の信頼性に関する研究についても併せて討議することとした。部会長は亀田弘行京都大学防災研究所教授である。

2. 5 国内ワークショップの開催

研究開発開始時に開催したワークショップでは、原研に対して、今後も関係者の討論の場を提供することが期待された。そのため、研究開発が進捗する中、開発システムの全容が明確となる 10～11 年度頃を目途にワークショップの開催を検討してきたが、平成 11 年 12 月 20 日に 2 回目のワークショップを開催した。

このワークショップは、原研が防災科研との協力の下に進めている「地震情報緊急伝達システム」研究開発の進捗を紹介し、12 年度収束に向けて関係者との意見交換を行うこと、その他、地震情報伝達システムの利用法の現状、情報システムの課題と将来展開に関するフリーディスカッションを行うことにより技術交流の場を提供し、この分野の研究開発の進展に資することを目的に開催した。ワークショップ開催により、関係者の原研への期待にも応えた。ワークショップは、防災科研との共催に基づいて実施した。

このワークショップにより、研究開発の 12 年度の収束に向け、気象庁や県レベルのシステムの現状、災害における意思決定の問題、利用システムとの連携等について有用な情報を取得するとともに開発システムの利用法や研究開発のまとめ方等について示唆が得られた。

3. 地震情報緊急伝達システムの研究開発の内容

3. 1 リアルタイム地震防災システムと原研システムとの関係

一般にリアルタイム地震防災システムは、図3.1.1に示すように地震情報システム、被害情報システム及び復旧情報システムからなる[3.1.1]。各システムに要求される機能は下記の通りである。

①地震情報システム

地震計ネットワークによる地震動観測データをリアルタイムに活用し、地震の位置、規模及び断層パラメータ等の震源パラメータと都市及び産業施設立地地域での地震動パラメータを迅速に提供する。

②被害情報システム

地震情報システムによる地震動パラメータと、施設（ライフライン施設、建設物、住居等）の構造情報や地理情報を用いて、それらの被害を推定する。

③復旧情報システム

災害現場からの被害情報等に基づき、復旧対応を支援する。

原研で開発している「地震情報緊急伝達システム」は上記のうち、地震情報システムに対応しており、本研究開発では、関連する手法開発を中心に進めている。

3. 2 地震情報システムのニーズと開発上の課題に係る検討

3. 2. 1 地震情報システムのニーズ

地震情報システムのユーザについて、文献調査を行った[3.2.1～6]。ユーザを、行政と民間に別けると下記のようになる。

- ・行政：中央省庁、県、政令都市、市町村
- ・民間：ライフライン、大プラント、中小プラント、市民等

行政については、防災関連中央省庁や県では既に多く整備されている状況であるが、政令都市や一部の市町村を除いて、市町村での整備は遅れている。一方、民間では、ライフラインや大プラントで整備が進んでいるものの、中小プラントや企業での整備は少ない。従って本システムのユーザとしては、今後防災システムの整備が必要な市町村や民間の中小プラント及び企業等が想定される。なお、表3.2.1にリアルタイム地震防災に係る主なシステムを示す。

市町村及び中小プラントにおいて、市町村それぞれの環境が異なり、また、中小プラントの職種は多種多様であるため、システムに対するニーズも多様である。そのため、ユーザ及びニーズに係る本システムの考え方としては、市町村や中小プラント等の多様なニーズに対応することを想定し、複数のユーザに対応できることを特徴とするシステムの構築をめざすことにした。

3. 2. 2 地震情報システム開発上の課題に係る検討

既存の関連システムの文献調査等を行い、次の項目を対象として地震情報システム開発上の課題を分析した。

- ・地震計ネットワーク
- ・震源及び地震動パラメータ推定手法
- ・地震情報の発受信・表示及び利用方法

(1) 地震計ネットワークの分析

本システムで利用する地震計ネットワークは、次の条件を満たしていることを想定する。

- ・全国規模の地震観測網を有していること
本システムは、我が国の任意の地域で利用可能なシステムを想定しているので、システムの汎用性の確保及び地震計ネットワークの効率的な利用の観点から、全国規模の観測網を有することが望ましい。
- ・地震動観測データが公表可能であること
本システムは、我が国の任意の地域で利用可能であると共に、対象ユーザを特定していくので、地震計ネットワークによる地震動観測データが公表できることが必要である。
- ・地震動波形データを保存していること
地震計ネットワークによる地震動観測データを用いて、各種震源・地震動パラメータを推定するために、地震動波形データを地震計内部に保存し、必要に応じて出力が必要である。

これらの条件を満たす地震計ネットワークを選定するため、既存地震計ネットワークについての文献[3.2.7]に基づき分析を行った。表 3.2.2 に我が国の代表的な地震計ネットワークを示す。選定に当たっては、上記条件の他に、利用の容易性及び地震動観測データの伝送形式等も考慮した。分析の結果、次の地震計ネットワークが条件を満足していることが分かった。

- ・k-net (防災科学技術研究所)
- ・衛星通信地震観測システム (国公立大学・気象庁など)

(2) 震源及び地震動パラメータ推定手法の分析

発災時にユーザが必用とする地震情報は、次の観点から分析する必要がある。

- ・地震情報の種類 (例えば、地震の規模・位置、地震動の大きさ等)
- ・地震情報の発信時刻
- ・地震情報の精度

ユーザの要求は、例えば、「精度が劣っても、早期に概略データ (例: 計測震度) が欲しい」、あるいは「時間を要しても高精度のデータ (例: 加速度時刻歴) が欲しい」等さまざまであると考えられる。そのため、複数のユーザを想定した場合、発信する地震情報の仕様も多様性を持たせることが必用となる。すなわち、本システムでは、地震の規模及び位置や被害推定に活用できる全ての地震動パラメータを推定し、また、発信時間及び精度については、被害推定に活用できる全ての範囲を対象とすることが必要である。そこで、種類、時間及び精度の範囲を明らかにするため、次の観点から既往研究における震源及び地震動パラメータ推定手法について調査を行った。

- ・過去の震災事例での地盤增幅現象 (例: 兵庫県南部地震における「震災の帶」) への対応を考慮していること

- ・過去の震災事例での地震観測データ（例：兵庫県南部地震における地震動観測データ）を活用していること
- ・地震動推定に解析的手法を活用していること（地震観測点密度のみに依存していないこと）
- ・対象地域の詳細な地盤データを活用していること

調査の結果、これらの観点を十分とはいえないが満足する既存手法が提案されていることと、新規に手法を開発することが必要であることが分かった。また、ユーザが、推定地震動パラメータ、推定時間及び推定精度の相互関係を任意に選択するためには、複数の推定手法をシステムに組むことが必要であることが明らかになった。

（3）地震情報の発受信・表示及び利用方法の分析

1) 地震情報の発受信・表示

地震情報の発受信・表示については、次の3項目について検討する必要がある。

- ・通信媒体
- ・通信手段
- ・表示システム

通信媒体としては、電話回線、ISDN、フレームリレー、衛星回線及び無線等種々のものがあるが、震災時における信頼性、通信速度及び費用の観点から検討する必要がある。通信手段としては、ポケットベル、ファクシミリ及び電子メール等があるが、二次利用、汎用性、速報性及び他のアプリケーションとの連携の容易性の観点から検討する必要がある。表示システムについては、地震情報が基本的に数値データで送信されるため、利用者側に数値データをビジュアル化するための処理プログラムが必要となる。また、利用者毎に必要地震情報が異なることや、地震情報のデータフォーマットが様々であるため、表示用プログラムの統一化は困難である。更に、地震情報を自治体などが利用する場合、地理情報システム（GIS: Geographic Information System）との連携が想定されるため、十分なインターフェースの調整が必要になる。

2) 地震情報の利用方法

地震情報の利用側システムとしては、GISを利用した被害情報や復旧情報関連システム等がある。ここでは、これらのうち、被害情報システム及びGISについての分析を行った。

<被害情報システム>

本システムで対象とする被害情報推定システムの主な要件は、全国のユーザを対象としていることや推定内容が詳細に公開されていることである。これらの要件を満たすものとして、国土庁及び消防庁のシステム[3.2.8～3.2.10]が挙げられるので、本システムでの対象被害情報推定システムは、これらのうちの国土庁システムとする。

<GIS>

ここでは既存のGISに関する文献[3.2.11～3.2.14]を調査した。災害時に有用なシステムとして、阪神大震災における災害復旧支援活動を通して、次の5つの条件を満たすことの重要性

が指摘されている[3.2.15]。

- ・平常時に使用していること
- ・複数システム間での情報統合が可能なこと
- ・最新の地域データベースを構築できること
- ・可搬型情報システムであること
- ・専門家でなくても使用できること

これらの条件を満たすために、次の特徴を有するリスク対応型地域空間情報システム RARMIS (Risk Adaptive Regional Management Information System) の概念が提案されている[3.2.16、3.2.17]。図 3.2.1 に提案システムの概念を示す。また、このような概念を具形化した多次元地理情報システム DiMSIS(Disaster Management Spatial Information System)が開発されている[3.2.18]。

・平常時／災害時両用システムのコンセプトの確立

災害時システムと平常時のシステムを別のシステムと考えるのではなく、平常時に使用しているシステムの機能とデータの一部を利用することで災害時の処理を行うことを念頭に置いた設計を行う。また、情報処理に馴れていない自治体職員やボランティア等が容易に操作できる GUI を構築すること。

・自律分散型システムの確立

空間情報をできるだけコンパクトな構造にすることで、ノートパソコン 1 台にすべての情報を格納できるようにする。これにより、大規模な災害に弱いクライアントサーバ型のシステムではなく、自律型のシステム構築を可能にする。また、相互のシステム間で変動する情報のやり取りを行うことで分散処理が可能なシステムとする。

・空間情報と時間情報の統合

空間情報に時間軸を導入することにより、データ更新時、以前のデータを削除するのではなく履歴として残すことを可能にする。これにより、データ更新に対する恐怖感はなくなり、誰でも安心してデータ更新を行うことができる。データを日々更新していくことで、常に最新の地図データの取扱いができるようになる。

原研のシステムは、現状では一方向に地震情報を発信するものであるが、RARMIS/DIMSIS (Disaster Management Spatial Information System: 多次元地理情報システム) のようなユーザシステムとのインターフェースを十分に考慮しておくことも重要である。

3. 3 システム開発の基本的考え方とシステム構成

3. 3. 1 システム開発の基本的考え方

システム開発に当って、3.2.1 でのユーザやニーズに対する考え方及び 3.2.2 での分析結果等に基づき基本的考え方を以下のようにまとめた。

① 既存地震計ネットワークのリアルタイム活用

本システムでは、複数の既存地震計ネットワークから地震動波形データをリアルタイムで収集できることを前提としている。この前提が、技術的に可能であることを確認するた

めに、既存の非リアルタイム伝送形式ネットワークの一つを選び、比較的小規模な変更・改良によるリアルタイム伝送方法の一例を示す。

② 推定地震動パラメータと推定時間・推定精度との相互関係の考慮

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、推定地震動パラメータと推定時間及び推定精度との相互関係を考慮した適切な組合せを任意に選択できるようなシステム構成とする。

③ 関連情報の事前準備による推定精度向上

地震情報を推定する上で必要な関連情報が、事前に準備されていることを想定する。関連情報としては、対象地域での詳細な地盤情報（表層地盤の非線形特性や基盤の不整形性等）や地震動の事前予測分布等がある。関連情報を事前に準備し、地震動パラメータ推定処理に活用することによって、推定精度を向上させる。

④ ユーザ環境を考慮した地震情報配信とユーザの地震情報活用方法の考慮

ユーザの地震情報の受信環境や情報の活用方法は、ユーザによって異なる。複数のユーザ環境に対応できることを考慮したシステムとする。また、GISの利用等ユーザ環境から地震情報を効果的に活用できるよう配慮する。

3. 3. 2 システムの構成・機能

地震情報緊急伝達システムは、上記基本的考え方に基づき、地震情報システムに係る課題を解決するため、図3.3.1に示すように6つのサブシステムからなる構成とした。各サブシステムの主な機能は次の通りである。

① 地震計ネットワーク・伝送サブシステム

地震計ネットワーク・伝送サブシステムは、地震計ネットワークの地震計によって地震動を検知し、地震動波形データを後述の地震動収集サブシステムへリアルタイムで伝送する。ここでの地震計ネットワークは、我が国に配備されている地震防災に活用可能な地震計ネットワークの総称を指す。

② 地震動収集サブシステム

地震動収集サブシステムでは、地震計ネットワーク・伝送サブシステムから伝送された地震動波形データのリアルタイム性を損なわずに、ノイズ等の障害を抽出し処理を行う。また、地震動波形の全データの収集を待たずに、必要十分な最初の波形部分をリアルタイムで収集し、震源・地震動パラメータ推定サブシステムへ伝送する。

③ 震源・断層パラメータ推定サブシステム

震源・断層パラメータ推定サブシステムでは、地震動収集サブシステムから伝送される地震動波形（加速度時刻歴）データを用いて、震源パラメータ及び断層パラメータを推定する。

④ 地震動パラメータ推定サブシステム

地震動パラメータ推定サブシステムでは、地震動収集サブシステムから伝送される地震

動波形データ及び震源・断層パラメータを用いて、地震動分布を推定する。

⑤地震情報発信サブシステム

地震情報発信サブシステムは、インターネットやファクス等を利用して、震源・地震動パラメータ等の地震情報をユーザへ発信する。

⑥地震情報利用サブシステム

地震情報利用サブシステムでは、本来ユーザが各種地震対策や他の支援システムとして整備するものである。本研究開発では、簡単な表示システムの作成と GIS を利用したユーザシステムとのインターフェースの検討にとどめることにする。

3. 4 システム開発上の具体的課題と開発手順

3. 4. 1 システム開発上の具体的課題

システム開発上の具体的課題は、3.2.2 の分析結果や文献調査等に基づき以下のように整理した。なお、表 3.4.1 に文献調査による課題の例を示す[3.4.1]。

1) 地震計ネットワーク・地震動伝送・地震動収集に係る項目

- ①既存非リアルタイム地震計ネットワークのリアルタイム化技術の検討
- ②地震計ネットワークにおける伝送施設の地震動下での信頼性の検討
- ③フォーマットの異なる各種地震計ネットワークによる地震動観測データ一元化の検討
- ④リアルタイム性を損なわず短い時間帯に複数発生した地震による地震動観測データを分離する機能の検討
- ⑤リアルタイム性を損なわず地震動観測データを逐次的利用する手法の検討
- ⑥リアルタイム性を損なわず地震動観測データのノイズ検出・修正をする手法の検討

2) 震源・断層パラメータ推定手法に係る項目

- 既存推定法を上回る推定所用時間を目標とすると、下記の開発が必要である。
- ⑦震源パラメータ（震源位置・規模）を 1 分以内で迅速に推定する手法の開発
 - ⑧断層パラメータ（地震モーメントやコーナ周波数等）を 3 分以内で迅速に推定する手法の開発

3) 地震動パラメータ推定手法に係る項目

- ⑨地震動分布を事前に準備し、地震発生後、即時に補正する手法の整備
- ⑩表層地盤の非線形性や基盤の不整形性による地盤增幅特性を考慮した手法の整備
- ⑪詳細な地盤データの事前準備

4) 地震情報の発信及び利用に係る項目

- ⑫発受信に関する地上回線、無線、衛星等複数の通信手段と、Fax、モニター等の表示装置との最適組合せに係る経済性、信頼性及び伝送速度等の観点からの検討
- ⑬地震情報や地理情報システム（GIS）のデータが、時空間的に常に更新され利用されている日常業務管理システムとのインターフェースの検討
- ⑭国土庁の被害推定システム等関連システムとのインターフェースの検討

3. 4. 2 システム開発の手順

システム開発の手順を図3.4.1に示す。本システム開発の手順は、要素技術の開発・整備、システム化、システムの適用の各段階からなる。

以下に各段階での内容を示す。

- ・システム開発に必要な要素技術を開発・整備する。
- ・開発・整備した要素技術をシステム化する。システム検証のための適用地域を選定し、試験的な地震計ネットワークや地盤データを整備する。
- ・試験的な地震計ネットワーク及び地盤データを用いて、各種システムの検証を行う。また、各種パラメータの地震動分布への影響評価に関して感度解析を行う。
- ・上記各段階で、システムの試験的運用を検討する。

3. 5 研究開発のスケジュール

研究開発のタイムスケジュールを表3.5.1に示す。地震情報緊急伝達システムの開発は、次の3項目に大別して行う。

- ・要素技術の開発・整備
- ・システム化
- ・システムの適用

開発手順として、まず、3.4.1で挙げた課題を対象として手法の開発・改良を行い、地震情報緊急伝達システム構築のための要素技術を開発・整備する。次いで、これらの要素技術を用いてシステムを開発する。さらに、同システムを原研東海研周辺30km地域へ適用し、システムの適用性、性能検証を行う。

年度別の計画として、9及び10年度までに、主要な要素技術を開発・整備し、システム化に反映し、システムの原型版を開発すると共に、システムの主要部分の検証を終える。11年度は要素技術の改良を行い、システムの高度化を図ると共に、システムの検証を行う。最終年度の12年度は、要素技術の取りまとめを行うと共に、システムのマニュアルを作成する。

3. 6 11年度までの進捗の概要

11年度までの進捗の概要を、要素技術の開発・整備、システム化、システムの適用に分けて以下に述べる。なお、図3.6.1に11年度までに構築したシステムの概略を示す。同図の波線は想定ユーザの例を示したものである。

3. 6. 1 要素技術の開発・整備

要素技術の開発・整備の詳細については、4.1で述べるので、ここでは各サブシステムの概要を述べる。<>内は、3.4.1の課題記号に対応している。

①地震計ネットワーク・伝送サブシステムに係る項目

- ・本研究で対象とする既存の地震計ネットワークとして、防災科学技術研究所の強震ネットワーク(k-net)と国公立大学等で運営する衛星データ受信システムを選択した。

- ・ k-net は、非リアルタイムネットワークであるので、k-net 仕様の地震計を対象として、リアルタイム化技術の検討を行った。 <①>
- ・ 衛星データ受信システムの受信設備を整備した。同システムは、リアルタイム地震計ネットワークであるが、東京大学地震研究所が提案の win フォーマットである。地震動収集サブシステムの共通入力フォーマットが、RTS (Real-time Seismograph) フォーマットであるため、フォーマット変換を行う。 <③>

② 地震動収集サブシステムに係る項目

- ・ 地震動波形全体の収集を待たずに、必要な最初の部分のみをリアルタイムで収集し震源・地震動パラメータ推定サブシステムに伝送する機能を整備した。 <⑤>
- ・ 地震計ネットワーク・伝送サブシステムから伝送された地震動波形データのリアルタイム性を損なわずに、ノイズ等の障害を抽出し処理する機能を整備した。 <⑥>

③ 震源パラメータ推定サブシステムに係る項目

このサブシステムに係る手法開発は、防災科研との共同研究で行っている。

- ・ 一般仕様のワークステーションを用いて、震源パラメータ（震源位置・規模）を 1 分程度で推定する手法を防災科研が開発した。システムへの組込みは今後行う。 <⑦>
- ・ EWS を用いて、断層パラメータ（地震モーメント・コーナ周波数）を 3 分程度で推定する手法を防災科研が開発した。システムへの組み込みは今後行う。 <⑧>

④ 地震動パラメータ推定サブシステムに係る項目

- ・ 地震動パラメータ推定サブシステムには、3.3 のシステム開発上の基本的考え方に基づき、図 3.6.2 に示すように次の 6 つの地震動分布推定手法を組み込むこととした。これらの手法には、兵庫県南部地震での“震災の帶”に見られるように、表層地盤の非線形特性や基盤の不整形性の影響による局所的な地震動の增幅特性を考慮できるものを選定している。

④-1 事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法（即時補正手法）

対象地域での想定地震による地震動分布を基盤の不整形性や表層地盤の非線形特性を考慮して事前に予測しておく。この事前予測地震動分布（特性値）と地震動波形データ（特性値）との差異から補正係数を求め、事前予測地震動分布を補正することで地震動分布（計測震度・最大加速度・最大速度・最大変位・SI 値）を推定する。

④-2 等価線形解析による表層地盤特性評価手法（等価線形解析手法）

地震動波形（加速度時刻歴）データを用いて、1 次元等価線形解析によって工学基盤での地震動を求め、工学基盤で空間補間した後に、1 次元等価線形解析によって表層の地震動分布（加速度時刻歴）を推定する。

④-3 増幅率関数による表層地盤特性評価手法（増幅率関数手法）

統計的グリーン関数法により作成した地震動と地盤データを用い、等価線形解析（減衰の周波数依存性を考慮）によって表層地盤の非線形特性を増幅率関数として事前に評価しておく。これに地震動波形データによる下記特性値を乗除する

ことによって地震動分布（計測震度・最大加速度・最大速度・最大変位・SI値）を推定する。

④-4 基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法（伝達関数手法）

局所的な不整形基盤構造による地震動の增幅分布を推定する。表層地盤での増幅特性を1次元伝達関数で、基盤の不整形性による増幅特性を2次元伝達関数で事前に評価しておき、地震動波形データ（加速度フーリエスペクトル）を乗除することで地震動分布（加速度時刻歴）を推定する。

④-5 断層モデル地震動予測式手法（断層モデル手法）

震源・断層パラメータ推定サブシステムで推定した断層パラメータ（地震モーメント・コーナ周波数）と理論震源特性から震源特性を求め、対象地域での既知の伝播特性及びサイト増幅特性と線形結合することによって地震動分布（加速度フーリエスペクトル）を推定する。

④-6 地震動距離減衰式手法（距離減衰手法）

震源・断層パラメータ推定サブシステムで推定した震源位置・規模と既存の距離減衰式を用い、地震動分布（最大加速度・最大速度・最大変位・SI値）を推定する。

- これらのうち、④-2以外の手法はシステムへの組込みを終えている。④-2についてはすでに手法の整備を終えており、システムへの組込みは12年度に行う予定である。

<⑨、⑩、⑪>

⑤地震情報発信サブシステムに係る項目

- 発信に関する地上回線、無線、衛星等複数の通信手段と、Fax、モニター等の表示装置との組合せについて検討を行った。

<⑫>

- 地震発生後3分程度で、推定地震動分布を掲載するホームページを作成した。

⑥地震情報利用サブシステムに係る項目

このサブシステムは、本来、ユーザが各種地震対策や他の支援システムとして整備するものである。そのため、ユーザ環境の例として、以下の検討を行っている。

- データの時空間管理や自律分散管理を考慮したGISの環境を想定し、インターフェースの仕様を検討している。

<⑬>

- 既存被害推定システムとの連携例として、国土庁システムとのインターフェースの検討を行っている。

<⑭>

3. 6. 2 システム化

開発・整備した要素技術を用いて、地震情報緊急伝達システムの主要部を整備した。これらの整備内容の詳細については、4.2で述べる。

3. 6. 3 システムの適用性の検討

(1) 適用地域及び必要情報の整備

1) 適用地域

システムの適用性と性能を確認するため、図 3.6.3 に示す原研東海研周辺半径 30km の範囲を適用地域に選定した。理由は、原研東海研究所（原研東海）、原研大洗研究所（原研大洗）、原研那珂研究所（原研那珂）には大型の原子力研究施設があり、耐震設計のために詳細な地盤データが整備されていることと、この地域が我が国有数の地震発生地域である鹿島灘に面していること、最低半径 30km 程度の地域であれば地震動分布推定手法の検証ができると考えたためである。

2) データベースの整備

システムの適用に必要なデータベースとしては、地震計ネットワークと地盤情報関連の地盤データ、地震動の事前予測分布、増幅率関数分布等である。これらの整備内容の詳細については、4.3 で述べるので、概要を示す。

①試験用リアルタイム地震計ネットワークの整備

地震動伝送サブシステムによる地震動観測データのリアルタイム伝送のため、原研東海研、大洗研、那珂研に地震計を設置し、試験用リアルタイム地震計ネットワークを整備した。また、衛星データ受信システムの受信設備を設置した。

②浅層・深層地盤データベースの整備

適用地域内の地盤構造は、図 3.6.4 に示すように浅い地盤と深い地盤に大別される。それぞれの地盤別に詳細な地盤情報を原研の原子力研究施設耐震設計用の地盤データ等に基づき整備した。

浅い地盤については、表層地質、微地形区分、地質断面図等から地域に分布する地形、地質、地層構成等を明らかにし、地層構成や地震動の応答が同様となるものを集約して、136 種類の地盤モデルを作成した。一方、深い地盤については、上記耐震設計用地盤データ等から、せん断波速度 $V_s=700, 1,200, 3,000(m/s)$ の 3 層構造の地盤モデルを作成し、各層上面の深度を設定した。

適用地域内を 500m メッシュで分割し、各メッシュの浅い地盤に対しては 136 種類の地盤モデルの卓越周期等に基づき、深い地盤に対しては上記 3 層構造モデルの各層上面深度を割り付けた。 $V_s=1,200(m/s)$ 層の上面深度分布を図 3.6.5 に示す。

③地震動分布の事前予測と増幅率関数分布の整備

適用地域周辺の活断層、リニアメント及び歴史地震を対象として、前述の詳細な地盤情報と断層モデルによる強震動予測手法を用いて、同地域における地震動分布の事前予測を行った。対象は、塩屋崎地震を発生させた断層、霞ヶ浦地震及び筑波山東方リニアメントである。図 3.6.6 に筑波山東方リニアメントを断層と想定した場合の地震動の事前分布（計測震度）を示す

また、上記浅層・深層地盤データベースを用いて、④-3 の増幅率関数による表層地盤特性評価手法に基づき、地域内の増幅率関数分布を整備した。

(2) パラメータスタディ

パラメータスタディは、上記の試験的地震計ネットワークと浅層・深層地盤データベースを用いて行う予定である。

以下に、パラメータスタディの主な項目を挙げる。

- ・ 地震動収集サブシステムにおけるノイズ検出率の仕方について
- ・ 地震動収集サブシステムにおけるシミュレータを用いて、対象地域と地震計の配置関係の地震動分布へ及ぼす影響について
- ・ 地震動分布推定手法の推定所用時間について
- ・ 地盤データの精度を数段階に変えた場合の地震動分布へ及ぼす影響について
- ・ 国土数値情報における地盤データを用いた場合の地震動分布推定結果との比較

(3) ホームページによる地震情報の提供

開発システムの試験的な運用として、ホームページにより発震時間、規模、位置、震度及び最大加速度等を提供する。

また、プロトタイプシステムを試験運用するため次の検討を行う。

- ・ 運用先の環境を考慮した地震情報発信及び利用サブシステムの改良
- ・ システムの維持に係る項目（運用体制、費用、非常用電源、ハード・ソフトの改良等）の検討

表3.2.1 リアルタイム地震防災に係る主なシステム（その1）

管理者	気象庁 情報 地震監視 網運営者	対象 緊急:既存 既存:既存 新設:既存 既存:既存	G-I-S の利用 平常:実験 既存:既存	利用特 徴	地震感知			通信方法			被害予測		
					システム名	計測機器 個数	収集データ	計測器+データ蓄積	データ蓄積→被害推定	被害推定→EndUser	管理者	システム名	評価データ
防災科学技術 研究所 東京大学防災 研究所	○	×	×	○	Kネット	10	最大加速度 1,000 加速度型強度計 波形(D)	NTT回線		インターネット	防災科学技術 研究所	最大加速度 分布図	研究者
日本原子力 研究所	×	×	×	○	X	2	加速度波形 1 導用機	NTT回線 導用機	インターネット	インターネット	日本原子力 研究所	（津震地図） 震度分布	研究者
国土庁	○	○	○	○	DIS	424	計測震度計 波形等	NTT(ルート) 一部震度回線	マスメティア(TV等)	EES	国土庁	計測震度分布	一般
各 気象庁	—	○	×	○	○	3,255	計測震度計 波形等	ISDN	自治省消防庁		自治省消防庁	計測震度等 報道結果、 消防庁	
各省 消防庁	○	○	○	○	ネットワーク	100	最大加速度 S波	マイクロ回線	報道省	SATURN	二木研究所	（津震地図） 震度分布	
東京都交通局	○	×	○	○	計測震度計 波形等	4	最大加速度 光回線、局専用回線 加速度波形	—	—	—	東京消防庁	（津震地図） 震度分布	基盤加速度分 布、地表面加速 度分布、震度分 布、液状化危険 性分布、出火危 険性分布、延焼 危険性、人の危 険性分布、交通 状況分布
東京消防庁	○	○	○	○	地震被害予測 システム	計測震度計 (80)速度	20 速度	311	専用機	インターネット	東京消防庁	（津震地図） 震度分布	
日本道路公团									日本道路公团		日本道路公团	（津震地図） 震度分布	

表 3.2.1 リアルタイム地震防災に係る主なシステム（その2）

管理者	気象庁情報			対象			G.I.S.			利用時間			地震感知			通信方法			被害予測		
	震源地	震度	復旧復元位置	利用	常時緊急復旧復元	システム名	計測機器	個数	収集データ	計測器→データ蓄積	データ蓄積→被害推定	被害推定→EndUser	管理者	システム名	詳細データ	公表内容	エンドユーザー				
北陸道開発局						WISE	強度計 速度計 振動計						北陸道開発局								
東京都	X	○	○	×	○	○	東京都地震情報 ネットワーク	100					DIS	東京都	地震感知予測システム	最大加速度 S1強度	基盤加速度分布 市、地震面加速度分布、震度分布、火災危険度、NTT、首 都圏面加速度分布、出火危険度、危険性分布、人的危 険性分布、東京ガス	震度情報			
神奈川県	○	×	×	○	○		計測強度計 加速度強度計(D)	16	最大加速度 計測強度	NTT回線	ISDN	消防情報ネットワーク 防災行政無線システム					国、県、市町村 の防災情報網				
名古屋	○	○	○	○	○		地震計	16					名古屋	震災対策支援 System							
京都	○	○	○	○	○		最大加速度	4					京都	火ニックシステム							
兵庫	○	○	○	×	○	○	地震情報ネット ワークシステム						兵庫県	O-DIS							
和歌山県	X	×	×	○	○	×			実施していない				和歌山県	地震動予測(基 盤加速度、地表 震度最大加速度、 震度最大速度、 地表震度等を入 力)、及び燃焼等を入 力する	地震動の位置 不明						
大阪府	△	○	×	×	○	×	初動消防活動支 援システム		地震最大加速度				大阪府	O-DIS	地盤最大加速度 地盤動、出火危 険、延焼危険	大阪府					
横浜市	○	○	○	○	○	○	高密度強度ネッ トワークシステム		最大加速度計	150		災害時最優先通信 (ISDN)	横浜市	地盤被害早期検 知システム	S-P時間、震度距離、 震央方位、マグニチュ ード、最大加速度	横浜市各部門、 マスコミ等を通じ市 民へ					
川崎市	-	○	×	×	○	○	災害対策支援シ ステム		加速度計	6	最大加速度	防災行政無線、多 重無線	川崎市	震災対策支援シ ステム	震度分布、震 央方位、主要地 震動前後の震度距離の 推定、地盤強度の 推定、地盤接觸知 情(地盤接觸、完 生位置等)	各区役所					
各	JR	X	○	×	×	×	○	UrEDAS					JR	HERAS							
電	東京ガス	X	○	○	×	○	SIGNAL						東京ガス	SIGNAL	最大加速度 S1強度 基盤強度計 液化化セイゼー —	高影響な樹木 推定	東京ガス				

表3.2.1 リアルタイム地震防災に係る主なシステム（その3）

管理者	気象庁 地震情報 震源位置		対象 復旧復興 対応	G-I-S の利用 状況	利用特 徴	地震感知	通信方法	被害予測						
	緊急	平常							管理者	システム名	評価データ	公表内容	エンドユーザ	
Caltech & U.S.G.S.						CUBE	データ蓄積→データ蓄積 データ蓄積→電話回線 データ蓄積→無線	Pager PC	Caltech & USGS		CUBE 契約者	地震発生時間 震央位置 一部震度回線 マクニチュード		
Caltech & U.S.G.S.						Tri-Net	フレームリレー		Cal Berkay	REDI	震源位置 マクニチュード 断層破壊特性 地盤動地域 分布推定 早期被害推定	マクニチュード 断層破壊特性 地盤動地域 分布推定 早期被害推定		
Cal Berkay & U.S.G.S.						NCSN	高信率短周期 船底地震計 強震計 3成分広帯域 地盤計 加速計 地中加速度 強震計	350 20 13 5	BDSN	OES	EPEDAT	地震動の強さ マクニチュード 断層破壊特性		
外 Cal Berkay														

表 3.2.2 我が国の代表的な地震計ネットワーク

NO	ネットワーク名称	運用・管理機関	観測エリア	対象地震動情報	リアルタイム性	備考
1	EPOS	気象庁	全国	計測震度 計測時刻歴	○ ○(一部)	TVニュース等で速報公開 －
2	震度情報ネットワーク	自衛省消防庁	全国	計測震度 計測時刻歴	○	気象庁と連携して速報公開
3	k-net	防災科学技術研究所	全国	加速度時刻歴 速度時刻歴	× ○(一部)×	ホームページで事後公開
4	広帯域地震観測網	防災科学技術研究所	全国	最大加速度	○	ホームページで速報公開(予定)
5	建設省地震計ネットワーク	建設省土木研究所	全国	SI値	○	ホームページで速報公開(予定)
				計測震度	○	ホームページで速報公開(予定)
				加速度時刻歴	×	－
6	地震情報伝達システム (WISE)	北海道開発局	北海道内	最大加速度	○	
				最大速度	○	
				SI値	○	
				計測震度	○	
				加速度時刻歴	×	
7	高密度強震計ネットワーク	横浜市	横浜市内	最大加速度 計測震度 応答スペクトル	○ ○ ○	ホームページで速報公開 ホームページで速報公開 最大値のみ
				加速度時刻歴	×	ホームページで事後公開(予定)
8	衛星通信地震観測システム	国公立大学・気象庁・地方自治体等	全国	加速度時刻歴	○	通信衛星に逐次出力
9	SIGNAL/SUPREME	東京ガス	東京近郊	SI値	○	ホームページで速報公開
				最大加速度 加速度時刻歴	○ ×	ホームページで速報公開(予定) CD-ROMで事後公開(予定)

表 3.4.1 リアルタイム地震防災に係る課題例（文献 3.4.1）

- ① システムを利用する場合、誰が、何を、何時、必要としているかを明らかにする必要があるが、このようなニーズに対する検討は十分なされているか。
- ② 推定時間と推定精度のトレードオフをどのように考えるか。これらの精度の確保は観測点の密度に依存するのか。対象システムは、地震動観測データに基づく、高密度理論型か、事前多数シミュレーション型か。
- ③ システム構築上、とりあえず目をつぶっている点は何か。例えば、通信関連。
- ④ 時々刻々変化する災害状況をアップデートする仕組みを有しているか。
- ⑤ 関連組織のシステムとの乗り入れはどのようにになっているか。
- ⑥ システムのアウトプットで具体的なアクションをとるのか。システムの信頼性と精度の信憑性はどのように保証されているのか。
- ⑦ システムの日常的な管理体制やセキュリティーはどうなっているか。

表3. 5. 1 研究開発のスケジュール

項目	年 度	8	9	10	11	12
1. 地震情報緊急伝達システムの開発						
(1)要素技術開発						
①地震動の検知・伝送サブシステム						
・K-ネット仕様地震計のリアルタイム化の検討						
・地震観測波形の処理手法(ノイズ等)の検討						
・地震動シミュレータ機能の整備						
・地震計電話回線の信頼性評価						
②震源・地震動パラメータ推定サブシステム						
・震源パラメータ関連						
・地震動パラメータ関連						
・想定地震による地震動事前分布推定手法の整備						
・地盤の非線形性、工学基盤の不整形性を考慮した地震動パラメータ推定手法の整備						
③地震情報の発受信・表示サブシステム						
・既存システムの調査						
・システム設計						
(2)システム化						
・既存システム(行政、産業界分野)の調査						
・開発システムの利用に関する調査						
・ソフト開発						
・GISシステムとの組み合わせの検討						
(3)開発システムの検証						
・原研東海周辺陸域30kmの地震データの整備						
想定地震による東海周辺30km地域の地震運動の推定						
東海周辺30km地域の地盤増幅率の検討 不整形工学基盤での増幅特性の検討						
2. 開発システムの原子力施設への応用						
・送变電施設の損傷確率評価への応用						
3. 地震動到達前の地震情報予測技術の検討						
・既存システムのフィジビリティースタディー						
・人工地震波によるP波、S波の相関の検討						

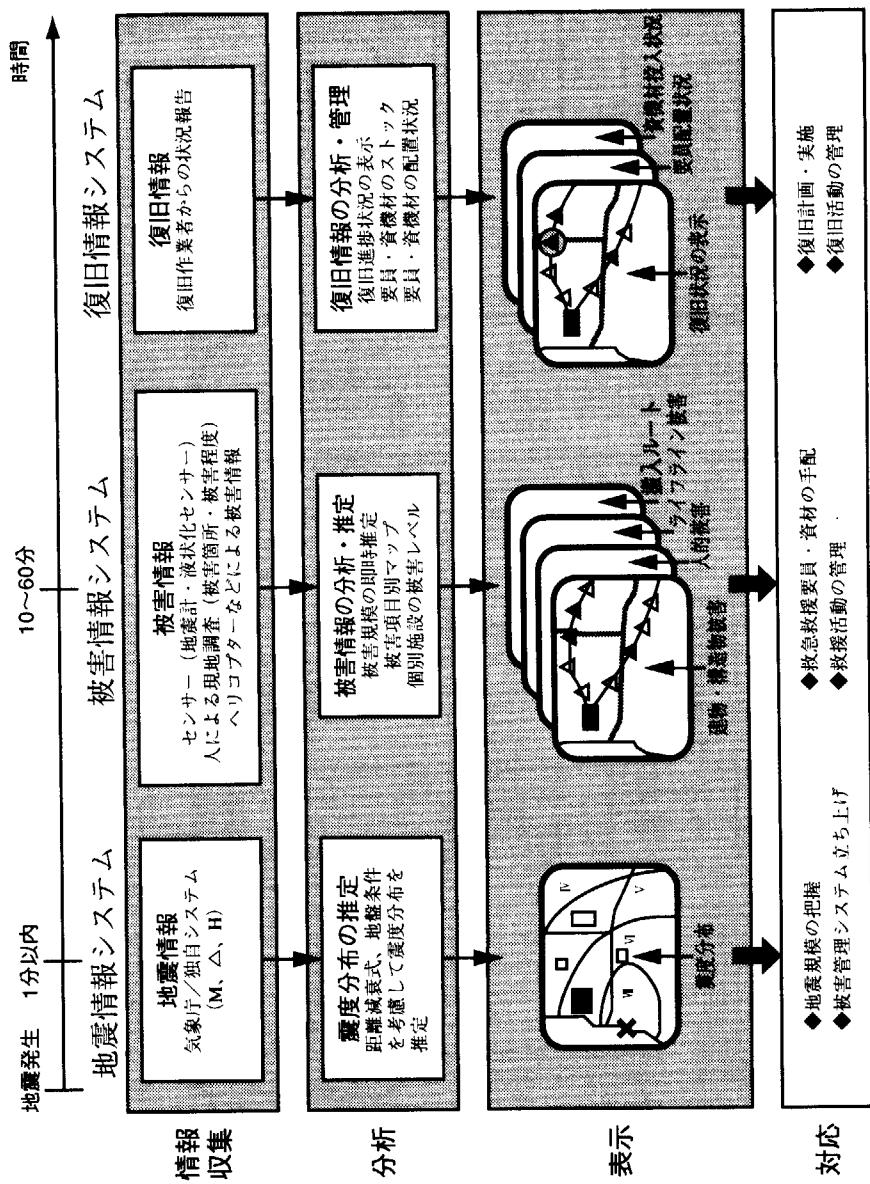


図 3.1.1 リアルタイム地震防災システムの体系 [3.1.1] (原図に一部加筆)

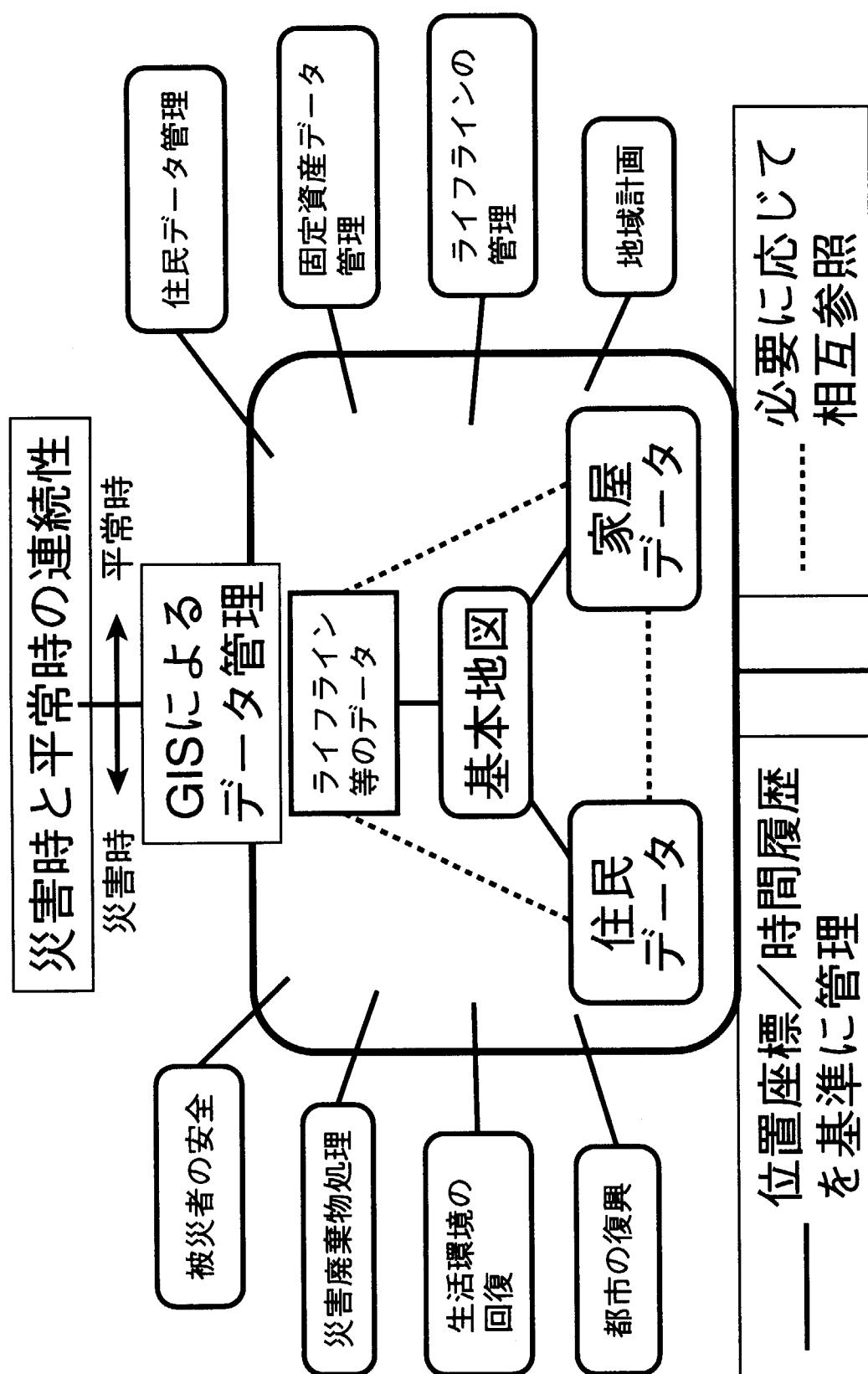


図 3.2.1 リスク対応型地域空間情報システムの概念

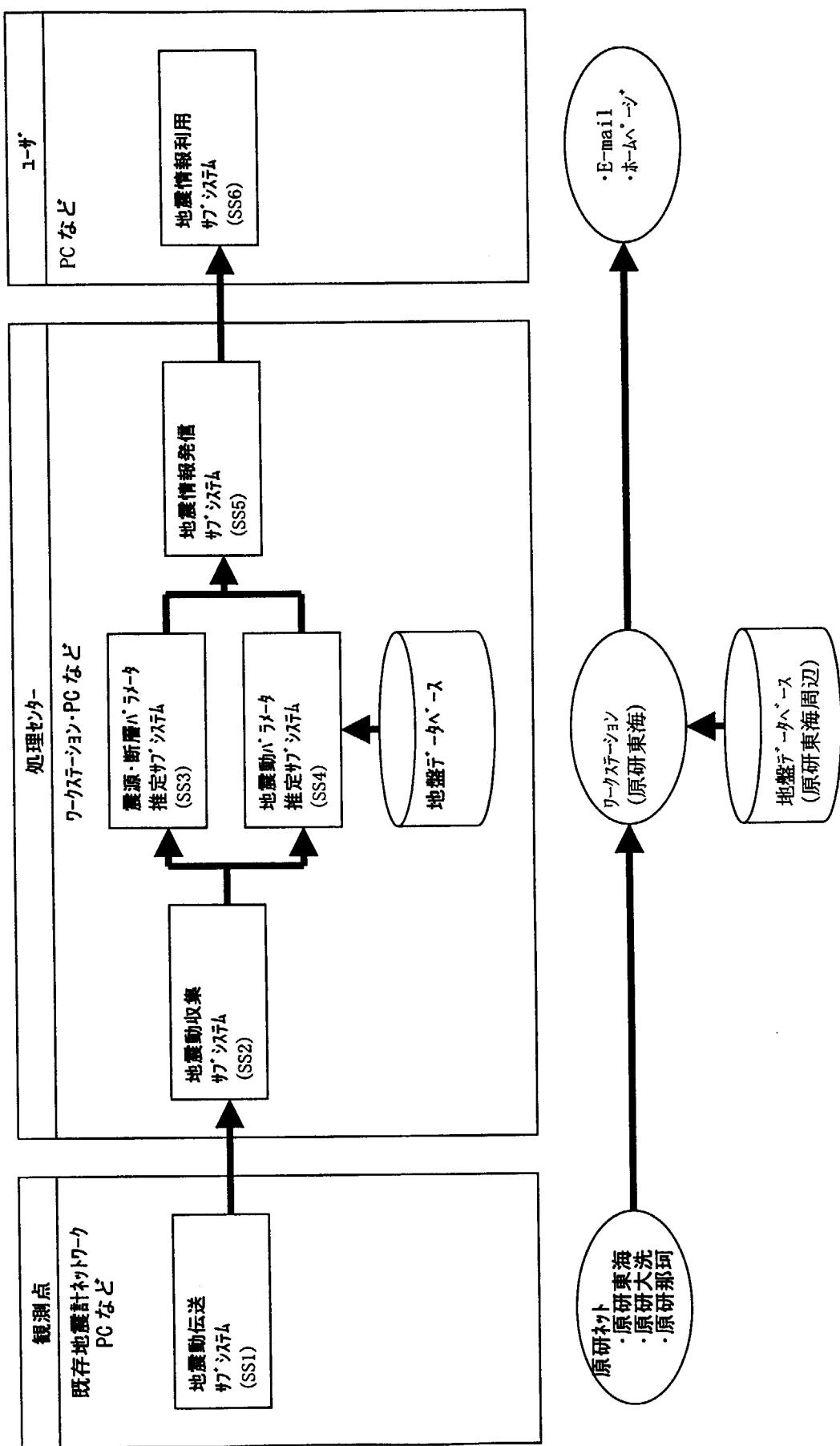


図 3.3.1 地震情報緊急伝達システム構成

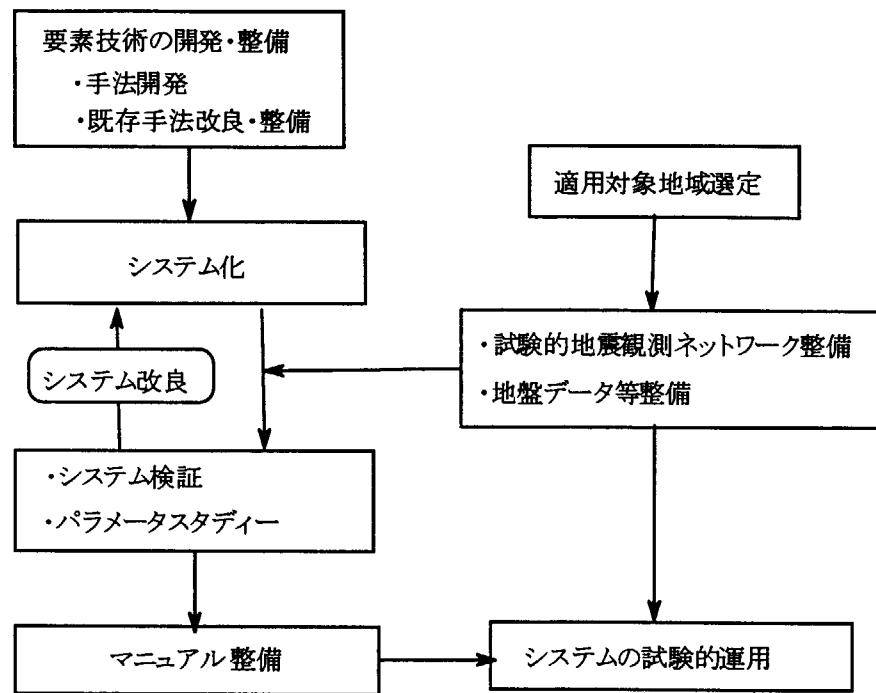


図 3.4.1 システム開発の手順

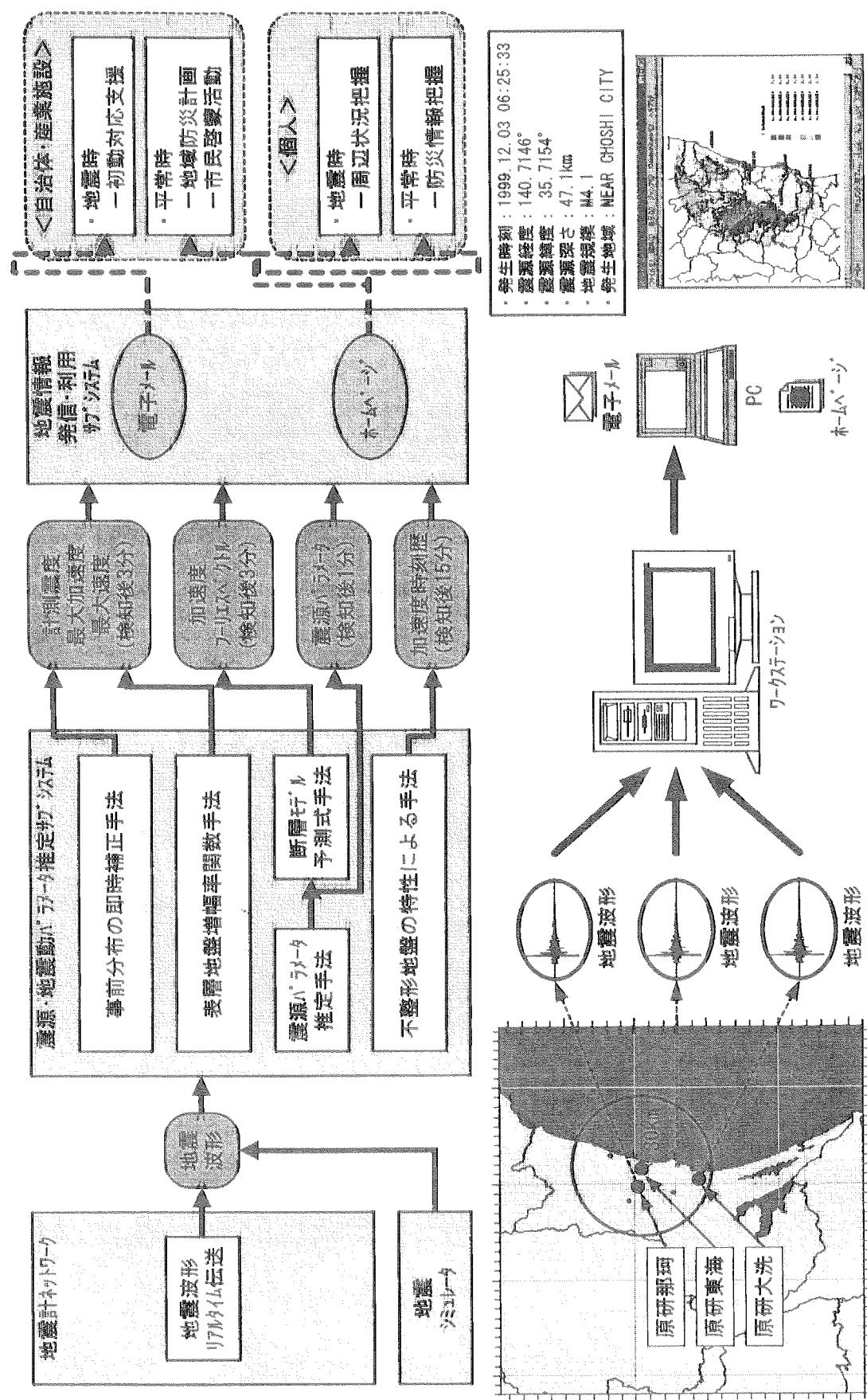


図3.6.1 システムの概要

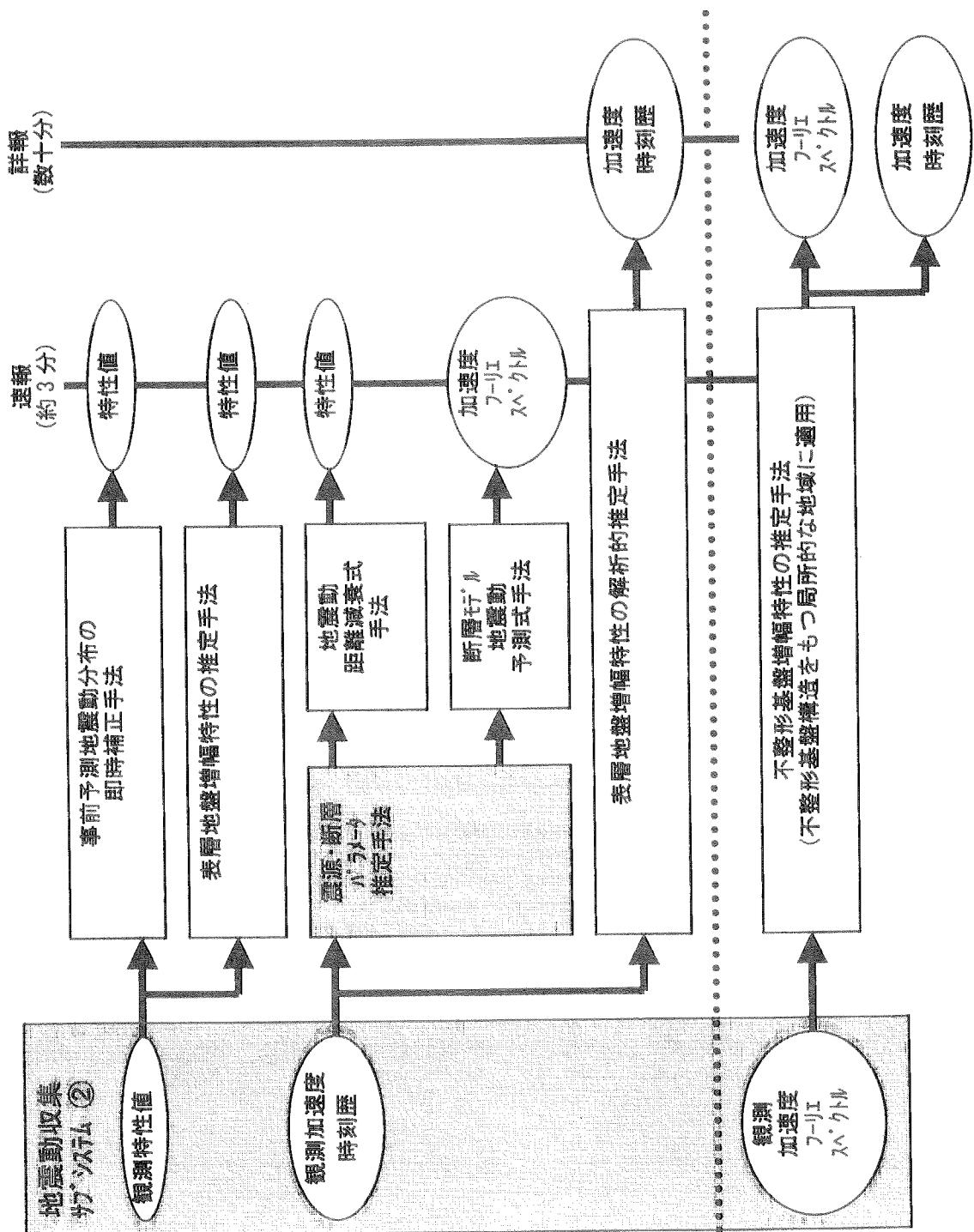


図 3.6.2 地震情報緊急伝達システムの地震動分布推定手法の構成

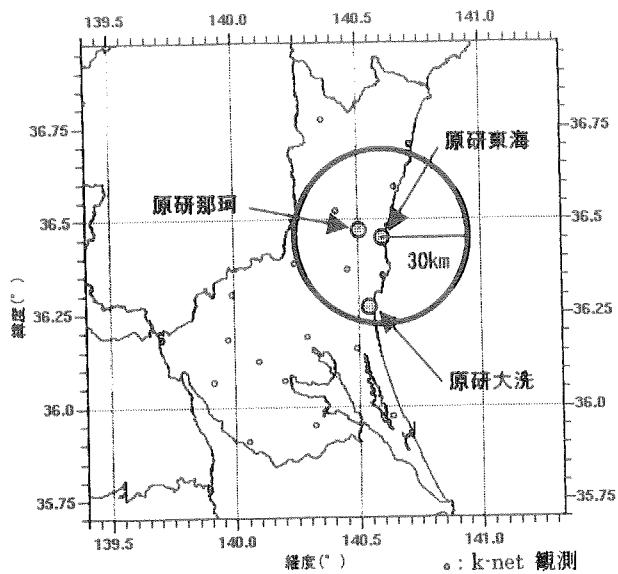


図 3.6.3 システムの適用地域（原研東海研周辺半径 30km の範囲）

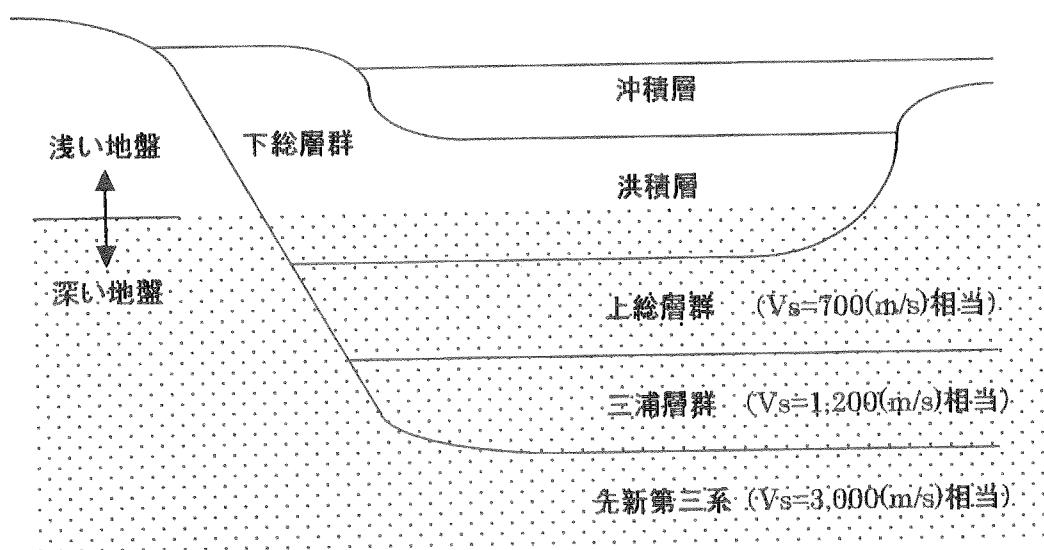


図 3.6.4 原研東海研周辺半径 30km の範囲の地盤構造

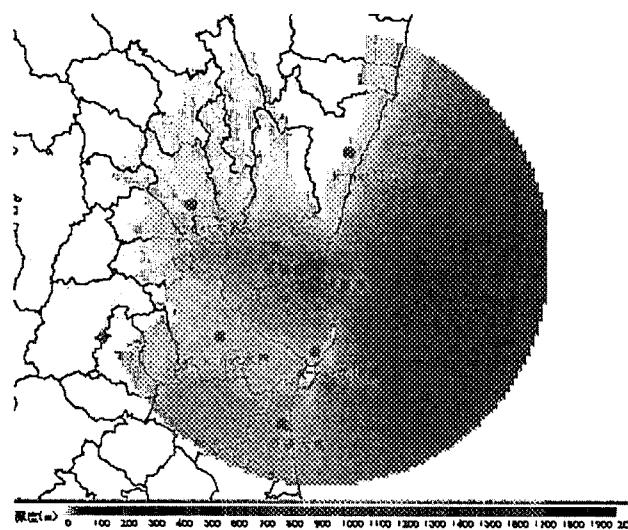


図 3.6.5 適用地域の $V_s=1,200$ (m/s) 層上面深度分布

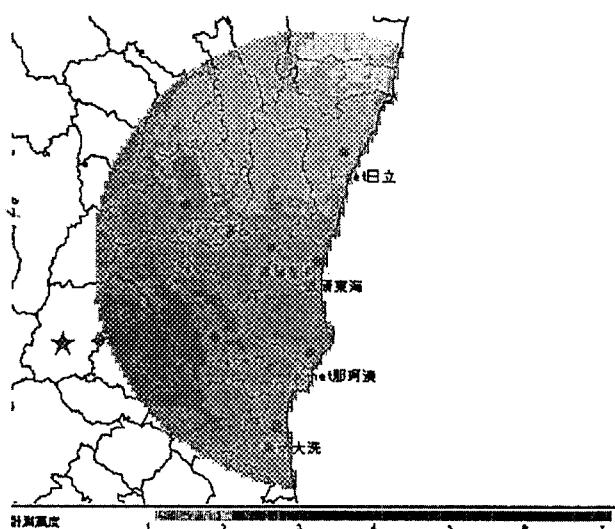


図 3.6.6 筑波山東方リニアメントを断層 (☆: 震源) と
想定した場合の地震動の事前予測分布 (計測震度)

4. 要素技術の検討・開発とシステムの構築

4.1 要素技術の検討・開発

以下に示す要素技術の検討・開発の結果は、地震情報緊急伝達システムを構成する各サブシステムの機能として組み込まれる。要素技術とサブシステムの関係を下記に示す。

- ① 地震計ネットワーク・地震動伝送サブシステム
 - ・k-net のリアルタイム化技術に関する検討
- ② 地震動収集サブシステム
 - ・観測データの逐次利用に基づく段階的な地震動収集データセットの算定
 - ・地震動観測データの逐次ノイズ検出に関する検討
- ③ 震源・地震動パラメータ推定サブシステム
 - ・震源パラメータ推定手法の開発
 - ・断層パラメータ推定手法の開発
 - ・システムに組み込む地震動分布推定手法の選定
 - ・事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法
 - ・減衰の周波数依存性を考慮した等価線形解析手法による表層地盤特性評価手法
 - ・增幅率関数による表層地盤特性評価手法
 - ・基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法
 - ・震源・断層パラメータによる手法
- ④ 地震情報発信・利用サブシステム
 - ・通信媒体の検討
 - ・通信手段の検討
 - ・表示方法の検討
 - ・地震情報利用の検討

4.1.1 地震計ネットワーク・地震動伝送・地震動収集に係る検討

(1) k-net のリアルタイム化技術に関する検討

1) K-NET95 を活用したリアルタイム地震計の構築

k-net (防災科研) [4.1.1]は、地震発生時に各観測点の K-NET95 仕様強震計の内部メモリに全波形データ（加速度時刻歴）を保存しておき、数十分～数時間後に k-net ホスト局（防災科研に設置）が電話網（一般アナログ回線）を介して各観測点を呼び出し、内部メモリに保存された全波形データを収集する非リアルタイム地震計ネットワークである。

強震計 K-NET95 の処理フローを図 4.1.1 に示す。図 4.1.1において、通信ポート 1 は防災科研のデータ収集に使用されているが、通信ポート 2 は通常未使用となっている（一部の地震観測点では震度情報ネットワーク（自治省消防庁）[4.1.2]などで使用中）。また、この通信ポート 2 には、内部メモリに保存されたデータを RS-422 信号として逐次出力する機能を有している。よって、その逐次出力値に対する地震判定（設定閾値を超過した際に観測データを地震動と判定）を外部処理装置（例えば PC）で行い、逐次出力値をパケット（地震動観測データ）としてホスト

局に伝送することによってリアルタイム化が可能である。この考えに基づき、強震計 K-NET95 使用地震計と PC を組み合わせたリアルタイム地震計「K-NET/RT」を開発した。K-NET/RT の構成及び処理フローを図 4.1.2 に示す。また、PC 上に、a) RS-422 逐次出力値取り込み、b) 地震判定、c) パケット伝送、の 3 つをリアルタイム的に処理する常時稼動プログラムを作成した。使用した PC については、RS-422 ボードの増設を除いて特殊な改良などは行っておらず、機種依存性はない。

K-NET/RT の基本的な観測データリアルタイム伝送手順を以下に示す。

- ① RS-422 信号として逐次出力される観測データを PC 上の内部メモリに記録する。なお、リアルタイム地震計 RTS-2（後述）との整合性を考慮して、記録時間単位は 1.0 秒とした。
- ② ①で記録した観測データについて地震発生判定を実施し、地震発生と判定されるまで①～②を繰り返す。
- ③ 遅延データ（現在時刻以前の観測データ）を内部メモリから取得し、設定された出力間隔毎にパケット（地震動観測データ）を出力する。なお、RTS-2（後述）との整合性を考慮して、通信プロトコルは TCP/IP とし、また、地震動観測データフォーマットは図 4.1.3 に示す 1.0 秒毎の RTS フォーマットとした。
- ④ 遅延データがなくなるまで（＝現在の観測データが伝送対象データとなるまで）①～③を繰り返す。
- ⑤ 現在の観測データを内部メモリから取得し、地震終了と判定されるまで③と同様の仕様でパケット（地震動観測データ）を出力する。

ここで、地震発生判定、地震終了判定、パケット（地震動観測データ）出力間隔については、表 4.1.1 に示す各種パラメータの設定によって制御を可能とした。

2) 既存リアルタイム地震計の選定

我が国においてリアルタイム用地震計としては、平成 9 年時点では RTS-2 が唯一市販されているものである。RTS-2 は K-NET95 に近いデータ処理構成を持ち、その操作体系も K-NET95 とほぼ同様である。そのため、RTS-2 の処理機能を k-net のリアルタイム化技術検討の対象とした。RTS-2 の処理フロー、及び出力パケットフォーマットは K-NET/RT と同等である（図 4.1.2、及び図 4.1.3 参照）。また、地震発生判定、及び地震終了判定についても K-NET/RT と同等である（表 4.1.1 参照）。

3) 準リアルタイム地震計の選定

前述の通り、k-net は非リアルタイム地震計ネットワークであるが、既存地震計ネットワークのリアルタイム化の観点からは、リアルタイム地震計との併用が現実的である。よって、k-net ホスト局から各観測点を呼び出して観測データを収集する一連の処理（防災科研で実運用中）を、前述のリアルタイム地震計の処理を起動トリガとして自動的に処理することとし、準リアルタイム地震計と位置付けた。なお、準リアルタイム地震計は K-NET95 を k-net における運用と同様の設定で使用することとした。

4) データ通信回線の選定

前述の通り、k-net では電話網を介してデータ収集を行っている。電話網は、日本国内のほとんどの地域で利用可能なデータ通信回線である。しかし、データのリアルタイム伝送の観点からは、より高速度、かつ高品質なデータ通信回線の利用が望ましい。よって、リアルタイム地震計のデータ通信回線として ISDN を利用した。ただし、前述の準リアルタイム地震計からのデータ通信回線としては、k-net 環境との整合性を考慮して電話網を利用した。

5) 既存地震計のリアルタイム化費用の概算

既存地震計のリアルタイム化費用の概算を表 4.1.2 に示す。なお、費用概算見積に関する除外項目は以下の通りである。

- ・ソフトウェア開発費用（各種ソフトウェアは開発済みと見なす）
- ・土木工事経費（観測施設（基礎、上屋）建築等）
- ・通信回線敷設経費（ISDN 敷設等）
- ・その他諸経費（人件費等）

(2) 地震動観測データの逐次的利用に基づく地震動収集データセットの算定

既存の地震防災システムのほとんどは、全波形データの取得後に各処理を実施している。しかし、一部の地震動情報の算定には、ある程度の精度低下を許容すれば必ずしも全波形データが必要ではない。震源距離が数十 km 程度の地震の観測データにおいては、最大値観測時刻から観測終了までに要する時間は（地震計の設定に依存するが）数十秒～数分と考えられる。リアルタイム地震防災の観点からは、この数十秒～数分を有効活用することが必要である。

一方、本研究においては、地震動観測データが各観測点からホスト局に伝送されており、ホスト局では波形データがその先頭から順次作成されていく。すなわち、波形データの順次作成中に、適宜ある程度の精度低下を許容した地震動情報の作成が可能である。

以上から、予め地震動を複数のブロックに分割することとしておき、リアルタイム伝送により順次取得されていく波形データが各地震動ブロックを満足した時点で、算定可能な地震動情報を適宜算定することによって、迅速、かつある程度の精度を保証した地震動情報を以降の処理（地震動パラメータ推定処理）に提供することが可能になる。

本研究においては、必要とする地震動情報の算定手順を考慮し、全波形データを図 4.1.4 に示す通り 3 つのブロックに分割し、伝送された波形データが各地震動ブロックを満足する時に算定する地震動情報を表 4.1.3 のように設定した。ただし、このブロック分割、及び各地震動ブロック時の算定地震動情報については、地震動情報の算定精度から決定されるべきであるため、各種設定の妥当性などについては 12 年度に検討する。

(3) 地震動観測データの逐次ノイズ検出に係る検討

4.1.1(3)では、ある程度の精度低下を許容した地震動情報の算定を地震動ブロック毎（11 年度末では 3 ブロック）に行うことを示したが、精度低下の許容値は充分考慮しなければならない。一般に、地震動情報の精度低下は、算定の元となる波形データのノイズによるものが大きい。よ

って、地震動ブロック毎の地震動情報の作成時に、その時点までの波形データに対してノイズ検出処理を実施することが必要である。

本研究では、過去の地震観測において発生している6つの代表的なノイズを選定し、その検出方法を検討した（図4.1.5、図4.1.6、及び表4.1.4参照）。これらのノイズ検出処理を地震動ブロック毎の地震動情報の作成と組み合わせることにより、各ブロック満足時に算定される地震動情報はある程度の精度を保証可能となる。11年度末におけるノイズ検出処理の各ブロックへの適用を併せて表4.1.4に示す。ただし、これらのノイズ検出処理の各ブロックへの適用、及び各ノイズ検出処理の設定値（特に閾値（許容値））については、地震動情報の要求精度から決定されるべきであり、ノイズ検出処理自体はノイズの発生頻度に応じてその実施有無を決定するべきである。設定値の妥当性、及びノイズ検出後の具体的な対応などについては12年度に検討する。

4. 1. 2 震源及び断層パラメータ推定手法に係る検討

地震情報緊急伝達システムは、3.3.2で述べられているように、6つのサブシステムから構成されており、本節で述べる内容は、「震源パラメータ推定サブシステム」に該当する。

（1）震源パラメータ推定手法の開発

1) 震源決定の自動化

地震発生直後に、震源パラメータの情報を速やかに取得することが、地震防災には要求される。現在、気象庁や大学、および防災科研では、地震波形データの処理がオンラインで行えるようにテレメータ化されており、地震発生後、数十分後には自動処理で震源位置等が求められている。しかし、大地震が発生した場合、早期の初動体制確立のためにも、震源位置や規模等を正確に推定する「自動震源決定処理システム」の開発が必要である。

防災科研では、高感度地震計による微小地震観測網が関東・東海地域に展開されており、現在、同様の施設を全国的に整備中である（Hi-net）。また、全国に約25kmの間隔で設置された強震観測網（k-net）、震源域における地震発生メカニズムの詳細な解析等を目的とした広帯域地震観測網が稼動している。これら観測施設のうち、広帯域地震観測網の一部およびk-net以外はオンラインでデータ収録を行っている。

防災科研との共同研究では、関東・東海地域に展開されている微小地震観測網を用い、堀内他[4.1.3]の自動処理システムを用いて震源位置の決定を行った。このシステムは、15点以上の観測点でP波が到着した場合には、S波が到着するのを待たないで震源決定するように設計されている。現在自動処理に使用しているワークステーション（Sun ULTRA30）では、1分以内に震源位置が決定可能である。今後、高速処理のワークステーションを利用することにより、震源決定がより短時間に可能になると考えられる。

なお、自動処理で決められた震源情報は、電子メールによって原研地震チームに伝送される。

2) 自動震源決定処理システムの機能

ト部・東田[4.1.4]は地震波形データの伝送、自動処理、再震源決定等が行える観測システム（winシステム）を開発している。winシステムは、大学間、大学と気象庁、防災科研と気象庁などのデータ交換や衛星テレメータによる地震観測に利用されるだけでなく、基盤観測網の高感度地震

計のデータ転送にも利用されている。現在、win システムは日本における地震動観測データの標準フォーマットになっている。よって、自動震源決定処理システムでは、win システムによりメモリーに書き込まれた地震波形を、高精度、高速に処理することができるようとした。

本処理システムの主な機能は以下のようなものである。なお、() 内はプログラム名である。また、図 4.1.7 に処理フロー図を示す。

- ① win システムの共有メモリーから波形データの読み込み、解凍、他の共用メモリーへの書き込み (read_eisei)
- ② トリガー判定(trigin)
- ③ P 波、S 波到着時刻の読み取り、震源決定、再決定、処理結果の評価(ateq_mem)
- ④ トリガー波形データのディスクへの書き込み(dkwrt_trig)
- ⑤ 自動処理結果の表示(ifmap)
- ⑥ 地震が頻発した場合の群発地震モード自動処理(ateq_cont)

3) マグニチュードの決定方法

地震波形の振幅からマグニチュードを決める場合、実体波か表面波であるかによって算定方法が異なってくる。ここでは、短周期実体波の最大速度振幅を用い、渡辺の式[4.1.5]に基づきマグニチュード M を決定している。渡辺の式を以下に示す。

$$M = \log A_v / 0.85 + 2.04 \log r - 0.59 \quad (4.1.1)$$

ここで、Av は速度振幅 (10^3 cm/s)、r は震央距離 (km) である。

渡辺の式は、速度振幅からマグニチュードを求める換算式であり、近地地震のマグニチュードの推定精度が良いことが知られている。また、モーメント・マグニチュード Mw との整合性も良いことから、マグニチュード推定には渡辺の式を採用した。

(2) 断層パラメータ推定手法の開発

1) 断層パラメータの自動推定

地震現象の全体像を把握するためには、震源パラメータに加えて断層パラメータの情報が重要である。現在、震源パラメータや断層パラメータの自動決定とその結果の自動公開を行う機関が増えつつある。防災科研との共同研究では、波形処理による断層パラメータの推定手法の自動化・迅速化に関する研究を行い、主として関東・東海地域に発生した地震に関し、広帯域地震観測網により得られたデータを用いて自動解析する手法を開発した[4.1.6]。

2) システム構成と処理フロー

システム構成と処理フローを図 4.1.8 に示す。本システムの主要部分は、図中の WS-1、WS-2、DA-1、DA-2 で示したワークステーションとディスクアレイであり、それ以外の WS-A、WS-B はそれぞれ高感度地震波形データ配送用と広帯域地震波形データ収録用である。

まず、関東・東海観測網の高感度地震計で記録された地震波形データは、収録後 win 形式のパ

ケットに変換されて、分配用のワークステーション(WS-A)を経由して WS-1 に送信される。WS-1 では、このデータに関しトリガー判定と震源計算が行われる。また、広帯域地震波形データは専用のデータ収集システム(WS-B)でリアルタイム収録（一部はダイアルアップ収録）されている。以下、次のような手順を行なう。

- ① WS-1 の震源計算の結果は電子メールで WS-B に通知される。
- ② WS-B では、理論波形を計算するためのシェルスクリプトを作成して WS-2 に電子メールで通知する。
- ③ WS-2 は WS-B から電子メールを受け取ると、スクリプトに従い理論波形を計算する。

理論波形の計算には、非弾性減衰を考慮した波数積分法[4.1.7]を用いている。理論波形の計算時間を短縮するため、必要な地下構造の応答関数は、震源の深さを 1km の刻みとし 0.1~290.1km まで 51.2 秒間分を事前に計算し、その結果を DA-1、DA-2 に蓄積してある。

広帯域地震波形データの切り出しは WS-B で行われる。切り出す範囲は直達 P 波の理論走時 30 秒前から 100 秒間とした。その後、波形インバージョンにより、断層パラメータを求める。

- ④ WS-B では、波形インバージョン用スクリプトを作成して、再び WS-2 に電子メールで通知する。
- ⑤ WS-2 は電子メールを受け取ると、理論波形の計算終了後、波形インバージョンを行う。

波形インバージョンには、Kikuchi and Kanamori[4.1.8]の方法を用い、断層パラメータを求めた。インバージョンに用いるデータは、P 波、S 波、表面波を含む全波形 3 成分 (EW,NS,UD) である。WS-2 は、波形インバージョンの結果を電子メールでユーザに配布する。

地震発生から、最終的な断層パラメータが電子メールで配信されるまでの所要時間は、データにもよるが、およそ 3 分間程度である。**図 4.1.9** は、処理結果の一例である。

3) P 波初動押し引きによる断層メカニズム解の推定

先に述べた「自動震源決定処理システム」では、P 波到着時刻の読み取りの際に、P 波初動の押し引き (Up, Down) も同時に読み取っている。よって、押し引き分布から断層パラメータの一つであるメカニズム解（走向、傾斜角、滑り方向）を求めることが可能である。

4. 1. 3 地震動パラメータ推定サブシステムに係る検討

(1) システムに組み込む地震動分布推定手法の選定

3.3.1 で示したシステム開発の基本的考え方から、地震情報緊急伝達システムにおいては、一般的に考えられる地震動情報を全て対象とした（**表 4.1.5** 参照）。なお、**表 4.1.5** には、地震動情報を特性値、及び時系列の 2 つに大別し、各地震動情報に要求されると思われる要素を併せて記述してある。特性値についてはその分布を対象とする地震動情報として位置付けた。

表 4.1.5 に示した地震動情報の推定方法においては、以下に示す観点から既往の研究を調査した。

- ① 予め整備された対象地域の詳細な地盤データを活用していること

- ② 解析的手法を活用していること（＝観測点密度のみに依存していないこと）
- ③ 過去の地震観測事例（例：兵庫県南部地震）を活用していること
- ④ 過去の知見（例：兵庫県南部地震における「震災の帶」）への対応を考慮していること

上記観点を考慮した結果、以下に示す手法を震源・地震動パラメータ推定サブシステムに組み込むものとして選定した（表 4.1.6 参照）。なお、表 4.1.6 には、各手法が推定する地震動パラメータを併せて記述してある。手法⑤、及び手法⑥については、震源・断層パラメータ推定サブシステムの推定結果を利用する。

- ① 事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法（即時補正手法）
- ② 等価線形解析による表層地盤特性評価手法（等価線形解析手法）
- ③ 増幅率関数による表層地盤特性評価手法（増幅率関数手法）
- ④ 基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法（伝達関数手法）
- ⑤ 断層モデル地震動予測式手法（断層モデル手法）
- ⑥ 距離減衰式手法（距離減衰手法）

選定された推定手法の項目・時間・精度の相互関係を考慮した位置付けを図 4.1.10 に示す。選定した手法については、各種特性値の推定時間を 3 分以内に、時系列の推定時間を数十分以内とすることを目標とした。

（2）事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法

各機関の地震防災システムで使用している地震動予測手法[4.1.9-12]の特徴を大別して表 4.1.7 に示す。表 4.1.7 では、その方法、問題点と共にリアルタイム処理の可能性についても併せて記述してある。表 4.1.7 で示した各手法の問題点を整理すると以下の通りとなる。

- ① 強震動領域に設置されている地震計の観測情報に依存しない強震動領域の推定
- ② リアルタイム処理
- ③ 他の推定処理の出力（例：震源推定情報）への非依存性

本研究においては、上記 3 つの問題点を全て満足させる必要がある。そのためには、強震動領域予測の詳細性を考慮したリアルタイム処理を実現すれば良いので、現実的な地震動分布即時推定手法として、断層モデル手法による強震動シミュレーション[4.1.13]によって予測地震動分布を事前に整備しておき、地震動観測値を用いて予測地震動分布を補正する手法（即時補正手法）を採用した。

即時補正手法の手順を以下に示す（図 4.1.11、及び図 4.1.12 参照）。

<事前準備>

- ① 対象地域で想定される地震動分布を高精度な手法で算定し、事前予測地震動分布としてデータベース化する。

<地震時>

- ② 即時に対象地域の地震計による地震動観測値を取得する。
- ③ 可能であれば震源・断層パラメータ推定結果を取得する。
- ④ ①で整備した事前予測地震動分布のデータベースを順次検索し、②で取得した地震動と予測地震動の差が最小となるケースを抽出する。この時、③で震源位置・マグニチュードが取得されていれば、データベースの検索に利用することで処理速度の向上が見込まれる。なお、震源位置・マグニチュードを用いたデータベース検索において適当な事前予測地震動分布が抽出されなかった場合を想定して、現状では、鉛直下方地震による事前予測地震動分布を用意している。
- ⑤ ④で抽出した事前予測地震動分布について、②で取得した地震動観測値と予測地震動の差（補正值）から対象地域全域に亘る補正值分布をモデル化する。
- ⑥ ⑤で算定された補正值分布を④で抽出された事前予測地震動分布に施し、当該地震における推定地震動分布とする。ここで施す補正是上記①で想定した震源破壊過程と当該地震の震源破壊過程との相違を補正したことに相当するため、推定地震動分布は実際の地震動分布と調和する。

上記⑤、及び⑥で示した補正值分布モデルを用いた事前予測地震動分布の補正の概念を図4.1.13に示す（線上の地震動分布に簡素化してあるが実際には面的な地震動分布を想定）。事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法による推定地震動分布では、短波長成分は事前予測地震動分布が、長波長成分は補正值分布モデルによる補正值が支配的になることに特徴がある。ここで、補正值分布のモデル化においては、長波長の大規模な空間変動を考慮するために、与えた点（観測点）を必ずしも通る必要のない平均的な関数系を用いることが望ましい。現在は、補正值分布モデルを2次元3次Bスプライン関数とした。

事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法の利点は以下の通りである。

- ① 強震動領域に設置されている地震計の観測情報が取得できなくても事前予測地震動分布から強震動領域を推定できる可能性が大きい。
- ② 観測情報取得後の計算負荷が小さくリアルタイム処理に適している。
- ③ 地震情報としては地震動観測値のみが必要となり、震源情報を必ずしも必要としないため、手法の独立性が高い。
- ④ 事前予測地震動分布が地震防災対策における高精度な推定地震として活用できる。

(3) 減衰の周波数依存性を考慮した等価線形解析手法による表層地盤特性評価手法

観測点、及び予測点における地震動に対する表層地盤の影響評価では SHAKE や FDEL(Frequency Dependant Equi-Linearized Technique)に代表される1次元等価線形解析手法[4.1.14-15]が多く用いられる。近年多く用いられている代表的な1次元等価線形解析手法の特徴を表4.1.8に示す。表4.1.8では、各々の手法の問題点が主に減衰の周波数依存性に起因することが示されている。特に、SHAKEにおける短周期成分の増幅率の過小評価については、基盤入力の立ち上げによる地表出力の短周期成分の過小評価、及び地表入力の引き戻しによる基盤出

力の短周期成分の過大評価から起こる不整合性が問題となる。そこで、減衰の要因である散乱減衰、及び履歴減衰について

- ① 弱震時は散乱減衰が卓越するために周波数依存性が発生すること
- ② 強震時は履歴減衰が卓越するために周波数依存性が発生しないこと
- ③ 強震時は経時変化によって減衰の周波数依存性が発生すること（ひずみ依存性）

のような特性を持つことを解析的に確認し、SHAKE、及びFDELに基づいて散乱減衰と履歴減衰を考慮した1次元等価線形解析手法を整備した。散乱減衰と履歴減衰は以下のように考慮することとした。

- ① 散乱減衰：過去の鉛直アレー観測記録から得られた経験則の利用

$$h = h_0(f) + \alpha \cdot f^\beta \quad (4.1.2)$$

- ② 履歴減衰：杉戸らの方法の利用

$$\gamma_{\text{eff}} = C \cdot \left(\frac{F_\gamma(f)}{F_{\gamma \max}} \right)^p \cdot \gamma_{\max} \quad (4.1.3)$$

上記②の杉戸らの方法では、大ひずみ領域においては短周期成分の増幅率を過大評価する傾向にあり、また、上記①で周波数に依存する散乱減衰の影響を考慮しているため、杉戸らの方法よりも周波数依存性を弱めることを目的としてパラメータ p を付与している。なお、パラメータ C 、及び p については、散乱減衰と履歴減衰を考慮した1次元等価線形解析手法における「立ち上げ」「引き戻し」の双方をバランス良く算定可能とする目的として、大地震時における鉛直アレー観測記録を用いてパラメータスタディを実施し、 $C=0.8$ 、 $p=0.5$ の時に良好な結果が得られるることを確認している。

(4) 増幅率関数による表層地盤特性評価手法

1) 増幅率関数による表層地盤特性評価手法の開発

地震動予測においては、対象地域の観測地震動を空間補間して予測点地震動を算定する手法が多く用いられる。この手法では、観測点、及び予測点における地震動に対する表層地盤の影響を評価する必要がある。表層地盤の影響評価は、一般に以下の手順で行われる。

- ① 表層地盤の増幅特性を増幅率として予め算定しておき、観測地震動（特性値）に乗除することにより表層地盤の影響を評価する。
- ② 表層地盤の1次元地盤モデルを作成しておき、観測地震動（加速度時刻歴）を入力とした1次元等価線形解析により表層地盤の影響を評価する。

上記②に示す動的解析を行えば、表層地盤の非線型特性などを考慮した詳細な表層地盤の評価が可能となる。しかし、対象地域全域への動的解析の適用はリアルタイム処理に不適切である。一方、上記①に示す特性値への表層地盤増幅率の乗除による算定はリアルタイム処理との親和性

が非常に高いが、高精度な表層地盤增幅率の設定が重要となる。また、リアルタイム処理の観点からは、中小～大地震までの表層地盤の增幅特性を一貫した手法で精度良く、かつ短時間で算定する必要がある。このことから、動的解析の詳細性を考慮して、中小～大地震まで一貫性のあるリアルタイム処理を実現すれば良いので、1次元等価線形解析による表層地盤評価結果を各特性値についての增幅率関数として整備しておき、地震時においては、観測点における各特性値に増幅率関数から求められる増幅率を乗除することによって表層地盤の影響を評価する手法（増幅率関数手法）を整備した。

増幅率関数による表層地盤特性評価手法の手順を以下に示す（図4.1.14参照）。

<事前準備>

- ① 統計的グリーン関数法[4.1.16]を用いてマグニチュード4～8、震央距離150km以内の地震を対象とした断層震源モデルによる人工地震動を作成する。
- ② 過去に地盤特性の非線型性を示した大地震動の鉛直アレー観測が行われた地点の地盤モデルを整備する。なお現在は、近年の地震による13地点の鉛直アレー観測を使用した（表4.1.9参照）。詳細な増幅率関数をモデル化するためには、より多くの鉛直アレー観測の使用が望ましい。
- ③ ②で整備した地盤モデルについて、①で作成した人工地震動を入力とする減衰の周波数依存性を考慮した等価線形解析（4.1.3(3)）を実施し、各特性値の増幅率を算定する。
- ④ ③で算定した各特性値の増幅率を用いて、各特性値毎の増幅率関数をモデル化する（図4.1.15～図4.1.19参照）。
- ⑤ 対象地域の地盤モデルについて、その地盤パラメータ（地盤種別、卓越周期、及び深度10、20、30mにおける平均S波速度）から、④でモデル化した増幅率関数を割り当てる。

<地震時>

- ⑥ 対象地域の地震計による地震動観測値を取得する。
- ⑦ 各観測点における特性値を、観測点の地盤モデルに割り当てられた増幅率関数で工学基盤面に引き戻し、観測点直下の工学基盤面における特性値を算定する。
- ⑧ ⑦で算定した観測点直下の工学基盤面における特性値から、予測点直下の工学基盤面における特性値を空間補間ににより算定する。
- ⑨ ⑧で算定した予測点直下の工学基盤面における特性値を、予測点の地盤モデルに割り当てられた増幅率関数で地表面に立ち上げ、予測点における特性値を算定する。

増幅率関数による表層地盤特性評価手法の利点は以下の通りである。

- ① 人工地震動の使用によって1つの地盤モデル（1つの地盤条件）に対する入力を中小～大地震まで設定しているため、モデル化された増幅率関数は中小～大地震への一貫した適用が可能である。
- ② 減衰の周波数依存性を考慮した等価線形解析を使用しているため、モデル化された増幅率関数は、工学基盤面～地表面の立ち上げ、及び地表面～工学基盤面の引き戻しの双方への適用が可能である。

- ③ 地震動観測値取得後の計算負荷が小さくリアルタイム処理に適している。
- ④ 3次元地盤モデルなどと比較して整備が容易な地盤情報を用いるため全国的な適用が可能となる（国土数値情報[4.1.17]など既存の全国整備情報との関連付けが必要）。
- ⑤ 地震情報としては地震動観測値のみが必要となり、震源情報を必要としないため、手法の独立性が高い。

2) 工学基盤面における特性値の空間補間

工学基盤面における特性値の空間補間方法は以下の2つに大別される。

- ① 座標値のみの関数として特性値を保管する方法（例：形状補間関数の利用[4.1.18]）
- ② 地震波動場を空間の条件付確率場として扱う方法（例：Kriging法の適用[4.1.19]）

地震情報緊急伝達システムのリアルタイム処理の観点からは上記①が有効である。現在は、暫定的に上記①の1つである形状補間関数を利用した空間補間方法を採用しているが、11年度に実施した空間補間方法の検討結果に基づき、12年度に改良を行う予定である。

(5) 基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法

1) 基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法の開発

基盤不整形構造が地震動の局所的な增幅を引き起こす原因の1つとして挙げられている。地震動の局所的な增幅を精度良く推定するためには、基盤不整形構造などの詳細な地盤情報が必要である。本研究では、3.3.1で示したシステム開発の基本的考え方から対象地域の詳細な地盤情報が既知とされるため、基盤不整形構造に起因する地震動の局所的な增幅を考慮することが可能である。

地震動に対する基盤不整形構造の影響の評価についての既往の研究[4.1.20]では、観測地震動を入力とした2次元有限要素解析が多く行われている。これは、主に計算機の物理的制約で高周波数までを評価可能なメッシュ分割を持つ3次元解析モデルの構築が困難であることによる。また、地震動に対する表層地盤の影響の評価については、観測地震動を入力とした1次元等価線形解析が多く行われている。一方、リアルタイム処理の観点からは、基盤不整形構造の影響を考慮し、かつ短時間で算定する必要がある。

このことから、2次元有限要素解析、及び1次元等価線形解析によって地盤各層間の伝達関数を算定しておき、地震時においては、加速度フーリエスペクトルに地盤各層間の伝達関数を乗除することによって基盤不整形構造、及び表層地盤の影響を評価する手法（伝達関数手法）を採用了。

基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法の手順を以下に示す（図4.1.20参照）。

<事前準備>

- ① 基盤不整形構造を持つ地域の2次元有限要素解析モデルを作成する。
- ② 予測点において地表面から2次元有限要素解析モデル上面（以下「2次元モデル上面」

と記す)までの1次元等価線形解析モデルを作成する。

- ③ 観測点において地表面から2次元有限要素解析モデル下面(以下「2次元モデル下面」と記す)までの1次元等価線形解析モデルを作成する。
- ④ 2次元モデル下面における基盤地震動(=加速度時刻歴)を作成する(後述)。
- ⑤ ④で作成した基盤地震動を入力として、①で作成した解析モデルにより、予測点直下の2次元モデル下面～2次元モデル上面地盤各層間の伝達関数を算定する。
- ⑥ ⑤で算定された2次元モデル上面の地震動を入力として、②で作成した解析モデルにより、予測点直下の2次元モデル上面～地表面地盤各層間の伝達関数を算定する。
- ⑦ ④で作成した基盤地震動を入力として、③で作成した解析モデルにより、観測点の2次元モデル下面～地表面地盤各層間の伝達関数を算定する。

<地震時>

- ⑧ 観測点の加速度時刻歴を取得し、加速度フーリエスペクトルを算定する。
- ⑨ ⑧で算定した加速度フーリエスペクトルに⑦で算定した伝達関数を施して、観測点直下の2次元モデル下面における加速度フーリエスペクトルを算定する。
- ⑩ ⑨で算定した加速度フーリエスペクトルに⑤で算定した伝達関数を施して、予測点直下の2次元モデル上面における加速度フーリエスペクトルを算定する。
- ⑪ ⑩で算定した加速度フーリエスペクトルに⑥で算定した伝達関数を施して、予測点における加速度フーリエスペクトルを算定する。
- ⑫ ⑪で算定した加速度フーリエスペクトルから、予測点の加速度時刻歴を算定する。

上記⑫の予測点は2次元解析モデル上部(線)に分布している。ここで、上記手順を対象地域内の異なる箇所で複数回繰り返し、地表面上に分布した予測点における加速度時刻歴に時空間補間を施せば、対象地域内の加速度時刻歴分布が算定可能である(図4.1.21参照)。基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法の利点は以下の通りである。

- ① 全周波数帯域について基盤不整形構造の評価を同一の手法内で取り扱える。
- ② 地震動観測値取得後の計算負荷が小さくリアルタイム処理に適している。
- ③ 地震情報としては地震動観測値のみが必要となり、震源情報を必要としないため、手法の独立性が高い。

2) 基盤地震動の作成

事前準備における地盤各層間の伝達関数は、中小～大地震に対して一貫して適用できることが望ましい。このため、基盤地震動は対象地域における想定地震によるものを適宜選定することが必要である。本研究においては、4.2.2で示した事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法の適用において対象地域における想定地震の予測地震動分布を算定するが、その際に併せて基盤地震動を算定しておけば良い。

(6) 震源・断層パラメータによる手法

1) 断層モデル地震動予測式手法

4.1.2 で示した震源・断層パラメータ推定サブシステムでは、断層パラメータを約3分で推定する。この推定結果(地震モーメント・コーナ周波数)を既存の断層モデル予測式[4.1.13]に適用し、理論震源特性から震源特性を算定し、対象地域における既存の伝播特性、及びサイト增幅特性と線形結合することによって地震動(加速度フーリエスペクトル)を予測する手法(断層モデル予測式手法)を採用した。

2) 距離減衰式手法

4.1.2 で示した震源・断層パラメータ推定サブシステムでは、震源パラメータを1分弱で推定する。この推定結果(震源位置・マグニチュード)を用いて、既存の距離減衰式[4.1.21 など]によって地震動分布を予測する手法(距離減衰式手法)を採用した。

4. 1. 4 地震情報の発信、利用方法に係る検討

(1) 地震情報発信・表示システムの検討

地震情報発信・表示システムは、次に示す3つの要素から構成される。地震情報緊急伝達システムの構築にあたり、これらの要素について検討した。

- 1) 情報を伝送する通信媒体
- 2) 情報を伝送する通信手段
- 3) 情報を表示する表示システム

1) 通信媒体

下記に示すように、通信媒体は有線と無線に大別され、それぞれ特徴を有している。地震情報緊急伝達システムに使用する通信媒体は、震災時において信頼性が高く、出来るだけ早く情報を伝達する通信速度を有することが必要である。但し、高信頼性及び高速性を追求すると通信費用が高額になる傾向にある。それらを踏まえ、各通信媒体を信頼性・高速性・費用の観点から検討した結果を図4.1.22に示す。

(有線)	(無線)
・アナログ電話回線	・衛星回線
・I S D N回線	・携帯電話
・アナログ専用線	・ポケットベル
・デジタル専用線	・行政無線
・フレームリレー	・業務用無線
・A T Mメガリンク	・警察消防無線
・ インターネット	・その他
・ その他	

また、ユーザの観点から、情報を受信するユーザが特定ユーザなのか不特定多数のユーザなのかによって、適した通信媒体が幾つか挙げられる。特定ユーザの場合は、p o i n t - t o - p

o i n t の考え方から、一般電話網であるアナログ電話回線及び I S D N 回線、アナログ・デジタル専用回線、A T M スイッチングテクノロジーを採用した A T M メガリンク、携帯電話やポケットベル等が適している。また、ユーザが不特定多数の場合は、フレームリレー網やインターネット、通信衛星を利用した衛星回線や各種無線等が適している。通信媒体の選択は、その利用形態を十分考慮し、信頼性と通信速度の観点から選択することが必要である。

2) 通信手段

利用者に情報を発信する通信手段としては、下記に示す幾つかの手段が考えられる。

- ・ポケットベル
- ・ファクシミリ
- ・電子メール
- ・r c p
- ・F T P
- ・WWW
- ・その他

ユーザが必要とする情報及び情報受信後の処理方法によって利用する通信手段が変わってくる。例えば、地震の有無だけを何処にいても知りたいユーザはポケットベルが適当である。特定の場所で比較的簡単な情報は必要な場合には、ファクシミリが適切である。詳細な地震情報からユーザ独自のシステムを起動する場合は電子メール等が適している。そのため、各通信手段それぞれの特徴を二次利用・汎用性・速報性・他アプリケーションとの連携の容易性の観点から簡易な検討を行った。各通信手段間の一般的傾向を表4.1.10に示す。また、併せて、ユーザが必要とする情報の発信にどの通信手段が適しているかを検討した。その結果を表4.1.11に示す。実際の選択時には、ユーザのニーズにあった通信手段を選択する必要がある。必要に応じて、複数の通信手段を利用することも考えられる。

3) 表示方法

地震情報は基本的に数値データで送信されるため、ユーザ側に数値データをビジュアル化するための処理プログラムが必要となるが、ユーザ毎にその求める情報が異なることや、地震情報のデータフォーマットに関しては様々な形式が存在するため、表示用プログラムなどの統一化は困難である。但し、サーバ・クライアント型であるWWWなどを利用し、予め波形データ及び推定結果等をイメージして情報を公開すれば、ユーザ側の負担もなく地震情報を表示することが可能である。

(2) 地震情報の利用に係る検討

地震情報利用側のシステムとしては、3.2.2 で述べたように地理情報システム（GIS）を利用した被害情報システム等がある。これらユーザ環境のシステムと地震情報緊急伝達システムとのインターフェースを考慮することが重要であるので、その検討を行った。

1) 地理情報システムを利用したユーザシステム

3章で述べたように、地震情報緊急伝達システムは、RARMISの概念に基づきユーザ環境とのインターフェースを考慮する。インターフェースを図る上でのユーザ環境の要件は、RARMISで指摘している3.2.2で挙げた次の項目がある。

- ・ 平常時／災害時両用システムであること
- ・ 自律分散型システムであること
- ・ 空間情報と時間情報の統合がされること

① 平常時／災害時両用システム

本システムのユーザとして、地域防災の最も重要な扱い手の自治体を想定し、G I Sの運用環境を検討する。自治体では、平常業務において、地盤・道路・施設等の地域環境情報、住民記録、家屋・建物・土地の固定資産等の住民情報、上下水道等のライフライン情報、地域防災情報を管理している。これらの管理は、担当部局毎にほぼ独立して行われていることが多い。平常時での上記情報は、震災時において、地震情報システムや被害推定システムのような震災対策支援システムの入力情報の大きな部分を占めると共に、これらシステムによる地震情報及び被害推定情報と併せて地域防災活動に活用される。

このような地域の情報は、地域の地理データ（空間データ及び属性データ）上に写像することができる、自治体業務を効率的に運用する上でG I Sが取り入れられつつある。そこで、自治体業務にG I Sを取り入れる場合、平常時／災害時両用システムとして運用できるような仕組みを確立することが重要である。このような仕組みは、各種情報が平常業務で時間的に更新され、システムが常に平常業務で使用されることから、災害時に実際に役立つシステムとなる。

② 自律分散型システム

地震情報緊急伝達システムと自律分散機能を有するユーザシステムとのインターフェースを図る上での前提条件及び検討項目・検討内容について述べると共に、基本的考え方を示す。

- ・ 自律分散機能を有するユーザシステムとホストとの関係を検討する上での前提

ホストは、ユーザの有するデータベースを用いて、地震動パラメータ等の地震情報を推定し、ユーザに発信するものとする。また、ホストは地震動パラメータの推定・発信のためのミラーサイトを、ユーザはデータベースの管理及びホストからの地震情報を受信するためのミラーサイトをもつ可能性があるものとする。

- ・ 自律分散機能を有するユーザシステムとホストとの関係を構築する上での検討項目

自律分散機能を有するユーザシステムとホストとの関係を構築する上での検討項目として、ミラーサイトの取り扱い、地震動パラメータ推定用データベースの取り扱い、地震情報の発受信に係わる通信仕様の取り扱いがある。

イ) ホスト及びユーザのミラーサイトの取り扱い

ホスト及びユーザのミラーサイトの主な取り扱い方としては、図4.1.23に示すように3つの場合が考えられる。

- ・ ホスト：ユーザ=1:N (ホスト、ユーザのミラーサイト含まず)
- ・ ホスト：ユーザ=M:N' (ホスト、ユーザのミラーサイト含む)
- ・ ホストがユーザに組み込まれた場合

ロ) 地震動パラメータ推定用データベースの取り扱い

地震動パラメータ推定用データベースの主な取り扱い方としては、次の2つのケースが考えられる。

- ・ユーザ側の基礎データを地震情報緊急伝達システムが参照する
- ・地震情報緊急伝達システムサイトを自律分散環境の1つと見なして、地震情報緊急伝達システムサイトにユーザ整備基礎データを共有させる

ハ) 地震動パラメータ推定関連データベースの受信及び地震情報の発受信に係る通信仕様の取り扱い

地震動パラメータ推定関連データベースの受信及び地震情報の発受信に係る通信仕様の主な取り扱い方としては、表4.1.12に示すように通信形態によって3つの場合に分けて考える必要がある。

- ・地上系通信サービス（事業体系）
- ・無線系通信サービス（事業体系）
- ・無線系通信サービス（自営系）

・自律分散機能を有するユーザシステムに対する地震情報緊急伝達システムの基本的考え方
 イ) については、ホスト：ユーザ=M:N'（ホスト、ユーザのミラーサイト含む）とする。
 ロ) については、地震情報緊急伝達システムサイトにユーザ整備基礎データを共有させるものとする。
 ハ) については、上記3つの場合を対象として今後検討する。

このような考え方に基づいた自律分散ユーザ環境を取り組んだ地震情報緊急伝達システムの一案を図4.1.24に示す。即ち、処理・配布に対する速報性の要求が高い地震動分布データは、リアルタイムで集中処理し、多点に同時配布する。データの更新に対する速報性の要求が低い基礎データは、自律分散管理とする。この場合、発災時における多点配布用のネットワークが必要となる。

③ 空間情報と時間情報の管理

地震情報緊急伝達システムによる地震情報や被害推定システムによる被害情報を地域防災に役立てるためには、行政の地域管理単位の行政区、町丁字界及び街区といった領域に写像する必要がある。しかしながら、地震情報及び被害情報は、計算・処理の容易性から地域を矩形で分割したメッシュで管理されていることが多いため、任意形状閉領域単位から矩形領域への変換及び矩形領域単位から任意形状閉領域単位への変換が必要となる。これらの変換を行うためのルールを検討した。図4.1.25に500mメッシュデータ領域と地域空間座標データ領域間でのインターフェースの関係を示す。図4.1.26に任意形状閉領域単位から矩形領域単位への変換概念を示す。図4.1.27に矩形領域単位から任意形状閉領域単位への変換概念を示す。

2) 被害推定システムの調査

被害推定システムとして、3.2.2で挙げた国土庁システムを対象として、どのような震源及び地震動パラメータを用いて、どのような被害項目を推定しているかについて調査を行った。調査結果の詳細及び消防庁システムの概要を付録A1に示す。主な被害項目は、次の通りである。

- ・建物被害　　：年代別の木造と非木造の全壊率

- ・火災被害 : 出火点数、延焼面積
- ・人的被害 : 木造、非木造建物全壊率からの死者数、
最大速度からの負傷者数、重傷者数及び避難者数
- ・交通被害 : 道路被害箇所数、道路橋被害率、鉄道不通率

これらの推定で必要とする地震動パラメータは、全て地表面での最大速度である。その推定方法としては、まず、地震規模、震央距離及び震源深さを与え、これらと地震動距離減衰式から基盤での最大速度を求める。次いで、対象地区毎の地形分類を与え、それぞれ地形での増幅率を求め、基盤での最大速度に乗じて、地表での最大速度を求める。

国土庁の被害推定システムは、対象地区的地区分け、地形分類、地震規模、震央距離、震源深さ、対象とする建物、地区別人口、交通関連情報等を表形式で設定することで、地区別の上記被害を自動的に算定する。**表 4.1.13** に地区別被害の算定様式の例を示す。

3) 地震情報緊急伝達システムと地理情報システムを利用した被害情報システム等ユーザ環境システムとの関係

図 4.1.28 に地震情報緊急伝達システムと地理情報システムを利用した被害情報システム等ユーザ環境システムとの関係を示す。

4. 2 システムの構築

4. 2. 1 地震計ネットワーク・地震動伝送サブシステム

本研究では、3.3.1で示したシステム開発の基本的考え方から、地震動観測データをリアルタイム伝送する地震計ネットワークについては既存のものを想定している。既存の地震計ネットワークとしては3.3.2(1)で示したようにk-netを選定している。しかし、現在のk-netは非リアルタイム地震計ネットワークである。よって、本研究では、4.1.1(1)で示したリアルタイム化技術を適用したk-netをリアルタイム地震計ネットワーク・地震動伝送サブシステムとして位置付け、システム機能の検証用として原研（原研東海、原研大洗、原研那珂）に3つのリアルタイム地震計で構成されるネットワークを構築した。

4. 2. 2 地震動収集サブシステム

1) 地震動収集サブシステムの構築

地震情報緊急伝達システムの構築においては、複数の観測点からリアルタイム伝送される波形データを収集し、以降の処理（震源・地震動パラメータ推定サブシステム）への入力となる地震動情報（地震動収集データセット）を算定する機能が必要となる。ここで、算定する地震動収集データセットは、できる限り迅速、かつある程度の精度を保証しなければならない。また、震源・地震動パラメータ推定処理は、できる限り迅速に実施されることが要求されるため、地震動収集データセットの算定後は、速やかにその使用が可能なことを震源・地震動パラメータ推定サブシステムに通知する必要がある。

以上から、4.1.1(3)、及び4.1.1(4)で示した各機能を持つ地震動収集サブシステムをワークステーション上に構築した。地震計ネットワーク・地震動伝送サブシステム、及び地震動収集サブシステムは、図4.2.1に示す処理フローに従って、地震動観測データをリアルタイム収集し、地震動収集データセットを算定している。また、収集された地震動観測データをリアルタイムに表示する地震動観測データ表示プログラムを併せて開発し、地震動収集サブシステムと同時に稼動させることによってリアルタイム観測状況をワークステーション画面で確認可能とした。

地震計ネットワーク・地震動伝送サブシステム、及び地震動収集サブシステムの処理手順を以下に示す。

- ① 地震動収集サブシステムが地震動観測データ伝送を待ち受ける。
- ② 地震計ネットワーク・地震動伝送サブシステムが地震を検知し、地震動観測データのリアルタイム伝送を開始する。
- ③ 地震動収集サブシステムがISDNを介してリアルタイム伝送された地震動観測データについて地震判定（後述）を行う。地震と判定されなかった場合は④以降を実施する。
- ④ 地震動観測データを地震動収集サブシステムで逐次収集する。逐次収集される地震動観測データについては、以下に示すノイズ検出処理を実施する（表4.2.1参照）。
 - A) スパイク
 - B) 一定値
 - C) 過大値

また、地震動観測データを地震動観測データ表示プログラムに逐次伝送する。地震動観

測データ表示プログラムでは伝送された観測データをワークステーション画面に逐次表示する。

- ⑤ 逐次収集される地震動観測データが地震動ブロック－1を満足した時点で、以下に示すノイズ検出処理を実施する（表4.2.1参照）。
 - A) ドリフト－1
 - B) ドリフト－2
 - C) ハム
- ⑥ ④、または⑤でノイズが検出された地震動観測データについては、ある程度の精度を保証した地震動情報の作成が困難と判定し、ノイズ検出後対応（後述）を実施する。
- ⑦ 現時点までの波形データを使用して、以下に示す地震動ブロック－1における地震動収集データセットを算定する（表4.2.2参照）。
 - A) 最大加速度
- ⑧ ⑦で算定した地震動収集データセットが使用可能となった旨を震源・地震動パラメータ推定サブシステムに通知する（システム間通知－A）。
- ⑨ ④と同様に、地震動観測データを逐次収集し、ノイズ検出処理を実施する。
- ⑩ 逐次収集される地震動観測データが地震動ブロック－2を満足した時点で、ノイズ検出処理を実施する（表4.2.1参照）。
 - A) ドリフト－2
 - B) ハム
- ⑪ ⑨、または⑩でノイズが検出された地震動観測データについては、⑥と同様に、ノイズ検出後対応を実施する。
- ⑫ 現時点までの波形データを使用して、以下に示す地震動ブロック－2における地震動収集データセットを算定する（表4.2.2参照）。
 - A) 最大速度
 - B) 最大変位
 - C) 計測震度
 - D) SI値
 - E) 加速度時刻歴
 - F) 速度時刻歴
 - G) 変位時刻歴
 - H) 加速度フーリエスペクトル
 - I) 速度フーリエスペクトル
 - J) 変位フーリエスペクトル
 - K) 加速度応答スペクトル
 - L) 速度応答スペクトル
 - M) 変位応答スペクトル
- ⑬ ⑫で算定した地震動収集データセットが使用可能となった旨を震源・地震動パラメータ推定サブシステムに通知する（システム間通知－A）。

- ⑭ 地震動観測データを逐次収集する。
- ⑮ 逐次収集される地震動観測データが地震動ブロックー3を満足した時点で、既にノイズが検出されたものを含む全ての地震動観測データについて k-net テキストファイルフォーマットで全波形データファイル（生データ）を作成する。

2) 地震判定

地震の判定は、地震計ネットワーク・地震動伝送サブシステムの複数の地震計から同時期にリアルタイム伝送される地震動観測データによって実施される。任意の地域内での地震の発生場所及び発生時期はランダムであるが、本研究ではある任意の地域に影響を及ぼす地震の発生パターンを表 4.2.3 に示す 4 つに大別し、各パターンの発生頻度やシステム対応の観点からパターンー1、及びパターンー2 を対象とした。パターンー2 の地震による波形データは、パターンー1 のものと異なるものの、データ列としてはパターンー1 と同様となるので、システムとしてはパターンー1 に対する処理を検討しておけば良いと考えた。パターンー3 に関しては観測データの分離が難しいし、パターンー4 に関しては地震毎のデータ管理が複雑であるため、発生頻度が低いこともあり対象外とした。

震源・地震動パラメータ推定サブシステムでは、1 つの地震に対する複数の観測データに基づいて、震源決定、及び各地震動分布推定を実施する。従って、地震動収集サブシステムでは、1 つの地震に対する複数の観測データを 1 つの地震グループとして管理する必要がある。一方、1 つの地震に対する観測点毎の観測開始時刻の差異を各観測点間の距離と地震動伝播速度から概算することが可能である。よって、地震動収集サブシステムでは、システム適用地域における観測点配置から、観測開始時刻の差異の許容時間 T_w 秒を予め概算しておき、各観測点の観測データの観測開始時刻が T_w 秒の範囲に入るものを 1 つの地震としてグルーピングすることとした（図 4.2.2 参照）。また、地震情報緊急伝達システムが対象とする地震をその対象地域に被害を及ぼす可能性のあるもの（中～大規模な地震）と考えれば、1 つの地震に対する各観測点はそのほとんどで地震動を検知することが予測される。一方、各観測点におけるノイズは独立に発生すると見なせるため、ノイズの発生（例えばスパイク状の過大値）による地震動観測データのリアルタイム伝送は一般に 1 観測点毎になる。よって、地震動収集サブシステムでは、上記の地震のグルーピング処理において、観測データが N 個を超過しない場合には地震と判定しないこととした。

以上をまとめると、地震動収集サブシステムでは、観測時刻差異許容時間 T_w 秒の範囲に観測開始時刻を持つ地震発生判定値 N 個の地震動観測データがリアルタイム伝送されてきた時に地震と判定することになる。 T_w の値は対象領域の広さや観測点の配置にもよるが 5～10 秒程度、N の値は最低 3 個程度を想定している。

3) ノイズ検出後対応

地震動観測データ内のノイズについては、可能な限りその除去、補正などの処理を行うべきである。しかし、本研究においては、ノイズ除去、補正などの処理を行うことによって観測データのリアルタイム性が損なわれてしまうことは望ましくない。すなわち、ノイズ検出後の対応については、ノイズ除去、補正などの各処理方法、及びそれらの方法のリアルタイム処理との親和性

を検討した上で決定されるべきである。現在は、暫定的に観測データ中にノイズが検出された時点でその使用を中止することとしておき、ノイズ検出後対応については 12 年度に検討する。

4. 2. 3 震源・地震動パラメータ推定サブシステム

1) 震源・地震動パラメータ推定サブシステムの構築

本研究では、4.1.3(1)で示した通り、推定の項目・時間・精度が各々異なる以下のような地震動分布推定手法を選定した（震源・断層パラメータ推定サブシステムも 1 つの手法として分類）。

- ① 事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法（即時補正手法）
- ② 等価線形解析による表層地盤特性評価手法（等価線形解析手法）
- ③ 増幅率関数による表層地盤特性評価手法（増幅率関数手法）
- ④ 基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法（伝達関数手法）
- ⑤ 断層モデル地震動予測式手法（断層モデル手法）
- ⑥ 距離減衰式手法（距離減衰手法）
- ⑦ 震源・断層パラメータ推定手法（震源・断層手法）

上記手法では、各地震動パラメータについて異なる方法論を用いて推定処理を実行するため、各地震動パラメータについて異なる複数の結果が得られることになる。ユーザは、これらの異なる複数の結果とユーザの要求程度を考慮して、必要となる手法を適宜選択すれば良い。一方、上記手法①～手法④については他の手法の出力に依存しない（①は⑦の出力を考慮するが必須条件ではない）。手法⑤、及び手法⑥については手法⑦の出力のみに依存する。よって、各々の手法は、必要とされる入力（地震動情報）を取得後、速やかに各々を独立的に処理することが可能である。

以上から、各地震動情報推定手法を並列的・独立的に処理可能な構成を持つ震源・地震動パラメータ推定サブシステムをワークステーション上に構築した。震源・地震動パラメータ推定サブシステムは、図 4.2.3 に示す処理フローに従って、地震動収集サブシステムから伝送される地震動収集データセットの使用可能通知を確認し、使用可能な地震動収集データセットを入力として必要とする各手法モジュールを並列的・独立的に処理している。また、各地震動分布推定結果（地震動推定データセット）を表示する地震動推定データセット表示プログラムを併せて開発し、PC 上で震源・地震動パラメータ推定サブシステムと同時に稼動させることによって処理状況を適宜確認可能とした。

震源・地震動パラメータ推定サブシステムの処理手順を以下に示す。

- ① 震源・地震動パラメータ推定サブシステムがシステム間通知－A（地震動収集データセットの使用可能通知）を待ちうける。システム間通知－A は地震動収集サブシステム、及び震源・地震動パラメータ推定サブシステムの一時保管部（後述）から取得される。
- ② 取得したシステム間通知－A が対象とする地震（以下「新取得地震」と記す）と震源・地震動パラメータ推定サブシステムが処理中の地震（以下「処理中地震」と記す）の優先度を判定する（後述）。

- ③ ②で優先度を（新取得地震）>（処理中地震）と判定した場合、処理中地震に関するシステム間通知－Aを震源・地震動パラメータ推定サブシステムの一時保管部に保管する。保管状態は処理状況の逐次管理情報（⑦、及び⑨）に依存する。
- ④ ②で優先度を（新取得地震）<（処理中地震）と判定した場合、新取得地震に関するシステム間通知－Aを震源・地震動パラメータ推定サブシステムの一時保管部に保管する。
- ⑤ ③の場合、新取得地震を処理中地震として入れ換え再認識する。
- ⑥ システム間通知－Aが地震動収集サブシステムにおける地震動ブロック－1終了となる場合は、地震動収集データセット中の最大加速度情報のみが使用可能であるため、最大加速度について增幅率関数手法モジュールを実行する。
- ⑦ ⑥で実行した各手法モジュールの処理状況を逐次管理し、算定した地震動推定データセットが使用可能となった旨を地震情報発信サブシステムに通知する（システム間通知－B）。
- ⑧ システム間通知－Aが地震動収集サブシステムにおける地震動ブロック－2終了となる場合は、地震動収集データセット中の全ての地震動情報が使用可能であるため、各特性値について即時補正手法モジュール、及び増幅率関数手法モジュール（最大加速度は⑥で実行済み）を、加速度時刻歴について震源・断層手法モジュールを、震源・断層パラメータ推定結果を入力として、断層モデル手法モジュール、及び距離減衰手法モジュールを各々実行する。
- ⑨ ⑧で実行した各手法の処理状況を逐次管理し、算定した地震動推定データセットが使用可能となった旨を地震情報発信サブシステムに通知する（システム間通知－B）。
- ⑩ ①～⑨を逐次繰り返す。

上記の手順により、震源・地震動パラメータ推定サブシステムは常に最も優先度の高い地震について推定処理を実行することになる。

2) 地震の優先度判定

地震防災対策の観点からは、対象地域に最も被害を与える地震（対象地域の地震動が最も大きい地震）を最優先地震と見なすことができる。よって、震源・地震動パラメータ推定サブシステムでは、対象地域内の地震動の大きさを判定することによって優先的に処理する地震を選定することとした。ただし、地震動の優先度については、地震動情報を利用するユーザの要求によって決定されるべきである。本システムでは、暫定的に対象地域内の各観測点における最大加速度中の最大値で地震動の大きさを判定することとしている。

4. 2. 4 地震情報発信、利用サブシステム

地震情報発信・利用サブシステムについては、1地震あたりの転送情報量と運用面、3.2.1及び4.1.4の検討結果を踏まえ、下記に示すとおり、通信媒体・通信手段・表示システムをそれぞれ選択した。（図4.2.4参照）

- ・通信媒体 : 電話回線、インターネット

- ・通信手段 : ファクシミリ、電子メール、WWWサーバ
- ・表示システム : WWWブラウザ

(1) 機能概要

地震情報発信・利用サブシステムには下記の機能が必要である。

- － 地震情報を自動的にHTML形式に変換する機能
- － 保存されている地震情報について、発生日時、地震規模等での検索機能
- － 地震情報をイベント毎にメーリングリストに送信する機能

これらの機能を、既存UNIXワークステーション上にWWWサーバ及びシェルスクリプトで構築することにより、ユーザに地震情報をWWWサーバ及び電子メールでの提供を可能とする。なお、表示用プログラムに関しては、地震情報のユーザーにより異なってくるため、ここでは暫定版で対応することにした。

(2) 自動作成機能

地震情報発信・利用サブシステムは、前述した地震動収集サブシステム及び震源・地震動パラメータ推定サブシステムからのトリガ（電子メール授受）により、地震動情報の最新版を自動的に作成する。この自動作成機能により、人手を介さずに常に最新の情報をユーザに提供することが可能である。地震情報発信・利用サブシステム自動作成機能の処理手順を以下に示す。

- ① 地震情報発信・利用サブシステムは電子メールの受信を待つ。電子メールは、地震動収集サブシステム及び震源・地震動パラメータ推定サブシステムから送信される。地震動収集サブシステムでは、ノイズ対策をしており、電子メールを受信したことは地震動を検知したことを意味する。
- ② 受信した電子メールをヘッダ部と本体部に切り分ける。
- ③ 本体部から観測結果あるいは推定結果の格納先フルパスを取得する。
- ④ 格納ファイル名を決定し、HTML形式ファイルに変換し、最新地震情報を作成する。なお、格納ファイル名は地震動情報が格納されているディレクトリ名から決定する。
- ⑤ 最新地震情報インデックス、履歴インデックスなどの各管理ファイルを作成・更新する。
- ⑥ 必要に応じ、メーリングリストへ電子メールを送信する。メーリングリストは詳細情報と地震検知を知らせる2種類を用意する。詳細情報を受信したユーザはその電子メールをトリガにし、別のアプリケーションを起動することが可能である。また、地震検知情報を受信したユーザはWWWサーバをアクセスして必要な情報を入手することが可能である。

4. 2. 5 ハードウェア・ソフトウェア構成

地震情報緊急伝達システムのハードウェア構成を図4.2.5に、構成機器の一覧を表4.2.4に各々

示す。図 4.2.5、及び表 4.2.4 には、各ハードウェアに組み込まれるサブシステム、プログラムなどが併せて記述してある。また、地震情報緊急伝達システムのソフトウェア構成を図 4.2.6 に示す。図 4.2.6 には、各サブシステム、及びプログラム間のデータ授受方法を併せて記述してある。なお、現状では、システム運用・管理を容易にすることなどを考慮して、ほとんどのサブシステムを 1 つのワークステーションに組み込んだ。しかし、各サブシステムはネットワーク環境下で接続されれば良く、1 つのワークステーション内に組み込まれている必要はない。このため、各サブシステムの組み込みにおけるハードウェア依存性を低くするために、各サブシステム間の制御に関するデータ授受（システム間通知－A、及びシステム間通知－B）はソケット通信、及び電子メールを基本とした。また、地震動収集データセット、及び地震動推定データセットについては、検証時における視認性の問題などを考慮して、全てテキストファイル形式とした。

4. 3 地震情報緊急伝達システムの適用

4. 3. 1 適用地域の選定

本研究では、4.2 で示した通り、対象地域の詳細な地盤データが事前に整備されていることを前提として各地震動分布推定手法が選定されている。すなわち、システムを検証するためには、適当な領域の詳細な地盤データが必要である。選定された各地震動分布推定手法が必要とする詳細な地盤データは、表層地盤の構造だけではなく、深い基盤の構造も必要となることから、複数の深層ボーリング調査などが行われている領域を選定することが望ましい。また、地震動分布推定のためには、システム対象地域内に複数の地震観測点が存在し、それらの観測点においてある程度頻繁に地震が観測されなければならない。このような条件を満たす地域の 1 つとして原研東海周辺が挙げられる。原研東海周辺は以下の点でこの条件を満たしている。

- ① 原研東海、原研大洗、原研那珂で、研究用原子炉施設の耐震設計情報として詳細な地盤データが整備されている。
- ② 詳細な表層地盤データが整備されている。
- ③ 原研東海周辺に複数の k-net 観測点が存在する。
- ④ 原研東海周辺は日本有数の地震多発地域である鹿島灘に面している。

以上から、地震情報緊急伝達システムの適用地域として、図 4.3.1 に示す原研東海を中心とした半径 30km の範囲を選定した。図中には、参考のため地域内の k-net 観測点を示している。

4. 3. 2 システムの設置

(1) 試験用地震計ネットワークの構築

4.2.1 では、4.1.1(1)で示したリアルタイム化技術を適用した k-net を想定し、リアルタイム地震観測ネットワーク・地震動伝送サブシステムとしている。しかし、k-net は非リアルタイム地震計ネットワークとして実運用中であり、本研究によってその運用に影響を及ぼすことは望ましくない。よって、リアルタイム地震計 (K-NET/RT、及び RTS-2)、及び準リアルタイム地震計 (K-NET95) を対象とすると共に、k-net との併用も考慮した試験用地震計ネットワークを構築した。

地震動伝送サブシステムの構成を図 4.3.2 に、その構成機器を表 4.3.1 に各々示す。原研大洗機器免震試験システム設置用テストベッドにリアルタイム地震計 K-NET/RT を（図 4.3.3～5 参照）、原研那珂制御棟 037 号室付近にリアルタイム地震計 RTS-2 を各々設置し、ホスト局と ISDN で接続した。また、原研東海 NSRR 棟 L-105 号室床下ピットに準リアルタイム地震計 K-NET95 を設置し、ホスト局と電話網で接続した。地震計の設置位置については、原研施設内で地震動以外の機械振動などの影響がほとんどないと考えられる箇所として適宜選定した。

地震動伝送サブシステムは表 4.3.2 に示すパラメータ設定の下で 10 年 6 月から稼動している。観測事例として、11 年 3 月 26 日午前 8 時 31 分頃の地震の観測加速度時刻歴を図 4.3.6、図 4.3.7、及び図 4.3.8 に各々示す。原研大洗、原研那珂、及び原研東海の 3 観測点共に正常な地震観測が行われている。

(2) 地震動収集サブシステム及び震源・地震動パラメータ推定サブシステムの設置

4.2.2 で示した地震動収集サブシステム、及び観測データリアルタイム表示プログラム、4.2.3 で示した震源・地震動パラメータ推定サブシステムをホスト局となる原研東海安工棟 614 号室のワークステーション上に設置した。また、地震動推定データセット表示プログラムを原研東海安工棟 614 号室の PC 上に設置した。各サブシステム・プログラムの設置状況を図 4.3.2 に、その構成機器を表 4.3.1 に各自示す。地震計を除く構成機器については、システム間通知に関わる一部の関数以外の機種依存性はない。

(3) 地震情報発信・利用サブシステムの設置

4.2.4 で示した地震情報発信・利用サブシステムを、ホスト局となる原研東海安工棟 614 号室のワークステーション上に設置した。このワークステーションはローカル環境である試験用地震計ネットワーク及び地震動収集サブシステム、震源・地震動パラメータ推定サブシステムと、グローバル環境である地震情報発信・利用サブシステム及び原研ネットワークを接続しているものである。地震動収集サブシステム、震源・地震動パラメータ推定サブシステムが利用するファイルにアクセス可能であるのと同時に、グローバル環境からユーザが地震情報発信・利用サブシステムを利用することも可能である。システム概念図を図 4.3.9 に、WWWサーバの画面構成を図 4.3.10 に、初期画面を図 4.3.11 にそれぞれ示す。

4. 3. 3 適用地域の浅層・深層地盤データベースの整備

1) 適用地域の概略的な地盤構造の分析

一般的なボーリングデータは、特殊な目的（例：原子力施設の耐震設計）のために特に深々度まで掘削するもの以外は、いわゆる工学的基盤（ N 値=30～50 程度、せん断波速度 $V_s=300\sim 500\text{m/s}$ 程度）までとしているものが多い。従って、本研究では、適用地域（原研東海周辺）において、多くのボーリングデータがある工学的基盤までの浅い地盤と、それより深い $V_s=3,000\text{m/s}$ 程度までの地盤に大別した。適用地域の概略的な地盤構造を図 4.3.12 に示す。図 4.3.12 に示す通り、適用地域においては、浅い地盤と深い地盤を以下のように大別できる。

- ① 浅い地盤
 - A) 沖積層
 - B) 洪積層
 - C) 下総層群 ($V_s \leq 500\text{m/s}$ 程度)
- ② 深い地盤
 - A) 上総層群 ($V_s=700\text{m/s}$)
 - B) 三浦層群 ($V_s=1,200\text{m/s}$)
 - C) 先新第三系 ($V_s=3,000\text{m/s}$)

2) データ整備単位

データ整備単位としては、適用地域を含む既存データの活用などを考慮して、500m メッシュ

(正方形)とした。なお、近年、地震防災に関わる基礎データの整備単位としては、メッッシュよりも行政区画が良いという提案がある。しかし、メッッシュと行政区画では、整備単位が矩形から多角形に、整備単位面積が一定から任意に各々変わるもの、その使用方法に関する基本的な考え方の相違はない。また、本研究で用いる地震動分布推定手法ではメッッシュの方が扱い易い。以上から、メッッシュを整備単位として選定した。ただし、メッッシュと行政区画との関連付けについては、地震情報発信・利用サブシステムの課題として、12年度に検討を実施する予定である。

3) 浅い地盤のモデル化

浅い地盤については、地盤資料、表層地質、微地形区分、地質断面図などから、適用地域に分布する地形、地質、及び地層構成を分析し、地層構成や地震動の応答が同様となるものを分類して136種類にモデル化した。適用地域における表層地盤種の分布を図4.3.13に示す。モデルを構成する土質、及び地質については、表4.3.3に示す物性値を設定し、沖積層、及び洪積層に分類される各土質について、等価せん断剛性率—せん断ひずみ曲線、減衰定数—せん断ひずみ曲線を設定した。また、液状化対象層となる各土質については、表4.3.4に示す平均粒径(D_{50})、及び細粒分含有率(Fc)を設定した。

4) 深い地盤のモデル化

深い地盤については、地盤を表4.3.3(網掛け部)に示すように分類し、上総層群相当層($V_s=700\text{m/s}$)、三浦層群相当層($V_s=1,200\text{m/s}$)、基盤(先新第三系)($V_s=3,000\text{m/s}$)の3層に大別して、各層上面深度を設定した。適用地域における各層上面深度の分布を図4.3.14、図4.3.15、及び図4.3.16に各々示す。

4. 3. 4 適用地域の想定地震による予測地震動分布の算定

適用地域(原研東海周辺地域)に事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法を適用するためには、適用地域における事前予測地震動分布が必要となる。よって、適用地域に影響を及ぼすと考えられる想定地震を抽出し、表4.3.5に示す断層パラメータを設定した。なお、表4.3.5では、断層設定に影響されず、地盤増幅の影響のみを考慮した地震動分布の作成を目的として、鉛直下方地震を併せて記述してある。鉛直下方地震による事前予測地震動分布は、事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法の適応において、発生した地震に相当する事前予測地震動分布が抽出されなかった場合に使用する。これらの断層パラメータを用いて、以下に示す方法で適用地域における事前予測地震動分布を算定した。

<事前予測地震動分布の算定方法>

事前予測地震動分布の算定にはIrikuraの経験的グリーン関数法の拡張法[4.1.22]を用いた。本手法による算定の概略を以下に示す。

- ① Booreのスペクトル形状[4.1.23]を満たす基盤地震動を基準化距離1(km)においてP波、及びS波について算定する(小断層によらず共通)。
- ② サイト直下の地盤構造を仮定して断層からの波線を追跡する。

- ③ 断層の幾何学的形状、及びすべり方向とサイトへの波線方向からラディエーション特性を施す。
- ④ アスペリティが設定されている場合は設定モーメント量に応じて振幅を増減する。
- ⑤ 波線追跡による経路に沿って幾何減衰 ($1/R$)、内部減衰 (周波数依存型の Q 値) を施してサイト直下の基盤地震動を算定する。
- ⑥ 基盤地震動が地震基盤から入射した場合の表層地盤の地表面応答を斜め入射の SH 波動場 (Transverse 成分)、P 波、及び SV 波の斜め入射による P-SV 波動場 (Radial, UD) の Haskell Matrix 法 (線形) で算定する。
- ⑦ ⑥で算定された Transverse、Radial、UD 各成分の波形を NS、EW、UD 方向に射影する。
- ⑧ ⑦で算定した各成分波形について小断層内における断層変位 (Dislocation) の重ね合わせを行う。
- ⑨ 震源断層面上の破壊伝播に従って分割した各小断層について①～⑧を実施し、当該地震の地震波形 (加速度時刻歴) とする。

上記②～⑤におけるサイト直下の地盤構造については、詳細な地盤データから作成された 3 次元深層地盤モデルの使用が理想的である。しかし、主に計算機の物理的制約で高周波数までを評価可能なメッシュ分割を持つ 3 次元モデルの構築が困難であることから、現状では以下に示すような地盤構造モデルの使い分けを行った。

- ① 特性値 (最大値) 分布
最大値が高周波数成分で決定されることが多いため成層地盤構造モデルを使用
- ② 地震波形 (加速度時刻歴)
低周波数成分を含む波形形状が必要となるため 3 次元深層地盤モデルを使用

事前予測地震動分布の一例として、本研究における適用地域に影響を及ぼすと考えられる筑波山東方リニアメントを想定地震とした各特性値を図 4.3.17、図 4.3.18、図 4.3.19、及び図 4.3.20 に各々示す。

4. 3. 5 適用地域の增幅率関数モデル分布の作成

適用地域 (原研東海周辺) に增幅率関数による表層地盤特性評価手法を適用するためには、適用地域における增幅率関数モデル分布が必要となる。よって、適用地域の浅層地盤モデルを卓越周期 T_g 、伝達関数の卓越周期 T_{cal} 、及び深度 10、20、30m の平均 S 波速度から分類し、図 4.3.21 に従ってそれらの分類に最も適合する增幅率関数モデル (表 4.3.6 参照) を表 4.3.7 に示す割り当て方に基づき割り当て、增幅率関数モデル分布を作成した。適用地域における增幅率関数モデル分布を図 4.3.22 に示す。なお、4.1.3(4)で示した通り、現在 13 地点の鉛直アレー観測によって增幅率関数をモデル化しているが、本研究における適用地域を含む任意の地域への適用においては、より多くの鉛直アレー観測によってモデル化した增幅率関数を使用することが望ましい。

表 4.1.1 リアルタイム地震計 K-NET/RT の設定可能なパラメータ

NO	パラメータ	単位	動作	設定		
				K-NET/RT 大洗研	RTS-2 那珂研	K-NET95 東海研
1	起動レベル	gal	観測値が起動レベルを上回った時地震と判定	1.0	1.0	1.0
2	遅延時間	秒	データ送信時に起動レベルを上回った時刻から溯る時間	15.0	15.0	15.0
3	最小記録時間	秒	データを送信・記録する最短時間	90.0	60.0	60.0
4	終了レベル	gal	観測値が終了レベルを下回った時地震終了処理を開始	1.0	1.0	1.0
5	送信終了時間	秒	終了レベルを下回った時刻からデータ送信を継続する時間	0.0	30.0	0.0
6	パケット出力間隔	m 秒	観測データのパケットを出力する間隔	800.0	800.0	—

表 4.1.2 既存地震計のリアルタイム化費用の概算

設置・設定	地震計	作業項目	費用(万円)※		備考
			小計	合計	
新規 k-net 観測点設置	K-NET95	K-NET95 購入	—	200	準リアルタイム地震計と同等
新規リアルタイム地震観測点設置	RTS-2	RTS-2 購入	—	300	
既存 k-net 観測点をリアルタイム化	K-NET/RT(K-NET95)	K-NET95 利用	—		K-NET95 は既存
		MPU 等設定変更	30	80	
		PC 等機器設置	50		

※表中の値は平成 10 年度時点での概算である。

表 4.1.3 伝送波形データが各地震動ブロックを満足する時に算定する地震動情報

アロック	アロック満足条件	必要パラメータ	算定地震動情報	備考
1	リアルタイム観測データ中の最大値の更新が行われない時間が X1(sec)以上継続した時	X1(sec) 未更新継続時間	最大加速度	—
2	観測値が最大値の X2(%)を超過しない時間が X3(sec)以上継続した時	X2(%) 減衰程度 X3(sec) 減衰値継続時間	最大速度 最大変位 計測震度 SI 値 加速度時刻歴 速度時刻歴 変位時刻歴 加速度フーリエスペクトル 速度フーリエスペクトル 変位フーリエスペクトル 加速度応答スペクトル 速度応答スペクトル 変位応答スペクトル	速度時刻歴から抽出 変位時刻歴から抽出 加速度時刻歴から算定 速度応答スペクトルから算定 — — — 加速度時刻歴から算定 速度時刻歴から算定 変位時刻歴から算定 加速度時刻歴から算定 速度時刻歴から算定 変位時刻歴から算定 加速度時刻歴から算定 速度時刻歴から算定 変位時刻歴から算定
3	観測データの取得を終了した時	加速度時刻歴(生データ)	加速度時刻歴(生データ)	以降の処理には使用せず

表 4.1.4 波形データに発生する代表的なノイズとその検出方法

障害	内容	抽出方法 (各種窓の名称は図 4.1.5 及び図 4.1.6 に対応)	適用プロック			備考
			1	2	3	
ドリフト-1	最大値近傍のみのドリフト	最大値を境界とした2つの等長窓 $Td1$ 中の平均値の差と全波形の標準偏差の比 \geq 閾値	○	-		
ドリフト-2	データ全域に亘るドリフト	波形の先頭及び末尾の2つの等長窓 $Td2$ 中の平均値の差と全波形の標準偏差の比 \geq 閾値	○	○		
ヌイズ	ひげ状のノイズ	移動窓 Ts 中の最大絶対値及び標準偏差の比 \geq 閾値	○	○		地震動観測データ単位で実施
ハム	発振的なノイズ	設定窓 Th 中のアーリエスペクトル及び両対数領域の平滑化ペクトルの比 \geq 閾値	○	○		
一定値	連続的な一定値	移動窓 Tc 中の一定値継続時間 \geq 閾値	○	○		地震動観測データ単位で実施
過大値	異常に大きな値	移動窓 Tp 中の最大値 \geq 閾値	○	○		地震動観測データ単位で実施

表 4.1.5 地震動情報の情報量及び要求要素による分類

分類	地震動情報	要求要素	主な使用方法・使用形式
特性値	最大加速度(分布)	即時性	対象地域における特性値分布
	最大速度(分布)	即時性	対象地域における特性値分布
	最大変位(分布)	即時性	対象地域における特性値分布
	計測震度(分布)	即時性	対象地域における特性値分布
	SI値(分布)	即時性	対象地域における特性値分布
時系列	加速度時刻歴	精度	対象構造物の動的解析への入力
	速度時刻歴	精度	対象構造物の動的解析への入力
	変位時刻歴	精度	対象構造物の動的解析への入力
	加速度フーリエスペクトル	精度	対象構造物の周波数応答解析への入力
	速度フーリエスペクトル	精度	対象構造物の周波数応答解析への入力
	変位フーリエスペクトル	精度	対象構造物の周波数応答解析への入力
	加速度応答スペクトル	精度(即時性)	対象構造物の固有周期との関係の比較
	速度応答スペクトル	精度(即時性)	対象構造物の固有周期との関係の比較
	変位応答スペクトル	精度(即時性)	対象構造物の固有周期との関係の比較

表 4.1.6 地震情報緊急伝達システムに組み込む地震動パラメータ推定手法

手 法	手 法 概 略	推定地震動パラメータ	備 考
事前予測地震動分布の即時補正手法	想定断層震源モデル及び対象地域の詳細な3次元地盤モデルを用いた強震動シミュレーションによって対象地域の地震動分布を事前に予測しておき、地震時の観測情報によって事前予測地震動分布を即時補正して地震動分布を推定する手法	最大加速度 最大速度 最大変位 計測震度 SI 値	— — — — —
増幅率関数による表層地盤特性評価手法	想定断層震源モデル及び過去の地震観測(含地盤情報)によって各種地盤の増幅率関数を地盤情報毎に作成しておき、対象地域の地盤特性に適応した増幅率関数によって観測点－工学基盤間及び工学基盤－対象地点間の表層地盤増幅特性を評価し、地震動分布を推定する手法	最大加速度 最大速度 最大変位 計測震度 SI 値	— — — — —
等価線形解析による表層地盤特性評価手法	等価線形解析(中小～大地震までに対応可能な解析コードを使用)によって観測点－工学基盤－対象地点間の表層地盤増幅特性を評価し、対象地点毎の加速度時刻歴を推定する手法	加速度時刻歴	—
基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法	対象地域の詳細な2次元地盤モデル(含基盤不整形構造)を持つ地盤間及び基盤－対象地点間の地盤増幅特性を評価し、対象地点毎の加速度時刻歴を推定する手法	加速度時刻歴	基盤不整形構造を持つ地域のみに適用
断層モデル地震動予測式手法	震源特性(震源・断層パラメータ推定結果)と事前に整備された対象地域の地震動伝播特性及び表層地盤増幅特性からなる断層モデル地震動予測式によって、対象地點毎の加速度フーリエスペクトルを推定する手法	加速度フーリエスペクトル	—
距離減衰式手法	震源諸元(震源・断層パラメータ推定結果)と既存の距離減衰式によつて、対象地點毎の地震動分布を推定する手法	最大加速度 最大速度 最大変位	他手法との比較対象 他手法との比較対象 他手法との比較対象

表 4.1.7 既往の地震動予測手法の特徴

NO	地震動予測手法	一般的な予測方法	利点	欠点	システム使用事例	リアルタイム処理
1	高密度な地震観測 配備して地震観測を実施	必要な精度に応じて地震計を観測点情報を必要とする	最も直接的	広範囲な地震観測網の整備が困難(主に費用面) 強震動領域の観測点情報欠損の可能性あり(主に構造物破壊)	横浜市 東京ガス	○
2	観測点情報の 空間補間	観測点情報から表層地盤の影響を除去した上で空間補間に依る表層地盤の影響を考慮して予測	対象地域全域の予測が可能	強震動領域の観測点情報が即時入手できない場合周辺の観測点情報のみでは強震動を予測できない可能性あり	建設省土木研究所	○
3	震源位置・ゲーニュートによる予測	震源を点または断層面として硬質地盤上及び表層地盤の影響を考慮して予測	震源情報を使用できれば対象地域全域の予測が可能	震源断層上の破壊伝播による震源断層近傍の詳細な地震動を予測不可能 震源情報が使用できなければ予測が不可能	自治省消防庁	○
4	断層震源を想定した 強震動ミュレーション	断層破壊過程及び対象地域の詳細な地盤構造を用いたミュレーション	詳細なモデルを使用できれば地震波形の再現がほぼ可能	詳細な断層モデル及び地盤構造モデルが必要 断層震源情報が使用できないければ予測が不可能	自治体被害想定	×

表 4.1.8 代表的な1次元等価線形解析手法の特徴

手法	ひずみ $(\gamma_{\max} < 10^{-1})$	小ひずみ領域 $(\gamma_{\max} < 10^{-1})$	中ひずみ領域 $(10^{-1} < \gamma_{\max} < 10^{-2})$	大ひずみ領域 $(10^{-2} < \gamma_{\max})$
SHAKE	散乱減衰による減衰の周波数依存性を表現できない、	比較的良いが減衰の周波数依存性が考慮されず短周期成分の増幅率がやや小さい、	短周期成分の増幅率を過小評価する傾向にある	
FDEL	SHAKEと一致	比較的良好く観測記録と合う	短周期成分の増幅率を過大評価する傾向にある	
周波数依存減衰	散乱減衰による減衰の周波数依存性を表現できる	比較的良好く観測記録と合う	短周期成分の増幅率は妥当だが卓越周期が1秒から異なるほど誤差が大きい	

表 4.1.9 増幅率関数算定に用いた地盤モデル及び地盤パラメータ

地盤種別	鉛直アレーメータ測点	伝達関数の 卓越周期(秒)	Tg(秒)	平均S波速度		
				10(m)	20(m)	30(m)
硬質地盤	日本原子力研究所大洗研究所	0.108	0.100	290.5	391.0	427.3
	k-net(出水)	0.054	0.052	392.6	446.3	464.2
標準地盤	東京大学生産技術研究所千葉実験所	0.148	0.380	230.0	275.0	310.0
	関西電力(株)総合技術研究所	0.439	0.515	138.6	188.8	245.1
大阪ガス(株)複合供給所	大阪ガス(株)複合供給所	0.258	0.208	197.0	261.5	291.0
	k-net(阿久根)	0.636	0.539	187.6	173.9	242.6
東京電力(株)新富士変電所	東京電力(株)新富士変電所	0.272	0.320	164.1	266.9	334.6
	清水建設(株)剣路営業所	0.726	0.404	187.0	234.0	254.0
軟弱地盤	k-net(川内)	0.587	0.694	167.2	198.6	209.1
	六甲アーバント ポートアーバント	1.371	0.580	360.0	360.0	325.0
東京電力(株)新太田変電所(建設予定地)	1.170	0.763	174.1	192.0	194.2	
	東京電力(株)新太田変電所(建設予定地)	0.501	0.602	89.5	198.1	280.9
剣路港湾建設事務所	0.972	0.717	256.7	291.4	288.7	

表4.1.10 通信手段の特徴比較

通信手段 \ 特徴	二次利用	汎用性	速報性	アプリ連携
ポケットベル	×	○	○	×
ファクシミリ	×	◎	×	×
電子メール	◎	○	◎	◎
F T P	◎	○	×	○
r c p	◎	×	×	○
WWW	◎	○	○	○

◎：良い、○：普通、×：比較的悪い

表4.1.11 通信手段の用途による比較

ニーズ \ 通信手段	地震の有無	震度	震源	観測データ	波形データ	推定結果
ポケットベル	◎	◎	◎	×	×	×
ファクシミリ	◎	◎	◎	×	○	○
電子メール	◎	◎	◎	○	◎	◎
F T P	×	×	×	○	○	○
r c p	×	×	×	○	○	○
WWW	○	○	○	○	◎	◎

※網掛け部分はイメージ情報

◎：良い、○：普通、×：比較的悪い

表 4.1.12 情報授受に利用可能な通信サービス（その 1：地上通信サービス（事業体系））

事業体系		アナログ電話	アナログ専用線	INSネット64(ISDN)	高速デジタル専用線 (イントラネット)
サ-ビス事業体	NTT	NTT	NTT	NTT	NTT
通信形態	交換設備経由 相手先不特定	交換設備非経由 相手先固定	交換設備経由 相手先不特定	交換設備非経由 相手先固定	交換設備非経由 相手先固定
データ転送	規格上 9600bps を保証 実際は 56kbps が実用化(通信経路品質に依存)	規格上 9600bps を保証 実際は 56kbps が実用化(通信経路品質に依存)	最大 128kbps を保証 データ転送によりデータ損失なし	64kbps*2+16kbps*I (2B+D)	外線で 128kbps を保証 光ファイバ線で 128kbps 以上が可能 データ通信によりデータ損失なし
不正アクセス	可能性大	可能性極小	可能性大	可能性極小	可能性極小
故障時対応	経路二重化は基本的に不可 故障回復は一般電話扱い	経路二重化は可能 電話交換所と拠点両端での主導切替が必要	経路二重化は基本的に不可 故障回復は一般電話扱い	経路二重化は可能 故障回復は一般電話扱い	経路二重化は可能 回線自動切替サ-ビスにより自動切替可能
その他	—	—	—	—	—

表 4.1.12 情報授受に利用可能な通信サービス（その2：無線系通信サービス（事業体系））

事業体系			
通信サービス	デジタル携帯電話	衛星移動通信	インフラット移動体通信 (Very Small Aperture Terminal)
サービス事業体	NTTドコモ等	NTTドコモ等	KDD等
通信形態	利用者側：移動デジタル携帯端末+移動衛星地上局設備	利用者側：移動デジタル携帯端末+移動衛星地上局設備	利用者側：VSAT 固定地上局設備
事業体側：固定地上局	事業体側：固定地上局	事業体側：通信衛星+制御用地	事業体側：通信衛星+通信衛星制御局
固定地上局間は事業体による専用線(光ファイバ等)による通信	固定地上局間の有限通信チャネルの選択・指定に加えチャネル確立不可の場合移動衛星地上局設備が自動で衛星通信に切替	地上中継回線設備非経由(直接通信)	地上中継回線設備非経由(直接通信)
データ転送	専用データカード*利用により9600bpsが可能	専用データカード*利用により9600bpsが可能	600~2048kbps (Mini-IP) 56/64kbps (アラサットA)
不正アクセス	可能性大	可能性大	14回線/超小型地上局設備の収容可能
故障時対応	固定地上局の復旧に依存	固定地上局の復旧に依存	地球一通信衛星間の伝送遅延の考慮が必要(回避不可)
その他	-	-	地球一通信衛星間の伝送遅延の考慮が必要(回避不可)
			可能性なし
			VSAT 通信衛星または制御用地
			制御局の復旧に依存
			-

表 4.1.12 情報授受に利用可能な通信サービス（その3：無線系通信サービス（自営系））

自営系		消防無線	MCA無線
通信サービス	防災行政無線	自営無線通信	自営無線通信
サ-ビス事業体	自営無線通信	VHF 帯または UHF 帯の無線電話	自営無線通信
通信形態	一般に行政機関施設屋上の SHF 帯アンテナ及び SHF 帯無線設備とその配下に接続される TDM で構成される TDM で多重化後伝送	VHF 帯のシングルチャネル通信 基地局との 1:1 通信 1:1 通信 同一周波数の複数移動局での 利用のため輻輳の可能性有	UHF 帯以上の無線電波使用 基地局を共有(多重化)するた め複数無線局の電波共有が可 能 通信相手を ID 認識
データ転送	数 Mbps～数 Gbps 程度	上限 9600bps 実行上は 2400bps 程度	上限 9600bps 実行上は 2400bps 程度
不正アクセス	可能性極小(電波直進性強)	可能性大(電波直進性弱)	可能性小(ID 認識)
故障時対応	保守業者の対応に依存	保守業者の対応に依存	保守業者の対応に依存
その他	設備大	設備小規模	設備小規模
		音声帯域での情報通信用	

表 4.1.13 地区別被害の算定様式の例（その 1）

1	地区名	合計	A地区	B地区	C地区
	地区面積(km ²)	38.00	11.64	15.59	10.00
2	地形分類(コード番号)	-	4	5	6
3	マグニチュード	-	7.5		
	震源深さ(km)	-	30		
4-1	震央距離(km)	-	19	30	10
4-2	基準地盤最大速度(kine)	-	37	32	41
4-3	標高(m)	-	0	0	0
	最大速度増幅率	-	2.5	2.1	2.3
	地表最大速度(kine)	-	93.9	66.6	94.4
4-4	震度	-	6+ (6強)	6+ (6強)	6+ (6強)
	地表最大加速度(gal)	-	1,371	931	1,380
5	液状化危険度	-	A	A	A
6-1	昭和35年以前木造建物数	45,075	10,000	5,075	30,000
	昭和36年以後木造建物数	108,688	58,688	20,000	30,000
	全木造建物数	153,763	68,688	25,075	60,000
	昭和56年以前非木造建物数	56,523	26,523	15,000	15,000
	昭和57年以後非木造建物数	20,978	10,978	5,000	5,000
	全非木造建物数	77,501	37,501	20,000	20,000
	全建物数	231,264	106,189	45,075	80,000
6-2	昭和35年以前木造建物全壊数	27,987	6,568	1,503	19,916
	昭和36年以後木造建物全壊数	21,698	13,125	1,770	6,803
	全木造建物全壊数	49,684	19,693	3,273	26,718
6-3	昭和56年以前非木造建物大破数	5,717	2,908	1,154	1,655
	昭和57年以後非木造建物大破数	653	401	68	184
	全非木造建物大破数	6,369	3,309	1,222	1,838
	昭和56年以前非木造建物倒壊数	1,956	1,063	285	608
	昭和57年以後非木造建物倒壊数	205	130	15	60
	全非木造建物倒壊数	2,161	1,193	300	668
	昭和56年以前非木造建物全壊数	7,673	3,971	1,439	2,263
	昭和57年以後非木造建物全壊数	858	531	83	244
	全非木造建物全壊数	8,532	4,503	1,522	2,507
	全建物全壊数	58,216	24,196	4,795	29,225

コード番号	地形分類
1	山地
2	台地
3	扇状地
4	自然堤防
5	砂州
6	谷底平野
7	三角州
8	旧河道
9	埋立地

表 4.1.13 地区別被害の算定様式の例（その 2）

1	地区名	合計	A地区	B地区	C地区
7-1	発災時の条件 季節(コード番号)	-	3		
	発災時の条件 時刻(24時間表示)	-	18		
	発災時の条件 風速(m/s)	-	20		
7-2	出火点数	99	41	8	50
7-3	1ha当たり木造建物数	-	59	16	60
	消火までの時間(分)	-	89	24	90
7-4	延焼距離(m)	-	5,556	225	6,770
	延焼面積(m ²)	5,212,609	2,340,635	19,784	2,852,190
	延焼面積割合(%)	13.7	20.1	0.1	28.5
	火面周長(m)	78,857	34,909	1,409	42,539
7-5	木造焼失棟数	41,771	17,260	125	24,386
	非木造焼失棟数	17,652	9,423	100	8,129
	全焼失棟数	59,424	26,683	226	32,515
8-1	昼間人口	210,000	10,000	100,000	100,000
	夜間人口	140,000	30,000	10,000	100,000
8-2	木造建物死者数	1,371	544	90	737
8-3	非木造建物死者数	70	5	29	36
8-4	火災死者数	6,113	1,245	316	4,552
8-5	全死者数	7,554	1,794	435	5,325
	重篤者数	296	14	141	141
	重症者数	1,417	67	675	675
8-6	軽症者数	27,814	1,324	13,245	13,245
8-7	全負傷者数	29,526	1,406	14,060	14,060
	入院患者数	2,421	115	1,153	1,153
	熱傷患者数	1,180	56	562	562
8-8	避難者数	26,826	1,500	10,326	15,000
9-1	住宅復興資金(億円)	63,851	31,622	3,502	28,727
9-2	建物がれき量(百万トン)	28	14	2	12
10-1	1km当たり道路被害箇所数	-	20.0	18.2	20.0
10-2	道路橋被害率(昭和45年以前)(%)	-	9.0	9.0	9.0
	(昭和46年以降)(%)	-	0.3	0.3	0.3
10-3	鉄道不通率(1日後)(%)	-	93.9	51.0	94.4

コード番号	季節
1	春・秋
2	夏
3	冬

表 4.1.13 地区別被害の算定様式の例（その 3）

1	地区名	合計	A地区	B地区	C地区
11-1	ダクトイル鑄鉄管／管径75mm以下	60	10	20	30
	ダクトイル鑄鉄管／管径100～450mm	60	10	20	30
	ダクトイル鑄鉄管／管径500～900mm	60	10	20	30
上水道の長さ(km)	ダクトイル鑄鉄管／管径1000mm以上	60	10	20	30
水道管の長さ(km)	鑄鉄管／管径75mm以下	60	10	20	30
	鑄鉄管／管径100～250mm	60	10	20	30
	鑄鉄管／管径300～900mm	60	10	20	30
	の 鑄鉄管／管径1000mm以上	60	10	20	30
長さ(km)	鋼管／管径75mm以下	60	10	20	30
	鋼管／管径100～250mm	60	10	20	30
	鋼管／管径300mm以上	60	10	20	30
	塩化ビニル管／管径75mm以下	60	10	20	30
	塩化ビニル管／管径100mm以上	60	10	20	30
	石綿セメント管／管径75mm以下	60	10	20	30
	石綿セメント管／管径100～250mm	60	10	20	30
	石綿セメント管／管径300mm以上	60	10	20	30
	長さ合計	960	160	320	480
11-2	上水道被害箇所数	4,958	988	973	2,997
11-3	上水道供給支障人口	139,599	29,924	9,922	99,753

表 4.2.1 波形データに発生する代表的なノイズとその検出方法

障害	内容	抽出方法 (各種窓の名称は図 4.1.5 及び図 4.1.6 に対応)	適用プロック			備考
			1	2	3	
ドリフト-1	最大値近傍のみのドリフト	最大値を境界とした 2 つの等長窓 $Td1$ 中の平均値の差と全波形の標準偏差の比 \geq 閾値	○	—		
ドリフト-2	データ全域に亘るドリフト	波形の先頭及び末尾の 2 つの等長窓 $Td2$ 中の平均値の差と全波形の標準偏差の比 \geq 閾値	○	○		
スパイク	ひげ状のノイズ	移動窓 Ts 中の最大絶対値及び標準偏差の比 \geq 閾値	○	○		地震動観測データ単位で実施
ハム	発振的なノイズ	設定窓 Th 中のフーリエスペクトル及び両対数領域の平滑化スペクトルの比 \geq 閾値	○	○		
一定値	連続的な一定値	移動窓 Tc 中の一定値継続時間 \geq 閾値	○	○		地震動観測データ単位で実施
過大値	異常に大きな値	移動窓 Tp 中の最大値 \geq 閾値	○	○		地震動観測データ単位で実施

表 4.2.2 伝送波形データが各地震動ロックを満足する時に算定する地震動収集データセット

アロック	アロック満足条件	必要パラメータ	地震動収集データセット	備考
1	リアルタイム観測データ中の最大値の更新が行われない時間が X1(sec)以上継続した時	X1(sec) 未更新継続時間	最大加速度	—
2	観測値が最大値の X2(%)を超過しない時間が X3(sec)以上継続した時	X2(%) 減衰程度 X3(sec) 減衰値継続時間	最大速度 最大変位 計測震度 SI値	速度時刻歴から抽出 変位時刻歴から抽出 加速度時刻歴から算定 速度応答スペクトルから算定
3	観測データの取得を終了した時	加速度時刻歴	—	—

表 4.2.3 地震発生のパターンと想定発生頻度

パターン	地震発生のパターン	想定発生頻度	システム対応	備考
1	同一時間帯で単独の地震が発生	多	○	—
2	同一時間帯で多重震源を持つ地震が発生	少	○	対象領域内で条件付き対応
3	同一時間帯で無関係に複数の地震が発生(観測データが重なる場合)	極少	—	観測データの分離が困難
4	同一時間帯で無関係に複数の地震が発生(観測データが重ならない場合)	極少	—	地震毎のデータ管理が複雑

表 4.2.4 地震情報緊急伝達システムの機器構成

機 器	機 種	メー カ	オ プ シ ョ ン	組 込 ヨ フ ト ウ エ ト	設 置 場 所
強震計	RTS-2	アシ	—	—	那珂研制御棟 037 号室 及びドライエア
	K-NET95	アシ	RS-422 逐次出力	—	大洗研テストベット
	K-NET95	アシ	—	—	東海研 NSRR 棟 L-105 号室床下ビット
ワクスステーション	433au	日本 DEC	—	地震動収集サーバシステム 震源・地震動ハルマータ推定サーバシステム 地震情報発信・利用サーバシステム(発信部) 地震動観測データ表示ログラム	東海研安工棟 614 号室
PC	Ultra10	日本サン・マイクロシステムズ	—	地震情報発信・利用サーバシステム(受信部・表示部)	東海研安工棟 614 号室
	G6-233	GATEWAY	RS-422 ボート	地震動伝送サーバシステム(伝送制御部)	大洗研地震観測小屋
	G6-233	GATEWAY	—	地震動伝送サーバシステム(準備)マック(公部)	東海研安工棟 614 号室
モード	Latitude CPi	デル・コンピュータ	—	地震動伝送サーバシステム簡易ミューラ	東海研安工棟 614 号室
	Solo 5150	GATEWAY	—	地震動推定データセット表示ログラム	東海研安工棟 614 号室
	RT80i	YAMAHA	—	—	大洗研テストベット
モニタ	RT140i	YAMAHA	—	—	東海研安工棟 614 号室
	M8815T	CentreCOM	—	—	東海研安工棟 614 号室
	MS56KEF-W	サン電子	—	—	東海研安工棟 614 号室

表 4.3.1 地震情報緊急伝達システムの機器構成

機 器	機 種	メー カ	オブ シヨン	組 込 ソフ トウ エ ア	設 置 場 所
強震計	RTS-2	アカシ	—	—	那珂研制御棟 037 号室 及びドライビル
K-NET95	アカシ	RS-422 逐次出力	—	—	大洗研テストベット
K-NET95	アカシ	—	—	—	東海研 NSRR 棟 L-105 号室床下ピット
ワームステーション	433au	日本 DEC	—	地震動収集サブシステム 震源・地震動パラメータ推定サブシステム	東海研安工棟 614 号室
				地震情報発信・利用サブシステム(発信部)	
				地震動観測データ表示プロダクト	
	Ultra10	日本サン・マイクロシステムズ	—	地震情報発信・利用サブシステム(受信部・表示 部)	東海研安工棟 614 号室
PC	G6-233	GATEWAY	RS-422 ハード	地震動伝送サブシステム(伝送制御部)	大洗研地盤観測小屋
	G6-233	GATEWAY	—	地震動伝送サブシステム(準リアルタイム部)	東海研安工棟 614 号室
	Latitude CPi	デル・コンピュータ	—	地震動伝送サブシステム簡易ビューフォード	東海研安工棟 614 号室
	Solo 5150	GATEWAY	—	地震動推定データセット表示ログラム	東海研安工棟 614 号室
モニタータ	RT80i	YAMAHA	—	—	大洗研テストベット
	RT140i	YAMAHA	—	—	東海研安工棟 614 号室
モニタ	M8815T	CentreCOM	—	—	東海研安工棟 614 号室
モニタ	MS56KEF-W	サン電子	—	—	東海研安工棟 614 号室

表 4.3.2 試験用地震計ネットワークの設定例

NO	パラメータ	単位	動作	設定	
				K-NET/RT	RTS-2 那珂研
1	起動レベル	gal	観測値が起動レベルを上回った時地震と判定	1.0 大洗研	1.0 東海研
2	遅延時間	秒	データ送信時に起動レベルを上回った時刻から溯る時間	15.0 太洋研	15.0 那珂研
3	最小記録時間	秒	データを送信・記録する最小時間	90.0 大洗研	60.0 東海研
4	終了レベル	gal	観測値が終了レベルを下回った時地震終了処理を開始	1.0 大洗研	1.0 那珂研
5	送信終了時間	秒	終了レベルを下回った時刻からデータ送信を継続する時間	0.0 太洋研	0.0 東海研
6	パケット出力間隔	m 秒	観測データのパケットを出力する間隔	800.0 大洗研	800.0 那珂研

表 4.3.3 土質及び地質の物性値

土 質・地 質 名		記 号	想 定 物 性 値				備 考
			N 値	平均 N 値	γ (g/cm ³)	V _s (m/s)	
沖 積 層	盛土	B ₁	0~10 (一部 10 以上有)	3	1.5	110	ローム層を含む土砂(主に常総台地及び周辺部)
		B ₂	0~10 (一部 10 以上有)	3	1.6	120	砂層を含む土砂(主に鹿島台地及び周辺部)
	有機質土	A _p	0~1	1	1.1	80	後背湿地
	粘性土	A _{c1}	0~3	1	1.4	130	有楽町層等
		A _{c2}	4~15	5	1.6	170	七号地層等
	砂質土	A _{s1}	10 以下	5	1.7	160	
		A _{s2}	11~30	20	1.8	200	
		A _{s3}	31 以上	40	1.9	240	砂丘・利根川下部砂層等
	礫質土	A _{x1}	30 以下	20	2.0	230	
		A _{x2}	30 以上	50	2.1	300	
洪 積 層	崩壊土・崖錐	d _t	10~50	20	1.8	250	山間部の崖錐等 礫混じり土砂
	関東ローム	L _m	1~6	3	1.4	170	
	粘性土	D _{c1}	2~10	4	1.6	190	
		D _{c2}	11~30	15	1.7	270	
	砂質土	D _{s1}	20 以下	10	1.8	200	
		D _{s2}	21~50	30	1.8	270	
		D _{s3}	50 以上	50	1.9	350	
	礫質土	D _x	40 以上	50	2.1	450	
	区分不能な上部更新統	D	20 以上	30	1.9	350	
	下部下総層群相当層	D _u	40 以上	50	2.1	450	下総層群下部～上総層群上部相当
洪 積 層・第三紀層	上総層群相当層	K	50 以上	—	2.0	700	下部更新統
	新第三系堆積岩	T ₀			1.9	250	
		T ₁			2.0	500	
		T ₂			2.2	1200	多賀層群・三浦層群相当
	新第三系火山岩	V ₀			2.0	300	
		V ₁			2.0	500	
		V ₂			2.2	1500	
	基盤岩類	G ₀			2.0	300	
		G ₁			2.2	800	
		G ₂			2.5	3000	
変成岩類	強風化	M ₀			2.0	300	
	風化	M ₁			2.2	800	
	新鮮	M ₂			2.5	3000	
	新鮮	M ₂			2.5	3000	

注) □は深い地盤の分類

表 4.3.4 液状化対象層となる土質の液状化予測のための物性値

土質・地質名		記号	想定物性値					
			N値	平均N値	γ (g/cm ³)	V _s (m/s)	D ₅₀ (mm)	F _c (%)
沖積層	盛土	B ₁	0~10 (一部 10 以上有)	3	1.5	110	—	—
		B ₂	0~10 (一部 10 以上有)	3	1.6	120	0.26	5.6
	有機質土	A _p	0~1	1	1.1	80	—	—
	粘性土	A _{c1}	0~3	1	1.4	130	—	—
		A _{c2}	4~15	5	1.6	170	—	—
	砂質土	A _{s1}	10 以下	5	1.7	160	0.14	26.4
		A _{s2}	11~30	20	1.8	200	0.17	15.6
		A _{s3}	31 以上	40	1.9	240	0.17	12.4
	礫質土	A _{d1}	30 以下	20	2.0	230	4.27	4.0
		A _{d2}	30 以上	50	2.1	300	3.95	4.3
	崩壊土・崖錐	d _t	10~50	20	1.8	250	—	—
洪積層	関東ローム	L _m	1~6	3	1.4	170	—	—
	粘性土	D _{c1}	2~10	4	1.6	190	—	—
		D _{c2}	11~30	15	1.7	270	—	—
	砂質土	D _{s1}	20 以下	10	1.8	200	0.15	33.7
		D _{s2}	21~50	30	1.8	270	—	—
		D _{s3}	50 以上	50	1.9	350	—	—
	礫質土	D _d	40 以上	50	2.1	450	—	—

表 4.3.5 事前予測地震動分布を算定する想定地震の断層パラメータ

断層パラメータ		想定地震	塩屋崎沖地震	霞ヶ浦地震	筑波山東方 リニアメント	鉛直下方地震
基準点	北緯(度)	36.93	36.27	36.36	—	
	東経(度)	142.05	140.67	140.23	—	
	深さ(km)	20	40	1	15	
断層形状	走向(度)	N200E	N180E	N270E	NOE	
	傾斜(度)	10	15	90	0	
	すべり(度)	95	90	180	0	
断層規模	長さ(km)	100	48	15	5	
	幅(km)	60	40	15	5	
	地震モーメント(N·m)	7.0×10^{20}	8.0×10^{19}	1.0×10^{19}	1.8×10^{18}	
破壊開始点 位置	走向方向	中央	南端	中央	中央	
	深さ方向	中央	やや深部	中央	中央	
アスペリティモデル		未考慮	未考慮	未考慮	未考慮	
平均応力降下量(bar)		33	50	50	50	
立ち上がり時間(秒)		3.9	1.9	0.94	0.53	

表 4.3.6 増幅率関数モデル

増幅率関数 モデル番号	鉛直アレー観測点	地盤種別	伝達関数の 卓越周期(秒)	Tg(秒)	平均S波速度		
					10(m)	20(m)	30(m)
1	日本原子力研究所大洗研究所	硬質地盤	0.108	0.100	290.5	391.0	427.3
2	k-net(出水)		0.054	0.052	392.6	446.3	464.2
3	東京大学生産技術研究所千葉実験所	標準地盤	0.148	0.380	230.0	275.0	310.0
4	関西電力(株)総合技術研究所		0.439	0.515	138.6	188.8	245.1
5	大阪ガス(株)複合供給所		0.258	0.208	197.0	261.5	291.0
6	k-net(阿久根)		0.636	0.539	187.6	173.9	242.6
7	東京電力(株)新富士変電所		0.272	0.320	164.1	266.9	334.6
8	清水建設(株)剣路営業所		0.726	0.404	187.0	234.0	254.0
9	k-net(川内)	軟弱地盤	0.587	0.694	167.2	198.6	209.1
10	六甲アイランド		1.371	0.580	360.0	360.0	325.0
11	ポートアイランド		1.170	0.763	174.1	192.0	194.2
12	東京電力(株)新太田変電所(建設予定地)		0.501	0.602	89.5	198.1	280.9
13	剣路港湾建設事務所		0.972	0.717	256.7	291.4	288.7

表 4.3.7 適用地域の表層地盤モデルへの増幅率関数モデルの割り当て

	表層地盤モデルの特性	条件 3	增幅率関数モデル番号
条件 1	条件 2	条件 3	
$T_g = 0.0(s) (N \geq 50)$	—	—	—(工学基礎)
$T_g \leq 0.2(s)$	—	—	1
$0.2(s) \leq T_g < 0.4(s)$	AVS(10)と AVS(30)の差が大 AVS(10)と AVS(30)の差が小	— 0.2(s) $\leq T_g < 0.3(s)$ 0.3(s) $\leq T_g < 0.4(s)$	7 5 3
$T_g \geq 0.4(s)$	AVS(10) $> AVS(20)$ となる中間層が存在 伝達関数 T_{cal} が T_g より明らかに大 伝達関数 T_{cal} と T_g の差が小	— — —	6 8 4
$0.4(s) \leq T_g < 0.6(s)$	—	—	9
$0.6(s) \leq T_g < 0.8$	—	—	11
$T_g \geq 0.8(s)$	—	—	11

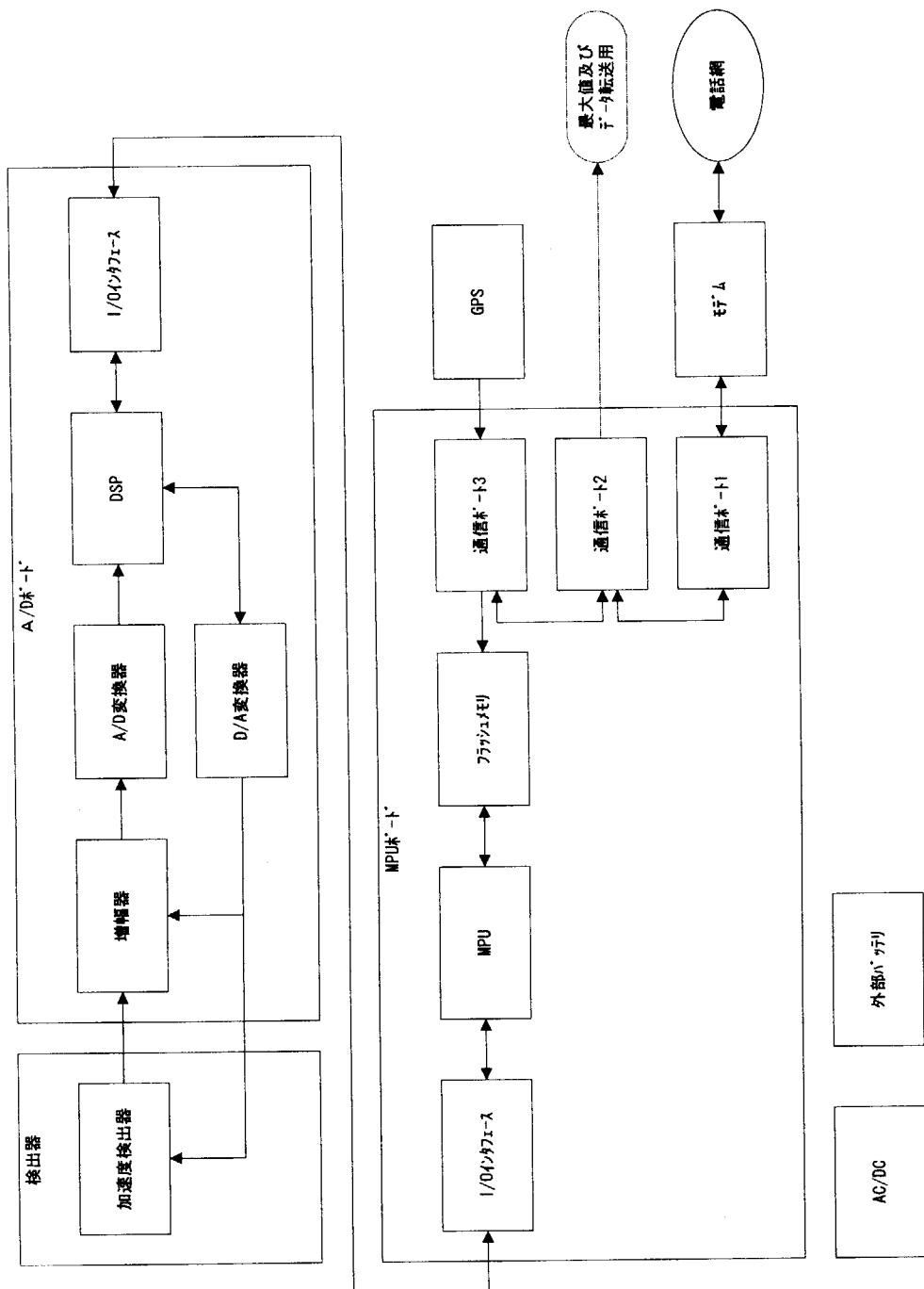


図 4.1.1 強震計 K-NET95 の処理フロー

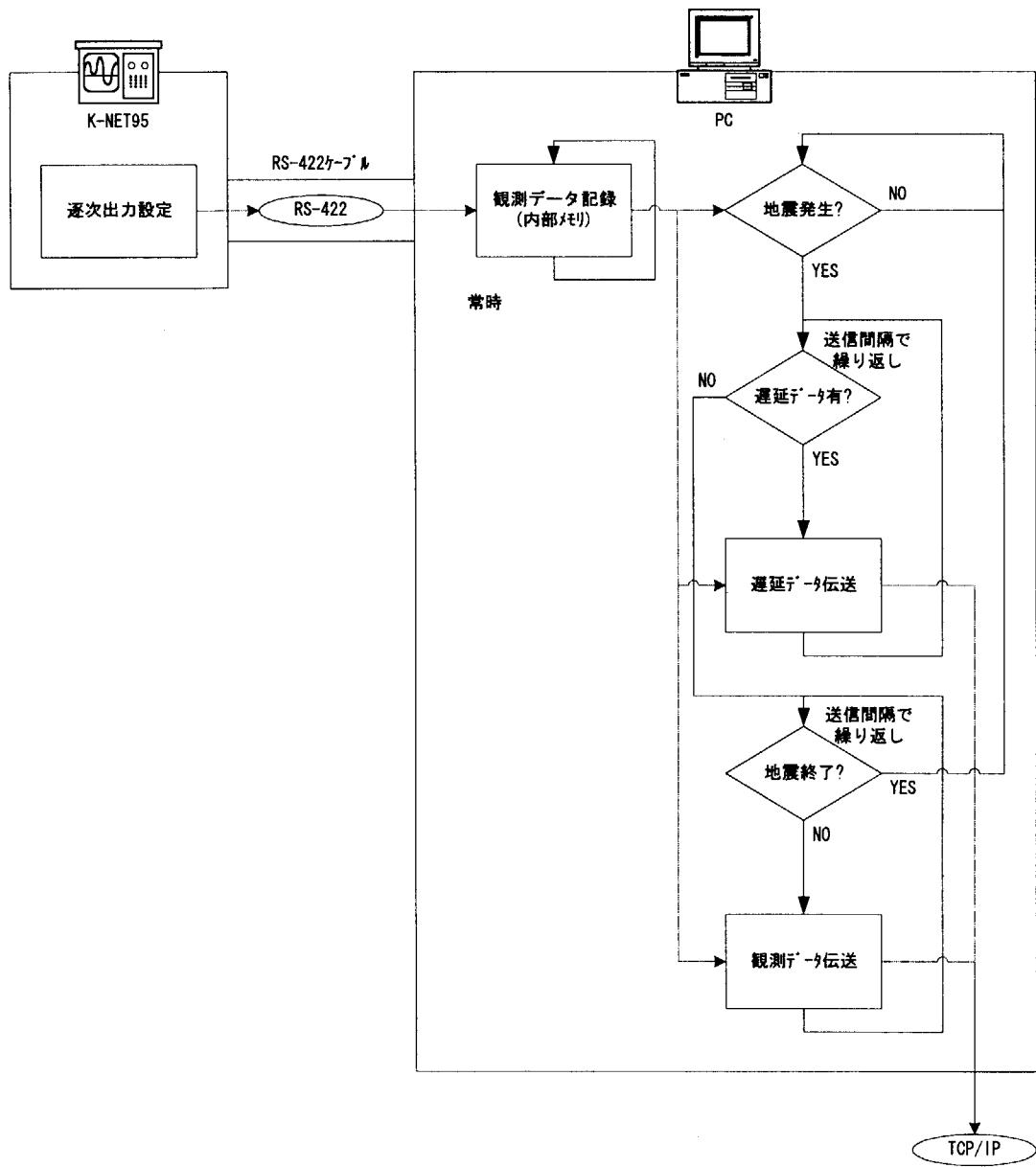


図 4.1.2 リアルタイム地震計 K-NET/RT の処理フロー

項目	アドレス
パケット種別	1
データ種別	2
サブ名(3Byte ASCII)	3-6
サブ番号(3Byte ASCII)	7-9
時刻(年月日時分秒各1バイト)	10-15
サンプリング周波数	16-17
計測震度	18-19
P波立ち上がり時刻	20-21
S波立ち上がり時刻	22-23
フルスケール	24-29
最大加速度	30-37
地震波形データ (1秒分のデータを3成分1組として設定)	38-936

図 4.1.3 K-NET/RT のパケットフォーマット (RTS フォーマット)

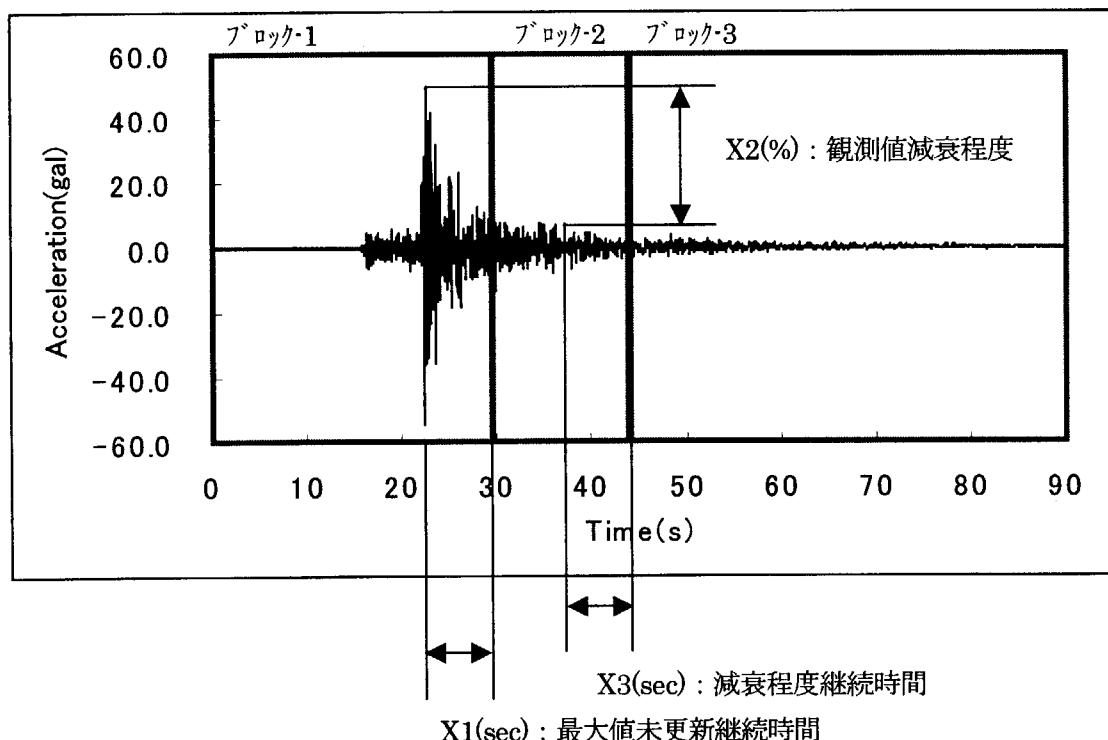
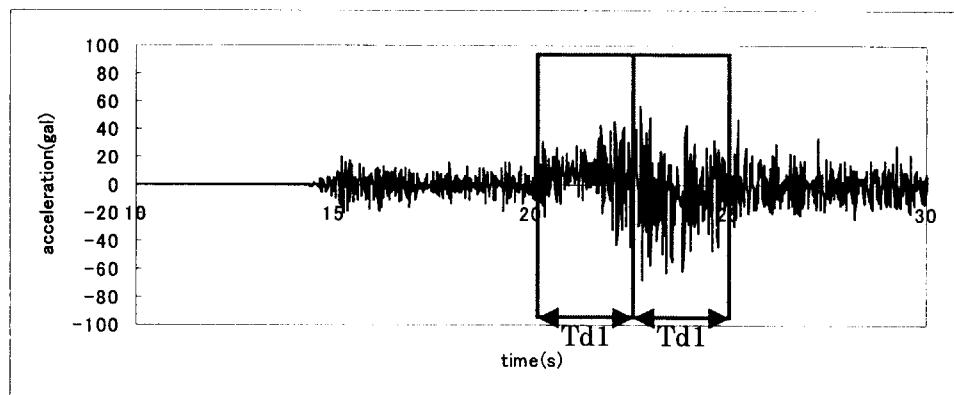
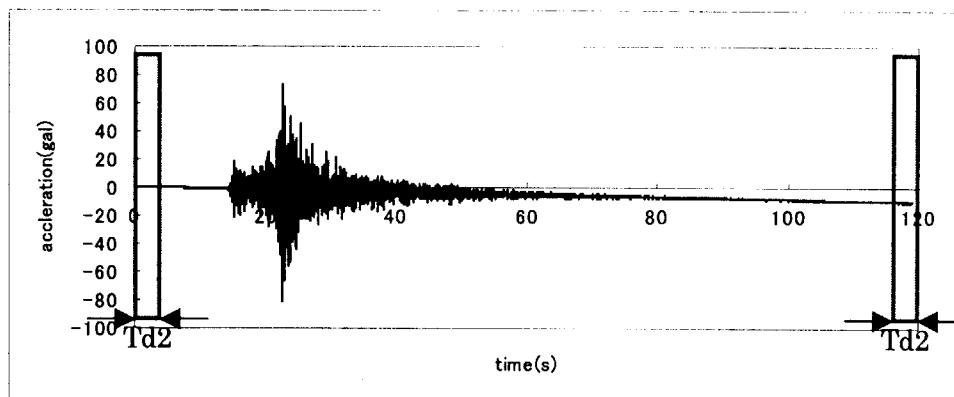


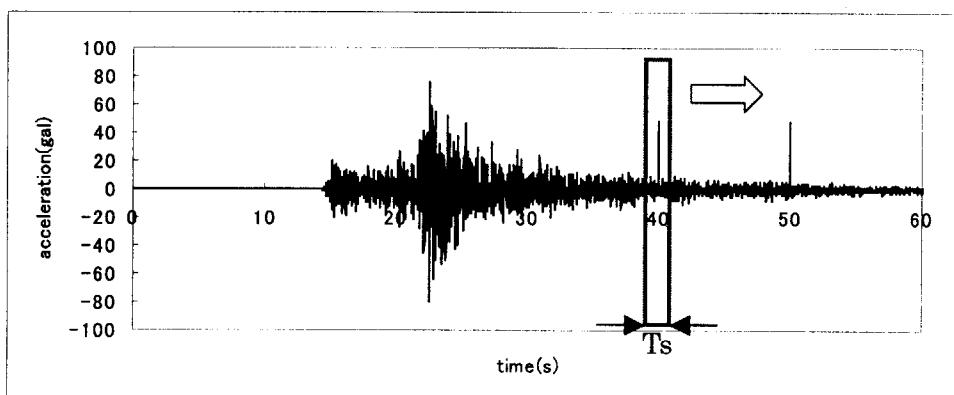
図 4.1.4 全波形データのブロック分割



(a) ドリフトー1 (最大値近傍のみのドリフト)
(正常な観測波形にドリフト成分を付加)

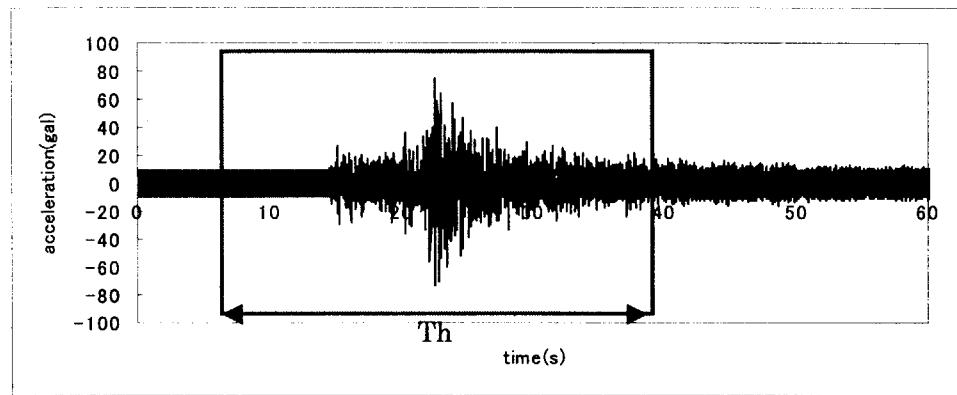


(b) ドリフトー2 (データ全域に亘るドリフト)
(正常な観測波形にドリフト成分を付加)

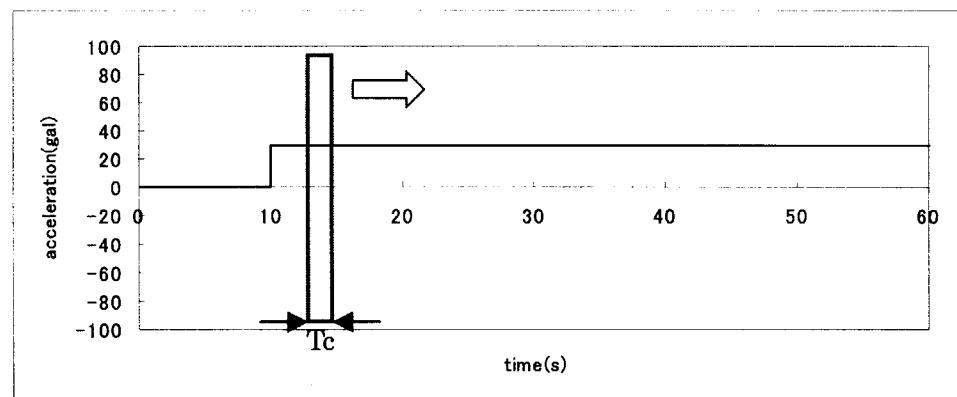


(c) スパイク (ひげ状のノイズ)
(正常な観測波形にスパイク成分を付加)

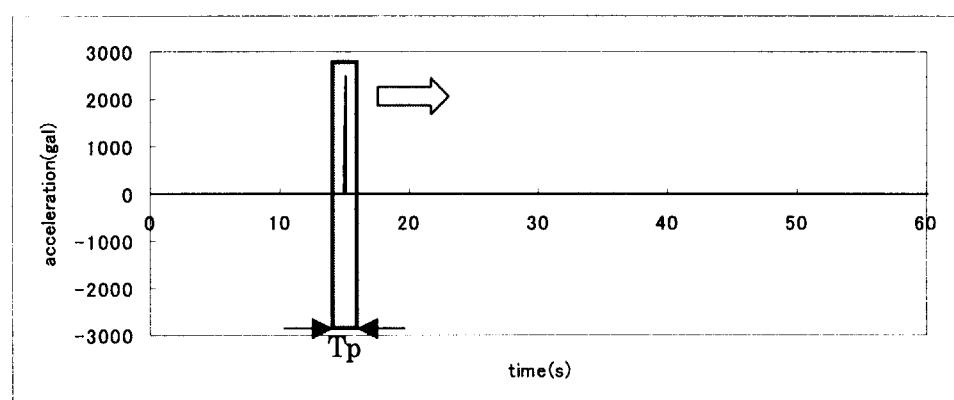
図 4.1.5 波形データに発生する代表的なノイズとその検出方法 (1)



(d) ハム（発振的なノイズ）
(正常な観測波形にハム成分を付加)



(e) 一定値



(f) 過大値

図 4.1.6 波形データに発生する代表的なノイズとその検出方法 (2)

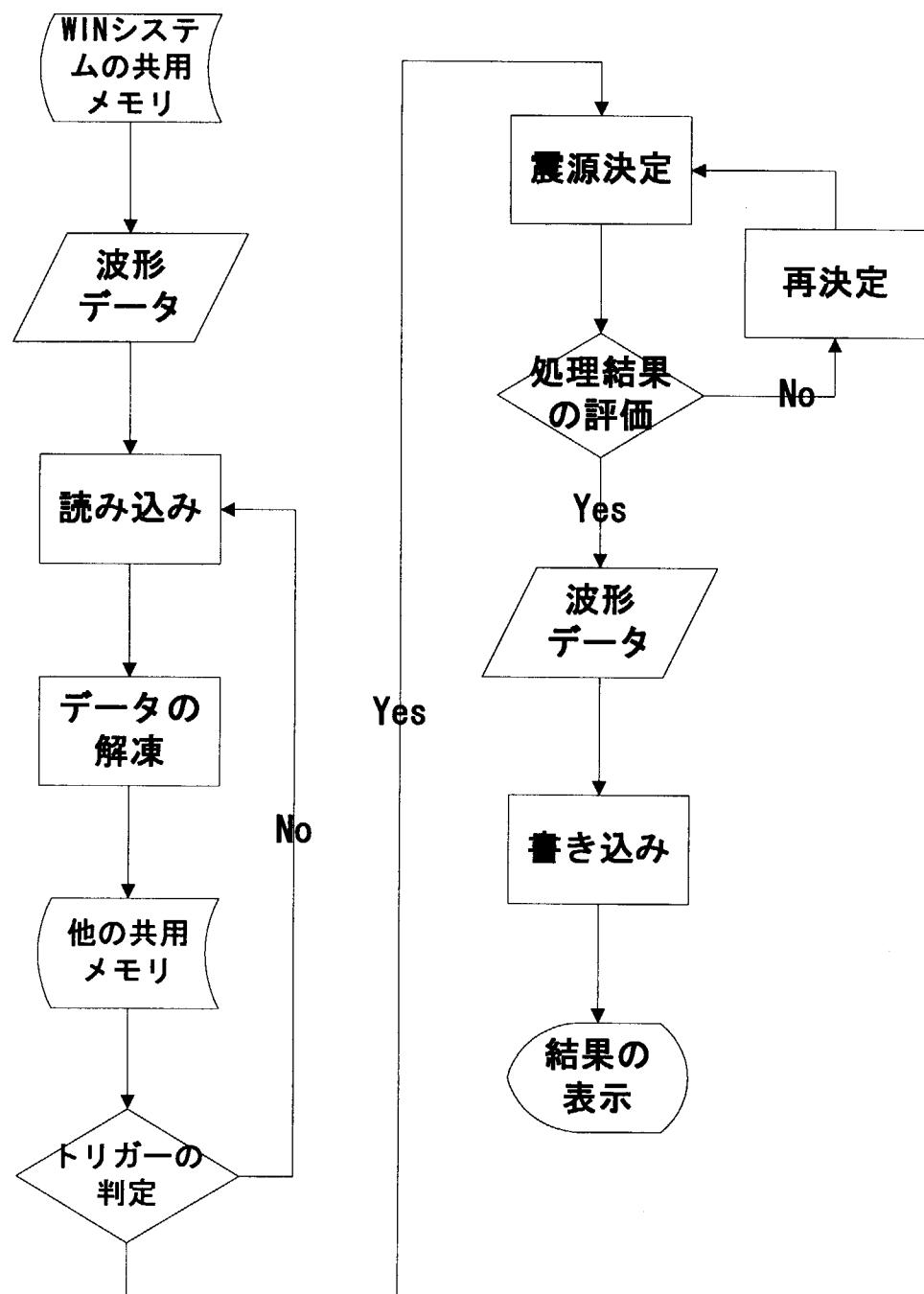


図 4.1.7 自動震源決定処理システムのフロー図

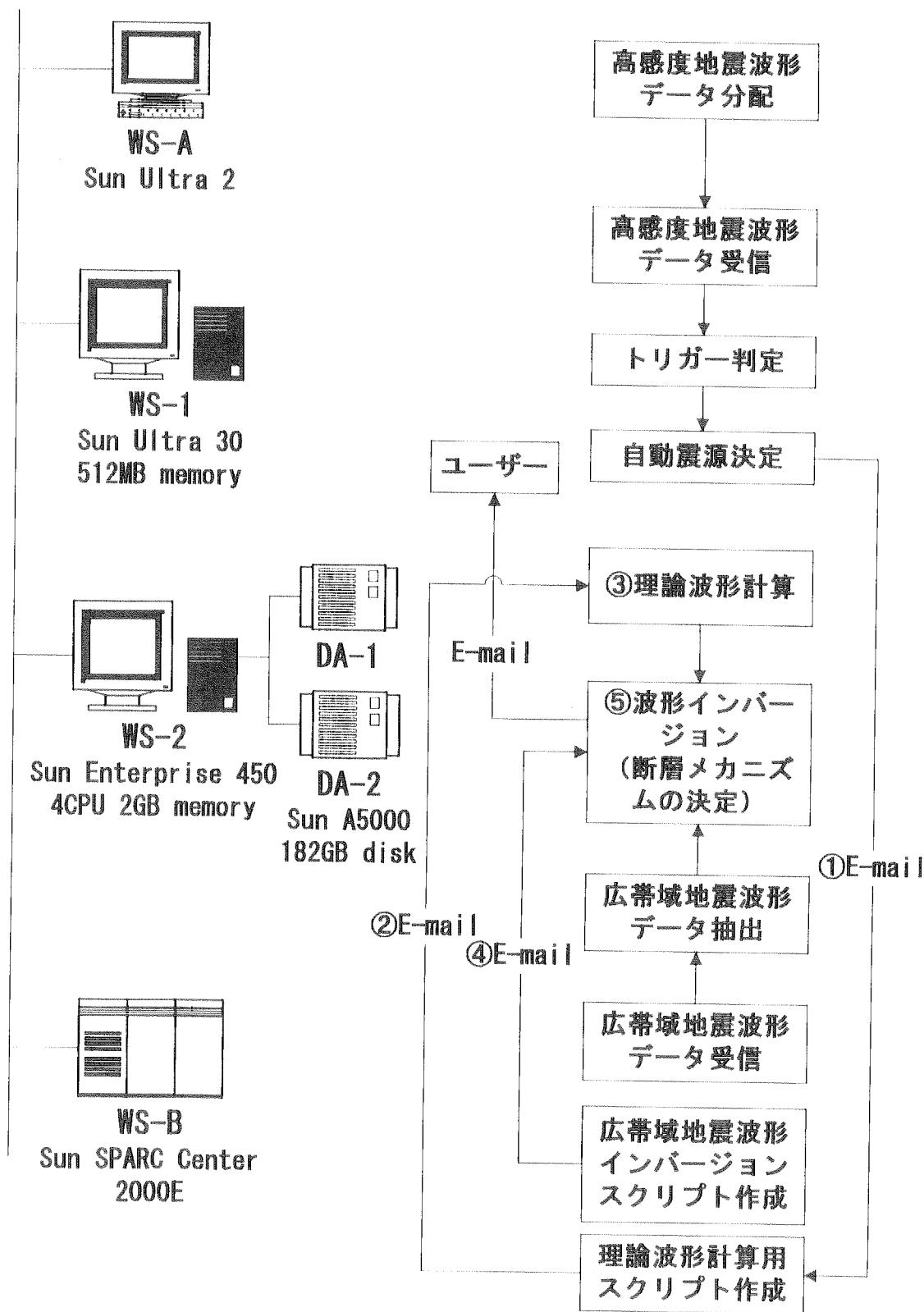


図 4.1.8 断層パラメータ自動推定システム構成と処理フロー

**1998/04/05,10:53:55 Mn=4.5 Dep=5km
AKAISHI MOUNTAINS REG**

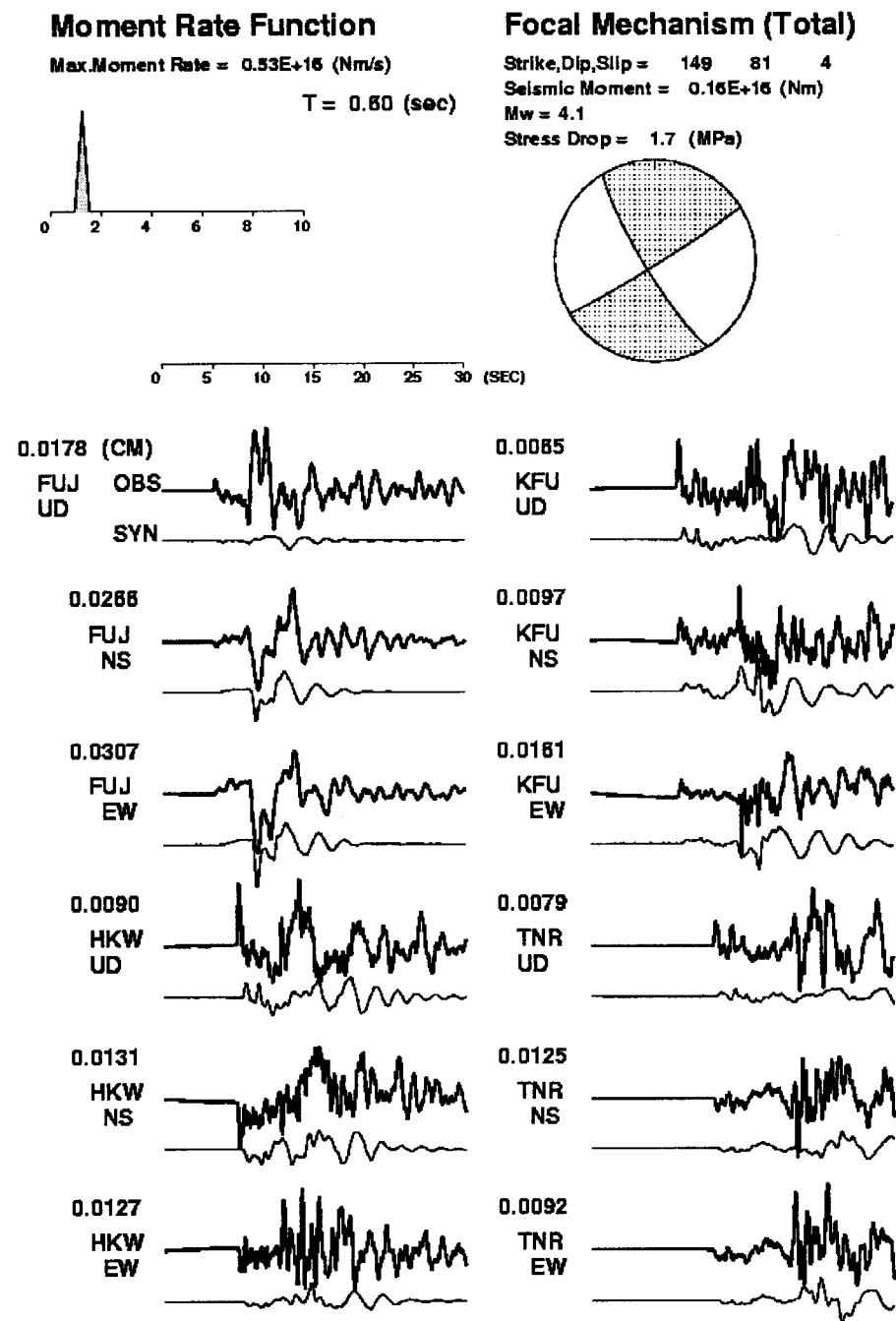


図 4.1.9 処理結果例（震源時間関数、断層メカニズム解、観測波形と理論波形）

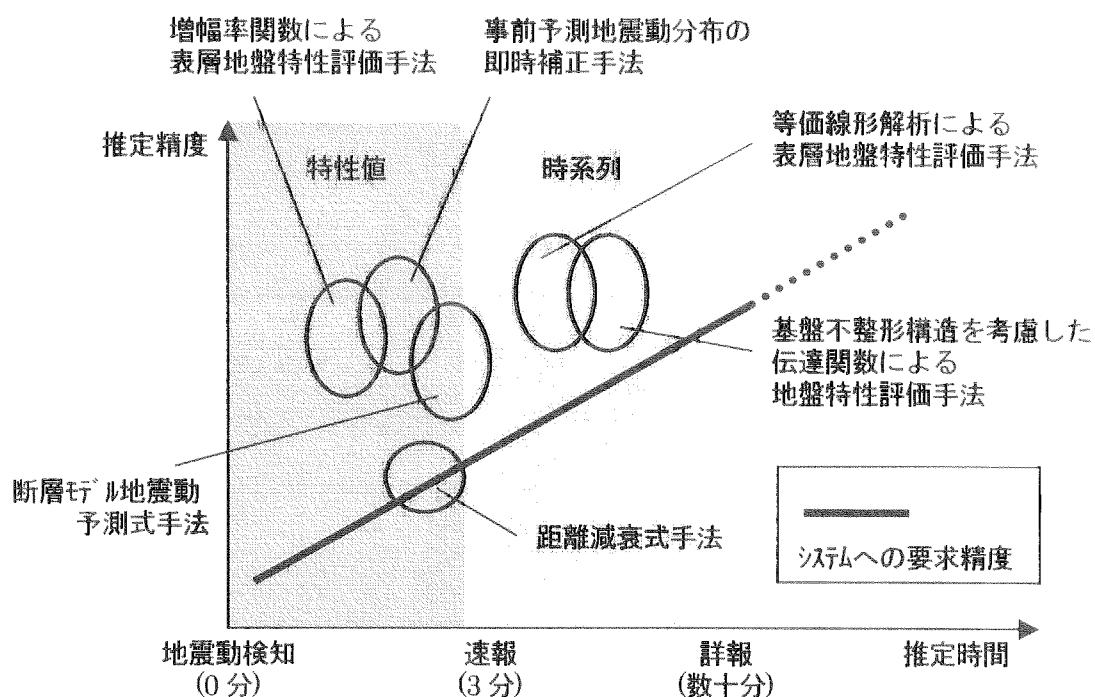


図 4.1.10 推定手法の項目・時間・精度の相互関係を考慮した位置付け

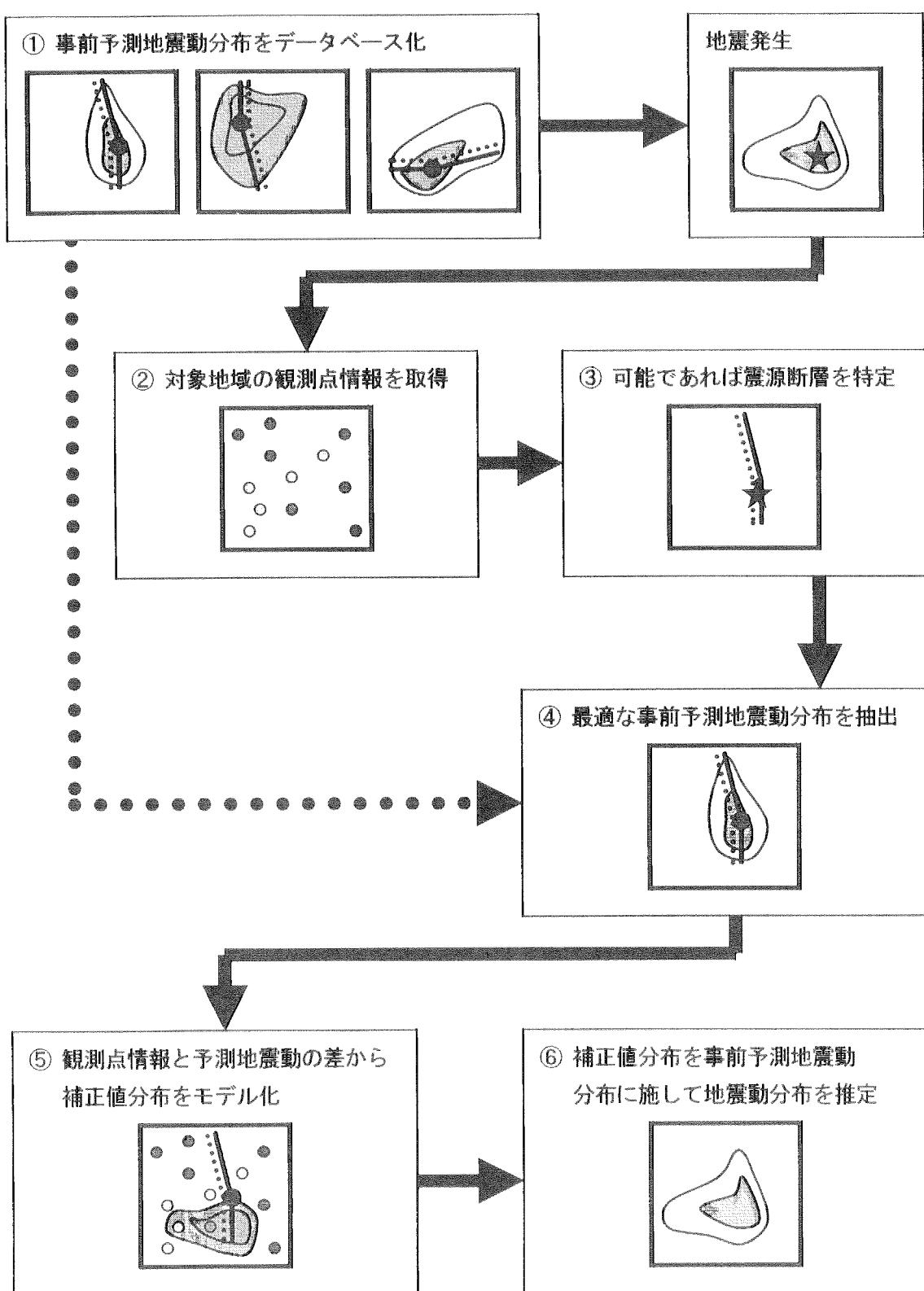


図 4.1.11 事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法の概略

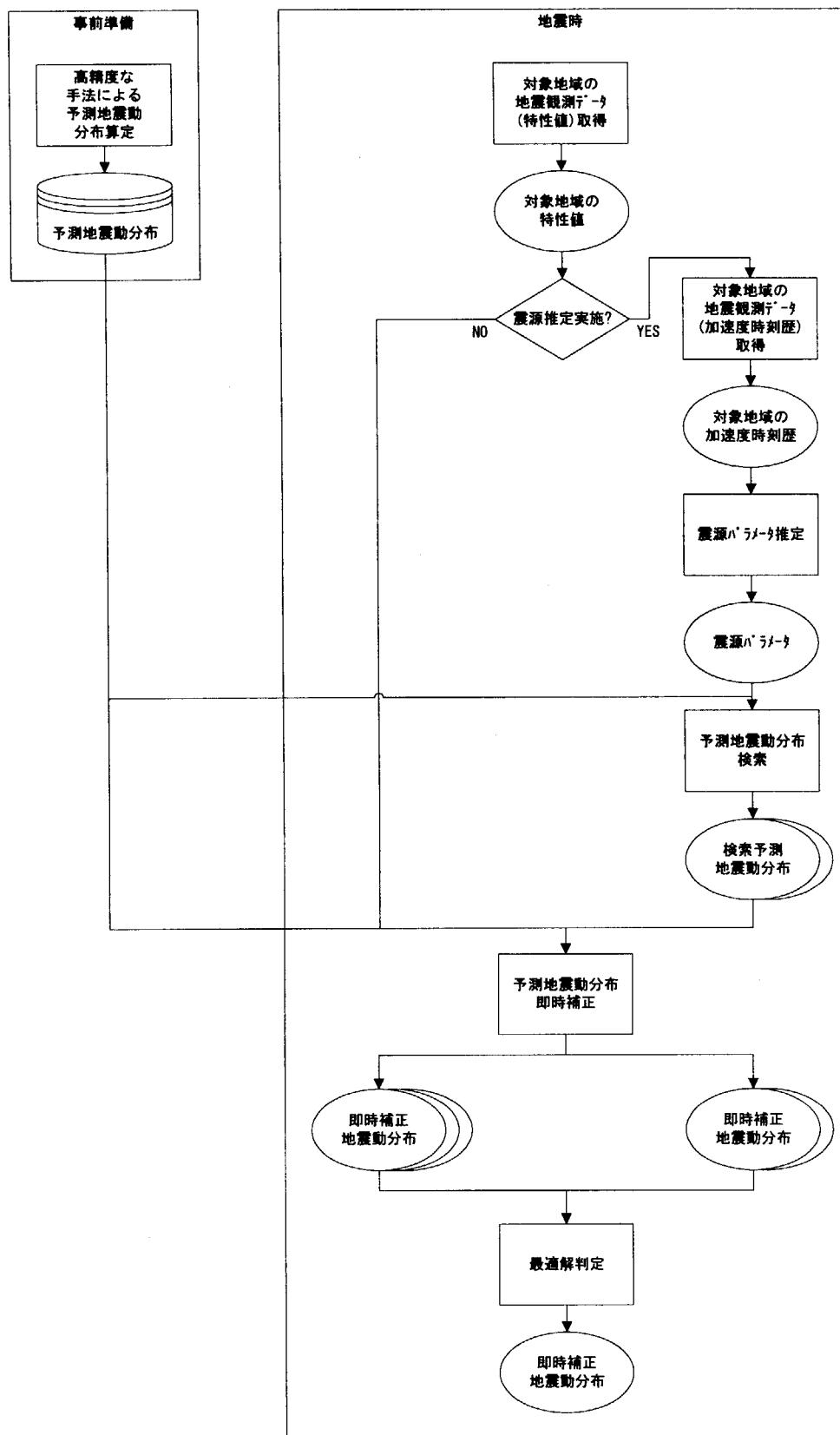


図 4.1.12 事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法の処理フロー

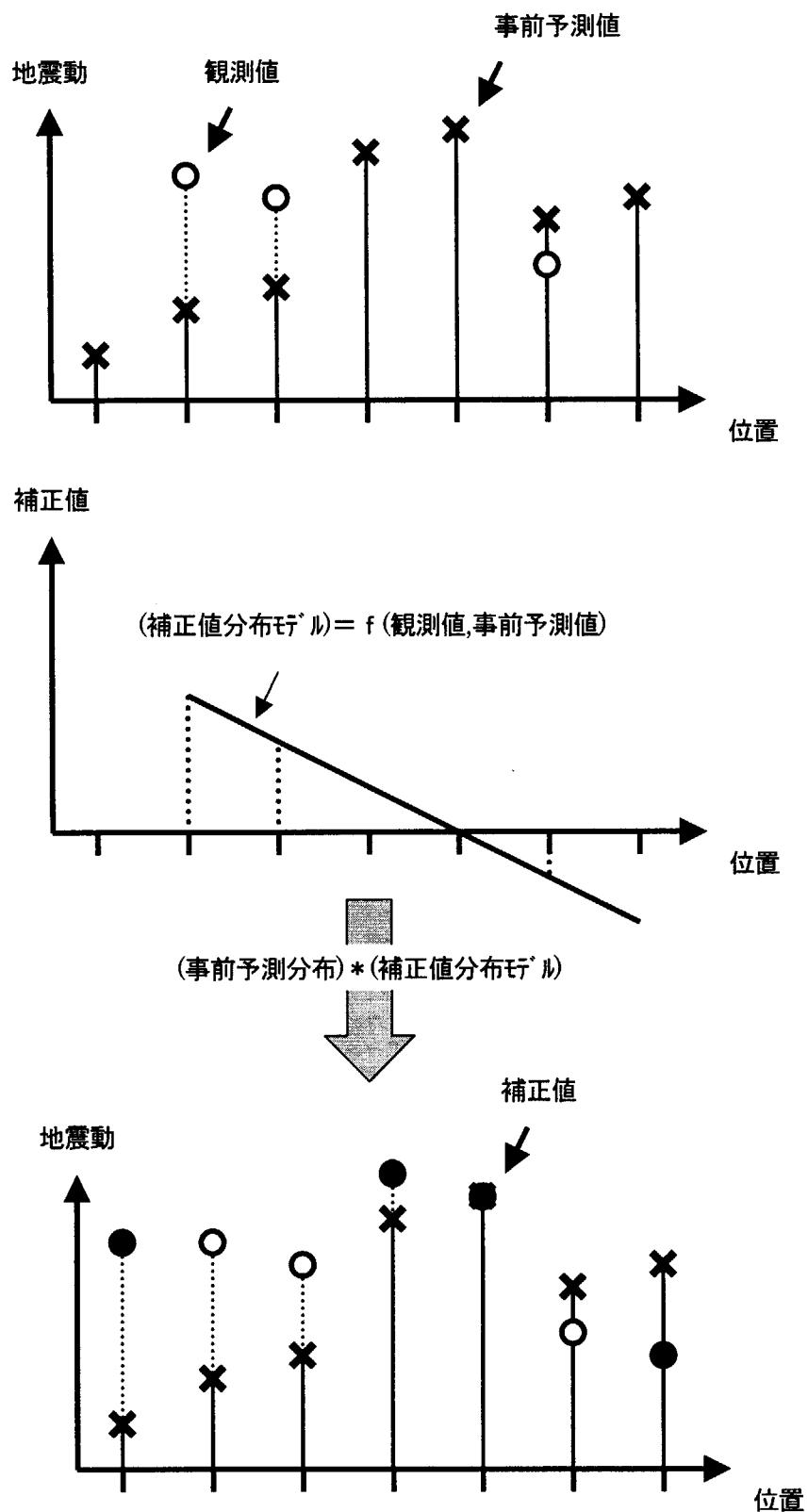


図 4.1.13 補正值分布モデルを用いた事前予測地震動分布の補正の概念

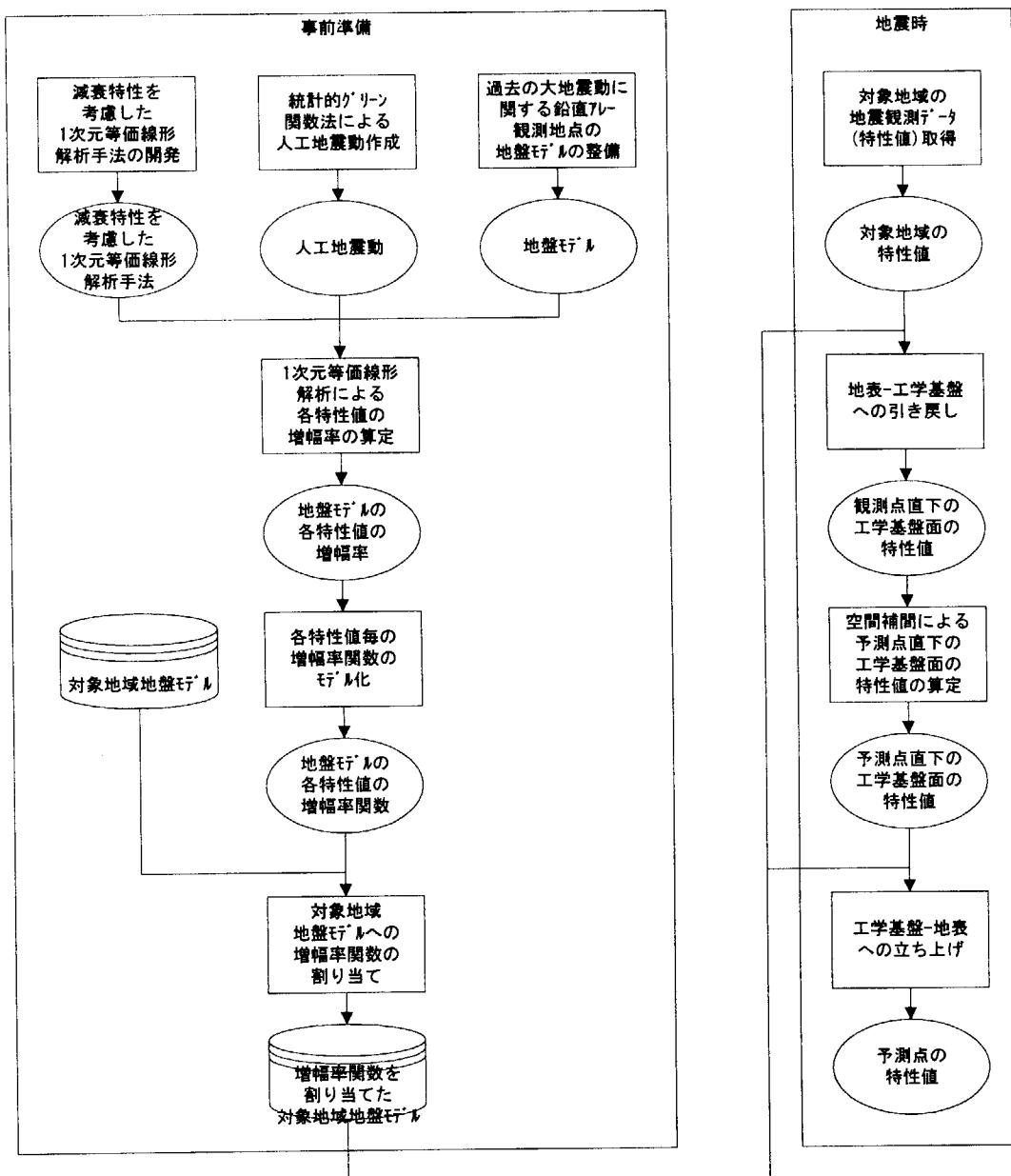
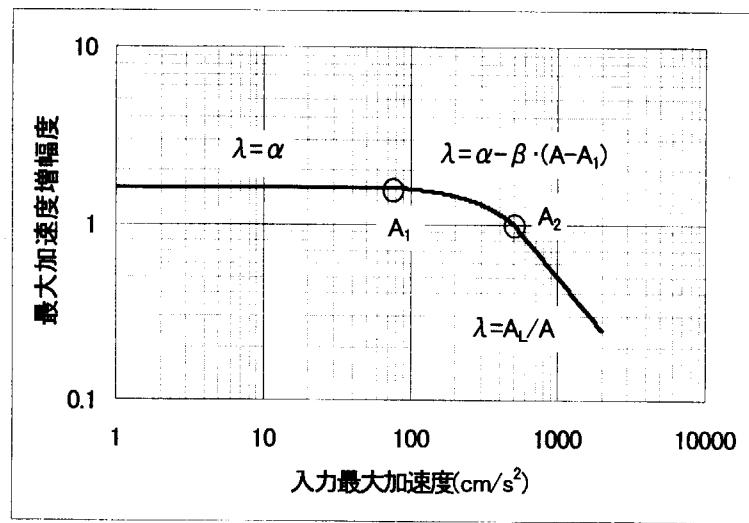
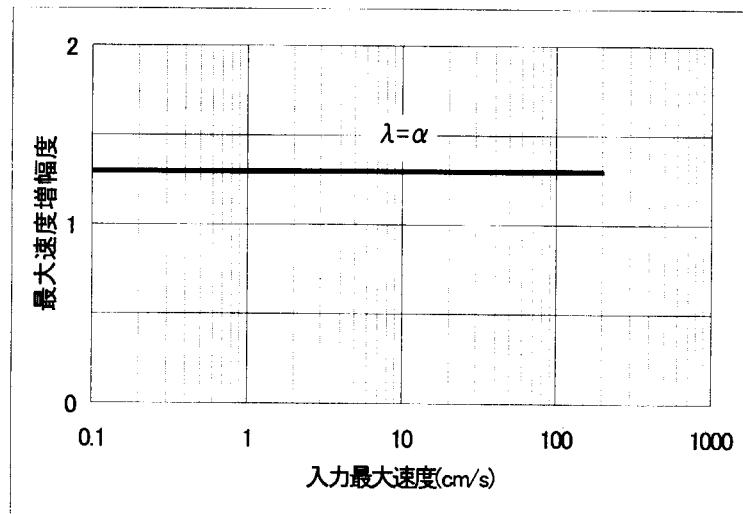


図 4.1.14 増幅率関数による表層地盤特性評価手法の処理フロー



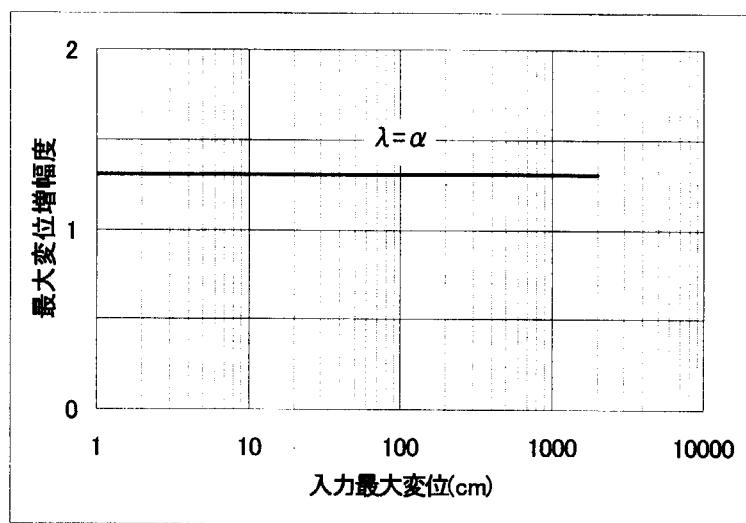
$$\begin{aligned}\lambda &= \alpha && (A \leq A_1) \\ \lambda &= \alpha - \beta \cdot (A - A_1) && (A_1 \leq A \leq A_2) \\ \lambda &= \frac{A_1}{A} && (A_2 \leq A)\end{aligned}$$

図 4.1.15 最大加速度の増幅率関数モデル



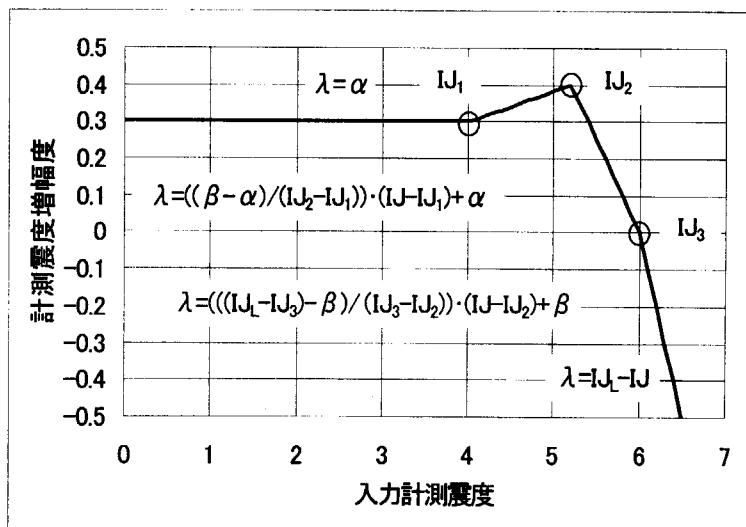
$$\lambda = \alpha \quad (A \leq A_1)$$

図 4.1.16 最大速度の増幅率関数モデル



$$\lambda = \alpha \quad (A \leq A_1)$$

図 4.1.17 最大変位の増幅率関数モデル



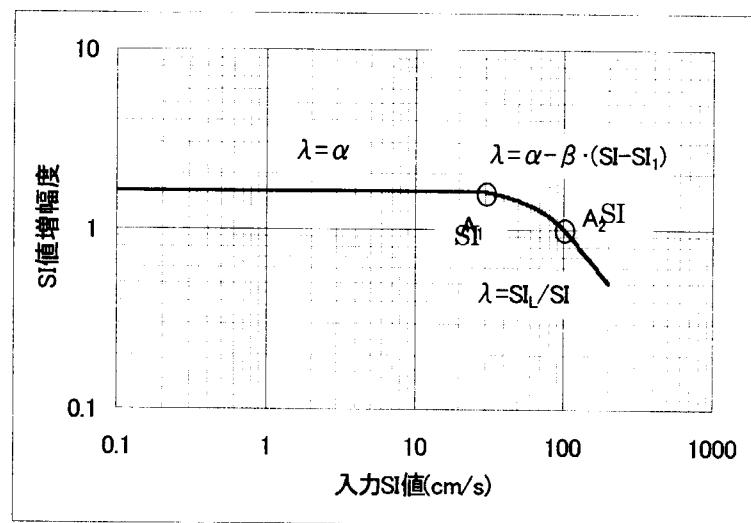
$$\lambda = \alpha \quad (IJ \leq IJ_1)$$

$$\lambda = \frac{(\beta - \alpha)}{(IJ_2 - IJ_1)} \cdot (IJ - IJ_1) + \alpha \quad (IJ_1 \leq IJ \leq IJ_2)$$

$$\lambda = \frac{\{(IJ_L - IJ_3) - \beta\}}{(IJ_3 - IJ_2)} \cdot (IJ - IJ_2) + \beta \quad (IJ_2 \leq IJ \leq IJ_3)$$

$$\lambda = IJ_L - IJ \quad (IJ_3 \leq IJ)$$

図 4.1.18 計測震度の増幅率関数モデル



$$\begin{aligned} \lambda &= \alpha && (SI \leq SI_1) \\ \lambda &= \alpha - \beta \cdot (SI - SI_1) && (SI_1 \leq SI \leq SI_2) \\ \lambda &= \frac{SI_L}{SI} && (SI_2 \leq SI) \end{aligned}$$

図 4.1.19 SI 値の增幅率関数モデル

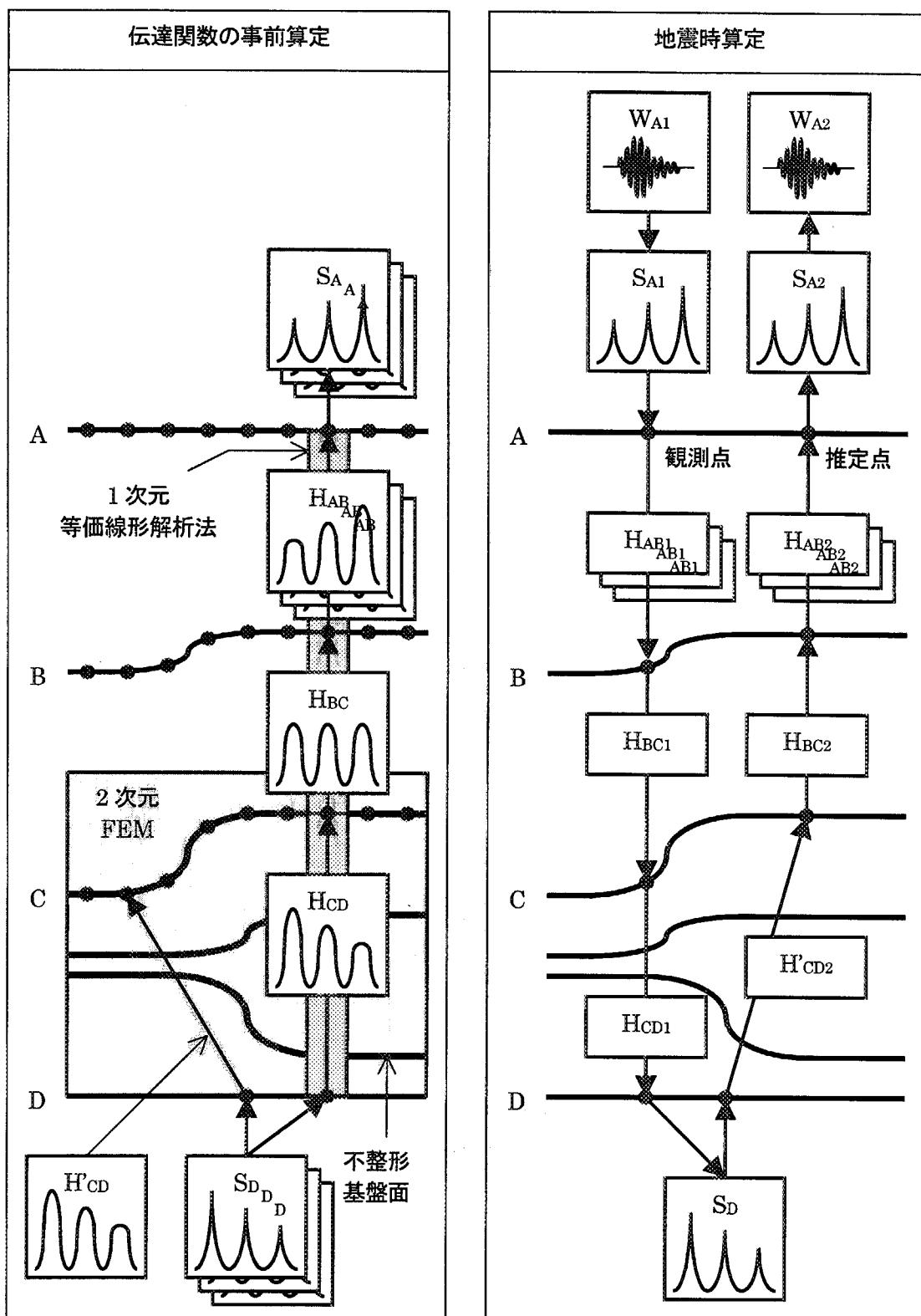


図 4.1.20 基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法の概略

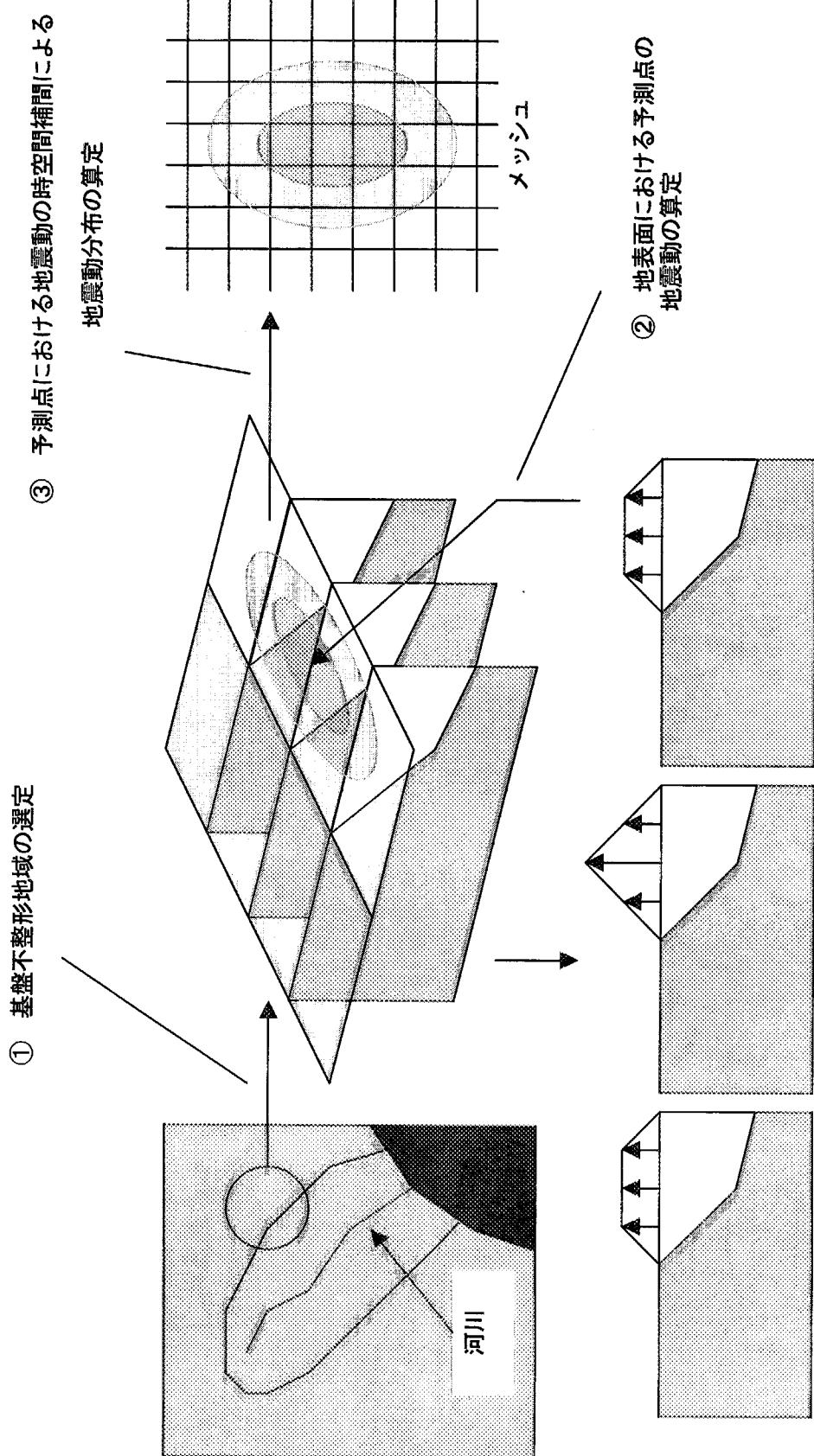


図 4.1.21 基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法の適用の概念

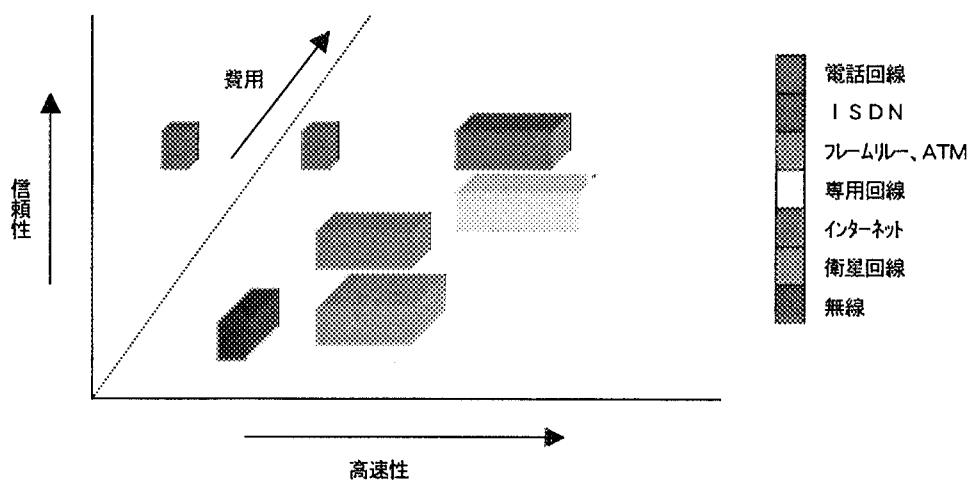


図 4.1.22 通信媒体の比較

This is a blank page.

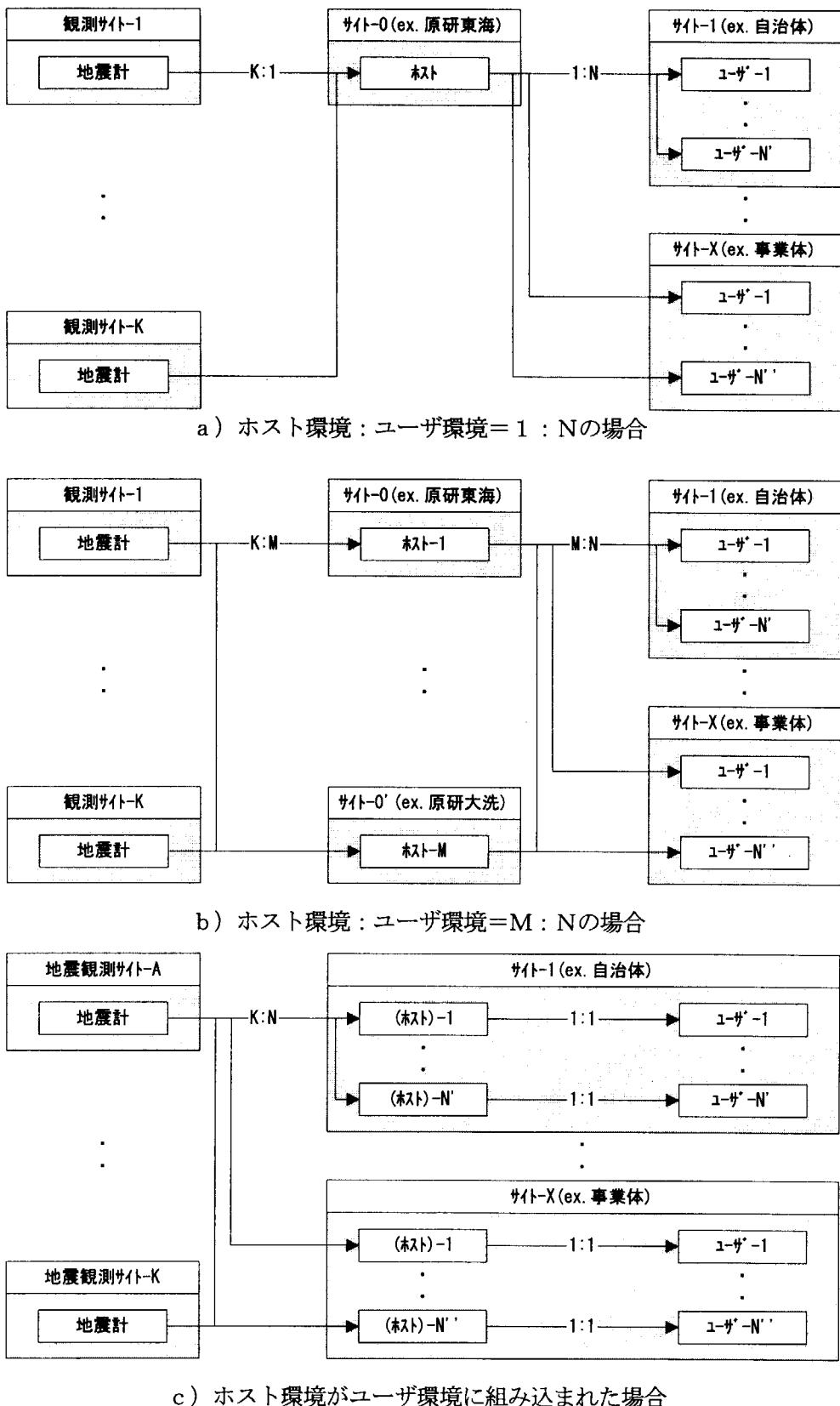


図 4.1.23 ホスト環境とユーザ環境の関係

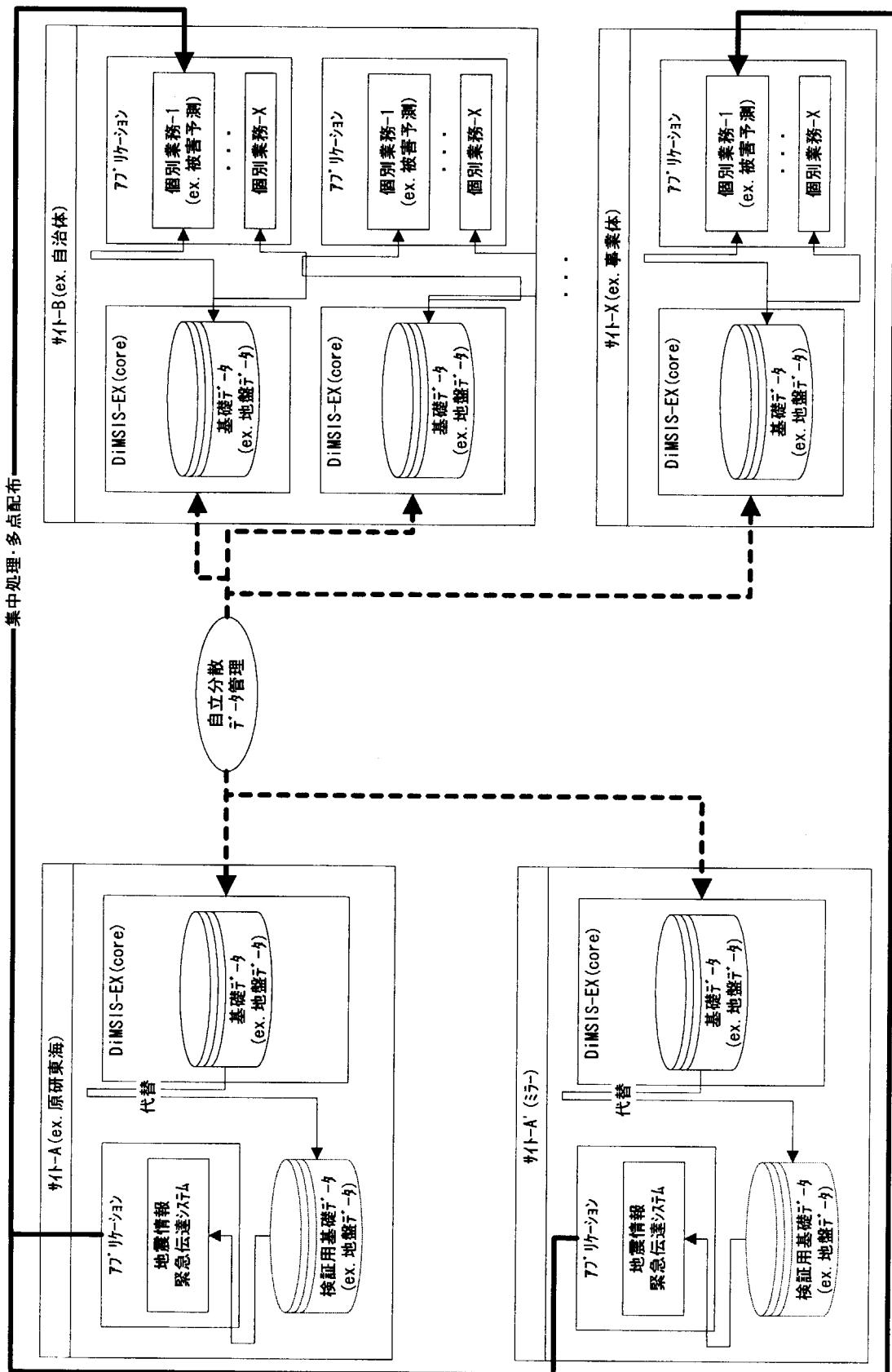
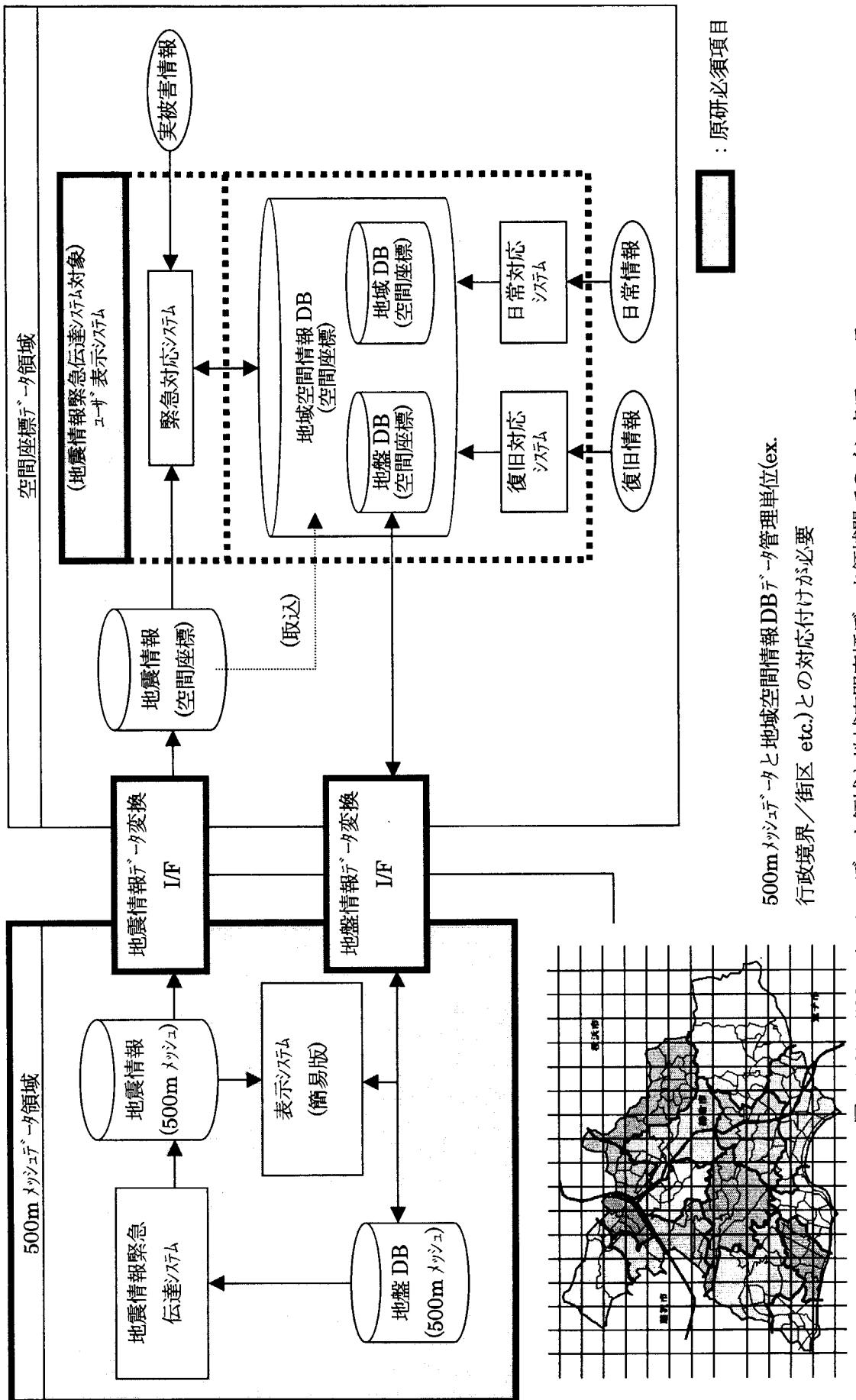


図 4.1.24 自律分散ユーザ環境を取り組んだ地震情報緊急伝達システムの構成



500m メッシュデータと地域空間情報DBデータ管理単位(ex.

行政境界／街区 etc.)との対応付けが必要

図 4.1.25 500m メッシュデータ領域と地域空間座標データ領域間でのインターフェース

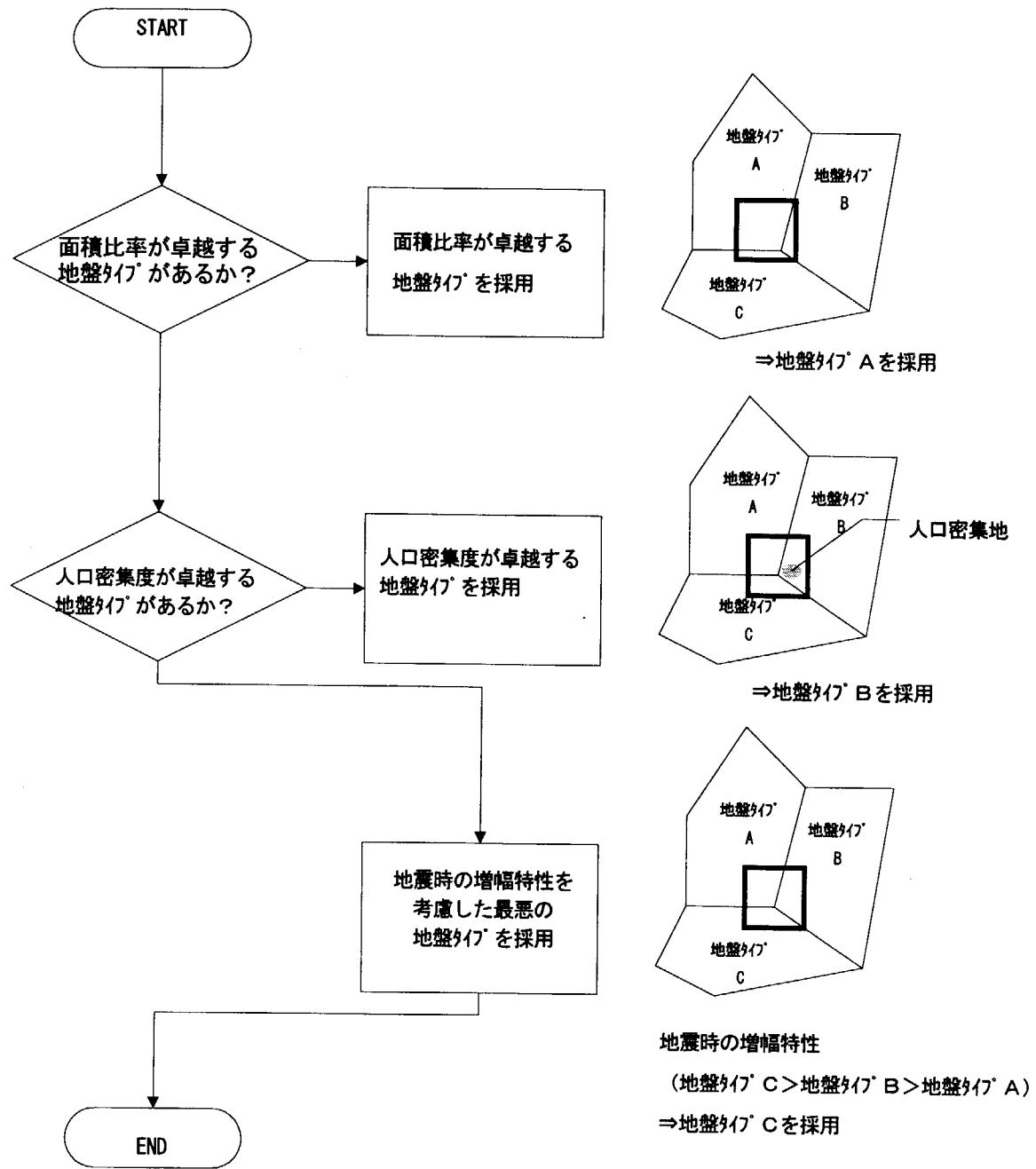
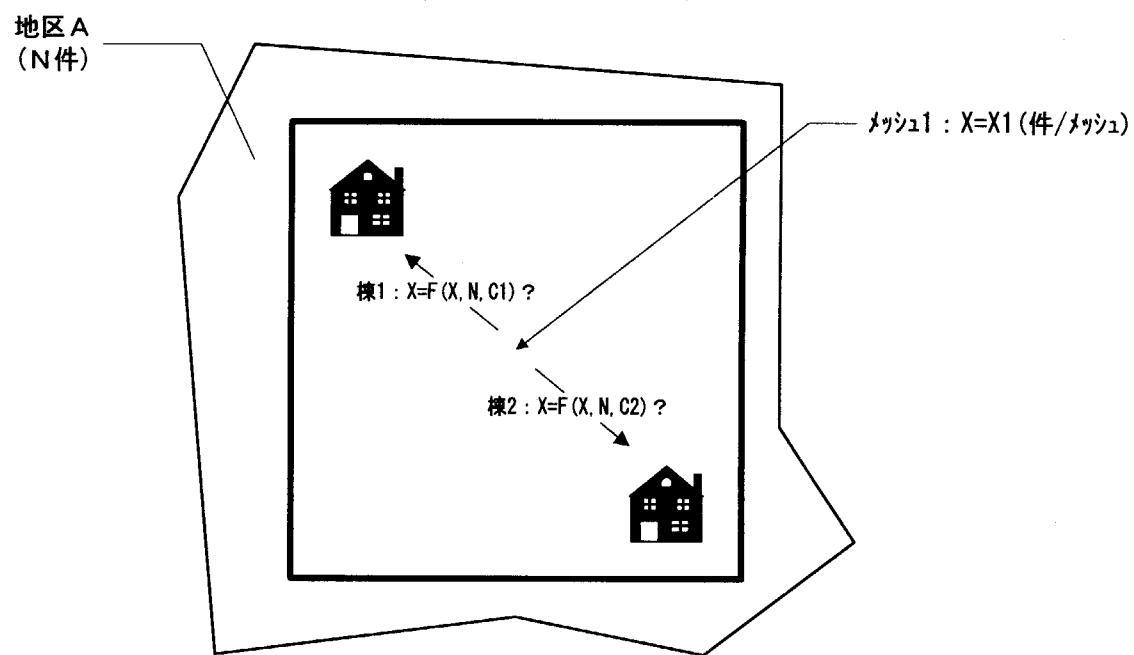
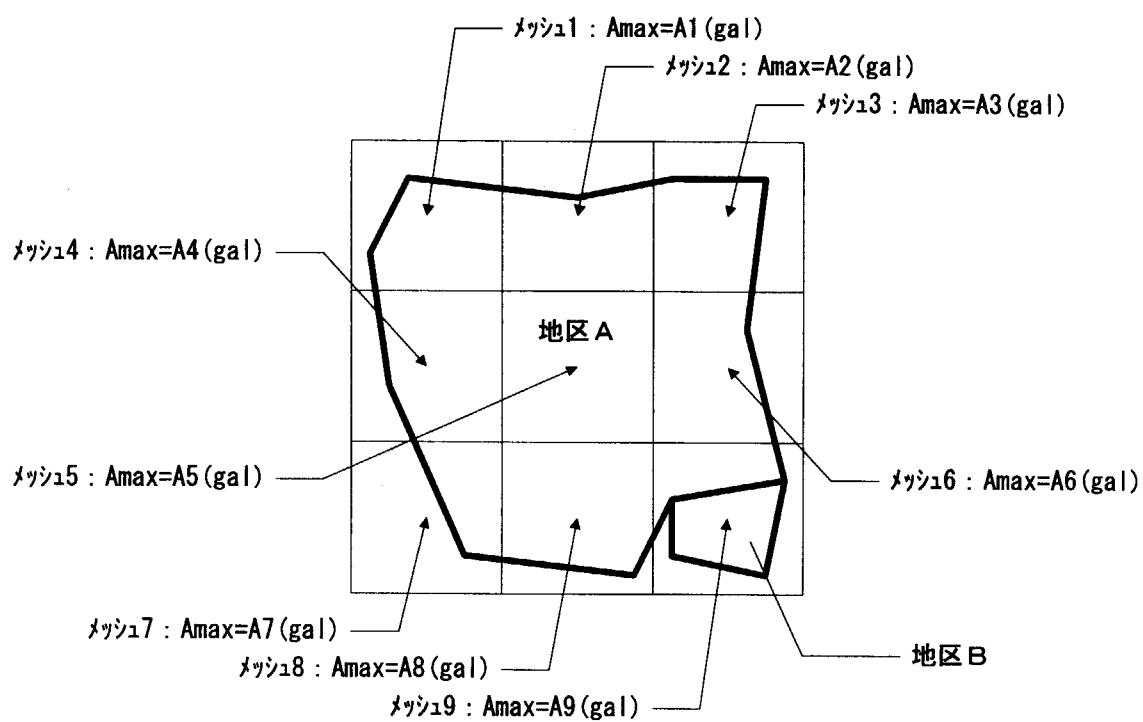


図 4.1.26 任意形状閉領域単位から矩形領域単位への変換概念



例えば 棟 1 : $X=F(X, N, C1)$? ? ?
 棟 2 : $X=F(X, N, C2)$? ? ?

図 4.1.27 矩形領域単位から任意形状閉領域単位への変換概念

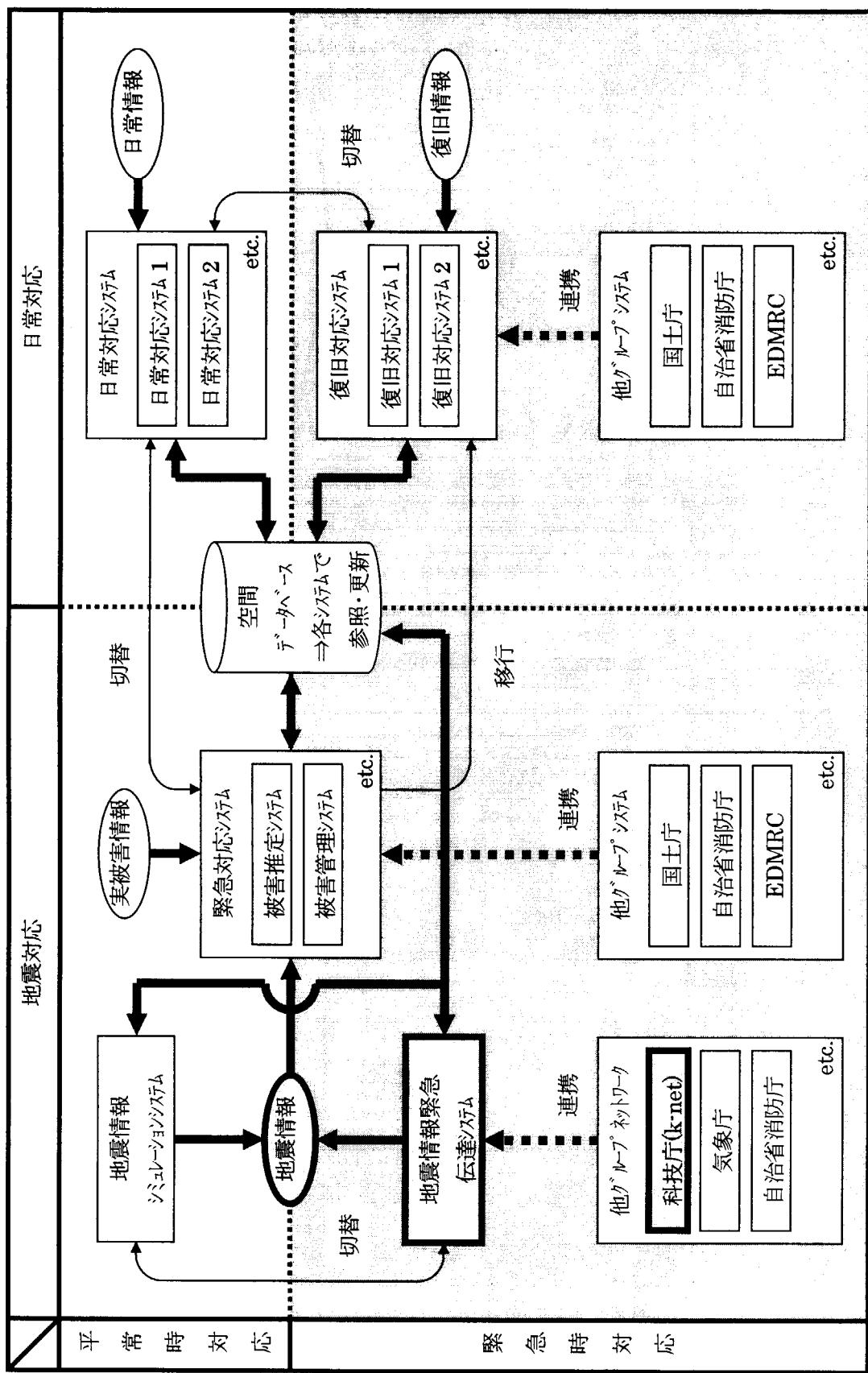


図 4.1.28 地震情報緊急伝達システムと被害情報システムなどのユーザ環境システムとの関係

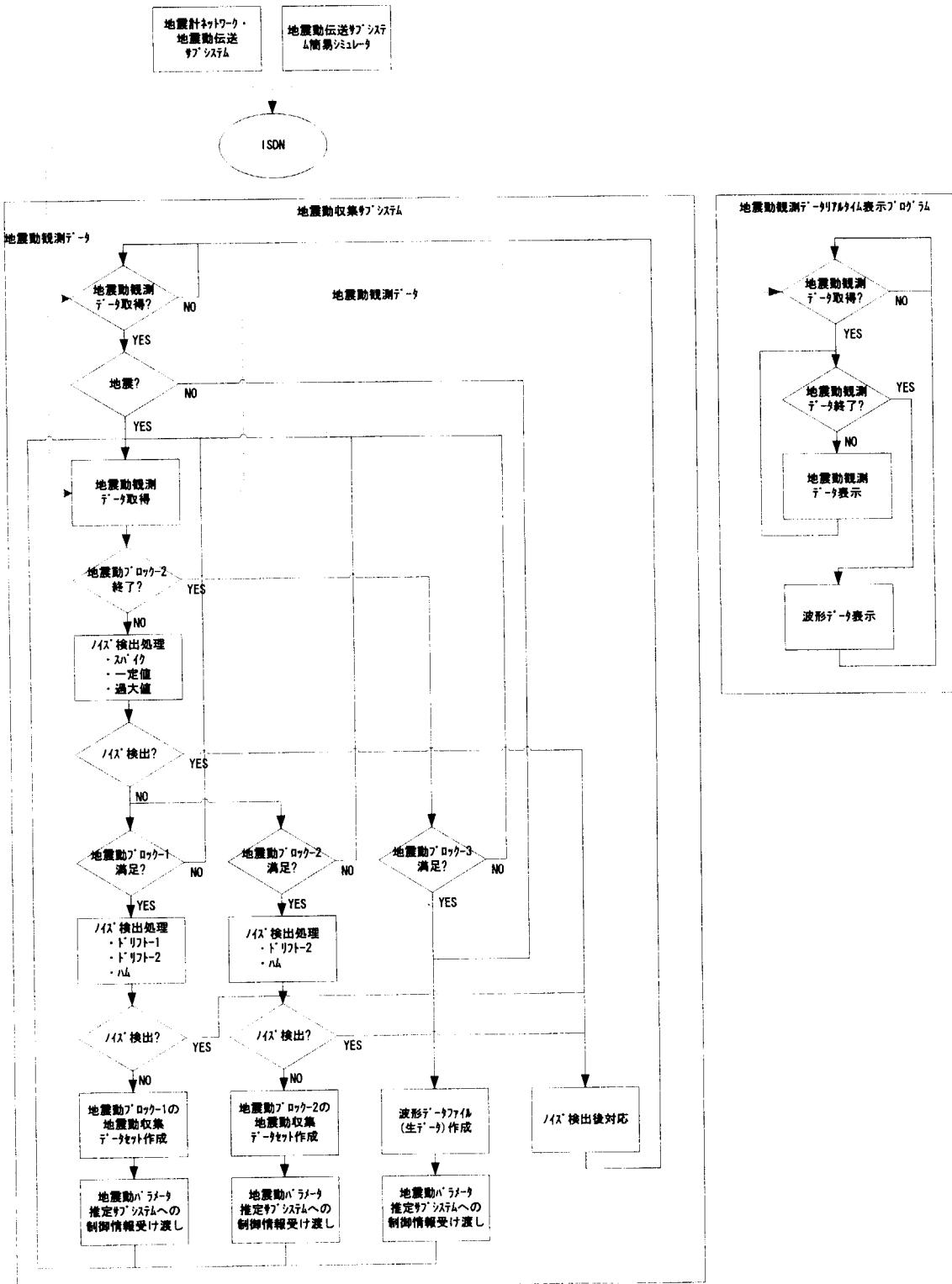


図 4.2.1 地震動伝送サブシステム及び地震動収集サブシステムの処理フロー

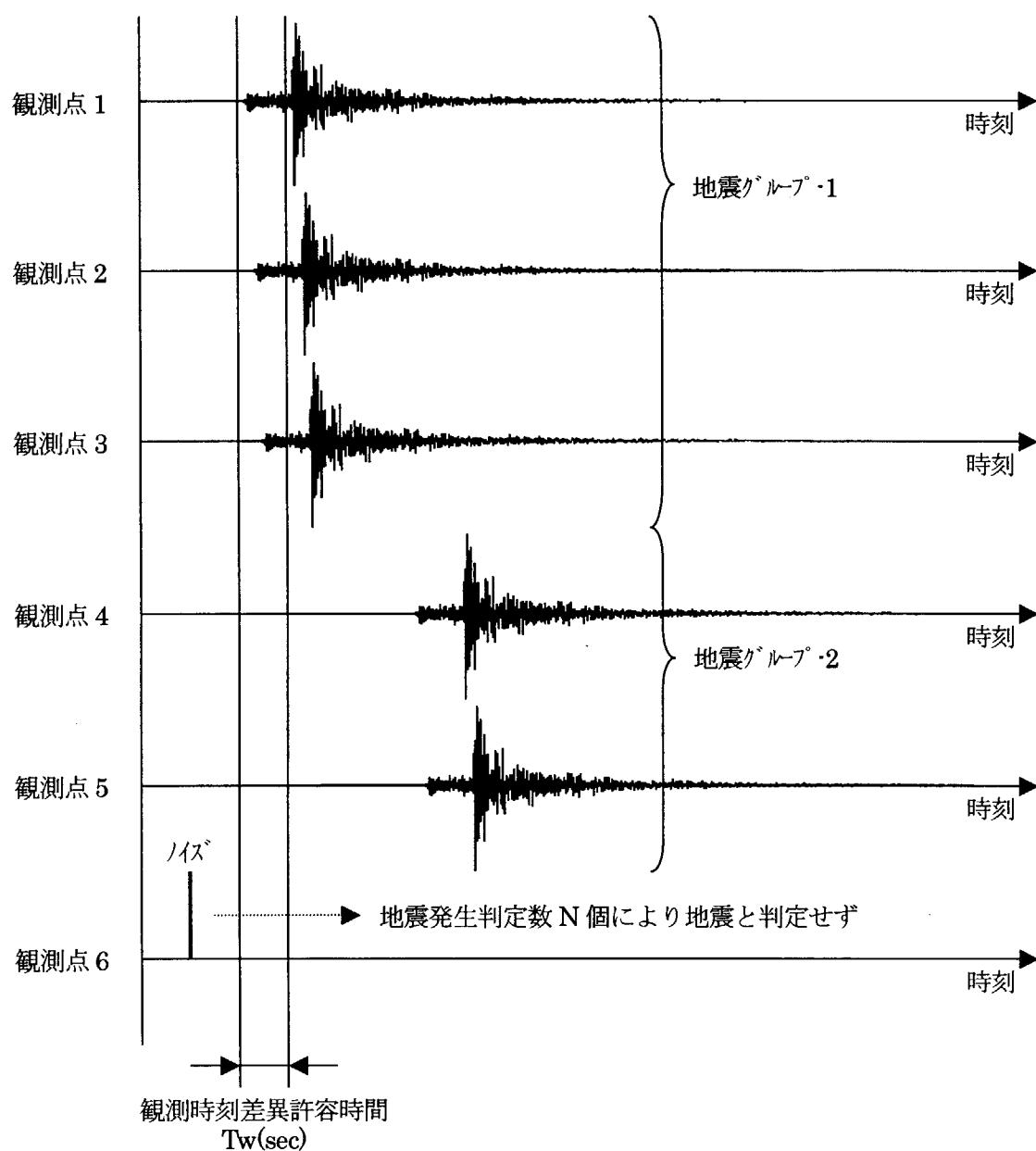


図 4.2.2 観測開始時刻の差異の許容時間による波形データのグルーピング

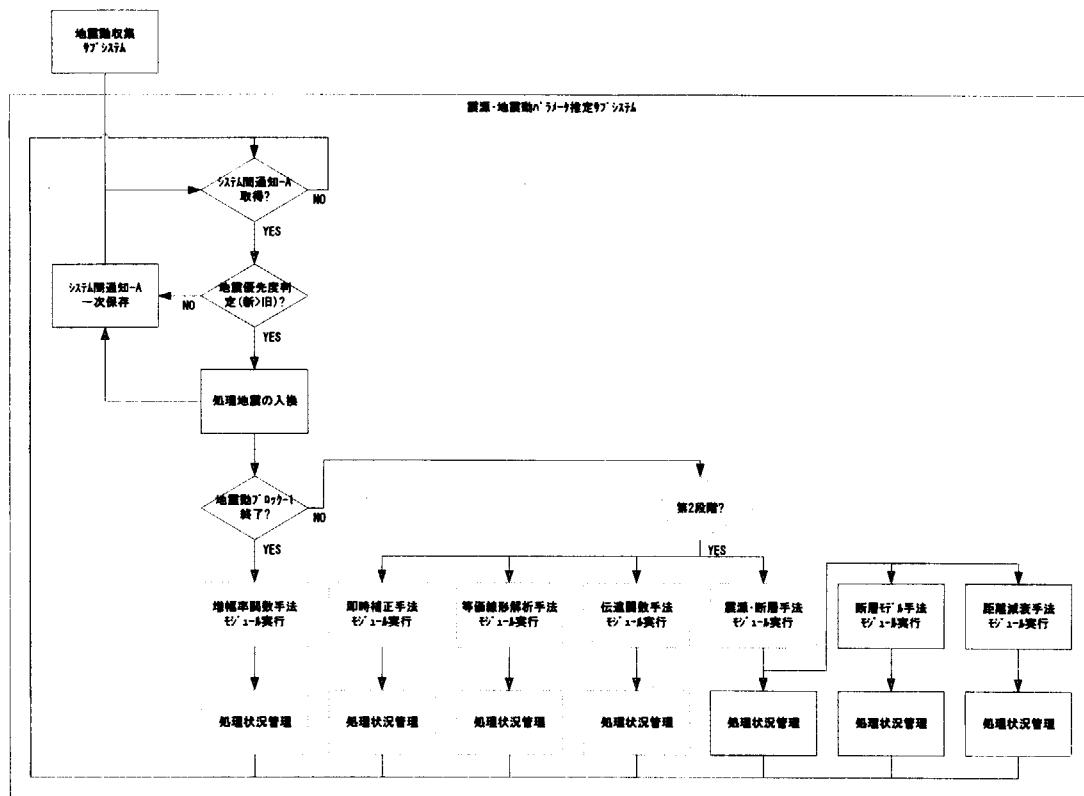


図 4.2.3 地震・地震動パラメータ推定サブシステムの処理フロー

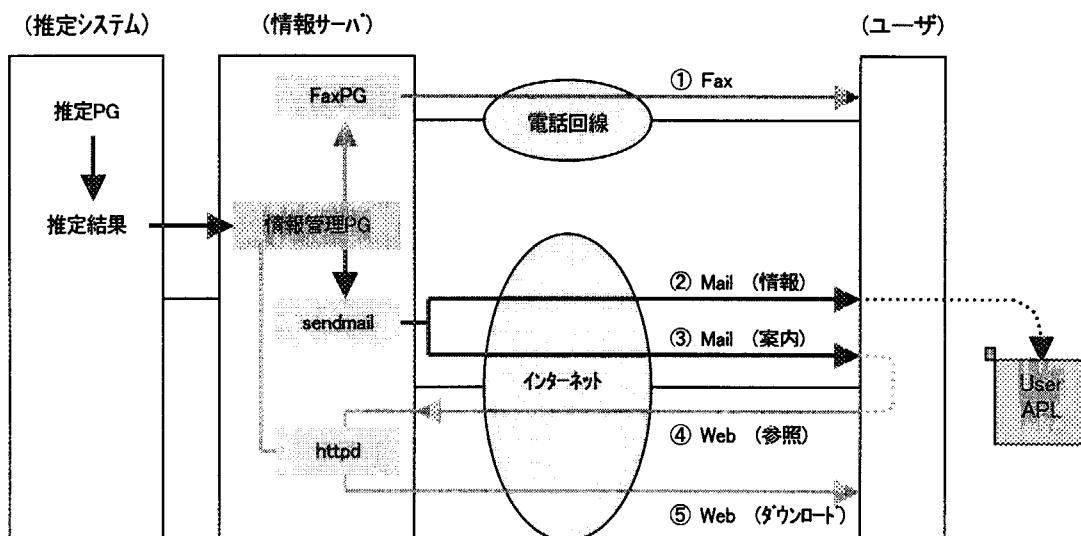


図 4.2.4 地震情報発信・利用サブシステムの考え方

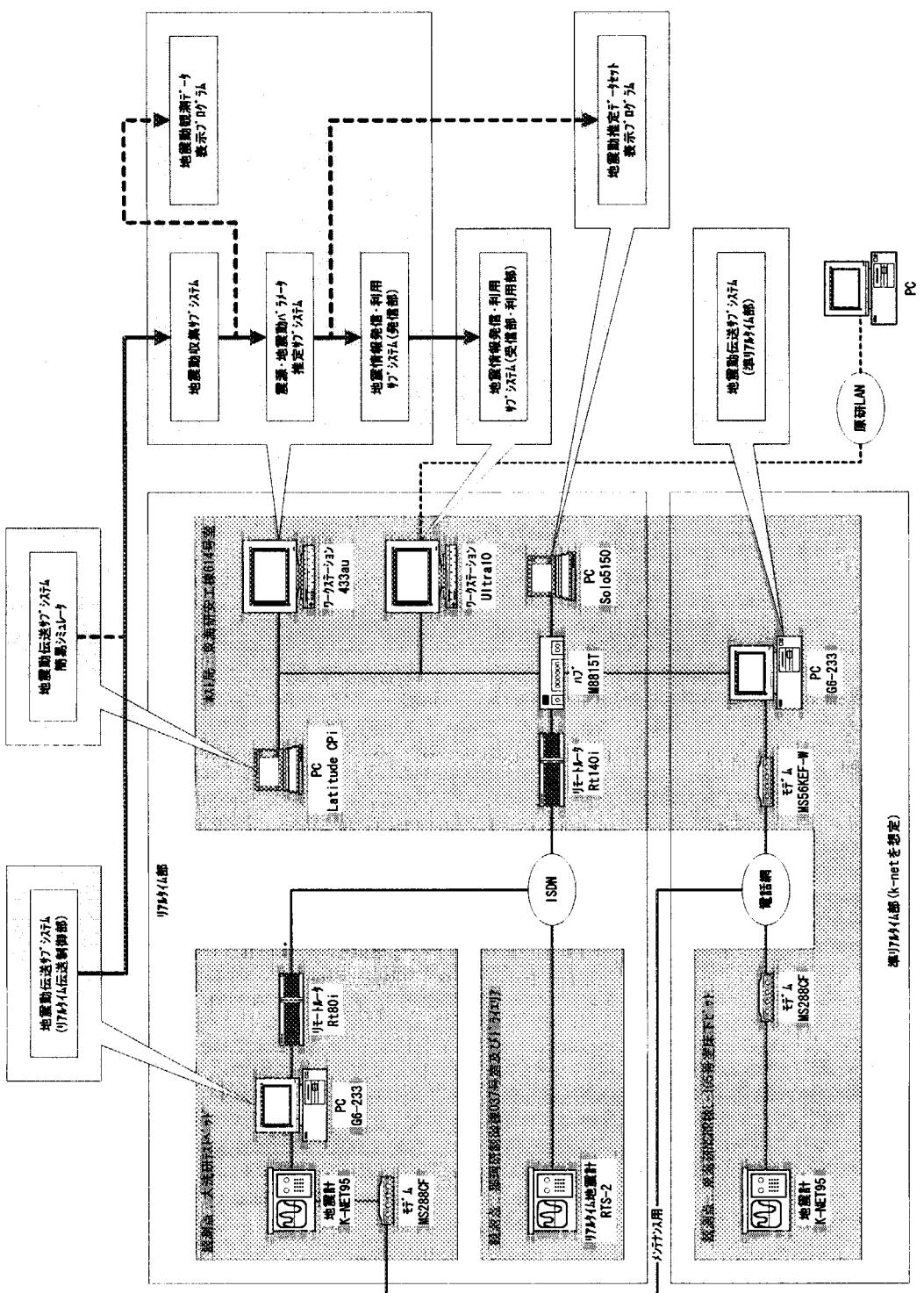


図 4.2.5 地震情報緊急伝達システムのハードウェア構成
都合のいい部 (k-naitを想定)

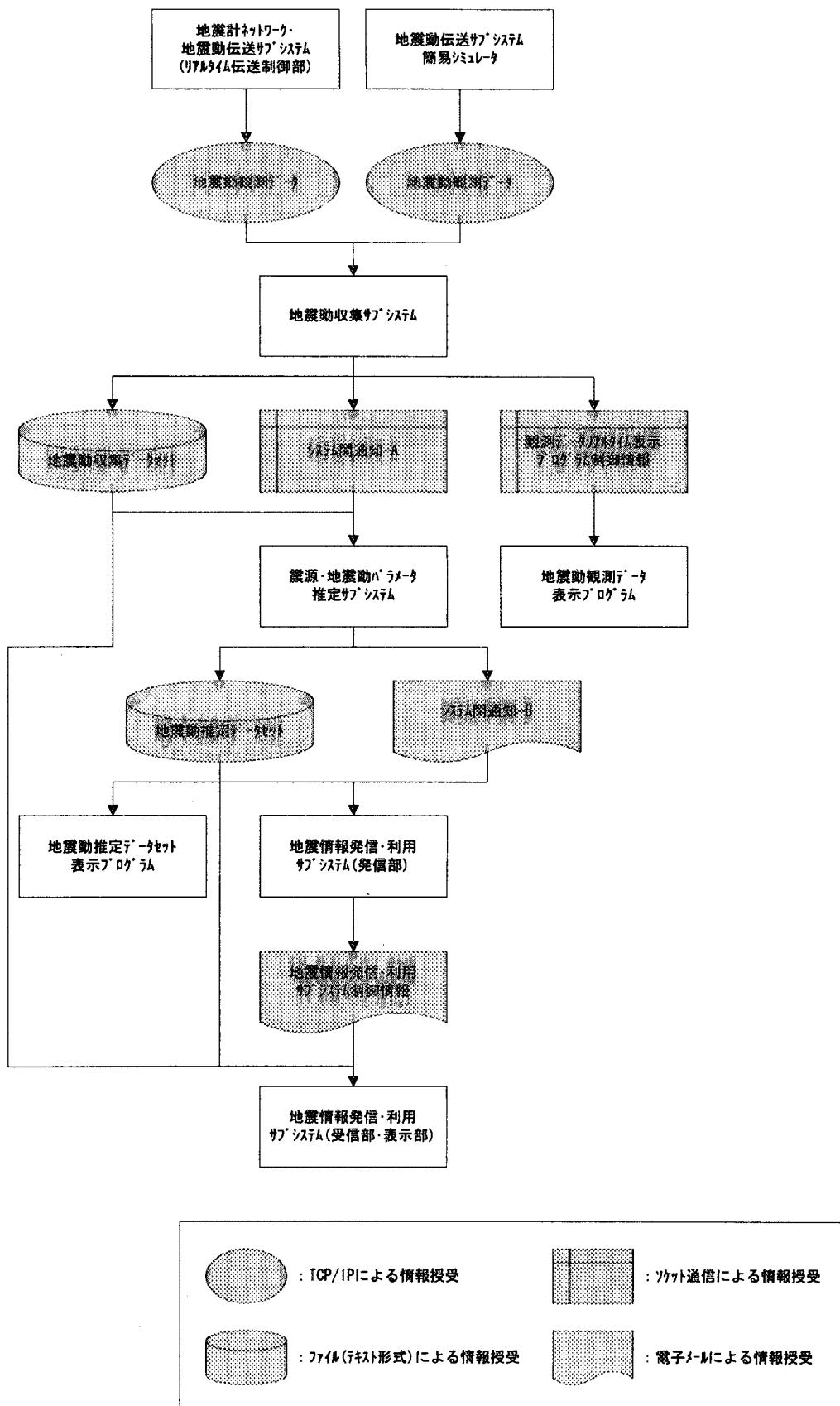


図 4.2.6 地震情報緊急伝達システムのソフトウェア構成

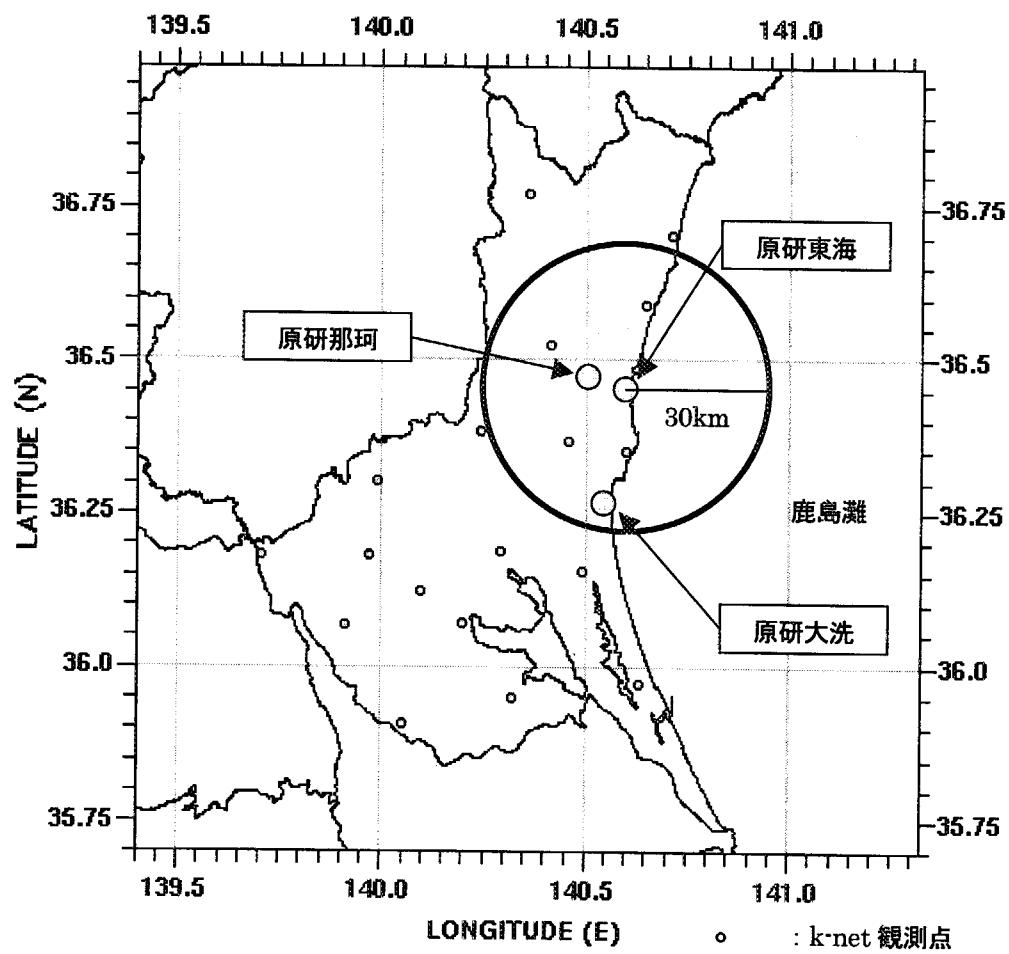


図 4.3.1 地震情報緊急伝達システムの適用地域

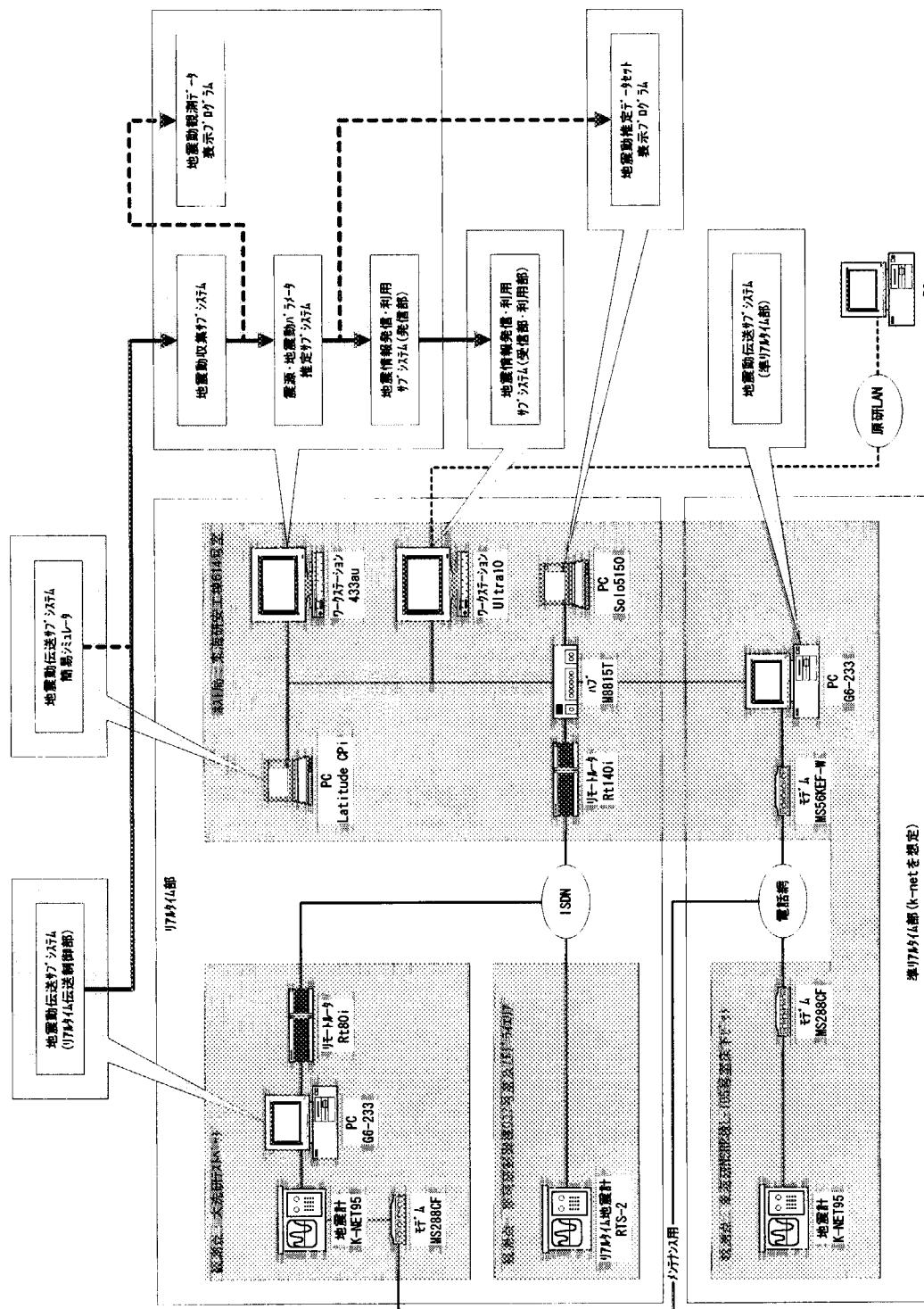


図 4.3.2 地震情報緊急伝達システムの適用地域への設置状況

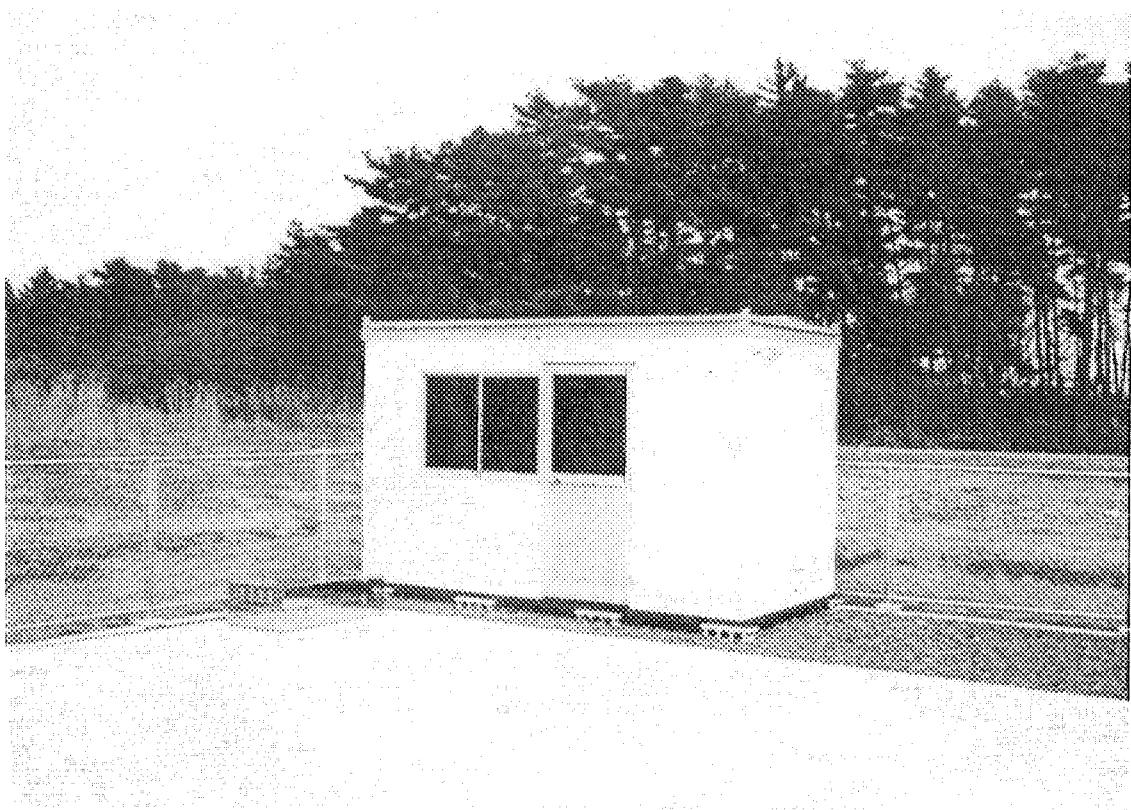


図 4.3.3 原研大洗テストベッドの K-NET/RT (地震計の設置状況)

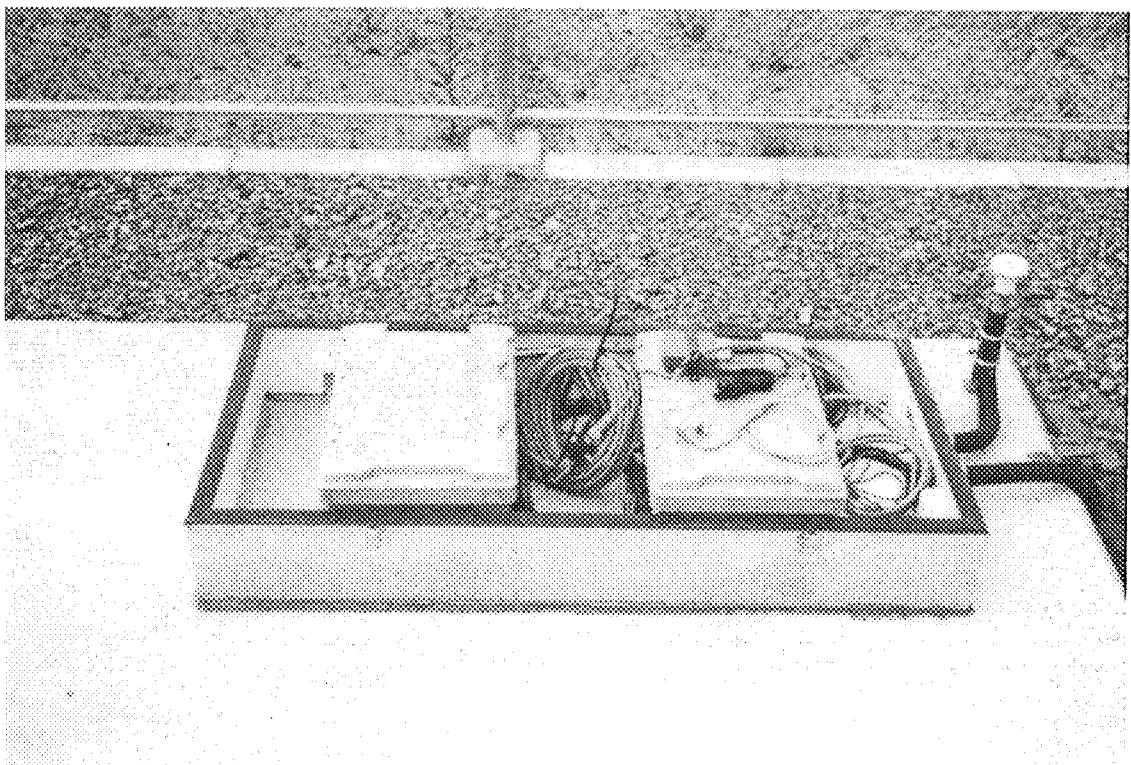


図 4.3.4 原研大洗テストベッドの K-NET/RT (保護カバー内の地震計 K-NET95 の設置状況)

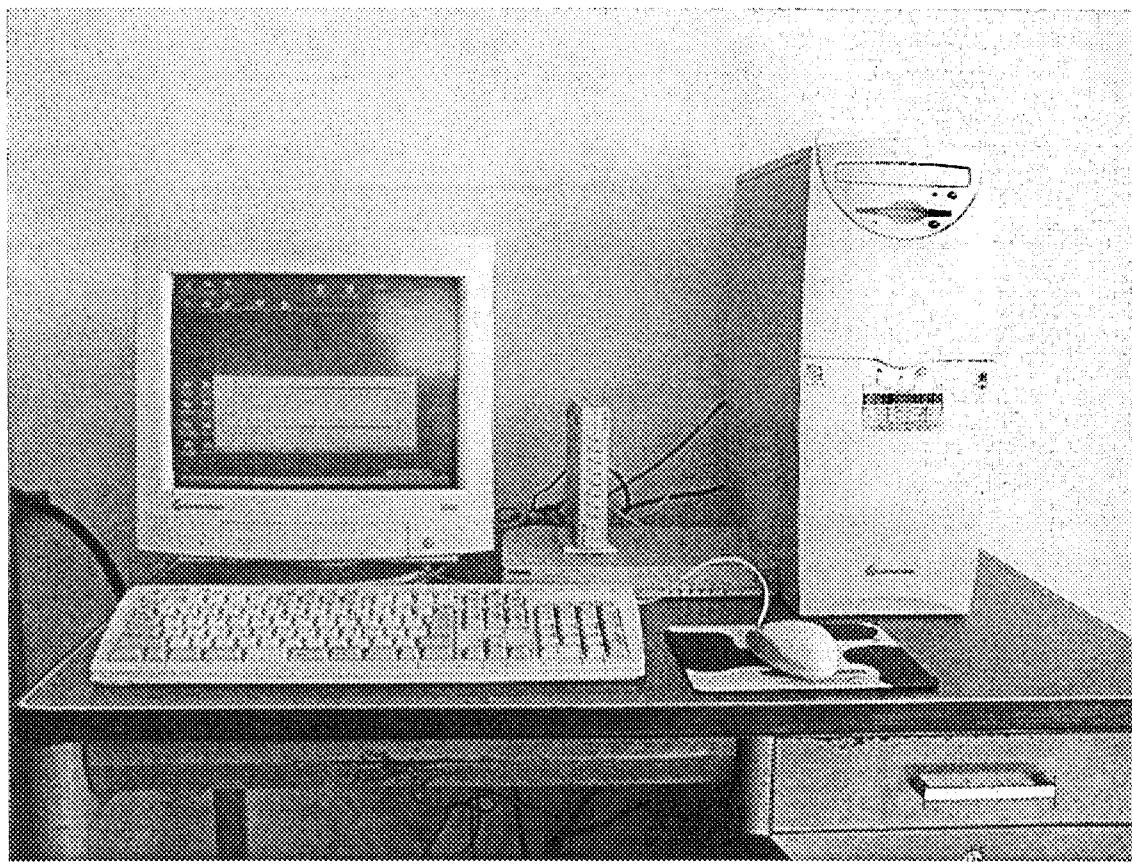


図 4.3.5 原研大洗テストベッドの K-NET/RT (観測データリアルタイム伝送用 PC の設置状況)

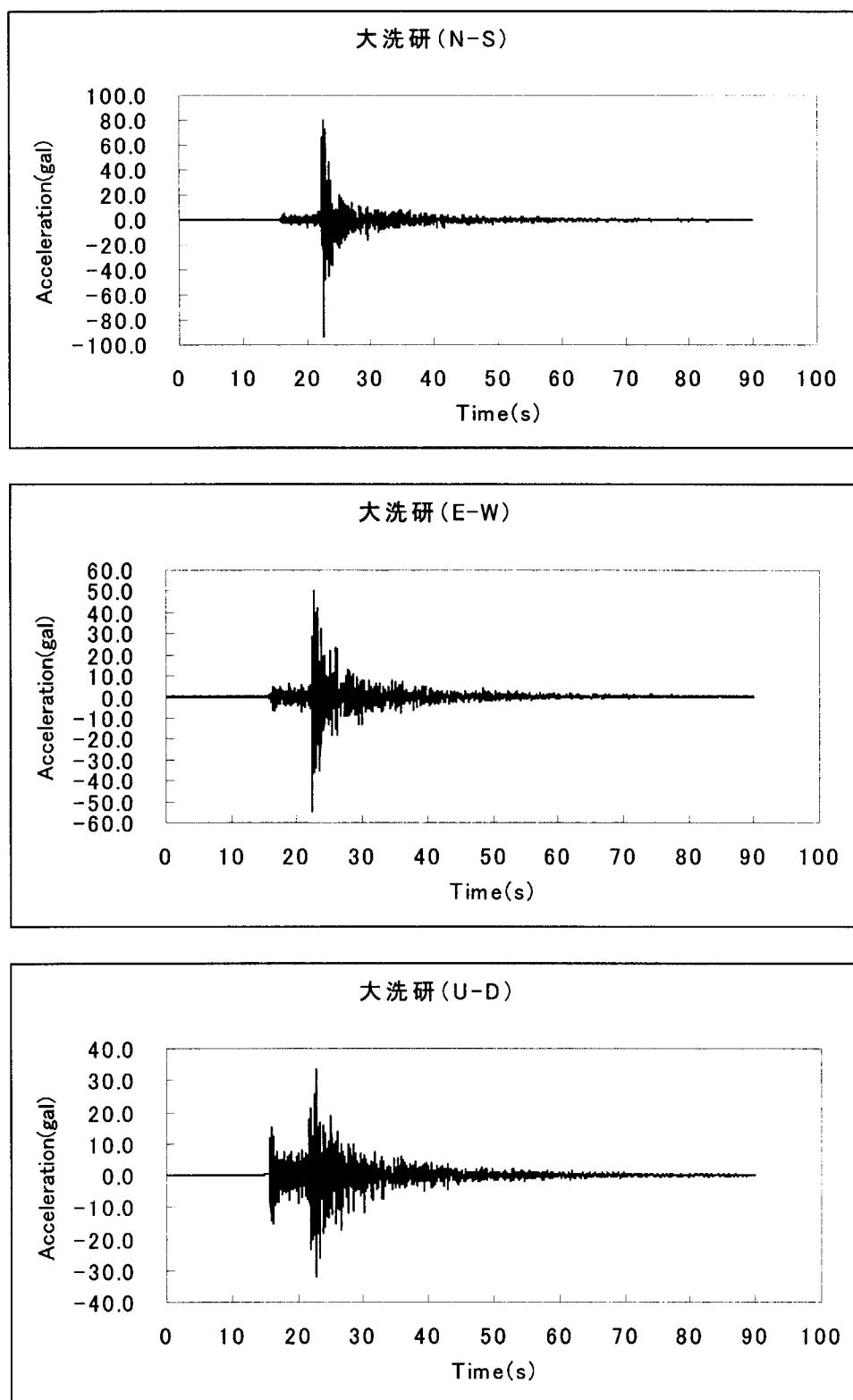


図 4.3.6 平成 11 年 3 月 26 日午前 8 時 31 分頃の地震の観測加速度時刻歴 (原研大洗)

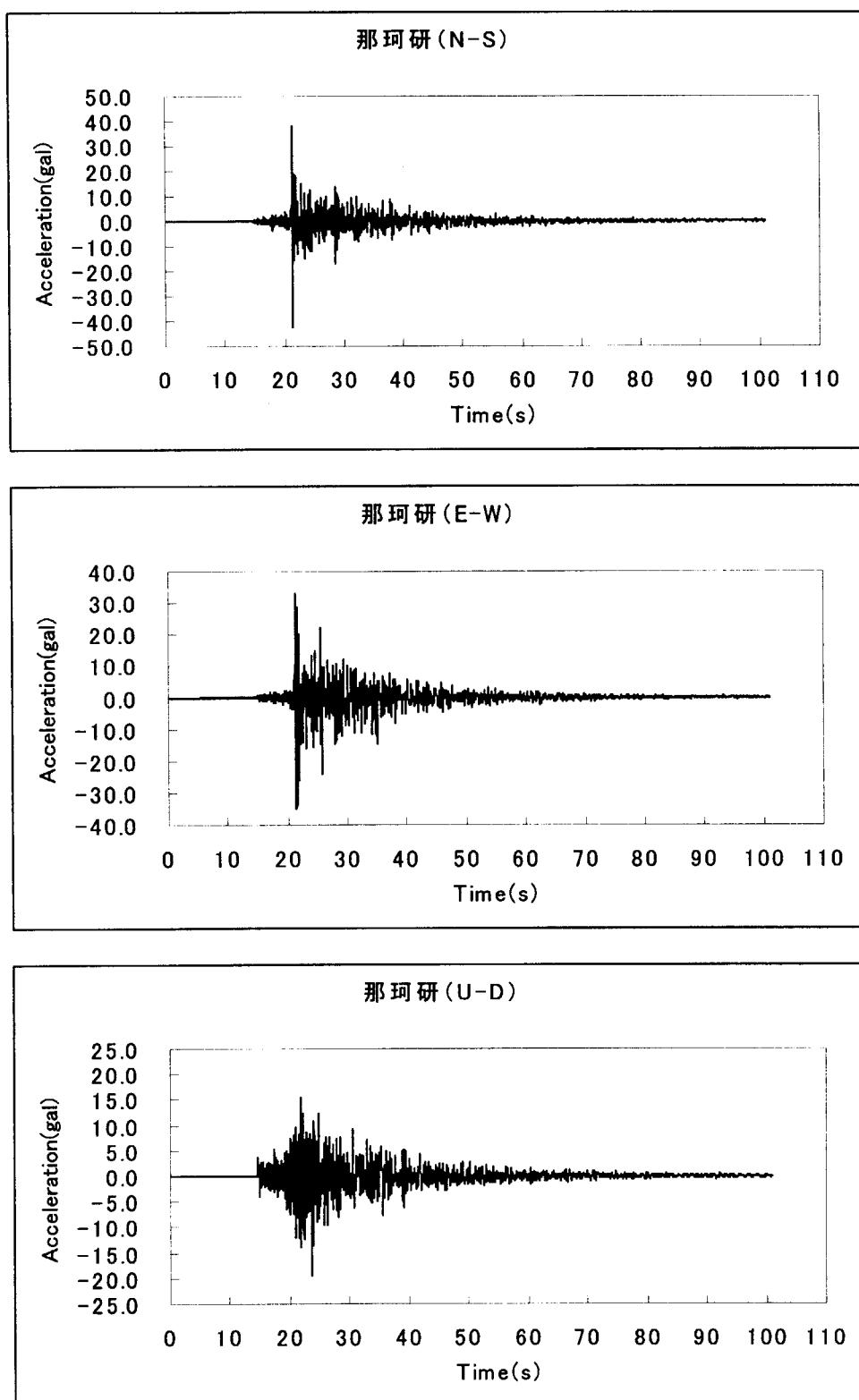


図 4.3.7 平成 11 年 3 月 26 日午前 8 時 31 分頃の地震の観測加速度時刻歴（原研那珂）

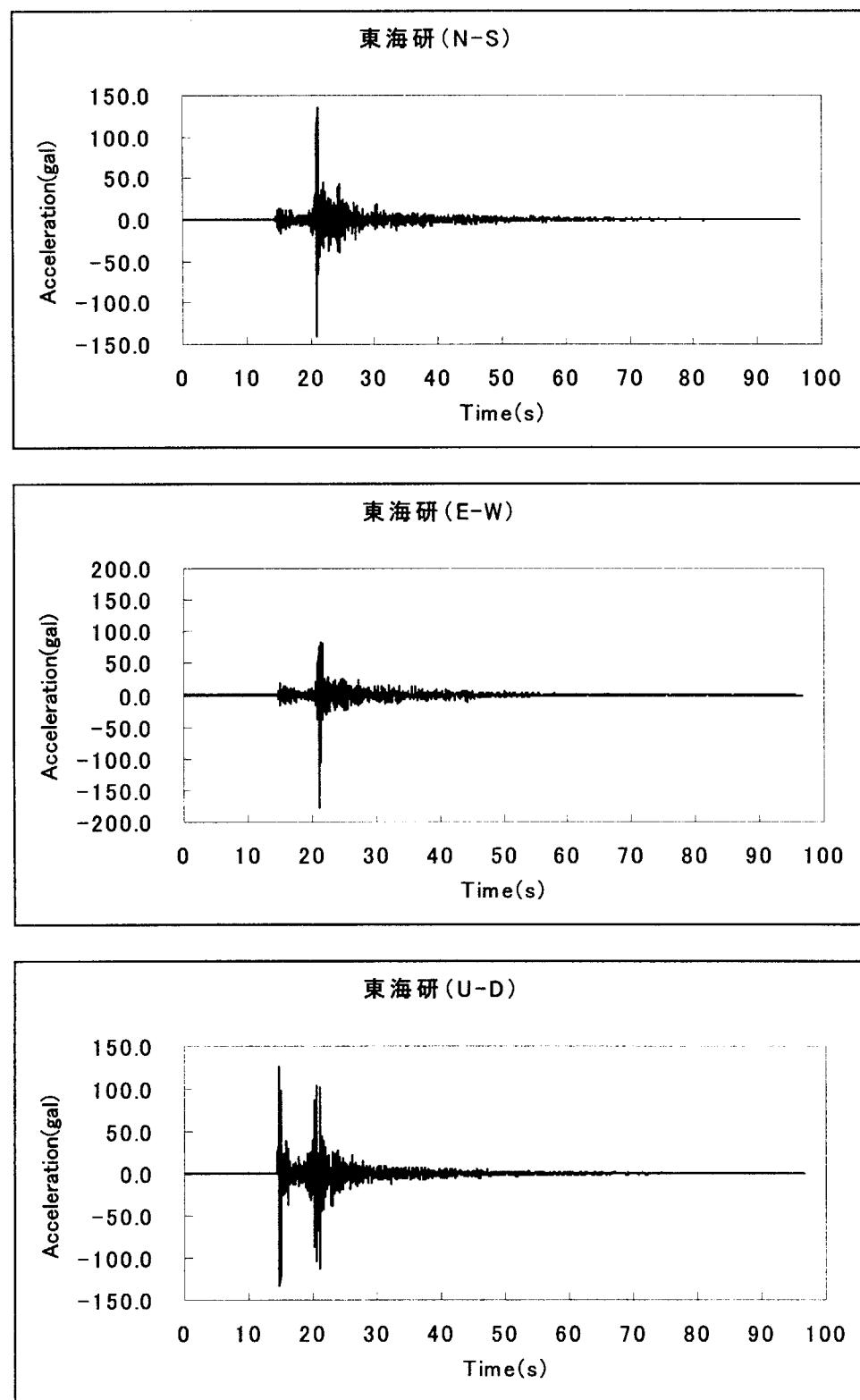


図 4.3.8 平成 11 年 3 月 26 日午前 8 時 31 分頃の地震の観測加速度時刻歴（原研東海）

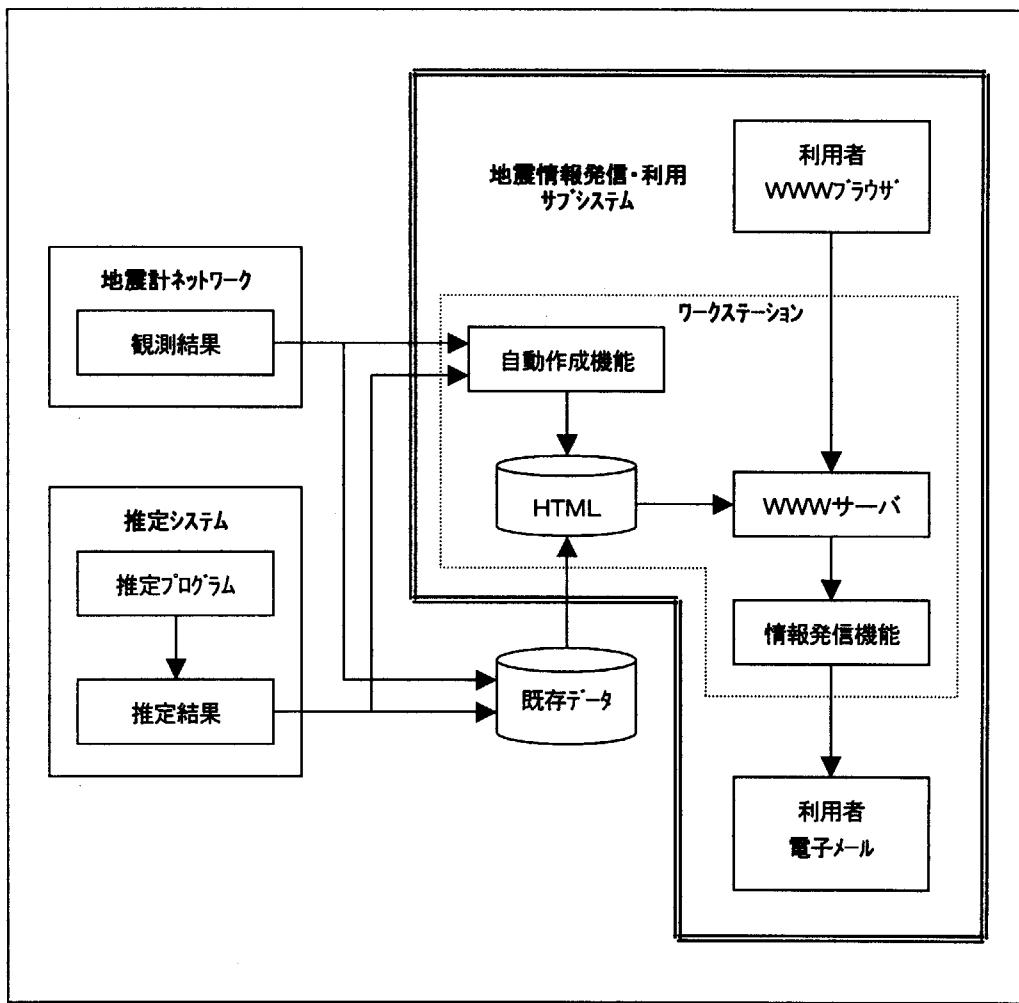


図 4.3.9 地震情報発信・利用サブシステムのシステム概念図

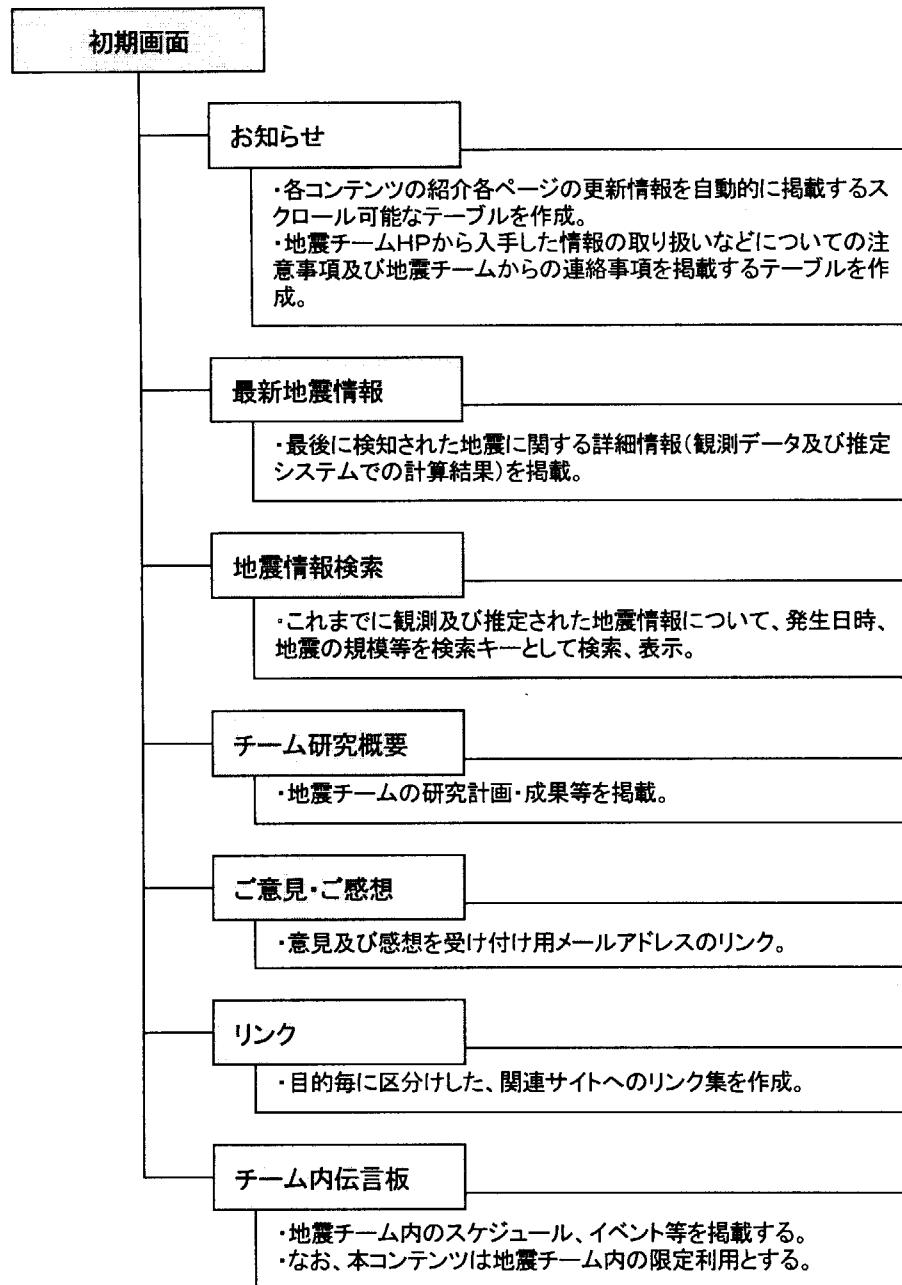


図 4.3.10 WWW サーバ画面構成概要

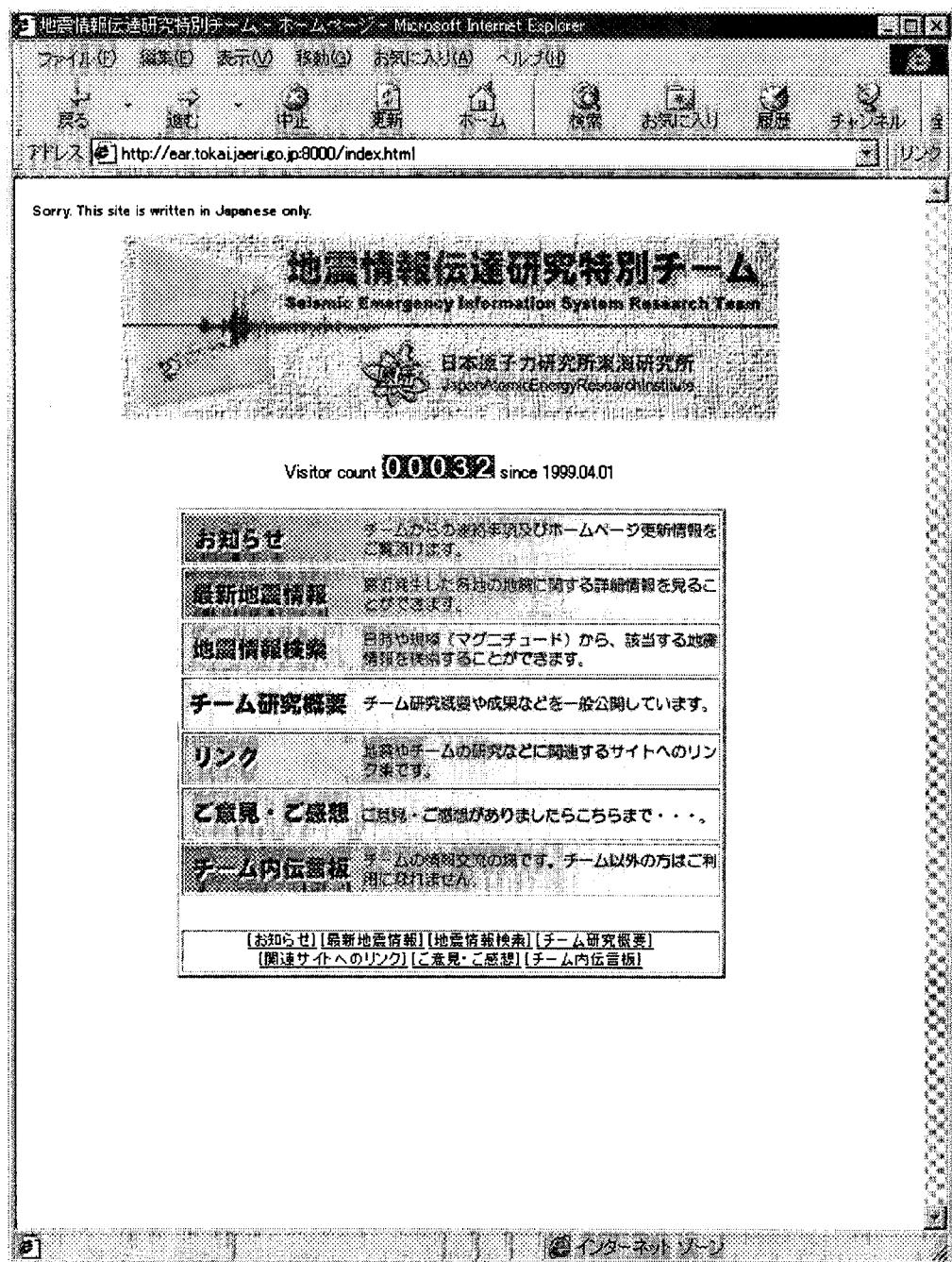


図 4.3.11 WWW サーバ初期画面

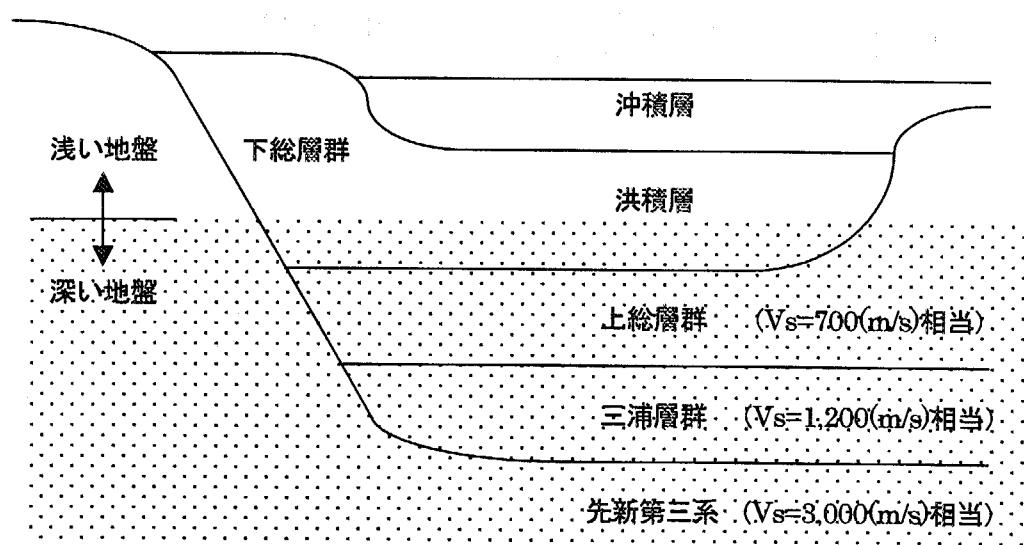


図 4.3.12 適用地域の概略的な地盤構造

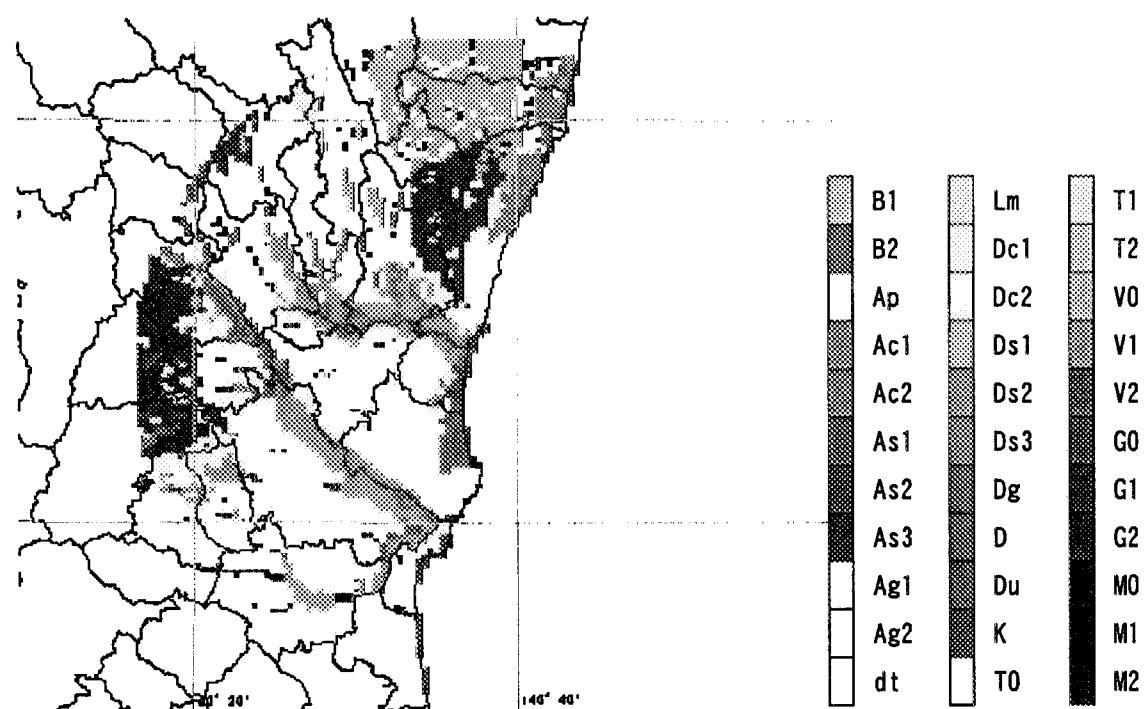
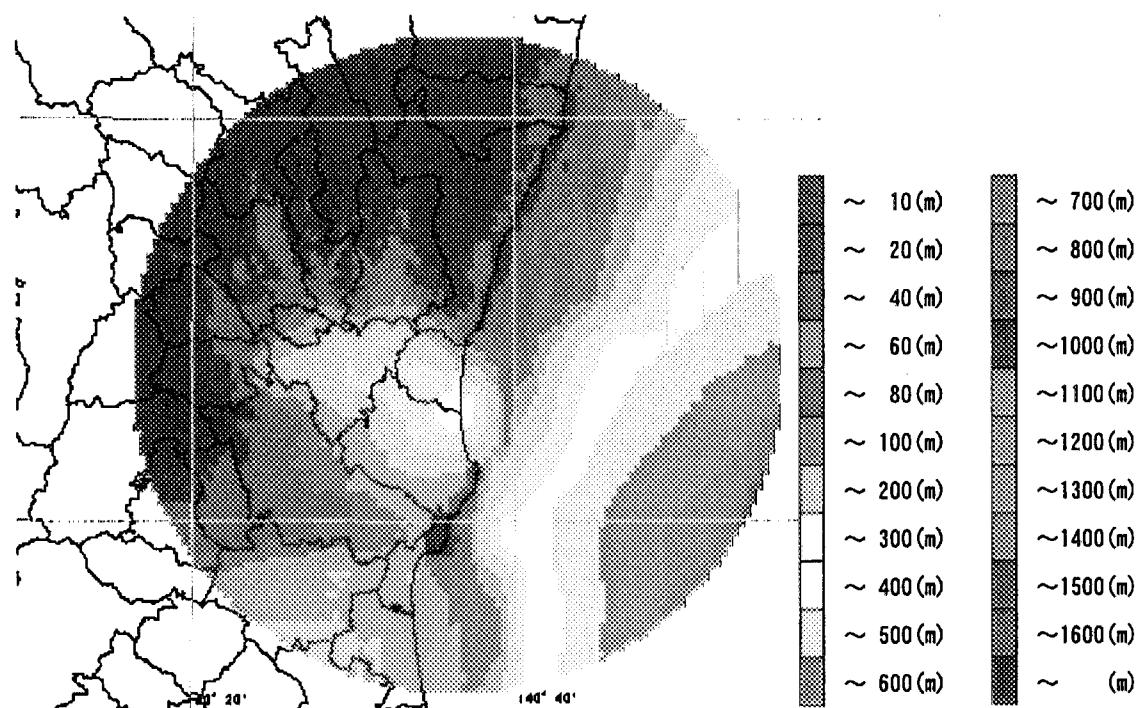
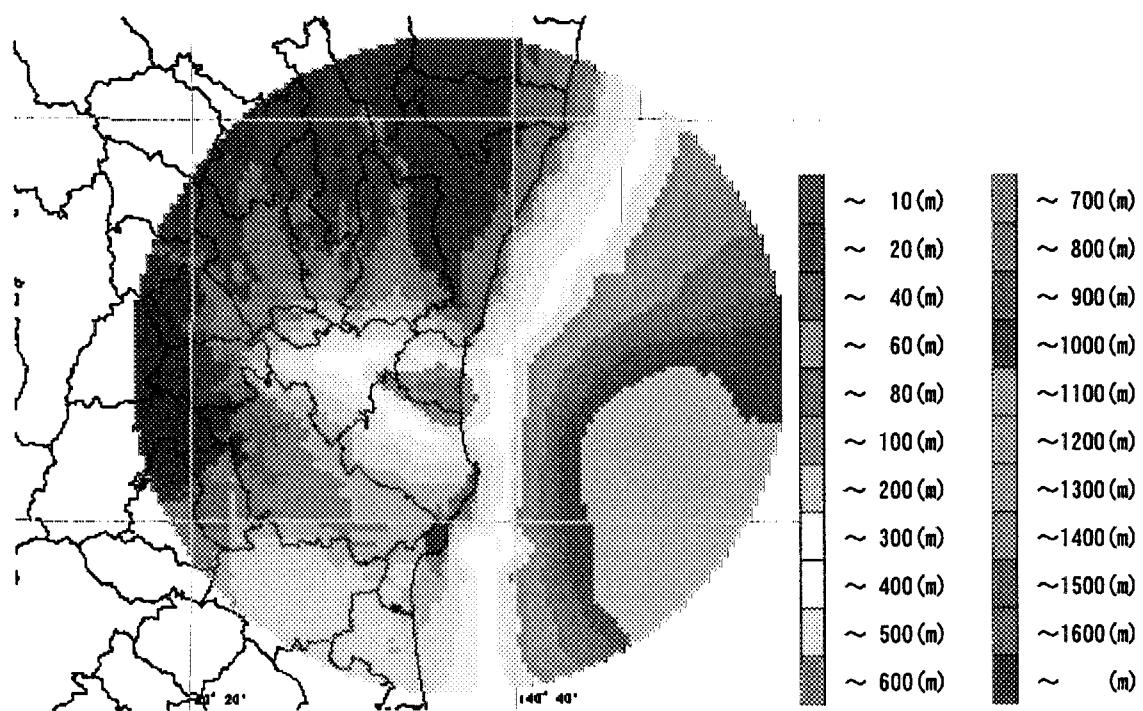
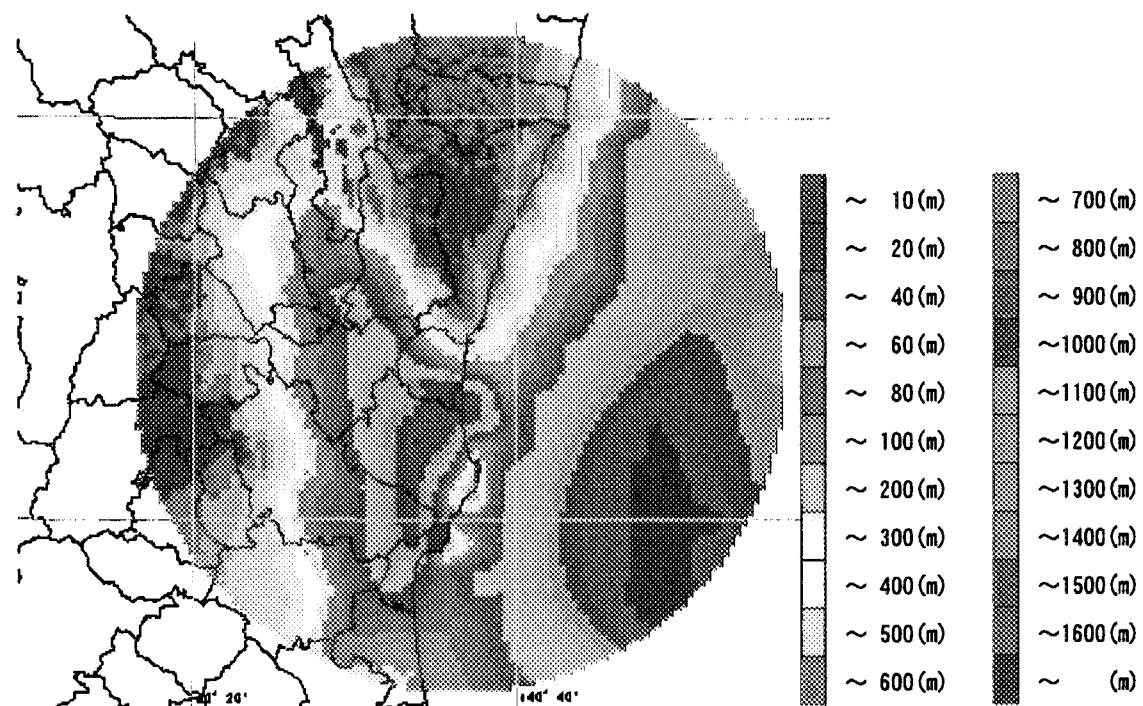


図 4.3.13 適用地域の表層地盤種の分布

図 4.3.14 適用地域の上総層群相当層 ($V_s=700\text{m/s}$) の上面深度分布

This is a blank page.

図 4.3.15 適用地域の三浦層群相当層 ($V_s=1,200\text{m/s}$) の上面深度分布図 4.3.16 適用地域の基盤（先新第三系）($V_s=3,000\text{m/s}$) の上面深度分布

This is a blank page.

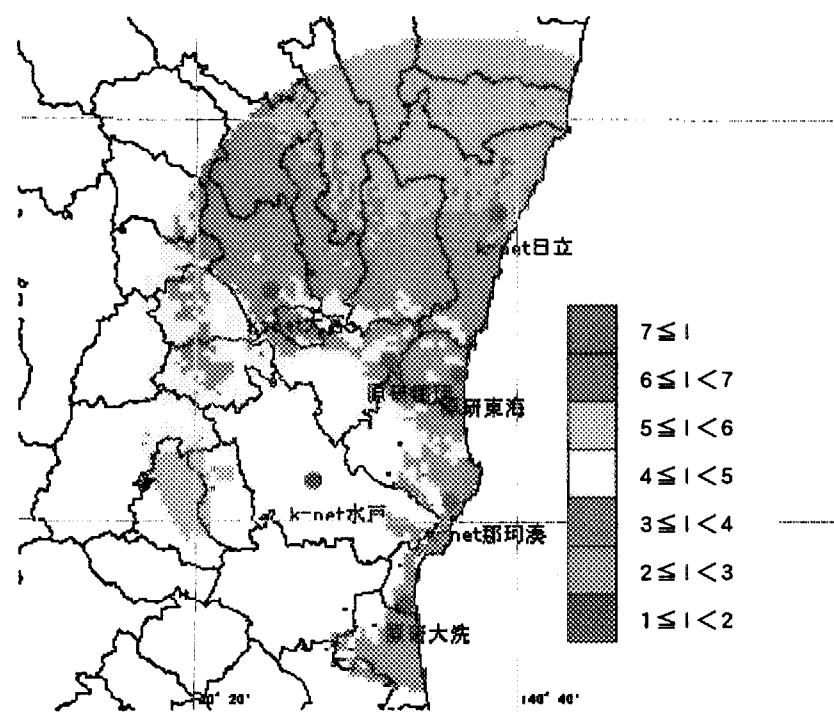


図 4.3.17 筑波山東方リニアメントを想定地震とした事前予測地震動分布（計測震度）

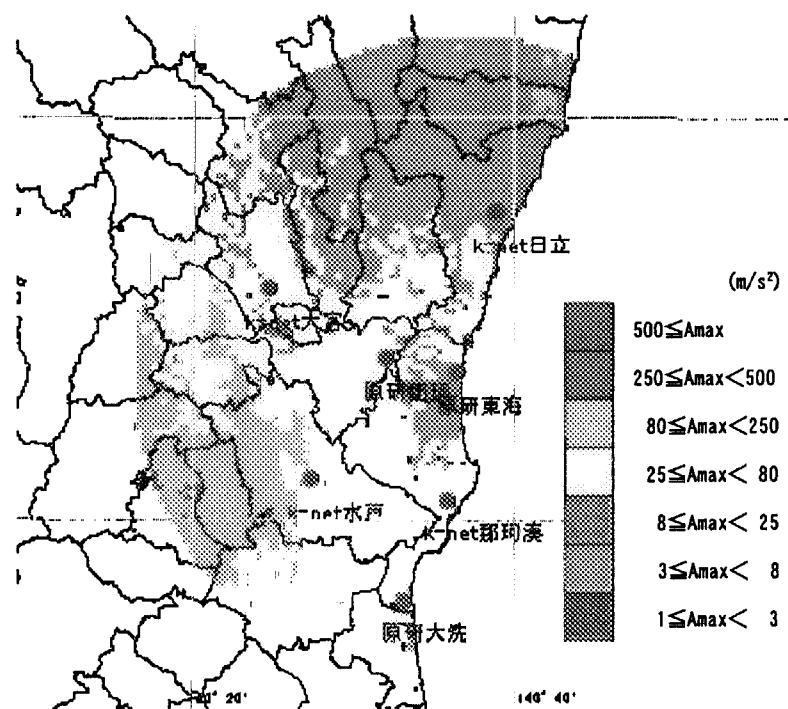


図 4.3.18 筑波山東方リニアメントを想定地震とした事前予測地震動分布（最大加速度）

This is a blank page.

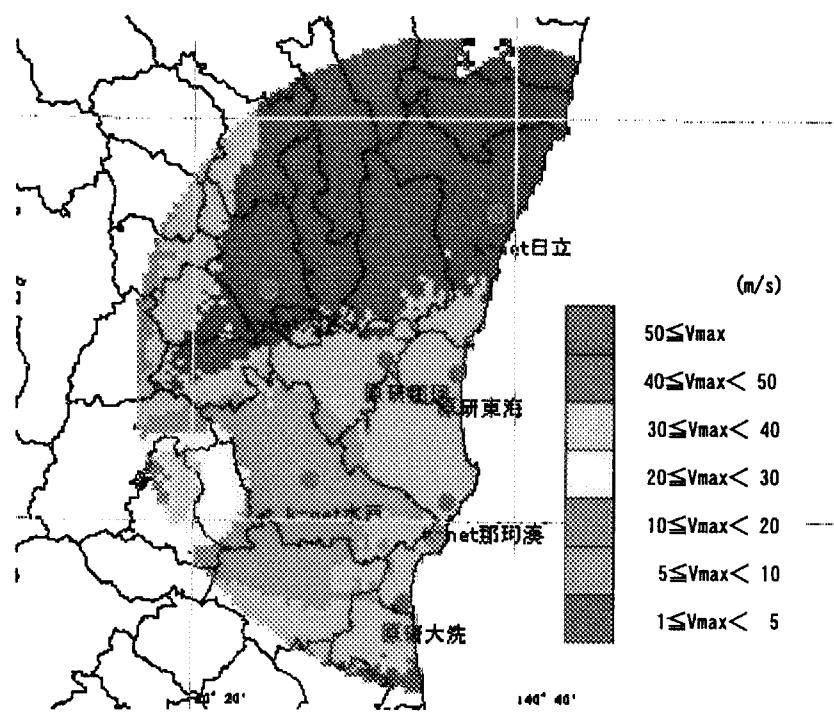


図 4.3.19 筑波山東方リニアメントを想定地震とした事前予測地震動分布（最大速度）

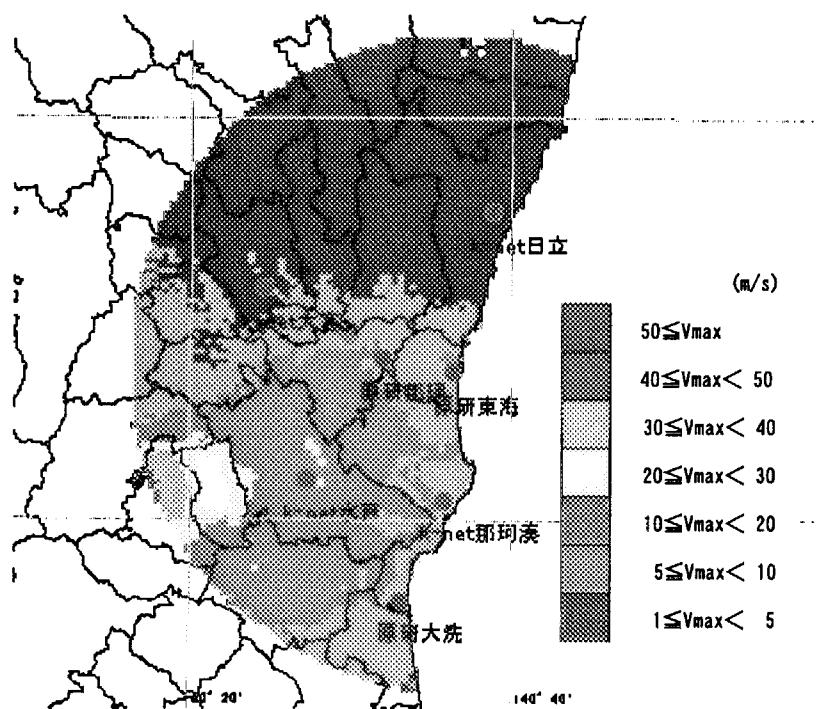


図 4.3.20 筑波山東方リニアメントを想定地震とした事前予測地震動分布（SI 値）

This is a blank page.

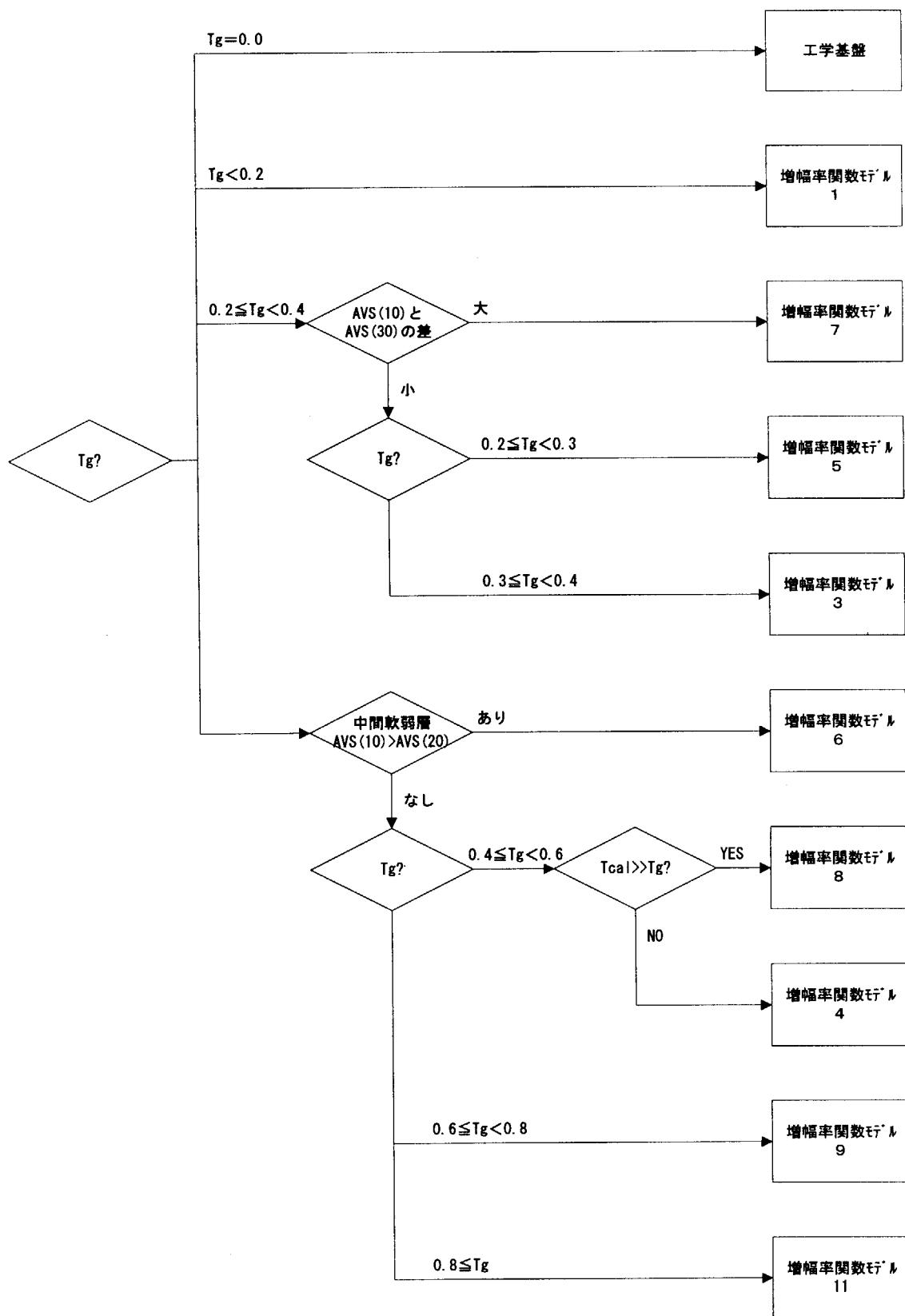
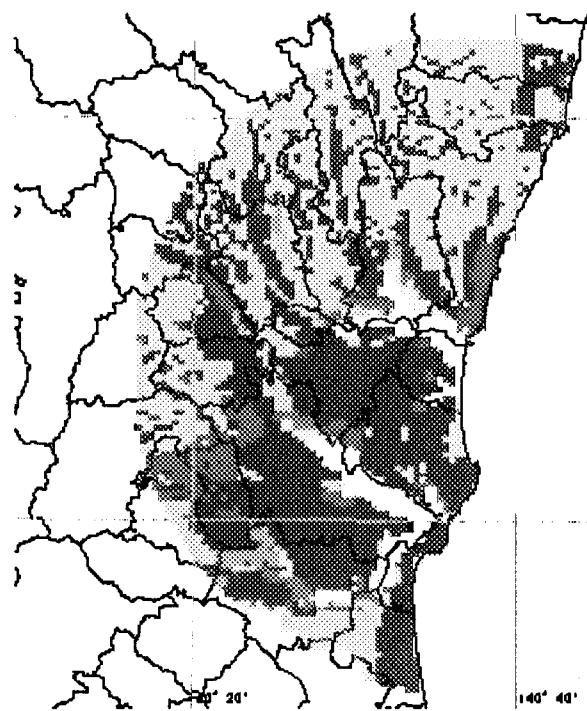


図 4.3.21 適用地域の表層地盤モデルへの増幅率関数モデルの割り当て

This is a blank page.



モード番号	鉛直アレー観測点	備考
—	BAS (基盤)	—
1	OAR (日本原子力研究所大洗研究所)	—
2	IZM (k-net 出水)	今回未使用
7	SFJ (東京電力(株)新富士変電所)	—
5	GFK (大阪ガス(株)葛西供給所)	—
3	CHB (東京大学生産技術研究所千葉研究所)	—
6	AKN (k-net 阿久根)	—
8	SMZ (清水建設(株)釧路営業所)	—
4	EGK (関西電力(株)総合技術研究所)	—
9	SEN (k-net 川内)	—
11	KPI (ポートアイランド)	—
10	RKI (六甲アイランド)	今回未使用
13	KSR (釧路港湾建設事務所)	今回未使用
12	OTA (東京電力(株)新太田変電所)	今回未使用

図 4.3.22 適用地域の増幅率関数モデル分布

This is a blank page.

5. まとめ

本報告書は、「地震情報緊急伝達システム」の研究開発について、平成11年度までの進捗をまとめたものである。研究開発は、9年度から12年度までの計画で進めている。9年度は、安全性試験研究センター長付きのアドホックグループにより研究計画を策定し事前評価を受けるとともに専門部会の設置、地震情報推定手法開発に関する防災科研との共同研究の開始を行った。これらと併行して、システムの構築に着手した。10年度からは特別チームを設置し研究開発を進めた。4年計画の短期プロジェクトで、システム開発を効率的に達成する必要があることから、第1段階として、10年度までにシステムの骨格部を構築し必要な機能を整備し、第2段階としてシステムの信頼性、精度の向上及びとりまとめを行う2段階の目標を定めてシステム構築を進めている。

システムの開発については、11年度までにノイズ処理方法や震源・地震動推定手法に係わる一部の改良を残してほぼ構築を終えている。11年度までの研究開発により、震源及び地震動に関する情報について、インターネットを利用しホームページ及び電子メールにより提供できるシステムを構築している。また、システムの検証と適用性の検討等を行うための地盤、事前予測地震動分布、増幅率関数等のデータベースの整備、試験用ネットワークの整備も概ね終えている。

このシステム下記の6サブシステムからの構成とした。

- ①地震計ネットワーク・伝送サブシステム
- ②地震動収集サブシステム
- ③震源・断層パラメータ推定サブシステム
- ④地震動パラメータ推定サブシステム
- ⑤地震情報発信サブシステム
- ⑥地震情報利用サブシステム

また、本システム開発は、下記の基本指針の基に進めた。

- ①既存地震計ネットワークをリアルタイム活用する。
- ②推定地震動パラメータを推定時間と推定精度の相互関係を考慮して発信する。
- ③関連情報の事前準備により推定精度向上を図る。
- ④ユーザ環境を考慮した地震情報の配信とユーザの地震情報の活用方法を考慮する。

11年度までの進捗をサブシステム毎に要約すると下記の通りである。

- 地震計ネットワーク・地震動伝送サブシステム
 - (1) k-net仕様地震計による地震動観測波形のリアルタイム伝送技術の整備
 - (2) 衛星データ受信システムとのインターフェース（フォーマット変換）の整備
- 地震動収集サブシステム
 - (1) 震源・地震動パラメータ推定サブシステムへの逐次的地震動データ伝送方法の整備
 - (2) 地震計ネットワークからの地震動波形におけるノイズ検出、除去方法の整備
 - (12年度に一部改良予定)

■震源パラメータ推定サブシステム

- (1) 震源パラメータ（位置、規模）を1分以内で推定する手法の整備
- (2) 断層パラメータ（地震モーメント、コーナ周波数）を3分以内で推定する手法の整備

■地震動パラメータ推定サブシステム

- (1) 事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法の整備
- (2) 等価線形解析による表層地盤特性評価手法の検討（12年度に整備予定）
- (3) 増幅率関数による表層地盤特性評価手法の整備
- (4) 基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法の整備
- (5) 断層モデル地震動予測式手法の整備
- (6) 地震動距離減衰式手法の整備

■地震情報発信サブシステム

- (1) 通信媒体、通信手段、表示方法の特徴に関する検討
- (2) 地震発生後直ちに震源・地震動パラメータを掲載するホームページの構築

■地震情報利用サブシステム

- (1) 地理情報システム（GIS）を利用したユーザ環境（RARMIS/DIMSSIS）の調査と地震情報緊急伝達システムとの連携の検討
- (2) 既存被害推定システムの調査

システムの開発と併行して、開発手法及びシステムの適用性を検討するため、下記の項目について整備を行った。

- 東海研周辺30km地域の地盤データベースの整備
- 想定地震に対する事前予測地震動分布及び増幅率関数データベースの整備
- 試験用地震計ネットワークの構築（原研東海研、那珂研、大洗研への地震計設置と電話回線(ISDN)によるリアルタイム伝送ネットワーク作成）

上記のように、各サブシステムに必要な機能の検討・確定、機能を実現するために導入すべき手法の整備とシステム化を進め、これに合わせてハードウェアの整備を行いこれらについては概ね終了している。

なお、研究開発のうち、震源・断層パラメータ及び地震動パラメータ推定手法開発は、防災科研との共同研究として実施しており、4.1.2で述べた震源・断層パラメータ推定手法の開発については、共同研究の相手である防災科研の成果によるものである。

本報告書のとりまとめと併行して、当初計画に基づき進捗状況の把握と研究内容の検討を行い以下の点を明確にした。

(1) 対象ユーザの明確化

通常、地震情報システムは、ユーザを特定しニーズ対応型システムとして設計するのが一般的である。本研究開発は、特定ユーザのニーズを対象にしたシステムの開発をめざすものではないが、ニーズ調査等を通じてできる限りユーザとそのニーズを把握し、ユーザの絞り込みを図りつ

つ進めることとした。9年度に実施したニーズ調査及びその後の検討から、本システムのユーザとして中小自治体及び一般産業施設等を念頭に置くが、特定ユーザのニーズ対応型システムを構築するよりは、種々のユーザを想定し多様なニーズに対応できる汎用性を持たせたシステム（情報提供型システム）の構築を優先的な目標とすることが研究計画に適合するとの結論になった。

(2)複数のユーザの多様なニーズへの対応

上記ニーズに対応するため、当初の予定通り、震源情報及び地震動情報に関して、情報の速報性と詳細性及び推定時間と推定精度の相互関係を考慮し、また、地盤データ等の関連データベースを事前に準備することにより、他時間の経過に沿って詳細及び高精度化した情報を逐次発信するシステムを構築する。

(3)通信手段、通信方法

このシステムに適した既存の通信手段と通信方法として、インターネットを利用しホームページあるいは電子メールにより情報伝達を行うのが現状では適切であると判断した。

(4)中小自治体等のニーズへの対応

中小自治体等のニーズに対応する方法として、RARMIS のような先進的 GIS を利用した情報管理システムとの連携を図ることが有力である。そこで、(1)の情報の一方向伝達システムの構築に加え、情報の双方向伝達型自律分散システムの開発についても検討することとする。

上記検討結果は、概ね 11 年度までの研究開発に反映されているが、12 年度の作業においてもこの方針に基づき、以下の項目を実施する予定である。

- (1)ノイズ検出処理方法の改良
- (2)震源推定手法の改良（P 波に基づく手法）
- (3)地震動推定手法の改良（等価線形解析法）
- (4)推定時間・精度の確認のためのパラメータ解析
- (5)GIS を利用したユーザ環境との連携の検討
- (6)マニュアル作成、取りまとめ

原研の研究開発は、手法開発と手法検証のための試作システム開発までを範囲としており、最新の知見を反映したシステムを試作することが目標である。この目標は、上述のように 12 年度までに概ね達成できる見通しである。

最後に、本報告書は、下記の分担により執筆したことを見出し記す。

第 1 章、第 2 章	柴田勝之
第 3 章	姥沢勝三
第 4 章	姥沢勝三 阿部一郎（現在、（株）富士総合研究所）
	都築和久（現在、三菱スペースソフトウェア（株））
	久野哲也
	堀内茂木（防災科研）（震源・断層パラメータ推定手法開発）
	大井昌弘（防災科研派遣中）（震源・断層パラメータ推定手法開発）
第 5 章	柴田勝之

謝　　辞

本研究計画を進めるにあたり、下記の通り多数の方々のご指導、ご協力及び激励を得た。

早田邦久東海研副所長には、11年度から担当副所長として多くのご指導、ご協力を頂いている。前田充理事・東海研所長（元安全性試験研究センター長）、鴻坂厚夫前東海研副所長、藤城俊夫前大洗研所長、秋元正幸前安全性試験研究センター長、阿部清治原子炉安全工学部長には、研究計画の策定時、特別チームの設置に当たり、また、特別チーム発足以後もご協力と励ましを頂いている。システムの構築に当たり、手法開発に関する共同研究の相手方である防災科研の石田瑞穂総括官、堀内茂木地盤地球科学技術研究部長、堀貞喜防災研究データセンター室長より多大な技術的協力を得ている。

また、「地震情報緊急伝達法等研究専門部会」亀田部会長（京都大学防災研究所教授）はじめ同専門部会委員各位には有益なご討議を頂いている。さらに、本研究開発における地震計ネットワーク構築、ソフトウェア開発、地盤・地震動データベース作成等は、（株）アカシ、応用地質（株）、三菱スペースソフトウェア（株）、（株）富士総合研究所、（株）日立情報システムズ、（財）地域地盤環境研究所、（株）大林組、佐藤工業（株）、への発注業務により実施した。

末尾ながら、関係各位には厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1.1] 地震調査研究便覧 1997 年版、(財) 地震予知総合研究振興会
- [3.1.1] 上ノ町勉他 : 地震防災と安全都市、鹿島出版会、1996 年 8 月
- [3.2.1] 野田茂、目黒公郎 : リアルタイム地震工学を目指して、第 22 回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、1994 年 10 月 31 日
- [3.2.2] 国土庁 : 総合的地震防災訓練実施のための調査 (15)、平成 7 年 3 月
- [3.2.3] 亀田弘行他 : ライフラインの確保に役立つ危機管理システム、計測と制御、第 36 卷第 1 号、1997 年 1 月
- [3.2.4] 入倉孝次郎 : 地震防災を目的とした地震情報の即時伝達システムに関する研究、平成 7 年度～平成 9 年度科学研究費補助金（基盤研究(A)(1)）研究成果報告書、平成 9 年 3 月
- [3.2.5] 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/I-41、1-16、1997. 10
- [3.2.6] (財) 消防科学総合センター : 地震被害予測システムに関する検討調査報告書、平成 8 年度 自治省消防庁委託事業、平成 9 年. 3 月
- [3.2.7] 科学技術庁地震調査研究課 : 強震計の現状及び強震計データ流通に関する調査、平成 9 年 3 月
- [3.2.8] 国土庁 : 地震被害想定支援マニュアル、国土庁ホームページ
- [3.2.9] 自治省消防庁消防研究所 : 簡易型地震被害想定システムユーザーズガイド、(財) 消防科学総合センター、1996 年 8 月
- [3.2.10] 自治省消防庁消防研究所 : 簡易型地震被害想定システムユーザーズガイド追加マニュアル、(財) 消防科学総合センター、1997 年 11 月
- [3.2.11] (財) 日本建築情報総合センター : 災害対策における G I S の有効利用、平成 7 年 8 月
- [3.2.12] (財) 日本建築情報総合センター : G I S データブック 1996 (日本の地理情報システムの紹介)、平成 8 年 4 月
- [3.2.13] (財) 日本建築情報総合センター : G I S 研究会報告解説、平成 8 年 10 月
- [3.2.14] 地理情報システム学会 : 空間データ基盤整備事業と G I S 資料集、平成 8 年度
- [3.2.15] 畑山満則他 : G I S を応用した総合防災情報システムの地域防災活動への導入—リスク 対応型地域空間情報システムの実現に向けて (3) —、地理情報システム学会講演論文集、Vol. 7、pp. 37-40、1998. 10
- [3.2.16] 亀田弘行他 : 災害緊急時と平常時の連携による総合防災情報システムの構築—リスク対応型地域空間情報システムの実現に向けて (1) —、地理情報システム学会講演論文集、Vol. 7、pp. 29-32、1998. 10
- [3.2.17] 角本繁他 : 空間データベースから時空間データベースへの転換と総合防災情報システム の構築—リスク対応型地域空間情報システムの実現に向けて (2) —、地理情報システム学会講演論文集、Vol. 7、pp. 33-36、1998. 10
- [3.2.18] 岡本茂明他 : 多次元時空間 G I S のソフトウェア部品の開発—DiMSIS-Ex—、第 8 回機能 図形情報システムシンポジウム、1997. 4
- [3.4.1] 目黒公郎 : 第 1 回リアルタイム地震防災シンポジウム—リアルタイム地震防災の現状 と今後—におけるパネルディスカッション、土木学会、1999 年 1 月
- [4.1.1] Kinoshita, S. : Kyoshin Net (K-NET), Seismological Research Letters, Vol.69, No.4,

pp.309-332, 1996

- [4.1.2] 気象庁編：平成 9 年度版 今日の気象業務, 1997
- [4.1.3] 堀内茂木・松澤暢・長谷川昭：地震が多発した場合にも処理可能な地震波処理システムについて, 地震 2, 52, pp.241-254, 1999
- [4.1.4] ト部卓・東田進也：win-微小地震観測網波形検出支援のためのワークステーション・プログラム（強化版）, 日本地震学会講演予稿集, pp.41, 1992
- [4.1.5] 渡辺晃：近地地震のマグニチュード, 地震, 24, pp.189-200, 1971
- [4.1.6] 堀貞喜・大井昌弘・堀内茂木・石田瑞穂：CMT 解と震源時間関数の自動決定手法の開発, 地震に投降中, 1999
- [4.1.7] 武尾実：非弾性減衰を考慮した震源近傍での地震波合成・堆積層での非弾性減衰効果について, 気象研究所研究報告, 36, pp.245-257, 1985
- [4.1.8] Kikuchi, M. and H. Kanamori : Inversion of complex body waves-III, Bull. Seismol. Soc. Am., 81, pp.2335-2350, 1991
- [4.1.9] 鳥居盛男・阿部進・新保康裕・岸本健二：横浜市のリアルタイム地震防災システム, 第 10 回に本地震工学シンポジウム論文集, pp.3451-3456, 1998
- [4.1.10] 清水善久：早期地震時被害推定システム-SIGNAL-, 計測と制御, Vol.36, pp.41-44, 1997
- [4.1.11] 濱田禎・杉田秀樹・金子正洋：地震時特性値分布の即時予測手法に関する研究, 第 24 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.193-196, 1997
- [4.1.12] 座間信作・細川直史：簡易型地震被害想定システムの開発, 消防研究所報告, 82, pp.26-33, 1996
- [4.1.13] 蟹沢勝三・中村晋・田居優・香川敬生・亀田弘行：断層モデルによる地震動予測式の作成法－概要－, 土木学会第 51 回年次学術講演会, I-B210, pp.420-421, 1996
- [4.1.14] P.B. Schnabel, J. Lysmer and H. B. Seed : "SHAKE a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites", EERC, 72-12, 1972.
- [4.1.15] 杉戸真太・合田尚義・増田民夫：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察, 土木学会論文集, No.493/III-27, pp.49-58, 1994
- [4.1.16] 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長：地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測統計的波形合成法による予測, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 430 号, pp.1-9, 1991
- [4.1.17] 國土府計画調整局・國土地理院：國土數値情報, 國土情報シリーズ 2, 大藏省印刷局, 1987
- [4.1.18] 高田至郎・高谷富也・小川安雄・福井真二：モニタリングシステムにおける地震動補間法と精度の検証, 構造工学論文集, Vol.40A, pp.1151-1160, 1994
- [4.1.19] 野田茂：確率論的内挿・外挿, 平成 5 年度科学研究費補助金試験研究(B)(1)研究成果報告書(課題番号 05555131), 研究代表者 星谷勝, pp.11-33, 1996
- [4.1.20] 川瀬博・林康裕：兵庫県南部地震時の神戸市中央区での基盤波の逆算とそれに基づく強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第 480 号, pp.67-76, 1996
- [4.1.21] 福島美光：地震波の発生・伝播の理論を背景とした入力地震動の経験的予測, ORI 研究報告, 93-07, 1994

[4.1.22]入倉孝次郎・香川敬生・関口春子：経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良，日本地震学会講演予稿集，1997年度秋季大会，B25，1997

[4.1.23]Boore,D.M. : Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiation spectra, Bull. Seismo. Soc. Am., Vol.73, No.6, 1865-1894, 1983

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光强度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}
压力, 応力	ニュートン	N	$m \cdot kg/s^2$
エネルギー, 仕事, 熱量	パスカル	Pa	N/m^2
功率, 放射束	ジュール	J	$N \cdot m$
電気量, 電荷	ワット	W	J/s
電位, 電圧, 起電力	クロン	C	$A \cdot s$
静電容量	コルト	V	W/A
電気抵抗	アーメン	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	$V \cdot s$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	$cd \cdot sr$
照度	ルクス	lx	lm/m^2
放射能	ベクレル	Bq	s^{-1}
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トントン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10^{18}	エクサ	E
10^{15}	ペタ	P
10^{12}	テラ	T
10^9	ギガ	G
10^6	メガ	M
10^3	キロ	k
10^2	ヘクト	h
10^1	デカ	da
10^{-1}	デシ	d
10^{-2}	センチ	c
10^{-3}	ミリ	m
10^{-6}	マイクロ	μ
10^{-9}	ナノ	n
10^{-12}	ピコ	p
10^{-15}	フェムト	f
10^{-18}	アト	a

(注)

- 表1~5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC指令ではbar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バル	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

換算表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf	MPa(=10bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	0.101972	0.224809	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
	9.80665	1	2.20462	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	4.44822	0.453592	1	0.101325	1.03323	1	760	14.6959

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} (\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P} (\text{ポアズ}) (\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} (\text{ストークス}) (\text{cm}^2/\text{s})$$

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605 J (計量法)		
								熱化学	15°C	国際蒸気表
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸			
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹			
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵			
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹			
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹			
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸			
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1			

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad	照射線量	C/kg	R		
									1	100
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹		1	100		1	3876		
	3.7 × 10 ¹⁰	1		0.01	1		2.58 × 10 ⁻⁴	1		

線量当量	Sv	rem	照射線量	C/kg	R	線量当量	Sv	rem
	1	100		1	3876		1	100
	0.01	1		2.58 × 10 ⁻⁴	1		0.01	1

(86年12月26日現在)

地震情報緊急伝達システムの研究開発の進捗

この論文は、地震情報緊急伝達システムの研究開発の進捗について述べる。システムの構成要素として、地震検出装置、データ通信網、警報機器、モニタリング装置等が挙げられる。また、システムの特徴としては、リアルタイムでの地震情報を収集・分析・伝達機能があること、複数の機関との連携による効率的な対応が可能であること、災害時の緊急情報を迅速に伝達する機能があること等が挙げられる。今後、システムの実用化を目指すためには、より高精度な地震検出装置や、より広範囲なデータ通信網の構築が求められる。