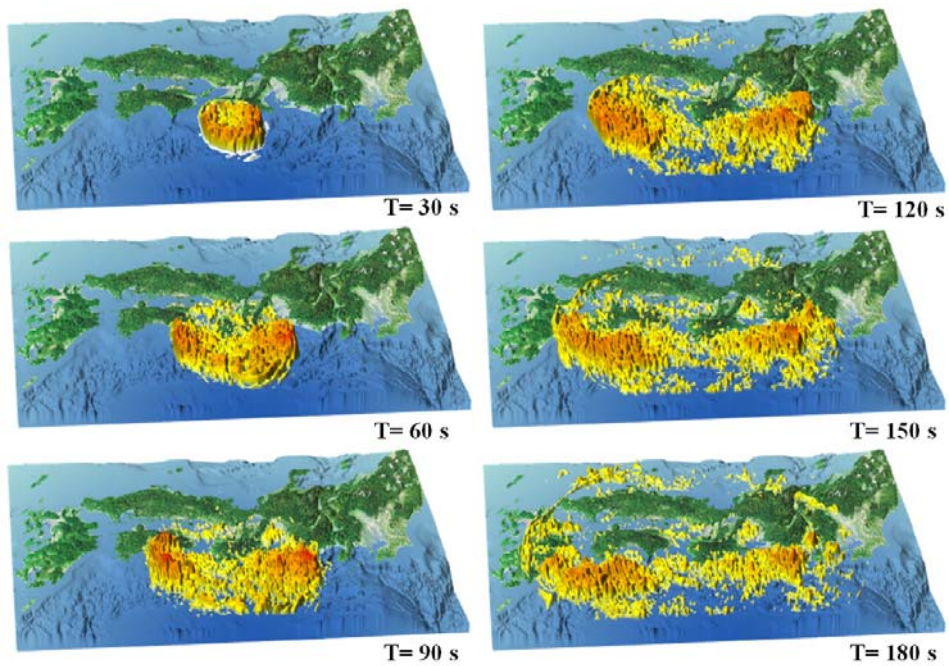
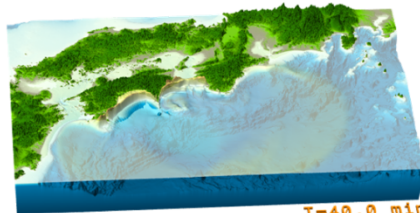
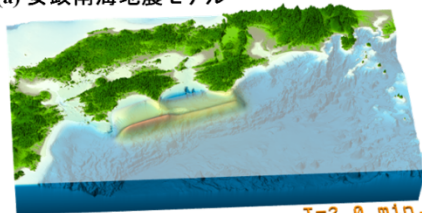


1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測 (3.1 参照)

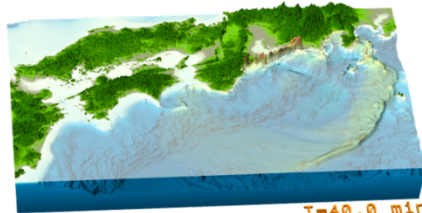
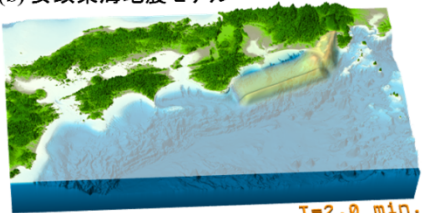


1707 年宝永地震の地震波伝播シミュレーションのスナップショット（地震発生後、30, 60, 90, 120, 150、及び 180 秒後）。地動速度の強度を色と高さで強調して可視化表示。

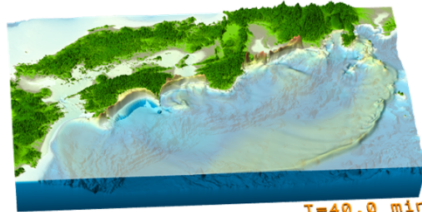
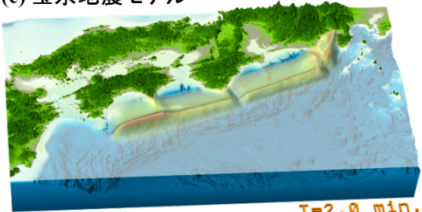
(a) 安政南海地震モデル



(b) 安政東海地震モデル



(c) 宝永地震モデル



南海トラフ地震の津波シミュレーションによる津波高のスナップショット（地震後 2 分、40 分後）。(a) 安政南海地震、(b) 安政東海地震、(c) 宝永地震の震源モデルによる津波の評価。

2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定 (3.2 参照)



(a) 地震発生直後

(b) 30 分後

(c) 45 分後

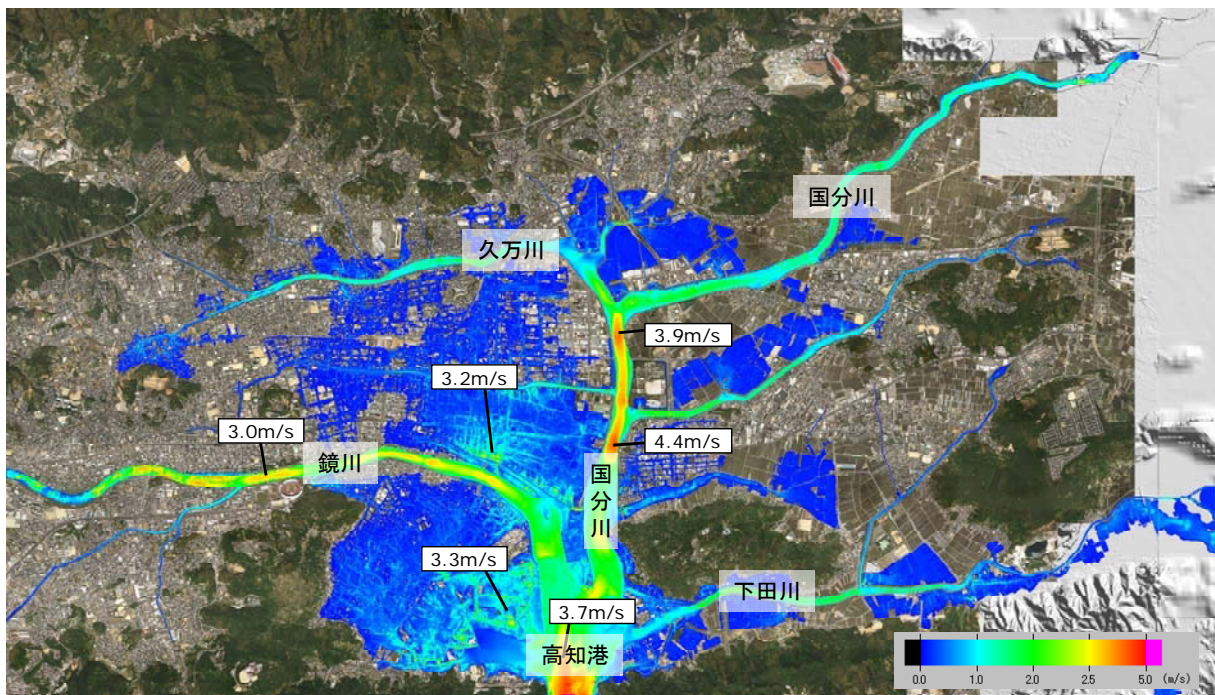


(d) 1 時間後

(e) 2 時間後

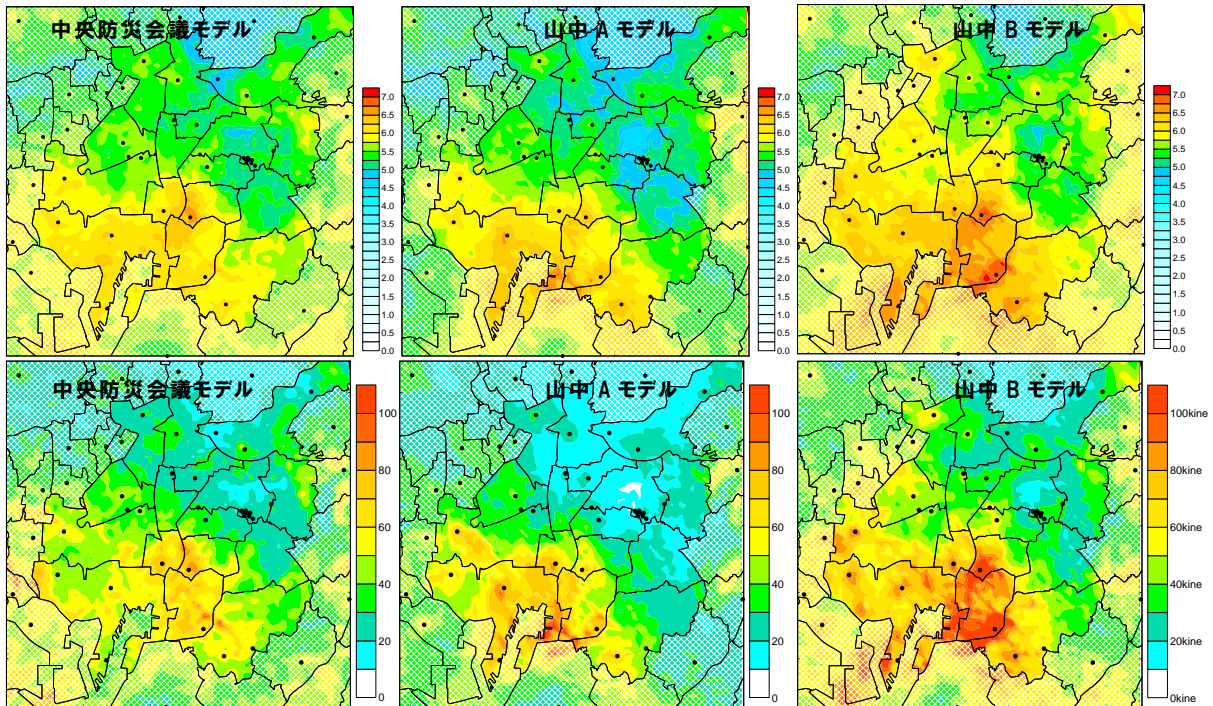
(f) 2 時間 30 分後

宝永地震と同等の地震が発生した場合（高知県沖の断層は低速破壊と仮定）の高知市における推定津波氾濫の経時変化。河川では青色から赤色へと、陸域では黄色から緑へと色が変わるほど水位が高い。

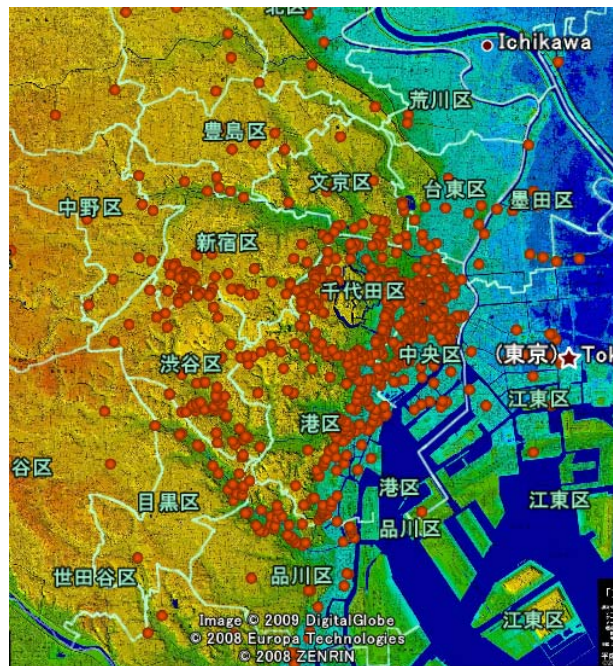


宝永地震と同等の地震が発生した場合の推定最大浸水範囲と最大流速分布。河川沿いの標高の低い箇所や市街地では道路に沿って氾濫が生じる。

3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定（3.3 参照）



東海・東南海地震による推定震度（上）と最大速度（下）。震源特性として、中央防災会議のモデル、山中（2005）によるモデル A、山中による広域の断層面を仮定したモデル B の 3 ケースを想定した。観測記録の補間により細かなメッシュごとの地震波伝播や地下構造特性を考慮する擬似経験的グリーン関数法を用いた。

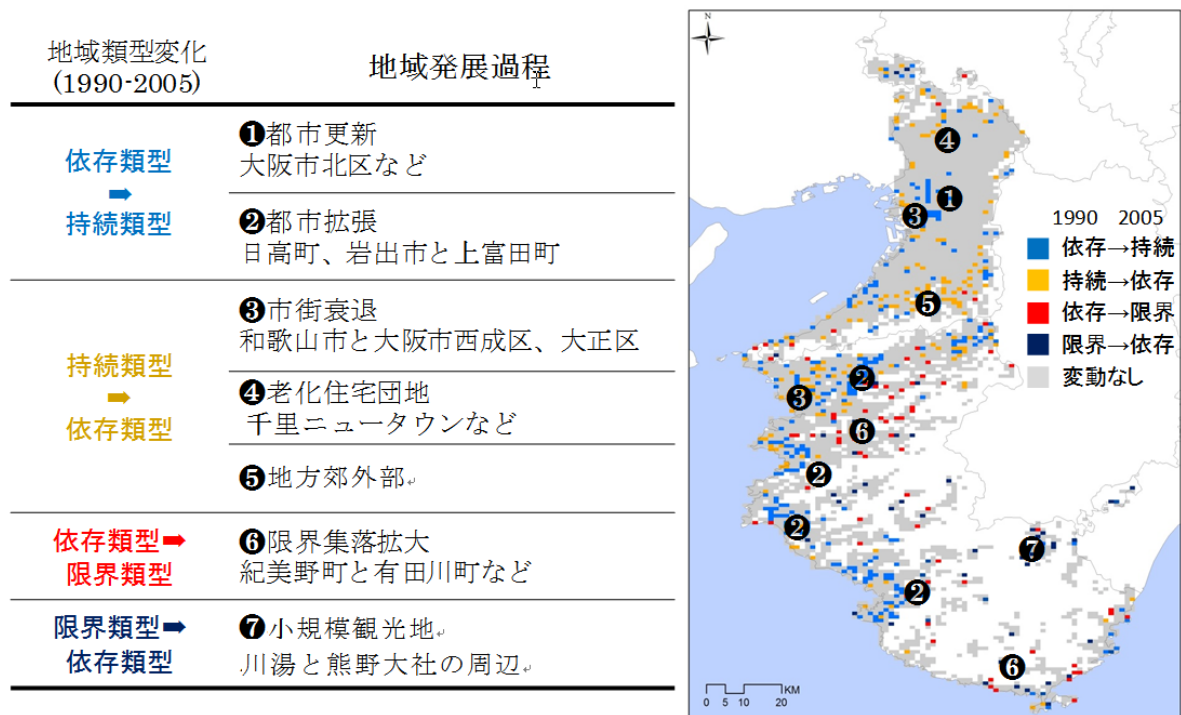


東京都心部のデジタル標高地図と東証一部上場企業の分布。

4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定（3.4 参照）

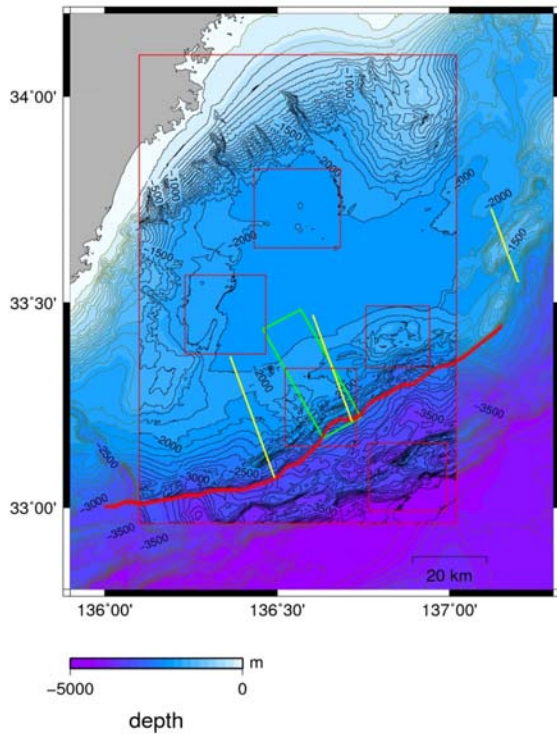
地域類型毎の人口ピラミッド（1990-2005）	人口変動特徴
<p>持続類型</p>	<ul style="list-style-type: none"> 団塊世代と団塊ジュニアの老化が進みつつ、若年人口が移入する 若年人口と出生人口の確保によって、将来にわたって人口増加
<p>依存類型</p>	<ul style="list-style-type: none"> 教育や就職のため、20代から30代前半が転出 新たな生産人口が集まる機能を他の地域に依存
<p>限界類型</p>	<ul style="list-style-type: none"> 生活やサービスの担い手が減少 ダイヤモンド形の人口ピラミッド 激しい人口減少

国勢調査結果に基づくクラスター分析によって3種類に類型化された年齢別人口構成比の人口ピラミッドとその人口変動の特徴。



1995年から2005年にかけての地域類型の比較結果とその解釈。

5. サブプロジェクト①の研究成果の活用及び地域研究会の開催 (3.5 参照)

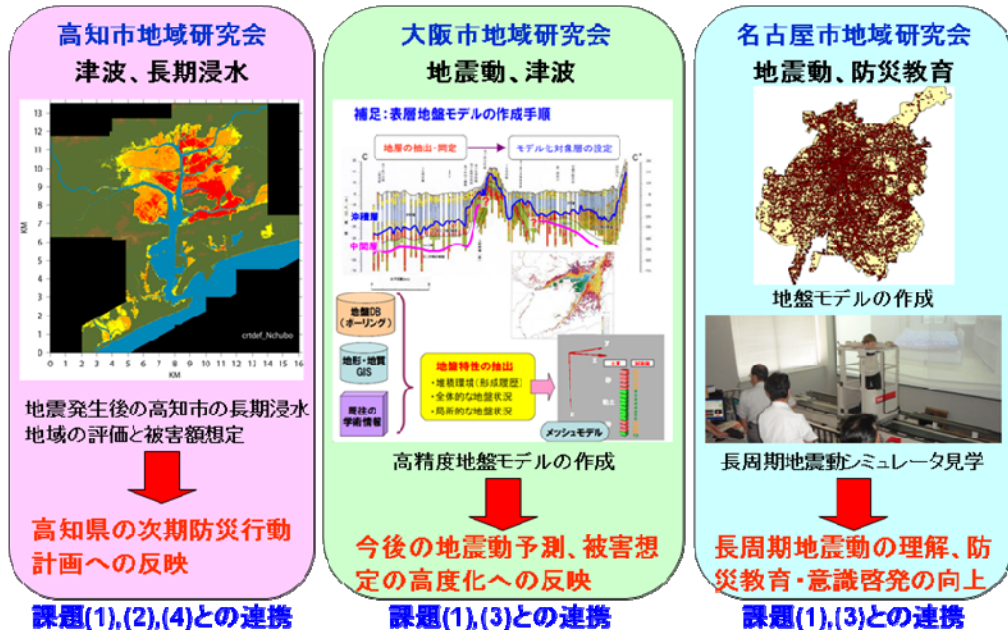


構築した海底地形モデルと
分岐断層の位置・サイズとの関係。



第3回高知市地域研究会の様子。

地域研究会の開催・運営
—地域特有のテーマの一例—



3都市圏での地域研究会の開催。

まえがき

東海・東南海・南海地震の連動発生条件と可能性を探り、そして連動発生による強震動と津波の生成とこれによる被害を的確に予測して、地震直後の応急対応と速やかな復興・復旧に向けた防災情報を提供して、災害を軽減に資することを目的とする本プロジェクト「東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト」が平成20年度から5カ年の計画で開始されました。

本連動性評価プロジェクトは、上記の目的を達成するために理工学研究の連携と社会学研究の参画による

① 東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究

② 連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究

の2つのサブプロジェクトにより行われ、サブプロジェクト内の研究の連携はもちろんのこと、サブプロジェクト間での密接な連携を図りながら研究が進められています。

本サブプロジェクト②では、東海・東南海・南海地震の連動発生による強震動と津波被害の全貌を明らかにし、これに対応した防災・減災対策等の検討に必要な災害情報を提供することを目的に、次の5つのサブテーマを定めて研究を進めています：

(1) 「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」

連動型巨大地震により生まれる強震動、地殻変動、そして津波をスーパーコンピュータを用いて高精度に予測することにより、連動発生による地震と津波のリスクを的確に把握します。

(2) 「津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」

上記のシミュレーション結果をもとに、津波の河川遡上や沿岸部での波高と浸水等を高精度に予測して、津波被害軽減に有効なハザードマップ等を作成し、また、これを有効に活用した人的被害の軽減戦略プログラムを提案します。

(3) 「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」

地震観測に基づく平野部での強震動の評価や、構造物の地震応答解析等に基づき大型の現代構造物や埋立地における大規模構造物の耐震性の評価を行います。応急対応、復興・復旧の鍵となる地域の災害対応力を調査し、そしてボトルネックとなる重要課題を明確化します。

(4) 「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」

連動型巨大地震による強震動と地殻変動、そして津波が引き起こす複合災害の全貌を明らかにし、重要施設の被災による直接及び間接的な社会影響を評価します。そして、10年、20年、あるいは30年後の被災地の社会状況の変化を見据えた災害対応と復興プロセスを明確化します。

(5) 「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」

サブプロジェクト①の地下構造調査結果等を用いて、強震動及び津波シミュレーションの高度化に必要な地下構造モデルや濃尾平野及び大阪平野等の主要平野

の地盤モデルを整備します。また、本プロジェクトを地域自治体の防災担当者やライフライン企業等と意見交換を図りながら計画的に進めるための地域検討会を運営します。

各サブテーマにおける、平成 21 年度の成果概要は次のとおりです：

- (1) 「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」では、1707 年宝永地震、1854 年安政東海・南海地震、及び 1944 年東南海・1946 年南海地震など過去の南海トラフ地震による強震動、地殻変動、及び津波を観測データとシミュレーションから再現して、連動発生による地震動と津波の増幅について検討を行いました。また、サブプロジェクト①により示された最新の地質調査結果や南海トラフ構造探査の結果を取り入れて、1707 年宝永地震の震源モデルの修正を行ないました。
- (2) 「津波伝播津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」では、サブプロジェクト①により求められた海底地形の詳細計測結果を用いた局所的な津波増幅の影響評価や、潮汐や地球温暖化による海面上昇が津波伝播過程に与える影響評価を行いました。また、上記の新しい宝永地震モデルを用いた津波シミュレーション結果を前提条件として、高知市を対象に河川の遡上と浸水シミュレーションを実施しました。
- (3) 「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」では、擬似経験的グリーン関数法を用いて観測データから平野全体の強震動を面的に予測する手法を開発し、1944 年東南海地震の強震動を再現して有効性の検証を行いました。また、鉄筋コンクリート造構造物の耐震性能評価法や、軟弱地盤における構造物の大規模群杭の動的相互作用を考慮した応答解析法を開発しました。建物強震観測による基礎データを継続収集し、地域の災害対応力を調査と Google Map 等を用いた効果的な表示法を検討しました。
- (4) 「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」では、H20 年度に開発した社会状況 GIS データベースを用いて、南海トラフ地震の被災地域を「持続型」「依存型」「限界型」の 3 つのタイプに類型化する分類法を提案しました。そして、2004 年新潟県中越沖地震の復旧・復興過程を分析し、中山間地域の復旧・復興戦略の検討を進めました。高知市においては、地震後の長期湛水被害による社会影響と、災害対応、復旧・復興過程の課題について基礎検討を開始しました。
- (5) 「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」では、津波シミュレーションの高度化に不可欠な詳細海底地形モデルを整備し、特に東南海地震の震源域周辺で海底地滑りを起こす可能性の高い傾斜地や、大津波発生の原因となる分岐断層を抽出しました。また、大阪平野と濃尾平野では強震動シミュレーションの高度化に不可欠な表層地盤モデルを整備しました。地域研究会を高知、大阪、及び名古屋で開催して自治体とライフライン企業の防災関係者と研究者、及び本プロジェクト担当者の意見交換を行ない、また分科会を設置して津波や長期湛水に関する議論を深めました。

以上のとおり、本プロジェクトの 2 年目にあたる平成 21 年度は、計画に沿ってほぼ順調に目標を達成することができたと考えております。

目 次

グラビア	i
1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測	i
2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定	ii
3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定	iii
4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定	iv
5. サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催	v
まえがき	vi
目 次	viii
1. プロジェクトの概要	1
2. 研究機関および研究者リスト	5
3. 研究報告	7
3.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測	7
(1) 業務の内容	8
(2) 平成21年度の成果	10
(3) 平成22年度業務計画案	42
3.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定	43
(1) 業務の内容	44
(2) 平成21年度の成果	46
(3) 平成22年度業務計画案	63
3.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定	64
(1) 業務の内容	65
(2) 平成22年度の成果	67
(3) 平成22年度業務計画案	100
3.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定	101
(1) 業務の内容	102
(2) 平成21年度の成果	104
(3) 平成22年度業務計画案	120
3.5. サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催	121
(1) 業務の内容	122
(2) 平成21年度の成果	124
(3) 平成22年度業務計画案	147
4. 活動報告	148
4.1. 会議録	148
4.1.1. 第1回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」合同研究推進委員会	148
4.1.2. 第2回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」運営・研究推進合同委員会	148
4.1.3. 第3回高知市地域研究会	149

4.1.4. 第4回高知市地域研究会	149
4.1.5. 第3回大阪市地域研究会	150
4.1.6. 第3回名古屋市地域研究会	150
4.1.7. 大阪市地域研究会第1回分科会	151
4.1.8. 名古屋市地域研究会第1回分科会	151
4.1.9. 大阪市地域研究会第2回分科会	152
4.1.10. 高知市地域研究会第1回分科会	152
4.1.11. 第1回紀州分科会	152
4.1.12. 研究打ち合わせ	153
4.1.13. 研究打ち合わせ	153
4.1.14. 研究打ち合わせ	153
4.1.15. 研究打ち合わせ	154
4.1.16. 「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」推進委員会規則	155
4.1.17. 「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」研究推進委員会② 構成	157
4.2. 対外発表	158
4.2.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測	158
4.2.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定	159
4.2.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定	159
4.2.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定	160
4.2.5. サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催	161
5. むすび	163

1. プロジェクトの概要

本プロジェクト（サブプロジェクト②：連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究）では、5つのサブテーマ「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」「津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」を設定した。具体的には、それぞれ以下の業務を行う。

連動型巨大地震による強震動の高精度予測

連動型巨大地震による強震動の高精度予測のために、周期 0.3～20 秒の広帯域強震動及び地殻変動、そして津波発生・伝播を連成して評価できる広帯域強震動・津波計算シミュレーションコードを開発し、地球シミュレータ等を用いた計算により、過去の南海トラフ地震（宝永地震、安政東海・南海地震、昭和南海・東南海地震）について、強震動と津波高資料との相互評価から断層破壊様式を明らかにする。また、サブプロジェクト①の成果に基づく地震発生シナリオに対応した、全国の地震動分布と、震源域および大阪、名古屋地域での強震動と地殻変動の高精度評価を行う。さらに、多様な地震発生様式を想定するとともに、南海トラフ震源域直上への海底ケーブル地震計の設置によって、緊急地震速報における震源位置と地震規模推定精度の向上と警報の発信時間の短縮、及び強震動到来までの時間猶予を評価する。

津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

本サブテーマでは、地震動サブテーマの強震動・津波シミュレーションから得られた地震・津波シナリオをもとに、河川を含む沿岸域での津波の遡上過程と浸水を高精度に予測する。ここでは、詳細な地形特性、陸上での土地利用、潮汐、地球温暖化による海面変動など、現在および将来に予想される現実的な環境下での津波遡上を検討する。これらの結果を利用して、津波被害の予測と人的被害の軽減のための情報を作成し、被害形態も考慮した沿岸部でのハザードマップ作成の検討を行う。ここで作成するハザードマップでは、大地震の強震動による被害、大津波の到来、そして内陸部への浸水が起きる過程に対して時間を追って示すとともに、津波遡上と浸水を高分解能な航空写真に重ねて可視化することや、GIS を用いるなどの工夫により、大地震による津波の脅威を良く理解できるようなリアルなアニメーションの作成を目指す。以上の結果を基盤とした、ハザード・リスクや復旧・復興のための情報マップを活用した人的被害軽減戦略の作成プログラムを提案する。

都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

地震発生シナリオに対応した都市域の高解像度地震動予測と各種構造物の地震応答・被害予測を行う。平野で生成する強震動を地震観測データと地震応答解析から高精度に評価し、学校・集合住宅などの鉄筋コンクリート（RC）系の建物の被害を予測するとと

もに、超高層ビルなどの長周期構造物や、埋立地の大規模建築物の応答性状を評価する。また、緊急地震速報を活用した構造物の被害軽減・早期機能復旧のための方策、例えば、各種安全装置の自動起動やエレベータの停止等の方策について調査する。さらには、地域社会が有する災害対応力を建築の立場から調査し、復旧・復興に向けた課題を明らかにする。

将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

人口減少社会を踏まえた防災対策、災害対応、復旧対策のあり方の検討を行うために、被災地域の社会状況についてのシミュレーションを実施し、シミュレーション結果に基づき災害対応、復旧・復興プロセスの明確化、重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」手法を開発する。加えて、復旧・復興時に発生する大きな余震に備えた、緊急地震速報の利用方策を提案する。また、地震地殻変動による紀伊半島や四国の海岸線の沈降や、大阪での河川の津波遡上により引き起こされる複合災害の影響を評価する。

サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

地震津波シミュレーションの高度化のために、サブプロジェクト①「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」と連携して海陸統合地下構造探査モデルを用いて、地震・津波シミュレーションのための高精度3次元差分計算用地下構造モデルを作成する。加えて、強震記録に基づく浅層軟弱地盤による増幅率の面的なモデル化を行う。南海トラフの巨大地震の連動性の啓蒙を図るとともに、広域な災害発生に対して地域社会が有する減災・復旧復興への対応力とその実力を認識・共有するために、自治体、ライフライン事業者、建設業者、ボランティア団体から構成される地域検討会を設置・運営する。

平成21年度においては、前年度の成果を踏まえて、それぞれの成果を連携し、強震動と津波の予測から人的・物的被害の予測、復興・復旧戦略の策定をシームレスにつないだ研究を開始した。以下に各サブテーマの研究成果の概要を示す。

連動型巨大地震による強震動の高精度予測

海洋研究開発機構の地球シミュレータを用いて、過去の南海トラフ地震（1707年宝永地震、1854年安政東海・南海地震、1944年昭和東南海地震、1946年南海地震）の断層破壊シナリオに基づく地震動・津波シミュレーションを実施し、東海・東南海・東南海地震の単独発生および連動発生による強震動と津波の増大の可能性を検討した。計算結果と過去の南海トラフ地震の津波波高と震度分布史料の比較を行い、南海トラフ地震の断層破壊様式の不均質特性（地震規模、破壊開始点・破壊進行方向・速度）が強震動と津波に与える影響について評価した。その結果、連動発生による影響は震源域の拡大に伴う強震域や大津波域の拡大に限られ、単独発生による強震動と津波高を上回るものはないこと、ただし断層破壊開始点と破壊伝播方向が長周期地震動のディレクティビティ効果を作り出し、破壊伝播方向で振幅が大きくなる可能性を示した。また、津波については、破壊伝播速度

が非常に遅い ($V_r < 500 \sim 1000 \text{m/s}$) 場合に限り、ディレクティビティ効果が発生して津波高が増大することを示した。

次に、サブプロジェクト①「(1)稠密海底地震・津波・海底地殻変動観測」において H20 年度に報告された大分県の津波湖と津波堆積物調査と日向灘周辺での反射法構造探査の成果を受けて、1707 年宝永地震の震源域の西端が従来考えられてきた足摺岬から日向灘まで 100 km 以上も延びた新しい震源モデルを提唱した。そして、従来の震源モデルでは説明できなかった足摺岬～日向灘の津波高分布と、大分県の地震地殻変動及び津波湖の生成過程の説明に成功した。また、足摺岬～日向灘の高い津波高と龍神池の津波浸水を考えるために、土佐湾以西の南海トラフ地震セグメントの断層破壊速度が、通常の数分の一程度であった可能性について検討した。

本研究より得られた宝永地震の震源破壊様式の新しい知見を、サブプロジェクト①「(2)物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」に渡し、地震発生サイクルシミュレーションの高度化に向けた研究協力を進めるとともに、新しい宝永地震モデルを用いて計算した地震地殻変動と外洋津波の計算結果を、本サブプロジェクト「(2)津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」における河川の遡上と浸水による被害の高精度推定シミュレーションの前提条件として活用するなど、サブプロジェクト間及びサブプロジェクト内の研究連携を図った。

津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

より詳細な津波の挙動を再現するために高知市市街地を対象とした 50/9m メッシュ高精度地形モデルによる津波遡上シミュレーションを実施した。津波・地殻変動観測さらには現地沿岸地形及び沿岸構造調査から得られた詳細な計測結果を用い、解析に必要なデータを作成した。1707 年宝永地震相当の断層セグメントと破壊時間差を考慮した 3 つのケースを想定し地震津波を評価した。これを地震津波発生シナリオとして定め、沿岸・市街地の津波波高・浸水、さらには河川への遡上などの比較結果を得た。震源域の広がりや連動条件の違いに起因する波高上昇への影響や、連続・繰返す津波による市街地への影響を評価出来た。高知県沖の断層セグメントが低速で破壊すると仮定したケースでは、ディレクティビティ効果で津波の波高は大きくなり、高知市内における氾濫浸水深・流速も増加することを示した。また、津波解析の初期条件となる海面レベルについて、潮汐や地球温暖化による海面上昇などによる偏差の影響を評価した。

都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

深部・浅部地盤の詳細な情報に基づいて小地震の観測記録を補間し、これを用いて任意地点の経験的グリーン関数法による強震動予測を行う手法（擬似経験的グリーン関数法）を開発し、名古屋市域の代表地点における東南海地震の強震動予測を行い、過去の東南海地震における推定震度分布との比較等により有効性を検証した。学校などの鉄筋コンクリート造建物群について、耐震診断や地震被害調査に基づき、基礎浮き上がりや雑壁の影響も考慮したモデル化により実被害を説明できる耐震性能評価法を構築するとともに、対象建物群の耐震余裕度を評価した。軟弱地盤上の建物について、大規模群杭をグループ化して集約する手法を検討し、根入を含む動的相互作用効果を考慮した応答解析法を構築した。

災害発生時の地域社会対応力の評価に向けて、基礎的な情報の蓄積と WebGIS や Google Map による効果的な表示法の検討を行った。また以上の検討の基礎資料として地域の建物・地盤における強震観測と記録の整理を継続し、平成 21 年 8 月 11 日駿河湾地震などの記録を収集した。

将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

南海トラフ地震の推定被災地域の地域類型を行うための手法として国勢調査メッシュ統計の人口データを用い「持続型」「依存型」「限界型」という 3 つのタイプに地域を類型する手法の開発を行った。次に、2004 年新潟県中越沖地震の復旧・復興過程の分析から、集落を離れる割合は復興施策の方針（地域に留まる、地域を離れる）に関わらず一定であり、中山間地域の復旧・復興戦略としては災害前に各集落をどのようにするのかという事について検討しておくことが重要である事を明らかにした。また、震度 6 弱以上の揺れを被る発電施設の機能停止が長期にわたる場合、夏期の電力需要期の総発電量が不足する可能性があることを明らかにした。さらに、高知市において研究者・行政職員が参画するワークショップを開催し、長期湛水被害による社会的影響ならびに災害対応・復旧・復興戦略に関する基礎的な検討を行った。

サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

東南海地震の震源域周辺における海域を中心に、解像度 25 m - 100 m メッシュのシービーム探査による海底地形データをコンパイルした。沿岸部を除く沖合の海域について、現在公開されている海底地形データより分解能が高く、地震動及び津波のより高精度な波動伝播シミュレーションへの適用を目的とした海底地形モデルを構築した。構築した海底地形モデルを用いて、東南海地震の震源域周辺における斜度を計算し、地震時に海底地滑りを引き起こす可能性の高い海底急傾斜地のマッピングを行った。また、既往の研究論文から大津波発生の可能性の高い分岐断層を抽出し、地震動及び津波シミュレーションに必要な情報をまとめた。大阪平野、濃尾平野、それぞれを含む領域に対して、昨年度収集した強震記録に基づき、地震動の短周期成分の増幅率の評価を実施した。大阪平野に関しては、上町台地周辺や人工島など地盤特性が特徴的な地域を選定して、関西圏地盤情報データベースを用いた詳細な浅層地盤モデルの構築を行った。

プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を高知市で 2 回、大阪市で 1 回、名古屋市で 1 回、それぞれ開催した。地震調査研究ならびに地域研究会に対する意見・要望を抽出するために、参加者を絞り込んだ分科会を、高知市で 1 回、大阪で 2 回、名古屋で 1 回、それぞれ開催した。この他、津波災害が共通して懸念される三重県南部と和歌山県南部の防災関係者との情報交換と議論を深めるために、紀州分科会と紀州講演会を開催した。

2. 研究機関および研究者リスト

所属機関	役職	氏名	担当課題
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	教授	古村 孝志	3.1
東京大学地震研究所	教授	佐竹 健治	
東京大学地震研究所	教授	額 額 一起	
東京大学地震研究所	助教	三宅 弘恵	
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	今井 健太郎	
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	前田 拓人	
東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター	教授	今村 文彦	3.2
東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター	准教授	越村 俊一	
東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター	助教	後藤 和久	
名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻	教授	福和 伸夫	3.3
名古屋大学大学院環境学研究科 附属地震火山・防災研究センター	准教授	飛田 潤	
名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻	准教授	護 雅史	
京都大学防災研究所	准教授	牧 紀男	3.4
京都大学防災研究所	助教	鈴木 進吾	
岐阜大学工学部社会基盤工学科	教授	能島 暢呂	
立命館大学文学部	准教授	中谷 友樹	
長岡造形大学造形学部	准教授	澤田 雅浩	
建築環境デザイン学科 国立保健医療科学院施設科学部	研究員	佐藤 栄治	
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	プロジェクト リーダー	金田 義行	3.5
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究主 任	大堀 道広	
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	特任技術研 究副主任	中村 武史	

独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト 独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	特任技術研 究副主任 技術副主任	チタク セクチン 馬場 俊孝	
--	------------------------	-------------------	--

3. 研究報告

3.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5 ヶ年の年次実施計画
- (e) 平成 2 1 年度業務目的

(2) 平成 2 1 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 過去の南海トラフ地震による強震動と津波の評価
 - 2) 宝永地震の震源モデルの修正
 - 3) 新しい宝永地震のモデルと津波シミュレーション
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成 2 2 年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

連動型巨大地震による強震動の高精度予測

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	教授	古村 孝志
東京大学地震研究所	教授	佐竹 健治
東京大学地震研究所	教授	瀬瀬 一起
東京大学地震研究所	助教	三宅 弘恵
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	今井 健太郎
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	前田 拓人

(c) 業務の目的

連動型巨大地震による強震動の高精度予測のために、周期 0.3～20 秒の広帯域強震動及び地殻変動、そして津波発生・伝播を連成して評価できる広帯域強震動・津波計算シミュレーションコードを開発し、地球シミュレータ等を用いた計算により、過去の南海トラフ地震（宝永地震、安政東海・南海地震、昭和南海・東南海地震）について、強震動と津波波高資料との相互評価から断層破壊様式を明らかにする。また、サブプロジェクト①の成果に基づく地震発生シナリオに対応した、全国の地震動分布と、震源域および大阪、名古屋地域での強震動と地殻変動の高精度評価を行う。さらに、多様な地震発生様式を想定するとともに、南海トラフ震源域直上への海底ケーブル地震計の設置によって、緊急地震速報における震源位置と地震規模推定精度の向上と警報の発信時間の短縮、及び強震動到来までの時間猶予を評価する。

(d) 5 年間の年次実施計画

1) 平成 20 年度：

連動型巨大地震により発生する、短周期～長周期強震動と地殻変動と津波発生・伝播を同時に高精度に評価するための、「広帯域地震・津波シミュレーションモデル」を整備し、大大プロジェクト他により構築された、陸域地下構造・堆積平野構造モデルと海域構造探査モデルを結合した、高分解能陸域・海域地下構造モデルを整備した。不均質な地下構造・震源破壊様式モデルを用いた強震動・津波発生伝播の数値シミュレーションのための大規模並列計算コードを開発した。

2) 平成 21 年度：

1707 年宝永地震や 1854 年安政東海・南海地震、1944 年昭和東南海地震、1946 年南海地震の地震動と津波を再現し、過去の南海トラフ巨大地震の全貌を明らかにする。南

海トラフ地震の震源破壊様式とその不均質性が強震動と津波に与える影響を明確化する。得られた震源破壊様式の知見をサブプロジェクト①の「物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」および本サブプロジェクトの「(2)津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」における高精度津波シミュレーションの入力として連携をはかる。

3) 平成 22 年度 :

上述の陸域・海域地下構造モデルに対して、サブプロジェクト①の「稠密海底地震観測」等から得られた、最新の地下構造探査結果を取り入れることにより、超高分解能 (0.5km 以下) の陸域・海域地下構造モデルを構築する。本モデルを用いた 1944 年東南海、1946 年南海地震の強震動・津波シミュレーションを実施し、津波波高分布、検潮記録、強震波形記録との比較検証を行う。また、最近の南海トラフ地震 (2004 年紀伊半島南東沖の地震など) の強震観測、地殻変動観測、および海底津波計記録と比較してモデルの妥当性を検証し予測シミュレーションモデルの信頼度を向上させる。

4) 平成 23 年度 :

サブプロジェクト①の「物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」により得られる連動・単独発生シナリオに対する強震動と地殻変動、そして津波の高精度予測を行う。人口密集平野 (大阪、名古屋、関東など) の強震動波形の特性 (震動継続時間、周期特性と長周期地震動など) を詳しく調査し、海岸線の沈降・隆起を 3 次元地下構造モデルを用いて高精度に予測して「(2)津波高精度予測」での津波の遡上への影響を評価する。単独発生および連動発生による強震動が都市の多様な構造物に与える影響と、津波浸水の影響を多面的に評価する。

5) 平成 24 年度 :

連動型巨大地震による強震動の威力を社会に分かりやすい形で伝えるために、強震動と津波発生伝播シミュレーションの 3 次元可視化動画を作成する。過去の南海トラフ地震および、連動・単独発生シナリオによる強震動分布の違い、地震発生から強震動と津波の到達までの時間的猶予、地震後の平野の大きく長い揺れの特徴について直感的に理解できる効果的な可視化教材を作成する。

(e) 平成 21 年度業務目的

地球シミュレータ等を利用して、1707 年宝永地震、1854 年安政東海・南海地震、1944 年昭和東南海地震、1946 年南海地震について、地震動と津波を再現し、過去の南海トラフ地震の全貌を明らかにする。計算結果と、津波波高や震度分布の史料との比較から、これらの南海トラフ地震の震源破壊様式 (地震規模、破壊開始点、破壊の進行方向、断層面の滑りの分布) とその不均質性を明らかにする。こうして求められた震源破壊様式の知見を、サブプロジェクト①の「物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」での過去の南海トラフ地震の発生シミュレーションに活かす。また、本シミュレーションから得られる地震地殻変動と外洋津波の計算結果を、本サブプロジェクトの「(2)津波

災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」における河川の遡上と浸水による被害を高精度に推定するための連成計算での前提条件とする。また、シンガポールで開かれる AOGS（アジアオセアニア地球科学学会）年次会合に出席し、強震動と津波関連の最新の研究資料を収集する。

(2) 平成 21 年度の成果

(a) 業務の要約

海洋研究開発機構の地球シミュレータを用いて、過去の南海トラフ地震（1707 年宝永地震、1854 年安政東海・南海地震、1944 年昭和東南海地震、1946 年南海地震）の断層破壊シナリオに基づく地震動・津波シミュレーションを実施し、東海・東南海・南海地震の単独発生および連動発生による強震動と津波の増大の可能性を検討した。計算結果と過去の南海トラフ地震の津波波高と震度分布史料の比較を行い、南海トラフ地震の断層破壊様式の不均質特性（地震規模、破壊開始点・破壊進行方向・速度）が強震動と津波に与える影響について評価した。その結果、連動発生による影響は震源域の拡大に伴う強震域や大津波域の拡大に限られ、単独発生による強震動と津波高を上回るものはないこと、ただし断層破壊開始点と破壊伝播方向が長周期地震動のディレクティブティ効果を作り出し、破壊伝播方向で振幅が大きくなる可能性が明らかになった。また、津波については、破壊伝播速度が非常に遅い（ $V_r < 500 \sim 1000 \text{ m/s}$ ）場合に限り、ディレクティブティ効果が発生して津波高が増大することが示された。

次に、サブプロジェクト①「(1)稠密海底地震・津波・海底地殻変動観測」において H20 年度に報告された大分県の津波湖と津波堆積物調査と日向灘周辺での反射法構造探査の成果を受けて、1707 年宝永地震の震源域の西端が従来考えられてきた足摺岬から日向灘まで 100 km 以上も延びた新しい震源モデルを提唱した。そして、従来の震源モデルでは説明できなかった足摺岬～日向灘の津波高分布と、大分県の地震地殻変動及び津波湖の生成過程の説明に成功した。また、足摺岬～日向灘の高い津波高と龍神池の津波浸水を考えるために、土佐湾以西の南海トラフ地震セグメントの断層破壊速度が、通常の数分の一程度であった可能性について検討した。

本研究より得られた宝永地震の震源破壊様式の新しい知見を、サブプロジェクト①の「物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」に渡し、地震発生サイクルシミュレーションの高度化に向けた研究協力を進めるとともに、新しい宝永地震モデルを用いて計算した地震地殻変動と外洋津波の計算結果を、本サブプロジェクト「(2)津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」における河川の遡上と浸水による被害の高精度推定シミュレーションの前提条件として活用するなど、サブプロジェクト間及びサブプロジェクト内の研究連携を図った。

また、シンガポールで開かれた AOGS（アジアオセアニア地球科学学会）年次会合に出席し、南海トラフ地震連動発生に伴う津波予測結果の成果を発表するとともに、本研究に密接に関わる強震動と津波関連の最新の研究資料を収集した。

(b) 業務の成果

1) 過去の南海トラフ地震による強震動と津波の評価

これまで南海トラフで発生した、1707年宝永地震、1854年安政南海・東海地震、及び1944年昭和東南海地震・1946年昭和南海地震の断層破壊シナリオに基づく地震動と津波シミュレーションを実施し、震度分布や津波高分布の史料との比較を行なうことにより東海・東南海・南海地震の単独発生、及び連動発生による強震動と津波の増大の可能性を検討した。連動発生により拡大した震源域内での断層破壊の不均質性（地震規模、破壊開始点・破壊進行方向・速度）が、震源破壊過程の不均質性が強震動や津波震幅の増大に与える影響について、各種の連動発生シナリオを想定した強震動・津波シミュレーションから考察した。

a) 南海トラフ地震の震度分布

図1に1707年宝永地震、1854年安政南海・東海地震、及び1944年昭和東南海地震・1946年昭和南海地震の震度分布を示す。1944年昭和東南海地震と1946年昭和南海地震の震度分布は、気象庁の震度階とに基づいて地震調査委員会(1999)¹⁾によってコンパイルされた震度分布図を、1854年安政東海・南海地震については宇佐美(1996)²⁾によって史料を気象庁震度階に換算して取りまとめられた震度分布図を、1707年宝永地震については中央防災会議(2003)³⁾により取りまとめられた資料を用いてそれぞれ作図した。

前述の南海トラフ地震で最大級の地震である宝永地震で見られた震度V以上の強震域は震源域の広がりとは良く対応し、特に震源域直上の高知県、徳島県、和歌山県、愛知県、及び静岡県の一部では震度VIの強い揺れとなっている。このほか、震源域から100 km以上離れた大阪や名古屋などの平野や、瀬戸内海及び中央構造線沿いの平野にも震度VIの飛び地が見られる。宝永地震の震源域は、安政南海地震と安政東海地震の二つの震源域をちょうどカバーすると考えられ、ここに見られる震度分布は二つの地震の震度分布の最大値と良く対応するように見える。ただし、宝永地震では、南海地震と東海地震の震源域に近接する三重県と和歌山県に震度VIの強震域が見られるが、これらの地域で安政南海・東海地震では震度Vである。また、宝永地震の震度Vの範囲は安政南海地震や安政東海地震のものより若干狭く、その範囲は九州の北側から中国地方そして北陸の手前で止まっている。

近年発生した昭和南海・東南海地震はより詳細な震度データが揃っており、震度分布には断層破壊の不均質性や地殻・マントルの減衰構造に起因すると考えられる震度分布の歪みや、平野や軟弱地盤における震度の飛び地が詳細に認められる。二つの地震の震度は、宝永地震や安政東海・南海地震と比べて全体に1程度小さく、また昭和東南海地震の震源域の広がり、安政東海地震や宝永地震のものよりも狭く、震度Vの強震域の広がりはいずれ伊豆半島までである。

以上を整理すると、東海地震、東南海地震、南海地震の連動発生による震度への影響は、震源域の拡大に伴う強震域の広がりという自明の効果のほかに、東海・南海地震の震源に近い三重県や和歌山県等では地震波の重ね合わせが原因と考えられる震度増分が若干見られる。また、過去の南海トラフ地震の震度分布の形状は類似するが、震度の絶対値には1

程度の多様化が見られる。

b) 南海トラフ地震の津波高分布

次に、1707年宝永地震、1854年安政南海・東海地震、及び1944年昭和東南海地震・1946年昭和南海地震の津波高分布を比較する。これらの地震における津波高（主に津波浸水高の痕跡）は、中央气象台⁴⁾ -⁵⁾、日本水路部⁶⁾、羽鳥⁷⁾・¹⁰⁾、村上・他¹¹⁾の調査報告結果を整理して作成した。

宝永地震では足摺岬から伊豆諸島の東側まで800 km以上にわたって最大5 mの大津波が観測されている。津波高の分布は、先に示した震度分布と同様に安政南海地震と安政東海地震の津波高の最大値と良く対応する。ただし、宝永地震では足摺岬～日向灘にかけて、安政南海地震を上回る津波痕跡高が測定（羽鳥、1985¹⁰⁾；村上・他、1996¹¹⁾）されるなど、一部で安政南海地震を上回る大きな津波が発生していたことは特筆すべきである。一方、昭和南海・東南海地震の津波高は宝永地震及び安政南海・東南海地震の1/2～2/3程度と小さかったことがわかる。

以上より、南海地震、東南海地震、東海地震の連動発生による津波高への影響は、震源域の拡大に伴う津波到来範囲の広がりという自明の効果以外には、連動発生による津波高の増幅は広域には発生しないことが考えられる。また、宝永地震において足摺岬～日向灘で安政南海地震より明らかに高い津波が観測されているほか、昭和南海・東南海地震では全国にわたって津波高が低いなど、南海トラフ地震の津波の多様性は大きいことがわかる。

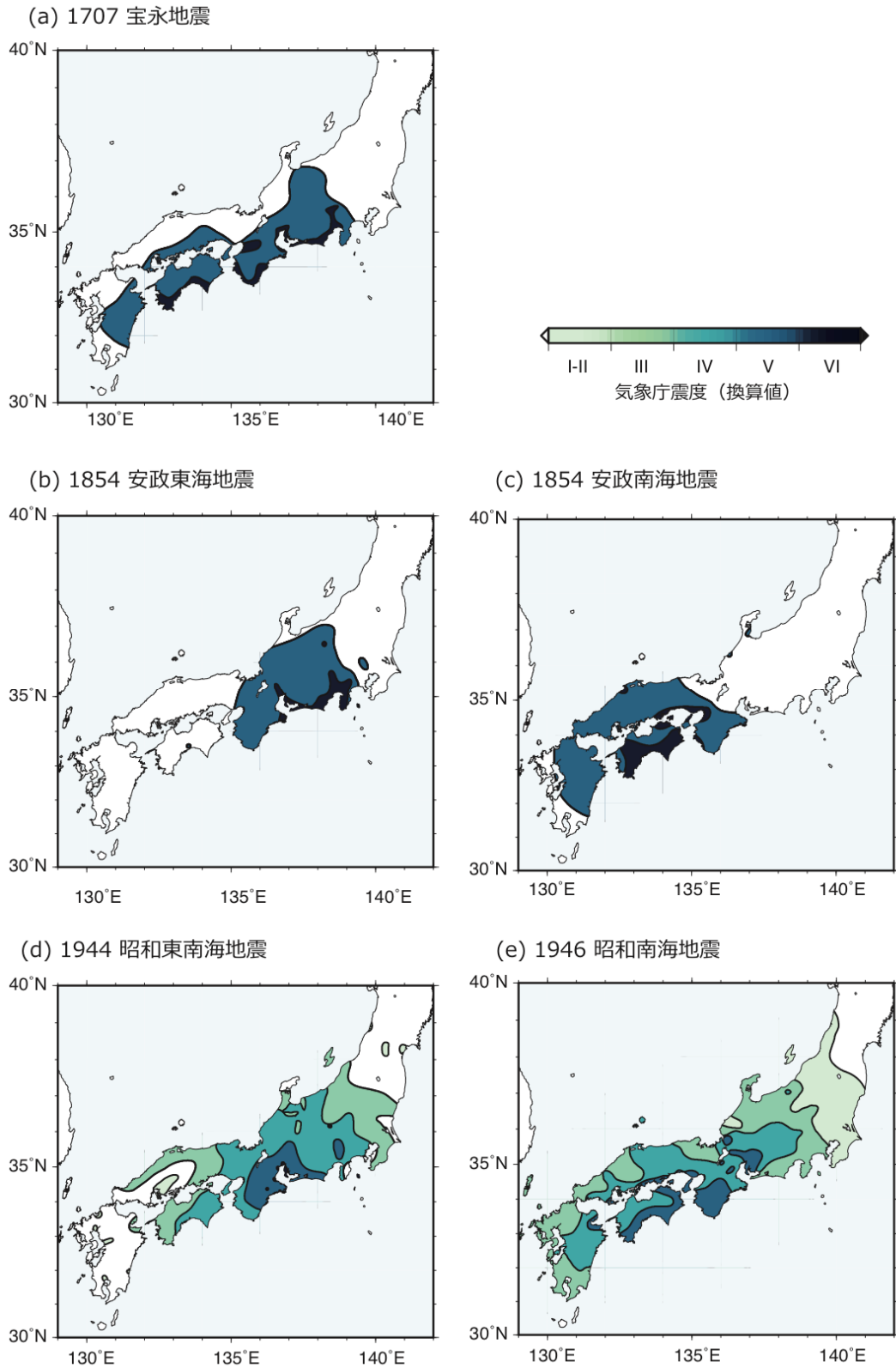


図1 南海トラフ地震の震度分布。1707年宝永地震、1854年安政東海・南海地震、1944年昭和東南海地震、1946年昭和南海地震の震度分布の比較。

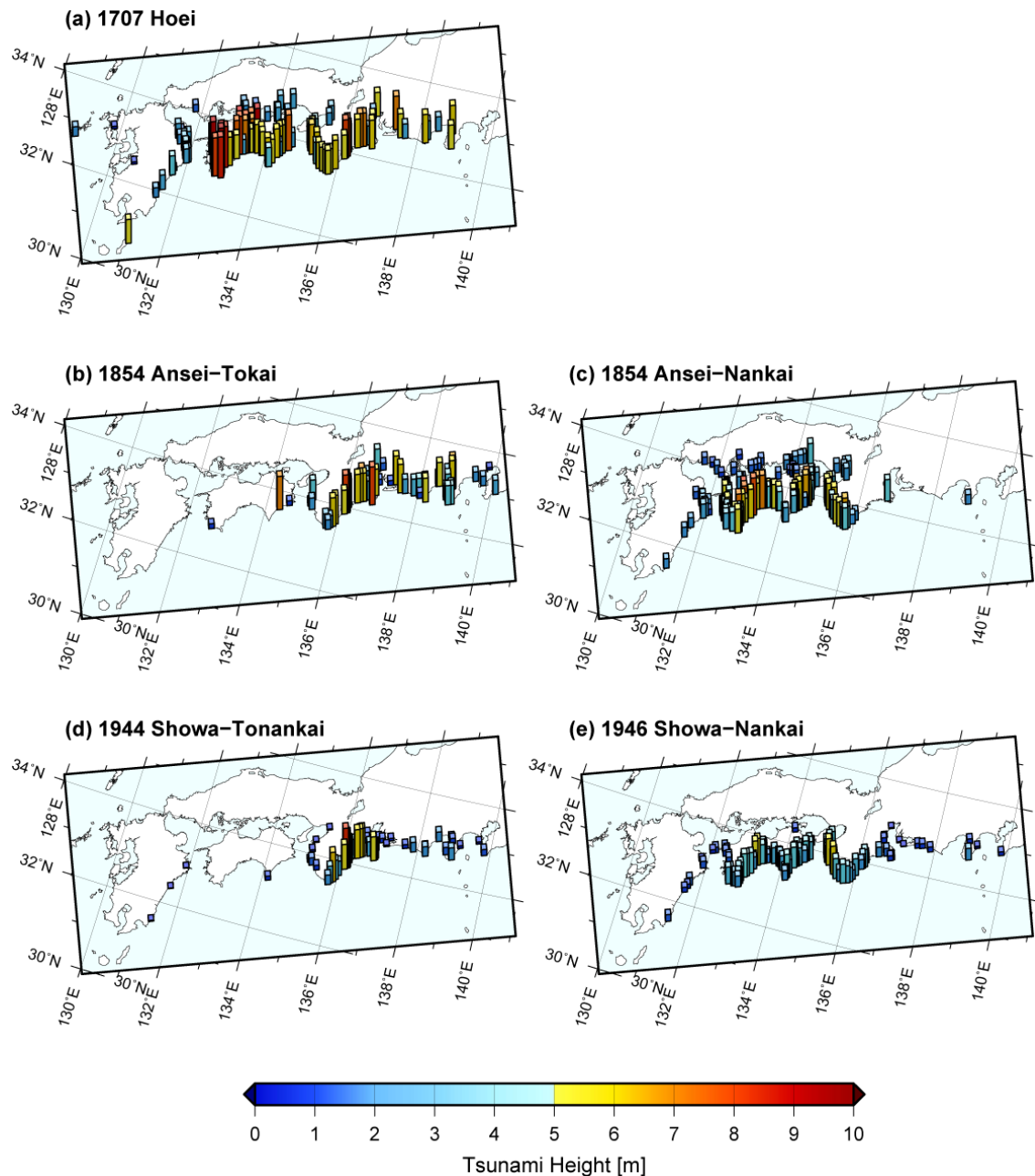


図2 南海トラフ地震の津波高分布。1707年宝永地震、1854年安政東海・南海地震、1944年昭和東南海地震、1946年昭和南海地震の津波高。

c) 南海トラフ地震の強震動シミュレーション

これまでの南海トラフ地震の震度分布の特徴と南海トラフ地震の震源破壊の不均質性との関係を明らかにするために、多様な連動発生シナリオを想定した強震動シミュレーションを実施した。

強震動シミュレーションの範囲は、図1に示される震度III以上の揺れが生じた九州～関東の1200*600 kmの範囲を選び、水平格子間隔0.4 kmで離散化するとともに、深さ128 kmまでの範囲を鉛直格子間隔0.2 kmで離散化した(図3)。

シミュレーションモデルの各格子点には、H20年度に本プロジェクトで整備した海陸統合地下構造モデルを用いて、物性値(P波速度 V_p 、S波速度 V_s 、P波とS波の減衰定数

Q_p 、 Q_s) を設定した。本モデルは 3 層の堆積層 (それぞれ $V_s=0.5, 0.9, 1.5$ km/s, $V_p=1.8, 2.3, 3.3$ km/s, $Q_s=60, 100, 140$) と基盤岩 ($V_s=3.4$ km/s, $V_p=5.8$ km/s, $Q_s=200$) から構成され、モホ面 (地殻/マントル境界) は、領木 (1999) ¹²⁾ のモデルを用いて設定するとともに、コンラッド面 (上部地殻/下部地殻境界) はモホ面深度の 0.54 倍の深さに置いた。地殻と最上部マントルの物性値については、上部地殻 ($V_s=3.4$ km/s, $V_p=6.9$ km/s, $Q_s=300$)、下部地殻 ($V_s=3.8$ km/s, $V_p=6.6$ km/s, $Q_s=400$)、及び最上部マントル ($V_s=4.5$ km/s, $V_p=7.8$ km/s, $Q_s=500$) に区分して、ak135 model (Kennett and Engdahl, 1995¹²⁾) を参考に物性値を設定した。なお、 Q_p は Q_s の 1.7 倍 ($Q_p=Q_s*1.7$) とした。

モデルの最上部には海水層 ($V_p=1.5$ km/s, $V_s=0.0$ km/s, $Q_p=10000$, $Q_s=10$) を置いた。フィリピン海プレートは、本プロジェクトで H20 年度に整備したモデルを用いてプレート形状とプレート内の物性値を設定した。フィリピン海プレートは、海洋性地殻第 2 層 (Layer 2) と海洋性地殻第 3 層 (Layer 3) がそれぞれ 2 km の厚さを持ち、海洋性マントルが 25 km の厚さを持つ 3 層構造とし、3 層にはそれぞれ反射法探査から求められた P 波速度 ($V_p=5.4+0.0055*z, 6.5+0.0055*z, 8.1+0.0058*z$; z は地表からの深さ) と S 波速度 ($V_s=V_p/1.94, V_p/1.87, V_p/1.86$) を与えるとともに、Q 値 ($Q_s=200, 300, 500$; $Q_p=1.7*Q_s$) を設定した。

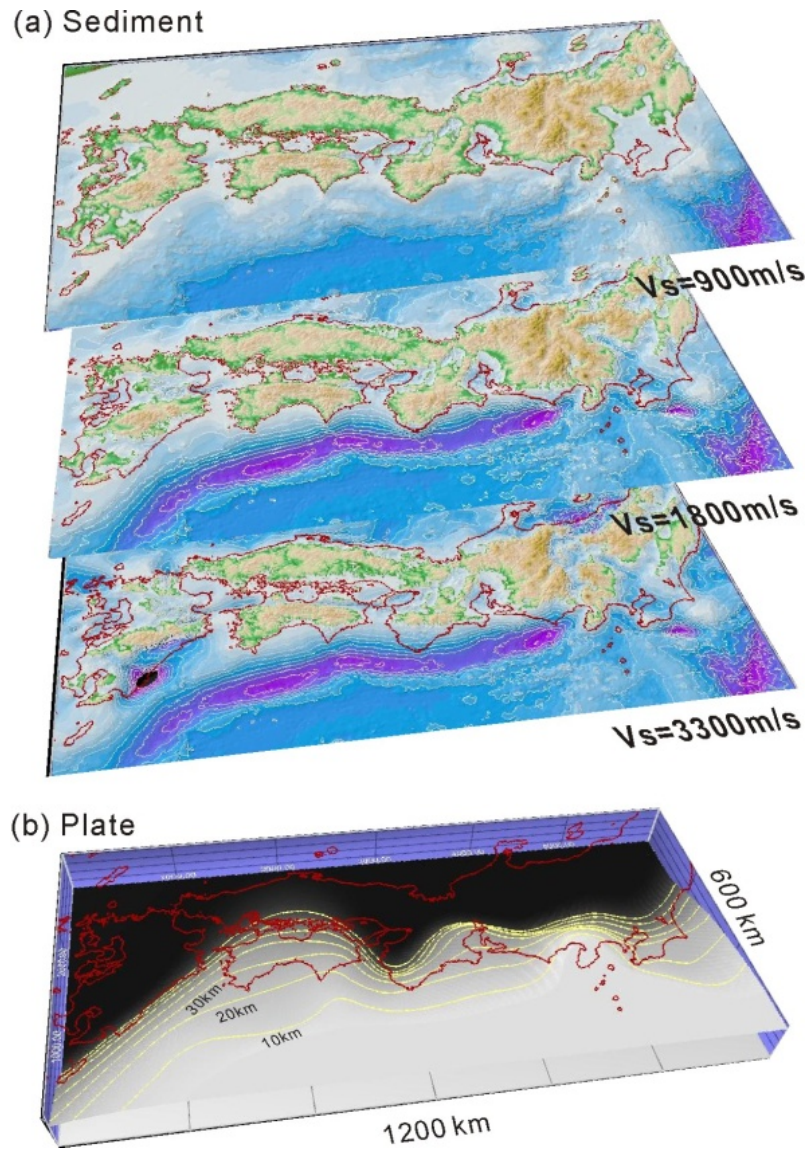


図 3 南海トラフ地震の地震動シミュレーションの地下構造モデルの模式図。(a)堆積層 ($V_s=900 \text{ m/s}$, 1800 m/s) 上面の深度分布、および基盤岩 ($V_s=3300 \text{ m/s}$) の上面深度分布、(b)フィリピン海プレートの深度分布 (コンター間隔 10 km)。

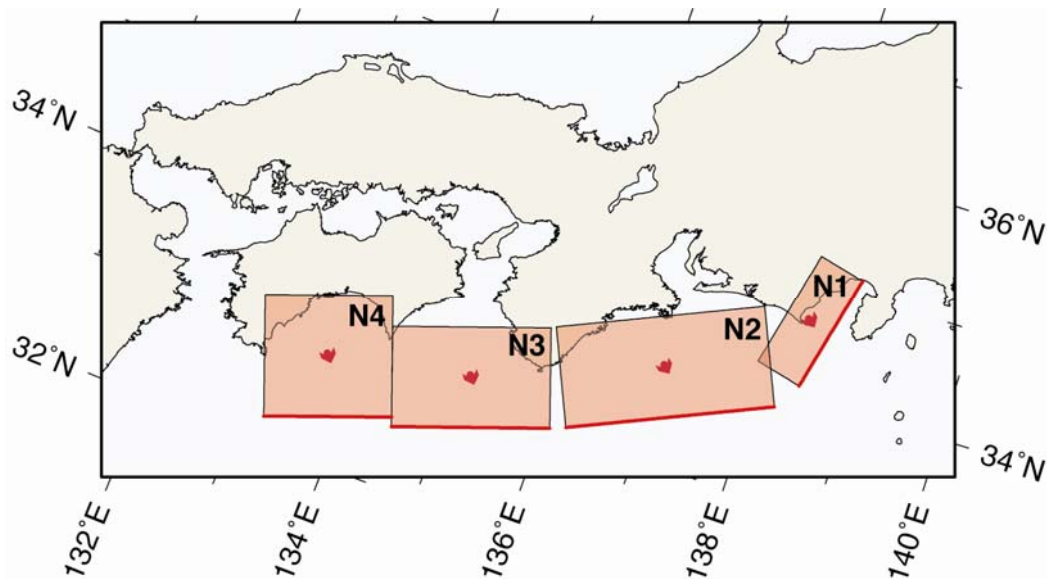


図4 南海トラフ地震の震源モデル（安中・他、2003）¹³⁾。右から東海地震（N1）、東南海地震（N2）、南海地震（N3,4）セグメントを表す。矢印は断層滑りの方向を表す。

表1 南海トラフ地震の震源モデル（安中・他、2003）¹³⁾の諸元。ここで上端深さは平均海面からの深さを表す。

	N4	N3	N2	N1
断層幅 L (km)	125	155	205	120
断層長さ W(km)	120	100	100	50
上端深さ (km)	12.6	11.2	7.8	6.9
Strike (Deg.)	250	251	246	193
Dip (Deg.)	8	12	10	20
Rake (Deg.)	113	113	113	71
Slip (m) : 宝永地震	9.2	5.6	7.0	5.6
安政東海地震	-	-	5.5	5.27
安政南海地震	8.7	4.8	-	-
昭和東南海地震	-	-	4.25	-
昭和南海地震	4.3	4.9	-	-

震源断層モデルには、宝永地震、安政南海・東海地震、昭和南海・東南海地震の過去の南海トラフ地震を一つのモデルで統合的に表現する安中・他（2003）¹³⁾のモデル（図4）を採用した。本モデルは、南海トラフ沿いの巨大地震を東海地震（N1）、東南海地震（N2）、南海地震（N3とN4）の4枚の断層セグメントをユーラシアプレートとフィリピン海プレートの境界に沿うように分割して表現し、それぞれの断層セグメントに適切な断層滑り量を与えることにより、過去の南海トラフ沿いの巨大地震の断層モデルを表現するものである。また、各断層セグメントのパラメータは、津波高と地震地殻変動を説明するように表

1のようにまとめられている。なお、断層モデルが比較的単純化された本モデルとは別に、津波高や津波波形解析(たとえば、Ando 1975¹⁴⁾; Aida, 1981¹⁵⁾, Baba and Cummins, 2005¹⁶⁾; Ichinose et al., 2003¹⁷⁾)や地震波解析(たとえば、山中、2001¹⁸⁾; 室谷、2007¹⁹⁾)に基づく詳細な震源モデルもいくつか推定されているが、本シミュレーションの目的は、震源破壊過程の微細な不均質性が強震動に与える影響を見る前に、南海地震と東海地震の連動発生に伴う震源域の拡大とその破壊過程が強震動分布に与える影響を検討することを主眼としている。

強震動シミュレーションでは、N1~N4の各断層セグメントを0.8 km*0.8 kmに分割して、各小断層をフィリピン海プレートの上面にして設置した。各小断層からはパルス幅0.5秒の地震波を放射させた。震源は潮岬沖を仮定し、南海地震側と東海地震側の両方向に向けて $V_r=2.7$ km/sの速度で断層破壊を進めた。このとき、破壊伝播速度には標準偏差8%の一様ランダム揺らぎを与えた。計算は海洋研究開発機構の地球シミュレータを用いて行ない、32ノード(128CPU)を用いた並列計算により600秒間の強震動計算には3.6時間を要した。

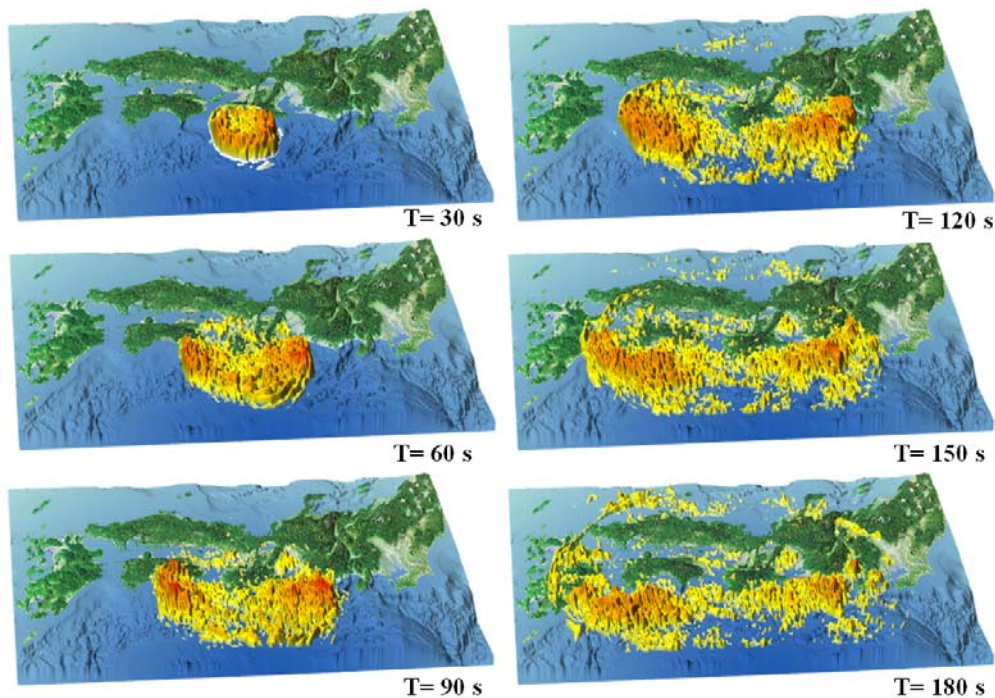


図5 宝永地震の地震波伝播シミュレーションのスナップショット(地震発生後、30、60、90、120、150、及び180秒後)。地動速度の強度を色と高さで強調して可視化表示している。

宝永地震の地震波伝播のスナップショットを図5に示す。断層破壊が進行する南海地震側(西側)と東海地震側(東側)に向けて地震動が強く放射され、破壊先端に強い揺れが集まる様子がわかる。強い揺れは地震発生から30秒後には紀伊半島全域に広がり、90秒で徳島~名古屋、そして120秒で四国全域~静岡にまで広がっている。大阪や名古屋、東京などの平野では揺れが増幅され、長時間揺れ続ける様子も確認できる。強い揺れは南海トラフを覆う低速度の厚い付加体に誘導されるように、濃尾平野や関東平野、そして宮崎

の方向に誘導されている。

最大地動（Peak Ground Velocity; PGV）分布を図 6 に示す。なお、本計算では最大周波数 $f = 0.5 \text{ Hz}$ までのやや長周期の地震動を評価しているため、PGV を震度に換算することはできないが、おおよそ PGV コンターの分布と震度分布（図 1）と対応づけて見ることはできる。たとえば、震源域近傍に見られる 50 cm/s を超える PGV の範囲は、おおよそ震度 VI の範囲に、そして $10 \sim 20 \text{ cm/s}$ の PGV の範囲は震度 V の範囲に対応づけられる。大阪、名古屋、東京、熊本、富山、新潟の堆積平野の震度の飛び地も本計算で再現されている。なお、昭和南海地震の強震動シミュレーションでは、表 1 に示されるように N4 セグメントの断層滑り量（ 4.3 m ）が安政南海地震（ 8.7 m ）の約半分であることから推察されるように、四国～九州にかけての PGV が安政南海地震より 2～4 割程度小さくなることがわかった。このことは、観測された震度分布（図 1）に見られる二つの地震の震度分布の違いとよく一致する。昭和東南海地震の強震動シミュレーション結果についても、N1 断層滑りがない分だけ安政東海地震より地震の規模がずっと小さく、静岡～関東にかけての PGV 値が 3～5 割程度小さくなった。その結果、計算結果は観測された震度分布（図 1）と良い一致を示した。このように、昭和南海・東南海地震は宝永地震や安政南海・東海地震と比べて地震規模が小さく、その影響は安政南海・東海地震に含まれると考えられる。そこで以降の議論では、宝永地震と安政南海・東海地震の地震発生パターンの違いと連動発生による強震動の生成過程の特徴を述べる。

地震波伝播のスナップショット（図 5）が示すように、宝永地震のように断層破壊が潮岬から東西両方向に進行する場合には、二つの断層破壊による地震波の相互の干渉はほとんど見られず、地震動は南海地震と東海地震がそれぞれ単独で起きた場合とほとんど相違ない。このことは、PGV 分布（図 7(a)) を見てもよくわかる。安政南海地震と安政東海地震の震源域に近い紀伊半島付近では、宝永地震時の震度が若干大きくなったことを先に述べた通りであるが、同様の現象はシミュレーション結果にも認められる。しかしながら、全体的に南海地震と東海地震の連動発生による地震波の重ね合わせの効果は小さいことが、強震動シミュレーションからも確認できた。

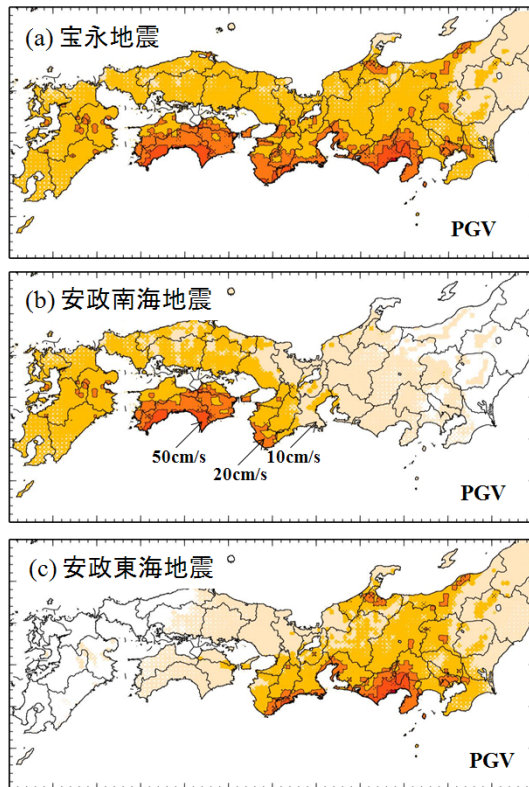
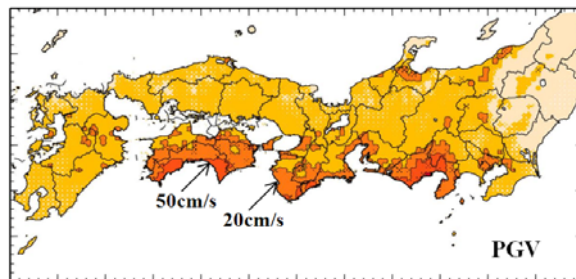


図 6 地震動シミュレーションにより求められた最大地動（PGV）分布。(a) 宝永地震、(b)安政南海地震、(c)安政東海地震の震源モデルによる計算結果。

(a) 安政南海・安政東海地震 同時発生



(b) 最大値(安政南海地震、安政東海地震)

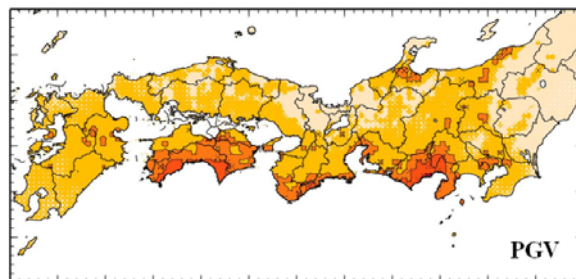


図 7 宝永地震の最大地動（PGV）分布と、安政南海地震または安政東海地震の PGV の最大値の比較。

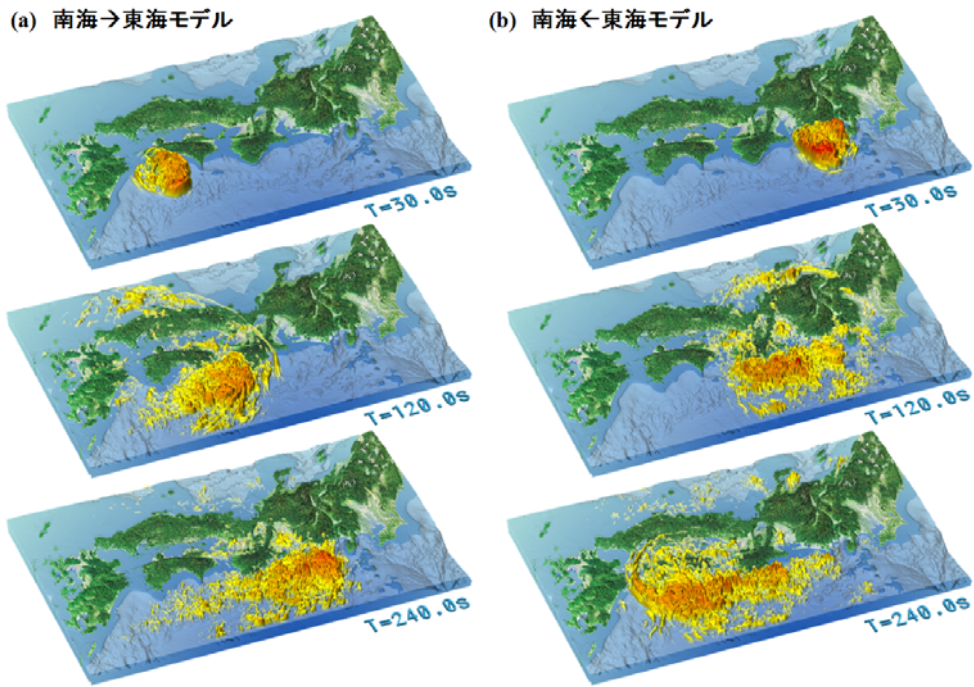


図 8 別シナリオに基づく宝永地震の強震動シミュレーション。地震波伝播のスナップショット（地震発生後 30、120、240 秒後）。(a)断層破壊が西から東（南海→東海地震側へ）に進行した場合、(b)断層破壊が東から西（東海→南海海地震側へ）に進行した場合。

ただし、宝永地震の震源が図 5 のように潮岬ではなく四国沖または駿河湾沖にあり、震源から断層破壊が東または西に一方向に進行する場合には、断層破壊方向への地震波の重なり合いが生じて地震波の放射指向性（ディレクティビティ）が発生する可能性がある。図 8 は、宝永地震の断層破壊が四国から駿河湾（南海地震→東海地震）に進行した場合（図 8(a)）と、逆に駿河湾から四国（東海地震→南海地震）に進行した場合の強震動を評価したものである。断層破壊の進行方向に地震波が集まり、大きな地動ができていく様子がわかる。PGV 分布（図 9）は、破壊進行方向に大きく膨らんでおり、特に九州や関東での PGV が大きく変動することがわかる。

地震波形を比べると、例えば名古屋地点の地動は東海地震側から南海地震側に向けて断層破壊が進行する場合がもっとも大きく、かつ地震動継続時間が長くなることがわかる（図 10）。ディレクティビティ効果は、波長の長い長周期地震動ほど顕著に表れると考えられ、逆に周期 1~0.5 秒以下の短周期地震動では地殻・マンツルの不均質性による地震波の強い散乱と断層運動の不均質性により地震波の重ね合わせが起きにくく、震源近傍以外ではディレクティビティ効果は起きにくいと考えられる。

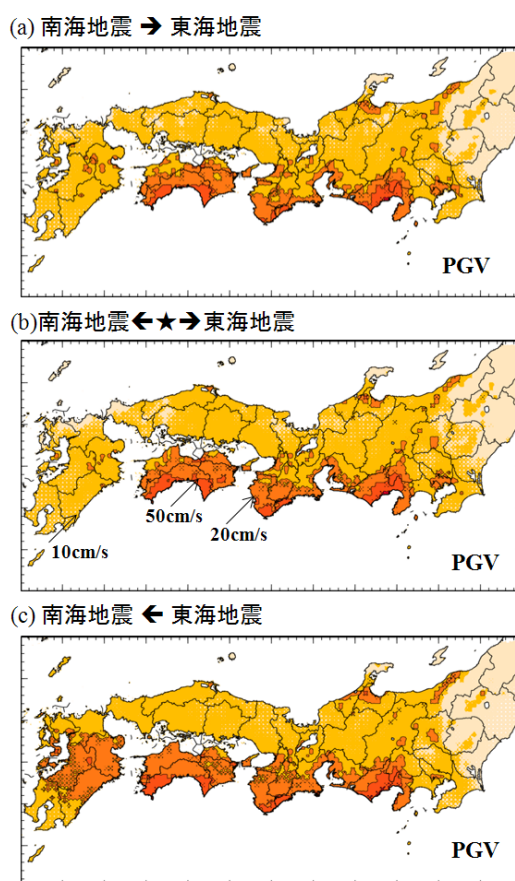


図 9 宝永地震の断層破壊方向の違いによる最大地動（PGV）分布の違い。(a)断層破壊が南海地震側から東海地震側（西→東）に進行した場合（図 7(a)）、(b)断層破壊が潮岬から南海地震側と東海地震側の両側進行した場合（図 5）、(c)断層破壊が東海地震側から南海地震側に進行した場合（図 7(b)）。

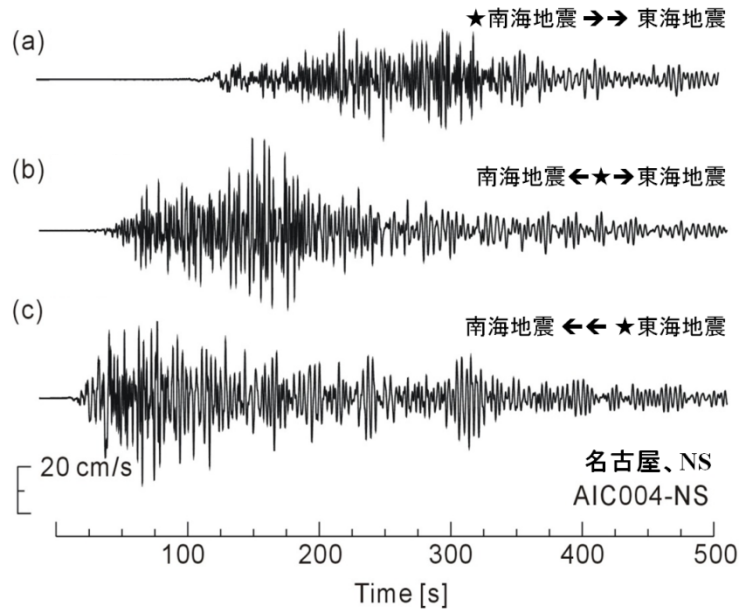


図 10 断層破壊方向の違いに見られる地震動の違い（名古屋地点、NS 成分）。(a)断層破壊が南海地震側から東海地震側（西→東）に進行した場合（図 8(a))、(b) 潮岬から南海地震側と東海地震側の両方に進行した場合（図 8(b))、及び(c)東海地震側から南海地震側（東→西）に進行した場合（図 8(c))。

d) 南海トラフ地震の津波シミュレーション

次に、津波シミュレーションをもとに、南海トラフ地震の連動発生による津波への影響を確認した。

津波シミュレーションでは、H20 年度に整備した詳細海底地形モデルを用いて、図 10 に示す九州～関東の 540 km*846 km の範囲を 270 m の格子間隔でモデル化した。表 1 に示した宝永地震、安政東海地震、及び安政南海地震の震源モデルを用いて海底地殻変動（上下変動）を Mansinha and Smylie (1971)²⁰⁾ のコードにより計算し、30 s のライズタイムで海底地殻変動が直線的に発生すると想定して津波発生と伝播を線形長波方程式により評価した。

津波シミュレーションでは、宝永地震、安政南海・東海地震、昭和南海・東南海地震についてそれぞれの表 1 に示す断層セグメントの滑り量を与えて計算を行った。このうち、図 11 には宝永地震、安政南海地震、及び安政東海地震の津波伝播のスナップショットを、そして図 12 に津波高分布を示す。昭和南海・東南海地震については安政南海・東海地震に比べて津波高が 3～5 割低いことがシミュレーションからも確認でき、その被害は安政南海・東海地震の津波シミュレーション結果で包括できることから、以降の議論は宝永地震と安政南海・東海地震の比較について行う。図 11 からわかるように、南海トラフ地震の震源直上に現れる初期津波は南海トラフに沿った長方形の海水の高まりを作り、これが時間経過とともに崩れて沿岸に津波として押し寄せる。このとき、津波は長方形の単軸方向に強く放射され、長軸方向の放射はとても小さいため、南海地震と東海地震が連動発生しても津波の重なり合いはほとんど起きず最大波高は単独発生のもので変化しない（図 12）。このことは、南海地震の震源域に近い高知、田辺、及び志摩の 3 地点の津波波形（図

13) における東海地震津波の寄与がとても小さいことから確認できる。図 12 に示す最大津波高は、震源域に沿って 5 m 以上の大津波を再現しており、図 2 に示した各地震の津波高をほぼ説明する。また、観測と同様に、宝永地震の津波高は、安政南海地震と安政東海地震の二つの津波高の最大値と良く対応する。ただし、宝永地震のシミュレーションでは、足摺岬～日向灘の津波高が低く、安政南海地震と同様の 3 m 以下にしかない。

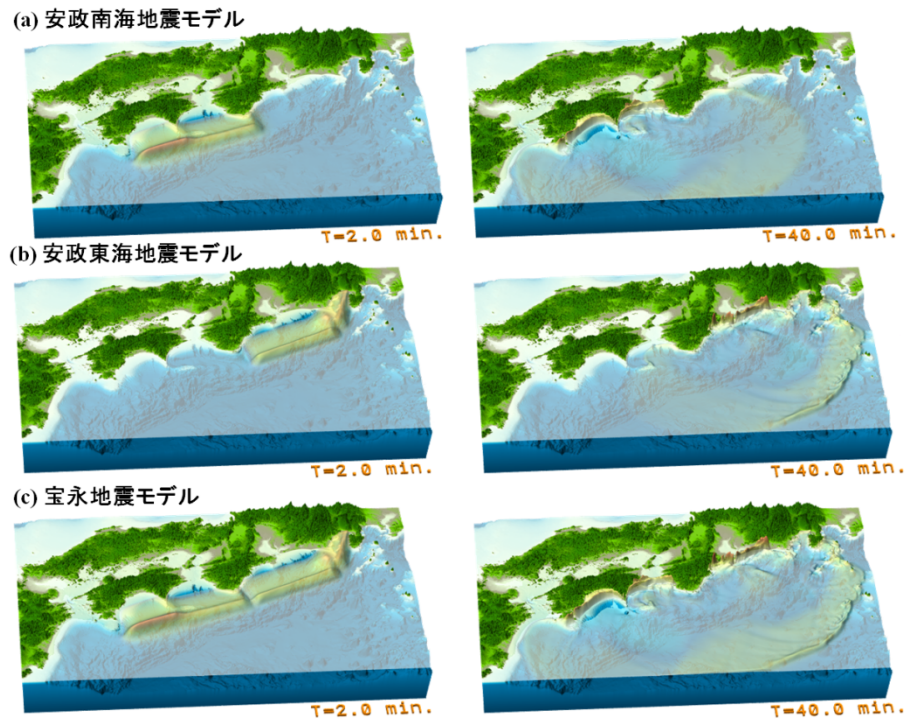
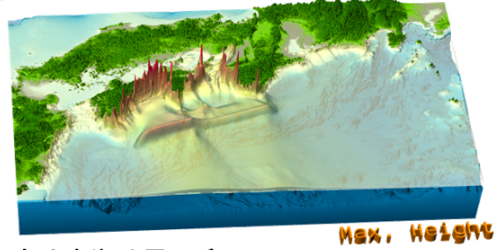
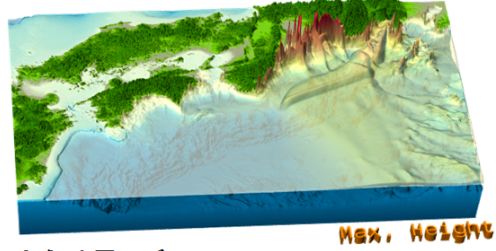


図 11 南海トラフ地震の津波シミュレーションによる津波高のスナップショット(地震発生後 2 分、40 分後)。(a)安政南海地震、(b)安政東海地震、(c)宝永地震の震源モデルによる津波の評価。

(a) 安政南海地震モデル



(b) 安政東海地震モデル



(c) 宝永地震モデル

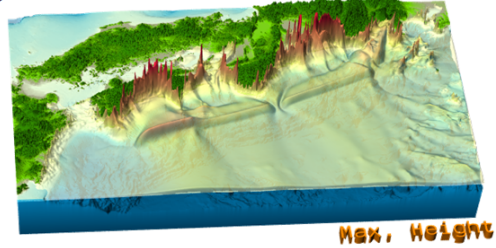


図 12 南海トラフ地震の津波シミュレーションによる最大津波高の比較。(a)安政南海地震、(b)安政東海地震、(c)宝永地震のモデルによる。

津波の伝播速度は断層破壊速度に比べてずっと遅いため、先の強震動シミュレーションで見られたようなディレクティビティ効果は通常の地震では起きにくい。南海トラフ地震の地震規模 (M8~8.4) を考えると、断層破壊時間 (100~400 秒程度) は津波伝播の時間に比べるとほとんど一瞬であり、断層破壊方向の違いが津波増幅に与える影響はほとんどない。ただし、断層破壊速度が通常の地震よりずっと遅く、津波伝播速度に近づく場合や、南海トラフ地震の各断層セグメントが数分~数十分の時間差で遅れて破壊した場合には、津波にも一種のディレクティビティ効果が発生して津波高が高まる可能性があり、別途注意が必要である。

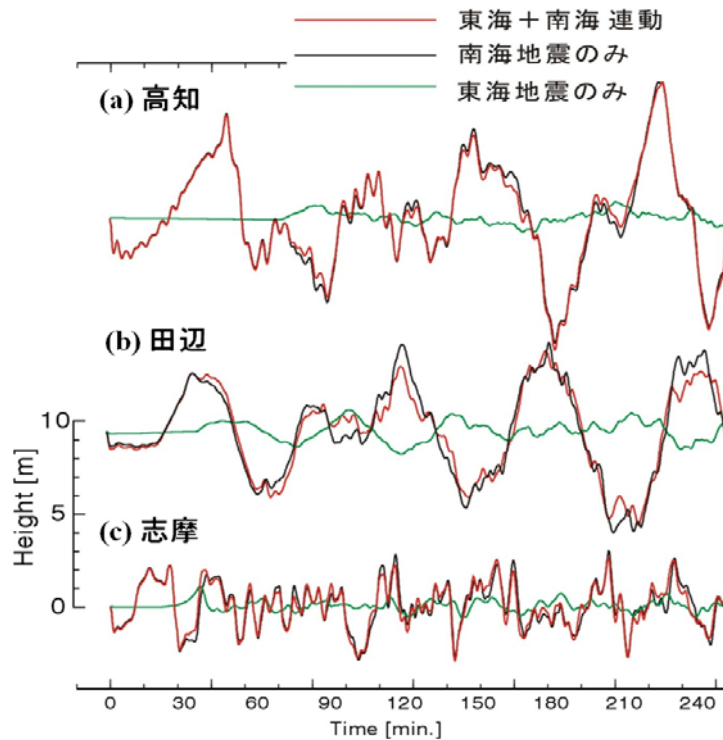


図 13 南海トラフ地震の津波シミュレーションによる津波波形。安政南海地震、安政東海地震、安政南海・東海地震の連動発生（宝永地震相当）による津波波形。（a）高知、（b）田辺、（c）志摩地点における津波波形。

2) 宝永地震の震源モデルの修正

前述のように連動発生による強震動と津波高分布の変化は一義的には震源域の広がりによって規定される。したがって、宝永地震による強震動と津波が南海トラフ地震の最大級のものと考え、その強震動と津波を明確化して震源モデルを整備することが必要である。

現在、宝永地震の震源モデルとして Ando (1975)¹⁴⁾ によるモデルと、相田(1981)²¹⁾ のモデル（図 14）、そして先に示した安中・他(2003)¹³⁾ のモデル(図 4)が提唱されている。震源域は四国から御前崎又は駿河湾まで 700 km 以上延びているが、いずれのモデルでも震源域は足摺岬が西限である。

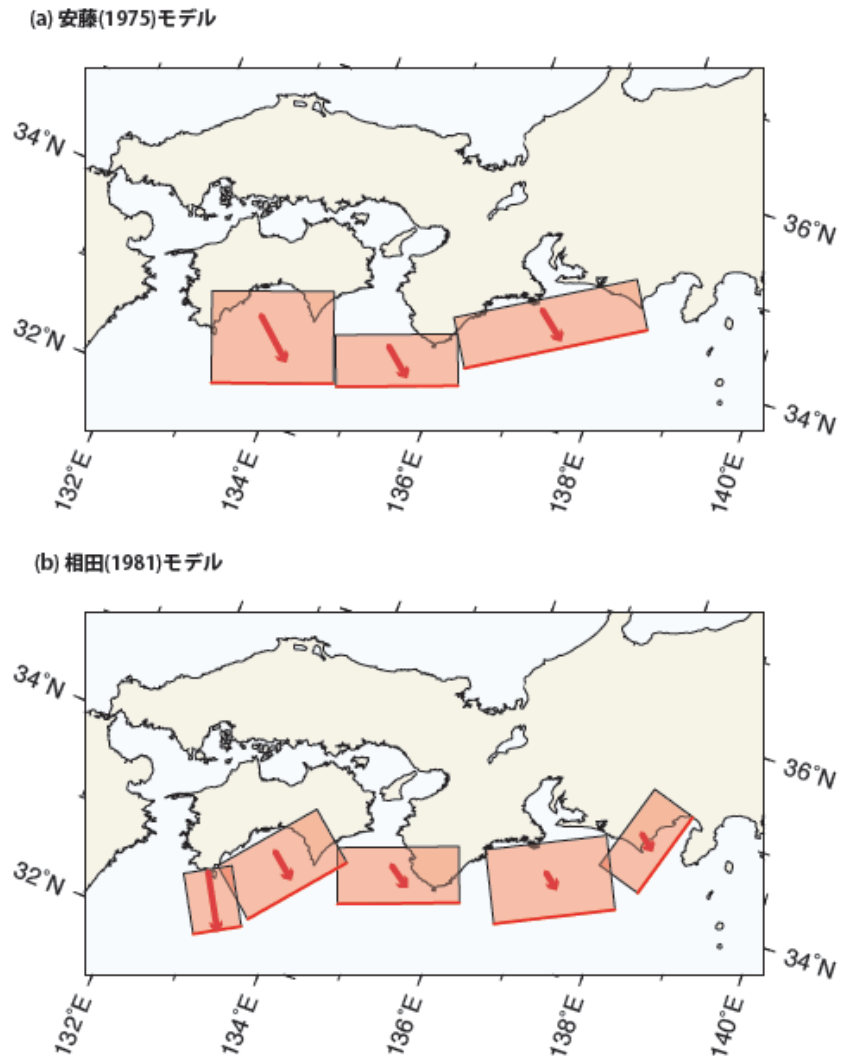


図 14 宝永地震の震源モデル、(a) Ando (1975)¹⁴⁾ による、(b) 相田 (1981)²¹⁾ による。

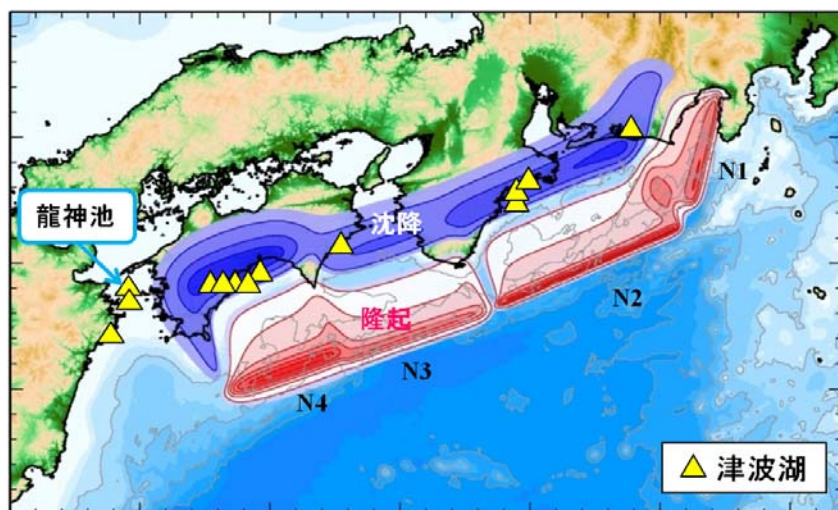


図 15 宝永地震の震源モデル (安中・他、2003) を用いて計算した地震地殻変動。赤は隆起、青は沈降を表す。コンター間隔は 50cm。黄△は津波湖の位置 (岡村、2010²²⁾) を表す。

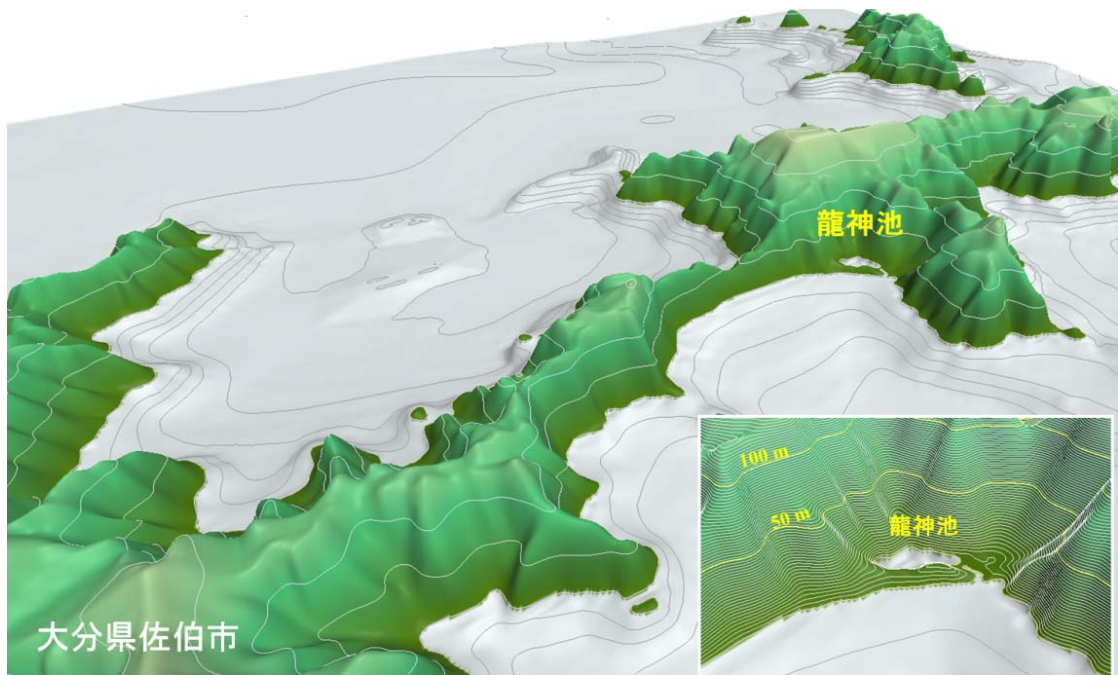


図 16 龍神池（大分県佐伯市）とその周辺の地形図。コンター間隔は 50m（右下拡大図では 10m）。

a) 大分県佐伯市の津波湖（龍神池）と宝永地震の津波堆積物

南海トラフ地震にともなう海岸線の隆起と沈降により、沈降域にそって津波湖と呼ばれる津波起源の湖が数多く見られることが報告されている（岡村・他, 2010²²⁾；文部科学省・他, 2003-2007²³⁾・27)；文部科学省・他, 2009²⁸⁾；千田・中上, 2006²⁹⁾）。津波湖は、浜松（浜名湖など）、尾鷲（諏訪池など）、牟岐（海老ヶ池）、高知（蟹ヶ池など）、宿毛（池島）、及び佐伯（龍神池など）で発見されており、これらは宝永地震時には 1~2 m の沈降域に位置している（図 15）。

ところが、大分県佐伯市で近年発見された 3 つの津波湖は、宝永地震の沈降域から明らかに離れており、他の津波湖と矛盾する。龍神池の大きさは 200 m×100 m 程度であり、水深は最大 2~3 m 程度の小さな池である（図 16）。岡村・他, 2010²²⁾ らが行った湖沼堆積物の調査によると、龍神池には 1707 年宝永地震、1361 年正平地震、及び 684 年天武地震の津波堆積物が発見されており、およそ 300 年~500 年間隔で池に津波が浸入したことがわかっている。図 16 に示すように、龍神池は海と流路で繋がっており、津波は高さ 10 m の浜堤を乗り越えて池全体に浸入したのではなく、この流路から流入したものと考えられている（岡村・他, 2010²²⁾）。また、1946 年昭和南海地震や 1856 年安政南海地震など 100~150 年毎に起きる通常の南海トラフ地震の津波高は低く、龍神池では津波堆積物は見つかっていない。

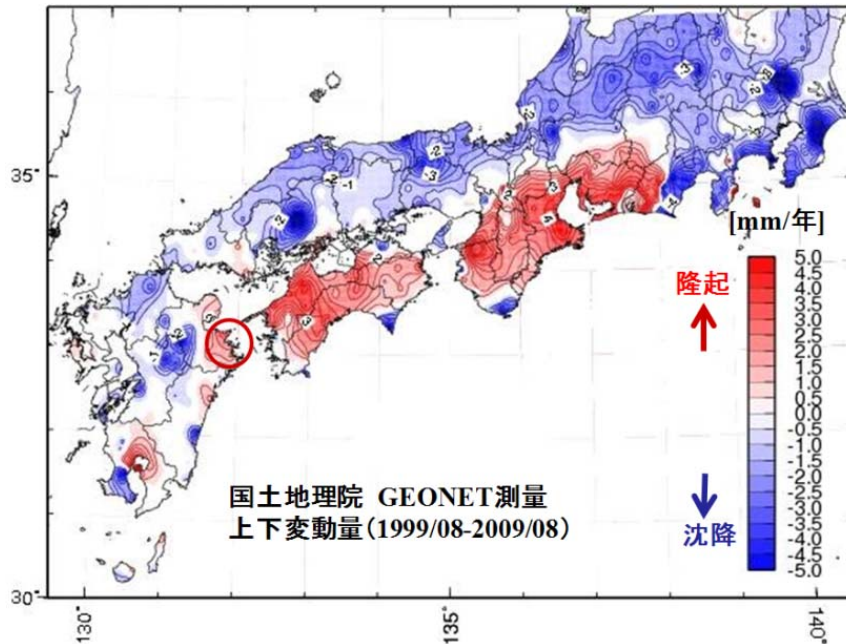


図 17 国土地理院 GEONET 地殻変動測量による上下動変動量分布（1999 年 8 月～2009 年 8 月の平均）。赤は隆起域を、青は沈降域を表す。

b) 宝永地震の震源モデルの修正

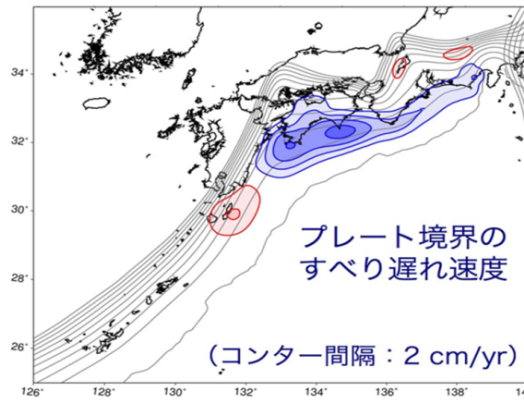
このような津波湖では、地震時に大きく沈降して津波が浸入し、そして地震間には隆起して津波堆積物を長期にわたって良好に保存する環境が整っているものと考えられる。

国土地理院の GPS 地殻変動観測網 (GEONET) が示す地殻変動分布 (図 17) を見ると、現在は宝永地震による地震地殻変動 (図 15) とちょうど逆の隆起・沈降パターンが浜松～大分県に見られ、龍神池周辺では年間 2.5 mm 程度の隆起が続いていることがわかる。龍神池付近で 300～500 年毎に数十 cm～1 m の沈降が起きることを考えると、現在の年間隆起量とちょうど収支が均衡する。

龍神池付近の地震時の沈降は GEONET データの逆解析より推定されたプレート滑り欠損モデル (橋本・他、2009³⁰⁾) やバックスリップモデル (西村・他、1999³¹⁾) (図 18) からも説明できる。南海地震の震源域のプレート固着域は足摺岬から日向灘側まで延びており、歪みエネルギーが現在蓄えられている可能性が高い。

そこで、宝永地震の震源モデルを修正し、南海地震の震源域を日向灘まで延長するために新たに N5 セグメント ($L \times W = 70 \text{ km} \times 100 \text{ km}$, slip=4.7m ; Mw7.8) を追加した修正宝永地震モデルを考える (図 19 ; 表 2)。なお、日向灘 (N5) セグメントの断層形状は、1968 年日向灘地震 (M7.5) のアスペリティモデル (八木・他、1998³²⁾)、バックスリップモデル (西村・他、1999³¹⁾)、及び本プロジェクトで H20 年度に整備したフィリピン海プレートモデルを参考にして決めた。こうして作成した新しい宝永地震の震源モデルにより、龍神池を含む大分県の 3 つの津波湖が、他の津波湖と同様に数十 cm～1 m の沈降域の中に入れることができた。

(1) プレート滑り欠損モデル 橋本・鷺谷・松浦(2009)



(2) バックスリップモデル 西村・他(1999)

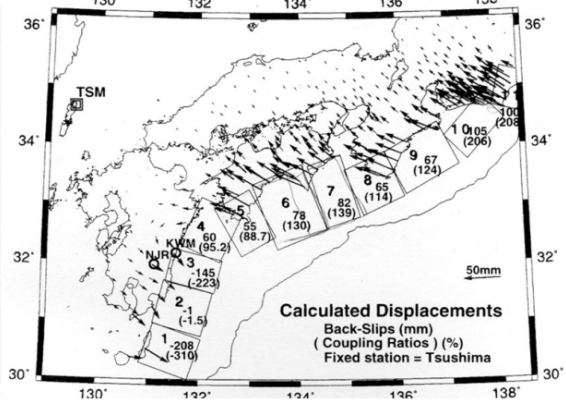


図 18 GPS 解析に基づくプレート固着モデル、(1) 橋本・他 (2009)³⁰⁾ によるプレート境界の滑り欠損モデル (青は滑り遅れ、赤は進みを表す)、(2)西村・他(1999)³¹⁾ によるプレート境界のバックスリップモデル (数字はプレート固着率%を、矢印は陸プレートのバックスリップ量と方向を表す)。

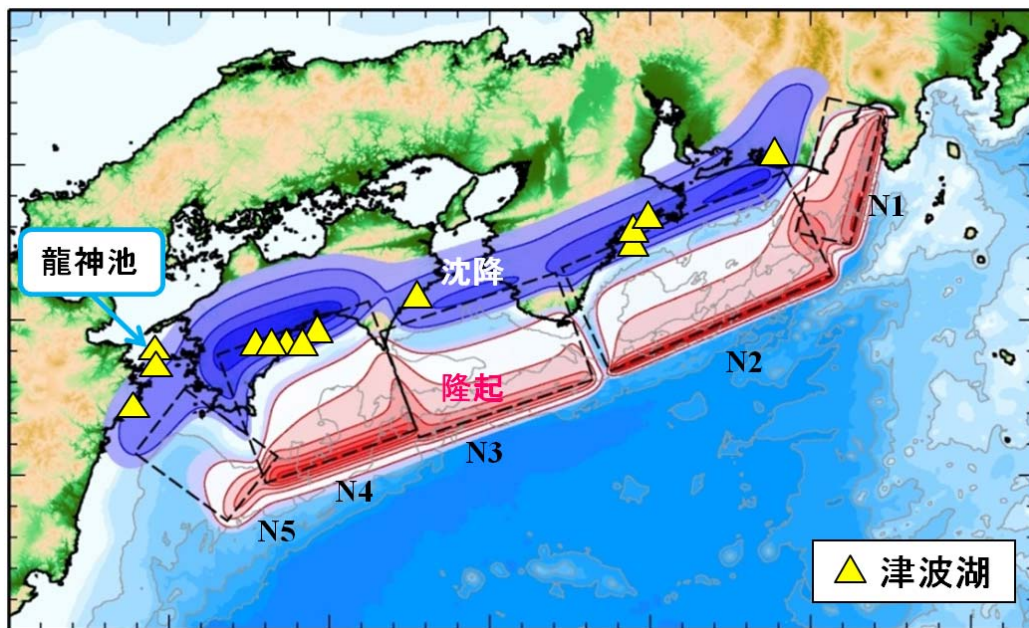


図 19 新しい宝永地震の震源モデル (点線) とこれによる地震地殻変動の分布。安中・他 (2003)¹³⁾ による N1~N4 セグメントに、新たに日向灘 (N5) セグメント (図中点線) を追加。

表 2 新しい宝永地震モデルの緒元

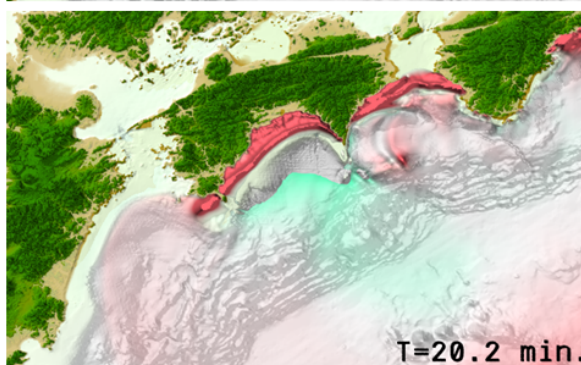
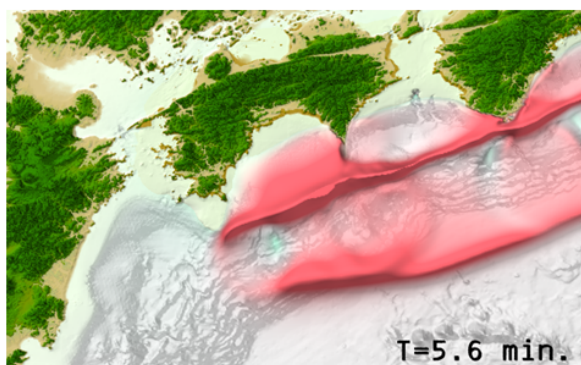
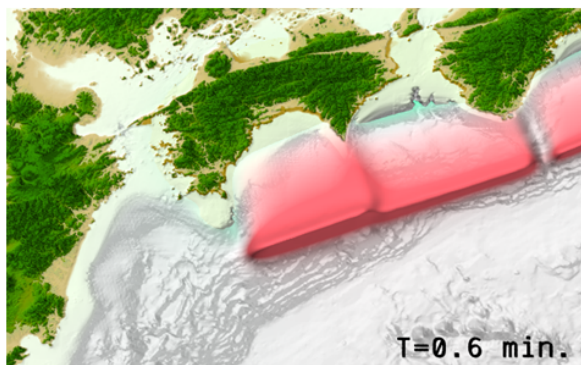
	N5	N4	N3	N2	N1
断層幅 L (km)	70	125	155	205	120
断層長さ W(km)	100	120	100	100	50
上端深さ (km)	14	12.6	11.2	7.8	6.9
Strike (Deg.)	217	250	251	246	193
Dip (Deg.)	10	8	12	10	20
Rake (Deg.)	90	113	113	113	71
Slip (m)	4.7	9.2	5.6	7.0	5.6

c) 新しい宝永地震のモデルと津波シミュレーション

新しい宝永地震モデル (N1~N5; 表 2) を用いて津波シミュレーションを行い、従来のモデル (N1~N4) との津波高を比較した。まず、270 m メッシュでの津波計算により沿岸津波を計算した。次に、米水津周辺の津波挙動と龍神池における津波氾濫について、270 m から 90 m、30 m、10 m 及び 3.3 m メッシュへネスティング接続し、非線形長波方程式により評価した。

津波伝播のスナップショットを図 20 に、そして最大津波高を図 21 に示す。日向灘 (N5) セグメントの追加により、足摺岬から日向灘にかけての津波高の増加が確認できる。新しい宝永地震モデルでは、従来のモデルと比較して大分~足摺岬の津波高が 1.2~1.4 倍増大し、龍神池に近い米水津~佐伯付近の津波高は最大 3 m になるなど、再現された津波は津波痕跡高に大きく近づいた。龍神池周辺においては、地震の 20 分後から海水面が上昇し、龍神池内部では最大 3.5 m/s の速い流速が生じ、池に津波が浸入する様子が確認できた (図 22, 23)。その後、約 30 分の間隔で津波が何度も池に流入する様子が確認できた。なお、従来の宝永地震モデル (安中・他、2003)¹³⁾ による津波シミュレーション (図 20a) では、最大津波高は修正モデルに比べて 0.5 m 程度低い程度であるが、津波の最大流速は 1 m/s 程度と小さく、龍神池への津波流入出はほぼ第 1 波のみであり、岡村 (2006)²³⁾ の観測を説明するような大規模な土砂移動が起きるとは考えにくい。

(a) 宝永地震モデル



(b) 修正 宝永地震モデル(N5あり)

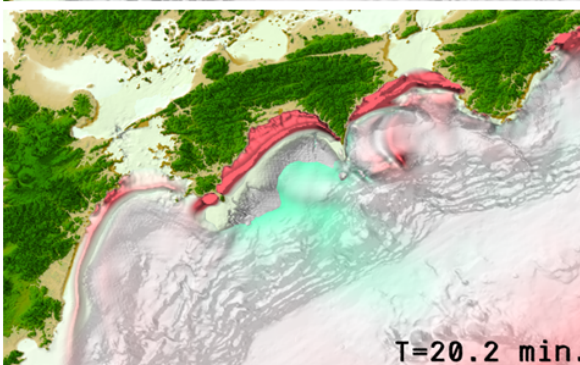
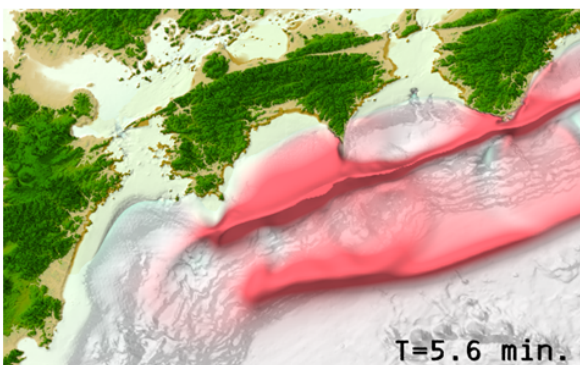
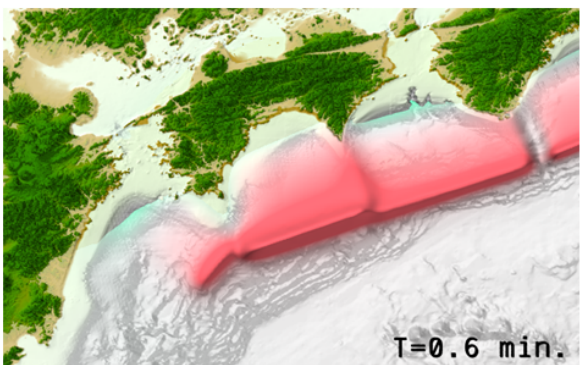


図 20 新しい宝永地震の震源モデルによる津波の発生伝播（地震後 0.6 分、5.6 分および 20.2 分後）。(a) 従来の宝永地震モデルによる津波高分布、(b)新しい宝永地震モデル（N5 セグメントあり）による津波高分布。

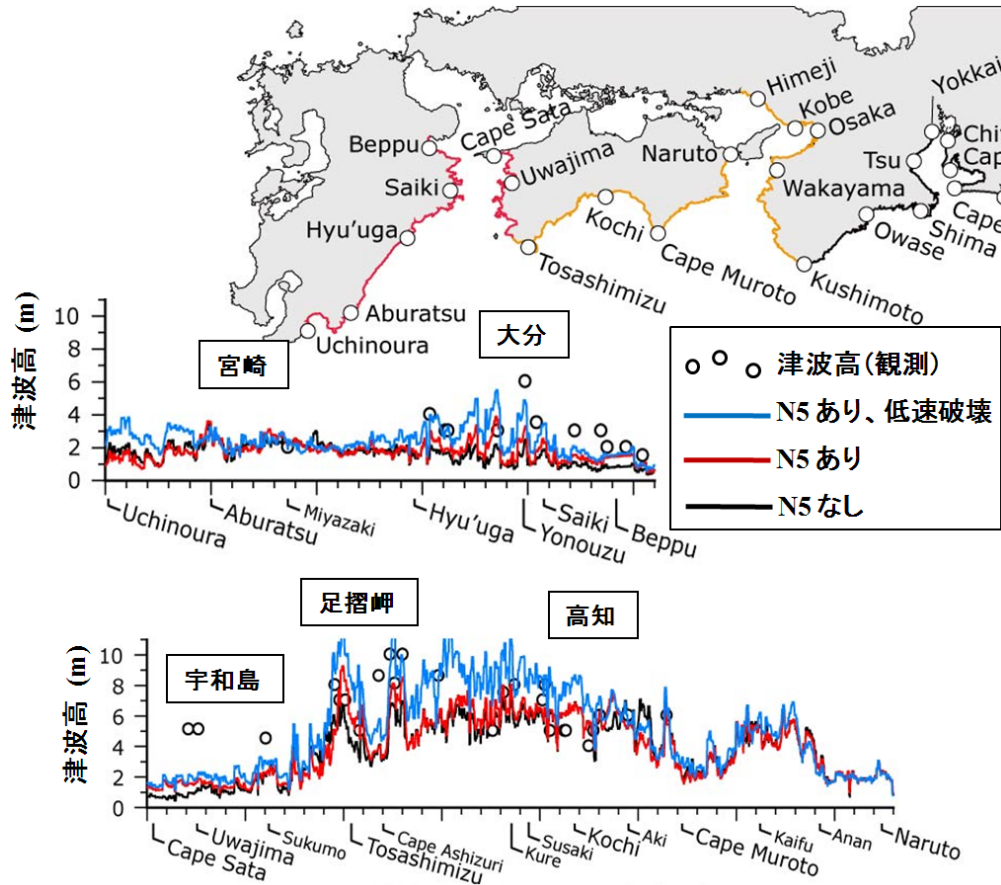


図 21 シミュレーションにより求められた九州から四国の津波高分布と、宝永地震による津波痕跡高との比較。白丸は津波痕跡高、黒線は従来（安中・他，2003）¹³⁾の宝永地震モデル（N5 セグメントなし）による津波高分布、赤線は N5（日向灘）セグメントを有するモデル、青線は N5 セグメントが低速破壊したモデルによる津波高。

しかしながら、大分県沿岸での津波高はまだ十分ではなく、足摺岬で観測された 10 m を超える大津波も十分再現することはできなかった。津波を高めるためには、まず N5 と N4 セグメントの滑り量を増やすことが考えられるが、合わせて地殻変動量が増大して観測を説明できなくなる問題がある。

そこで、足摺岬～日向灘の津波を高める別の可能性として、N4 と N5 セグメントの断層破壊速度を低下させ、足摺岬～日向灘に津波が集中するモデルを考える。N4 セグメントと N5 セグメントの断層破壊速度を通常地震（ $V_r=2.7 \text{ km/s}$ ）の 22%（ $V_r=0.6 \text{ km/s}$ ）にまで低下させ、断層を東から西方向に低速破壊させた。その結果、断層破壊方向に津波が次々と集合し、津波が高まるディレクティビティ効果が発生した（図 22a）。こうして、以前の（高速破壊）モデルに比べて大分～高知の広い範囲で津波高が 1.5 倍程度高まった（図 21;青線）。こうして、足摺岬の津波高は 10 m を超えて観測値に近づくとともに、龍神池付近の津波高も 5 m に高まった。

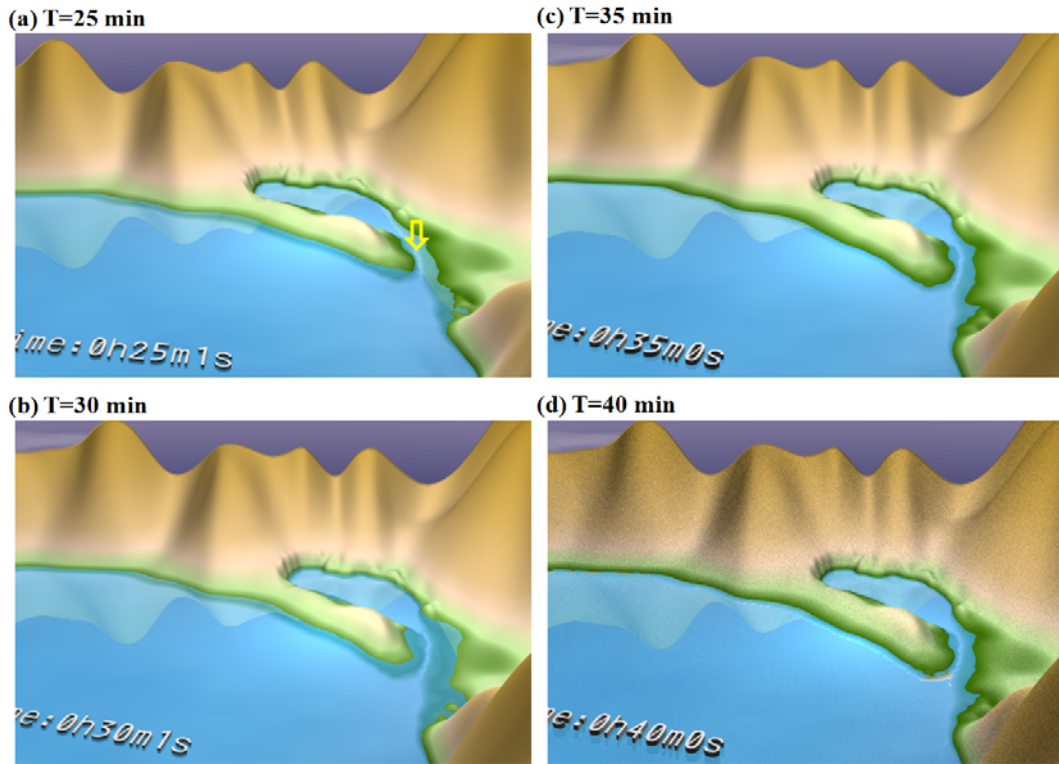


図 22 低速破壊モデルによる龍神池の津波浸水シミュレーション(地震発生より 25、30、35 及び 40 分後)。津波流速の評価地点を黄色矢印で示す。

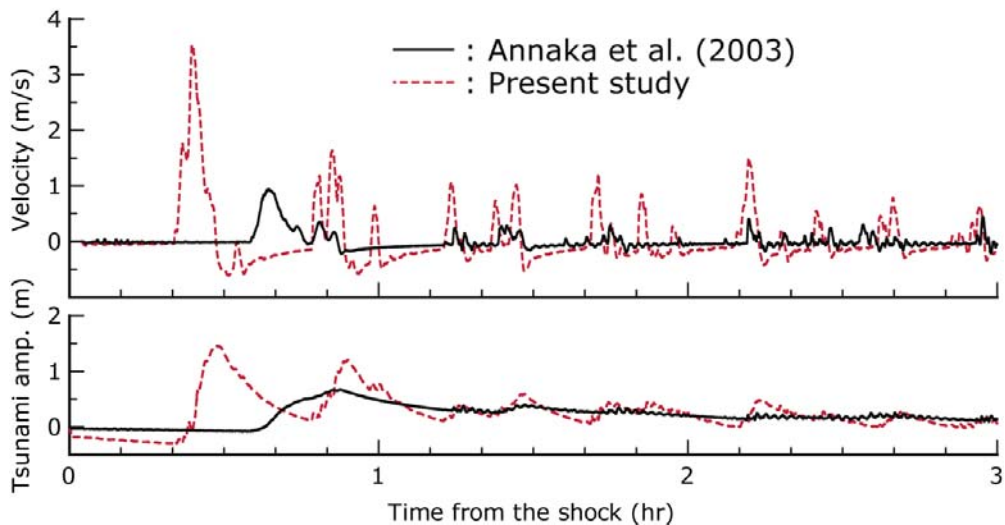


図 23 龍神池の入り口(図 21 矢印)での津波氾濫流速(正方向が流入、負が流出を表す)と津波高。安中・他(2003)¹³⁾による宝永地震モデル(黒線)と本研究による宝永地震モデル(赤点線)による津波氾濫流速の比較。

断層の低速破壊による津波のディレクティブティ効果と津波増幅は、従来から指摘されている津波の時間差発生(たとえば、河田・他、2003³³⁾)でも同等に発生する。たとえば N5 セグメントが N4 セグメントの破壊から十数分~20 分程度遅れて発生した場合にも津波の重ね合わせにより足摺岬~日向灘の津波高が最大 1.5 倍程度大きくなる(図 23)。

(a) 修正宝永モデル(N4, 5低速破壊) (b) 修正宝永モデル(N5遅れ破壊)

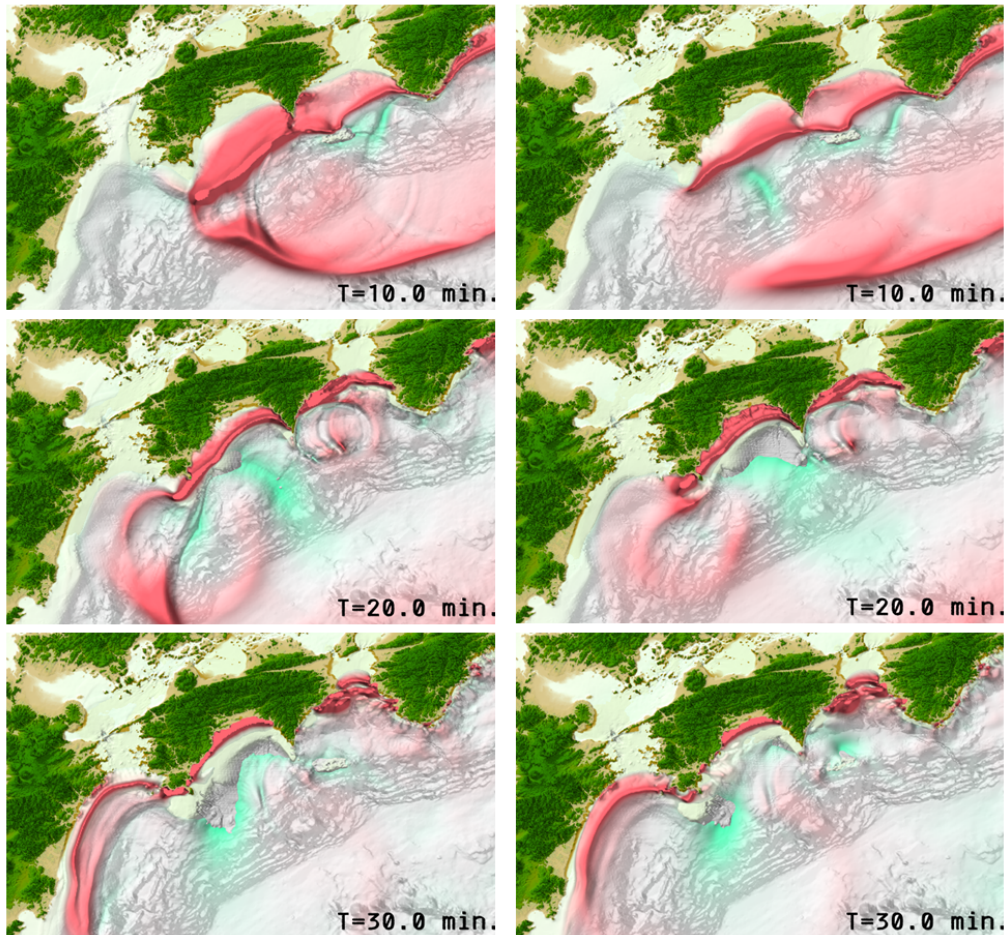


図 24 新しい宝永地震の震源モデル（地震後 10 分、20 分および 30 分後）。(a) N4、N5 セグメントが低速破壊した場合、(b)N5 セグメントが N4 より 15 分遅れて破壊した場合についての津波高分布。

d) 新しい宝永地震のモデルと強震動シミュレーション

宝永地震の震源域の拡大は強震動の分布にも大きく影響する。図 25 は、従来の宝永地震モデルと、日向灘（N5）セグメントを追加した新しい宝永地震モデルによる PGV 分布の比較である。日向灘への震源域の拡大により、大分～熊本～宮崎まで強震域が広がることが確認でき、たとえば宮崎地点（図 25△印）では地動速度がおよそ 1.5 倍増大する。しかしながら、宝永地震の震源域全体から見た N5 セグメントの影響は九州に限られ、四国以東の PGV 分布には大きな違いが見られない。

ところで、先に議論したように、宝永地震の震度分布と安政東海・南海地震の震度分布（図 1）を比べても、宝永地震時の九州の震度分布は安政南海地震と大きな違いはなく、N5 セグメントの存在と矛盾が生じる。一つの可能性として、N5 セグメントの破壊では震度を大きくするような短周期地震動が発生しなかったことを考える必要があり、これは N5 セグメントの低速破壊により津波が増大したという先の議論と整合する。

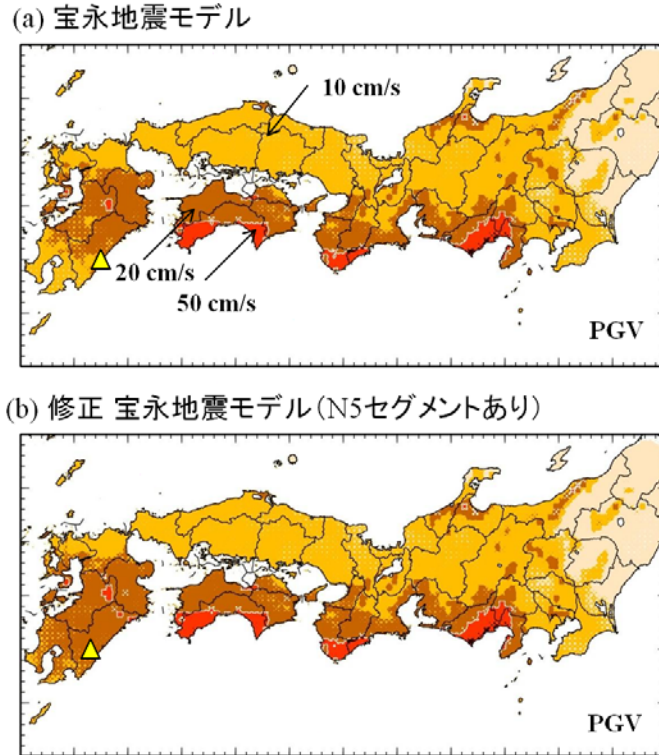


図 25 新しい宝永地震の震源モデルによる地動速度分布の拡大。(a) 従来の宝永地震モデルによる最大地動速度分布、(b)新しい宝永地震モデル（N5 セグメントあり）による最大地動速度分布。

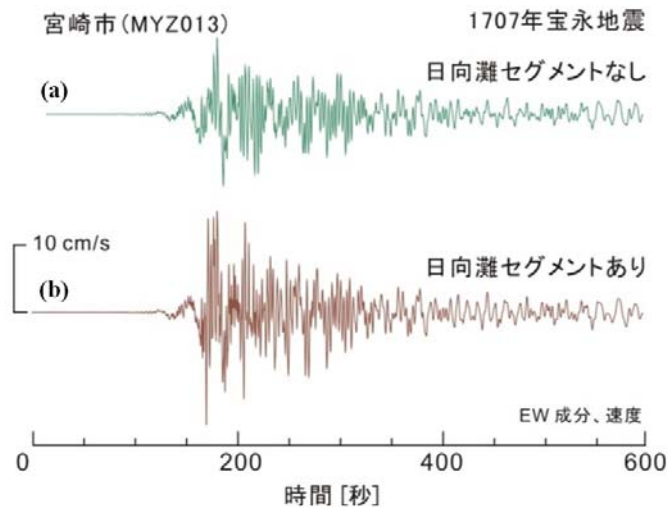


図 26 宮崎市（K-NET 観測網の MYZ013 地点；図 25 中の△印）における地震動（地動速度、EW 成分）の比較。(a)従来の震源モデルによる地震動、(b)新しい宝永地震モデルによる地震動。

(c) 結論ならびに今後の課題

これまで南海トラフで発生した 1707 年宝永地震、1856 年安政南海・東海地震、及び 1944 昭和南海地震・1946 東南海地震の断層破壊シナリオを考慮して、南海地震と東海地震がそれぞれ単独発生した場合（安政南海・東海地震）と連動発生した場合（宝永地震）の強震動と津波の影響について、震度・津波高分布の史料と強震動・津波シミュレーションから検討した。得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 連動発生（宝永）地震の破壊開始点が潮岬沖にあり、断層破壊が南海地震側と東海地震側の両方に進行する場合には、地震動の重ね合わせによる地震動（震度）増幅はほとんど発生しない。連動発生による地震動分布は、二つの地震が単独で発生した場合の合成に等しくなる。これは、破壊の反対方向への地震動放射は弱く、かつ地震波の重ね合わせが起きにくいからである。
- (2) 連動発生地震の破壊開始が、駿河湾あるいは足摺岬沖から開始する場合には、ディレクティビティ効果が発生して破壊進行方向の地震動が増幅される。この影響は、長周期地震動ほど大きい。
- (3) 津波については、連動発生や断層破壊の伝播方向による増幅は起きず、津波高分布は震源域の大きさと断層滑り量で一意的に決まる。津波は南海トラフ沿いに延びる断層面の短軸側に強く放射され、長軸方向では弱いため、震源域が拡大しても津波震幅は変わらない。また、津波伝播速度は断層破壊速度に比べて十分に小さく、通常の（高速破壊を起こす）地震では津波のディレクティビティ効果は生じない。
- (4) 通常の地震の数分の 1 の低速破壊が起きた場合には、津波に強いディレクティビティ効果が生まれ、破壊伝播方向の津波高が増大する。同様に、十数分～数十分遅れて地震が連動発生する場合にも、同様の津波の重ね合わせが発生する。
- (5) 南海トラフ地震の連動発生が強震動と津波に与える影響を詳しく検討するために、破壊開始点と破壊伝播方向、及び破壊速度、そして各断層セグメントの時間差発生の可能性についても考慮する必要がある。

また、サブプロジェクト（1）「稠密海底地震・津波・地殻変動観測」「物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」の H20 年度の研究成果をもとに、以下に述べる新しい宝永地震の震源モデルを提案した。

- (1) 大分県で発見された津波湖（龍神池）と 1707 年宝永地震の津波堆積物を説明するために、宝永地震の震源域を日向灘に 100 km 拡張した修正宝永地震モデルを提案した。
- (2) 新しい宝永地震モデルにより、龍神池付近の数十 cm の沈降が説明できるようになり、また従来の宝永地震モデルでは説明できなかった足摺岬から日向灘の津波高さを 3~10m に高めるなど観測説明が大きく改善した。
- (3) 龍神池の津波浸水を考えるために、さらに日向灘セグメントの低速破壊、又は時間差発生による津波の増幅の可能性について考察した。

以上、本研究により得られた成果を、サブプロジェクト①に渡し、「稠密海底地震・津波・地殻変動観測」研究における地震発生と地下構造の場との対応の詳しい調査や、連動発生条件と断層破壊の不均質性について「物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」の研究との研究の方向性に関する意見交換を進めた。また、新しい宝永地

震の震源モデルにより求められた海底地殻変動と沿岸津波を本サブプロジェクトの「津波災害予測」課題に対して渡すことにより、南海地震における沿岸津波と津波浸水モデルの活用など、サブプロジェクト内での連携を強化した。また、本成果の一部をシンガポールで開かれた AOGS 大会で発表するとともに、本研究に密接に関わる強震動と津波関連の最新の研究資料を収集した。

(d) 引用文献

- 1) 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会編：日本の地震活動—被害地震から見た地域別の特徴—〈追補版〉,391pp,1999.
- 2) 宇佐美龍夫：新編 日本被害地震総覧[増補改訂版],東京大学出版会,493pp, 1996.
- 3) 中央防災会議：東南海・南海地震等に関する専門調査会,
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index_nankai.html, 2003.
- 4) 中央气象台：東南海大地震調査概報, 94pp, 1944.
- 5) 中央气象台：南海道大地震調査概報, 84pp, 1946.
- 6) 日本水路部：昭和 21 年南海大地震報告 津浪編, 水路要報、66pp, 1946.
- 7) 羽鳥徳太郎：東海・南海道沖における大津波の波源, 地震 2, 第 27 巻, pp.10-24, 1974.
- 8) 羽鳥徳太郎：宝永・安政津波の現地調査による波高の検討, 海洋科学, 12 (7), pp.495-503, 1980.
- 9) 羽鳥徳太郎：瀬戸内海・豊後水道沿岸における宝永(1707)・安政(1854)・昭和(1946)南海道津波の挙動, 歴史地震, 4, pp.37-46, 1988.
- 10) 羽鳥徳太郎：九州東部沿岸における歴史津波の現地調査—1662 年寛文・1769 年明和日向灘および 1707 年宝永・1854 年安政南海道津波—, 東京大学地震研彙報, 60, pp.439-459, 1985.
- 11) 村上仁士・島田富美男・伊藤禎彦・山本尚明・石塚淳一：四国における歴史津波(1605 慶長・1707 宝永・1854 安政)の津波高の再検討, 自然災害科学, pp.15-1, pp.39-52, 1996.
- 12) Kennett, B.L.N., E. R. Engdahl and R. Buland: Constraints on seismic velocities in the Earth from travel times, *Geophys. J. Int.*, 122, pp. 108-124, 1995.
- 13) 安中正・稲垣和男・田中寛好・柳沢賢：津波シミュレーションに基づく南海トラフ沿いの大地震の特徴, 土木学会地震工学論文集 (CD-ROM), 2003.
- 14) Ando, M.: Possibility of a major earthquake in the Tokai district, Japan and its pre-estimated seismotectonic effects, *Tectonophysics*, 25, 69-85, 1975.
- 15) Aida, I.: Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, *J. Phys. Earth*, 26, pp. 57-73, 1978.
- 16) Baba, T., and P. R. Cummins: Contiguous rupture areas of two Nankai Trough earthquakes revealed by high-resolution tsunami waveform inversion, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L08305, doi:10.1029/2004GL022320, 2005.
- 17) Ichinose, G. A., H. K. Thio, P. G. Somerville, T. Sato, and T. Ishii, Rupture

- process for the 1944 Tonankai earthquake from the inversion of teleseismic and regional seismograms, *J. Geophys. Res.*, 108, 2497, doi:10.1029/2003JB002393, 2003.
- 18) 山中佳子:1944年東南海地震と1945年三河地震の震源過程, 月刊地球, 26, 739-745 2004.
 - 19) 室谷智子:地震波形と水準測量データから見た1946年南海地震の震源過程,東京大学博士論文,2007.
 - 20) Mansinha, L. and D. E. Smylie: The displacement fields of inclined faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 61, pp. 1433-1440, 1971.
 - 21) 相田勇:東海道沖におこった歴史津波の数値実験,東京大学地震研究所彙報,56,pp.367-390,1981.
 - 22) 岡村眞:見えてきた巨大南海地震の再来周期,日本地震学会 2006年秋季大会講演予稿集, A027, 2006.
 - 23) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所:大都市大震災軽減化特別プロジェクトI 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成14年度成果報告書,593pp,2003.
 - 24) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所:大都市大震災軽減化特別プロジェクトI 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成15年度成果報告書,833pp,2004.
 - 25) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所:大都市大震災軽減化特別プロジェクトI 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成16年度成果報告書,794pp,2005.
 - 26) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所:大都市大震災軽減化特別プロジェクトI 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成17年度成果報告書,754pp,2006.
 - 27) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所:大都市大震災軽減化特別プロジェクトI 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成18年度成果報告書,822pp,2007.
 - 28) 文部科学省研究開発局・他:東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究 平成20年度成果報告書, 2009
 - 29) 千田昇・中上二美:大分県佐伯市米水津とその周辺地域における宝永4年,安政元年の南海地震と津波の分析,大分大学教育福祉科学部研究紀要, 29(1), pp.69-80, 2006.
 - 30) 橋本千尋・鷺谷威・松浦充宏:GPSデータインバージョンによる西南日本のプレート間カップリングの推定,日本地震学会 2009年度秋季大会講演予稿集, A32-08, 2009.
 - 31) 西村宗・安藤雅孝:南海トラフ沿いのプレート間カップリングと九州南部の南東向き運動について, 地震 2, 51, pp.443-456, 1999.
 - 32) 八木勇治・菊池正幸・吉田真吾・山中佳子:1968年4月1日,日向灘地震(M_{JMA}7.5)の震源過程とその後の地震活動との比較, 地震 2, 51, pp.139-148, 1998.

- 33) 河田恵昭・鈴木進吾・高橋智幸：東海・東南海・南海地震の発生特性による広域津波の変化, 海岸工学論文集, 50, pp.326-330, 2003.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

学会等における口頭・ポスター発表

題名	著者	発表先	発表年月日
南海トラフ地震連動発生による地震と津波の高精度評価 (口頭)	古村孝志・今井健太郎・齊藤竜彦	日本地球惑星科学連合2009年大会, 千葉県	2009年5月21日
Amplification of tsunami heights by delayed rupture of great earthquakes along the Nankai trough (口頭)	Imai, K., K. Satake, and T. Furumura	Asia Oceania Geosciences Society 2009, Singapore	2009年8月15日
南海東南海東海地震の連動発生による強震動と津波--1707年宝永地震の震源モデルの再評価-- (口頭)	古村孝志・今井健太郎	2009年日本地震学会秋季大会, 京都府	2009年10月21日
南海トラフ巨大地震の破壊遅れによる土佐湾沿岸における津波後続波の増幅 (口頭)	今井健太郎・佐竹健治・古村孝志	2009年日本地震学会秋季大会, 京都府	2009年10月23日
南海トラフで発生する地震による四国南部沿岸での津波継続特性 (口頭)	今井健太郎・佐竹健治・古村孝志	2009年第56回海岸工学講演会, 茨城県	2009年11月20日

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文 (論文題目)	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
南海トラフで発生する地震による四国南部沿岸での津波継続特性	今井健太郎・佐竹健治・古村孝志	土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. B2-65, No. 1, pp. 281-285	2009年11月	国内
南海トラフ連動型巨大地震による地震動と津波の予測	古村孝志・今井健太郎・齊藤竜彦	月刊地球, 総特集 連動型巨大地震-III	2009年5月	国内
Amplification of tsunami heights by delayed rupture of great earthquakes along the Nankai trough	Imai, K., K. Satake, and T. Furumura	Earth, Planets and Space, Vol. 62, pp.427-432	2010年6月	国際

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 (記事タイトル)	対応者氏名	報道・掲載機関 (新聞名・TV名)	発表時期	国際・国内の別
時間差地震で津波増幅も	古村孝志・ 今井健太郎	NHKおはよう日本	2009年5月 19日	国内
宝永地震の震源域見直し	古村孝志・ 今井健太郎	NHKニュース7	2009年10月 7日	国内
大地が揺れる M8 の恐怖	古村孝志	静岡放送	2009年10 月18日	国内
Megaquake 第1回「次の巨大地震をつかめ人類の果てしなき闘い」	古村孝志	NHKスペシャル	2010年1月 10日	国内
東海・東南海・南海15～30分差で地震、津波の高さ2倍	古村孝志	朝日新聞	2009年5月 21日	国内
東海・東南海・南海3地震連動なら日向灘まで震源域	古村孝志	読売新聞	2009年10 月17日	国内

(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成22年度業務計画案

1944年東南海地震や1946年南海地震など、既に震源モデルが提案されている近年の地震について、サブプロジェクト①の「稠密海底地震観測」等による最新の地下構造探査の成果を取り入れた高分解能陸海統合地下構造モデルを用いた強震動・津波シミュレーションを実施し、その結果を歴史史料や現地調査による津波痕跡、検潮記録、強震記録や震度分布等のデータと比較することによって、シミュレーションに用いた地下構造モデルを検証する。2004年紀伊半島南東沖の地震や2009年駿河湾の地震などの近年南海トラフで発生した地震について、強震動シミュレーションを実施し、地震発生時にK-NETとKiK-netで観測された記録と比較することによって、地下構造モデルの減衰特性 Q 値を評価する。1707年宝永地震や1605年慶長地震などについて、東海・東南海・南海地震の連動発生による震源域の広がりや、これらの地震が時間差をもって発生した際の強震動と津波の増幅効果や継続時間の変化を詳しく評価する。これらの結果をもとに、3つの地震が同時発生した場合や数分～数時間の時間差をもって発生した場合等から、連動発生による強震動・津波による被害の「最悪シナリオ」を明確化し、個別研究テーマ(2)及び(4)の津波遡上・被害予測、地域毎の災害対応や復興・復旧施策の検討を実施する際の検討条件として引き継ぐ。次世代スパコン等を活用した大規模並列シミュレーションの実用化を目指し、強震動・津波予測シミュレーションコードの高度化を前年度に引き続いて行う。サンフランシスコにて開催予定の米国地球物理学連合(AGU)2010年大会の強震動、津波、計算科学の3つのセッションにおいて、これまでの研究成果を世界に向けて発信するとともに、今後の研究方針の検討のために、当該分野の最新の研究動向調査を行う。

3.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

目 次

- (1) 業務の内容
 - (a) 業務題目
 - (b) 担当者
 - (c) 業務の目的
 - (d) 5ヵ年の年次実施計画
 - (e) 平成21年度業務目的

- (2) 平成21年度の成果
 - (a) 業務の要約
 - (b) 業務の実施方法
 - (c) 業務の成果
 - 1) 高知市における水際構造物（水門、樋門、陸こう）の現地踏査
 - 2) 地震津波発生シナリオ（対象モデル）と津波数値シミュレーション
 - 3) 初期水位に関する検討
 - 4) 海底地滑りによる津波発生に関する事例の整理
 - (d) 結論ならびに今後の課題
 - (e) 引用文献
 - (f) 成果の論文発表・口頭発表等
 - (g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

- (3) 平成22年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東北大学大学院工学 研究科附属災害制御 研究センター	教授	今村文彦
東北大学大学院工学 研究科附属災害制御 研究センター	准教授	越村俊一
東北大学大学院工学 研究科附属災害制御 研究センター	助教	後藤和久

(c) 業務の目的

本サブテーマでは、地震動サブテーマの強震動・津波シミュレーションから得られた地震・津波シナリオをもとに、河川を含む沿岸域での津波の遡上過程と浸水を高精度に予測する。ここでは、詳細な地形特性、陸上での土地利用、潮汐、地球温暖化による海面変動など、現在および将来に予想される現実的な環境下での津波遡上を検討する。これらの結果を利用して、津波被害の予測と人的被害の軽減のための情報を作成し、被害形態も考慮した沿岸部でのハザードマップ作成の検討を行う。ここで作成するハザードマップでは、大地震の強震動による被害、大津波の到来、そして内陸部への浸水が起きる過程に対して時間を追って示すとともに、津波遡上と浸水を、高分解能航空写真や重ねたりGISを用いるなどの工夫により、大地震による津波の脅威を良く理解できるようなリアルなアニメーションの作成を目指す。以上の結果を基盤とした、ハザード・リスクや復旧・復興のための情報マップを活用した人的被害軽減戦略の作成プログラムを提案する。

(d) 5カ年の年次実施計画

- 1) 平成20年度：中央防災会議などが整備したデータに加え、国土地理院のデータ、各自治体（尾鷲市、鳥羽市、高知市）での整備データを収集・整理し、連成計算コードの開発と計算条件データベースの整備を進めた。沿岸域を細かな（最小50m）メッシュにて計算できるデータの整備と計算コードを開発し、試計算を行った。
- 2) 平成21年度：「サブプロジェクト①(2)稠密海底地震観測」等から得られた、海底構造（地滑りポテンシャル情報）や海底地形についての詳細計測結果を用いて、局所的な津波への影響を評価し、解析に必要な空間分解能などについての基礎検討を行う。また、潮汐や地球温暖化による海面上昇などが、津波伝播過程に与える定量的な評価も実施する。特に、海水面の上昇による位置エネルギーの増加や、浅海域でのエネルギー減衰効果の低下に着目し、津波の影響や被害の評価をする。得られた結果は、シナリオ作成のための計

算（初期、境界）条件の設定に用いられる。さらに、連動タイプの違いによる、津波の波高重ね合わせによる波高の上昇や、連続して繰り返し押し寄せる津波が沿岸に与える影響変化について検討する。

3) 平成22年度：サブテーマ「(1)連動型巨大地震による強震動の高精度予測」から得られた地震・津波シナリオをもとに、沿岸の津波波高、陸域での浸水や河川への遡上を高精度に予測する。予測内容は、到達時間や浸水範囲に加えて、最大流速、最大流体力、さらに、時系列の海面変化などの情報をハザード情報としてアウトプットする。1944年東南海地震、1946年南海地震、および2004年紀伊半島南東沖などの地震の津波遡上シミュレーションと観測データとの比較から検証する。サブプロジェクト①の「稠密海底地震観測」の構造調査の結果を受け、海底地滑りなどの可能性が高い場所について、強震動による海底斜面の崩壊による津波発生機構も取り入れた津波予測を行う。

4) 平成23年度：得られた津波ハザード情報を基に、人的・物的・交通被害などの津波被害を予測する。季節や時間帯などの発生時間帯を考慮し、それぞれの地域で固有な被害パターンの有無を検討する。これらの情報は地形図・土地利用図・衛星画像などに重ねハザード・リスクマップ作成の基礎とする。以上の成果を利用して、従来のハザードマップ作成手順の中で、評価手法・浸水予測区域設定の基準、防災情報の内容・表示、マップの周知・利用・活用などの項目について、改善すべき内容を再検討する。

5) 平成24年度：新しいリスク手法に基づいた地域でのマップを作成し、対象地域での防災力・対応力などの情報を重ね、地震発生直後から復旧・復興期までの時間要素を取り入れた復旧・復興マップを作成する。社会一般に連動型巨大地震による津波の影響力を分かりやすく伝えるために、津波遡上と浸水を、高分解能航空写真やGIS地図に重ね書きした、リアルなアニメーションを作成する。最後に、ハザード・リスク・復旧復興のマップを活用した人的被害軽減戦略の作成プログラムを提案する。

(e) 平成21年度業務目的

サブプロジェクト①の「(1)稠密海底地震・津波・地殻変動観測」等から得られた詳細計測結果を用いて、海底構造（地滑りポテンシャル情報）や海底地形が及ぼす局所的な津波への影響を評価し、解析に必要な空間分解能や予測時間についての基礎検討を行う。また、潮汐や地球温暖化による海面上昇などが、津波伝播過程に与える定量的な評価を実施する。特に、海水面の上昇による位置エネルギーの増加や、浅海域でのエネルギー減衰効果の低下に着目し、津波被害の影響を評価する。このようにして得られた評価・検討及び本サブプロジェクトの研究テーマ「(1)連動型巨大地震による強震動の高精度予測」をもとに、地震津波発生シナリオを定め、沿岸の津波波高と河川への遡上の高精度予測のための前提条件とする。さらに、震源域の広がりや連動条件の違いに起因する、津波の重ね合わせによる波高上昇への影響や、連続・繰返す津波による沿岸への影響を評価し、これらの影響力を総合的に評価した津波ハザードの試作マップ（高知または三重県沿岸）を作成する。

(2) 平成 21 年度の成果

(a) 業務の要約

より詳細な津波の挙動を再現するために高知市市街地を対象とした 50/9 m (50m を 9 分割、約 5.6 m) メッシュ高精度地形モデルによる津波遡上シミュレーションを実施した。さらに、航空写真上に時々刻々と変化する氾濫浸水深・流速の挙動を示した高精度な動的津波ハザードマップ（高知版）を試作した。海底の地滑りポテンシャル情報について、既往研究のレビューと過去の事例について整理を行った。津波・地殻変動観測さらには現地沿岸地形及び沿岸構造調査から得られた詳細な計測結果を用い、解析に必要なデータを作成した。1707 年宝永地震の地震発生シナリオとして提案されているセグメントと破壊時間差の異なる 3 つのケースについて、沿岸・市街地の津波波高・浸水、さらには河川への遡上などを解析し、震源域の広がりや連動条件の違いに起因する波高上昇への影響や、連続・繰返す津波による市街地への影響を評価した。また、津波解析の初期条件となる海面レベルについて、潮汐や地球温暖化による海面上昇などによる偏差の影響を評価した。その結果、偏差の影響は小さいこと、さらに、高知県沖の断層セグメントの低速破壊を仮定したケース（CASE03）では、連動性により津波波高が高くなるものの、その地域での地盤沈下量が大きいために、最高水位に関しては他のケースと大きな差がないという結果を得た。

(b) 業務の実施方法

1) 高知市における水際構造物（水門、樋門、陸こう）の現地踏査

中央防災会議などが整備したデータに加え、国土地理院のデータ、自治体（高知市）での整備データを収集・整理し、連成計算コードの開発と計算条件データベースの整備を進める。対象領域では 1350 m メッシュから 50/9 m まで 6 段階に細分化する。最小領域においては、地形・土地利用データ、水際構造物（水門、樋門、陸こう）の有無や敷高の標高値について現地踏査を行い、既存のデジタルデータとの比較を行い、修正する。また、空間格子サイズが津波氾濫の挙動を十分に表現できるようにする。

表 1 1707 年宝永地震による地震発生シナリオ

ケース名	地殻変動条件	震源域
CASE01	均質媒質での一斉破壊	1707 年宝永地震（相田、1981 ¹⁾ ）
CASE02	均質媒質での一斉破壊	日向灘セグメントを含む宝永(1707)地震（古村・今井、2009 ²⁾ ）
CASE03	均質媒質での高知県沖セグメントの低速破壊(破壊終了時間 10 分)	日向灘セグメントを含む宝永(1707)地震（古村・今井、2009 ²⁾ ）

2) 地震発生シナリオと津波遡上シミュレーション

1707 年宝永地震の地震発生シナリオとして提案されている相田（1981）、古村・今井

(2009) に基づいて、津波遡上シミュレーションを行い、断層の破壊伝播速度の違いによる、津波の重ね合わせによる波高の上昇や、連続して繰り返す押し寄せる津波の沿岸域での影響変化について検討する。表 1 に地殻変動条件と震源域、表 2 に津波遡上シミュレーションのための計算条件を示す。このうち、CASE03 は、サブテーマ「(1) 連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の成果に基づいて、断層パラメータと断層破壊のシナリオを定めるものであり、高知県沖の断層については低速破壊を仮定する。なお、地震によって地盤面は上下に変動、すなわち、地盤面と水面の高さは連動するとの条件の下で津波遡上シミュレーションを実施する。したがって、海拔 0 m 地帯では、地震直後の地盤沈下で平均海面を下回るが、同時に海面も低下するため、地震発生直後から浸水することはないとする。ただし、こうした地域では、沈下した地盤高に対して、津波は押し寄せるため、地盤沈下を考慮しない場合に比べて大きな浸水被害をもたらす可能性が高い。

表 2 津波遡上シミュレーションのための計算条件

項目	内容
地震発生シナリオ	表 1 による <ul style="list-style-type: none"> ・ 1707 年宝永地震 (均質媒質での地殻一斉変動) [CASE01] ・ 日向灘セグメントを含む 1707 年宝永地震 均質媒質での地殻一斉変動 [CASE02] 均質媒質での低速破壊による地殻変動 [CASE03]
基礎方程式と解法	非線形長波理論式、Leap-Frog 差分法
計算格子間隔	大領域 1350 m、中領域 450 m、小領域 150 m、沿岸領域 50 m、 詳細領域 50/3 m、詳細領域 50/9 m
計算時間間隔	大領域 2 秒、中領域 0.5 秒、小領域 0.5 秒、沿岸領域 0.1 秒、 詳細領域 0.1 秒
沖側境界条件	大領域では自由透過とし、他は水位と流量を接続。
陸側境界条件	沿岸領域及び詳細領域では遡上境界条件とし、他は完全反射。
潮位条件	高知市 = T.P. 0.91m
初期水位条件	Mansinha and Smylie(1971) ³⁾ の方法による。
地盤変位条件	Mansinha and Smylie(1971) ³⁾ の方法による。 上下変動ともに考慮。構造物は破壊されず地盤変動と連動。
底面摩擦モデル	Manning の粗度係数を与える。(中央防災会議 ⁴⁾ による評価と同じ。)
堤防等越流境界	本間の越流公式

河道流量条件	なし
水門・樋門・陸閘門の通過流量条件	最小格子間隔と開口幅の比率（通過率）によって通過流量を求める。
計算時間	地震発生から 6 時間
計算格子の測地系	世界測地系
計算格子の座標系	平面直角座標第 4 系

3) 初期水位に関する検討

現在の臨海都市では、より高度な土地利用を求めた結果、海拔 0 m に近い臨海部でも土地利用が展開されている。こうした都市では、地球温暖化等による恒常的な海面上昇により、津波による被害リスクの増大が懸念される。現状の津波防災計画では、海面条件として潮位のみを考慮しており、地球温暖化等を想定した恒常的な海面上昇を考慮した評価を行っていない。そこで、海水面の上昇による位置エネルギーの増加や、浅海域でのエネルギー逸散効果の低下に着目し、津波被害の影響の評価を単純化した理想地形モデルを用いて、地球温暖化などによる海面上昇（偏差）を想定し、津波伝播過程に与える影響について定量的な評価を行う。

4) 海底地滑りによる津波発生に関する事例

海底地滑りによる津波発生は、地震による地殻変動に伴った津波発生と異なり伝播方向へのエネルギー指向性が高くなるため、局所的に大きな津波高をもたらす可能性がある。そこで、1998 年パプア・ニューギニア地震津波と 2009 年の駿河湾地震津波を代表事例としてレビューを行う。

(c) 業務の成果

1) 高知市における水際構造物（水門，樋門，陸こう）の現地調査

津波災害による被害リスク評価を行うためには、高度な土地利用条件や詳細な地形条件に関する情報が必要となる。本業務では、高知市を対象として、すでに国土地理院によって作成されている 12.5 m のデジタルデータと実際の地形条件について、現地踏査を行い、修正・確認地点の抽出を行った。

図 1 に高知市内での現場踏査により確認した水際構造物の主な場所を示す。以下に、簡易測量による値と記載値に相違のある箇所を示す。なお、踏査地点の記号や諸値は、平成 16 年高知県津波防災アセスメント補完調査委託業務報告書「水門・樋門・陸閘等諸元調査票」⁵⁾のエリア番号および記載値である。

a) 江ノ口水門 C2-12-8

基準道路高：T.P. 2.0 m

敷高：T.P. -2.5 m

門高：3.9 m

門幅：16.0 m×2

備考：水門上流側の堤防天端高 T.P. 2.0 m を基準として簡易測量した河床高は約 T.P. -1.5 m であった。12.5 m メッシュの当該地点河床高は TP-1.8 m であることから諸元票の敷高 T.P. -2.5 m について確認が必要である。

b)新堀水門（旧）C2-12-20

基準堤防高 T.P. 2.0 m

敷高：T.P. -2.8 m

門高：4.8 m

門幅：7.8 m×2

備考：新しい新堀水門の諸元が不明なので確認が必要。新堀小学校横の新堀川河床高が簡易測量で T.P. -1.3 m であった。近くの旧新堀水門の敷高 T.P. -2.8 m との差が大きいことについて確認が必要である。

c)竹島水門 C2-17-16

基準堤防高：T.P. 2.28 m

敷高：T.P. -4.32 m

門高：6.6 m

門幅：15.0 m×1

備考：12.5 m メッシュの当該地点河床高が T.P. -1.7 m であるのに対して水門敷高が T.P. -4.32 m と大きく異なるため確認が必要である。

現地踏査で得られた数値は、津波氾濫計算の詳細領域（50/9 m グリッド）に適用した。

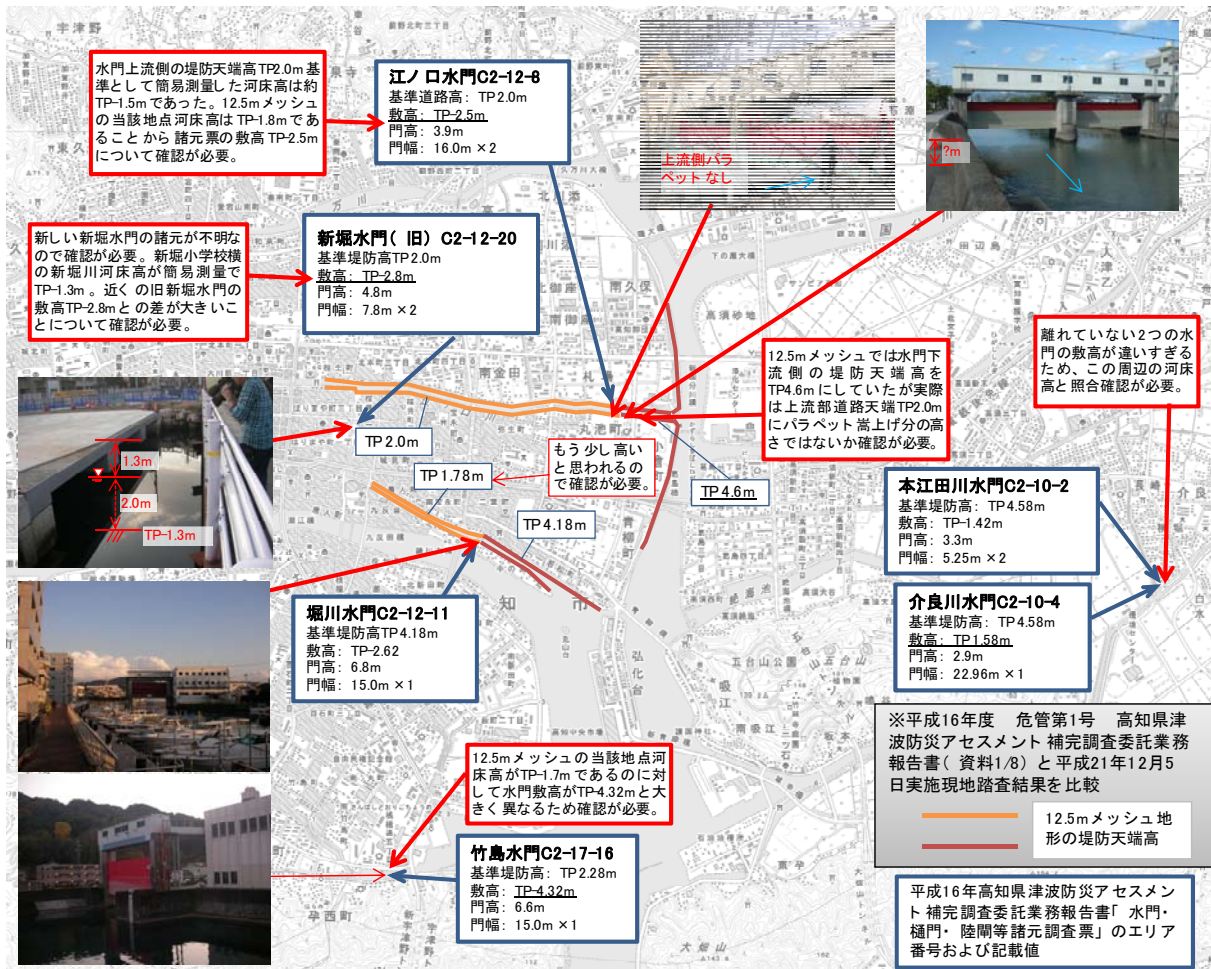


図1 高知市内での現場踏査により確認した水際構造物の主な場所。

2) 地震発生シナリオと津波遡上シミュレーション

津波遡上シミュレーションの評価対象領域は、高知市周辺とした。図 2 に計算領域を示す。本地域は、高知県庁所在地であり、地域の中心地区であるために多様な土地利用がされている一方で、過去の南海地震によって広域にわたり地盤沈下が生じたことがある。なお、この地域には、地震発生後 10 分以内に津波が来襲する可能性がある。また、東海・南海地震が連動したといわれている 1707 年宝永地震をもとにした相田¹⁾および古村・今井²⁾の想定した地震発生シナリオに基づいて津波が発生するものとした。表 1 および 2 にその他の計算諸条件を示した。また、津波の初期水位分布は地盤鉛直変動量を静水面（各地域の朔望平均満潮位）に加えたものとした。図 3 に CASE01 の初期津波波源を示す。CASE02 および 03 については、第 3 章 3.1 節の図 19 および図 24(a)を参照されたい。なお、各ケースの津波の時間発展は、解析コードが異なるサブテーマ (1) による計算とほぼ一致することを確認した。

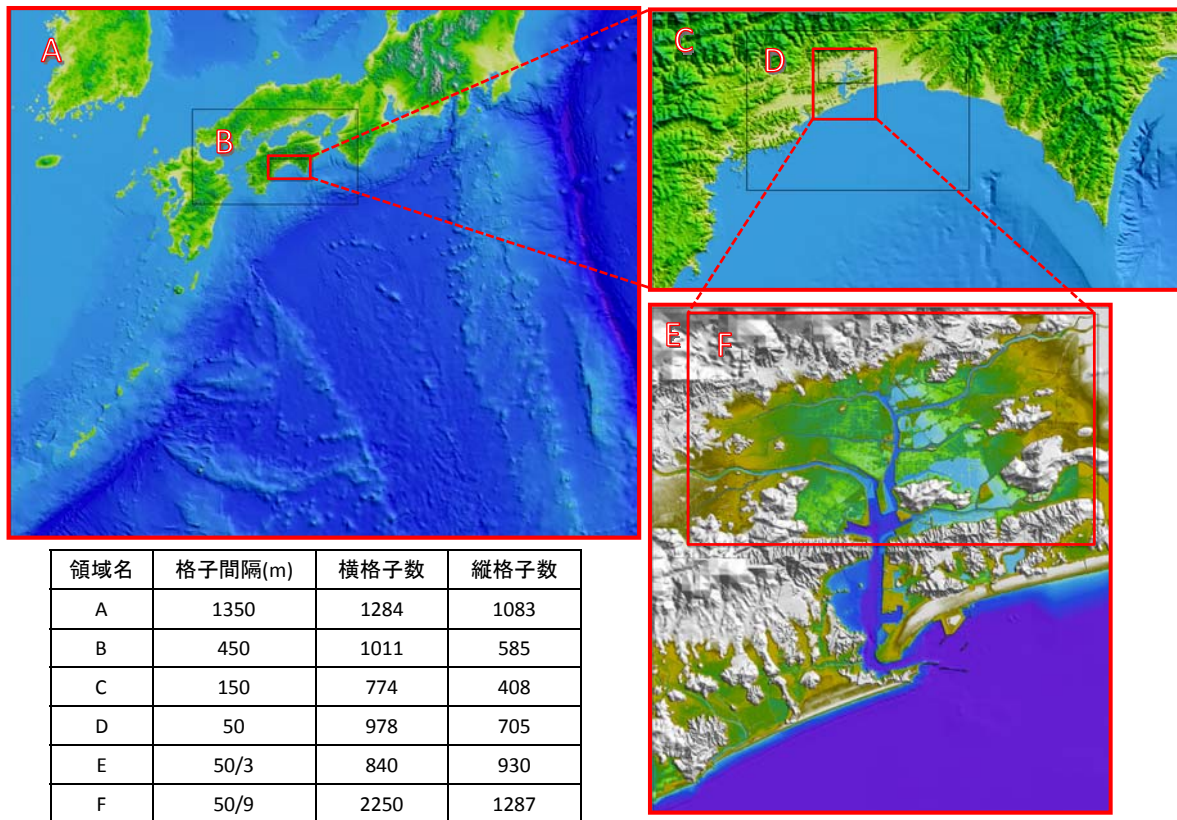


図 2 津波遡上シミュレーションの計算領域。

図 4 に高知県沖での津波波形出力点位置を、図 5 に各地点における津波波形を示す。各地域における CASE01 と CASE02 の津波波形の位相は似ているが、津波高は CASE01 の方が若干大きく、その差は最大で約 1 m である。これは、CASE01 と CASE02 の滑り量や断層の深さが異なるためである。土佐清水沖（東側）の津波高は足摺岬に直面した断層の大きい滑りの影響により、CASE02 に比べて CASE01 の方が 2.8 m 程度大きい。

CASE03 は CASE02 と比べて、低速破壊により津波初動の到達が若干遅れるが、その津波高は大きい傾向にある。この傾向は第 2 波以降においても同様である。特に、土佐湾沖に設定した断層に直面する桂浜沖では、低速破壊による津波が最大である。すなわち、3 つのケースの中では、CASE03 が高知市内に最も影響を与える。

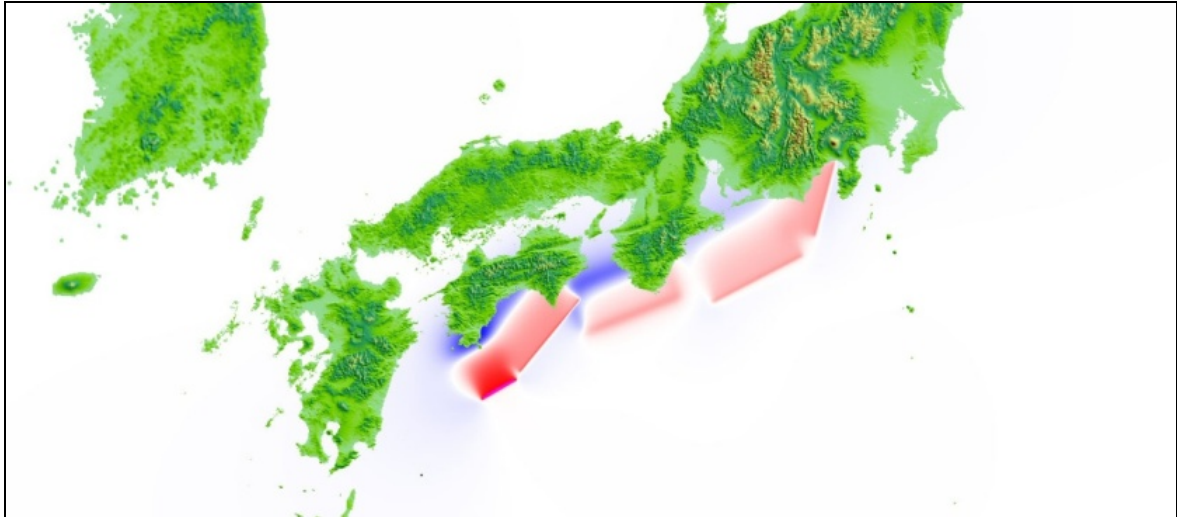


図 3 CASE01 の初期津波波源。

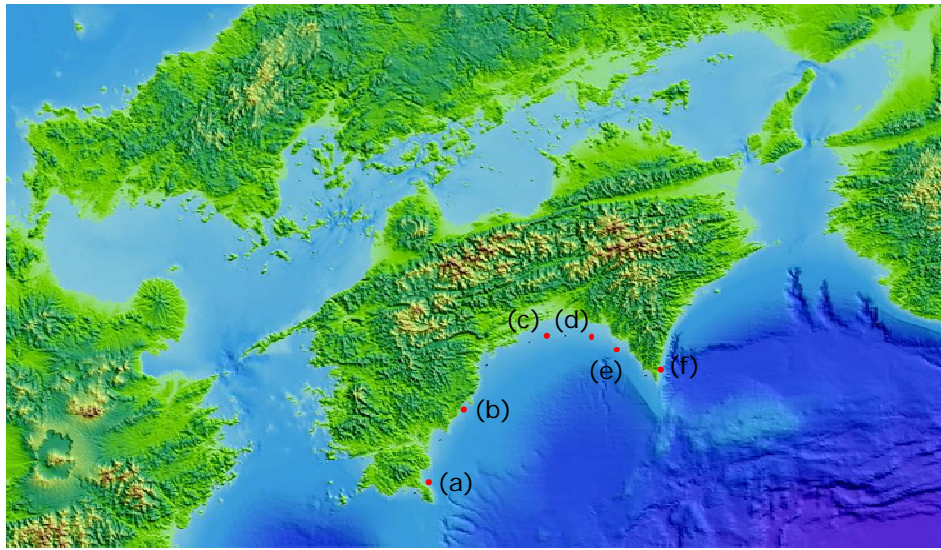
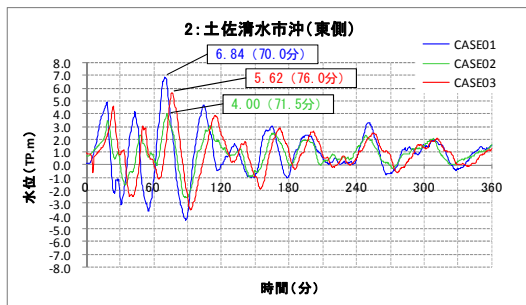
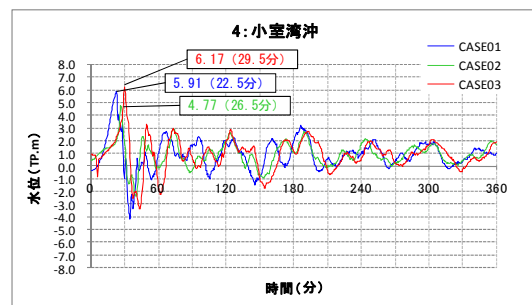


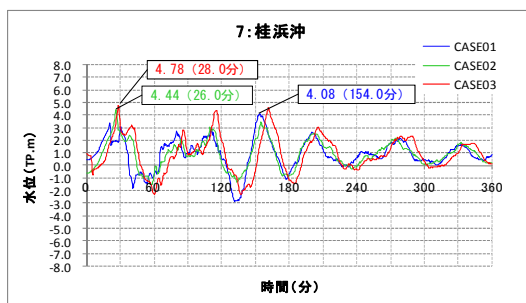
図4 高知県沖での津波波形出力地点。



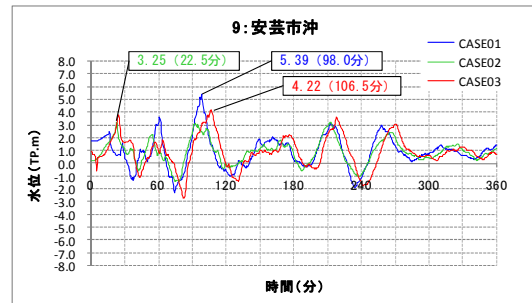
(a) 土佐清水市沖 (東側)



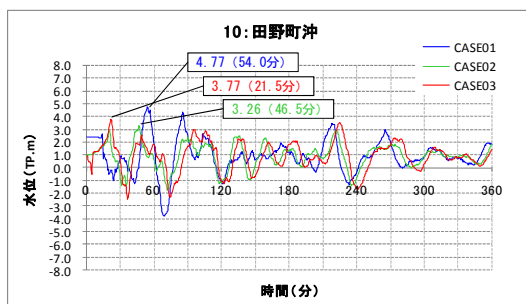
(b) 小室湾沖



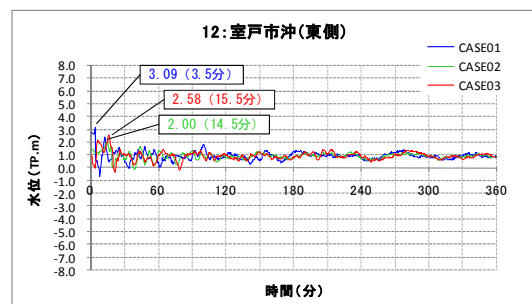
(c) 桂浜沖



(d) 安芸市沖



(e) 田野町沖



(f) 室戸市沖 (東側)

図5 各地点における津波の時刻歴。

図 6 に CASE02 と CASE03 における、高知市高知港・各河道内における津波最大水位分布を示す。両ケースともに、高知港と鏡川で水位が大きいこと、鏡川、国分川、国分川の河道内の最大水位は CASE02 に比べ、CASE03 の方が 0.2~0.3 m 大きいこと、が示されている。

図 7 に最も高知市に大きな津波をもたらす CASE03 について、高知市における津波氾濫の経時変化を航空写真と重ね合わせた津波ハザードマップの試作例（一定時刻毎の表示）を示す。地震発生から 30 分後には高知港湾口周辺に若干の海海面変動は確認できるが、陸上氾濫には至っていない。45 分後には高知港沿岸において津波が陸上氾濫を始める。浸水範囲は高知港周辺や鏡川河口部周辺であり、高知市街地北部の住民は避難行動における時間的猶予が十数分~数十分程度若干残されていることがわかる。地震発生から 1 時間後には浸水範囲がさらに広がり、河川沿いの低い地盤から市街に氾濫流が流入し、また、2 時間~2 時間半程度には、市街の広域に津波が氾濫する。また、その氾濫経路の多くは道路沿いである。

図 8 には CASE03 における最大浸水範囲と最大流速分布を示す。最大流速について、高知港の港口狭窄部で流速が増大していることや、国分川と久万川の合流地点で流速が増大していることが分かる。氾濫箇所としては、河川沿いの標高の低い箇所や河道の湾曲部に多くみられる。また、市街地では、津波は道路沿いに氾濫し、複雑な氾濫・合流プロセスにより陸上の浸水深や流速が上昇していることが判る。このように、高解像度な地形データを用いることにより、局所的な氾濫浸水深・流速の高まりについても評価が初めて可能となることが確認できた。従来の津波ハザードマップでは、最大の浸水深や浸水域の表示が行われてきたが、高解像度地形データを用いた津波浸水シミュレーションにより、氾濫流速についても高精度に評価できるようになり、津波氾濫による危険度をより適切に表現することが可能となる。特に、流速は道路や建物などの状況で大きく変動することから、土地利用状況を正しくモデル化することが今後の課題である。

高解像度な地形データによる詳細な氾濫計算と航空写真との重ね合わせ、そして動的な津波氾濫過程を示すことで、高知市内における氾濫箇所の詳細な同定や任意の地域における到達予測時刻の評価を行うことが可能となり、また、局所的な浸水深や流速の高まりも評価が可能となる。今後は、より詳細な土地利用情報、船舶やコンテナ等の漂流物の挙動、地震動による石油タンク破損による油の流出と津波による拡散など、より高度な情報を含んだ津波氾濫計算を行うことにより、現実起こり得る高度な津波災害予測が可能となる。また、これらの高度な津波災害予測に基づく、動的な津波ハザードマップは住民の避難行動を支援する強力なツールとして有用であるといえる。

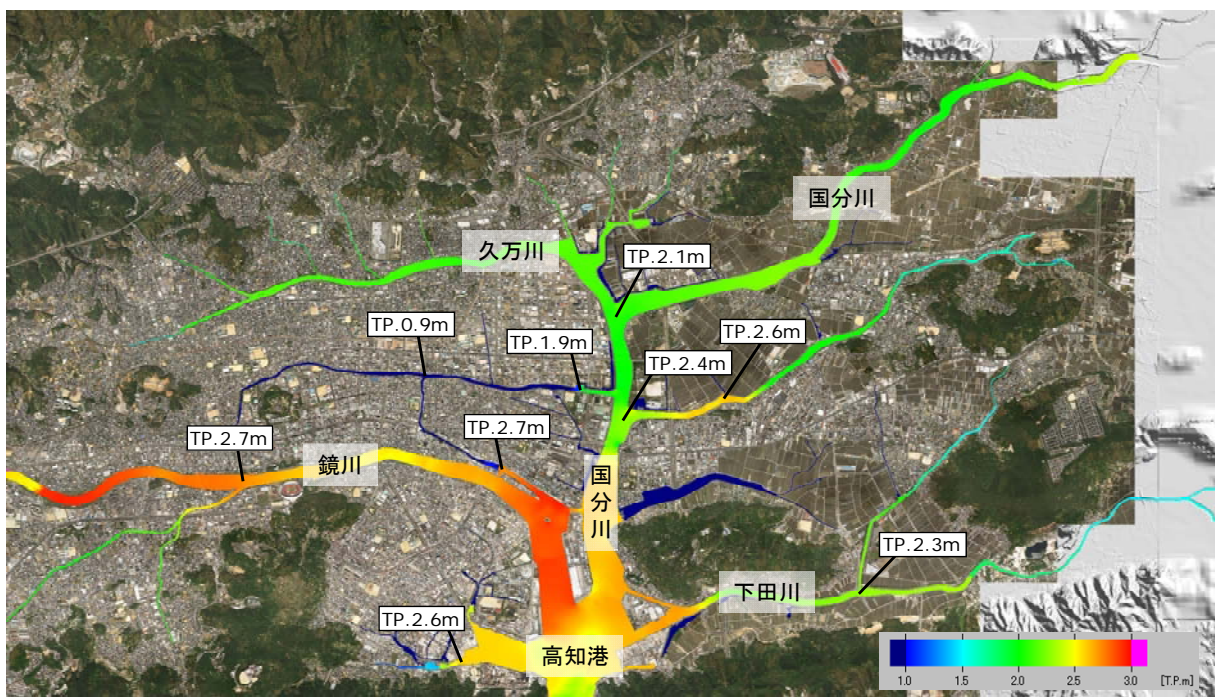
本年度の業務においては、最小で約 5.6 m の極めて細かい空間格子間隔を用いてシミュレーションを行ない、市街地における津波氾濫の様子を再現した。平成 20 年度においては、最小 50 m の格子間隔を用いて津波伝播シミュレーションを実施した。しかし、50 m 格子の解像度では、河川の敷高やその堤防護岸高などの微地形や、市街地における高度な土地利用形態を表現する空間分解能を有しておらず、特に河川の津波遡上や住宅地等の構造物の分布に依存した局所的な氾濫を高精度に評価できない。一方で、これら局所的な津波氾濫は現実的な被害程度に強く影響を及ぼすものと考えられることから、本業務で行った最小スケール（5.6 m）の空間格子間隔が、市街地における津波氾濫のシミュレーショ

ン、ひいては津波ハザードマップの策定、およびその高度化における最低条件であると考えられる。

一方、微細な地形情報には、既存の地形図と実際の地形にしばしば齟齬が見られることも明らかになった。特に河川沿いの水門敷高や護岸の高さは、津波に伴う河川遡上や護岸を越える津波氾濫に大きな影響を及ぼしている。今後津波ハザードマップを策定していくためには、シミュレーションの高度化と同時に、より現実に即した微細な地形情報の整備を継続していくことも必要である。



(a) CASE02



(b) CASE03

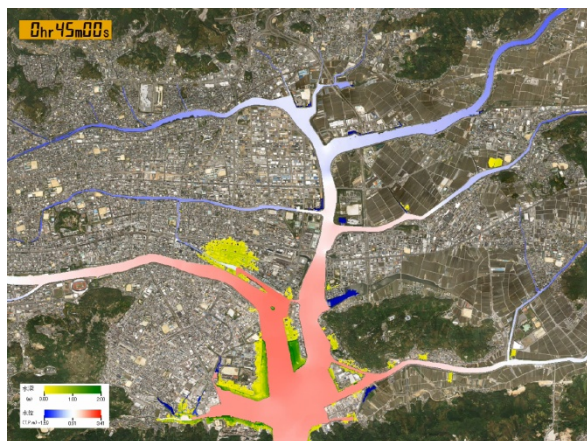
図 6 高知市高知港・各河道内における津波最大水位分布。



(a) 地震発生直後



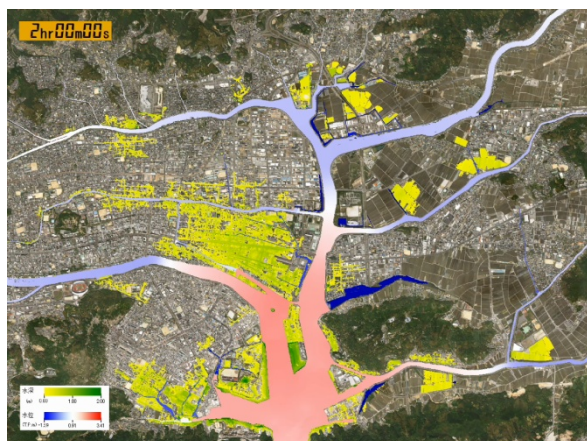
(b) 地震発生から 30 分後



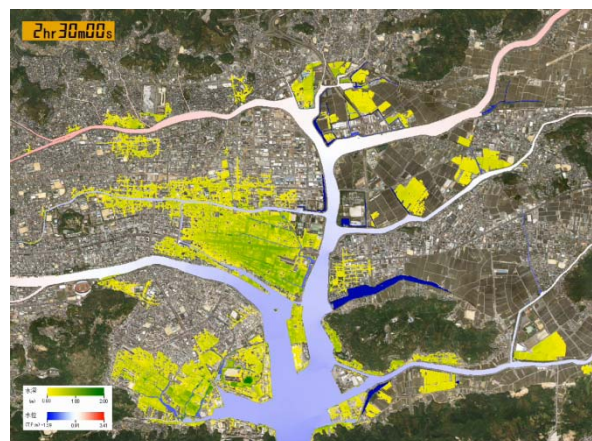
(c) 地震発生から 45 分後



(d) 地震発生から 1 時間後



(e) 地震発生から 2 時間後



(f) 地震発生から 2 時間 30 分後

図 7 高知市における津波氾濫の経時変化を航空写真と重ね合わせた動的津波ハザードマップの試作例。

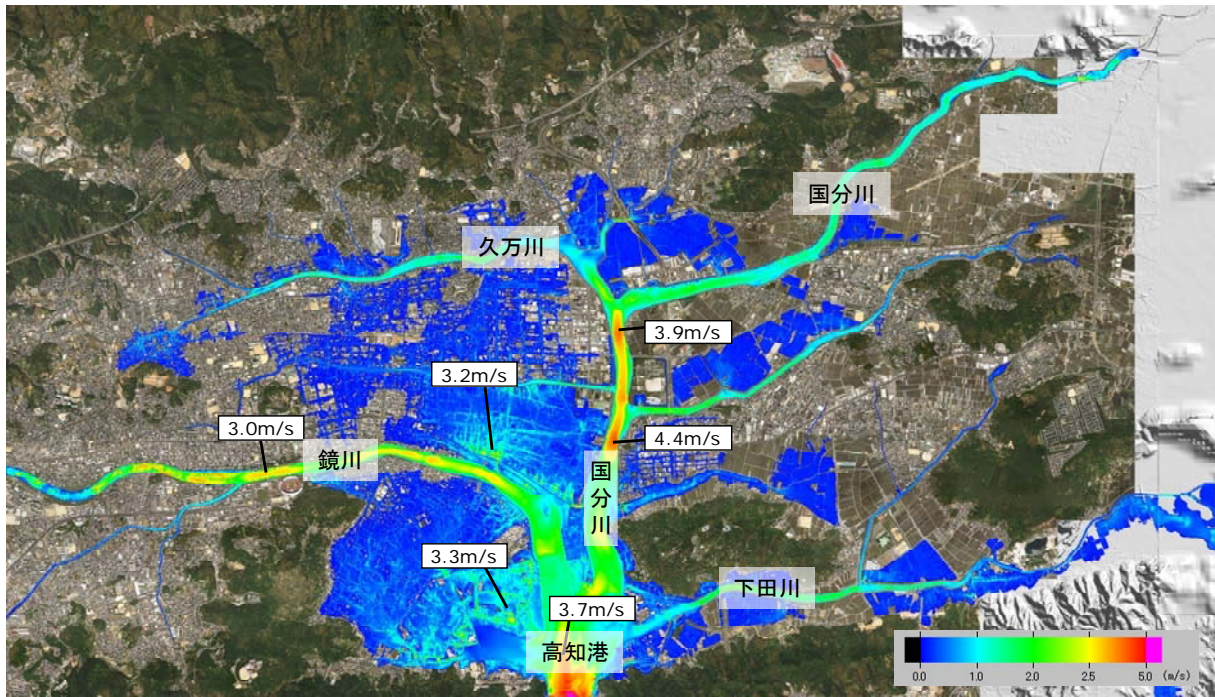


図 8 CASE03 における最大浸水範囲と最大流速分布を重ね書きしたハザードマップの試作例。

3) 初期水位に関する検討

潮汐と比較して時間スケールの長い恒常的な海面上昇が及ぼす津波遡上高への影響について、断面 1 次元の理想地形により検討を行う。図 9 に理想断面の模式図を示す。ここでは、沖合より陸上の方が急勾配である仙台湾をモデルとした遠浅海岸（地形 1）、海底勾配が陸上勾配に比して急な三陸・釜石～宮古付近をモデルとした海岸（地形 2）、海底勾配と陸域の勾配が同一な海岸（地形 3）の 3 種を設定した。恒常的な海面は温暖化による海面上昇を想定し、その幅については、議論の余地はあるが（例えば、IPCC 第 4 次報告、2007⁶⁾；気象庁、2007⁷⁾；Pfeffer et al., 2008⁸⁾）、ここでは一律 1 m の上昇と設定した。

各地形において、周期・入射波条件等を変化させて海面上昇させた場合の最高水位・遡上高等を評価し、津波の諸条件とともに評価した海面上昇幅に対する津波遡上高の増幅を表 3 に示す。入射波はサイン波とし、津波初動の押し・引きを考慮した。地形 1 では、近地津波を想定して初期津波高は 1～4 m とし、その周期は 10・20 分とした。地形 2 は近地・遠地津波を想定して初期津波高は 1～4 m とし、その周期は 10・20・30・60 分とした。地形 3 では、明治三陸地震と 1960 年チリ地震による津波を想定して初期津波高は 1 および 4 m、その周期は 10 および 60 分とした。表 3 から、入射波の周期が 10、20 分の場合において、地形 1 では、どの津波条件でも恒常的な海面上昇以上の遡上高が 1.1 倍から 1.2 倍程度増加する。一方、地形 2 は地形 1 と逆傾向にあり、周期 10 分では、0.4 から 0.5 倍程度に減少する。地形 3 においては、入射波の影響は小さく、海面上昇量と同程度であった。

地形 2 および、地形 3 における周期の長い津波について検討を行った。地形 2 において、

±20%程度増減を示すが、地形2および地形3ともに、際立った特徴を見いだすことはできなかった。

すなわち、海面上昇により、海域での最高水位は若干増加するものの、遡上高さに関しては、大きな差は生じない。これは、海域での水深の増加により、波高は増加するものの、汀線付近の浅海になると、波形が急勾配になり、砕波に似た現象として波高が減少、遡上高さが小さくなるためである。それゆえ、実用的な津波シミュレーションにおける津波遡上の計算精度を考えると、海面上昇による影響は小さいものと考えられる。

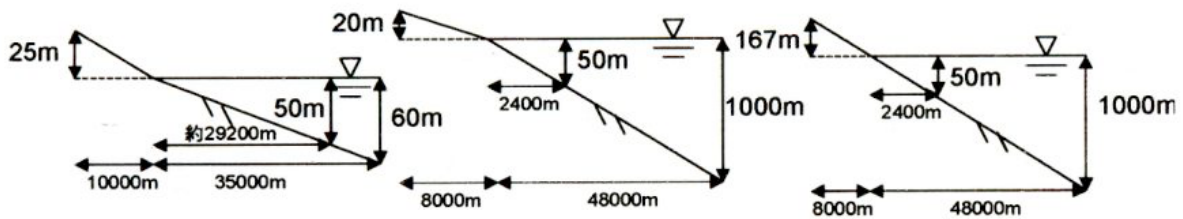


図9 理想断面の模式図。左から地形1，地形2，地形3を示す。

表3 津波の諸条件と津波遡上高の差。

1mの海面上昇による遡上高の差(いずれも現在の海面高基準)							
		地形1押し	地形1引き	地形2押し	地形2引き	地形3押し	地形3引き
入射波(m) 周期10分	1	1.147	1.109	0.699	0.622	0.997	1.004
	2	1.147	1.094	0.645	0.5		
	3	1.186	1.152	0.594	0.454		
	4	1.192	1.132	0.539	0.383	0.998	0.999
入射波(m) 周期20分	1	1.111	1.149	0.876	0.948		
	2	1.144	1.134	0.825	0.869		
	3	1.188	1.136	0.594	0.785		
	4	1.19	1.138	0.539	0.739		
入射波(m) 周期30分	1			1	1.049		
	2			0.947	1.024		
	3			0.906	0.984		
	4			0.903	0.953		
入射波(m) 周期60分	1			1.158	0.628	0.999	1.033
	2			1.025	1.057		
	3			0.882	1.089		
	4			0.75	1.098	0.959	1.018

地形1…近海での発生を想定→長周期は考慮せず

地形3…地形2との比較、明治三陸地震より周期10分、チリ地震より周期60分を検討

赤…1以上(海面上昇幅より大きい)

青…1未満(海面上昇幅より小さい)

4) 海底地滑りによる津波発生に関する事例の整理

地震動に起因した地滑りにより津波が発生することがある。1998年のパプア・ニューギニア地震津波では、余震による地滑りによって津波が励起されたと考えられており⁹⁾⁻¹¹⁾、シッサノ沿岸には15 mに及ぶ津波高が来襲し、2000名に及ぶ犠牲者を出した。この事例において、海洋科学技術センター（現、海洋研究開発機構）と南太平洋応用地学委員会により、シッサノ沖において浅部海底地質調査¹²⁾が行われ、シッサノ沖に大陸棚が突き出した特徴的な地形が発見された。さらに海底の地質構造の調査が行われ¹⁰⁾、この調査結果から、オーストラリアプレートに沈み込むビスマルクプレート上の堆積層の上に堆積層が確認され、地滑りの痕跡と考えられる特徴的な地形が見いだされた。これらの観測結果から、シッサノ沖における特徴的な地形に加え、海底地滑りによってシッサノ沿岸に巨大津波が来襲したことが説明可能となった¹⁰⁾⁻¹²⁾。

2009年の駿河湾で発生した地震では、焼津で引き波0.62 m、御前崎で0.36 mになる大津波が観測され、駿河湾内における潮位観測所の海面変動応答特性を考慮したとしても¹³⁾、地震による地殻変動だけではこの高さの津波は説明できない。馬場・他¹⁴⁾はこの地震の震源域周辺において海底地形調査を行った。この調査により、焼津の沖合約5 kmの海底において、観測以前には無かった崖が形成されていることや、新たに堆積した地形や海底堆積物が大きく乱されていることが確認された。このような観測事実から、2009年の駿河湾で発生した地震での焼津や御前崎で観測された津波は地震による地殻変動とそれによる海底地滑りに起因したものであることが示唆された。

南海トラフにおいては、フィリピン海プレートの沈み込む海溝軸付近には、フィリピン海プレート海洋地殻上端の堆積物が付加した付加体が形成されており、パプア・ニューギニア地震津波の事例と同様に、地滑りによる津波発生が懸念される。海底地滑りによる津波の予測を行う上では、堆積層上での急勾配箇所の同定はもちろんのこと、その地質的構造もあわせて検討を行っていくことが必要と考えられる。

海底地滑りによる津波発生・伝播シミュレーションを行う際に、いくつかの留意点がある。第一に地滑りの規模と地震動の関係に関する知見は少ないため、事例に基づいて設定する必要がある。次に地滑りモデルであり、実験式¹⁵⁾や数値モデル¹⁶⁻¹⁷⁾が提案されているが、地滑りの規模と水面変動の定量的な関係については検討課題の一つである。最後は津波数値モデルであり、海底地滑りによる津波は地震による地殻変動規模と比較して短波長となるため、発生箇所によっては分散性を無視できなくなる。また、従来の津波解析モデルでは、短波長の津波波形は離散化手法の誤差に起因して波高を過小評価してしまうため、離散化手法の高精度化が必要となる。

(d) 結論ならびに今後の課題

中央防災会議などが整備したデータに加え、国土地理院のデータ、各自治体（高知市）での整備データを収集・整理し、連成計算コードの開発と計算条件データベースの整備を進めた。沿岸域を細かな（最小 50/9m）メッシュにて計算できるデータの整備と計算コードを開発し、津波遡上シミュレーションを実施した。尾鷲市や鳥羽市については、基本的なデータは入手したが、津波遡上シミュレーションを実施するに計算条件データベースとしては、まだ不十分であるので、今後も計算情報データベースの整備を継続して進めていく。

(e) 引用文献

- 1) 相田勇：東海道沖におこった歴史津波の数値実験,東京大学地震研究所彙報,56, pp.367-390,1981.
- 2) 古村孝志・今井健太郎：南海・東南海・東海地震の連動発生による強震動と津波－1707年宝永地震の震源モデルの再評価－,日本地震学会 2009年秋季大会講演予稿集, A11-10, 2009.
- 3) Mansinha, L. and D. E. Smylie: The displacement fields of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Am., 61, pp. 1433-1440, 1971.
- 4) 中央防災会議：東南海・南海地震等に関する専門調査会,
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index_nankai.html, 2003.
- 5) 高知県：高知県津波防災アセスメント補完調査委託業務報告書, 2004.
- 6) IPCC FOURTH ASSESSMENT REPORT : Working Group I Report, pp. 385-432, 2007
- 7) 気象庁：地球温暖化予測情報第7巻,
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpinfo/GWP/Vol7/pdf/1-2.pdf>, 2007.
- 8) Peffer, W. T. , J. T. Harper, and S O'Neel : Kinematic Constraints on Glacier Contribution to 21st-Century Sea-Level Rise, Science 5, 321, 1340-1343, DOI: 10.1126/science.1159099, 2008.
- 9) 橋和正・今村文彦：複合型津波発生メカニズムの解明－1998年パプアニューギニア津波を例として－, 土木学会海岸工学論文集, 47, 346-350, 2000.
- 10) 松山昌史・佐竹健治・松本剛：1998年パプア・ニューギニア津波の波源域における反射法探査と数値計算によるパラメータスタディ, 土木学会海岸工学論文集, 48, 366-370, 2001.
- 11) D. R. Tappin, P. Watts, and T. Grilli: Papua New Guinea Tsunami of 17 July 1998: anatomy of a catastrophic event, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, pp. 243-266, 2008.
- 12) Tappin, D., T. Matsumoto, P. Watts, K. Satake, G. M. McMurty, M. Matsuyama, Y. Lafoy, Y. Tsuji, T. Kanamatsu, W. Lus, Y. Iwabuchi, H. Yeh, Y. Matsumoto, M. Nakamura, M. Mahoi, P. Hill, K. Crook, L. Anton, and J. P. Walsh: Offshore surveys identify sediment slump as likely cause of devastating Papua New Guinea Tsunami 1998, EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 329, 334, 340, 1999.
- 13) 佐竹健治・行谷佑一・藤井雄士郎・岡田正実・阿部邦昭・今井健太郎・上野俊洋・山口和典・三和功喜・山本浩之：駿河湾沿岸の検潮井戸応答特性調査と2009年駿河湾地震津波波形の補正, 東京大学地震研究所彙報, 2010 (印刷中).

- 14) 馬場俊孝・柏瀬憲彦・松本浩幸・金田義行：2009年8月11日に駿河湾で発生した地震の震源域における海底地形調査，日本地球惑星科学連合 2010年大会予稿集，MIS003-P01，CDROM，2010.
- 15) Grilli, S. T. and Watts, P.: Modelling of waves generated by a moving submerged body: Applications to underwater landslides, *Engrg. Analysis with Boundary Elements*, 23(8), pp. 645–656, 1999.
- 16) 木井敦夫・間瀬肇・細田尚：浅海域における海底移動に伴う波浪の発生と変形に関する研究，土木学会海岸工学論文集，42，pp.221-225，1995.
- 17) 松本智裕・橋和正・今村文彦・首藤伸夫：土石流による津波発生・伝播モデルの開発，土木学会海岸工学論文集，45，pp.346-350.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

学会等における口頭・ポスター発表

題名	著者	発表先	発表年月日
海底変動に起因した津波の発生時と伝播時における津波高さの関係（口頭）	宍戸直哉・今村文彦	平成 19 年度東北支部技術研究発表会,土木学会,岩手	2008年3月7日
地域共同型による津波ハザードマップづくりの検討と全国展開へ（口頭）	宍戸直哉・今村文彦	日本自然災害学会,第 27 回日本自然災害学会学術講演会,福岡	2008年9月25日

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Characteristics and mitigation measures for tsunamis generated along the Nankai trough	Imamura, F. and K. Imai	Journal of Disaster Research, Vol.4, No.2, pp.127-134	2009年7月	国際
津波リスクマップ作成のための被害評価手法の検討	宍戸直樹・今村文彦	土木学会論文集 B2（海岸工学）,Vol.56, pp.1346-1350	2009年11月	国内
地域ごとのリアルタイム津波予測における初期条件設定の影響	阿部郁男・今村文彦	土木学会論文集 B2（海岸工学）,Vol.56, pp.335-340	2009年11月	国内

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 (記事タイトル)	対応者氏名	報道・掲載機関 (新聞名・TV 名)	発表時期	国際・国内 の別
NHKスペシャル,メガク エイク第4話	今村文彦	NHK	2010年3月	国内

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
津波遡上シミュレーション連成 計算コード	地震発生シナリオに基づいて洋上で発生した津波による、特定地域の陸域への浸水、河川への遡上を高精度に予測する。

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成22年度業務計画案

本サブプロジェクトの「(2)連動型巨大地震による強震動の高精度予測」から得られた地震・津波発生シナリオをもとに、沿岸の津波波高、陸域での浸水や河川への遡上を高精度に予測し、到達時間や浸水範囲に加えて、最大流速、最大流体力、さらに、時系列の海面変化などをアウトプットし、ハザード情報として提供する。1944年東南海地震、1946年南海地震、および2004年紀伊半島南東沖地震の津波遡上シミュレーションを行い、観測データと比較し、その精度を検証する。海底地滑りなどの可能性が高い場所での強震動による海底斜面の崩壊による津波発生モデルの検討を行い、この効果を取り入れる津波予測モデルを提案する。さらに、サブプロジェクト①の「稠密海底地震観測」の構造調査結果をもとに、対象海域での地滑り津波の影響評価を行う。

3.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成21年度業務目的

(2) 平成21年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
 - 1) 背景
 - 2) 擬似経験的グリーン関数法による強震動予測
 - 3) 実被害を予測可能な地震応答解析モデルによる学校建物等の被害予測手法の検討
 - 4) 軟弱地盤に立地する構造物の大規模群杭の影響や基礎の滑りや浮き上がりを考慮可能な高精度地震応答解析法
 - 5) 地域の災害対応力に関する資料収集と予備分析
 - 6) 地域における強震観測の展開と記録の収集・整理
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成22年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻	教授	福和 伸夫
名古屋大学大学院 環境学研究科附属 地震火山・防災研究センター	准教授	飛田 潤
名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻	准教授	護 雅史

(c) 業務の目的

地震発生のシナリオに対応した都市域の高解像度地震動予測と各種構造物の地震応答・被害予測を行う。平野で生成する強震動を地震観測データと地震応答解析から高精度に評価し、学校・集合住宅などの鉄筋コンクリート（RC）系の建物の被害を予測するとともに、超高層ビルなどの長周期構造物や、埋立地の大規模建築物の応答性状を評価する。また、緊急地震速報を活用した構造物の被害軽減・早期機能復旧のための方策、例えば、各種安全装置の自動起動やエレベータの停止等の方策について調査する。さらには、地域社会が有する災害対応力を建築の立場から調査し、復旧・復興に向けた課題を明らかにする。

(d) 5カ年の年次実施計画

1) 平成 20 年度：都市域の高解像度地震動予測のための地盤モデルとして、濃尾平野周辺地域について深部地盤構造モデルを、さらに名古屋市域については表層地盤モデルを構築した。いずれも従来のモデルをベースに、多数の地点での常時微動や強震観測等の結果と三次元差分法等によるシミュレーション結果を比較しつつ、周期特性を高解像度で表現できるように修正したものである。建物の適切な被害予測を行うための実際的なモデル構築に向けて、低層 RC 造建物の強震観測体制を整備した。この際に、多数の建物における観測を効率的に実施するため、旧型の観測機材（K-NET95 強震計）を用いて、維持管理を現地の非専門家の観測協力者に依頼する新たな観測体制を構築した。このような構造物の被害予測から、建物耐震化が減災戦略や復旧・復興に及ぼす影響を検討するため、地域社会の人材・資材・機材およびその運用に関する基礎資料の蓄積を開始するとともに、病院の対応力などに関する予備的な検討を実施した。

2) 平成 21 年度：上記地下構造モデルを用いた強震動予測結果と強震観測記録を利用し

て擬似経験的グリーン関数法により、名古屋市内の代表地点における強震動を高精度に予測する。その際に、擬似経験的グリーン関数法の適用性について吟味する。また、耐震診断結果や過去の地震被害調査結果に基づき、学校建物について、建物の耐震的余力や動的相互作用を考慮した地震応答解析モデルを構築する。さらに、軟弱地盤に立地する大規模群杭支持構造物の解析を高精度に実施するため、根入れ効果を考慮した大規模群杭の応答解析法を構築する。なお、災害発生後の対応力の調査については、前年度に引き続き継続的に実施する。

3) 平成 22 年度：埋立地などの軟弱地盤の地表地震動を、地盤の非線形性や液状化を考慮して予測する。合わせて、地盤の非線形性を考慮できる大規模群杭支持構造物の応答解析法を構築する。また、集合住宅について、建物の耐震的余力や動的相互作用を考慮した地震応答解析モデルを構築する。さらに、高層建物などの長周期構造物の地震観測記録を分析し、実際の建物が保有する減衰性能を把握する。合わせて、首都直下地震防災・減災特別プロジェクトでの高層建物の振動台実験（長江ほか、2009）¹⁾の成果に基づき、高層建物の層の復元力モデルを構築する。なお、災害発生後の対応力の調査については継続的に実施する。

4) 平成 23 年度：前年度までに算定した名古屋市域の強震動予測結果と、建物の実耐力を表現できる建物地震応答解析モデルを用いて、学校・集合住宅などの地震応答解析を実施し、都市域の鉄筋コンクリート系の建物の被害分布性状を明らかにする。その際に、基礎－地盤間の局所的な非線形性（浮上り・剥離・滑動）などの影響についても検討する。合わせて、高層建物を対象として建物周期と地盤周期との関係に着目した地震応答解析、軟弱地盤に立地する群杭支持大規模構造物の地震応答解析を実施する。また、災害発生後の対応力について、これまでの調査データをまとめ、現状の評価を行う。

5) 平成 24 年度：南海トラフでの地震の連動シナリオと被害の発生性状との関係を把握するために、連動シナリオに応じて、学校・集合住宅、高層建物、軟弱地盤の大規模構造物などの地震応答解析を実施し、被害の発生状況を把握する。この結果と、地域社会が有する災害対応力との関係の中で、復旧過程におけるボトルネックについて、主として建築的対応の立場から、問題の所在について検討する。特に、直前・直後対策と長期的な復旧を左右する鍵となる、一つ目の地震が発生した後、二つ目の地震が発生するまでの時間的猶予と災害対応力の関係を分析する。

(e) 平成 21 年度業務目的

新規開発の擬似経験的グリーン関数法に基づいた面的な強震動特性の高精度評価法、及び濃尾平野の地下構造モデルを利用して、南海トラフ地震による名古屋市内の代表地点における強震動を評価し、過去の強震動観測記録との比較等から、新評価法の有用性について検証する。近代建物のうち、主に学校建物を対象として、耐震診断結果や過去の地震被害調査結果に基づいて耐震余裕度を評価するとともに、地震応答解析による地盤との動的相互作用の影響を考慮し、被害を推定する。また、軟弱地盤に立地する大規

模構造物を対象として、根入れ効果を含めた大規模群杭の影響を考慮可能な高精度地震応答解析法を開発する。災害発生時の地域社会対応力の評価のための、基礎情報の収集と評価システムの開発を継続する。また、これら検討に利活用するために、当該地域の建物において、地震観測およびデータ収集・整理を継続する。

(2) 平成 22 年度の成果

(a) 業務の要約

深部・浅部地盤の詳細な情報に基づいて小地震の観測記録を補間し、これを用いて任意地点の経験的グリーン関数法による強震動予測を行う手法（擬似経験的グリーン関数法）を開発し、名古屋市域の代表地点における東南海地震の強震動予測を行い、過去の東南海地震における推定震度分布との比較等により有効性を検証した。学校などの鉄筋コンクリート造建物群について、耐震診断や地震被害調査に基づき、基礎浮き上がりや雑壁の影響も考慮したモデル化により実被害を説明できる耐震性能評価法を構築するとともに、対象建物群の耐震余裕度を評価した。軟弱地盤上の建物について、大規模群杭をグループ化して集約する手法を検討し、根入を含む動的相互作用効果を考慮した応答解析法を構築した。災害発生時の地域社会対応力の評価に向けて、基礎的な情報の蓄積と WebGIS や Google Map による効果的な表示法の検討を行った。また以上の検討の基礎資料として地域の建物・地盤における強震観測と記録の整理を継続し、平成 21 年 8 月 11 日駿河湾地震などの記録を収集した。

(b) 業務の成果

1) 背景

東海・東南海・南海地震による広域大災害に対して減災戦略を策定するために、地震動などのハザード、構造物被害などのリスク、そして社会が有する災害対応力を的確に把握することが必須である。そのための基礎技術として、長周期地震動の予測精度の向上、表層地盤の応答解析や液状化の影響予測手法の高度化、建物の地震被害や耐震余裕度を適切に評価できる建物応答解析手法の開発などが必要となる。さらに基礎データとして深部・浅部地盤構造の調査結果や強震観測記録、建物の耐震性や実際の地震被害に関する資料の収集・蓄積が欠かせない。一方、このような被害に対して社会がどの程度対応する能力があるかを評価することは、広域大災害による社会の破綻を避けるシナリオ構築にきわめて重要である。

以上の背景に基づき、平成 21 年度は、被害予測に向けた地盤や建物のモデル化や解析手法の高度化が中心となる。すなわち、都市域の高精度・高解像度強震動予測のための新たな手法である擬似経験的グリーン関数法の検討、一般的な RC 建物や軟弱地盤上の大規模群杭建物の応答解析モデルの構築と応答解析法の検討を行う。またこれらの基礎となる地震観測データの収集・整理を行う。社会の対応能力評価については、基礎的検討とツール整備として、主に人口に関するデータの収集・整理、ウェブ GIS や Google Map で表示するインターフェイスの開発などを行う。

2) 擬似経験的グリーン関数法による強震動予測

a) 擬似経験的グリーン関数法による強震動予測手法の概要

近年整備されてきた高密度強震観測網の観測記録と、昨年度の報告書でも述べた深部・浅部の詳細な地盤データを最大限に活用して、地震観測記録のない地点での地震動推定を行う“擬似経験的グリーン関数法”を提案した。図1に提案する手法の流れを示す。まず地震動評価をしたい地点（A点）と地震観測記録の存在する地点（B点）の伝達関数（A/B）を理論的に求め、B点での中小地震の観測波形と合わせてA点の中小地震波形を推定し、得られた波形を要素地震として経験的グリーン関数法により強震動予測を行うものである。理論伝達関数の評価には、長周期域は三次元有限差分法、短周期域は統計的シミュレーションを用いて、震源メカニズム・伝播経路・地下構造の影響を解析的に考慮している。理論伝達関数の評価には、長周期域は三次元有限差分法、短周期域は統計的シミュレーションを用いて、震源メカニズム・伝播経路・地下構造の影響を解析的に考慮し、最後にそれぞれの手法が表現可能な周波数帯域を考慮して合成している。

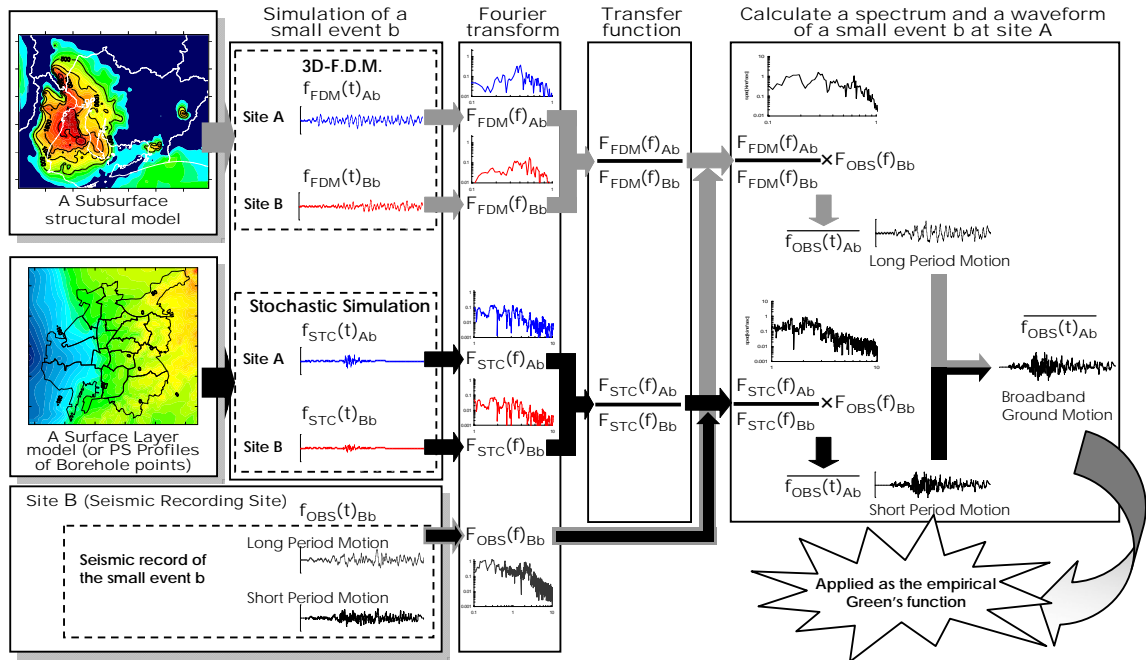


図1 提案手法の流れ（A点における中小地震bの地震波形を推定する場合）。

b) 手法の定式化と検証の手順

ふたつの地震観測地点A、Bで、地震aによる地震動記録が存在するとする。このとき2地点の観測波形のスペクトルはそれぞれ下記のように表記される。

$$O_{Aa}(\omega) = S_a(\omega) \cdot PG_{Aa}(\omega) \quad (1)$$

$$O_{Ba}(\omega) = S_a(\omega) \cdot PG_{Ba}(\omega) \quad (2)$$

ここに、 $S_a(\omega)$ は震源の影響、 $PG_{Aa}(\omega)$ 及び $PG_{Ba}(\omega)$ は震源から地点A、Bまでの伝播経路特性とサイト増幅特性の影響を示す。地震観測波形は平野内を伝播する表面波を含むため、ここでは、伝播経路特性とサイト増幅特性を分離しない表記とした。地点A、B間の伝達関数 $R_{ABa}(\omega)$ は次のように表現できる。

$$R_{ABa}(\omega) = PG_{Aa}(\omega) / PG_{Ba}(\omega) = O_{Aa}(\omega) / O_{Ba}(\omega) \quad (3)$$

地震 b が地震 a の震源に近い位置で発生したとすると、地震 b での地点 A、B 間の伝達関数 $R_{ABb}(\omega)$ は $R_{ABa}(\omega)$ により近似でき、地震 b による地点 A の地震動のスペクトルは次のように表現できる。

$$O_{Ab}(\omega) = S_b(\omega) \cdot PG_{Ab}(\omega) = S_b(\omega) \cdot R_{ABb}(\omega) \cdot PG_{Bb}(\omega) \\ \cong R_{ABa}(\omega) \cdot O_{Bb}(\omega) = O_{Bb}(\omega) \cdot O_{Aa}(\omega) / O_{Ba}(\omega) \quad (4)$$

実際に起こった地震 b について、地点 B でのみ観測波形が得られており、地点 A の波形を推定したいとする。ここで、地震 a の点 A、B における波形を、長周期域では深部地盤構造モデルを用いた三次元有限差分法、短周期域は表層地盤構造を考慮した統計的シミュレーションにより推定する。長周期域と短周期域の推定波形の合成においては、三次元有限差分法が有効となる周期（本研究のモデルでは 2 秒以上）を考慮して、接続周期 $T=2$ 秒とし、1.43 秒 ($T/1.4$) ~ 3.33 秒 ($T/0.6$) の区間のコサインフィルタをかけて合成している。この推定波形は任意の地点で得られるので、地点 A、B 間の伝達関数 $R_{ABa}(\omega)$ に相当する $O_{Aa}(\omega)/O_{Ba}(\omega)$ が推定波形と観測波形との間で同等と判断できれば、式(3)、(4)より地震 b による任意の地点 A の波形が得られることを確認できる。以下では長周期域と短周期域でそれぞれの手法の有効性を検証する。

c) 長周期地震波形の推定手法の検証

提案した手法の精度は、伝達関数を推定するための地震動シミュレーションの震源、伝播経路、サイト近辺の地下構造モデルの精度に依存する。そのため、深部・浅部地盤モデルを地震観測記録や常時微動観測により補正した詳細モデルを昨年度に構築した。提案手法の検証として、図 2 および表 1 に示す Evt.1~6 の地震について、濃尾平野・伊勢平野で観測された記録を用いて、震源位置や規模、震源距離、伝達関数を求める 2 地点の距離などの影響を調べた。震源位置は到来方向による地震波の 3 次元的な伝播の影響、伝達関数を求める 2 地点間の距離は地盤モデルの精度の影響、震源距離は震源メカニズムや震源深さの影響があると推察される。なお観測記録は、大都市圏強震観測ネットワークシステム（飛田ほか、2001）²⁾のデータを用いた。

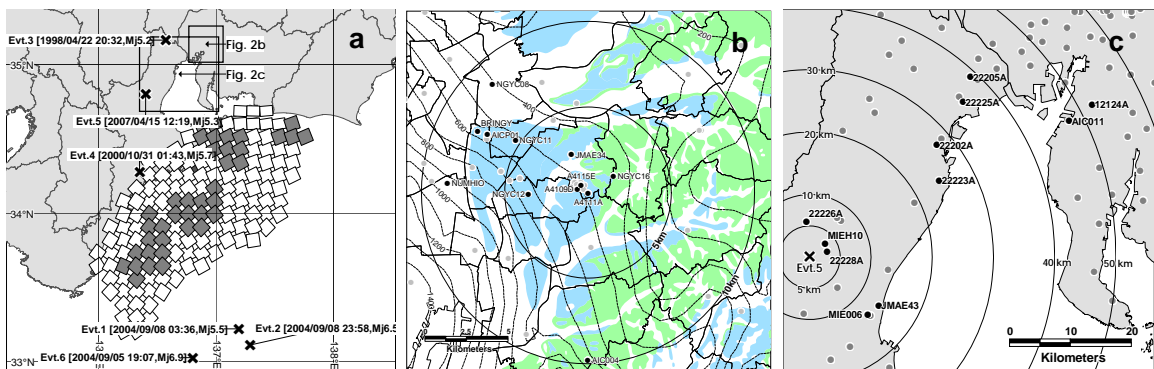


図 2 小地震の震央分布と想定東南海地震の震源モデル (a) と本検討に用いた地震観測地点の分布 (b と c)。

表 1 三次元有限差分法に用いた震源モデルのパラメーター一覧。

	緯度 (°)	経度 (°)	深さ (km)	マグニチ ュード Mj	走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり 角 (°)	地震モーメン ト Mo (Nm)	立ち上がり 時間(秒)
Evt.1	33.2	137.2	40	5.4	254	34	75	2.06×10^{17}	1.0
Evt.2	33.1	137.3	36	6.2	—	—	—	—	—
Evt.3	35.2	136.6	10	5.2	163	29	53	6.74×10^{16}	0.6
Evt.4	34.2	136.4	38	5.7	302	72	130	1.70×10^{17}	0.8
Evt.5	34.8	136.4	10	5.3	148	45	77	3.94×10^{16}	0.6
Evt.6	33.0	136.8	40	6.9	—	—	—	—	—

比較検討の詳細は省くが、結果として、次の3つの条件が満足されればシミュレーション波形による伝達関数が良好な特性を示すことが確認された。

- ・ シミュレートした地震の震源位置が、実際に観測された地震の震源に近いこと。したがって観測されている小地震の震源モデルが明確にできることが必要である。
- ・ 伝達関数を求める2地点間の距離が短いこと。すなわち、推定対象地点になるべく近い観測点があること。
- ・ 予測対象とする地点から震源までの距離が長いこと。すなわち、遠方の海洋性地震による地震動推定に適している。

Evt.1によるA4111A地点(名古屋市千種区)での地震波形を、周辺の各地点の観測波形と伝達関数を用いて推定して、観測記録と比較検討した結果を図3に示す。なお長周期域の特性の検証のため、0.333Hzのハイカットフィルタを適用して比較している。

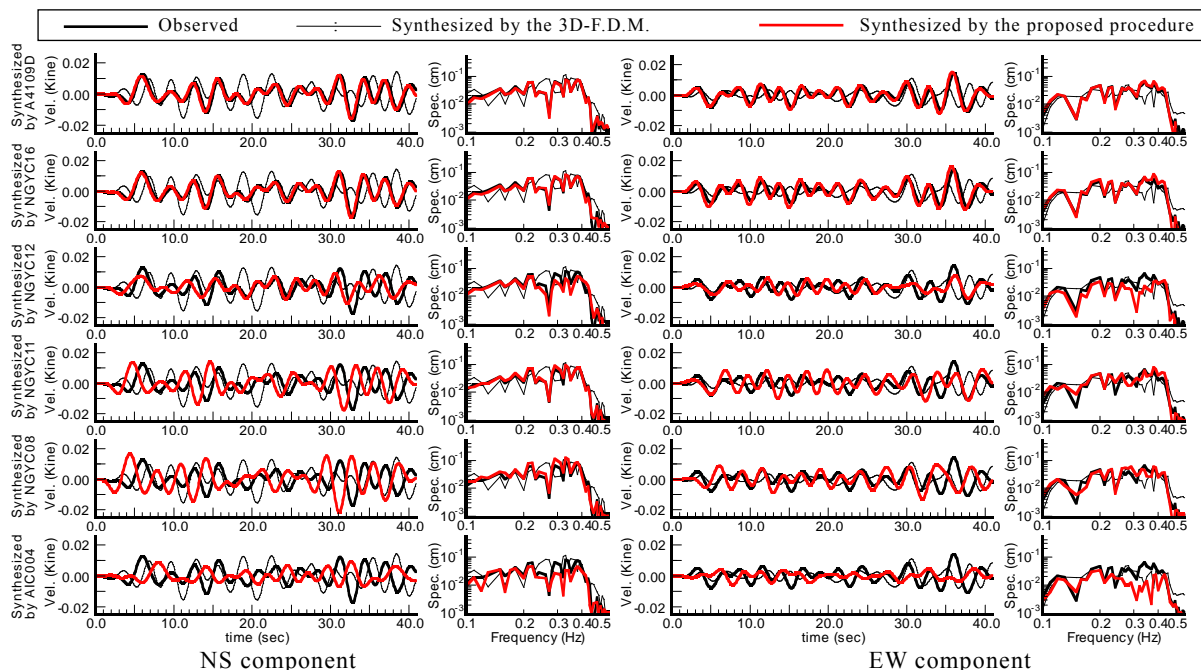


図 3 A4111Aにおける観測速度波形及びフーリエスペクトルと三次元有限差分法及び提案手法により計算された速度波形及びフーリエスペクトルとの比較。上下に並んだ各段は、異なる地点に基づいて提案手法により計算した結果を示す。

上図より、観測波形は周期3秒程度の波が卓越しており、推定波形、シミュレーシ

オン波形、いずれも同様の傾向を示しているが、シミュレーション波形と比べて推定波形の方が観測波形との対応がよい。特に A4111A 地点から近い地点ほど、推定波形は観測波形との対応が良く、NGYC11 地点（地点間距離：5303m）より距離が近いと、振幅・包絡形状ともに推定波形と観測波形との対応が良い。これにより、近傍地点の観測記録を活用する本手法の有効性は明らかである。

d) 短周期地震波形の推定手法の検証

提案手法を用いて、短周期の地震波形の推定を試みる。短周期域の特性は浅部地盤構造の影響が大きいため、統計的シミュレーション (Boore, 1983)³⁾による波形に基づく伝達関数を用いる。観測波形の補正により他地点の地震動を推定した例として Somerville (1993)⁴⁾がある。本検討ではこれらに倣い、ある地点の観測記録から他地点の地震波形の推定を試みた。

統計的シミュレーションの適用にあたって、震源特性は表 1 に示すパラメータを用いた。応力降下量は Suzuki et. al. (2005)⁵⁾による値を用いた。震源の放射特性は 0.5Hz 未満を理論放射特性、2Hz 以上を等方的な特性とし、その間を線形的に変化する周波数依存型の放射特性とした。震源からサイト近傍までの伝播経路の Q 値及び経時特性は、佐藤 (2006)⁶⁾による推定結果 ($Q = 392 f^{0.37}$) を用いた。深部地盤構造は愛知県のモデル (愛知県, 2005)⁷⁾を、表層地盤は筆者らによる名古屋市域の表層地盤モデル (高橋・福和, 2006)⁸⁾を用いた。なお、表層地盤の減衰は福島・翠川 (1994)⁹⁾による土質別の周波数依存型の Q 値を設定した。また、サイトの増幅特性は、レイトレーシングに基づく地震基盤への入射角を考慮し、P 波・SV 波・SH 波の増幅特性を考慮する方法 (大西・堀家, 2000)¹⁰⁾を用いた。

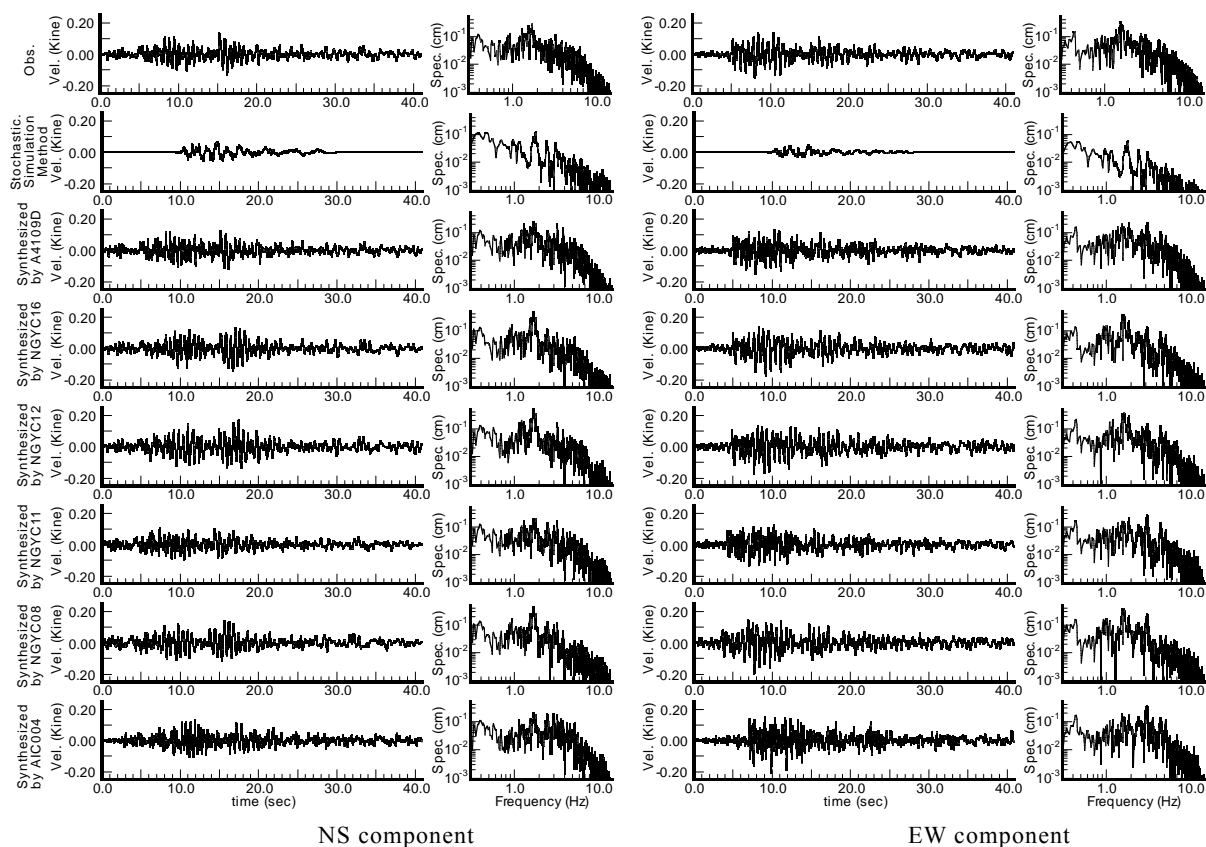


図4 A4111Aにおける観測速度波形及びフーリエスペクトルと統計的シミュレーション及び提案手法により計算された速度波形及びフーリエスペクトルとの比較。上から3段目以下は異なる地点に基づいて提案手法により計算した結果を示す。

図4に式(4)に従って推定したA4111A地点の地震波形とフーリエスペクトルを観測波形及びシミュレーション波形と比較して示す。短周期域の比較のため、0.333Hzのローカットフィルタをかけて表示している。図より、提案手法による推定波形は、振幅や継続時間ともに短周期の観測波形とよく対応していることが確認できる。

e) 継続時間の長い長周期地震波形の合成

長周期構造物の応答を検討する場合は、継続時間の長い強震動が必要であり、そのため要素地震に長い継続時間の波形が求められる。一方、地震観測記録は、地震計の目的やトリガー設定により記録時間は異なり、一般に中小地震の記録は長くない。そこで、タイムウィンドウによる2地点間の伝達関数の変化を検討した上で、継続時間の長い地震波形を合成する。

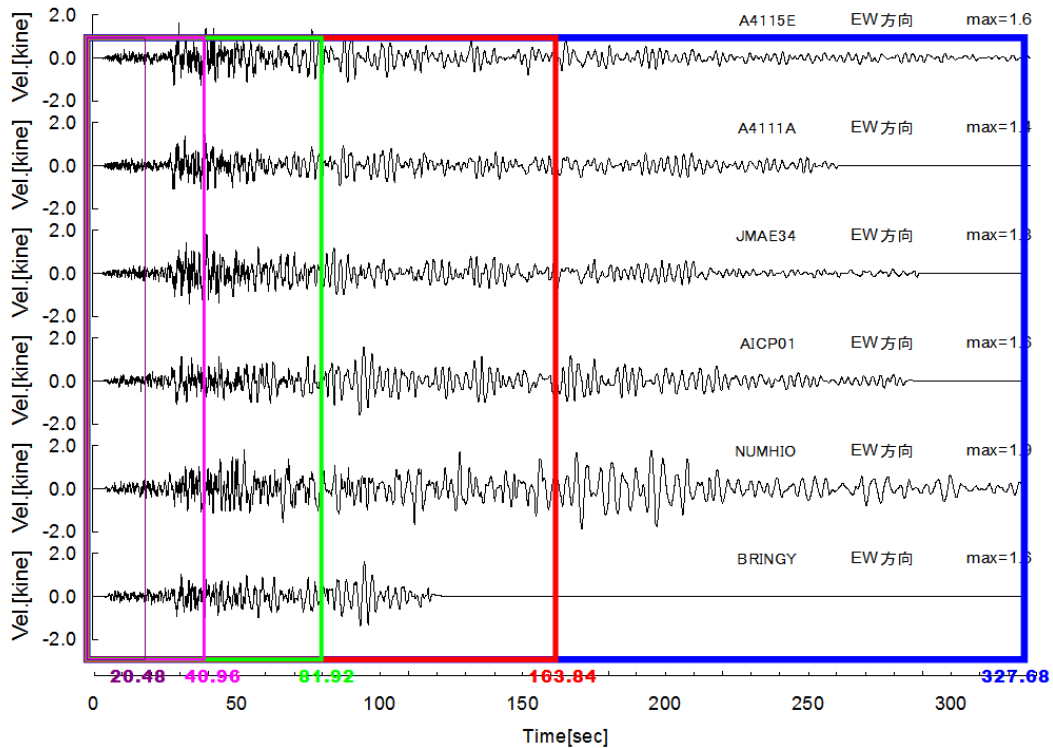


図5 伝達関数の作成に用いたタイムウィンドウ（波形はEW方向）。

検討は、図 2a および表 1 に示す Evt.6 とし、図 2b に示す観測地点のうち A4111A、A4115E、JMAE34、AICP01、NUMHIO、BRINGY の記録を用いた。図 5 に EW 方向の速度波形を示す。地震発生 33 秒後を 0 として時刻をそろえ、①20.48 秒 (P 波)、②40.96 秒 (P 波+S 波)、③81.92 秒 (P 波+S 波+表面波[各々の長さがほぼ同じ])、④163.84 秒 (P 波+S 波+表面波[表面波部分が他の約 3 倍の長さ])、⑤327.68 秒 (P 波+S 波+表面波[表面波部分が他の約 7 倍の長さ]) の 5 種類のタイムウィンドウにより波形を切り出し、A4115E 地点が分子となるように伝達関数を算出した。伝達関数は、ノイズが入出力共に存在すると仮定した伝達関数推定法である Hv 推定法を用いた。また、伝達関数の算出過程で計算するクロススペクトル、エネルギースペクトルに対して、0.01Hz の Parzen Window による平滑化により平均的特性を求めた。

図 6 にタイムウィンドウ別の 2 地点間の伝達関数を比較して示す。なお、タイムウィンドウが短い場合の伝達関数は離散点数が 32768 個になるように後続に 0 を加えた波形より求めている。図より、A4115E 地点に近い A4111A 地点との伝達関数は、0.6Hz まではタイムウィンドウによる伝達関数の差異は小さいが、A4115E 地点から遠い地点との伝達関数は、タイムウィンドウによる伝達関数の変化が顕著である。

一方で 327.68 秒のタイムウィンドウによる伝達関数を基準にしてみると、長いタイムウィンドウによる伝達関数ほど 327.68 秒の伝達関数に近いことが確認できる。これはタイムウィンドウが長くなるほど表面波部分を多く含む伝達関数となるためである。

以上より、相対的に記録時間の短い波形でも、表面波成分を多く含む限り、記録長さを最大限用いた伝達関数は継続時間の長い場合の伝達関数に概ね近似できると考えられる。そこで 163.84 秒のタイムウィンドウによる伝達関数に、図 6 の分母にあたる

地点の複素フーリエスペクトルを乗じ、フーリエ逆変換することにより、A4115E 地点における 327.68 秒間の波形を推定した。図 7 に各々の伝達関数より推定した波形を観測波形と重ねて示す。なお、推定した 4 つの波形を周波数別にコヒーレンスによる重み付け平均した波形を **Average** として観測波形と重ねて示した。

図 7 より、推定波形は観測波形をよく再現している。特に平均した波形は観測波形との対応がよく、本手法の妥当性を確認した。手法の適用例として、三の丸地点 (BRINGY) について、継続時間の長い BRINGY 地点の波形を推定し、コヒーレンスによる重み付け平均を行った波形を図 8 に示す。図より、合成波形 (黒線) は、観測記録 (赤線) の 0~120 秒の間をよく再現し、さらに観測されていない後半部についても推定結果が得られた。

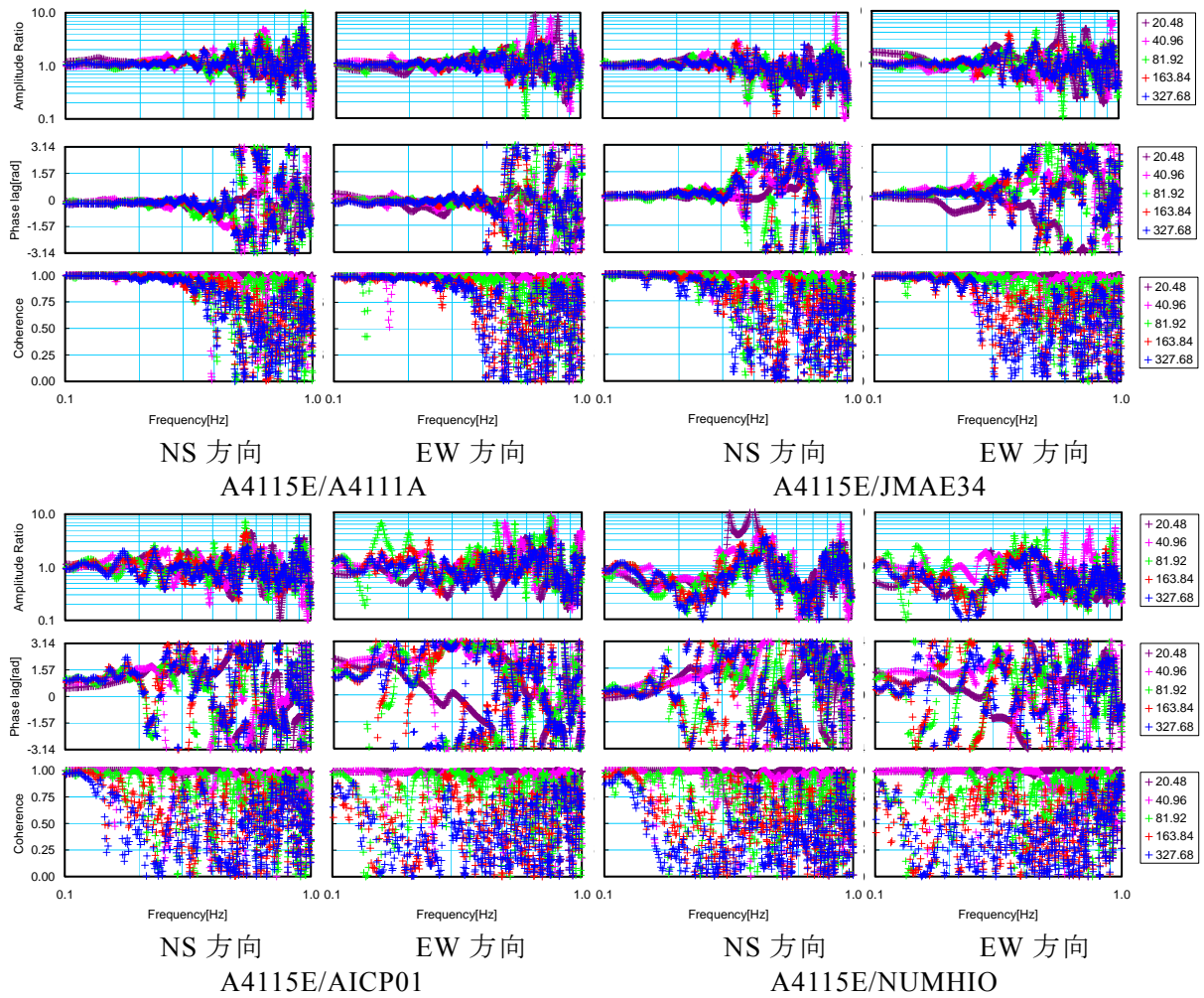


図 6 タイムウィンドウ別の 2 地点間の伝達関数の比較 (上から振幅比、位相差、コヒーレンス)

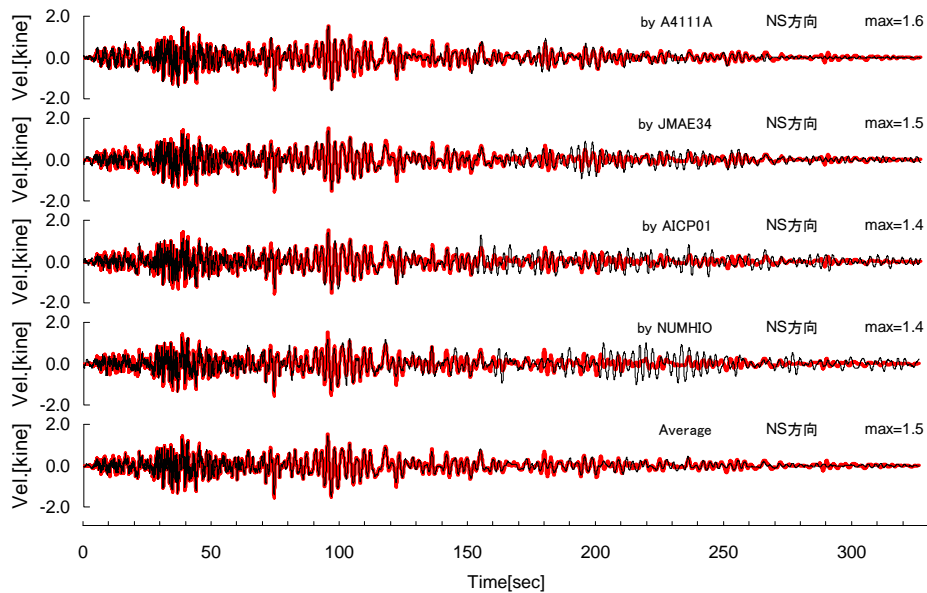


図 7(a) A4115E 地点における長周期地震動の合成例 (NS 方向、赤：観測波形、黒：合成波形)。

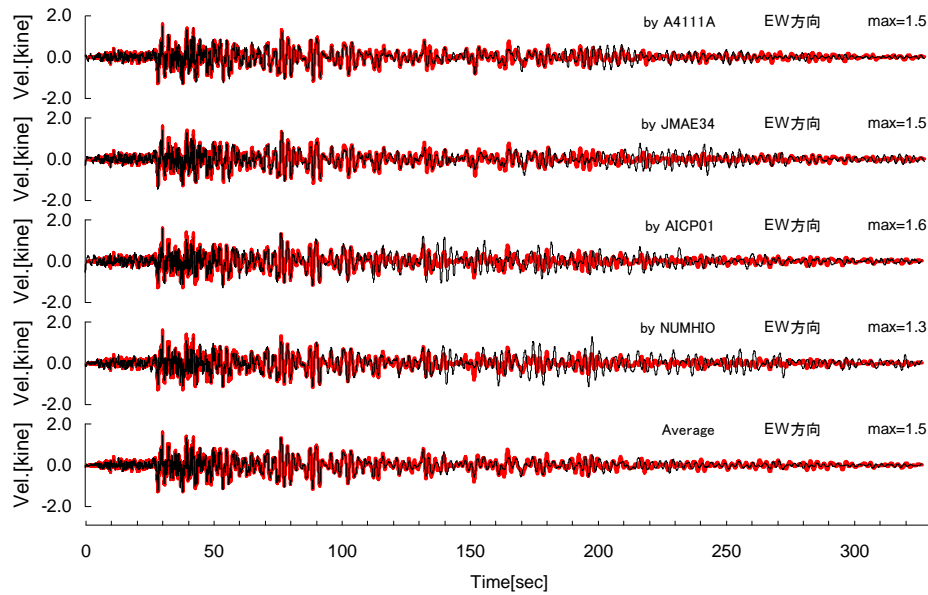


図 7(b) A4115E 地点における長周期地震動の合成例 (EW 方向、赤：観測波形、黒：合成波形)。

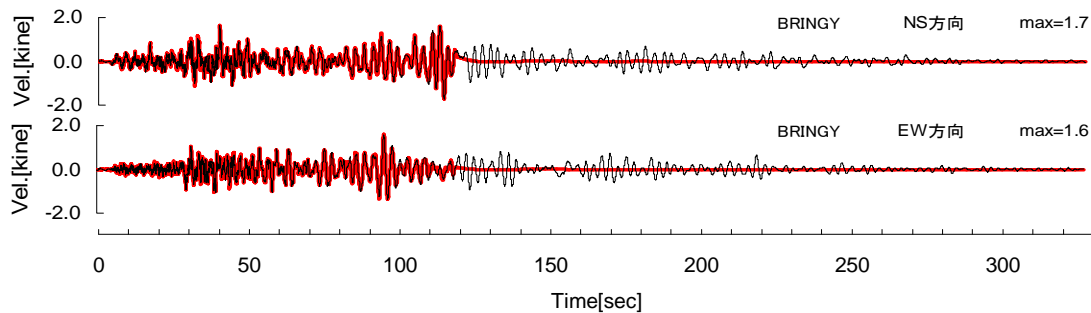


図 8 三の丸地点 (BRINGY) における長周期地震動の合成例 (赤：観測波形、黒：合成波形)。

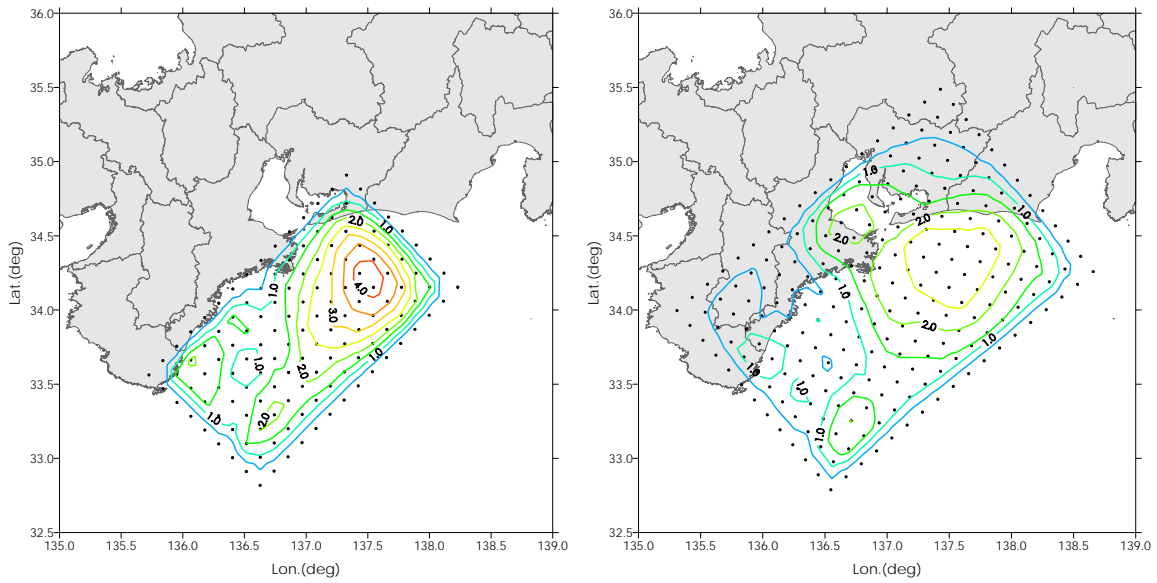
f) 想定東南海地震の強震動予測

提案手法を用いて広域の高解像度地震動予測を行う。昭和東南海地震を想定し、推定された地震動の分布を考察するとともに、実際の被害資料と比較して妥当性を検討した。

擬似経験的グリーン関数法の作成に用いた地震観測地点は、大都市圏強震動総合観測ネットワークの強震観測地点のうち、名古屋市域において Evt.1 の観測記録がある 48 地点とした。また擬似経験的グリーン関数を作成する計算地点は、名古屋市域に 400m グリッドで配置した 4290 地点である。深部地盤構造は愛知県 (2005)⁷⁾ のモデルを、表層地盤は筆者らによる名古屋市域の表層地盤モデル (2006)⁸⁾ を用いた。

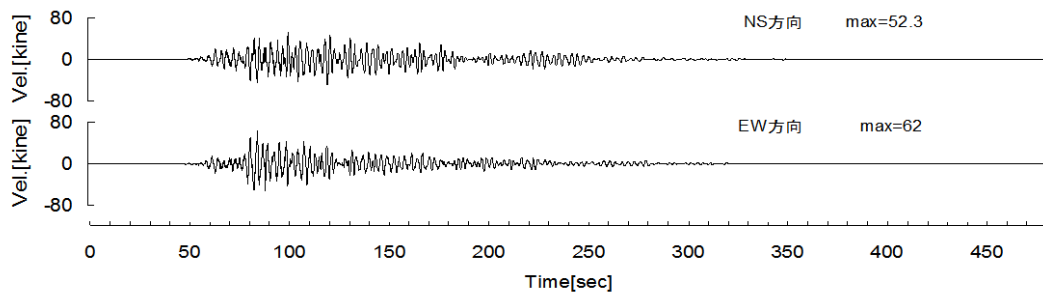
震源モデルは図 2a に示す中央防災会議によるモデルの他、山中によるインバージョン結果 (山中 A モデル (山中、2005)¹¹⁾、さらには、山中 (山中私信、2009 年 12 月 14 日) による、より広域の震源域を仮定するモデル (山中 B モデル) を用いた。図 9 に山中 A モデルおよび山中 B モデルの震源域を示す。各計算地点において、周期 2 秒を境として短周期は Evt.1、長周期は Evt.6 の地震波形を推定した。なお、波形の推定には到来方向が同じであることから Evt.1 の三次元有限差分法によるシミュレーション波形を用いた。これらの波形を要素地震として用いて短周期、長周期それぞれにお

いて波形合成を行い、ハイブリッド合成して想定東南海地震の波形シミュレーションを行った。波形合成に際しては、壇・佐藤（1998）¹²⁾の方法を用いた。要素地震の応力降下量は Suzuki et. al. (2005)⁵⁾により推定された値を、また地震波形の距離補正については佐藤（2006）⁶⁾による推定結果を用いた。

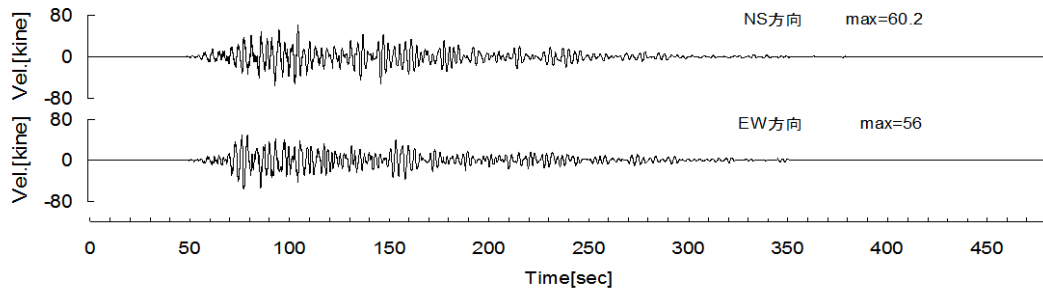


(a) 山中 A モデル (山中 (2005)) (b) 山中 B モデル (山中私信 (2009.12.14))

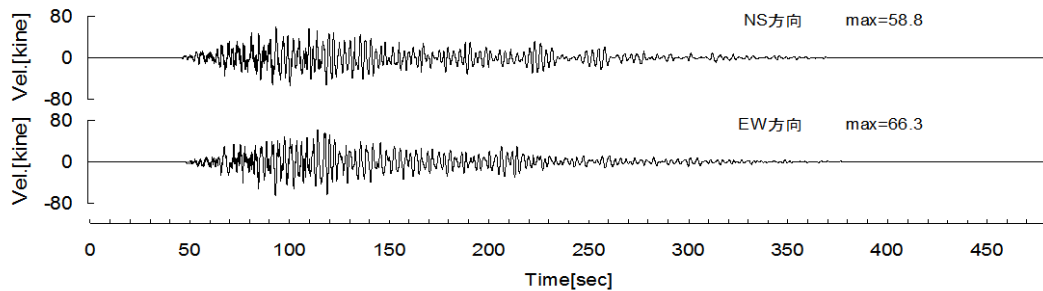
図 9 波形インバージョンによる昭和東南海地震の震源域 (コンターラインはすべり量[m])。



(1) 中央防災会議モデル。



(2) 山中 A モデル。



(3) 山中 B モデル。

図

10 三の丸地点（BRINGY）における東南海地震の合成例。

図 10 に三の丸地点における合成波形の一例を示す。図より、速度振幅に震源モデルによる差異は見られず、約 300 秒間継続する地震動を合成することができた。図 11 に、擬似経験的グリーン関数法による想定東南海地震の計測震度と最大速度分布を示す。山中 B モデルは震源域が大きく、名古屋市内在震源域の直上にあるため、他の 2 モデルに比べて大きな地震動となっている。また、いずれの場合も名古屋市中心部のやや南で揺れが大きくなっている。

図 12 に飯田 (1977)¹³⁾による昭和東南海地震における連区及び町別住家被害率分布を示す。図 11 においてゆれの大きい地域は住家被害率も高く、両者がよく対応している。今後、表層地盤の非線形性や、昭和東南海地震発生時における住家分布などを考慮し、本結果の吟味を進めていく予定である。

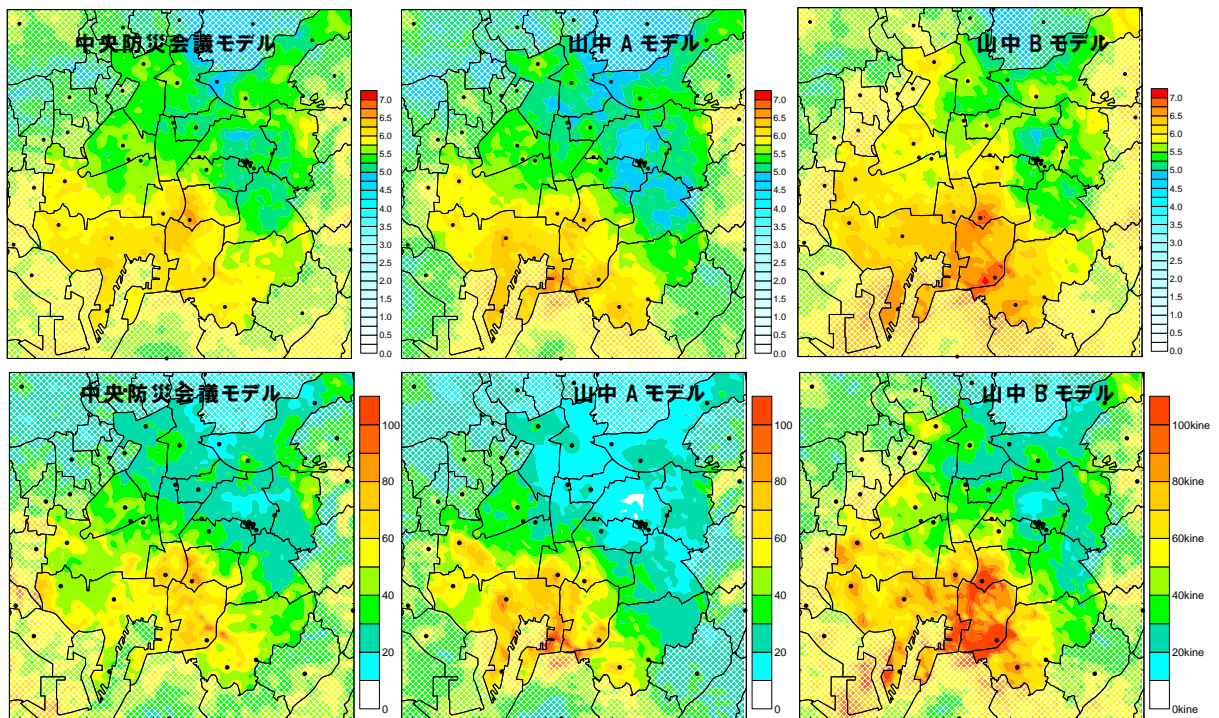


図 11 擬似経験的グリーン関数法による地震動分布（上：計測震度，下：最大速度）。

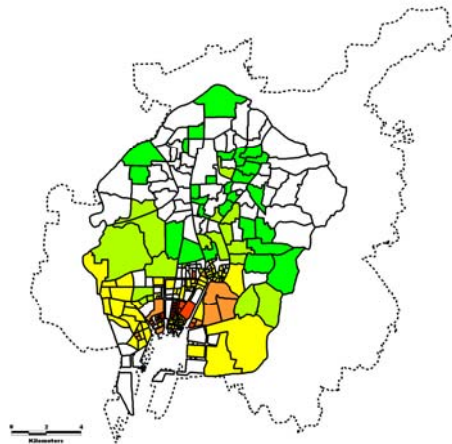


図 12 昭和東南海地震の住家被害率分布。

3) 実被害を予測可能な地震応答解析モデルによる学校建物等の被害予測手法の検討

1995年兵庫県南部地震では、設計時の想定を上回るレベルの地震動が地表面で観測されたが（宮腰ほか、1997）¹⁴⁾、低層鉄筋コンクリート造建物の被害は少なかった（日本建築学会、1996）¹⁵⁾。この理由の一つとして、設計では建物の耐震性能を評価した上で、予め想定した地震荷重に対して建物の安全性を検証しているため、設計で評価している建物の耐震性能と実建物の耐震性能が、十分整合していないことが考えられる。今後起こりうる地震に対する被害予測を正確に行なうためには、実建物の耐震性能を把握することが必要であり、そのためにも、兵庫県南部地震での被害を説明できる鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価法を構築することは重要である。

一方、兵庫県南部地震を契機に、公共性の高い建物を中心に全国各地で耐震診断が精力的に行われている。耐震診断は、実建物の耐震性能を評価する一つの有効な手法である。従来から耐震診断結果を利用した建物の被害予測（中埜ほか、1989）¹⁶⁾や、耐震診断結果と建物被害の関係に着目した研究（芳村ほか、2004）¹⁷⁾が行われている。そこで、耐震診断結果のデータが多く災害時には避難所になるなど防災上重要な役割を果たす学校建物、さらには集合住宅を対象として、実被害を説明できる耐震性能評価法を耐震診断結果や過去の地震被害調査結果に基づいて構築するとともに、対象建物群の耐震余裕度を被害率曲線の比較により評価する。

a) 被害予測手法の流れ

被害予測の流れを図 13 に示す。まず、耐震診断結果がデータベース化されている愛知県内の耐震診断結果に基づき、典型的な低層鉄筋コンクリート造学校建物、集合住宅の抽出を行う。次に、弾塑性特性を考慮した静的増分解析（静的弾塑性解析）を行い、復元力特性を設定し、構造耐震指標 I_s 値を用いて建物の終局耐力を推定する。さらに、学校建物については、建物張間方向の壁架構の全体架構に対する剛性・耐力分担率と I_s 値との関係を、静的弾塑性解析結果と耐震診断結果から関連付ける。また、集合住宅については、方立て壁部分を個別に評価する。最後に、対象建物の剛性（1次固有周期）と I_s 値の関係を、常時微動計測結果、静的弾塑性解析結果、耐震診断結果を用いて関連付け、建物の初期剛性を推定する。さらに、基礎には水平、回転方向の地盤ばねを設置することにより、地盤と建物の動的相互作用効果を考慮した。これにより、図 14 に示すような多質点系等価せん断型の Sway-Rocking モデルを構築する。

次に、地震応答解析モデルの妥当性を、兵庫県南部地震における実被害と比較することにより検証する。具体的には、耐震診断結果に基づいて構築した地震応答解析モデルを用いて、愛知県下で耐震診断を実施した新耐震設計以前の学校建物・集合住宅に対して、兵庫県南部地震での観測地震波に対する地震応答解析を行い、被害率曲線を解析的に求める。地震応答解析結果から被害率を算定する際には、下式を用いる。

$$\text{被害率} = \frac{\text{最大層間変形角が被害クライテリアを超えた建物の棟数}}{\text{全建物棟数}} \times 100 \quad (\%)$$

上式を用いる際には、中破、大破といった被害程度毎に最大層間変形角 θ のクライテリアを設定する必要がある。本研究では、既往の研究（楊ほか、2005）¹⁸⁾を参考に、このクライテリアを以下のように設定する。

中破以上： $1/150 < \theta$ 、大破： $1/75 < \theta$

そして、得られた被害率曲線と、兵庫県南部地震の被害から求めた被害率曲線を比較した。最後に、設計上安全側の評価として通常設計では考慮していない要因が被害率に与える影響を分析することで、設計上想定している建物耐力と実際の建物耐力の違いを検討し、耐力の余力について考察する。

b) 解析モデルの作成

典型的な鉄筋コンクリート造建物の復元力モデルを設定するために、部材ごとの弾塑性特性を考慮したモデルについて静的増分解析を行った。解析に用いた建物は前節

の図面調査に基づいて抽出した典型的建物とした。学校建物、及び集合住宅の平面図等を図 15、図 16 に示す。静的増分解析を行うモデルには、建物の耐震的余力を考慮した、柱、梁、耐震壁に加え、腰壁・垂壁・方たて壁・スラブの弾塑性特性も評価した。さらに、建物の実情を反映するために、①設計に用いるコンクリート強度と建設された建物のコンクリート強度との違い、②設計に用いる鉄筋コンクリート部材のせん断耐力とその平均的なせん断耐力との違い、③設計に用いる積載荷重と現実の積載荷重との違いといった、設計上安全側の評価として通常考慮していない事項をモデルに考慮した。

静的弾塑性解析結果に基づいて復元力特性を評価する際には、各層のいずれかの部材でクラックが発生する点を第 1 折点、各層のいずれかの部材が降伏した層間変形で、静的弾塑性解析結果と Tri-Linear 型モデルの面積が等しくなる層せん断力となる点を第 2 折点、建物の被害（大破）のクライテリア（楊ほか、2005）¹⁸⁾を参考に層間変形角が 1/75 となる点を第 3 折点とした。

さらに、実際の現象では大変形領域では耐力低下が起こるため、最大耐力（終局耐力）後の挙動について、既往の実験結果（芳村ほか、2005）¹⁹⁾、（山田編、1976）²⁰⁾を参考に、図 14 に示すように、剛性低下を考慮した復元力特性とした。具体的には、せん断柱に対しては崩壊点（終点）を層間変形角 1/29、層せん断力 0 の点とし、第 2 折点（終局耐力時）と崩壊点を結ぶように第 3 勾配 (K_3) を決定し、壁架構については、崩壊点（終点）を層間変形角 1/60、層せん断力 $0.3Qu$ とし、第 2 折点と崩壊点を結んで第 3 勾配 (K_3) を決定した。

c) 兵庫県南部地震の被害から求めた被害率曲線との比較

地震応答解析結果に基づいて計算した被害率（計算被害率とよぶ）と、兵庫県南部地震での被害率曲線（実被害率とよぶ）を比較して図 17 に示す。入力地震動は、葺合での観測記録を用いた。応答解析時には既往の研究（安井ほか、1998）²¹⁾に基づき、入力損失効果を考慮して地表面の最大速度を 0.9 倍して建物への入力地震動とした。

学校建物については、計算被害率と実被害率は概ね対応した。集合住宅については、特に大破の被害率について、計算被害率と実被害率は概ね対応した。しかし、大破の計算被害率に比べると、中破以上の計算被害率が実被害との対応は良くなかった。方立て壁部分の耐力低下範囲での負勾配を大きく取ったために、最大層間変形角が中破以上の範囲にとどまらなくなっていることが、その理由と考えられる。また、同様の理由により、大破の被害率と中破以上の被害率の差がほとんどないケースが多い。モデル化手法についての、こうした点は、今後改善する必要がある。

以上の考察の結果、兵庫県南部地震における計算被害率と実被害率は概ね対応しており、本研究で作成した地震応答解析モデルは概ね妥当であると考えられる。

d) 学校建物の耐震的余力の評価についての検討結果

学校建物を対象として、建物の耐震的余力を評価するか否かによって、被害率がどの程度影響するかについて検討した。図 18 に、葺合での観測記録を用いた場合の計算被害率を、耐震的余力の評価する場合としない場合を比較して示す。図より、入力地

震動の最大速度が 120cm/s の際には、耐震的余力を評価した場合の計算被害率は、評価しない場合の 1/14 程度となっている。このことは、兵庫県南部地震において、設計上は大きな損傷を生じるはずの低層鉄筋コンクリート造建物でも、被害は小さかった場合が多かったことを裏付ける一つと考える。

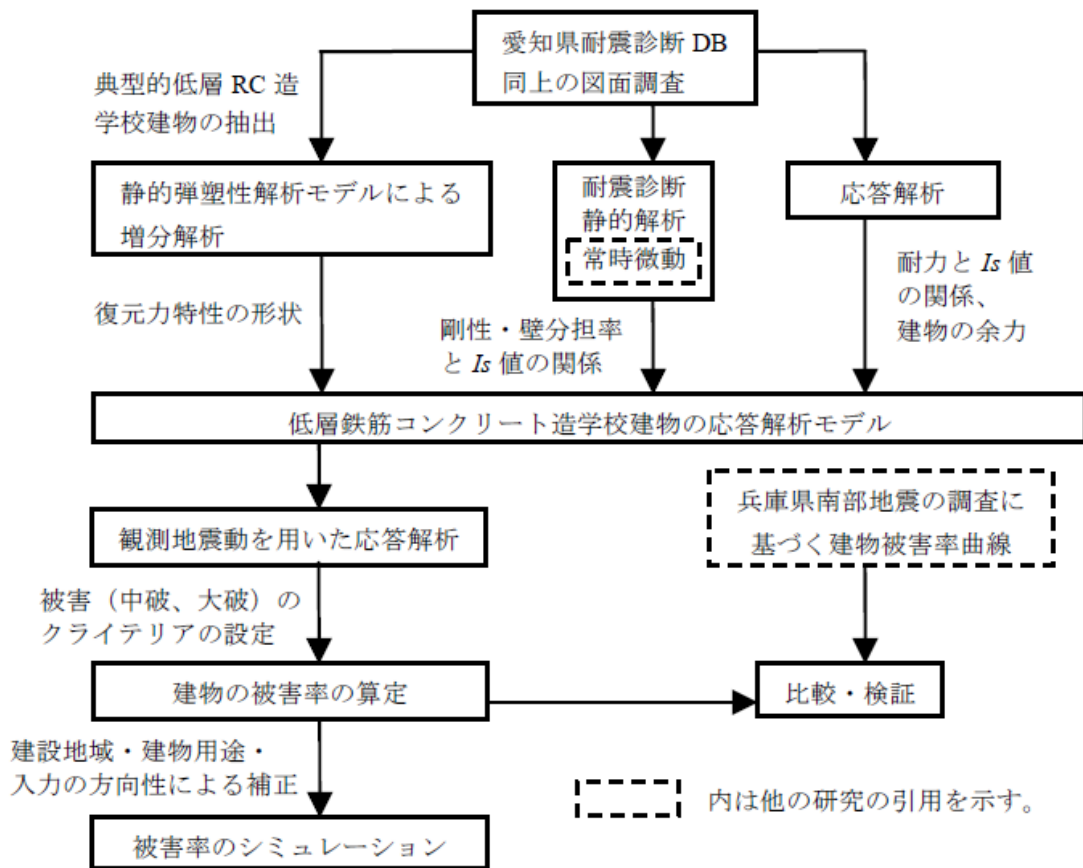


図 13 被害予測手法の流れ。

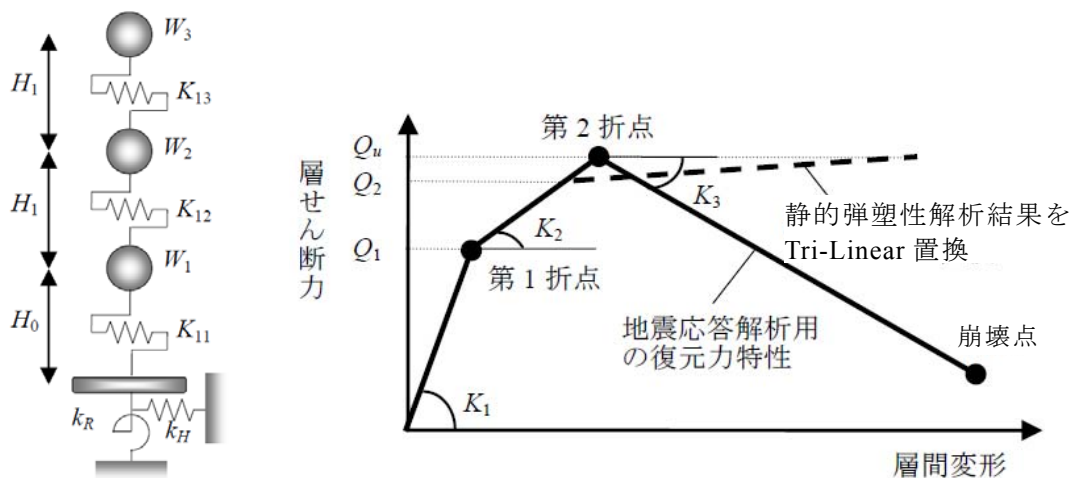


図 14 地震応答解析モデル（SRモデル；左）と耐力低下を考慮した復元力特性（右）。

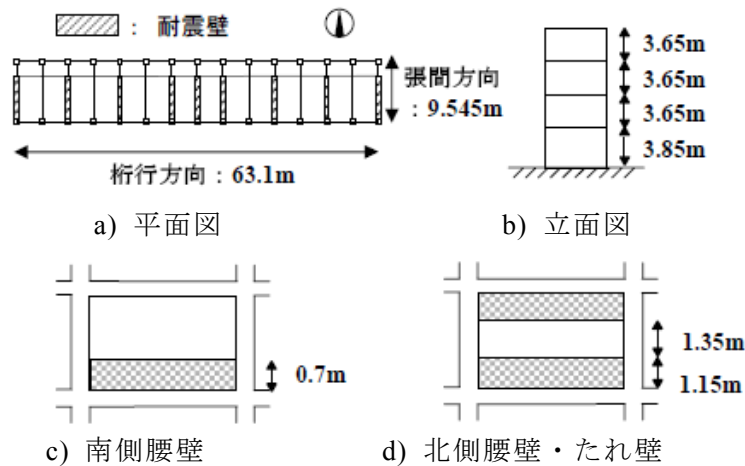


図 15 典型的学校建物の平面図・立面図、及び耐震的余力に寄与する雑壁(腰壁、たれ壁)。

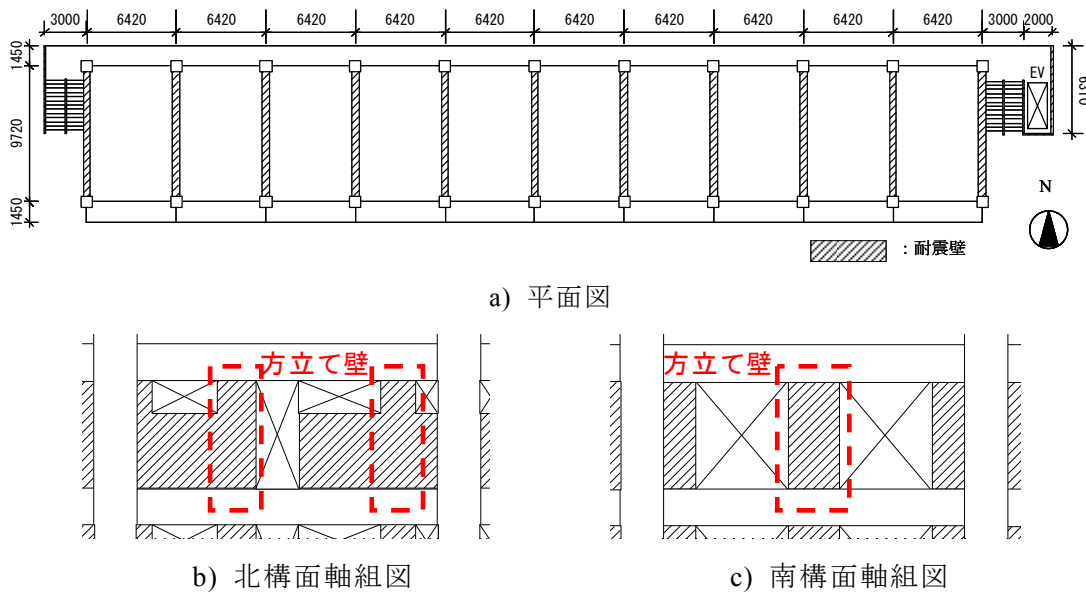


図 16 典型的集合住宅建物の平面図、及び耐震的余力に寄与する方立て壁。

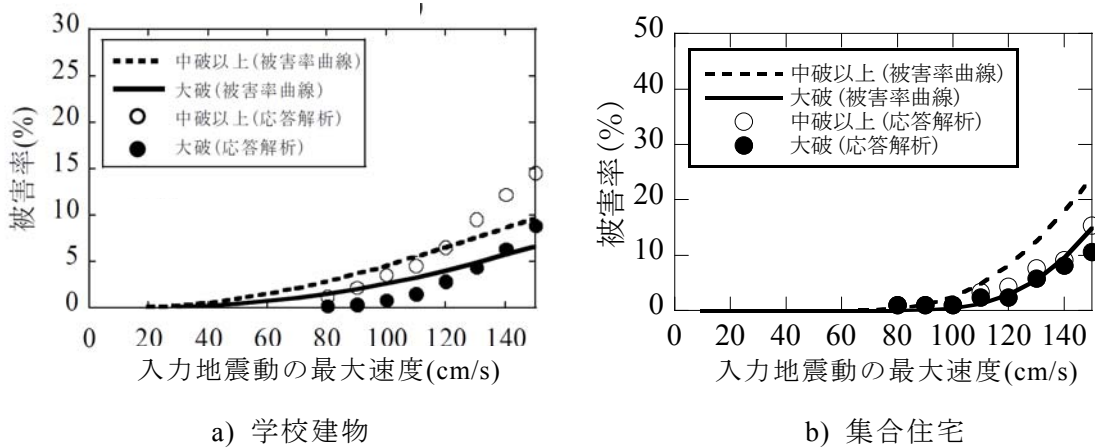


図 17 地震応答解析より算定した被害率と被害率曲線の比較。

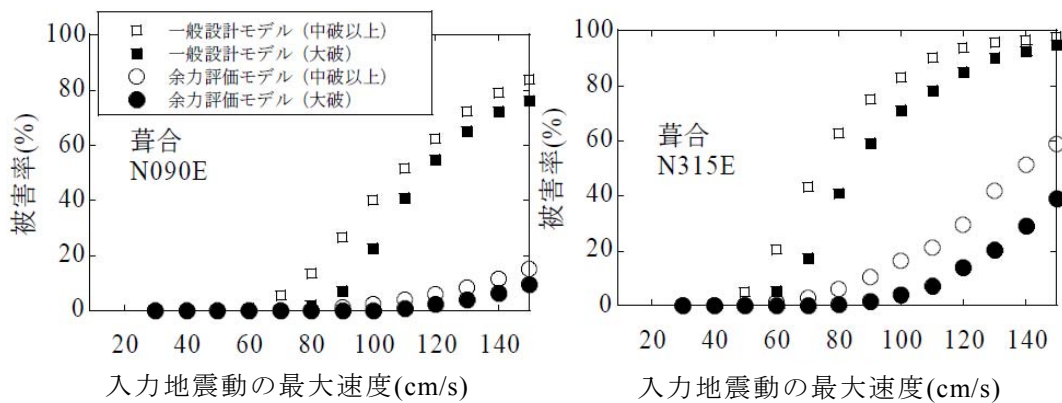


図 18 学校建物について、耐震的余力を評価した場合（余力評価モデル） としない場合（一般設計モデル）による被害率の比較。

4) 軟弱地盤に立地する構造物の大規模群杭の影響や基礎の滑りや浮き上がりを考慮可能な高精度地震応答解析法

a) 軟弱地盤に立地する構造物の大規模群杭の影響を考慮した地震応答解析法

東南海地震など、南海トラフで発生する巨大地震の発生が懸念されている現在、地震被害を軽減するために、既存建物の耐震安全性確認が急務となっている。特に、電力やガスなど、ライフライン系施設の被害は、大地震後の復旧活動に大きな影響を与えるため、これらの施設の耐震安全性を確保することが重要である。このような施設が、沿岸の埋立地等の軟弱地盤上に立地する場合には、非常に大規模な群杭基礎を採用することがある。大規模群杭基礎を有する構造物の耐震安全性の検討のうち、特に、海溝型の巨大地震等における杭基礎の挙動や耐震性については、解析の困難さもあって、進んでいないのが現状である。そこで、本論では、大規模群杭基礎の耐震安全性評価のための解析モデルについて述べる。

文ほか（2006）²²⁾は、大規模群杭をグループ化し、各グループで集約化を行うことにより、大規模群杭の問題を小規模群杭の問題に置換する方法を提案している。この方法を用いれば、図 19 に示すように小規模群杭のフレームモデルによる解析が可能となり、1 本杭モデルと大規模群杭モデルの中間的な位置づけとして適用性が高いと考えられる。ただし、連成項のある小規模群杭についての相互作用ばねを、連成項の無い単純なばねに置換するか（スカラー化）は課題である。ここでは、図 20 に示した方法により、地盤ばねをスカラー化することとした。さらに、土方ほか（2007）²³⁾を参考に、杭頭せん断力分担率や杭頭インピーダンスが、精算法（薄層要素法）による結果と対応するように軸ばねとせん断ばねを補正することも検討する。4×4 本杭を対象に試みた結果について、図 21 に杭頭インピーダンス（加振方向）を、図 22 に杭頭せん断力分布を補正前後での精算法と比較して示す。両図とも、補正によって、精算法との対応関係が向上しており、大規模群杭基礎を補正したスカラーのばねで、精度よく予測することが可能となる。ただし、杭頭インピーダンスの虚部については依然過大評価となっており、更なる検討が必要である。

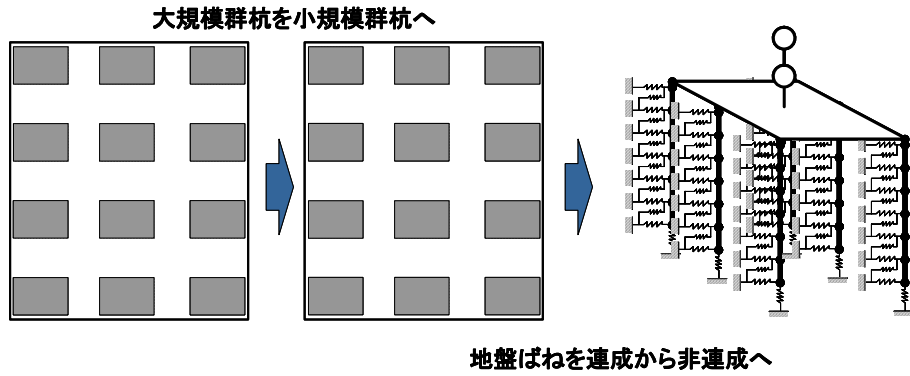


図 19 大規模群杭に対応した解析モデル

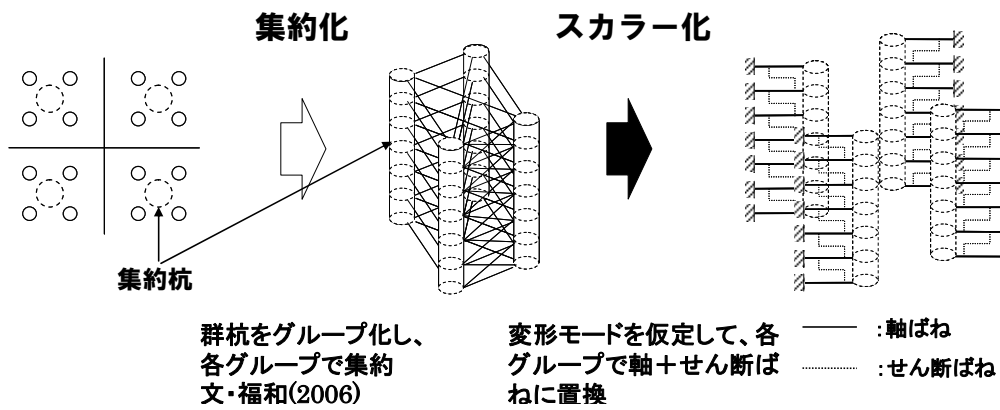


図 20 大規模群杭を集約化、スカラー化によってモデル化する手順。

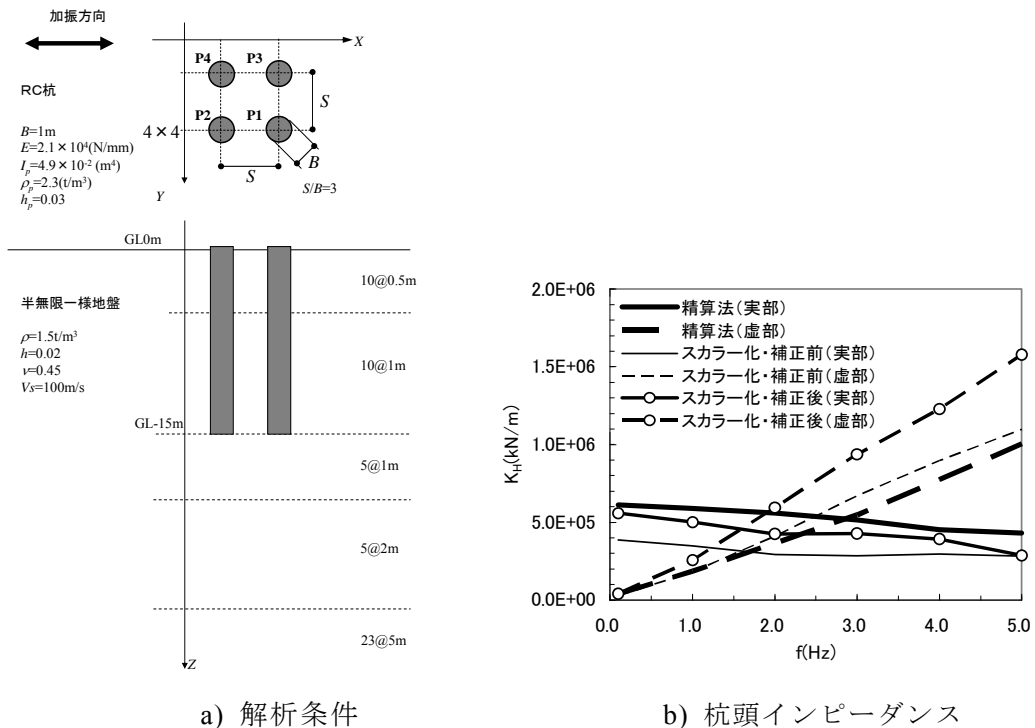


図 21 精算法とスカラー化した場合の杭頭インピーダンス（加振方向）の比較。

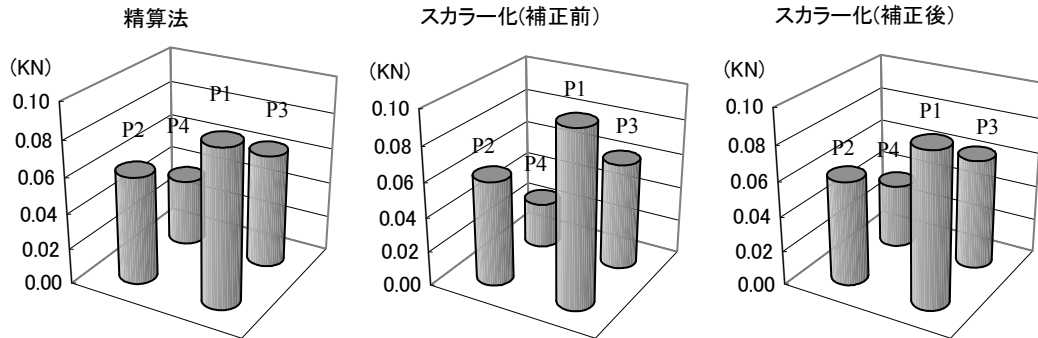


図 22 精算法とスカラー化した場合の杭頭せん断力分布の比較。

b) 基礎の滑りや浮き上がりを考慮可能な高精度地震応答解析法

1995年兵庫県南部地震では、設計時の想定を上回るレベルの地震動が地表面で観測されたが、低層鉄筋コンクリート造建物の被害は少なかった。その理由として、2)で検討した設計上考慮していない諸要因により意図した耐震性能以上の余力を有している可能性が挙げられる。そのほか、滑りや浮上りといった基礎と地盤との接触非線形による影響の可能性も指摘されている（林、1995）²⁴⁾。ここでは、強震時の建物応答性状を適切に把握するため、建物の浮き上がりやこれに伴う捩れ等の連成現象を評価可能な地震応答解析手法を構築した。

図 23 に解析モデルを示す。上部建物は多質点系等価せん断型モデルに置換し、基礎に地盤ばねを設置した。基礎部に浮き上がりが生じると地盤との接地面積が減少するため、地盤ばねの剛性や減衰が減少するとともに、偏心が生じることにより、鉛直方向のねじれ応答が励起される可能性が考えられる。このような浮き上がり等の地盤と建物の非線形動的相互作用効果を考慮するため、6 方向連成の地盤ばねモデルを構築した。また、非線形時刻歴応答計算の効率化を図るため、図 24 および表 2 に示すような、基礎の浮上り量とインピーダンス低減率の関係式を用いた。これは、基礎の基準の規模（幅と奥行き）を設定し、この基礎のインピーダンスに対する基礎の規模を変えた場合のインピーダンスの比を解析的に算定し、これらを回帰することにより導出した。図 24 中の L' 、 W' は、各時刻における各水平方向の転倒モーメントと鉛直力との比から得られる偏心距離より求めることができる。

解析事例として、上部構造を弾性とした 3 階、10 階建ての RC 建物について、浮き上がりを考慮する場合としない場合（SR モデル）について、地震応答解析を実施し比較検討した。地震応答解析実施にあたっては、1995 年兵庫県南部地震での JMA 神戸で観測された波形の位相をもち告示スペクトルにフィッティングさせた模擬地震動、及びランダム位相にて告示スペクトルにフィッティングさせた模擬地震動の 2 波を入力地震動とした。図 25 に、浮き上がりを考慮する場合の最大応答値（層間変形角、応答加速度）を、SR モデルによる応答最大値との比として示す。この結果から、10 階建てでは、浮き上がりによる明瞭な応答低減効果が認められた。

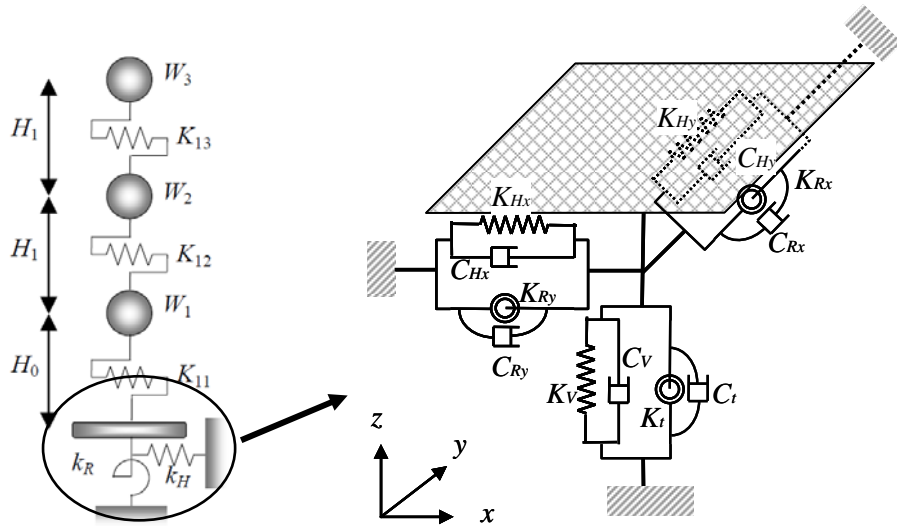


図 23 多質点系せん断型モデルと連成現象を考慮した地盤ばねのイメージ。

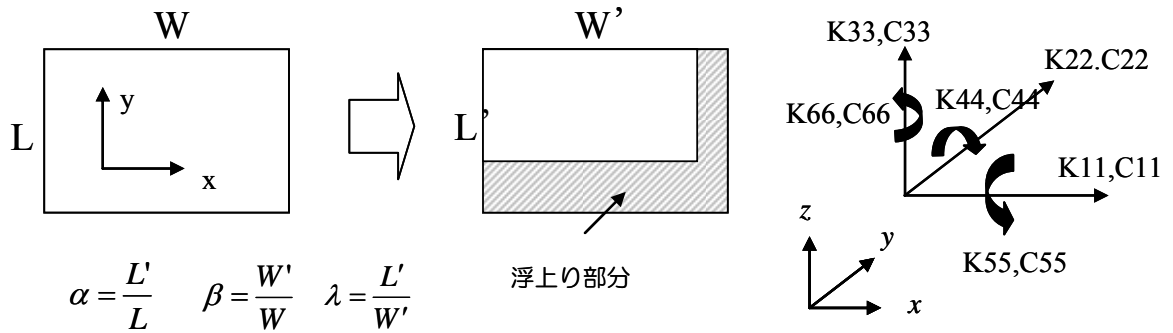


図 24 基礎の浮上りによるインピーダンス（剛性と減衰係数）の低減率の設定法。

図中で、 K_{11} 、 K_{22} 、 K_{33} 、 K_{44} 、 K_{55} 、及び K_{66} は、図 23 における K_{Hx} 、 K_{Hy} 、 K_V 、 K_{Ry} 、 K_{Rx} 、及び K_t にそれぞれ対応する。また、 C_{11} 、 C_{22} 、 C_{33} 、 C_{44} 、 C_{55} 、及び C_{66} は、図 23 における C_{Hx} 、 C_{Hy} 、 C_V 、 C_{Ry} 、 C_{Rx} 、及び C_t にそれぞれ対応する。

表 2 基礎の浮上りを考慮したインピーダンスの設定。

剛性	K_{11}	$\xi_{11} = \sqrt{\alpha\beta} \times (0.55\lambda^{0.37} + 0.45\lambda^{-0.31})$
	K_{22}	$\xi_{22} = \sqrt{\alpha\beta} \times (0.48\lambda^{0.28} + 0.52\lambda^{-0.38})$
	K_{33}	$\xi_{33} = \sqrt{\alpha\beta} \times \{0.205(\sqrt{\lambda} + 1/\sqrt{\lambda}) + 0.59\}$
	K_{44}	$\xi_{44} = \sqrt{\alpha\beta^3} \times \lambda^{0.61}$
	K_{55}	$\xi_{55} = \sqrt{\alpha\beta^3} \times \lambda^{-0.86}$
	K_{66}	$\xi_{66} = \sqrt{\alpha\beta^3} \times 0.49(\lambda + 1/\lambda)$
減衰係数	C_{11}	$\varsigma_{11} = \sqrt{\alpha\beta^2}$
	C_{22}	$\varsigma_{22} = \sqrt{\alpha\beta^2}$
	C_{33}	$\varsigma_{33} = \sqrt{\alpha\beta^2}$
	C_{44}	$\varsigma_{44} = \sqrt{\alpha\beta^{4.35}} \times \lambda^{1.06}$
	C_{55}	$\varsigma_{55} = \sqrt{\alpha\beta^{4.35}} \times \lambda^{-1.05}$
	C_{66}	$\varsigma_{66} = \sqrt{\alpha\beta^{4.3}} \times 0.66\lambda^{-0.9} (\lambda < 0.6) \quad \varsigma_{66} = 1.0 (\lambda > 0.6)$

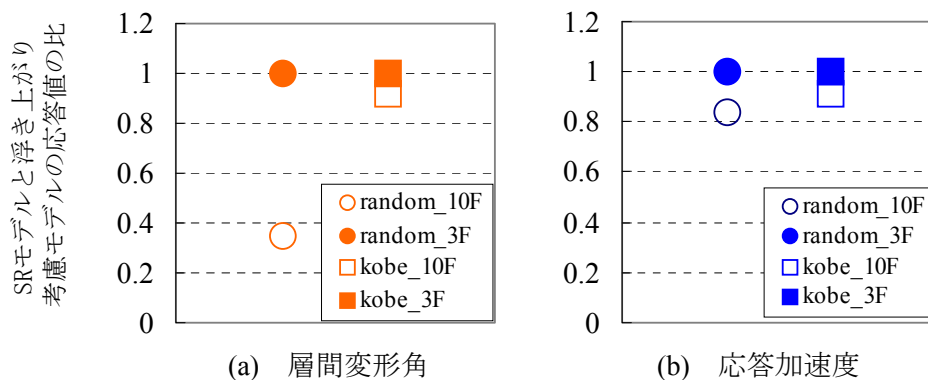


図 25 3 階、10 階建て RC 建物の建物応答最大値結果（浮き上がりを考慮した場合のしない場合に対する比）。

5) 地域の災害対応力に関する資料収集と予備分析

1995 年に発生した兵庫県南部地震以降、政府による各種法令の改正・制定、防災基本計画の見直し、各種防災体制の強化、防災に係る研究の発達など、様々な分野において防災対策の充実・強化が行われた。これにより、日本全国および地域社会において、その災害対応力が向上し、そのような対策以前に比べると、今後発生する地震災害は災害規模が大幅に小さくなっているかの印象を受ける。しかしながら、近年の日本における社会環境は急激に変化している。例えば、大都市においては、住宅の高層化が急速に進み、狭いエリアに人口が集積しており、地震時の建物応答の増幅により、高層階で大きな揺れを経験する人口が増加している。また、都市の外縁部などにおいては、傾斜地や窪地が造成され宅地化が進み、海岸部においては埋め立てによって陸地が造成されるなど、地震動の増幅が懸念される地域において人口が増加している。更に、地域の過疎化は、その地域が被災した際の人的支援の支障になる。また、災害時の死傷者は高齢者などの社会的弱者が多くの割合を占めていることから、全国で進む高齢化がそのような人的被災の可能性を増大させていることが伺える。建築分野においては、建物の耐震補強や建て替えなどによって、耐震性能が向上し、建物倒壊による死傷者を確実に低減させているといえるが、この低減による効果がそのような、社会的変化による災害規模の増大に対して十分な手当てとなっていないことも予想される。よって、今後の復旧・復興の戦略をたてる上での対応力評価はそのような将来にわたる社会的変化も考慮にいたったものである必要があると考える。

以上の背景に基づき、地域社会の有する災害対応力を建築の立場から評価し、復旧・復興に向けた課題を明らかにするために、平成 21 年度は、災害対応力の評価フローを構築するとともに、それらの評価に用いるデータ収集を実施した。また、復旧・復興戦略の検討のためのシステム構築を目指して、GIS を用いたデータの表示方法について検討を実施した。

a) 災害対応力評価の流れ

災害対応力の評価の流れを図 26 に示す。まず、評価地域を選定後、震源データベー

ス（日本全国で発生のおそれのある地震をデータベース化したもの）から、各地域の地震ハザード（地震動強度）を計算し、その地域で地震ハザードがある閾値以上となる地震を全て選定する。なお、閾値としては、対象地域に被害が発生し始める大きさの地震動強度を想定し、震度 5 弱（計測震度で 4.5 以上）とした。一方で、各地域の資産データベース（人口、建物棟数）を地域メッシュごとに構築し、上記の地震ハザード（震度）に暴露される資産量を評価する。ここではこれを震度暴露資産と呼ぶ。なお、震度暴露資産は、資産量に人口を用いた場合は震度暴露人口、資産量に建物棟数を用いた場合は震度暴露建物棟数と呼ぶこととする。この震度暴露資産は地震被害のポテンシャルを示すものであるため、この震度暴露資産量の上位の数地震を選定し、その地震に対して人的被害や建物被害棟数などの被害量を定量化する。この被害量を地域の対応力（対応量）と比較することで、その地域に最も影響を及ぼす地震を選定するとともに、その対応力を評価することが可能となる。次に、その地域の目標耐震化率を変更した場合に、その耐震化率が満足された場合の人的被害や建物被害の低減効果を定量的に把握し、また、対応力との比較を実施する。このような検討により、地域のみでの災害に対する対応の可否や目標耐震率の有効性を検討し、復旧・復興に向けた課題を抽出する。なお、本検討は、人的被害の観点で医療面の対応力の評価を実施するものとする。

b) 地震ハザード評価

震源データベースは、地震調査研究推進本部による全国地震動予測地図（地震調査研究推進本部、2009²⁵⁾、以下、地震動予測地図と記す）から「主要活断層帯に発生する固有地震」、「海溝型地震」、「主要活断層帯以外の活断層に発生する地震」、「震源断層を予め特定しにくい地震」のうち内陸活断層の最大規模の地震を選定し、その震源諸元（震源位置、地震規模、震源形状）と発生確率を整備した。この震源データベースにおける全ての地震について、予め地震ハザードを算出する。地震ハザードの算出にあたっては、全ての地震について画一的な取り扱いをするものとし、地震発生時の平均的な地震動を算出する観点から、地震動予測地図に示された経験的距離減衰式に基づく手法を用いるものとする。ここでは、経験的距離減衰式や表層地盤による地盤増幅率、計測震度の評価は、全て地震動予測地図に示された「簡易手法」と同様の手法を用いる。

c) 資産データの構築

資産データとして人口データと建物データを第 3 次メッシュ（1/2 地域メッシュ）で整備した。整備にあたっては、過去のデータとして 1995 年、2000 年、2005 年に実施された国勢調査のデータを整備した。また、将来的な人口データとして、市区町村別将来推計人口（国立社会保障・人口問題研究所、2009）²⁶⁾を用いて今後 30 年間の人口データを整備した。なお、地域メッシュで将来人口データを整備する際は、現在の市区町村別人口と評価メッシュとの比率を用いて、将来の市区町村別人口を各地域メッシュに按分した。

建物データの整備においては、総務省統計局の実施した平成 20 年住宅・土地統計調

査の都道府県ごとの住宅戸数データを、国勢調査地域メッシュ統計の世帯数データと都道府県ごとの世帯総数との比を用いて按分し、各3次メッシュの住宅棟数を設定した。なお、データは構造（木造、防火木造、RC/SRC造、S造、その他）と年代（～1970、1971～1980、1981～）の区分でデータを作成した。

d) 震度暴露資産による地震の選定

b)、c)に示したデータを用いて、地域に影響を及ぼす地震の選定を試みた。なお、ここでは、地域を特定せず、日本全国について試算するものとする。また、資産データは、現在人口（2005年国勢調査による）を用いる。地震データベースの全地震全てについて震度暴露人口（震度6弱以上）を計算した結果の上位10地震について表3に示す。最も、震度暴露人口が多かったのは大正型関東地震であった。大正型関東地震は南関東直下において発生するM7.9の大規模地震であり、人口が集積する関東平野に大きな影響を及ぼす。他に、関東地域に大きな影響を及ぼす地震としては関東平野北西縁断層帯（3位）、立川断層帯（10位）などが選定された。広域において大きな地震動が発生するため、震度暴露人口が大きい地震としては、南海トラフで発生する地震が選定されている。2位の南海トラフの3連動型地震（想定東海+東南海+南海）は東海地方から四国地方までの広い領域に震源が広がっており、そのため震度暴露人口が大きくなる。また、その他4位、5位の南海トラフ2連動型地震や東南海地震も選定された。また、関東と同様に人口の集積する関西地域に影響を及ぼす内陸の直下地震として、六甲・淡路島断層帯主部六甲山地南縁-淡路島東岸区間（6位）、有馬-高槻断層帯（8位）、上町断層帯（9位）が選定された。

次に震度暴露人口を横軸に地震の発生確率（今後30年以内に発生する確率）を縦軸にプロットしたものを図27に示す。同図では、震度暴露人口が多く発生確率が高い地震が最も対策を実施すべき地震として選定される。ここでは、南海トラフにおいて発生する地震が図中右上の領域に多く位置しており、現時点で最も対策を急ぐべき地震であることがわかる。なお、南海地震の発生確率は地震動予測地図と同様に設定した。即ち、南海地震、東南海地震、想定東海地震は経時的にそれぞれ独立に別個の更新過程に従って発生すると仮定し、期間内に複数の地震がともに発生する場合には、予め定められた確率でそれらの地震が連動（同時発生）する。これによれば今後30年以内の発生確率(2009年1月1日を基準)は以下の通り。

- ・ 3連動(M8.5)：8.3%
- ・ 2連動(東南海+想定東海：M8.4)：21.1%
- ・ 2連動(南海+東南海：M8.5)：10.8%
- ・ 南海地震(M8.4)：37.4%
- ・ 東南海地震(M8.1)：27.4%
- ・ 想定東海地震(M8.0)：57.7%

e) システム構築の基礎的検討

a)に示すフローによりその地域に最も影響を及ぼす地震を選定し、復旧・復興戦略の検討を実施するためのシステムを構築することを念頭に、各種データの表示方法に

ついて基礎的検討を実施する。地震ハザード評価結果や資産データの表示は、衛星画像や地形、地図や 3D の建物データなどと重ねて描画し、容易に各種の検討を進めるために Google Earth を用いて表示を実施するものとする（図 28）。データの表示例を図 29 に示す。詳細情報を表示させたい地点をクリックするとバルーンテキスト機能によりその地点のメッシュコードやハザード情報などが表示される。本表示方法により、ユーザは各種データの表示を選定しながら、直観的に被害の発生する可能性のある地域を把握することができる。

同様に、Google Earth を用いて様々な災害ハザードと都市・社会の情報を表示・分析することもできる。たとえば図 30 は、東京都心部のデジタル標高地図に東証一部上場企業の本社の位置を重ね描いたものである。これにより、多くの企業が地盤状況の悪い場所にあり、大規模災害時の事業継続や地域社会に大きく影響することがわかる。

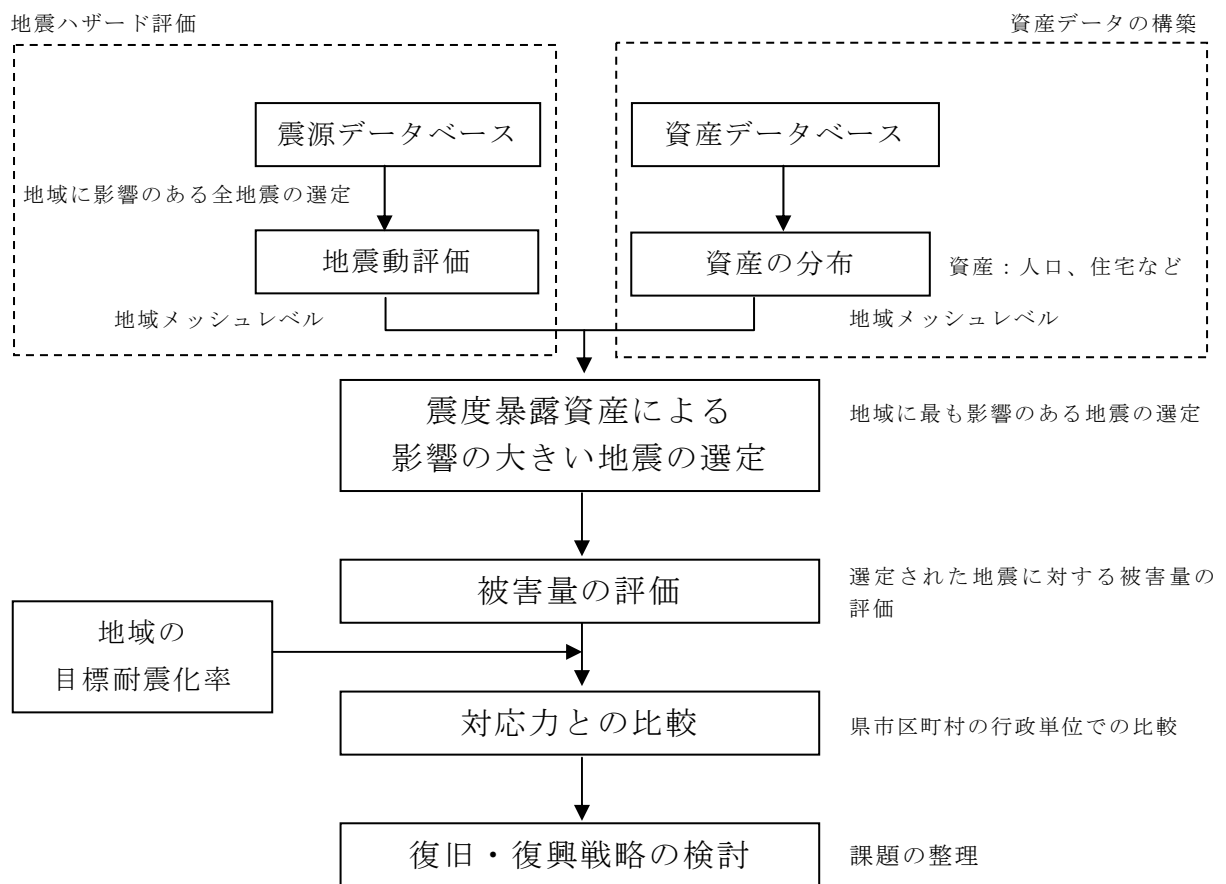


図 26 災害対応力評価の流れ。

表3 震度暴露人口（震度6弱以上）の上位10地震（日本全国）

順位	暴露人口 (人)	地震名
1	34,988,187	大正型関東地震
2	30,714,005	南海トラフ3連動（想定東海+東南海+南海）
3	26,426,510	関東平野北西縁断層帯主部
4	22,904,855	南海トラフ2連動（東南海+想定東海地震）
5	22,830,381	南海トラフ2連動（南海・東南海地震）
6	19,877,334	六甲・淡路島断層帯主部六甲山地南縁-淡路島東岸区間
7	13,259,682	東南海地震
8	12,657,483	有馬-高槻断層帯
9	12,034,321	上町断層帯
10	10,750,756	立川断層帯

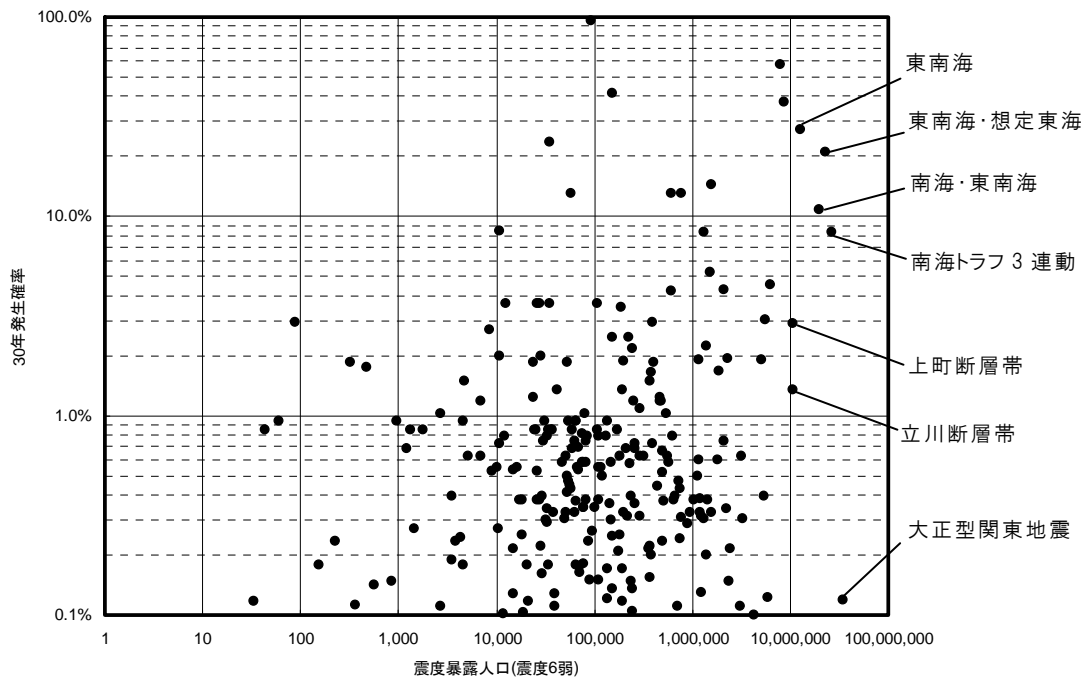


図27 地震の発生確率と震度暴露人口（発生確率0.1%以上）。

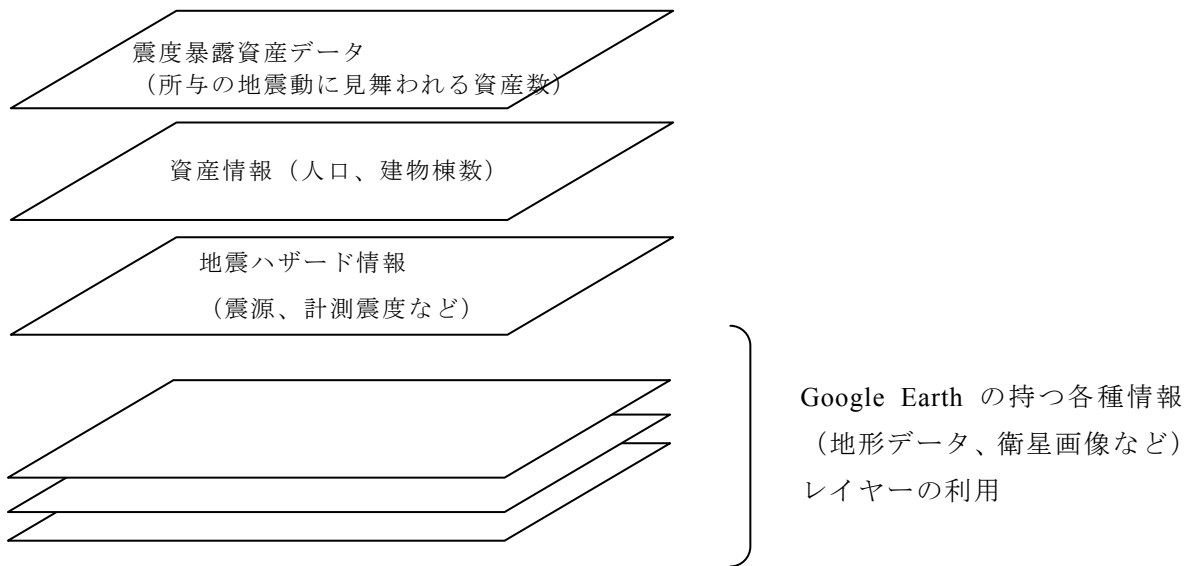


図 28 Google Earth を用いた地震ハザード表示の概念。

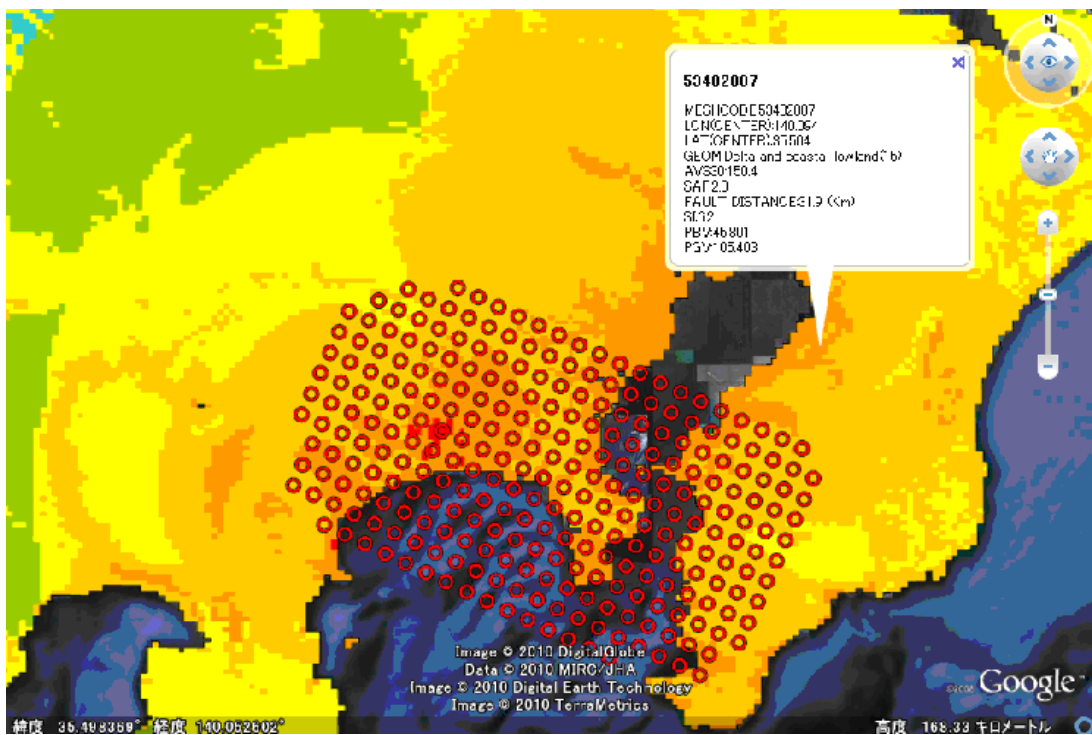


図 29 Google Earth を用いた地震ハザードの表示例。

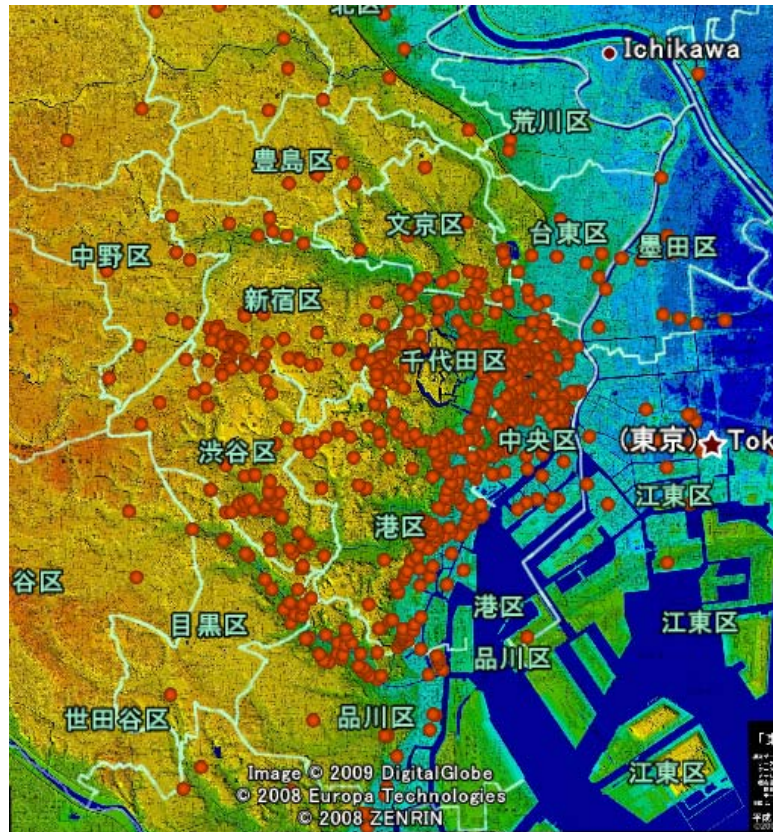


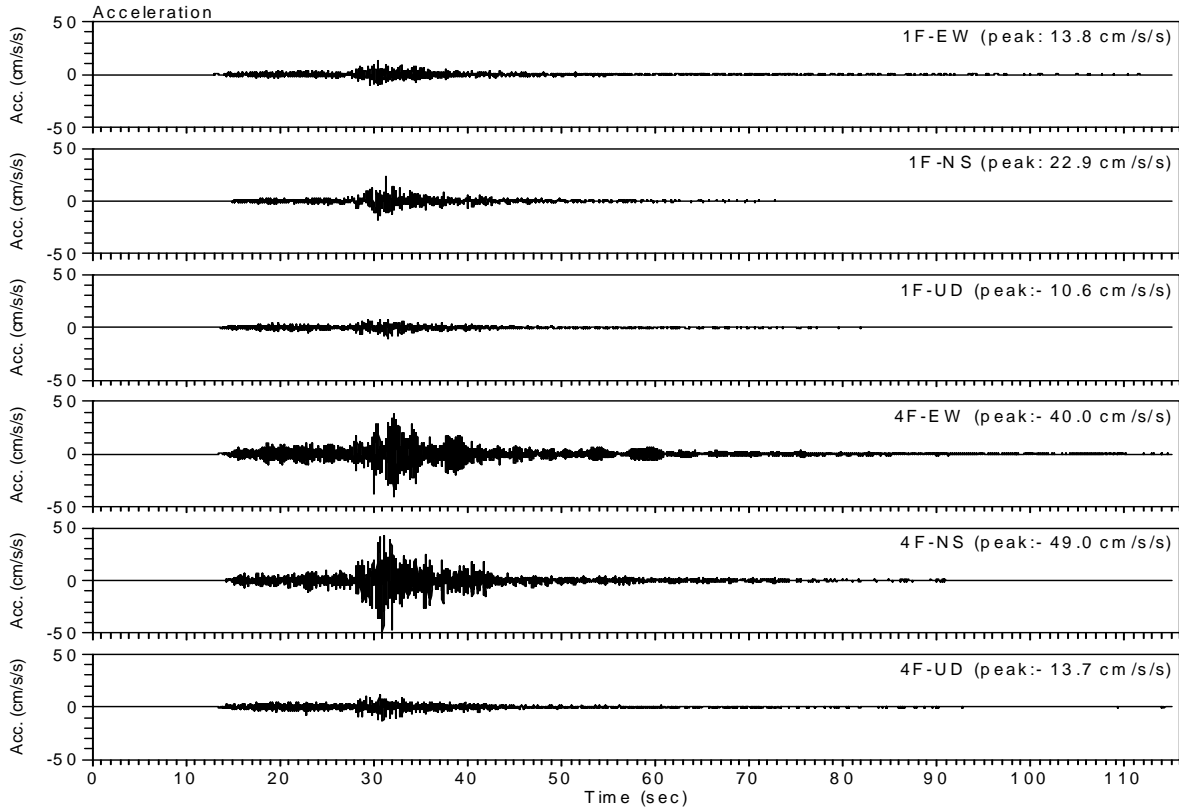
図 30 東京都心部のデジタル標高地図と東証一部上場企業の分布。

6) 地域における強震観測の展開と記録の収集・整理

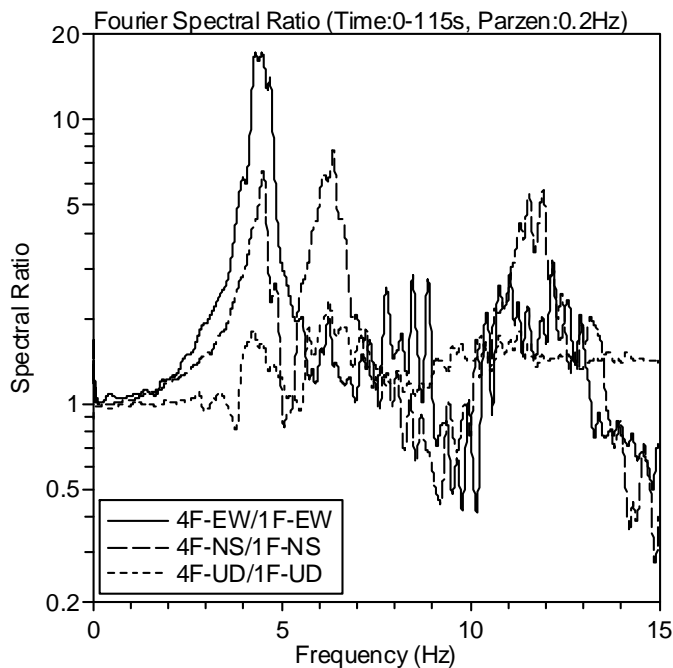
ここまで述べた地盤の高解像度強震動予測や一般的な建物の被害推定において、地震観測記録（特に波形記録）は必須の基礎データであり、できる限り多点で、また多数の建物を対象として、継続的な観測によりデータを蓄積することが必要である。この目的に対し、昨年度の報告書では、各機関で個別に運用される観測網・観測機器について「波形データ」を収集し、一元化して整理・蓄積する運用の重要性を述べた（飛田ほか、2001）²⁾。また、これまで手薄であった一般的な建物の観測（飛田ほか、2007）²⁷⁾を推進する手法として、機器更新により不要となった旧型の強震計や震度計を利用して、現地に常駐する非専門家の協力者に機器の維持管理やデータ回収を依頼する新たな観測体制「P ネット」を提案した（飛田ほか、2009）²⁸⁾。今年度も観測は継続しており、その結果、2009年8月11日に発生した駿河湾の地震（M6.5）では東海地域で多数の記録が得られた。ここでは主に建物の記録について概要を述べる。

a) 建物の強震観測・記録の概要

名古屋地方気象台の震度で、2008年度は震度2が1回、震度1が7回、2009年度は震度3が1回（2009年8月11日5:07 駿河湾の地震）、震度2が1回、震度1が3回であった。駿河湾の地震では、名古屋大キャンパス6、名古屋大病院4（うち免震2）、名古屋三の丸地区の庁舎等4（うち免震1、免震レトロフィット工事中2）、愛知県内の高校建物3などで記録が得られた。



(a) 2009年8月11日駿河湾の地震の加速度記録。



(b) 4階/1階のスペクトル比

これより固有振動数はEW方向4.3Hz、NS方向6.4Hz
減衰定数はEW方向2.9%、NS方向5%程度となる。



4階 (教材室)



1階 (土間)

(c) 強震計設置状況

1階は周辺に物が置かれていた
が記録には異常なかった。

図31 「Pネット」による高校校舎の強震観測例 (愛知県岡崎市のRC造4階建校舎)。

b) 低層 RC 造校舎での地震観測記録

昨年度の報告書でのべた「P ネット」の観測例を図 31 に示す。この例は愛知県岡崎市にある鉄筋コンクリート造 4 階建の高校校舎である。2009 年 8 月 11 日の駿河湾の地震では、岡崎市は震度 3 で、当該校舎では 4 階で約 50gal の応答の記録が得られている。1 階と 4 階は独立したトリガと GPS を備えており、時刻同期も機能していた。図 31(b)には 1 階と 4 階のスペクトル比も示した。なお、この校舎では 2009 年度中に数 gal 以上の記録が 6 地震で収録されていた。このほかにも 5 地震の記録を回収できた高校もあった。いずれも担当の理科教員が積極的な学校であり、生徒が参加している場合もある。

(c) 結論ならびに今後の課題

深部・浅部地盤の詳細な情報を用いて観測記録の面的な補間を行うことにより、任意地点の小地震記録を推定し、これを用いて経験的グリーン関数法による強震動予測を行う手法（擬似経験的グリーン関数法と呼ぶ）を開発した。また本手法を用いた巨大地震時の波形合成のために、推定する小地震の継続時間を長く確保する手法についても検討した。昨年度の成果である濃尾平野の詳細な地下構造に基づいて、本手法により名古屋市域の代表地点における東南海地震の強震動を予測し、昭和 19 年東南海地震の被害等と比較して有効性を検証した。今後は、表層地盤の非線形特性の考慮による軟弱地盤の地震動の予測につなげる必要がある。

代表的な鉄筋コンクリート造建物である学校建物と集合住宅を対象として、耐震診断結果や地震被害調査結果に基づき、実際の入力地震動に対する被害状況を適切に説明できる地震応答解析モデルを求めることで、耐震性能評価法を構築するとともに、対象建物群の耐震余裕度や想定地震における被害率を評価した。また、強震時の基礎の浮き上がりも考慮できる地震応答解析法を構築し、効率的な計算法を用いて応答の特徴を考察した。

沿岸埋立地などの軟弱地盤に立地する重要施設の耐震性能評価のため、根入れをもつ大規模群杭基礎の耐震安全性評価のための解析モデルと解析法を構築した。特に大規模群杭をグループ化して集約することにより小規模群杭に置き換え、効率的に計算する方法を提示した。

災害発生時の地域社会対応力の評価に向けて、基礎的な情報を収集・分析するとともに、地域対応力評価の具体的な方法を検討した。その際に、一定以上の震度を被る人口（震度暴露人口）を基本的な指標のひとつとして導入し、いくつかの被害地震について計算例を示すことで、その有効性を検討した。またその結果も含めて、地域ハザードと対応力に関するデータや分析結果を表示するソフトウェアの開発を進めた。次年度も継続して実施する。

主に建物における地震観測の実施状況を示し、2009 年 8 月 11 日の駿河湾地震における記録の例を示した。継続的な観測の一層の体制整備は今後の課題である。

(d) 引用文献

- 1) 長江拓也・鍾育霖・島田侑・福山國夫・梶原浩一・井上貴仁・中島正愛・斉藤大樹・北村春幸・福和伸夫・日高桃子：高層建物の耐震性能を検証する大規模実験システムの構築—E-ディフェンス震動台実験—，日本建築学会構造系論文集，No.640，pp.1163-1171，2009.
- 2) 飛田潤・福和伸夫・中野優・山岡耕春：オンライン強震波形データ収集システムの構築と既存強震計・震度計のネットワーク化，日本建築学会技術報告集，13，49-52，2001.
- 3) Boore, D. M. : Stochastic simulation of high frequency ground motion based on seismological models of the radiated spectra, Bull. Seism. Soc. Am., 73, No.6, pp.1865-1894, 1983.
- 4) Somerville, P. G. : Engineering applications of strong ground motion simulation, Tectonophysics, 218, pp.195-219, 1993.
- 5) Suzuki, W., T. Iwata, K. Asano, and N. Yamada : Estimation of the source model for the foreshock of the 2004 off Kii peninsula earthquakes and strong ground motion simulation of the hypothetical Tonankai earthquake using the empirical Green's function method, Earth Planets Space, 57, pp.345-350, 2005.
- 6) 佐藤智美：フィリピン海プレートの海溝型地震による短周期地震動の散乱理論に基づく経時特性モデル，日本建築学会構造系論文集，601，pp.75-82，2006.
- 7) 愛知県：平成16年度三河地域堆積平野地下構造調査成果報告書，2005.
- 8) 高橋広人・福和伸夫：地震動予測のための表層地盤のモデル化手法の提案と検証，日本建築学会構造系論文集，599，pp.51-59，2006.
- 9) 福島美光・翠川三郎：周波数依存性を考慮した表層地盤の平均的な Q-1 値とそれに基づく地盤増幅率の評価，日本建築学会構造系論文集，460，pp.37-46，1994.
- 10) 大西良広・堀家正則：統計的グリーン関数を用いた3成分地震動合成法の兵庫県南部地震への適用，構造工学論文集，46B，389-398，2000.
- 11) 山中佳子：1944年東南海地震と1945年三河地震の震源過程，月刊地球，26，739-745，2004.
- 12) 壇一男・佐藤俊明：断層の非一様すべり破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測，日本建築学会構造系論文集，509，pp.49-60，1998.
- 13) 飯田汲事：昭和19年12月7日東南海地震の震害と震度分布，愛知県防災会議，1977.
- 14) 宮腰淳一・林康裕・渡辺宏一・田村和夫：1995年兵庫県南部地震の建物被害に基づく建物の耐震性能評価，構造工学論文集，Vol.43B，pp.269-276，1997.3.
- 15) 日本建築学会近畿支部鉄筋コンクリート部会：神戸市灘区および東灘区 RC 造建物全数調査，1995年兵庫県南部地震コンクリート系建物被害調査報告書，pp.2-37，1996.7.
- 16) 中埜良昭・岡田恒男：信頼性理論による鉄筋コンクリート造建築物の耐震安全性に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，第406号，pp.37-43，1989.12.
- 17) 芳村学・中村孝也・八木克己：既存低層鉄筋コンクリート造建物における構造耐震指標（Is 値）と被災度の関係—地震応答解析による検討—，日本建築学会構造系論文報告集，第578号，pp.107-114，2004.4.

- 18) 楊シュウ麗・麻里哲広・石山祐二・デグズマン フィリップ：耐震診断データを用いた簡易 RC 造建物モデルの時刻歴解析に関する研究，構造工学論文集，Vol.51B，pp.207-213，2005.3.
- 19) 芳村学・上野裕美子・中村孝也：既存低層鉄筋コンクリート建物の I s 値と倒壊の関係，日本建築学会構造系論文報告集，第 587 号，pp.197-204，2005.1
- 20) 山田稔編著：鉄筋コンクリート構造物の耐震安全性，pp.90-92，1976.8
- 21) 安井謙・井口道雄・赤木久真・林康裕・中村充：1995 年兵庫県南部地震における基礎有効入力動に関する考察，日本建築学会構造系論文報告集，第 512 号，pp.111-118，1998.10.
- 22) 文学章・福和伸夫・小島宏章・酒井理恵子：大規模群杭の効率的な動的相互作用解析法，日本建築学会構造系論文集，No.607，pp.109-116，2006.
- 23) 土方勝一郎・杉山達也・伊東賢伸・藤原一成・酒向裕司・宮本裕司：杭基礎の非線形挙動に関する振動実験および解析研究—25 本杭試験体の実験結果とシミュレーション解析，日本建築学会構造系論文集，No.615，pp.109-117，2007.
- 24) 林康裕：基礎の浮上り・滑りを考慮した構造物の地震応答.構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム，pp.39-46，1995.
- 25) 防災科学技術研究所：「全国地震動予測地図」作成手法の検討，防災科学技術研究所研究資料，第 336 号，2009.11.
- 26) 国立社会保障・人口問題研究所：「日本の市区町村別将来推計人口（平成 17(2005)～47(2035)年—平成 20 年 12 月推計）」，厚生統計協会，2009.4.
- 27) 飛田潤・福和伸夫・小島宏章・浜田栄太：地盤・建物系の高密度強震観測の展開と建物動的挙動の検討，日本地震工学会論文集，第 7 巻，第 2 号，37-56，2007.3.
- 28) 飛田潤・福和伸夫・倉田和己：ウェブ GIS とデータ相互運用技術による強震観測記録の統合利用環境，日本地震工学会論文集，第 9 巻，第 2 号，51-60，2009.2.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
継続時間の長い強震動の作成に関する検討（口頭）	高橋広人・福和伸夫・護 雅史・飛田 潤	日本建築学会大会	2009. 8	国内
実際のな広域地震被害想定のための地域地震対応能力に関する基礎的検討（口頭）	池田政人・福和伸夫・護 雅史・飛田 潤	日本建築学会東海支部研究発表会	2010. 2	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Integrated Disaster Simulator using WebGIS and its Application to Community Disaster Mitigation Activities	Tobita, J N. Fukuwa and M. Mori	Journal of Natural Disaster Science	2009. 9	国際
基礎形状の不整形性や基礎形式の混用がねじれ基礎入力動に与える影響	岩城梨佳・ 福和伸夫・ 護 雅史・ 彦坂智基	日本建築学会構造系論文集	2010. 3	国内

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 （記事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関 （新聞名・TV名）	発表時期	国際・国内の別
家族の命を守る・巨大地震の教訓、地名とハザードの関係	福和伸夫	中京テレビ	2009. 9. 13	国内
迫り来る天変地異、東海・東南海地震の揺れの予測結果と揺れの体感シミュレータ、尾張名所図会で描かれた江戸の街並みと都市の現状の違い	福和伸夫	中部日本放送	2009. 9. 26	国内
長周期地震動と高層ビル、東海・東南海地震の揺れの予測結果と揺れの体感シミュレータ	福和伸夫	中部日本放送	2009. 12. 8	国内
報道特別番組 阪神・淡路大震災から15年、南海トラフでの巨大地震時の高層建物の揺れの予測結果と揺れの振動台再現結果	福和伸夫	関西テレビ	2010. 1. 16	国内

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

地域の災害危険度・災害対応力に関する表示・分析システム

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成22年度業務計画案

まず、都市域の高精度・高解像度強震動予測については、埋立地などの軟弱地盤における地震動予測の高精度化に向けて、地盤の非線形性や液状化を適切に考慮できる地盤モデルを構築する。その際に、利用できる地盤非線形特性に関するデータの量・質や解析手法の特徴を考慮し、東海・東南海・南海地震における表層地盤動特性について代表地点で予測を行う。

建物の耐震性能評価に関しては、大別して、学校・集合住宅等の一般的な中低層 RC 造建物、軟弱地盤に建つ発電所や工場などの大規模重要構造物、さらに超高層建物や免震建物などの長周期建物について、各々に固有の問題を明確化しながら、大地震時の実際的な被害予測に向けた応答解析モデルを構築する。

中低層 RC 造建物については、主に集合住宅について、建物の耐震性能や地盤－建物動的相互作用効果の影響を考慮した解析法を開発する。この際に、大地震時のより実際的な被害予測のために、今年度までに基礎的検討を行った剥離や浮き上がりによる非線形特性と、地盤の材料非線形を同時に考慮するモデルを検討する。

軟弱地盤上の大規模群杭支持構造物については、今年度のモデル化をさらに進めて、地盤の非線形特性を考慮した地盤・杭・建物系の地震応答解析モデルと解析法を構築する。その際に上記の非線形地盤モデルの検討結果も考慮する。

長周期の高層建物や免震建物については、地震および常時微動観測記録の収集・分析を行い、実建物の固有周期や減衰特性に関する資料を蓄積する。また首都直下地震防災・減災特別プロジェクトで実施された高層建物の振動台実験（長江ほか、2009）¹⁾の成果等に基づいて、高層建物の層の復元力特性や地震時の損傷に伴う特性変化を明らかにし、被害評価のための資料を蓄積する。

これら地盤・建物の挙動把握と被害予測のために、地域の地震観測とデータ収集・整理を継続して実施する。その際に、地域の様々な機関と連携して観測対象建物や観測点の増加を試みる。またそのための方策として、更新により廃棄された地震計の整備・再利用や、そのためのネットワーク接続システムの開発などを継続的に実施する。

減災戦略の策定に向けて、災害発生時の地域社会対応力に関する基礎情報収集と分析を継続して行う。また相互運用技術を利用したウェブ GIS をベースとした地域社会対応力の分析・評価システムを、継続して開発する。特に上記の各種建物に関する応答解析モデルの検討とあわせて、高層建物や免震建物のデータベースや、一般建物の耐震性能データベースなどを充実することにより、建築物被害に伴う実際的な影響を検討する。

以上の検討・開発等により、地震動・地盤・建物・社会・歴史等に関する知見の充実と同時に、それらを有機的に連携して有効利用する環境の整備を進める予定である。また、成果を一般にわかりやすく伝える表示・表現方法についても継続的に検討を行う。

3.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成21年度業務目的

(2) 平成21年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 南海トラフ地震の推定被災地域の地域特性の分析
 - 2) 中山間地域における復旧・復興プロセス
 - 3) 発電施設の被災による地域への影響評価
 - 4) 津波による長期湛水被害後の復旧・復興戦略の構築
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成22年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
京都大学防災研究所	准教授	牧 紀男
京都大学防災研究所	助教	鈴木 進吾
岐阜大学工学部社会基盤工学科	教授	能島 暢呂
立命館大学文学部	准教授	中谷 友樹
長岡造形大学造形学部	准教授	澤田 雅浩
建築環境デザイン学科		
国立保健医療科学院施設科学部	研究員	佐藤 栄治

(c) 業務の目的

人口減少社会を踏まえた防災対策、災害対応、復旧対策のあり方の検討を行うために、被災地域の社会状況についてのシミュレーションを実施し、シミュレーション結果に基づき災害対応、復旧・復興プロセスの明確化、重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」手法を開発する。加えて、復旧・復興時に発生する大きな余震に備えた、緊急地震速報の利用方策を提案する。また、地震地殻変動による紀伊半島や四国の海岸線の沈降や、大阪での河川の津波遡上により引き起こされる複合災害の影響を評価する。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成20年度：

東南海・南海地震で被災する東海・関西・四国地域の社会状況（人口、経済、社会構成等）、被害想定結果に関するデータ収集を行い将来の社会状況のシミュレーションを実施するための基礎的なGISデータベースの構築を行った。また、人口減少社会における復旧・復興プロセスの明確化を目的に2004年中越地震、2007年能登半島地震、2007年中越沖地震の復旧・復興プロセスに関するデータ収集を行った。さらに、重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」を行うための基礎的な考察として、検討すべき「影響」の明確化を行った。

2) 平成21年度：

平成20年度に構築した社会状況GISデータベースおよび地域研究会での議論に基づいて、南海トラフ地震の推定被災地域の地域特性の分析を行った。また、中山間地域対策を重要な課題として取り上げ、規範となる復旧・復興プロセスの策定を進めた。さらに、重要社会基盤施設としての発電施設について、その施設被災による地域への影響評価を行うと共に、津波による長期湛水被害後の復旧・復興戦略に関する調査研究を行った。

3) 平成22年度：

平成21年度までに構築した社会状況GISデータベース、および各地の地域研究会での

社会対応力に関する議論に基づいて、将来の社会状況シミュレーションに必要となるデータを整備し、東海・東南海・南海地震による推定被災地域の類型化を完成させる。推定被災地域のうち各県庁所在地等の幾つかの生活圏に影響を与えるリージョナルクラス都市を対象として、復旧・復興シナリオを検討する。また、本プロジェクトのサブテーマ「(1)連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の成果をもとに、東海・東南海・南海地震の連動発生により社会が受ける影響を明確化する。特に、今後30年以内に「最悪シナリオ」にもとづき東海・東南海・南海地震が発生した場合について、被災地域が社会全体に与える影響を総合的に評価する。

4) 平成23年度：

将来の社会状況シミュレーションについては、モデルを完成させ、東海・東南海・南海地震の被災地域における将来の社会状況についてのシミュレーションを実施し、将来の社会状況を明確化すると共に、復旧・復興シナリオについては、ナショナルクラス都市についての検討を行う。また、「重要社会基盤施設の物理的被害推定結果」を入力し、社会に対する影響を明確化する。さらに、将来の社会状況を勘案した重要施設の「影響評価」の結果、さらには「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の成果も統合し、東海・東南海・南海地震が将来に発生した場合の被災地域の社会にあたる影響についての総合的な検討を開始する。

5) 平成24年度：

平成23年度に東海・東南海・南海地震が将来に発生した場合の被災地域の社会にあたる総合的な影響の結果を基に、地域類型にもとづく復旧・復興シナリオの明確化を行う。また、「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の地殻変動の影響を踏まえ影響評価の修正を実施する。さらに、一般市民が理解できる形式で物理的被害→社会の影響→復旧・復興シナリオから構成される東海・東南海・南海地震が被災地域にあたる影響の全体像の明示を行う。

(e) 平成21年度業務目的

平成20年度に構築した社会状況GISデータベースおよび地域研究会での議論に基づいて、南海トラフ地震の推定被災地域の地域特性の分析を行う。推定被災地域を、日本全体に大きな影響を与えるナショナルクラス都市、各県庁所在地等の幾つかの生活圏に影響を与えるリージョナルクラス都市、さらに各生活圏に影響を与えるコミュニティクラス都市、及び中山間地域の4地域に類型化し、類型化された地域ごとに社会状況モデルを作成するとともに、適切かつ現実性の高い防災・減災施策の検討を順次実施する。なかでも、中山間地域については、最近の急激な高齢化進行によって、現存する施策のもととなった社会条件が大幅に異なってしまっており、その実効性が損なわれている可能性が高いことから、重要な課題として取り上げ、規範となる復旧・復興プロセスの策定を進める。また、重要社会基盤施設としての発電施設について、その施設被災による地域への影響を評価する。さらに、津波による長期湛水被害後の復旧・復興戦略や災害の直接的・間接的影響を明らかにするために、国内外の津波災害調査と復興戦略に関する事例調査研究を進める。

(2) 平成 21 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 20 年度に構築した社会状況 GIS データベースおよび地域研究会での議論に基づいて、南海トラフ地震の推定被災地域の地域特性の分析を行なった。推定被災地域を、日本全体に大きな影響を与えるナショナルクラス都市、各県庁所在地等の幾つかの生活圏に影響を与えるリージョナルクラス都市、さらに各生活圏に影響を与えるコミュニティークラス都市、及び中山間地域の 4 地域に類型化し、類型化された地域ごとに社会状況モデルを作成するとともに、適切かつ現実性の高い防災・減災施策の検討を今年度より順次開始した。今年度は、4 地域類型の中でも特に最近の急激な高齢化進行によって、現存する施策のもととなった社会条件が大幅に異なり、その実効性が損なわれている可能性が高い中山間地域についてを最重要課題として取り上げ、規範となる復旧・復興プロセスの策定を進めた。具体的には、まず最初に南海トラフ地震の推定被災地域の地域類型を行うための手法として国勢調査メッシュ統計の人口データを用い「持続型」「依存型」「限界型」という 3 つのタイプに地域類型を行う手法の開発を行った。次に、2004 年新潟県中越沖地震の復旧・復興過程の分析から、集落を離れる割合は復興施策の方針（地域に留まる、地域を離れる）に関わらず一定であり、中山間地域の復旧・復興戦略は災害前に各集落をどのようにするのかという事について検討しておくことが重要である事を明らかにした。また、震度 6 弱以上の揺れを被る発電施設の機能停止が長期に渡ると考えた場合、夏期の電力需要期の総発電量が不足する可能性が存在することを明らかにした。さらに、高知市において研究者・行政職員が参画するワークショップを開催し、長期湛水被害による社会的影響ならびに災害対応・復旧・復興戦略に関する基礎的な検討を行った。

(b) 業務の成果

1) 南海トラフ地震の推定被災地域の地域特性の分析

a) 国勢調査メッシュ統計を用いた地域類型手法の開発

東海・東南海・南海地震で大きな揺れを経験する地域には人口減少が顕著な中山間地域が多い。日本の人口は 2005 年をピークに減少に転じており、東海・東南海・南海地震の防災戦略、さらには復旧・復興戦略を考える上で将来の人口減少を踏まえることが重要である。ある地域の現在の人口構成は、地域間での人口移動が今後発生しても、その地域の将来の姿をある程度説明する。そこで、国勢調査のメッシュ統計の人口データを用いて地域類型を行う手法を開発した。また、この地域類型手法の適用事例として、都市地域から中山間地域まで多様な地域を含む和歌山県・大阪府を地域類型した。

b) 地域類型手法の手順

まず、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年の 4 回の国勢調査結果をもとに、地域メッシュごとの年齢別人口構成比について、クラスター分析を行い、人口構成比の類似特性を抽出した。図 1 に、その結果を示す。この結果から、人口構成比は、大きく 3 つのパターンに分類できることが分った。しかしながら、この分析結果は、調査年ごとの地域類型であり、経年的な推移を考慮した地域類型ではない。

そこで、図 2 に示すようなフローで、1990 年～2005 年まで、クラスター分析の分類結果が殆ど変化しないメッシュを標本メッシュとし、再度判別分析を行い、分類結果を校正した。この時、判別分析の手法として、線形判別、多項ロジスティック回帰、最短距離法、重み付最短距離法を試行したが、最短距離法が最も適合度が高く、95%を超えた。こうした手順によるクラスター分析の結果、図 3 に示す「持続類型」、「依存類型」、「限界類型」という 3 つの人口ピラミッドを有する地域類型に分類することができた。

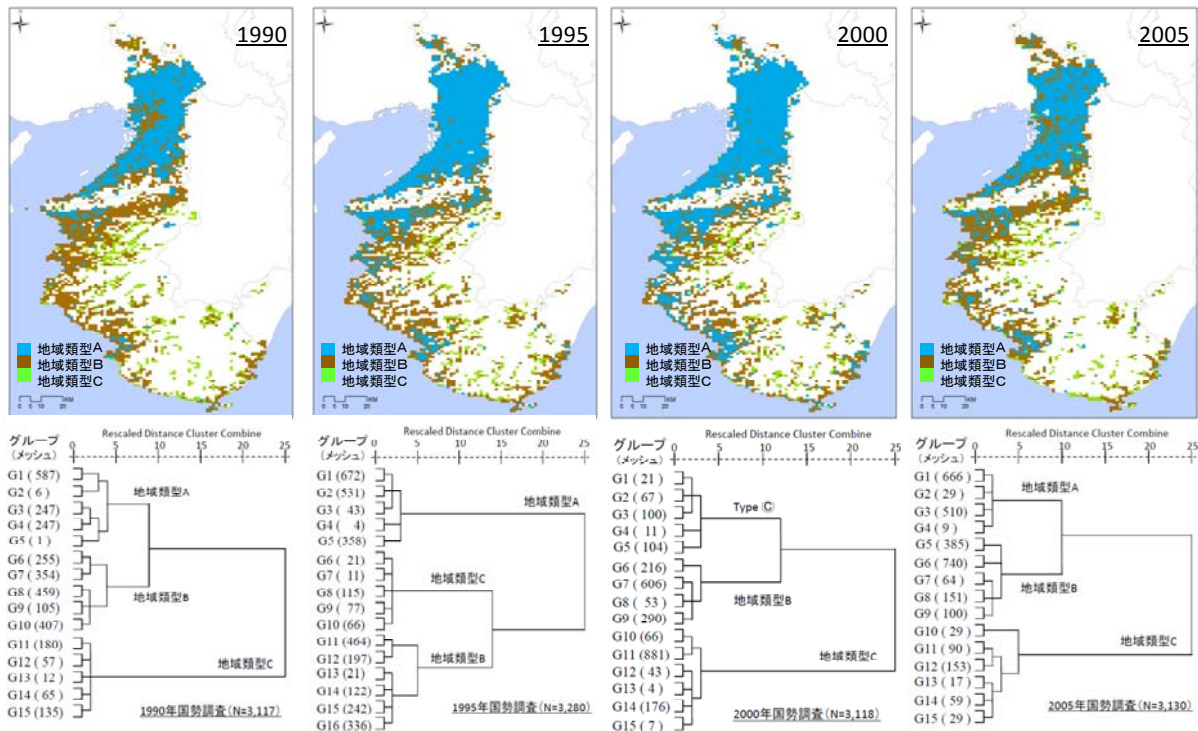


図 1 和歌山県・大阪府での人口構成比のクラスター分析結果。検討対象地域（大阪府・和歌山県）における図中の白色の箇所は国勢調査上は人口が 0 の地域。

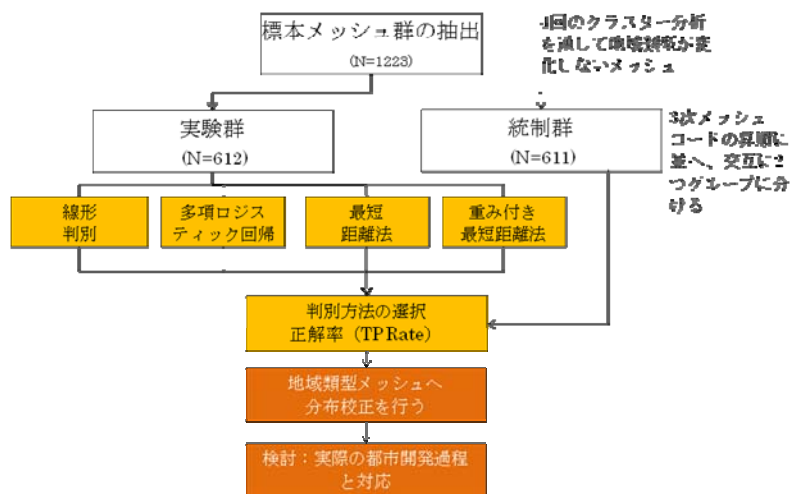


図 2 地域類型の分析手順。

c) 3つの地域類型

図3に示す各3つの地域類型の特徴は以下のとおりである。

i) 持続類型（地域類型A）

地域類型Aは、団塊の世代（1947-1949年出生）と団塊ジュニア（1971-1974年出生）を中心とした、生産人口が多い人口構成である。この地域類型Aでは、団塊世代を含む人口群が高齢化するとともに、高齢人口比が増加するが、20代～30代の人口は減少しない。これは、団塊世代の高齢化が進行しながらも、新たな生産人口が流入し、それに伴って次世代の新生児人口が増加するためである。それ故、将来に亘って人口が増加する「持続類型」と名づける。

ii) 依存類型（地域類型B）

地域類型Bは、1990年と1995年には、高齢者と20歳未満の人口が多いひょうたん型の人口ピラミッドを形成していた。しかし、2000年以降では、後期高齢者の人口が増える一方で、年少者の人口が激減するという釣り鐘型の人口ピラミッドになる傾向がある。すなわち、1990年には20歳未満人口がほぼ4分の1を占めていたが、1995年には20代から30代前半の人口は14.0%、2005年にはその人口は12.9%に減少しており、この世代の人口流出が生じた。さらに15～20代も含めた人口は、15年間で17.5%から11.8%にまで減少した。その理由は、こういった世代が教育や就職のため地域外に出て行ったためであると考えられる。すなわち、地域類型Bは、若い世代のための職場確保など、新たな生産人口が集まる機能を他の地域に依存している地域であり「依存類型」と名づける。

iii) 限界類型（地域類型C）

地域類型Cは、1925年から1930年までに生まれた世代を中心に構成されており、高齢化率が約40%を超える人口構成である。そのため、ダイヤモンド形の人口ピラミッドを形成する。高齢者は地域を出ることなく年をとる一方で、非高齢者は他地域へ出ていくことが多く、地域の高齢化が加速する。地域類型Cでは、生活やサービスの担い手が減ってしまうことから、こうした機能の提供が困難となることが予想され「限界類型」と名づける。

地域類型毎の人口ピラミッド（1990-2005）	人口変動特徴
<p style="text-align: center;">持続類型</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 団塊世代と団塊ジュニアの老化が進みつつ、若年人口が移入する • 若年人口と出生人口の確保によって、将来にわたって人口増加
<p style="text-align: center;">依存類型</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 教育や就職のため、20代から30代前半が転出 • 新たな生産人口が集まる機能を他の地域に依存
<p style="text-align: center;">限界類型</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 生活やサービスの担い手が減少 • ダイヤモンド形の人口ピラミッド • 激しい人口減少

図3 3つの地域類型ごとの人口ピラミッド。

d) 和歌山県・大阪府での地域特性の推移

地域類型の変化を明らかにするために1990年と2005年地域類型の分布結果を比較した結果を図4に示す。ここで、依存類型から持続類型になる地域メッシュは青色、限界類型になる地域メッシュは紺色で表示する。また、持続型から依存型になる地域メッシュは黄色、限界類型から依存型になる地域メッシュは赤色とする。類型が変化しない地域メッシュは灰色で表示する。前項c)で示した地域類型ごとの特性を踏まえ、以下に、人口構成の変動をもとにした地域発展過程を考察する。

青色で示す大阪市北区などの地域(①)では、1990年代以降の再開発事業等によって、事務所ビルだけでなく、集合住宅の建設がすすめられることによって、生産人口が増加し、依存類型から持続類型へと変化した。同様に、和歌山県の地方都市周辺にも青いメッシュが多く分布している。和歌山市、御坊市、有田市、白浜などの地域では1990年代に市街地が拡大し、さらにその周辺地域である日高町、岩出市、上富田町(図4の②)では、依存類型から持続類型へと変化した。

和歌山市中心と大阪市の西成区、大正区では黄色メッシュ(③)が多い。これらの地域は、市街地の中心部に位置しており、住民の老齢化と若年世代の生産人口流失によって、市街地が衰退する傾向にある。また、集合住宅団地が集中する千里ニュータウン(④)と地方郊外部(⑤)も黄色メッシュである。この地域は、1990年代当時40-45歳の団塊世代が中心であるが、この世代の老齢化が進むと同時の、その子世代が、他地域へ出て行ってしまっていることから、持続類型から限界類型に移行していると考えられる。

紀美野町などの山村部(⑥)では、赤色メッシュが多く、新たに限界類型になっている。

これに対し、川湯と熊野大社の周辺（⑦）では、紺色で示した限界型から依存型へ変化した地域がある。これらの地域では、観光産業が盛んになりつつあり、それを担う若い世代が集まることで過疎化に歯止めがかかっていると考えられる。

上記のとおり、クラスター分析の結果得た持続類型、依存類型、限界類型という地域類型は、実態を良く表している。

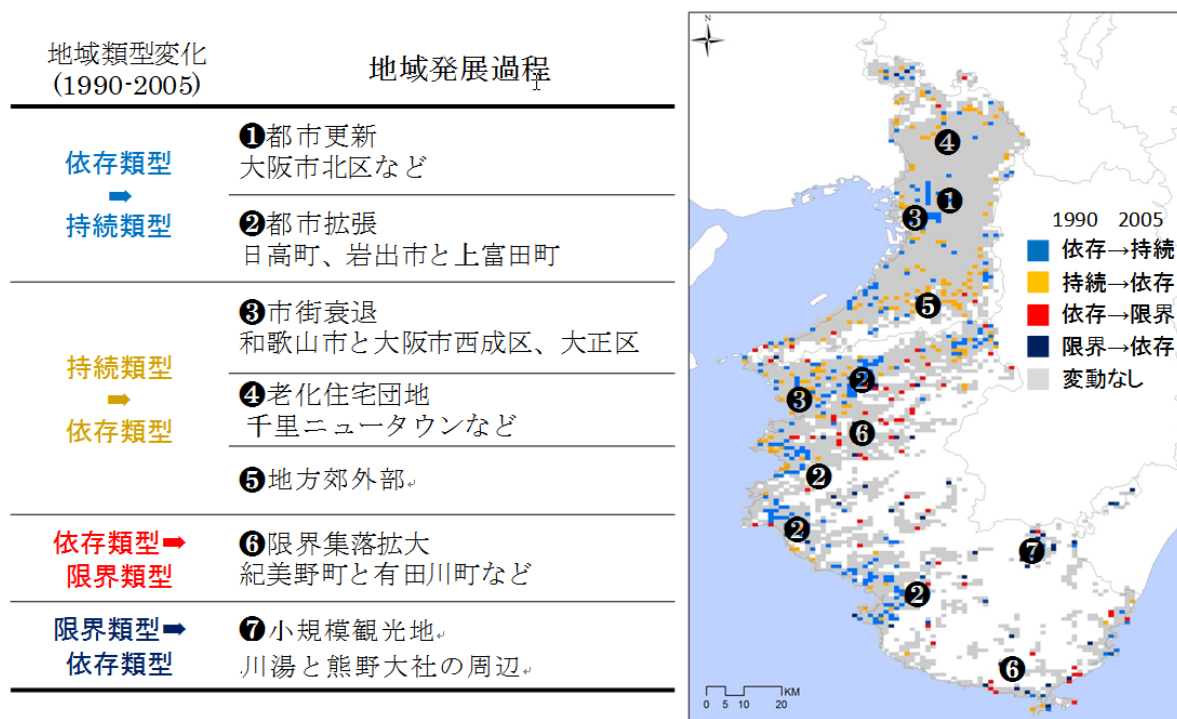


図 4 地域類型の変化。

e) 今後の課題

本年度は、和歌山県・大阪府の人口構成についてクラスター分析を行った結果、持続型、依存型、限界型という3つの地域類型に分類できることを示した。来年度以降では、全国を対象とするだけでなく、将来の人口推計に基づいた地域類型を行い、それぞれの地域類型に対して、東海・東南海・南海地震が発生するとされる頃の問題点を洗い出し、防災戦略の策定を行う。

2) 中山間地域における復旧・復興プロセス

a) 新潟県中越地震の教訓

1995年阪神・淡路大震災が都市での災害であったのと比べ、2004年中越地震は中山間地域の災害と位置づけられる。実は、こうした地域は、国土の7割を占めている。2004年中越地震に対する復旧・復興プロセスは、将来、他の中山間地域が震災を受けた際の復旧・復興策に生かしていく必要がある。本年度は、昨年度からの継続として、長岡市内の旧山古志村、小千谷市、川口町といった中山間地域の震災後の復旧・復興プロセスの分析を進めた。

b) 集落にもどるための支援、離れるための支援

2004年中越地震の被災地のうち、特に中山間地域では、過疎化・高齢化に加え、農業の衰退、さらには豪雪への対応など、中山間地域に留まり続けるために乗り越えなくてはならない課題が山積している。兼業農家においては、近隣の長岡市や小千谷市等の職場へ通勤しなければならないため、被災を契機として集落を離れる可能性が発災直後より懸念されていた。一方で、後期高齢者を中心とした世帯は、慣れ親しんだ地域を離れることなく年金を支えにしながらも田畑を耕しながら自給自足的な生活を望む場合も多かった。こうした二つの流れに対応した復興への道筋を描くことは、大きな困難を伴った。このことは自治体が被災者支援策として提示した事業メニューからも伺える。

被災地のなかでも孤立集落となった地域においては、自宅のある地域外に仮設住宅が建設され、仮設住宅での居住期限とされた2年間での自宅再建、生活再建の目処を立てるべく数々の対応がなされた。しかし、こうした仮設住宅を地域外に建設するまでは、ほぼすべての自治体で同様の措置が取られたが、その後の施策は自治体ごとに大きく異なった。

現在は長岡市山古志地区となった旧山古志村では、「帰ろう山古志へ」を目標として掲げ、14ある集落のうち甚大な被害を受けた6集落では、各集落が、山古志に戻って生活する意思のある世帯への支援のために集落再生計画を策定した。これに対し、長岡市は被災地の再建を自治体が支援できるように、もともと密集住宅地区等の環境改善手法として作られた小規模住宅地区改良事業を、中山間地域へ転用することで後押しした。その一方で長岡市は、これを機に旧山古志村を離れる人への支援はほとんど行われなかった。

これに対し、旧山古志の集落と同じく十村郷の一部であった東山地区などを有する小千谷市の対応は全く対照的であった。この東山地区の被災者に対しては、職場や学校への通勤・通学、さらには買い物や通院の利便性が高い市街地への移転を支援した。震災復興における住宅再建として、集団移転を希望する世帯の土地区画に対して災害危険区域（移転促進区域）指定するなど、中山間地域の集落を対象とした防災集団移転促進事業を実施し、「山を下りる」世帯の生活再建に対して支援が行われた。このように、復興に対する行政支援では、被災者の生活再建のために、既存制度を本来の目的から若干逸脱する形で運用せざるを得ないという問題点が浮き上がった。川口町においても集団移転を希望する小高集落に対して、小千谷市と同様の施策を講じた。しかし、小千谷市や川口町では、長岡市山古志地区とは異なり、元の集落での住宅再建を望む世帯に対して、住宅再建のための支援は行われず、あくまで自力再建とされた。

c) 支援による集落再建結果の差異

表1、2に長岡市旧山古志村、小千谷市東山地区の帰村率を示す。前前述のように長岡市旧山古志村では「帰ろう山古志へ」をキャッチフレーズに山古志村へ戻ることを、一方、小千谷市東山地区では「山を下りる」世帯に生活支援することが展開された。しかしながら、その結果はいずれの地域も帰村率は52%で同じである。すなわち、中山間地域では潜在的に地域を離れたたいという希望が存在し、災害は地域を離れる事の契機となっただけであり、復興施策の方向性に関わらず、従前から離れる希望を持つ人は集落を離れ、残る希望を持つ人は集落に残ったと考えられる。

表1 長岡市旧山古志村の帰村率。

	油夫	梶金	木籠	大久保	池谷	榑木	合計
震災前居住世帯	20	29	25	21	34	29	158
震災後居住世帯	9	20	16	12	13	12	82
帰村率	45%	69%	64%	57%	38%	41%	52%

表2 小千谷市東山地区の帰村率。

	塩谷	十二平	荷頃	蘭木	岩間木	首沢	朝日	寺沢	中山	小栗山	合計
震災前居住世帯	49	11	39	34	33	16	40	23	16	33	294
震災後居住世帯	20	0	11	14	19	5	27	20	16	21	152
移転世帯	29	11	18	20	14	11	13	3	0	12	131
集団移転世帯	15	10	9	11	0	7	4	0	0	0	56
個別移転世帯	14	1	9	9	14	4	9	3	0	12	75
帰村率	41%	0%	28%	41%	57%	31%	67%	87%	100%	64%	52%

3) 発電施設の被災による地域への影響評価

a) 重要社会基盤施設 (Critical Infrastructures) の定義

米国は 2001 年の同時多発テロの反省から、2003 年に重要基盤施設保護国家戦略 (National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructures and Key Assets) ²⁾を策定した。この戦略では、いったん被害を受けると重大な損失と広い影響をもたらす、或いは国の特徴を表す Power/Energy、Transportation、Emergency Service、Public Health、Postal and Shipping を重要基盤施設として定義している。このように重要基盤施設を定め保護する施策は、日本において東海・東南海・南海地震のような巨大災害による社会基盤施設保護の対策を定める際にも有効である。本年度は、まず、重要社会基盤施設のうち、全ての活動の基礎となる Power/Energy について、東海・東南海・南海地震による影響を評価した。

b) 影響評価ケース

東海・東南海・南海地震による Power/Energy の影響評価として、①南海地震が単独で発生するケース (南海単独)、②東海地震と東南海地震の震源域が連動したケース (東海・東南海)、③東海・東南海・南海地震が連動するケース (東海・東南海・南海) の 3 つのケースについて、国内の火力・水力・地熱・原子力発電所の震度暴露量を評価した。なお、各発電所の位置と発電量は国土数値情報を用いた。

c) 東海・東南海・南海地震発生時における電力暴露量

2007 年の日本の総発電量は 22793.5MkW であり、そのうち、火力発電による発電量が 65.9%を占める。火力発電所は、瀬戸内海から紀伊半島沿岸部、伊勢湾、東京湾の沿岸部に多く、火力発電による発電機数は 376 機と総数の 74.3%であり、最も多い。原子力発電所は日本海側に多く、総発電量は 21.7%である。水力発電は、総発電量の 12.1%であり、本州内陸の山地区域に分布する。こうした発電所の立地と、③東海・東南海・南海地震が

連動するケース（東海・東南海・南海）の想定震度分布を重ねて表記すると図6のとおりである。

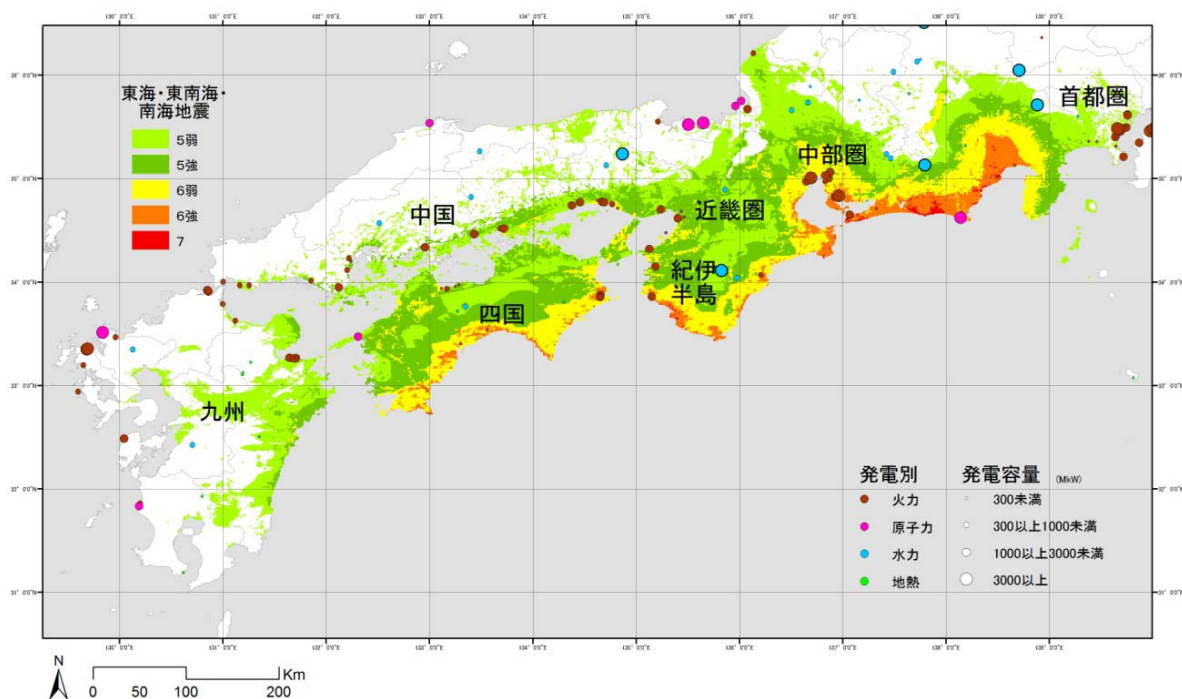


図6 東海・東南海・南海地震発生時の想定震度分布と発電施設の位置。

表3 東海・東南海・南海地震発生時の電力暴露量と総電力施設容量（供給可能量）の比較。

全国発電 総容量(a)	6弱以上 暴露量(b)	夏最大 電力*(c)	冬最大 電力**(d)	夏季剰余 (a-b-c)	冬季剰余 (a-b-d)
ケース① 南海地震					
22,793.5	1,283.8	18,269	15,910	3,240.7	5,599.7
ケース② 東海・東南海地震					
22,793.5	3,048.9	18,269	15,910	1,475.6	3,834.6
ケース③ 東海・東南海・南海地震					
22,793.5	4,525.2	18,269	15,910	-0.7	2,358.3

* 夏季最大電力：18,269MkW（2001年7月24日、電気事業連合会より）

**冬季最大電力：15,479MkW（2008年2月13日、電気事業連合会より）

単位：MkW（100万kW）

また、表3には、b)で示した①～③のケースについて、全国総発電施設容量（供給可能量）、震度6弱以上の揺れとなる地域に立地する発電所の電力暴露量、夏季と冬季の過去

最大発電量（需要量）および地震発生時の余裕電力量（供給可能量－電力暴露量－需要量）を示す。震度 6 弱以上の揺れにさらされる発電所の発電量は、ケース①南海地震により 1,633.8 MkW、ケース②東海・東南海地震により、3,048.9MkW、ケース③東海・東南海・南海地震により 4,875.2 MkW である。ケース③の場合、全国の発電量の 20%を超える。震度 5 以上の揺れにみまわれるのは、四国・伊方原原子力発電所（5 強、202.2 MkW）、山口県・上関原子力発電所（震度 5 弱、計画中）、静岡・浜岡発電所（震度 6 弱、488.4 MkW）の揺れを被り、690.6 MkW の暴露発電量となる。南海地震、東海・東南海地震、東海・東南海・南海地震の震度 6 弱以上の火力、水力、原子力の発電施設のすべてに対する暴露発電量は、合わせて 1633.8 MkW、3048.9 MkW と 4875.2 MkW となり、全国発電量の 7.2%、13.4%と 21.4%を占める。

電気事業連合会の統計によると、電力需要は夏期と冬期に多く、過去最大の発電量は、夏季では 18,269 MkW（2001 年）、冬季では 15,910 MkW（2008 年）であった。震度 6 以上の揺れに見舞われる発電所は長期に停止するとの仮定では、表 3 に示すとおり、東海・東南海・南海地震発生時には、夏期の電力消費量をまかなえない可能性があることが分かる。ただし、災害の影響により電力需要が低下する可能性があるため、より詳細な検討が今後必要である。

4) 津波による長期湛水被害後の復旧・復興戦略の構築

a) 「長期湛水」による被害像・災害対応戦略検討ワークショップ

今世紀前半に起こると予想される南海トラフ地震では、高知市で 2m 程度の地盤沈降が生じた後に大きな津波を受け、その後、長期間湛水することが懸念される。都市における「長期湛水」は、長期にわたる避難生活や経済活動の停止等、社会に大きな影響を与える。しかし、これまで詳細な被害予測、社会的影響の評価、災害対応戦略に関する検討は行われていなかった。そのため、2010 年 12 月 16 日（水）～17 日（木）に、高知県庁において海溝型地震に伴う「長期湛水」についての被害像・災害対応戦略について検討を行うワークショップを開催した。ワークショップの参加者は、本研究課題の担当研究者（6 名）と高知県、高知市の防災担当職員（6 名）の計 12 名であった。



写真 1 高知県庁で開催したワークショップの様子

b) 湛水被害の評価

馬場³⁾らが実施した南海地震による地盤沈降解析結果と平成17年度国勢調査地域メッシュデータ(2005)からは、平均的な満潮面よりも低い地域には約13万人、平均海面以下の地域には約9万人、平均的な干潮面より低い地域には約3万人が、現在居住していることが明らかになった。これに加えて、地盤沈降結果と長期湛水が予想される地域の都市施設を重ね合わせた資料(図7)を基に、ワークショップでは、想定される社会的影響について議論し、湛水被害を評価した。

長期湛水における高知市重要施設分布図

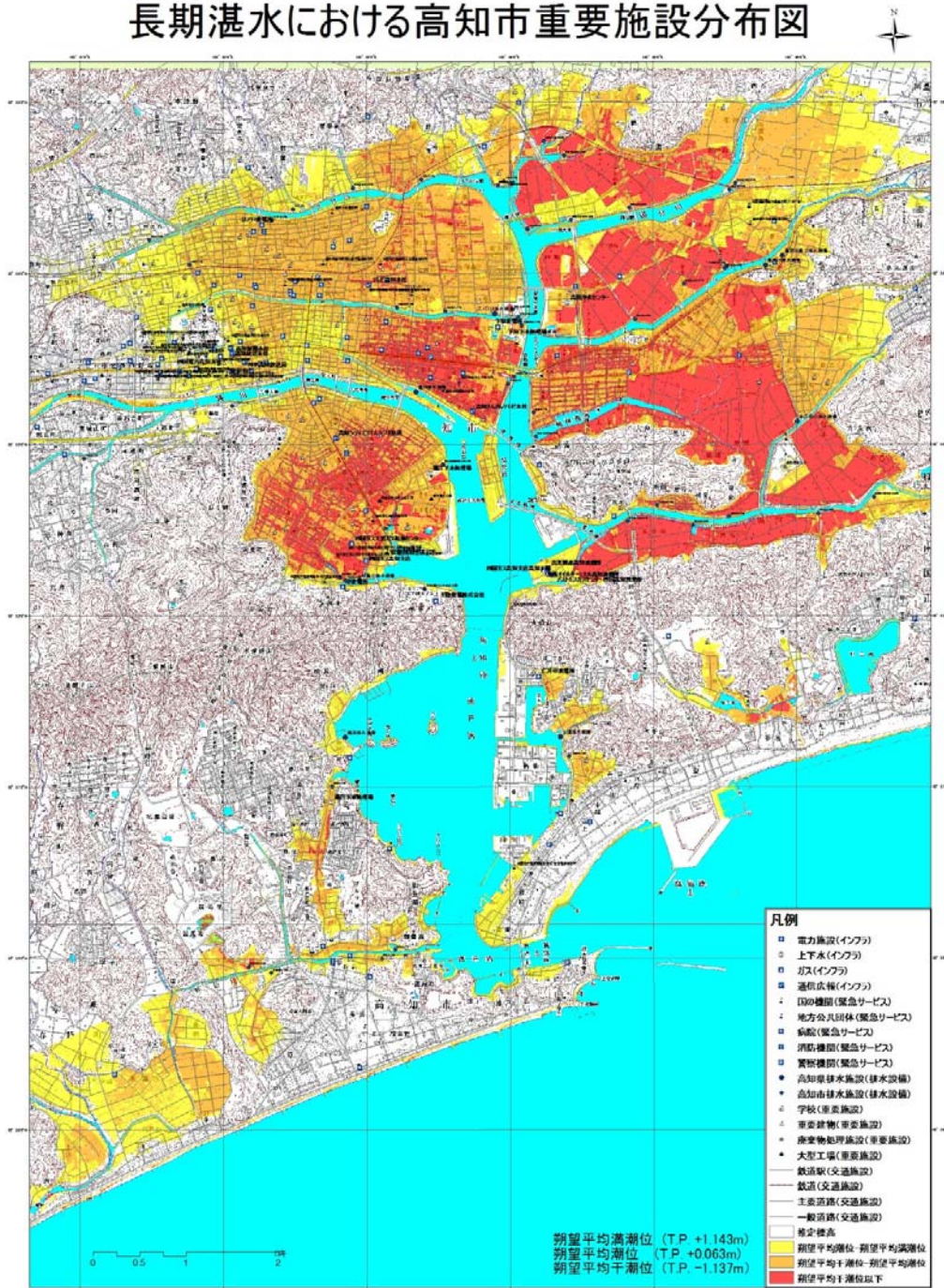


図7 高知市における長期湛水被害の状況。

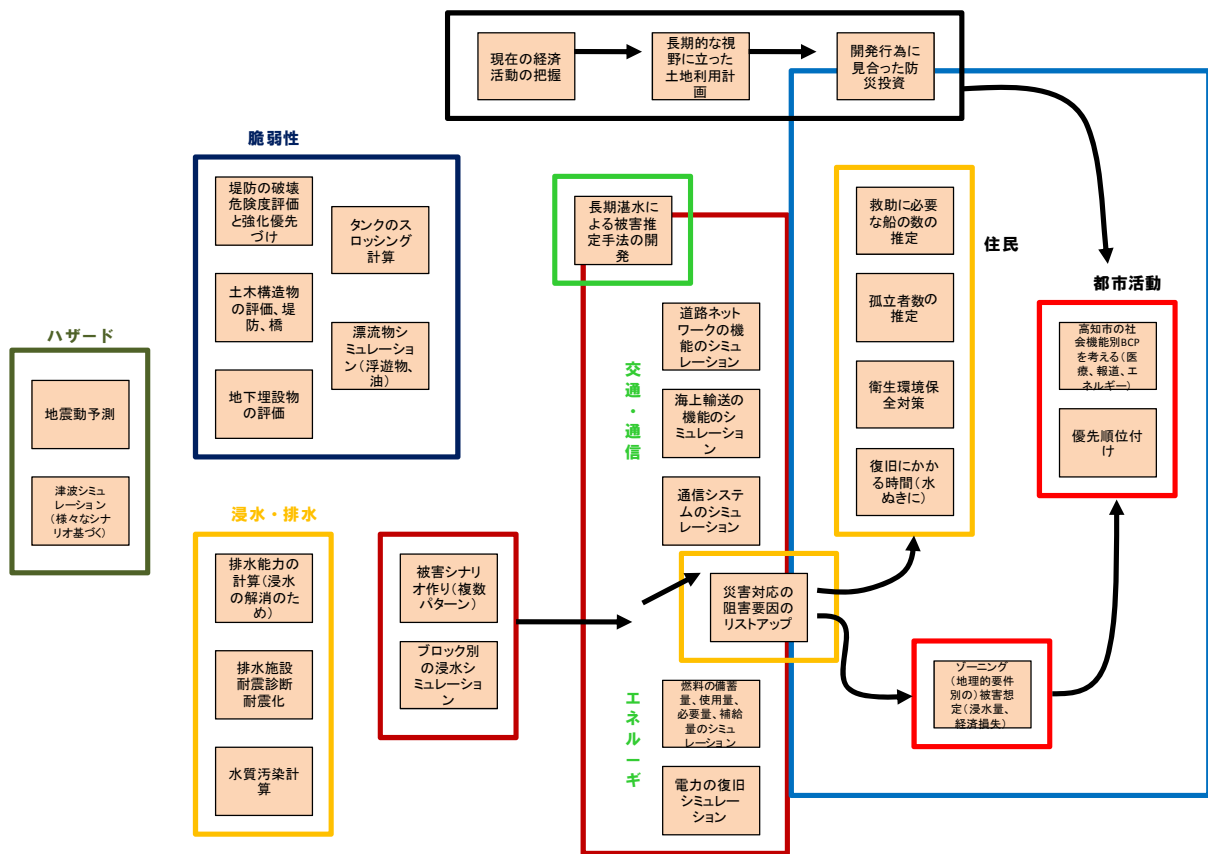


図 8 長期湛水による被害像。

c) 緊急対応、復旧・復興戦略の検討

さらに、ワークショップでは発災後の対応についても議論し、72時間（3日間）に想定される現象とその緊急対応（図 9）、その後しばらくの応急対応（図 10）、復旧・復興戦略（図 11）を検討した。

高知市では、昭和南海地震時の被害状況に関する資料が残されており、高台から市街地を撮影した写真も残されている。それらと現状を比較すると、昭和南海地震によって浸水被害が発生した農用地にまで市街地が現在拡大しており、昭和南海地震時にはなかった地域で想定される被災者・被害への対応が必要となることを確認した。また、過去には、あえて浸水を許容し、市街地の被害を軽減するバッファとしての機能も担うことのできた箇所が減少したことで、従来からの市街地にもより深刻な被害が生じる可能性もある。さらに、土地標高の低い地域では排水機場の整備などによって対策が講じられているが、設備の経年劣化に伴い災害発生時には地震の揺れによる損壊の恐れもある。その場合には海水面の干満によって浸水域が断続的に変動し、復旧作業等にも影響を及ぼす可能性もある。こうした被害に対しては、被害状況の早期把握を最優先とすること、被害の拡大を防止するためにエリアを限定して集中的に緊急対応を行うことなどを緊急対応の基本方針とした。なお、浸水対策として「土のう積み」はプリミティブであるが、効果的な応急対応であることから、幹線道路の交通を確保するために道路周囲を土のうによって防御する対策も有効であること、さらに、土のう積みは、状況に応じて被災者の手も借りることも検討すべ

きと確認した。

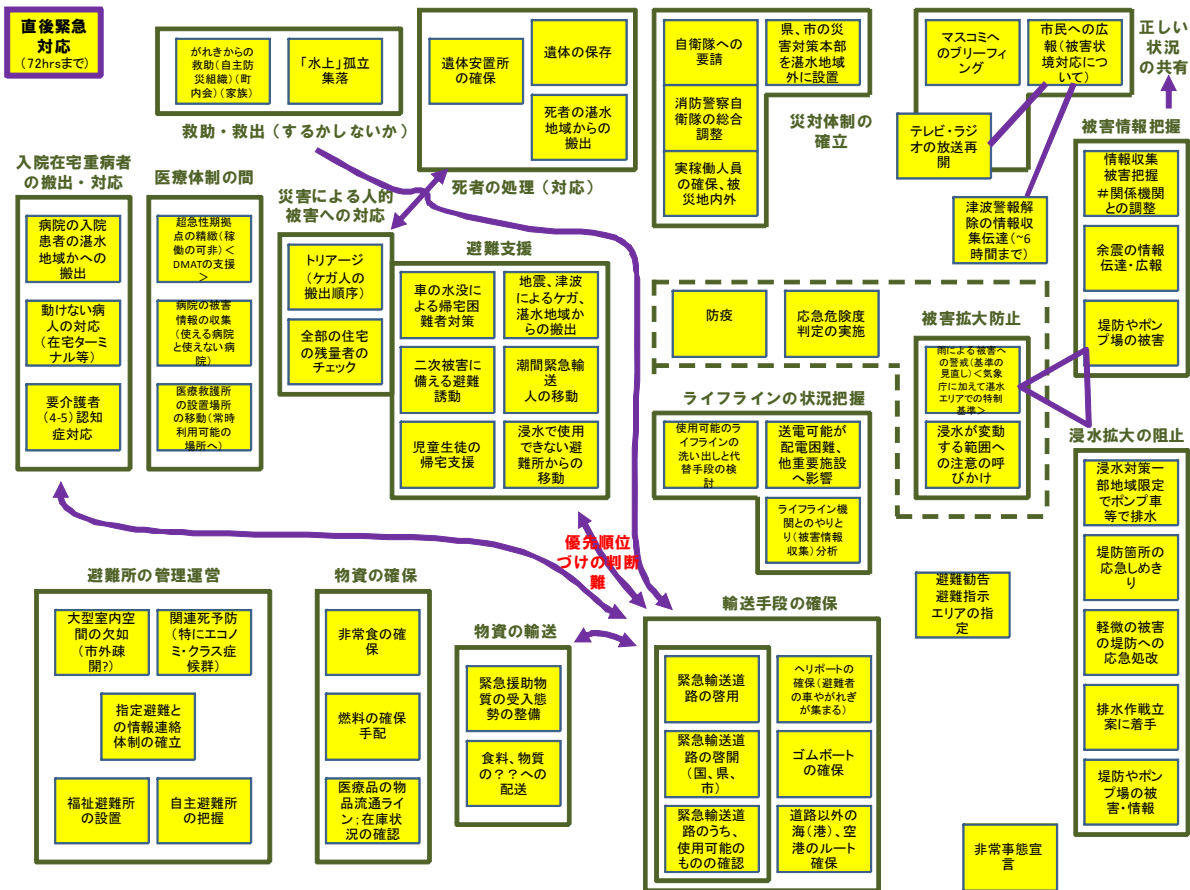


図 9 緊急対応時の課題。

高知市では、地震による強い揺れで被害が発生することに加え、津波による被害が重層的に発生する。そのための応急対応策では、地震のみの場合と比べて、利用可能な資源が限定される。特に、避難生活は高台で送ることが望ましく、平常時の土地利用には比較的余裕のある地方都市とはいえ、発災直後からの時間的制約の中、応急対応のための計画と運用策を決定するためには、迅速かつ的確な判断が求められることを確認した。また浸水時には多くの瓦礫が発生することが想定されるが、その処理に関しては処分場・処分方法など衛生面・環境面から多面的に検討する必要がある、災害発生後にゼロから計画するのではなく、ある程度事前の検討も必要であることを確認した (図 10)。

また、復旧・復興戦略についても議論を行い (図 11)、長期的な視点で見た場合、高知市は今後も南海地震が発生するたびに長期湛水被害に見舞われる事が予想されることなどから、都市機能の移転についても検討する必要があること、さらには湛水被害時にどのようにして企業活動を継続するのかということも重要な課題として挙げた。

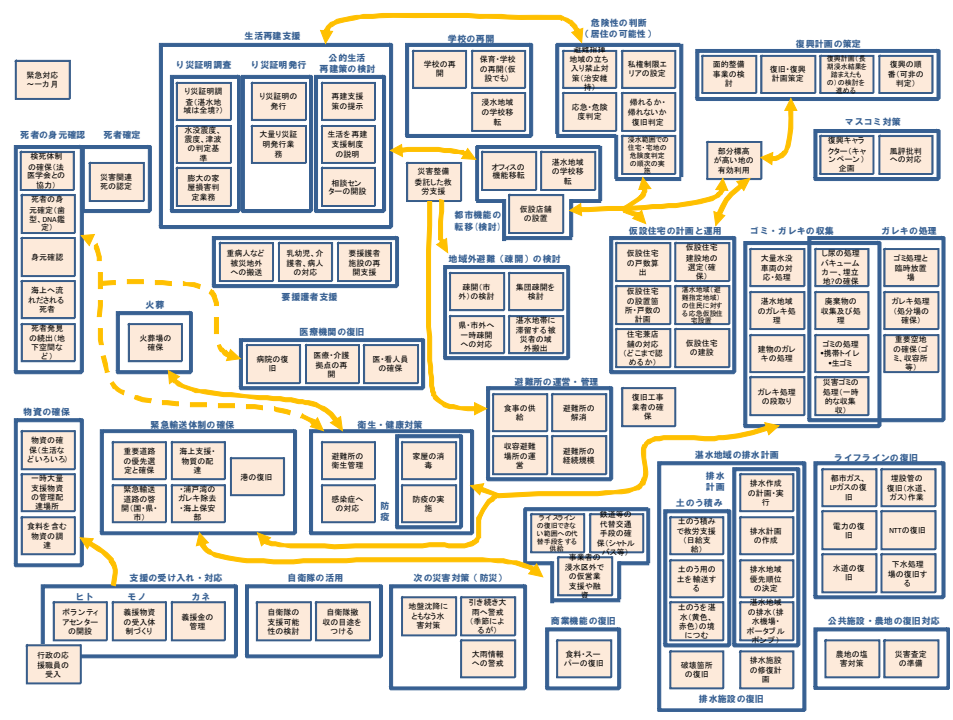


図10 応急対応時の課題。

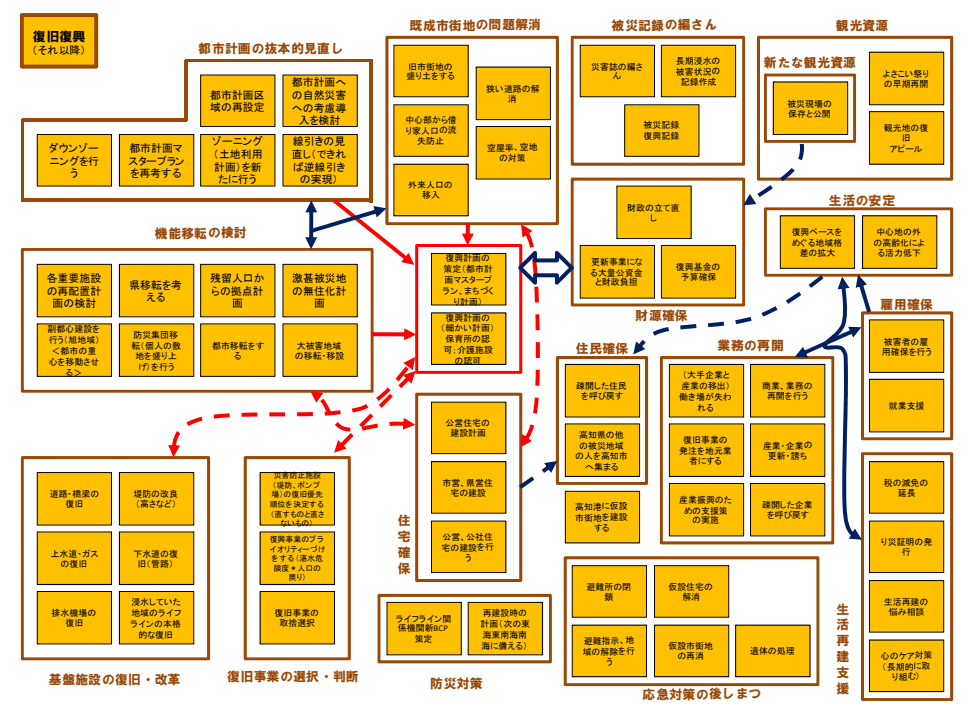


図11 復旧・復興時の課題。

d) 津波と長期湛水被害からの国内外の復興事例

高知市は南海地震が発生するたびに地盤沈降に見舞われており、最も古い記録は684年白鳳の南海地震にまで遡る。日本書紀に「土佐国田苑50万余頃没為海」とあり、白鳳南海地震により高知市東部が水没したことこの記録とされる⁴⁾。その後も宝永南海地震では「高潮は3年を経て治定せし・・・」、安政南海地震では「浦戸港内、地潮より3尺4、5寸高

となり城東新町下知一圓海となる」とあるように⁵⁾、南海地震ごとに地盤沈降とそれに伴う湛水被害に見舞われている。1946年12月21日午前4時15分に発生した昭和南海地震でも高知市は地盤沈降と津波に伴う長期湛水被害に見舞われた。浸水は市街地にも及んだが、当時は国分川右岸はそれほど開発されておらず、湛水した地区のほとんどは田地であった。復旧作業は、災害発生6日目の12月25日から堤防の締め切り工事が開始され、20日後の1月8日に仮締め切りが完了した。そして、ほぼ1ヶ月後の1月下旬には市街地の排水は完了している。しかしながら、田地については災害から2ヶ月が経過した2月10日になっても湛水が継続している様子が記録されている。

また、日本で発生した近年の長期湛水事例としては伊勢湾台風がある。愛知・三重・岐阜では、1959年9月26日、伊勢湾台風にもなう高潮による堤防決壊により長期湛水被害が発生した。各地域の湛水期間を見ると、最も長いところでは3ヶ月にわたって湛水被害が継続した。伊勢湾沿岸は海拔より標高が低い地域が広がっており、高潮により浸水した水は自然に排出されず、復旧工事は、1) 堤防の仮締め切り、2) 排水という手順で実施された。多くの場所で破堤が発生したため、国と県だけでは対応する事ができず、自衛隊も堤防の締め切り・排水事業を行った。都道府県を超えて被害が発生したことから、復旧作業を一元的に調整し「被災現地において、その実状に即した強力、迅速、機動的な復旧対策を行う必要があるため」副総理を本部長とする中部日本災害対策本部が設置された⁶⁾。愛知県では湛水地域では大潮時に人的被害が発生する恐れがあることから、湛水地域に対する避難勧告が発令され集団避難が実施された⁶⁾。また、三重県ではヘリコプターを利用し、孤立した被災者の救出が実施された。湛水被害が継続した名古屋市の南部に位置する海部郡や、三重県の木曾岬村・長島町では2ヶ月に渡って避難生活が継続した。

長期湛水の影響と対策を考える上で、最近の事例として2005年8月にアメリカ東部を襲ったハリケーンカトリーナによるニューオーリンズの被害が参考となる。市域の7%が海拔0m、49%が0m以下⁷⁾という低地に位置するニューオーリンズ市では市域の80%が冠水するという大きな被害が発生した⁸⁾。ハリケーン上陸1日前に、市長は避難命令(Mandatory Evacuation Order)を出したが、市内に残る人も多く、市内に取り残された35,000人の浸水地域からの救出作業がヘリコプター・バス・航空機を利用して実施された。救出作業はハリケーン上陸4日後の8月31日から開始され、6日後の9月3日に完了した⁹⁾。災害直後に市域全域を立ち入り禁止としたが、発災からほぼ1ヶ月後から被害が小さかった地区から順次、住民の帰還が実施された。被災者の移送と同時平行で、破堤箇所の仮締め切りが実施され、破堤した堤防に対する陸上からのアクセラ道路が無い場合、ヘリコプターを利用した土嚢投下を実施し、仮締め切りが行われた。ハリケーン・リタの上陸のため再度、破堤するという事態も発生したが、10月11日までにすべての排水作業が完了している。

(c) 結論ならびに今後の課題

1) 南海トラフ地震の推定被災地域の地域特性の分析

人口分布に基づく地域類型手法の開発を進めた。また、この手法を用いて、1990年から2005年までの計4回の国勢調査地域メッシュ統計資料をもとにした人口構成比のクラスター分析により、大阪府・和歌山県の地域類型をおこなった。さらに、その地域類型をもとに、地域人口変動パターンの分析を進めた。今後の課題は、本手法を用いて東海・東南

海・南海地震の被災エリア全域において地域類型を実施すること、さらには将来の人口推定結果を利用して地域類型を行うことである。

2) 中山間地域の規範となる復旧・復興プロセスの策定

長岡市旧山古志村では集落に戻ることに重点をおいた支援が行われたのに対し、川口町や小千谷市では集落を離れるための支援が行われた。しかし、こうした異なる支援施策に関わらず、両者での集落の残留率に大きな違いはなかった。すなわち、災害前から集落を離れる意志のある人は、災害を契機にして集落を離れてしまう傾向があった。それ故、中山間地域では、被災集落をどのようにするのか事前に方針を立てておくことも重要である。

3) 重要社会基盤施設としての発電施設についての地域への影響評価

震度6以上の揺れに見舞われる発電所は長期に停止すると前提に基づき、発電施設容量（供給可能量）と夏期・冬期の最大消費電力量（需要量）との比較を行った結果、東海・東南海・南海地震の影響は甚大であり、夏期の電力消費量をまかなえない可能性があることが明らかになった。

今後、災害の影響や将来の人口減少によって電力需要が低下することなどを考慮した発電施設への影響の検討、また、電力以外の重要社会基盤施設についての検討が必要である。

4) 津波による長期湛水被害後の復旧・復興戦略の構築

高知市における地盤沈降による影響について分析を行い、平成17年度国勢調査に基づく、平均的な満潮面よりも低い地域には約13万人、平均海面以下の地域には約9万人、平均的な干潮面よりの低い地域には約3万人が、現在居住していることが明らかになった。また、長期湛水被害に対する緊急期（発災後72時間以内）、応急期、復旧・復興対策における課題の抽出を行った。今後は、他地域のリージョナルクラス都市での復旧・復興戦略の構築を進めていく必要がある。

(d) 引用文献

- 1) 太田和良・片家康裕・坂口歩・中瀬元浩・澤田雅浩・近藤伸也・福留邦洋・渡辺千明：紀伊半島における中山間地集落の孤立化と自立性に着目した防災力評価手法の検討—東海・東南海・南海地震への戦略的な防災対策の一環として—、日本建築学会総合論文誌 No.6, pp.117-121, 2008.
- 2) The White House: National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructures and Key Assets, Department of Homeland Security, 2003.
- 3) 馬場俊孝・金田隆行:南海地震の地殻変動による高知市の海拔ゼロメートル地帯の拡大、日本地震学会 2009 年秋季大会梗概集, pp.1-62, 2009.
- 4) 震災予防調査会：大日本地震史料, 思文閣, 1904 (1973 復刻版) .
- 5) 岸上冬彦：第六・土佐において大地震に伴った土地の隆起沈降の復奮について, p95, 高知県, 南海大震災誌, 1949.
- 6) 三重県：伊勢湾台風災害誌, p213, 三重県, 1961.
- 7) Richard Campanella: Geographies of New Orleans; Urban Fabrics Before the Storm, Center for Louisiana Studies, p64, 2006.
- 8) 林春男・他：ハリケーン「カトリーナ」災害に対する米国の危機対応, 地域安全学会論文集, No.8, pp.225-233, 2006.

9) White House: The Federal Response to Hurricane Katrina Lesson Learned, White House, p39, 2006.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
災害対策基本法の総合性、計画性と巨大災害への対処—21世紀前半の巨大時代を踏まえた災害対策のあり方—	牧 紀男	地域安全学会論文集、No.12（電子ジャーナル論文）,No.8	2010
Population Exposure to Tonankai-Nankai Earthquake Under the Consideration of Population Transition in 2030（口頭）	Chen, H.-L., N. Maki, and H. Hayashi	Proc. International Symposium on City Planning	2009
Response to Possible Earthquake Disaster in the Tokai, Tonankai, and Nankai Areas, and their Restoration/Reconstruction Strategies	Maki, N., H.-L. Chen, and S. Suzuki	Journal of Disaster Research, Vol.4, No.2, pp.142-150.	2009

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
東海・東南海・南海地震被災想定・地域社会構造データベース	東海・東南海・南海地震の発生が予測されている2030年以降の社会構造、地域分類等の分析を行うための基礎データをGISデータベースとして構築

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 22 年度業務計画案

平成 21 年度までに構築した社会状況 GIS データベース、および各地の地域研究会での社会対応力に関する議論に基づいて、将来の社会状況シミュレーションに必要となるデータを整備し、東海・東南海・南海地震による推定被災地域の類型化を完成させる。推定被災地域のうち各県庁所在地等の幾つかの生活圏に影響を与えるリージョナルクラス都市を対象として、復旧・復興シナリオを検討する。また、本サブプロジェクトのサブテーマ(1)「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」による成果をもとに、東海・東南海・南海地震の連動発生により社会が受ける影響を明確化する。特に、今後 30 年以内に「最悪シナリオ」にもとづき東海・東南海・南海地震が発生した場合について、被災地域が社会全体に与える影響を総合的に評価する。

具体的には、以下の検討を実施する。

1) 東海・東南海・南海地震による推定被災地域の類型化

平成 21 年度に進めた「持続型」、「依存型」、「限界型」という 3 つの地域類型を東海・東南海・南海地震の被災地域全体に適用するとともに、メッシュ単位での将来人口を推計し、将来人口に基づく地域類型を実施し、地域類型毎の災害対応、復旧・復興戦略策定のための基礎的データを完成させる。

2) リージョナルクラス都市を対象とした復旧・復興シナリオの検討

平成 20 年度の中山間地域、平成 21 年度の長期湛水被害による被害を受ける高知市における復旧・復興シナリオの検討に引きつづき、東海地域を対象に幾つかの生活圏に影響を与えるリージョナルクラス都市を対象に復旧・復興シナリオの検討を行う。

3) サブテーマ(1)「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」に基づく総合評価

本年度までの研究では、内閣府中央防災会議による東海・東南海・南海地震による震度分布の評価結果に基づき、将来人口を踏まえた暴露人口評価、重要社会基盤施設の影響評価を実施してきたが、平成 22 年度ではサブテーマ(1)「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の研究成果をハザード情報として用いた評価の実施を行う。

3.5. サブプロジェクト(1)の研究成果の活用および地域研究会の開催

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成21年度業務目的

(2) 平成21年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 地震動及び津波シミュレーションに向けた詳細な海底地形モデルの構築
 - 2) 浅層部分の軟弱地盤による増幅率のモデル化
 - 3) 地域研究会の開催・運営
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成22年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	プロジェクト リーダー	金田 義行
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究主任	大堀 道広
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	特任技術研究 副主任	中村 武史
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	特任技術研究 副主任	チ タ ク セクチン
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術副主任	馬場 俊孝

(c) 業務の目的

地震津波シミュレーションの高度化のために、サブプロジェクト①「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」と連携し、海陸統合地下構造探査モデルに基づいて、地震・津波シミュレーションのための高精度3次元差分計算用地下構造モデルを作成する。加えて、強震記録に基づく浅層軟弱地盤による増幅率の面的なモデル化を行う。南海トラフの巨大地震の連動性の啓蒙を図るとともに、広域な災害発生に対して地域社会が有する減災・復旧復興への対応力とその実力を認識・共有するために、自治体、ライフライン事業者、建設業者、ボランティア団体から構成される地域検討会を設置・運営する。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成20年度：

反射法・屈折法構造探査結果、震源分布結果、レーザバ関数解析結果を基に、東海・東南海・南海地震震源域周辺における堆積層の厚さ・地殻・マンツルの形状を陸海域で統合化し、3次元差分計算のための初期的な地下構造モデルを構築した。大阪平野・濃尾平野を包含する領域より、地震動の短周期成分の増幅特性の評価に必要な強震記録と浅層地盤データを収集・整理するとともに、浅層軟弱地盤による増幅率を推定するための予備解析を行った。プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会の立ち上

げを高知市、大阪市、名古屋市で行い、各地において地域研究会をそれぞれ 2 回開催した。また、1 回目の地域研究会では、地域研究会の趣旨およびプロジェクトの周知も兼ねた（地域研究会の参加者も含む）一般市民向けのミニシンポジウムを開催した。関連して、名古屋圏に位置する四日市市でも地域特性を話題とした講演会を開催した。

2) 平成 21 年度 :

平成 20 年度に作成した地下構造モデルに、シーブーム探査による分解能 50m 程度の海底形状および関西圏地盤情報データベースを用いた詳細な浅層地盤情報を組み入れ、地震動シミュレーション、津波シミュレーション、及び地震一津波連成シミュレーションへの適用が可能な高精度陸海地下構造モデルを構築する。また、構築したモデルを分析し、海底地滑りを引き起こす可能性の高い海底急傾斜地や、大津波発生の可能性の高い分岐断層を評価する。木造家屋等の低層構造物の被害推定を精度良く実施するために、短周期地震動を強く増幅する浅層地盤構造の応答特性と地震波入射の方位依存性、地震依存性を、平成 20 年度に収集した強震観測記録に基づいて評価する。また、大阪において過去の地震被害の資料収集を引き続き実施する。

各サブプロジェクトの結果から、過去の南海トラフ地震で発生した地震と津波の全貌をまとめ、地域研究会で成果を報告する。研究成果の利活用、地域における地震防災の取り組み・実情などについて意見交換を行うとともに、地域サイド側からの研究プロジェクトへの要望をまとめ、地震津波防災・減災対策研究にフィードバックする。

3) 平成 22 年度 :

サブプロジェクト①による南海地震の震源域および日向灘地震の震源域周辺の構造探査結果を既に構築した海域地下構造モデルに統合し、地震動及び津波シミュレーションと被害予測のための、高精度陸海統合地下構造モデルを作成する。強震動シミュレーション結果の地盤増幅補正と面的な震度分布の作成において必要となる広域の表層地盤増幅モデルを作成する。地域研究会において、本サブプロジェクトの検討結果を紹介するとともに、連動型巨大地震発生前、発生時、発生後、それぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき優先事項や時間を追ったシナリオに整理した防災・復旧復興方策について議論する。

4) 平成 23 年度 :

前年度に引き続き、サブプロジェクト①による南海地震の震源域および日向灘地震の震源域周辺の構造探査結果を海域地下構造モデルに統合するとともに、サブプロジェクト①のサブテーマ「地震発生シミュレーション研究」により得られた連動発生シナリオの強震動・津波シミュレーション・被害予測のための、高精度陸海統合地下構造モデルを完成させる。さらに、高精度陸海統合地下構造モデルを、都市部周辺の深部地下構造モデルと融合し、長周期地震動のシミュレーションを行うとともに、表層地盤増幅モデルとの併用による広帯域強震動の評価を行う。連動型大地震発生前・発生時・発生後それぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき事項を時間シナリオとして整理した、防災・復興復旧方策を地域研究会に提示する。

5) 平成 24 年度 :

本サブプロジェクトの研究成果を総括し、地震・津波災害マップ、ハザードリスク、復興復旧マップを作成する。連動地震による平野と建物の長時間にわたる揺れと被害、そして津波による沿岸構造物の被害と浸水・河川への遡上などが起こす一連の複合災害を、時間を追って示すアニメーション教材を作成し、DVD や Web などを通じて公開する。

(e) 平成 21 年度業務目的

平成 20 年度に作成した地下構造モデルに、シービーム探査による分解能 50m 程度の海底形状および関西圏地盤情報データベースを用いた詳細な浅層地盤情報を組み入れ、地震動シミュレーション、津波シミュレーション、及び地震―津波連成シミュレーションへの適用が可能な高精度陸海地下構造モデルを構築する。また、構築したモデルを分析し、海底地滑りを引き起こす可能性の高い海底急傾斜地や、大津波発生の可能性の高い分岐断層を評価する。木造家屋等の低層構造物の被害推定を精度良く実施するために、短周期地震動を強く増幅する浅層地盤構造の応答特性と地震波入射の方位依存性、地震依存性を、平成 20 年度に収集した強震観測記録に基づいて評価する。また、大阪において過去の地震被害の資料収集を引き続き実施する。

各サブプロジェクトの結果から、過去の南海トラフ地震で発生した地震と津波の全貌をまとめ、地域研究会で成果を報告する。研究成果の利活用、地域における地震防災の取り組み・実情などについて意見交換を行うとともに、地域サイド側からの研究プロジェクトへの要望をまとめ、地震津波防災・減災対策研究にフィードバックする。

(2) 平成 21 年度の成果

(a) 業務の要約

本年度は、東南海地震の震源域周辺における海域を中心に、解像度 25 m – 100 m メッシュのシービーム探査による海底地形データをコンパイルした。沿岸部を除く沖合の海域について、現在公開されている海底地形データより分解能が高く、地震動及び津波のより高精度な波動伝播シミュレーションへの適用を目的とした海底地形モデルを構築した。構築した海底地形モデルを用いて、東南海地震の震源域周辺における斜度を計算し、地震時に海底地滑りを引き起こす可能性の高い海底急傾斜地のマッピングを行った。また、既往の研究論文から大津波発生の可能性の高い分岐断層を抽出し、地震動及び津波シミュレーションに必要な情報をまとめた。大阪平野、濃尾平野を包含する領域に対して、昨年度収集した強震記録に基づき、地震動の短周期成分の増幅率の評価を実施した。大阪平野に関しては、上町台地周辺や人工島など地盤特性が特徴的な地域を選定して、関西圏地盤情報データベースを用いた詳細な浅層地盤モデルの構築を行った。プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を高知市で 2 回、大阪市で 1 回、名古屋市で 1 回、それぞれ開催した。地震調査研究ならびに地域研究会に対する意見・要望を抽出するために、参加者を絞り込んだ分科会を、高知市で 1 回、大阪で 2 回、名古屋で 1 回、それぞれ開催し

た。この他、津波災害が共通して懸念される三重県南部と和歌山県南部の防災関係者との情報交換と議論を深めるために、紀州分科会と紀州講演会を開催した。

(b) 業務の成果

1) 地震動及び津波シミュレーションに向けた詳細な海底地形モデルの構築

フィリピン海プレートが西南日本に年間数 cm の速さで沈み込んでいる南海トラフにおいては、100 年から 150 年の周期で M8 クラスの巨大地震が繰り返し発生している。プレートの沈み込みに伴い、トラフ周辺で海底地形が複雑になっており、沿岸から 100 km 離れた海域で水深が一気に 4000 m を超える地形変化の激しい場所も存在する。海底地形の空間的な変化は地震波や津波の励起・伝播に影響を及ぼすため、海底地形の詳細なモデル化は地震波や津波の高精度なシミュレーションを行う上で重要である。一方、南海トラフのある海域のなかでも東南海地震の震源域である熊野灘においては、海底地震観測をはじめとする各種研究目的のために海底地形調査が繰り返し行われており、詳細な海底地形データが既に多く得られている [例えば、海洋研究開発機構による調査航海：番号 YK00-10 Leg1¹⁾、YK00-10 Leg2²⁾、KY02-12³⁾、KY06-04 Leg1⁴⁾、KY06-04 Leg2⁵⁾、KY06-13 Leg1⁶⁾、KY06-13 Leg2⁷⁾、KY07-06 Leg1⁸⁾、KY07-06 Leg2⁹⁾、KY07-11¹⁰⁾]。そこで本報告では、東南海地震の震源域を対象域として、既往の海底地形調査結果をコンパイルし、地震動及び津波の波動伝播シミュレーションのための海底地形のモデル化を行った。

モデル化のために用いたデータは、海洋研究開発機構が所有する調査船を用いた航海 YK00-10 Leg1¹⁾、YK00-10 Leg2²⁾、KY02-12³⁾、KY06-04 Leg1⁴⁾、KY06-04 Leg2⁵⁾、KY06-13 Leg1⁶⁾、KY06-13 Leg2⁷⁾、KY07-06 Leg1⁸⁾、KY07-06 Leg2⁹⁾、KY07-11¹⁰⁾におけるシービーム探査による海底地形データである。調査海域における水深や調査範囲により、メッシュサイズは 25 m から 100 m まであり、JODC（日本海洋データセンター）などで公開されている 500 m メッシュのデータと比べ、沖合の海底地形データとして非常に高精細なデータである。図 1 に海底地形調査結果をコンパイルして得た詳細な海底地形データの範囲を示す。A、B、C、D 領域は 25 m メッシュ、水深の深い E 領域は 50 m メッシュのデータである。さらにこれら 5 つの領域を全体的にカバーする F 領域は 100 m メッシュのデータである。500 m メッシュのデータでは平均化されてはつきりと示されていなかった海底谷や海山など（例えば、図 1 領域 A 中のコンター）を詳細な海底地形データから確認することができる。

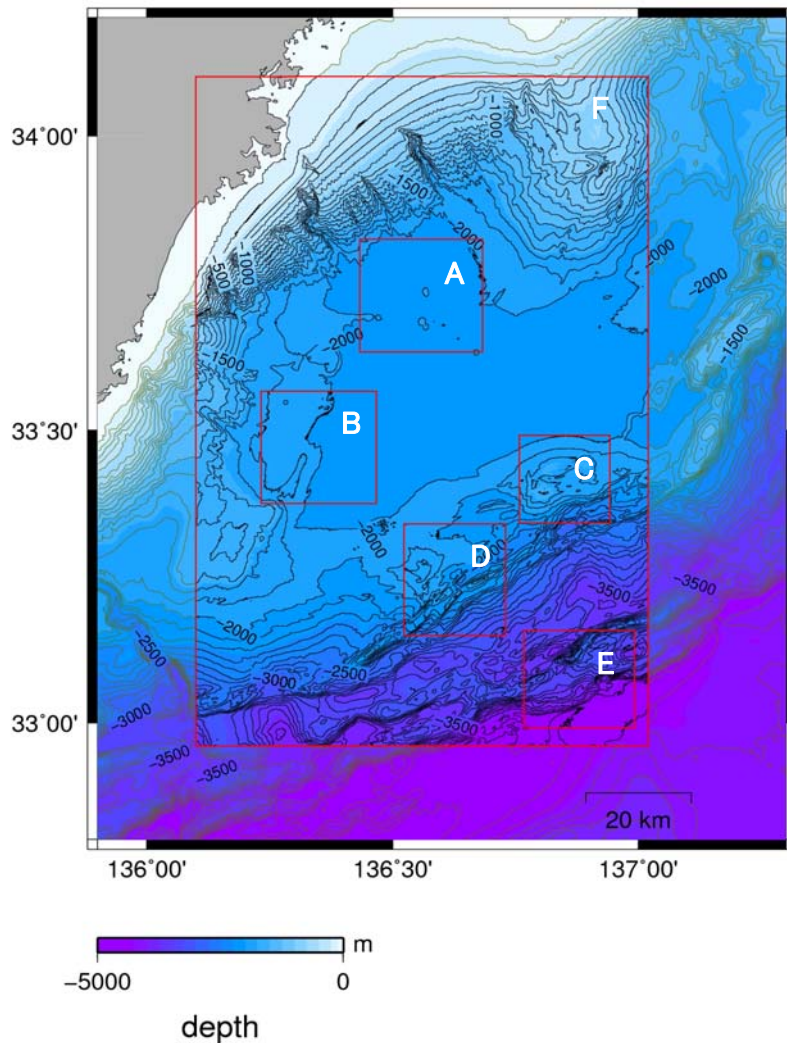


図1 構築した海底地形モデル。A、B、C、D領域は25 mメッシュ、E領域は50 mメッシュ、F領域は100 mメッシュのデータ。

津波の波動伝播と海底形状、津波の励起と分岐断層の位置・サイズ及び形状との間には関連性があり、高分解能の海底地形データの作成、海底急傾斜地の推定、及び分岐断層の評価は、津波予測や津波に対する被害対策を考える上で重要である。そこで次に、海底調査結果をコンパイルして構築した海底地形モデルを基に、東南海地震の震源域周辺における斜度を計算し、地震時に海底地滑りを引き起こす可能性の高い海底急傾斜地のマッピングを行った。さらに、既往の研究論文 [Moore et al. (2007)¹¹⁾、Park et al. (2002)¹²⁾] から分岐断層の位置・サイズをデジタル化し、海底地形モデルの図上に重ねあわせを行った。図2に各グリッドで最大斜度5度以上の地形傾斜分布、図3に海底地形と分岐断層位置・サイズとの対応を示す。分岐断層のデータ抽出にあたって参照した Moore et al. (2007)¹¹⁾の研究では3次元の構造探査、Park et al. (2002)¹²⁾では2次元の構造探査結果のため、図3におけるそれぞれの研究による分岐断層位置・サイズを、四角形の大きさと線の長さで表している。図2及び3より、沿岸部から20-30 km離れた、海底谷が発達している領域や、

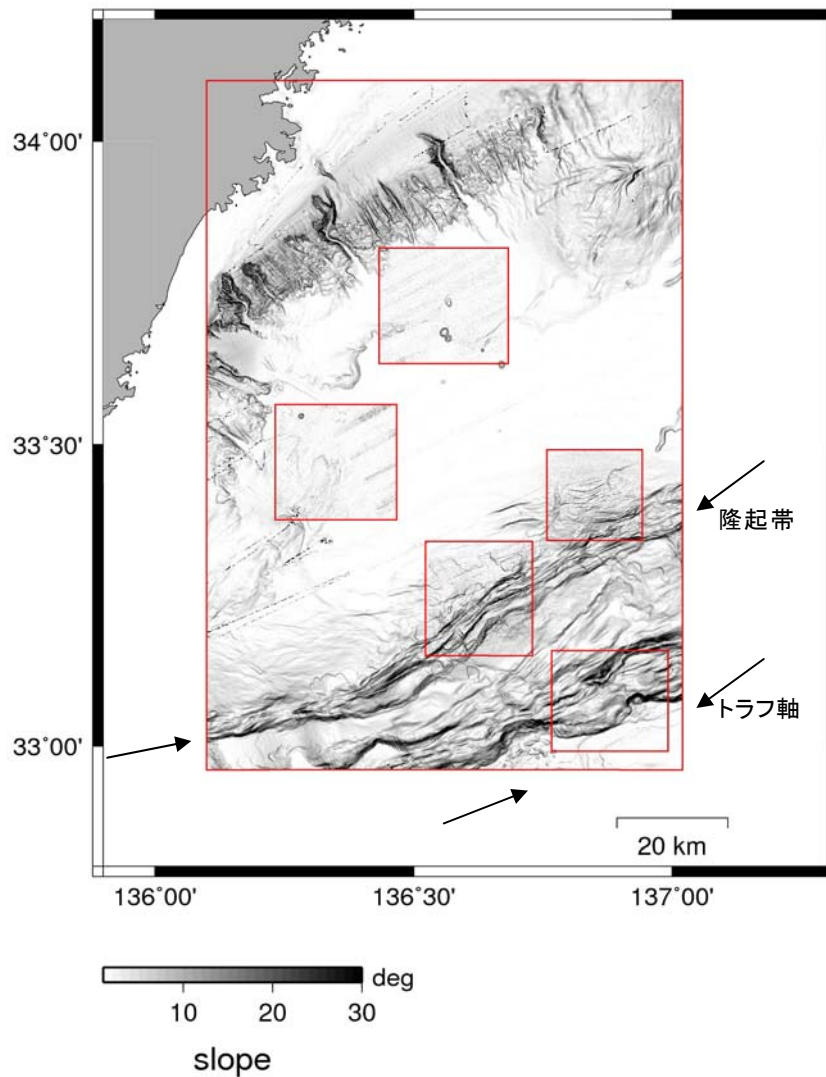


図2 斜度5度以上の地形傾斜分布。

外縁隆起帯、トラフ軸の周辺の領域で高い傾斜値を示し、また隆起帯の周辺において、分岐断層の上端部が位置していることが分かる。この領域における分岐断層は、隆起帯周辺から陸域に向かって約20~30 kmの幅を持っており、深さ約10 kmの場所でプレート境界面と接続している。したがって、トラフ軸から沈み込んでいるプレート境界面の傾きよりも分岐断層の方が水平面に対する傾斜角が大きく、地震波や津波のシミュレーションを行うにあたって、プレート境界面にのみすべりを与えた場合と分岐断層も考慮してすべりを与えた場合で結果が異なることがある(例えば、Baba et al., 2006¹³⁾)。今回、地震波や津波シミュレーションのためのデータ入力値として、これらの情報をデジタルデータとしてまとめた。これらの情報を今後データ提供していくことで、より高精度な被害予測につながる予定である。

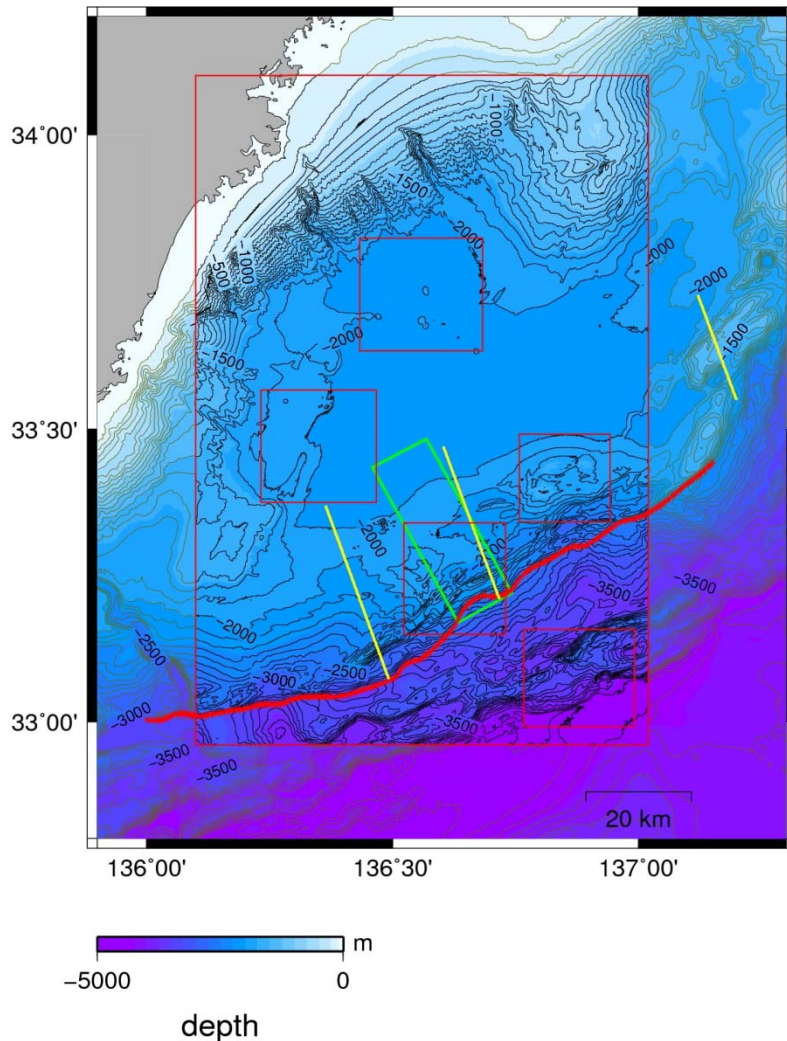


図3 海底地形と分岐断層の位置・サイズとの関係。緑色線、黄色線は、それぞれ、Moore et al. (2007)¹¹⁾と Park et al. (2002)¹²⁾による分岐断層位置・サイズを示す。赤線は、Moore et al. (2007)による外縁隆起帯の位置を示す。

2) 浅層部分の軟弱地盤による増幅率のモデル化

昨年度に収集した強震観測記録に基づき、本年度は短周期地震動を強く増幅する浅層地盤構造の増幅特性の評価を実施した。さらに、全国的に整備された強震観測網の観測点間隔が 20km 程度のため、都市部の地震動予測に必要とされる空間分解能の高い増幅特性を把握するには不十分であることから、大阪平野にて特徴的な地盤特性を考慮して地域を選定した上で、関西圏地盤情報データベースのボーリングデータを用いた詳細な浅層地盤モデルの構築を行った。この他、大阪における過去の南海トラフ沿いの地震による被害の資料収集をした。

a) 強震観測記録に基づく浅層地盤構造の増幅特性

南海トラフ沿いの巨大地震全体の発生確率が高まる中、これまで地震被害の経験が少ない長周期構造物に大きな被害・混乱を生じる威力を有する周期数秒以上の長周期の地震動の発生が懸念されている。一方、構造物の大半を占める低層・中層構造物の被害に大きく影響を与える短周期の地震動も依然として脅威であり、これを精度よく見積もるためには、支配的要因の一つとなる工学的基盤以浅の軟弱な地盤によるサイト増幅特性の評価が必要である。しかし、震源域となる南海トラフの海域で発生した地震による強震記録の蓄積はまだ十分ではなく、陸域の地震記録も含めた検討が必要である。大阪平野、濃尾平野を包含する領域に対して、昨年度収集した強震記録に基づき、地震動の短周期成分の増幅率を評価した。

図4に、検討対象とする28地震 ($M_j 3.2 \sim 7.4$) の震央と242観測点の分布を示す。28地震全体において、各観測点の地表記録の水平最大加速度が5gal以上、200gal以下、震源距離は300km以内とする条件を課し、さらに5地震以上の記録を有する観測点として、242点 (K-NET¹⁴) の観測点が162点、KiK-net¹⁵のそれが80点を対象観測点として抽出した。各観測点における強震記録の水平動成分よりS波部分の立ち上がりを含む20秒間を切り出し、フーリエ振幅スペクトル (水平2成分の回転スペクトルの絶対振幅スペクトル) を算出し、上限・下限を設定した周波数依存型のバンド幅を有するParzenウィンドウにより平滑化したスペクトルを解析に用いる。28地震より構築したデータセットに含まれるスペクトルの総数は2398個、その内、K-NET¹⁴が1731個、KiK-net¹⁵が667個である。解析の対象周波数は、解析手法の特徴や対象領域の範囲などから判断して1~10Hzにすれば良いと考えているが、既往の研究との比較を念頭に1~20Hzとする。

強震記録より各観測点の増幅特性 (サイト増幅特性) を評価する手法として、岩田・入倉(1986)¹⁶のスペクトル・インバージョン法を用いた。伝播経路特性を特徴づける $Q_s(f)$ (Q_s はS波の距離減衰を表現する周波数の関数) は、既往の研究 (例えば、日本建築学会(2005)¹⁷) を参照し、平均的な値 $Q_s(f) = 81f^{0.85}$ を先験情報として与えることで、震源特性とサイト増幅特性のみを未知数とし、最小二乗法により算定する。なお、サイト増幅特性と震源特性の間にはトレードオフ (一方を大きくすれば、もう一方が小さくなる現象) が生じることが知られている。これを回避するには、(方法1) 岩田・入倉(1986)¹⁶と同様に全ての観測点の全ての周波数におけるサイト増幅特性は2以上とする仮定 (自由地表面による効果を2と仮定) を導入する、(方法2) サイト増幅特性が明らかな観測点を基準点とし、これを拘束条件として導入する、等の条件を付加する必要がある。ただし、いずれの方法が良いかは、ケースバイケースのため、対象とするデータセットごとに試行錯誤が必要であり、ここでは両方の方法を比較検討した。方法2については、図5に示すように和歌山県で中小地震が多発していることに着目し、和歌山県近傍で発生した48地震 ($M_j 3.7 \sim 4.7$) による和歌山県とその近傍のKiK-net¹⁵観測点 (14点) における強震記録を別途収集し、データセットを構築した上で、次のように基準点を探索した。まずS波の主要動部分の波形を切り出した上で、観測点ごとに地中記録に対する地表記録のスペクトル比の観測値を理論値が満足するように地盤モデルの同定を試みた。地盤モデルの同定の際には、PS検層結果を初期モデルとし、これを含む広域なパラメータ空間に対して、グリッド・サーチと遺伝的アルゴリズムを用いて最適パラメータの探索を行った。14観測点

の中でスペクトル比の観測値と理論値の一致度が高い WKYH02（花園）と NARH04（黒滝）の 2 観測点の地盤モデルとスペクトル比を図 6 に示す。方法 2 においては、これらの 2 観測点のいずれかを基準点とする 2 通りのスペクトル・インバージョンを実施したところ、いずれの場合にも基準点のみで震源スペクトルが決定づけられてしまうことから、多数の地震と多数の観測点を用いてサイト増幅特性と震源特性の平均的なレベルを推定するスペクトル・インバージョンの解析法の特長が損なわれてしまうことがわかった。そこで、本検討で対象とするデータセットについては、方法 1 を採用した方が適切と判断した。以降の解析では方法 1 を採用するものとする。また、データセット全体を用いた解析ケースを Case 1 とする。

サイト増幅特性の一例として、OSK005（大阪）、AIC004（名古屋）、MIE006（津）、MIE017（宮川）、WKYH02（花園）における結果を、図 7 に Case 1 として示す。同図のサイト増幅特性は、自由地表面による増幅効果を表わす係数 2 で基準化している。同図には、既往の研究（野津・長尾(2005)¹⁸⁾）の結果も重ね描きしており、比較的良い対応が見られることがわかる。なお、図 7 において花園（WKYH02）のサイト増幅特性は、図 6 に示す同観測点の地表／地中スペクトル比ともよく整合していることがわかる。

続いて、サイト増幅特性における入射方位や震源域の依存性を検討するために、28 地震で構成されるデータセットを、陸域の 20 地震（ M_J 3.2～5.6、沿岸付近の地震も含む）による解析ケース（Case 2）と、海域の 8 地震（ M_J 5.4～7.4）による解析ケース（Case 3）とに分け、それぞれ解析した結果を図 7 にて Case 1 の結果と比較する。Case 3 の海域の 8 地震とは、図 4 に点線で囲まれた領域内の 2004 年 9 月 5 日の三重県南東沖の地震（ M_J 7.4、本震）とその前震 1 個および余震 6 個からなる。図 7 より、観測点によって変化の度合いは異なるもののサイト増幅特性はケースごとに変化することから、解析結果には地震波の入射方向や震源域に対する依存性が含まれることが示唆される。南海トラフ沿いの巨大地震は、主な震源域が海域にあるとは言え、陸域にも広がりをもつことも踏まえ、上記の 3 ケースの中では Case 1 の結果を正とするべきと考える。

図 8 に Case 1 の解析結果を用いて、各観測点について周波数区間ごとの平均増幅率を算出し、空間分布として示す。同図より、沖積地盤に位置する観測点ほど低い周波数帯域で増幅率が大きい傾向が見られる。また、地震動の増幅特性には周波数依存性が確認できる。

b) 大阪平野の特定地域における詳細な浅層地盤モデルの構築

大阪平野の地震動評価の高度化を目的として、浅層地盤モデルを構築する。モデル化の対象地域を図 9 に示す。同図は沖積層の層厚分布を基図（例えば、新関西地盤（2007）¹⁹⁾）としており、この上に矩形の枠で囲った領域をモデル化の対象とする。

A 領域は、南北方向 4km×東西方向 20km の領域、B 領域は埋め立て地内の南北 4km×東西 4km の領域、C 領域は上町台地内の南北 4km×東西 4km 領域である。このほか、地震観測点の設置状況を念頭に、D 領域と E 領域も補足的な対象地域とする。これらの範囲内において、地震動評価に利用可能な 250m メッシュの地盤モデルを作成する。

深さ方向へのモデル化については、洪積粘土層の Ma12 層の底面までを原則とするが、上町台地のように Ma12 層がない場合には沖積相当層を決めて、その下 10m までの地層

を対象とする。

浅層地盤モデルの作成フローを図 10 に示す。モデル化は、①対象層の設定、②メッシュ内および周辺のボーリングデータの選別、③メッシュモデルへの変換、④空白メッシュの補完、以上の手順で進める。浅層地盤モデルの作成イメージを図 11 に示す。調査深が深くなるほど、ボーリングデータが少なくなることや作業効率を踏まえ、図 12 に示すように、表層の沖積層モデル（上段）とその下部の洪積層モデル（中段）をそれぞれ作成した上で、両者を統合して、全体モデル（下段）を構築した。

今回作成した浅層地盤モデルの沖積層の層厚分布を、従来のモデル（大阪府（2007）²⁰⁾と比較して図 13 に示す。従来のモデルは、500m メッシュで、地表から沖積層底面までを対象としており、メッシュごとに独立にモデル化するため、地層のつながりに対する考慮もされていないなどの問題がある。今回のモデルでは、これらの問題が解決されており、より精度の高い地震動予測を可能とする。この他、従来のモデルでは深さ方法のモデル化を 2m ピッチで実施しているが、今回のモデルでは 1m ピッチとしており、より細やかな地層の変化を捉えている。

c) 大阪における過去の地震被害の資料収集

南海トラフ沿いの地震による大阪の被害は、地震の揺れによる被害とともに、津波による被害が良く伝えられている。例えば、昭和の南海地震（1946 年）の際には津波の高さは 70cm であったが、1707 年の宝永の地震や 1854 年の安政の地震の際には、3m の津波が押し寄せ、多くの被害を出している（例えば、都司（2003）²¹⁾）。地震時の揺れに関しては、1944 年の東南海地震や 1946 年の南海地震では、大阪の震度 4～5 の揺れであったものの、1707 年の宝永の地震や 1854 年の安政の地震において、震度 5～6 の揺れがあったとされている（例えば、中央防災会議（2005）²²⁾、宇佐美（2003）²³⁾）。

南海トラフ沿いで次に発生する巨大地震の規模は、昭和の地震のそれを上回るものとして備える必要があり、さらに前回の地震以降、臨海部の埋め立て地をはじめとする広域な軟弱地盤上に都市が高度に発達していることを考えると、過去の揺れの被害と地盤の状況を調べておく必要がある。

そこで、南海トラフ沿いの地震による大阪での揺れによる被害と地盤の関係を示す資料収集を実施した。一例として、新関西地盤（2007）¹⁹⁾に掲載されている 1854 年安政地震による東大阪の村落の被害頭数と沖積粘土厚の分布を図 14 に示す。被害率ではなく被害数を表していることから、地震動の強さを客観的に表わすものではないが、沖積層の厚い領域で被害が目立ち、薄い領域で被害が少ないことが読み取れる。また、この地域特有の鋭敏性の高い沖積粘土層（Ma13 層）が地震動に大きな影響を与えたと指摘されている。この他、過去の南海トラフ沿いの地震では、大阪の湾岸部や内陸部において液状化の痕跡が発見されている（例えば、新関西地盤（2007）¹⁹⁾）。

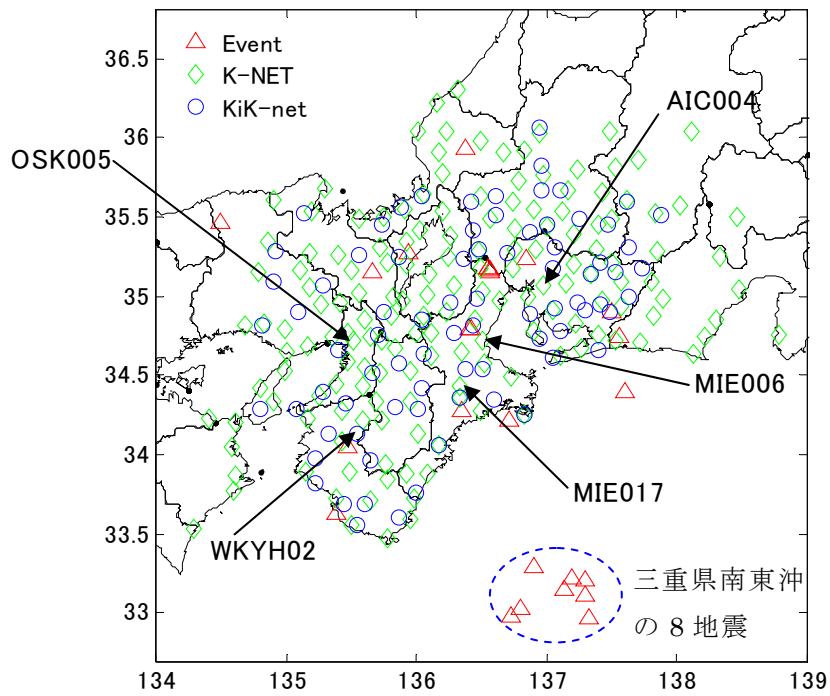


図 4 検討対象とする 28 地震の震央 (△) と 242 観測点 (○、◇) の分布。

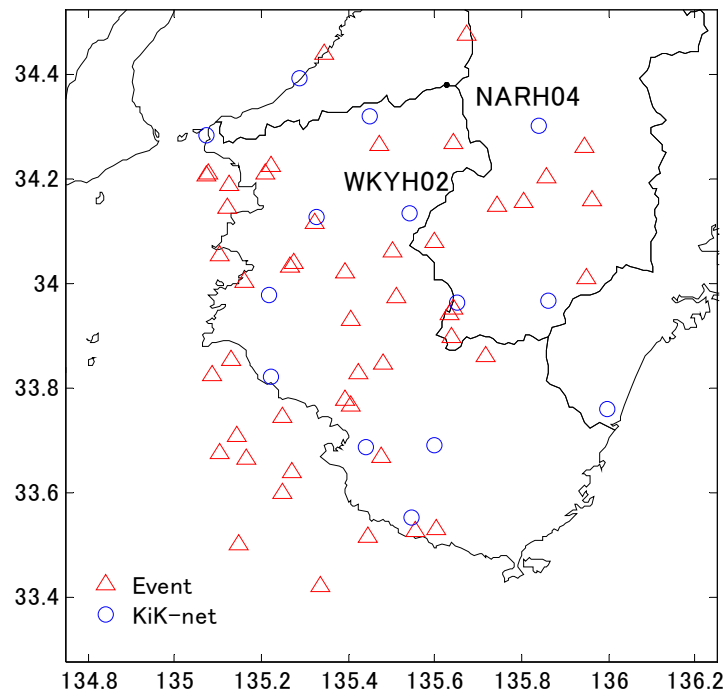


図 5 基準点の検討に用いた和歌山県とその近傍の 48 地震の震央 (△) と 14 観測点 (○) の分布。

スペクトル比の凡例

- PS 検層による理論値
- 同定結果による理論値
- 観測値、観測値±標準偏差値

S 波構造モデルの凡例

- PS 検層
- 同定結果

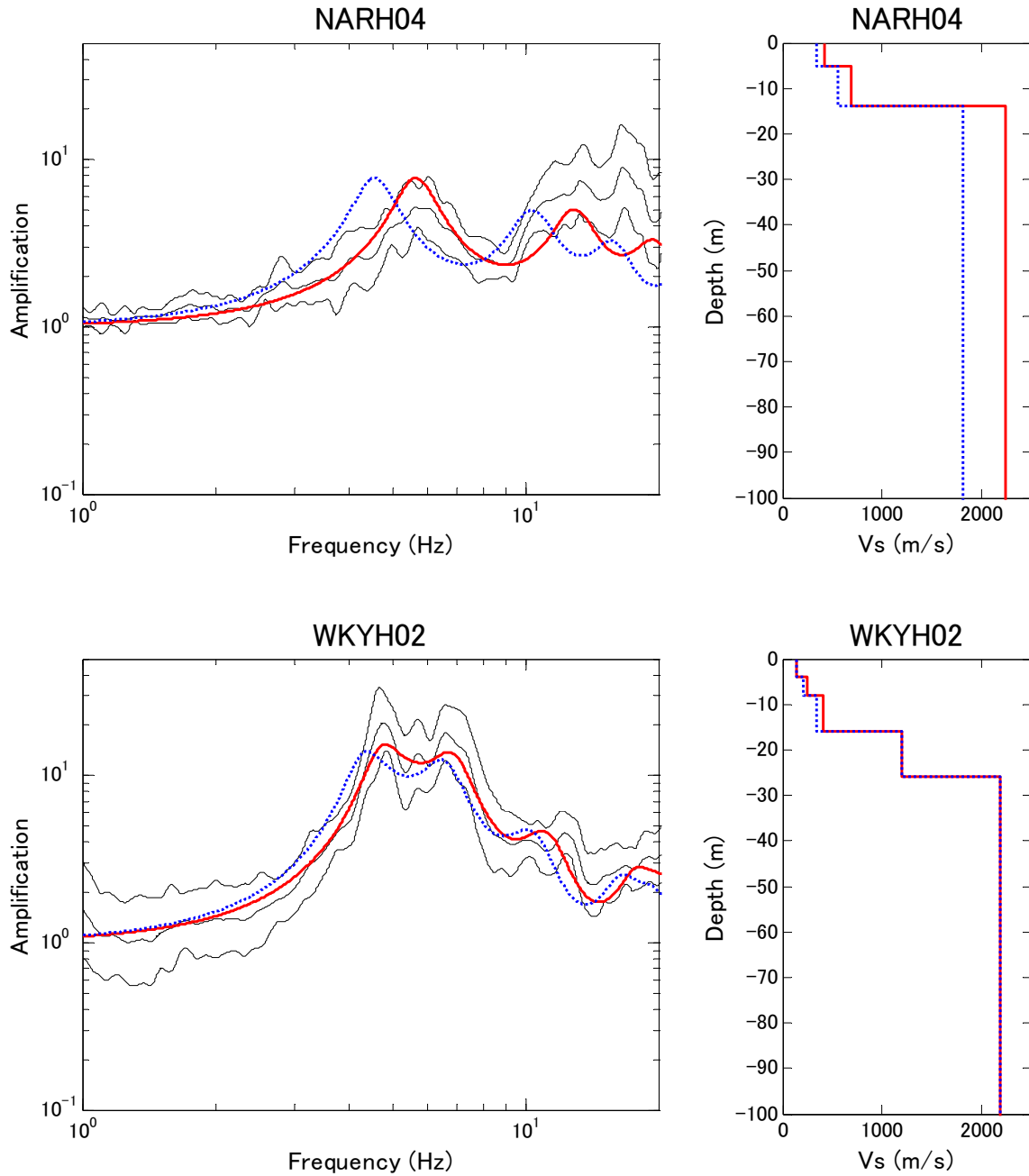


図 6 基準点の候補として検討した 2 観測点 (NARH04、WKYH02) における地表/地中スペクトル比と S 波速度構造モデル。

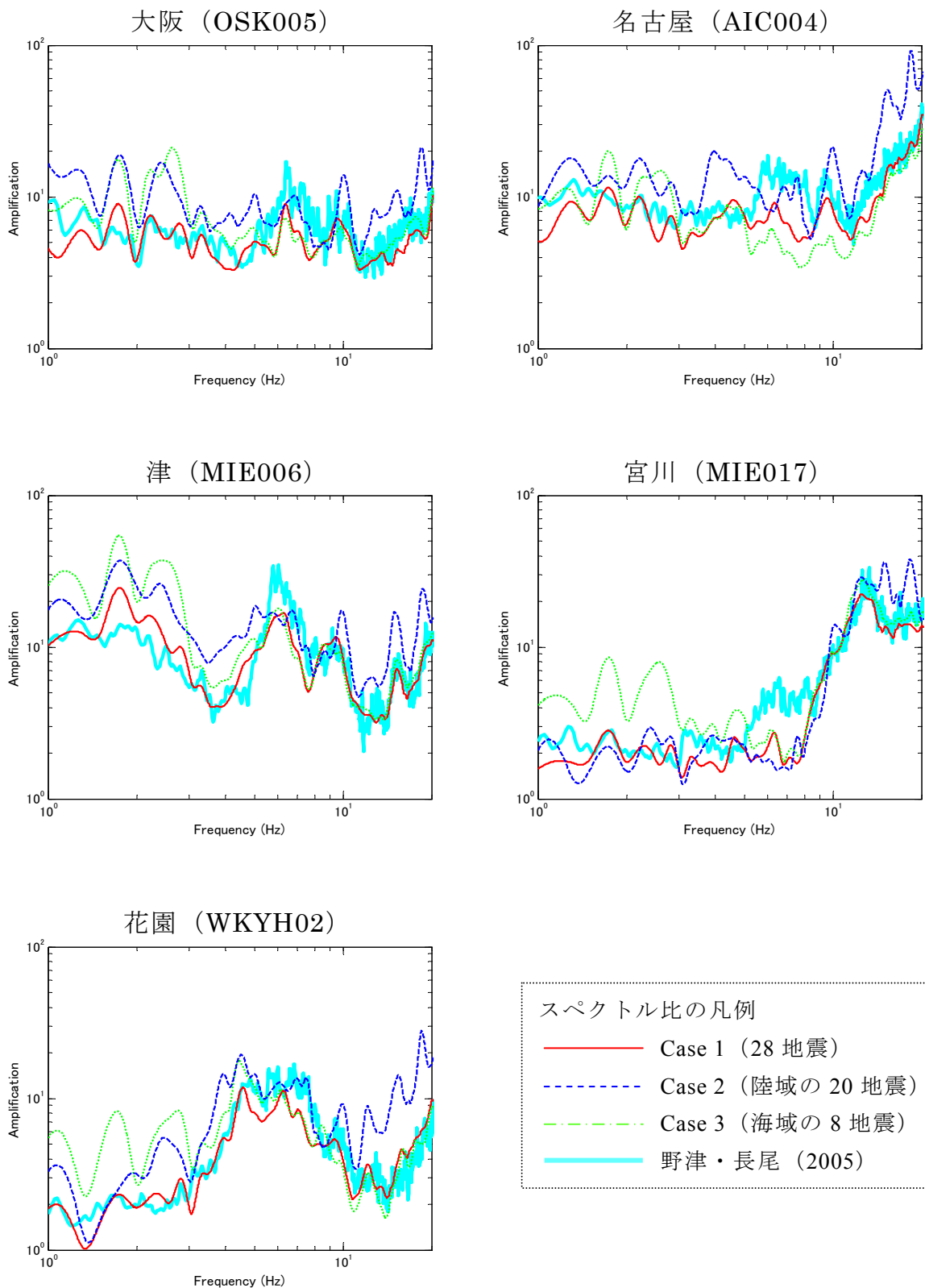


図 7 サイト増幅特性の比較例。

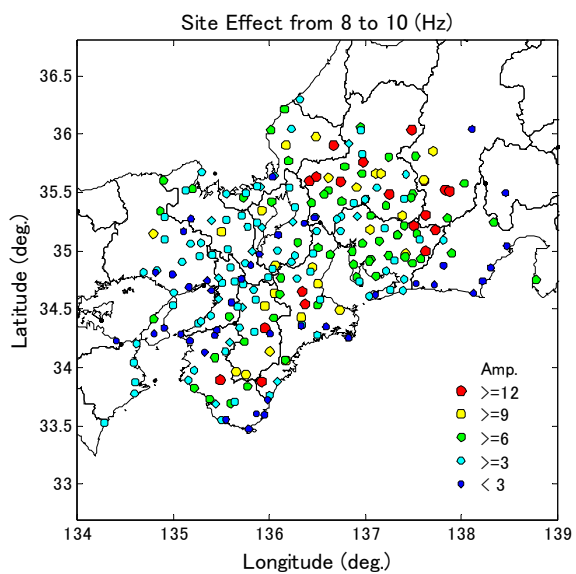
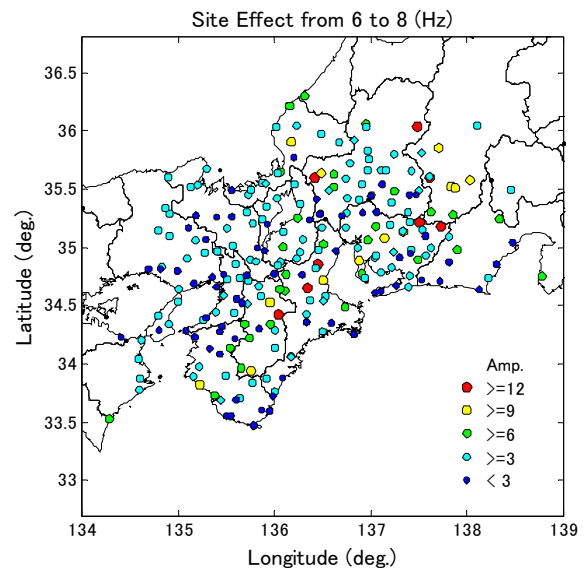
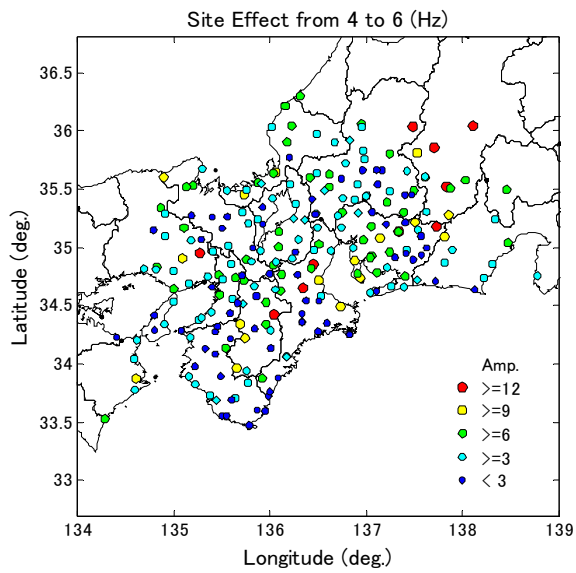
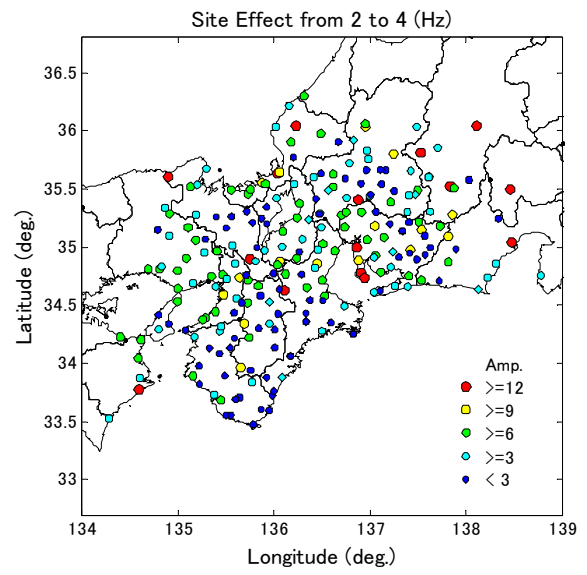
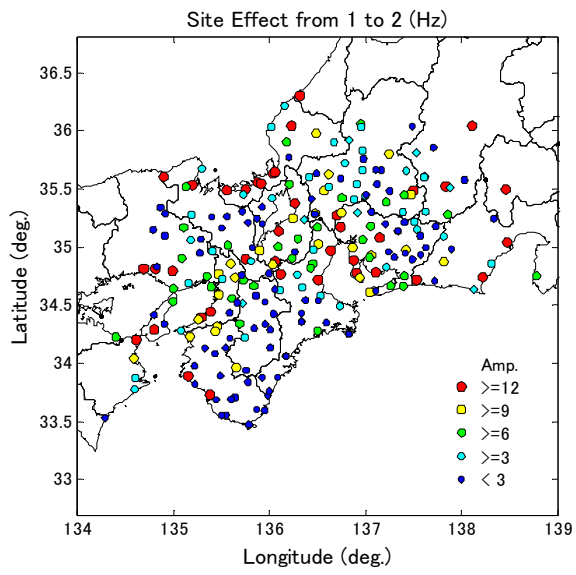


図 8 サイト増幅特性の区間周波数に対する平均値の空間分布。

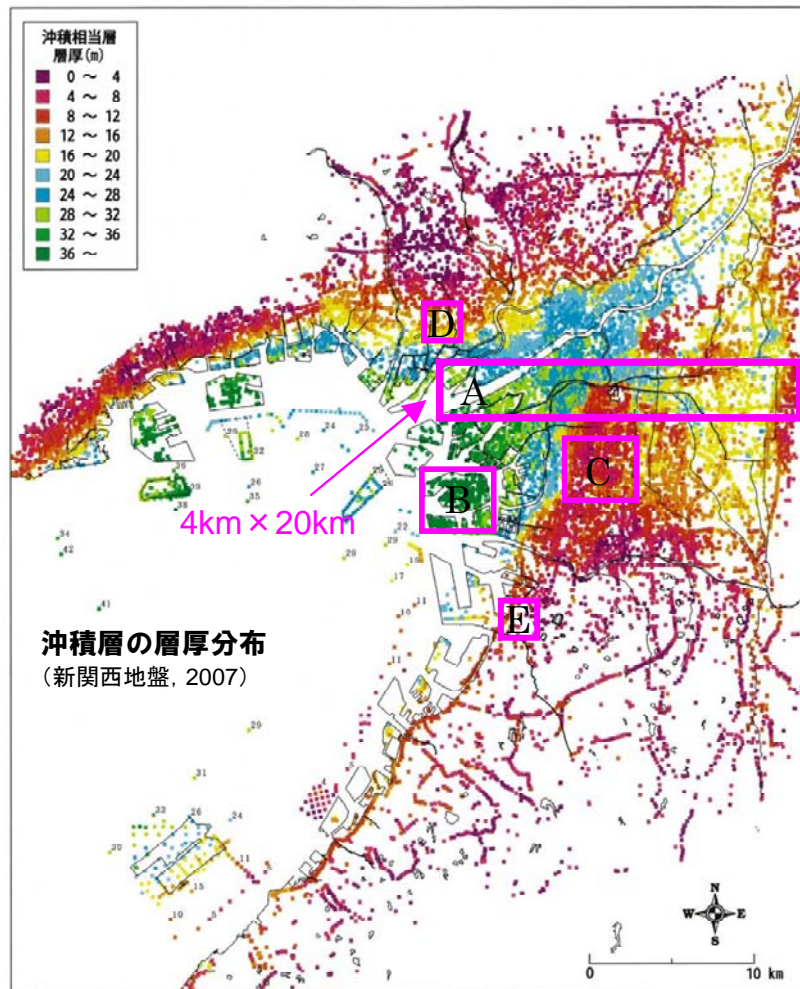


図 9 浅層地盤モデル化の対象地域。

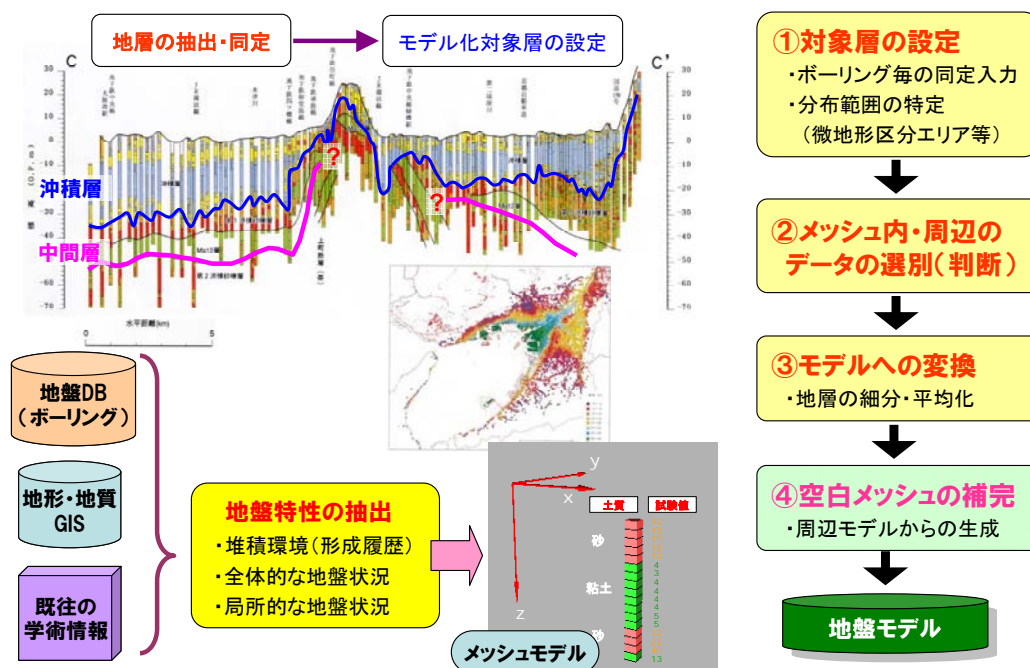


図 10 浅層地盤モデルの作成フロー。

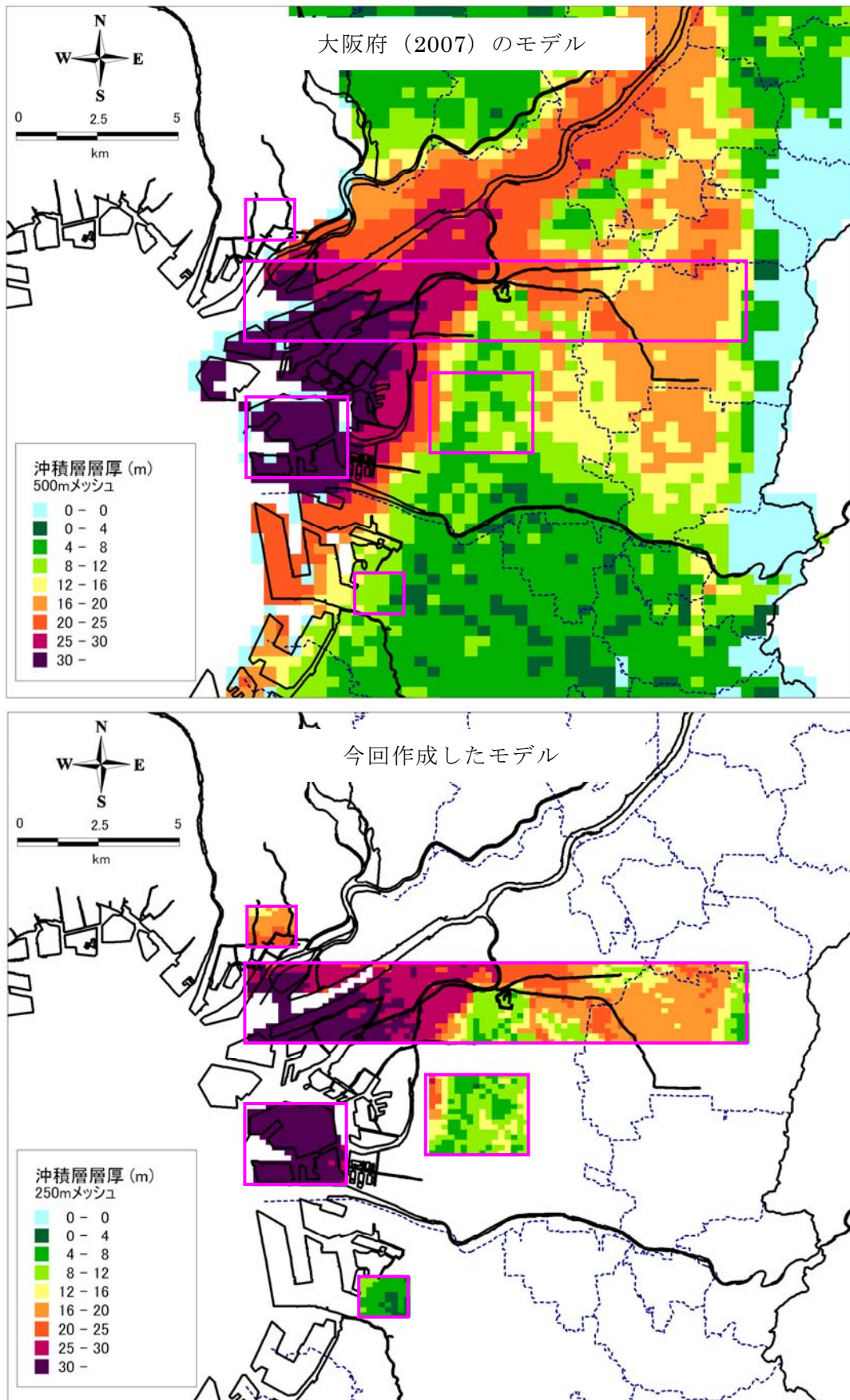


図 13 既往のモデルと今回のモデルとの沖積層厚分布の比較。

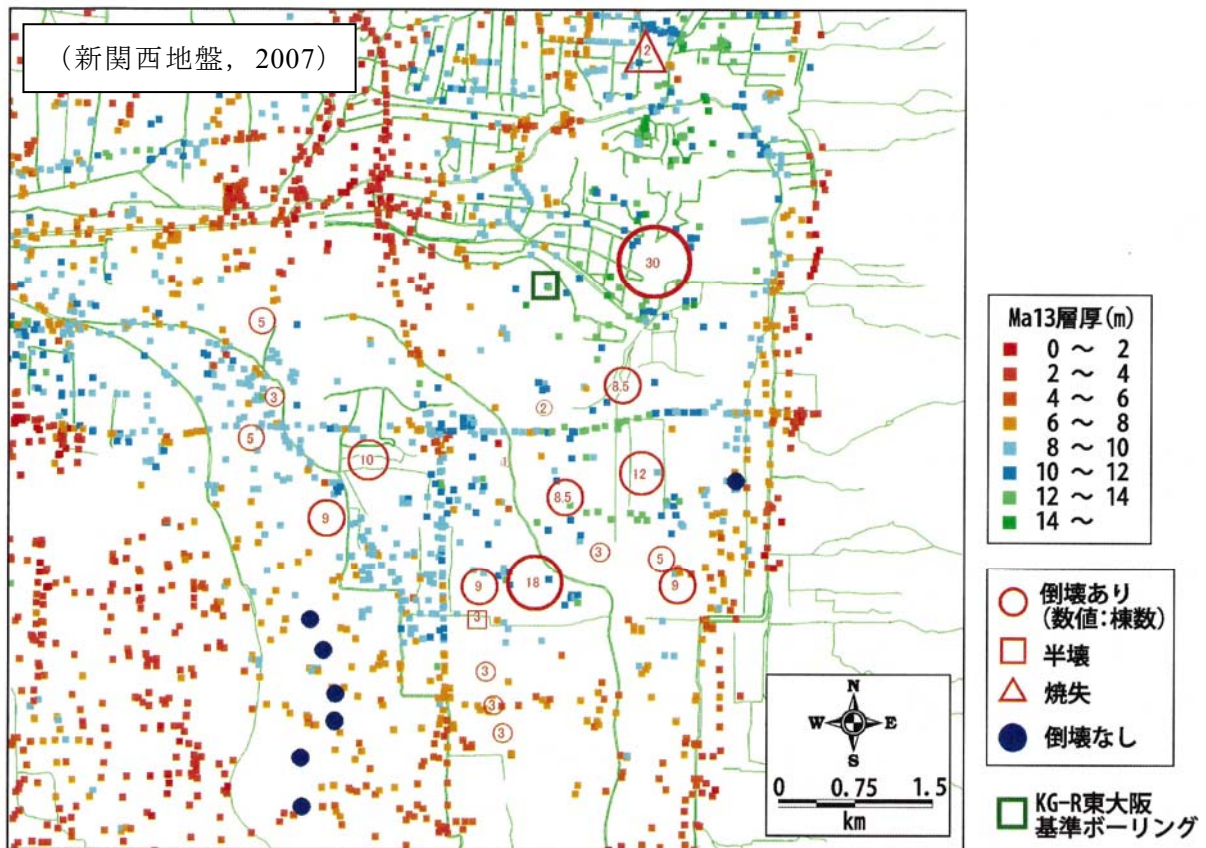


図 14 1854 年安政南海地震による村落の建物被害棟数と Ma13 層の層厚分布。

3) 地域研究会の開催・運営

プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を、高知市、大阪市、名古屋市で開催した。今年度の地域研究会の様子を写真 1 に示す。地域側からの参加者は、現在のところ全体として 30~40 名の参加者（15~18 参加機関）からなる研究会となっている（図 15）。また、今年度は地域研究会のほかに、参加人数を少なくした分科会を開催し、各地域の地震防災対策における課題の掘り起こしを行った。

今年度の地域研究会関連の会議として、高知市では 2 回の地域研究会（2009 年 7 月、2010 年 2 月）に加え、高知県に隣接する徳島県や四国全体という視点からの災害軽減に対する意識・問題点を抽出するために、関係者を限定した分科会（2010 年 10 月）を実施した。同様に、大阪市では、1 回の地域研究会（2010 年 2 月）の開催に加え、行政関係者のみの分科会（2009 年 8 月）とライフライン関係者（2009 年 10 月）のみの分科会を実施した。名古屋市では、1 回の地域研究会（2010 年 1 月）を開催するとともに、行政関係者のみの分科会（2009 年 9 月）を実施した。また、大阪市地域研究会に参加する和歌山県と、名古屋市地域研究会に参加する三重県から、それぞれ県南部の津波に関する災害リスクが高い等の理由から、現状の地域研究会の枠組みとは別の形式で議論したいとの要請があった。このため、紀州分科会と紀州講演会を 2009 年 11 月に実施し、おもに津波災害リスクに関する議論を行った（図 16 参照）。

地域研究会または分科会の議論を経て、災害時に最も懸念される課題や地域研究会に対する要望や議論して欲しいテーマは地域ごとに異なることが明らかになった。例えば、高知市では「津波・長期浸水」、大阪市では「地震動・連動性に対する対応」、名古屋市では「地盤データベースの整備、複合災害」が当面の主要課題であり、今後これらを中心として議論を深める予定である（図 16）。参考までに、高知市地域研究会でのこれまで議論したテーマを図 17 に示す。

各地域においてハード・ソフトの両面での細やかな地震対策を実施するのが地域側の役割とすれば、理工学的研究成果に基づきこれを支援することが研究者側の役割である。例えば、高知市地域研究会では、研究者側の話題提供として、南海地震による長期浸水域の調査結果²⁴⁾（図 18）と海拔ゼロメートル地帯²⁵⁾（図 19）が良く対応することを示すとともに、“地震時の地殻変動に伴う地盤沈降により満潮時の海拔ゼロメートル地帯が地震前よりも 2~3 倍に拡大することを数値シミュレーションにより示し、長期浸水がより深刻になる”ことを指摘している。さらに、プロジェクト研究者と地方自治体の防災担当者が長期浸水対策を考えるワークショップを共同で開催するなど（2009 年 12 月、本プロジェクトのサブテーマ「(4) 将来の地域特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」による）、地域研究会をきっかけとして、地震調査研究の成果が地方自治体の防災対策に具体的に生かされる道筋が見えつつある。大阪市地域研究会や名古屋市地域研究会では、各自治体に被害想定について議論し、被害想定的高度化や災害軽減策の合理化をするためにも、地震動予測の基礎情報となる地盤データ・地盤モデルを今後どのように高精度化して行くかが重要であることが確認された。来年度以降、このような取り組みをさらに加速できるように、地域研究会を開催・運営する予定である（図 20 参照）。



写真 1 第 3 回高知市地域研究会の様子。

地域研究会の開催・運営 —参加機関一覧と開催実績—

高知市地域研究会	大阪市地域研究会	名古屋市地域研究会
四国地整、高知県、高知市、徳島県、徳島市、四国電力、高知ライフライン連絡会、港湾空港技術研究所、国土技術政策総合研究所、高知大学、徳島大学、山口大学、プロジェクト関係者、オブザーバー（高知地方気象台）	大阪府、大阪市、和歌山県、和歌山市、大阪ガス、関西電力、東海・東南海・南海地震津波研究会、和歌山大学、プロジェクト関係者、オブザーバー（近畿地整、大阪管区気象台、和歌山地方気象台）	愛知県、名古屋市、三重県、四日市市、静岡県、東邦ガス、中部電力、名古屋商工会議所、名古屋大学、三重大学、豊橋技術科学大学、名古屋工業大学、プロジェクト関係者、オブザーバー（中部地整、名古屋地方気象台、津地方気象台、静岡地方気象台）
2008.11 ミニシンポ(高知) 2008.11 第1回研究会 2009.03 第2回研究会 2009.07 第3回研究会 2009.10 第1回分科会 2010.02 第4回研究会	2008.12 ミニシンポ(大阪) 2008.12 第1回研究会 2009.03 第2回研究会 2009.08 第1回分科会 2009.10 第2回分科会 2010.02 第3回研究会	2008.12 ミニシンポ(名古屋) 2008.12 四日市市講演会 2008.12 第1回研究会 2009.03 第2回研究会 2009.09 第1回分科会 2009.01 第3回研究会

↓

2010.11 紀州分科会(尾鷲)
2010.11 紀州講演会(尾鷲)

←

和歌山県と三重県に共通する津波災害
を防災関係者の意見交換の必要性

図 15 地域研究会の参加機関と開催実績。

地域研究会の開催・運営 —地域特有のテーマの一例—

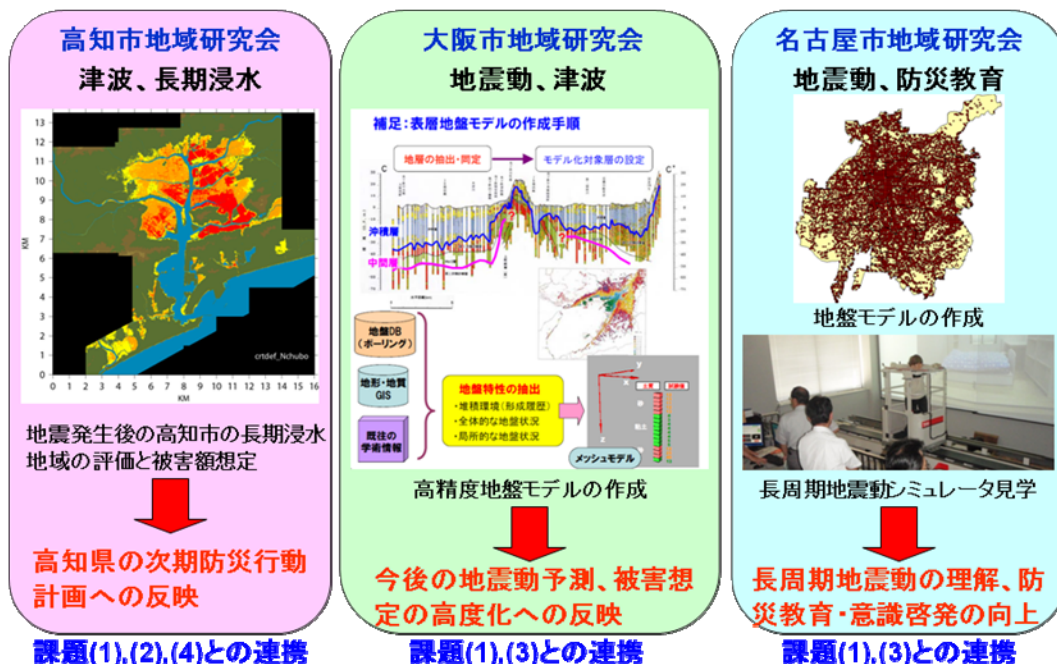


図 16 地域特有のテーマの一例。

地域研究会の開催・運営 —高知市での議論の概要—

第1回地域研究会[2009年11月16日]

- ・地域研究会の立ち上げ(趣旨、会則、幹事)
- ・地域研究会の検討課題に関する議論

⇒津波・津波漂流物、長期浸水、建造物の耐震性、震災資料収集の重要性

第2回地域研究会[2009年3月17日]

- ・「津波による漂流物被害および最新の津波研究」(研究者側より話題提供)
- ・「津波堆積物から読み解く連動型巨大地震の歴史」(研究者側より話題提供)
- ・「浸水地域への送電方法について」(地域側より話題提供)

第3回地域研究会[2009年7月29日]

- ・「南海地震過去資料調査結果」(研究者側より)
- ・「高知市における長期浸水に関する検討」(研究者側より話題提供)

第2回分科会[2009年10月20日]

- ・四国全体での広域災害・救援活動に関する議論

⇒高速道路・主要幹線道路の重要性 (高速道路の転石、浦戸大橋は落橋が懸念)

第4回地域研究会[2010年2月3日]

- ・「浦戸大橋の耐震性調査結果」(地域側より話題提供)
- ・「津波被害を計算するための数値計算」(研究者側より話題提供)

図 17 高知市での議論の概要。

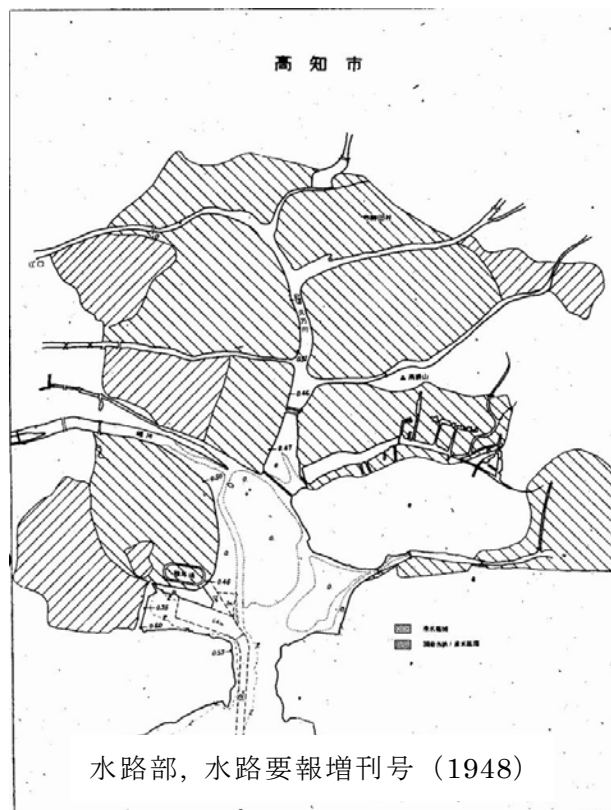


図 18 南海地震発生後の高知市の長期浸水地域の調査結果。

- : 満潮時海面より低い
- : 平均海面より低い
- : 干潮時海面より低い

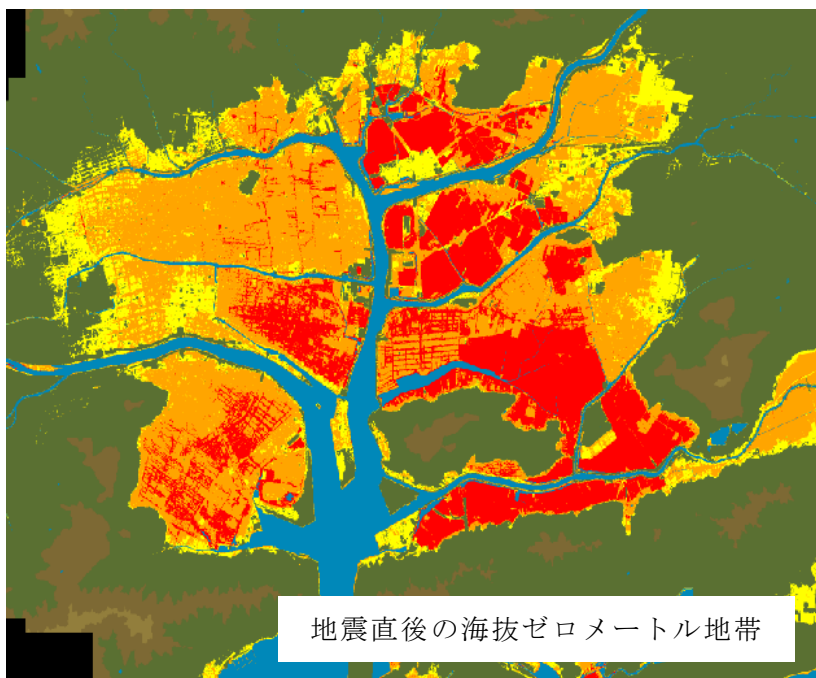
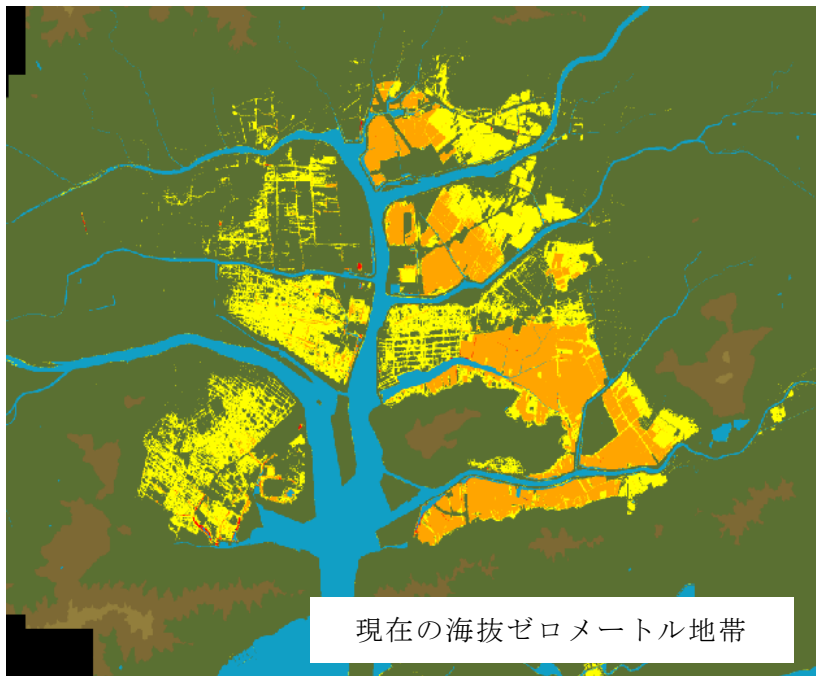


図 19 南海地震発生後の高知市の長期浸水地域のシミュレーション結果。

地域研究会の開催・運営 — 将来の防災力の向上を目指して —

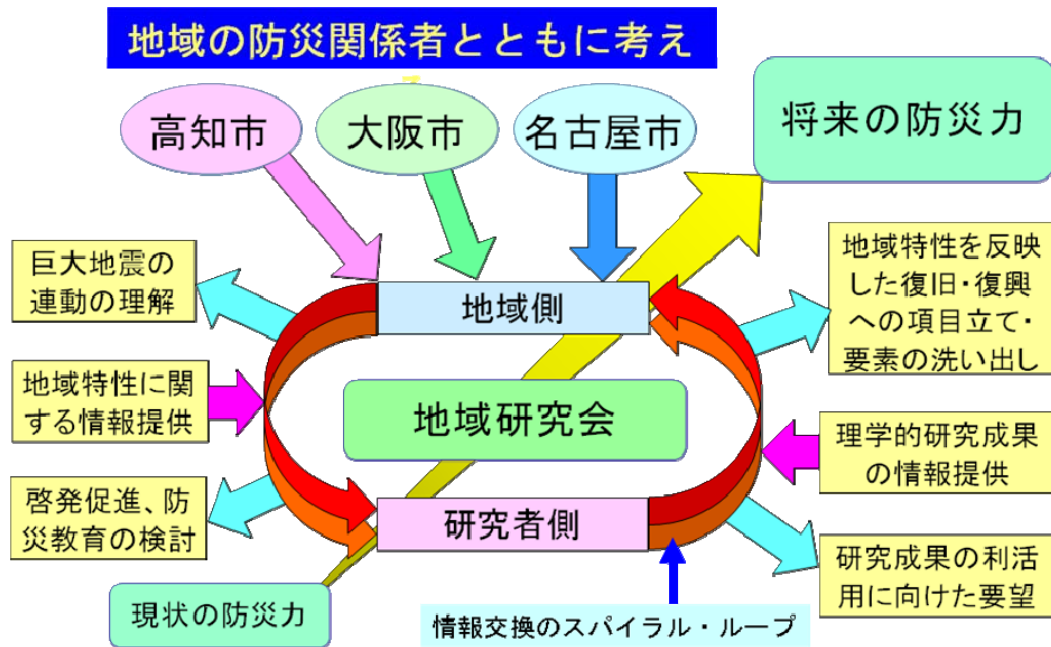


図 20 地域研究会の成果目標のイメージ。

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、東南海地震の震源域周辺における海域を中心に、最大 25 m メッシュのシービーム探査による海底地形データをコンパイルし、地震動及び津波シミュレーションに適用可能な海底地形モデルを構築した。構築した海底地形モデル及び既往の研究論文を基に、海底地滑りを引き起こす可能性の高い海底急傾斜地や、大津波発生の可能性の高い分岐断層を抽出し、地震動及び津波シミュレーションに必要な情報をまとめた。次年度は、サブプロジェクト①による南海地震の震源域および日向灘地震の震源域周辺の構造探査結果と既に構築した海域地下構造モデルを統合化させ、地震動及び津波シミュレーションと被害予測のための、高精度陸海統合地下構造モデルを作成する予定である。

浅層部分の軟弱地盤による増幅率のモデル化については、昨年度収集した大阪平野、濃尾平野を主対象として陸域の強震記録に基づき、スペクトル・インバージョンによる解析を実施し、各観測点のサイト増幅特性の空間分布を推定した。さらに、強震観測点では十分な分解能で地震動予測をすることができない都市部の地震動特性を把握するために、大阪平野に特徴的な地盤を対象領域として、関西地盤情報データベースのボーリングデータに基づき、浅層地盤モデルの構築を実施した。この他、大阪における南海トラフ沿いの地震による被害事例と地盤条件との対応を示す資料を収集した。今年度の成果に基づき、次年度は強震動シミュレーション結果の地盤増幅補正と面的な震度分布の作成において必要となる広域の表層地盤増幅モデルを作成する予定である。

地域研究会については、本年度は高知市、大阪市、名古屋市の3地域において地域研究会・分科会を開催するとともに、和歌山県、三重県の防災関係者が集う紀州分科会と紀州講演会を開催した。地域研究会、分科会、講演会を通じて、プロジェクトに対する地域側の理解は深まってきている。徐々にではあるが、地域側からの話題提供も増えつつある。次年度は、本サブプロジェクトの検討結果を紹介するとともに、連動型巨大地震発生前、発生時、発生後、それぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき優先事項や時間を追ったシナリオに整理した防災・復興復旧方策について、議論する予定である。

(d) 引用文献

- 1) 平成12年度 「しんかい6500」調査潜航 (YK00-10 Leg1, 主席研究者: 倉本真一).
- 2) 平成12年度 「しんかい6500」調査潜航 (YK00-10 Leg2, 主席研究者: 松本 良).
- 3) 平成14年度 相模湾および南海トラフ熊野灘調査研究 (KY02-12, 主席研究者: 木下正高・後藤忠徳).
- 4) 平成18年度 海底観測ネットワークに関する深海曳航調査 (KY06-04 Leg1, 主席研究者: 川口勝義).
- 5) 平成18年度 海底観測ネットワークに関する深海曳航調査 (KY06-04 Leg2, 主席研究者: 満澤巨彦).
- 6) 平成18年度 南海トラフ地震探査調査 (KY06-13 Leg1, 主席研究者: 藤江 剛).
- 7) 平成18年度 南海トラフ深海曳航調査 (KY06-13 Leg2, 主席研究者: 松本浩幸).
- 8) 平成19年度 地震・津波観測監視システム構築に関する事前調査 (KY07-06 Leg1, 主席研究者: 川口勝義).
- 9) 平成19年度 地震・津波観測監視システム構築に関する事前調査 (KY07-06 Leg2, 主席研究者: 松本浩幸).
- 10) 平成19年度 地震・津波観測監視システム構築に関する調査 (KY07-11, 主席研究者: 佐久間 淳).
- 11) Moore, G. F., N. L. Bangs, A. Taira, S. Kuramoto, E. Pangborn, and H. J. Tobin, Three-dimensional splay fault geometry and implications for tsunami generation, *Science*, 318, pp.1128–1131, 2007.
- 12) Park, J. O., T. Tsuru, S. Kodaira, P. R. Cummins, and Y. Kaneda, *Science*, 297, pp.1157-1160, 2002.
- 13) Baba, T., P. R. Cummins, T. Hori, and Y. Kaneda, High precision slip distribution of the 1944 Tonankai earthquake, inferred from tsunami waveforms: Possible slip on a splay fault, *Tectonophysics*, 426, pp.119-134, 2006.
- 14) 防災科学技術研究所 K-NET : <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 15) 防災科学技術研究所 KiK-net : <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
- 16) 岩田知孝・入倉幸次郎: 観測された地震波から震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍のサイト特性を分離する試み, *地震* 2, Vol.38, No.39, pp.579-593, 1986年.
- 17) 日本建築学会: 地盤震動—現象と理論—, ISBN978-4-8189-0558-0, pp.186, 2005.1.
- 18) 野津 厚・長尾 毅: スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト増幅特性, 港湾空港技術研究所資料, No.1112, 2005.12.

- 19) 新関西地盤－大阪平野から大阪湾－，KG-NET・関西圏地盤研究会，2007.
- 20) 大阪府：大阪府自然災害総合防災対策検討（地震被害想定）報告書，2007.
- 21) 都司嘉宣：過去の東海、南海地震に学ぶ災害シナリオ，2002年災害研究フォーラム講演録「巨大地震の災害シナリオ」，地震保険研究 No.2，損害保険料率算出機構，2003.3.
- 22) 中央防災会議：東南海、南海地震等に関する専門調査会（第16回），2005.12.
- 23) 宇佐美龍夫：最新版 日本被害地震総覧 416－2001，東京大学出版会，2003.
- 24) 水路部：昭和21年南海大地震報告（津波編），水路要報増刊号，書誌第201号，1948.3.
- 25) 馬場俊孝・金田義行：南海地震の地殻変動による高知市の海拔ゼロメートル地帯の拡大，日本地震学会秋季大会，2009.3.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
海底強震観測で得られる最大振幅レベルに関する検討（口頭）	大堀道広・ 中村武史・ 金田義行	日本地球惑星合同 連合大会	2009年5月18 日	国内
南海トラフ沿いの巨大地震に対するサイト増幅特性評価のための一考察（口頭）	大堀道広・ 金田義行	日本建築学会大会	2009年8月28 日	国内
「東海東南海南海地震の連動性評価研究」における地域研究会の取り組み（ポスター）	金田義行・ 大堀道広・ 馬場俊孝・ 藤森英俊・ 石井利枝・ 小柳津昌久	日本地震学会秋季 大会	2009年10月 21日	国内
南海地震の地殻変動による高知市の海拔ゼロメートル地帯の拡大（ポスター）	馬場俊孝・ 金田義行	日本地震学会秋季 大会	2009年10月 21日	国内
Qs値の幾何減衰項依存性に関する考察 －三重県で発生した中規模地震を例として－ （ポスター）	大堀道広・ 中村武史	日本地震学会秋季 大会	2009年10月 21日	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Newly Proposed Disaster Mitigation and Recovery for the Next Nankai Trough Megathrust Earthquakes	Kaneda, Y., M. Ohori, and T. Nakamura	Journal of Disaster Research	Vo.4, No.2, pp.151-152, 2009	国際

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 22 年度業務計画案

平成 22 年度の業務について、主に三つの課題に取り組むことを計画している。

第一に、サブプロジェクト 1 による南海地震の震源域および日向灘地震の震源域周辺の構造探査結果を基に、南海トラフ沿いを中心に平成 21 年度までに構築した海域地下構造モデルをさらに高精度化し、強震動・津波シミュレーションと被害予測のための陸海統合地下構造モデルを作成する。

第二に、平成 21 年度の研究成果を用いて、都市部に関してはボーリングデータに基づく浅層地盤モデルによる地震動増幅率を評価するとともに、周辺地域に関しては強震記録に基づく地震動増幅率に地形分類等による経験的な表層増幅率を考慮した地震動増幅率を評価し、これらを結合することで、強震動シミュレーション結果の地盤増幅補正と面的な震度分布の作成において必要となる広域の表層地盤増幅モデルを作成する計画である。

第三に、平成 21 年度に引き続き、プロジェクトに関わる研究者と地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会および分科会を高知市、大阪市、名古屋市の各地で年 2 回程度実施する予定である。本サブプロジェクトの検討結果を紹介するとともに、連動型巨大地震発生前、発生時、発生後、それぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき優先事項や時間を追ったシナリオに整理した防災・復興復旧方策について検討する計画である。

4. 活動報告

4.1. 会議録

4.1.1. 第1回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」合同研究推進委員会

(1) 開催日時

平成21年10月14日（水） 10時～17時

(2) 開催場所

海洋研究開発機構 東京事務所 セミナー室A B

(3) 出席者

長谷川委員長、本蔵委員長、古村委員、金田委員、福和委員（代理）、牧委員、今村委員（代理）、平原委員、小平委員、藤本委員、日野委員、金沢委員、篠原委員、小原委員、鳥海委員、鷺谷委員、岡村委員、加藤委員（代理）、堀委員、宇平委員（代理）、春日委員、飛田幹男委員、東地委員、山川委員（代理）、小出委員（代理）、オブザーバ

(4) 議事次第

- (a) 開会、挨拶
- (b) プロジェクトの概要と今回の委員会について
- (c) サブプロジェクト1について
- (d) サブプロジェクト2について
- (e) その他

4.1.2. 第2回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」運営・研究推進合同委員会

(1) 開催日時

平成22年3月12日（金） 9時30分～17時10分

(2) 開催場所

高知会館 飛鳥の間

(3) 出席者

長谷川委員長、本倉委員長、古村委員、平原委員、金田委員、小平委員、藤本委員、日野委員、篠原委員、小原委員、鳥海委員（代理）、鷺谷委員、岡村委員、加藤（尚）委員、堀委員、今村委員（代理）、福和委員、牧委員、文部科学省、山川委員、森部委員、森委員（代理）、春日委員、加藤（茂）委員（代理）、伊藤委員、今給黎委員、木村委員、瀧澤委員、中川委員、小出委員、飯島委員（代理）、入倉委員、文部科学省、事務局、オブザーバ

(4) 議事次第

- (a) 高知県副知事・委員長・文部科学省挨拶
- (b) 本プロジェクトの概要と高知開催の意義について
- (c) サブプロジェクト1：説明および質疑
「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」

- (d) サブプロジェクト2：説明および質疑
「連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究」
- (e) 全体を通しての質疑応答
- (f) その他

4.1.3. 第3回高知市地域研究会

(1) 開催日時

平成21年7月29日（水）13時～15時30分

(2) 開催場所

高知商工会館 4F「光の間」

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

金田、古村、今村、牧、飛田、今井、前田

(b) 地域側

国土交通省四国地方整備局、高知県、高知市、徳島県、四国電力、高知ライフライン連絡会、港湾空港技術研究所、山口大学、高知大学

(c) オブザーバー

高知港湾空港整備事務所、高知地方气象台

(4) 議事次第

(a) 前回議事概要等の確認

(b) 話題提供

- 1) 南海地震過去資料調査結果－徳島県・高知県の被害概要と教訓－
(構営技術コンサルタント(株) 須内寿男)
- 2) 高知市における長期浸水に関する検討(地殻変動モデリング)
(海洋研究開発機構 馬場俊孝)

(c) 質疑応答および討議

(d) その他

4.1.4. 第4回高知市地域研究会

(1) 開催日時

平成22年2月3日（火）13:30～16:00

(2) 開催場所

高知会館 白鳳の間

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

金田、古村、今村、今井、前田

(b) 地域側

国土交通省四国地方整備局、高知県、高知市、徳島県、四国電力、高知ライフライン連絡会、港湾空港技術研究所、高知大学

(c) オブザーバー

高知地方気象台、東海・東南海・南海地震の連動性評価研究運営委員（中川）

(4) 議事次第

- (a) 前回議事次第概要等の確認
- (b) 話題提供
 - 1) 浦戸大橋の耐震化に向けた調査について（高知県土木部道路課）
 - 2) 津波被害を予測するための数値計算（港湾空港技術研究所 富田孝史）
- (c) 質疑応答
- (d) その他

4.1.5. 第3回大阪市地域研究会

(1) 開催日時

平成22年2月19日（月）14時00分～16時00分

(2) 開催場所

大阪府津波・高潮ステーション

(3) 出席者

- (a) プロジェクト側
金田、古村、福和、牧、今井、前田
- (b) 地域側
大阪府危機管理室危機管理課、大阪府都市整備部事業管理室、大阪市危機管理室、
大阪市港湾局経営企画部防災課、和歌山県総務部危機管理局総合防災課、和歌山県
県土整備部河川課、和歌山市市長公室危機管理部総合防災課、関西電力、大阪管区
気象台、技術部地震火山課、大阪ガス導管事業部中央保安指令部、和歌山大学
- (c) オブザーバ
国土交通省近畿地方整備局 地盤研究財団

(4) 議事次第

- (a) 前回議事概要等の確認
- (b) 話題提供
 - 1) 津波・高潮ステーションの概要（大阪府 江原）
 - 2) 連動性を考慮した地震防災のあり方について（京都大学 牧）
- (c) 質疑応答および討議
- (d) その他

4.1.6. 第3回名古屋市地域研究会

(1) 開催日時

平成22年1月5日（水）13時30分～16時00分

(2) 開催場所

名古屋市通信会館 「菊の間」

(3) 出席者

- (a) プロジェクト側
金田、古村、今村、牧、福和、今井、前田

(b) 地域側

愛知県防災局防災危機管理課、愛知県建設部建築担当局住宅計画課、愛知県建設部建築担当局公営住宅課、名古屋市消防局防災部防災室、名古屋市緑政土木局企画経理課、名古屋市環境局地域環境対策課、三重県防災危機管理部地震対策室、四日市市総務部防災対策課、静岡県総務部防災局防災情報室、国土交通省中部地方整備局、名古屋地方気象台防災業務課、津地方気象台防災業務課、静岡地方気象台防災業務課、岐阜地方気象台防災業務課、東邦ガス、中部電力、名古屋商工会議所、三重大学、名古屋大学、豊橋技術科学大学

(4) 議事次第

(a) 前回議事概要等の確認

(b) 話題提供

- 1) 高解像度ハザードマップのための地域地盤データベース（名古屋大学 飛田）
- 2) 8.11 駿河湾を震源とする地震における静岡県の対応（静岡県）
- 3) 平成 21 年 8 月 11 日の駿河湾地震について～地震・台風のダブルハザード～（中部地整）

(c) 質疑応答および討議

(d) その他

4.1.7. 大阪市地域研究会第 1 回分科会

(1) 開催日時

平成 21 年 8 月 3 日（水）13 時～15 時 30 分

(2) 開催場所

大阪府防災情報センター（大阪府庁別館 7 階）

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

牧、大堀

(b) 地域側

大阪府、大阪市、和歌山県、和歌山市、此松（和歌山大）

(4) 議事次第

(a) 大阪府における想定地震動（想定津波、被害想定）について

(b) 和歌山県地震被害想定調査について

4.1.8. 名古屋市地域研究会第 1 回分科会

(1) 開催日時

平成 21 年 9 月 8 日（火）9 時 30 分～12 時 00 分

(2) 開催場所

名古屋大学 環境総合館 4 階 地域防災交流ホール

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

福和、飛田、護

(b) 地域側

愛知県、名古屋市、三重県、四日市市、岐阜県、静岡県、川口（三重大）、河邑（豊橋技術科学大）

(4) 議事次第

- (a) 東海地震・東南海地震等被害予測調査（愛知県）について
- (b) 名古屋市の地震被害想定（名古屋市）について
- (c) 三重県の地震被害想定について（三重県）について
- (d) 四日市市の地震被害想定（四日市市）について
- (e) 岐阜県東海地震等被害想定調査結果（岐阜県）について
- (f) 第3次地震被害想定（静岡県）について

4.1.9. 大阪市地域研究会第2回分科会

(1) 開催日時

平成21年10月15日（木）9時30分～12時00分

(2) 開催場所

関西電力本店 5階524会議室

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

牧、金田

(b) 地域側

大阪ガス、関西電力、西日本旅客鉄道、此松（和歌山大）

(4) 議事次第

(a) ライフライン業者における地震防災対策について

4.1.10. 高知市地域研究会第1回分科会

(1) 開催日時

平成21年10月20日（火）13:30～15:30

(2) 開催場所

四国地方整備局

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

金田

(b) 地域側

四国地方整備局、NEXCO西日本、徳島県

(4) 議事次第

地震調査研究に対する要望について

4.1.11. 第1回紀州分科会

(1) 開催日時

平成21年11月13日（金）13時30分～16時00分

(2) 開催場所

尾鷲市中央公民館

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

金田

(b) 地域側

三重県、尾鷲市、東紀州防災ネットワーク、和歌山県、新宮市、那智勝浦町、関西電力、和歌山県LPガス協会、港湾空港技術研究所、此松（和歌山大）、川口（三重大）

(4) 議事次第

(a) 本年 8 月の駿河湾沖地震の際に発生した津波から考える
次世代型津波予測について

(b) 津波被害を予測するための数値計算について

4.1.12. 研究打ち合わせ

(1) 開催日時

平成 21 年 7 月 29 日（水）12 時～13 時

(2) 開催場所

高知商工会館 4F「光の間」

(3) 出席者

古村、今村、牧、飛田、今井、前田

(4) 議事次第

研究推進と連携方針について

4.1.13. 研究打ち合わせ

(1) 開催日時

平成 22 年 1 月 5 日（水）12 時～13 時

(2) 開催場所

名古屋市通信会館 「菊の間」

(3) 出席者

古村、今村、牧、福和、今井、前田

(4) 議事次第

研究推進と連携方針について

4.1.14. 研究打ち合わせ

(1) 開催日時

平成 21 年 9 月 4 日（金）13 時～16 時

(2) 開催場所

海洋研究開発機構東京事務所

(3) 出席者

金田、古村、馬場、大堀、中村、前田

(4) 議事次第

南海・東南海領域の速度構造と強震動・津波シミュレーションへの利用について

4.1.15. 研究打ち合わせ

(1) 開催日時

平成 22 年 2 月 3 日 (火) 16:00～17:00

(2) 開催場所

高知会館 白鳳の間

(3) 出席者

金田、古村、今村

(4) 議事次第

研究推進と連携方針について

4.1.16. 「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」推進委員会規則

東京大学大学院情報学環
南海トラフ巨大地震連動性評価研究推進委員会規則

平成 20 年 6 月 13 日制定

平成 21 年 4 月 1 日改定

（趣旨）

この規則は、「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」プロジェクトを効果的に推進するため、南海トラフ巨大地震連動性評価研究推進委員会（以下「委員会」という。）の組織及び運営について定めるものとする。

（目的）

委員会は、本プロジェクトの研究に関する重要事項を審議し、関係研究機関（者）間の連携を緊密にし、もってその有効な推進を図ることを目的とする。

（任務）

前条に定める目的を達成するため、委員会は、次の各号に掲げる事項について審議し、決定する。

（1） 本プロジェクトに関わる研究計画

委員会の構成員

その他、研究推進に関わる事項

（構成）

第 4 条 委員会の委員は、次の各号に掲げる職員の中から情報学環長が委嘱する。

（1） 本プロジェクトに参加する者若干名

（2） 上記以外の有識者若干名

2 必要に応じて、オブザーバの参加を認める。

（委員長）

第 5 条 委員会に委員長を置く。

2 委員長に事故あるときは、あらかじめ委員長の指名する委員がその職務を代理する。

（任期）

委員の任期は、2 年とする。ただし、委嘱を受けた翌年度の 3 月 31 日を超えることはできない。

2 委員の再任は妨げない。

3 補欠による委員の任期は、前任者の残任期間とする。

(会議)

第7条 委員会は、必要に応じ、委員長が招集する。

(庶務)

委員会の事務は、情報学環において処理する。

(委員会の期限)

委員会の期限は本プロジェクトの終了までとする。

(補則)

第11条 この規則に定めるもののほか、委員会の運営に関して必要な事項は、委員会の定めるところによる。

附 則

この規則は、平成21年4月1日から施行する。

4.1.17.「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」研究推進委員会② 構成

H21. 4. 1 日現在

(有識者)

委員長	本蔵 義守	国立大学法人東京工業大学大学教授
委員	入倉孝次郎	愛知工業大学地域防災研究センター客員教授
委員	吉井 博明	東京経済大学コミュニケーション学部教授
委員	宇平 幸一	気象庁地震火山部管理課長
委員	春日 茂	海上保安庁海洋情報部技術・国際課長
委員	飛田 幹男	国土地理院地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室長
委員	小林佐登志	静岡県危機管理局危機管理監兼管理局長
委員	小出 茂樹	愛知県防災局長
委員	東地 隆司	三重県防災危機管理部長
委員	森 崇	和歌山県危機管理監
委員	森部慎之助	高知県危機管理部長
委員	山川 正雄	徳島県危機管理部長

(研究担当者)

委員	古村 孝志	国立大学法人東京大学情報学環 総合防災情報研究センター 教授
委員	今村 文彦	国立大学法人東北大学大学院工学研究科教授
委員	福和 伸夫	国立大学法人名古屋大学大学院環境学研究科教授
委員	牧 紀夫	国立大学法人京都大学防災研究所 巨大災害研究センター准教授
委員	金田 義行	独立行政法人海洋研究開発機構海洋工学センター 海底地震・津波観測ネットワーク開発部長

(委託元)

オブザーバ	文部科学省研究開発局地震・防災研究課長
-------	---------------------

4.2. 対外発表

4.2.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
南海トラフ地震連動発生による地震と津波の高精度評価（口頭）	古村孝志・ 今井健太郎・ 齊藤竜彦	日本地球惑星科学 連合2009年大会	2009年5月21 日	国内
Amplification of tsunami heights by delayed rupture of great earthquakes along the Nankai trough（口頭）	Imai, K., K. Satake, and T. Furumura	Asia Oceania Geosciences Society 2009, Singapore	2009年8月 15日	国際
南海東南海東海地震の連動発生による強震動と津波--1707年宝永地震の震源モデルの再評価--（口頭）	古村孝志・ 今井健太郎	2009年日本地震学 会秋季大会	2009年10月 21日	国内
南海トラフ巨大地震の破壊遅れによる土佐湾沿岸における津波後続波の増幅（口頭）	今井健太郎・佐竹健治・古村孝志	2009年日本地震学 会秋季大会	2009年10月 23日	国内
南海トラフで発生する地震による四国南部沿岸での津波継続特性（口頭）	今井健太郎・佐竹健治・古村孝志	2009年第56回海岸 工学講演会, 茨城県	2009年11月 20日	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
南海トラフで発生する地震による四国南部沿岸での津波継続時間	今井健太郎・ 佐竹健治・ 古村孝志	土木学会論文集B2 （海岸工学）, Vol. B2-65, No. 1, pp. 281-285	2009年11月	国内
南海トラフ連動型巨大地震による地震動と津波の予測	古村孝志・ 今井健太郎・ 齊藤竜彦	月刊地球, 総特集 連動型巨大地震-III	2009年5月	国内

Amplification of tsunami heights by delayed rupture of great earthquakes along the Nankai trough	Imai, K., K. Satake, and T. Furumura,	Earth, Planets and Space, Vol. 62, pp.427-432	2010年6月	国際
--	--	---	---------	----

4.2.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
海底変動に起因した津波の発生時と伝播時における津波高さの関係（口頭）	宍戸直哉・ 今村文彦	平成19年度東北支部技術研究発表会、土木学会、岩手	2008年3月7日	国内
地域共同型による津波ハザードマップづくりの検討と全国展開へ（口頭）	宍戸直哉・ 今村文彦	日本自然災害学会、第27回日本自然災害学会学術講演会、福岡	2008年9月25日	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Characteristics and mitigation measures for tsunamis generated along the Nankai trough	Imamura, F. and K. Imai	Journal of Disaster Research, Vol.4, No.2, pp.127-134	2009年7月	国際
津波リスクマップ作成のための被害評価手法の検討	宍戸直樹・ 今村文彦	海岸工学論文集, Vol. 56, pp. 1346-1350	2009年11月	国内
地域ごとのリアルタイム津波予測における初期条件設定の影響	阿部郁男・ 今村文彦	海岸工学論文集, Vol. 56, pp. 335-340	2009年11月	国内

4.2.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
------------------------	-------	------------	------	---------

継続時間の長い強震動の作成に関する検討（口頭）	高橋 広人・ 福和 伸夫・ 護 雅史・ 飛田 潤	日本建築学会大会	2009. 8	国内
実質的な広域地震被害想定のための地域地震対応能力に関する基礎的検討、（口頭）	池田 政人・ 福和 伸夫・ 護 雅史・ 飛田 潤	日本建築学会東海支部研究発表会	2010. 2	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Integrated Disaster Simulator using WebGIS and its Application to Community Disaster Mitigation Activities	Tobita, J, N. Fukuwa, and M. Mori	Journal of Natural Disaster Science	2009.9	国際
基礎形状の不整形性や基礎形式の混用がねじれ基礎入力動に与える影響	岩城 梨佳・ 福和 伸夫・ 護 雅史・ 彦坂 智基	日本建築学会構造系論文集	2010. 3	国内

4.2.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
災害対策基本法の総合性、計画性と巨大災害への対処—21世紀前半の巨大時代を踏まえた災害対策のあり方—	牧 紀男	地域安全学会論文集、No.12（電子ジャーナル論文）、No.8	2010	国内
Population Exposure to Tonankai-Nankai Earthquake Under the Consideration of	Chen, H.-L., N. Maki, and H. Hayashi	Proc. International Symposium on City Planning	2009	国際

Population Transition in 2030				
Response to Possible Earthquake Disaster in the Tokai, Tonankai, and Nankai Areas, and their Restoration/Reconstruction Strategies	Maki, N., H.-L. Chen, and S. Suzuki	Journal of Disaster Research, Vol.4, No.2, pp.142-150	2009	国際

4.2.5. サブプロジェクト1の研究成果の活用および地域研究会の開催

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
海底強震観測で得られる最大振幅レベルに関する検討（口頭）	大堀道広・ 中村武史・ 金田義行	日本地球惑星合同 連合大会	2009年5月18 日	国内
南海トラフ沿いの巨大地震に対するサイト増幅特性評価のための一考察（口頭）	大堀道広・ 金田義行	日本建築学会大会	2009年8月28 日	国内
「東海東南海南海地震の連動性評価研究」における地域研究会の取り組み（ポスター）	金田義行・ 大堀道広・ 馬場俊孝・ 藤森英俊・ 石井利枝・ 小柳津昌久	日本地震学会秋季 大会	2009年10月 21日	国内
南海地震の地殻変動による高知市の海拔ゼロメートル地帯の拡大（ポスター）	馬場俊孝・ 金田義行	日本地震学会秋季 大会	2009年10月 21日	国内
Qs値の幾何減衰項依存性に関する考察 —三重県で発生した中規模地震を例として— （ポスター）	大堀道広・ 中村武史	日本地震学会秋季 大会	2009年10月 21日	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Newly Proposed Disaster Mitigation and Recovery for the Next Nankai Trough Megathrust Earthquakes	Kaneda, Y., M. Ohori, and T. Nakamura	Journal of Disaster Research	Vo.4, No.2, pp.151-152, 2009	国際

5. むすび

東海・東南海・南海地震の連動発生を考慮した、強震動と津波被害の高精度予測と、防災・減災対策及び応急対応、復興・復旧施策の検討を行う本研究プロジェクトが、昨年度（平成 20 年度）より 5 年計画でスタートしました。

本プロジェクトの初年度（平成 20 年）には、強震動及び津波予測のための地下構造・表層地盤モデルや海底地形モデルを整備し、そしてスーパーコンピュータを用いた大規模シミュレーションモデルの開発を進めました。また、構造物の被害予測のためにコンクリート造構造物の耐震診断や軟弱地盤の大規模基礎杭群の応答解析モデルを開発したほか、地域社会特性を反映した災害対応の基礎データとなる社会状況 GIS データベースの整備を進めるなど、5 年計画の実施に向けて要素技術の開発に力を注ぎ、そして研究者と自治体及びライフライン企業の防災担当者との意見交換を行い、地域防災力を把握するための地域研究会を設置しました。

今年度（平成 21 年度）には、昨年度整備した研究基盤を活用して、東海・東南海・南海地震の連動発生による強震動と津波、そして被害についての具体的な検討に着手しました。連動発生による震源域の拡大は、強震動と津波の被害を単に広範囲に科すだけでなく、連動の様式と地震発生の多様性により長周期地震動の増幅が発生したり、津波の放射指向性と波高の増大が起きるなど、想定外の影響が出る恐れもあります。単独発生または連動発生の判断に加えて、連動発生時の破壊開始点と破壊伝播の方向、そして時間差発生やゆっくり破壊の可能性についても検討が必要です。

本プロジェクト①及び②の連携により、1707 年宝永地震の震源域の西端が、従来考えられてきた足摺岬よりも 70 km 以上西側の日向灘にまで及んでいた可能性が示されました。これが事実であれば、宝永地震を意識した連動発生シナリオを修正する必要があります。今後、サブプロジェクト①の海域地下構造探査と地震発生サイクルシミュレーションに関する研究と、本サブプロジェクト②の強震動と津波シミュレーション、及びこれにより想定される被害と社会影響に関する連携を一層強化して、連動型巨大地震の最悪シナリオを明確化する必要があります。

連動型巨大地震発生による強震動と地震地殻変動、そして津波はこれまで現代社会が体験したことのない複合災害を起こす恐れがあります。本年度は、高知市を対象として地震地殻変動と津波による河川遡上と浸水被害シミュレーションを開始し、その影響を自治体の防災担当者と検討する地域ワークショップと地域研究会を進めました。同様の課題は大阪市や名古屋市など他の都市でも当てはまります。次年度は、これまで構築した表層地盤モデルや軟弱地盤における構造物の応答モデルを用いて、これら都市の課題の検討を開始します。

こうして、連動型巨大地震による強震動と津波の被害が社会に与える影響を着実に評価し、そして 10 年、20 年、30 年後の将来の地域社会特性を反映した災害応急対応、復興・復旧施策を考えるために、防災担当者やライフライン事業者の方々と地域研究会を通じて密接に連携を取り、現実的かつ実行力のある施策を共に考えていきます。

（サブプロジェクト②研究代表者 古村孝志）