

海域における
断層情報総合評価プロジェクト

(平成26年度)

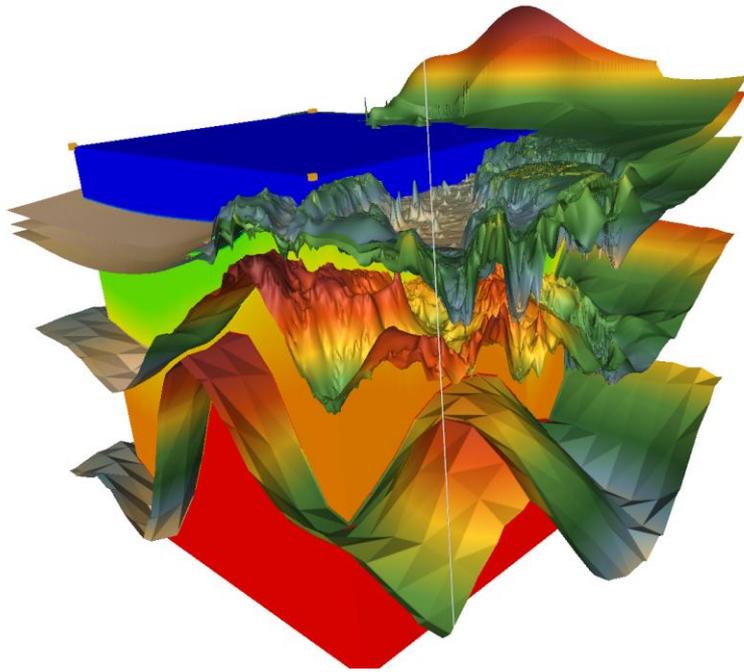
成果報告書

平成27年5月

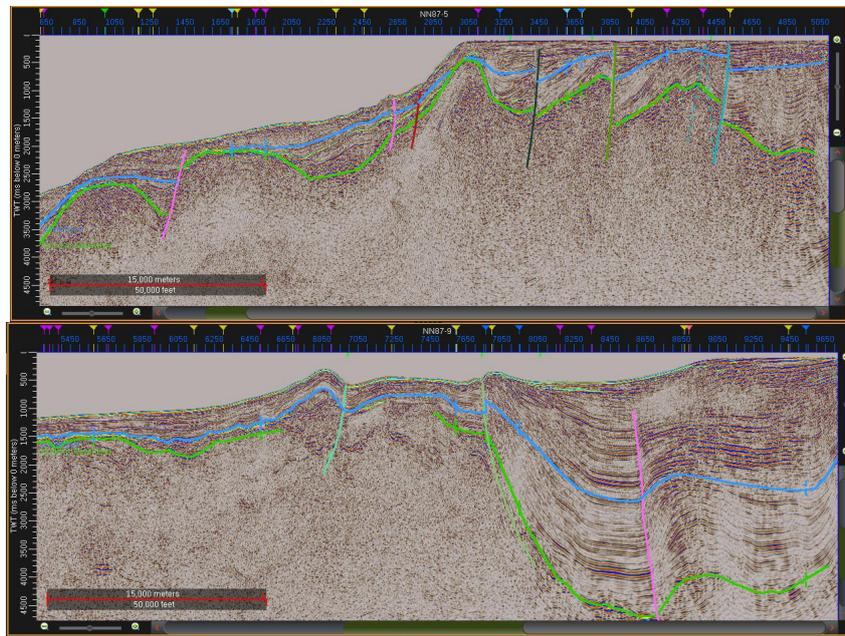
文部科学省 研究開発局
国立研究開発法人 海洋研究開発機構

本報告書は、文部科学省の科学技術基礎調査等委託事業による委託業務として、国立研究開発法人海洋研究開発機構が実施した平成 26 年度「海域における断層情報総合評価プロジェクト」の成果を取りまとめたものです。

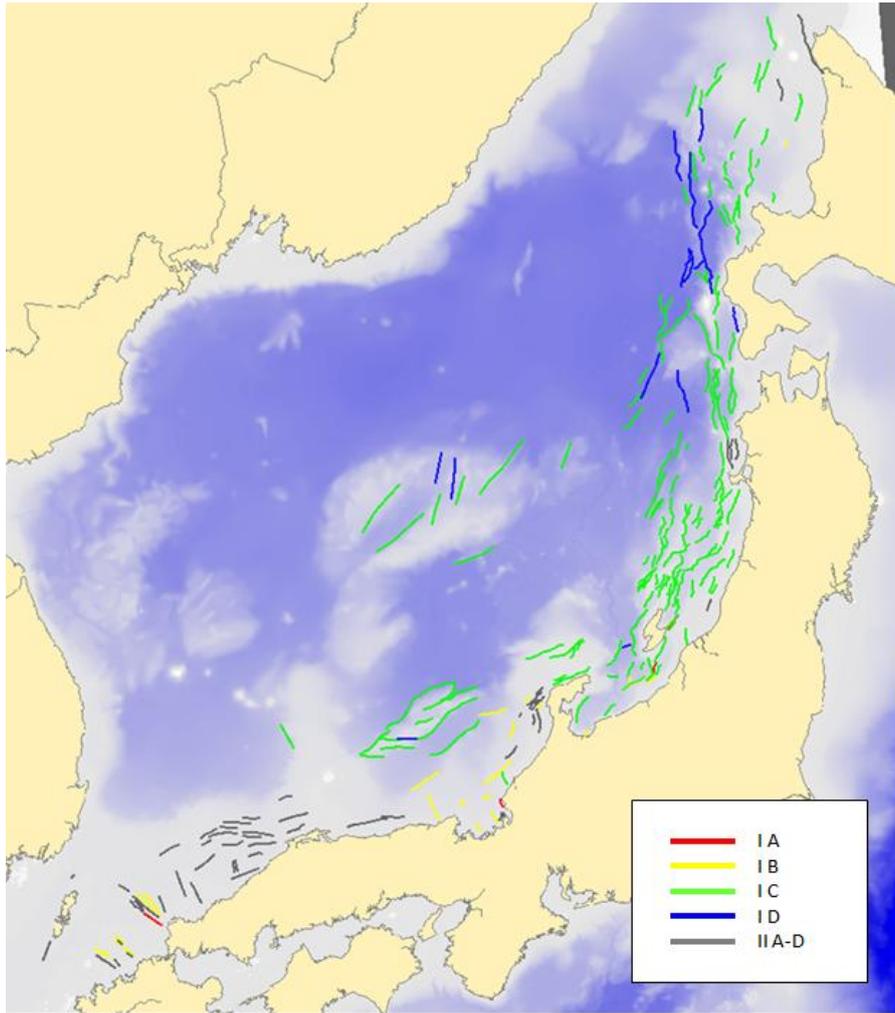
無断複製等禁止



速度構造モデル概観



男鹿半島周辺の震探断面図。(上)北側、(下)南側。



断層分布图

目次

はじめに	…1
1. プロジェクトの概要	…2
2. 業務の実施体制	…4
3. 研究報告	
3.1 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築 担当：国立研究開発法人海洋研究開発機構	…5
3.2 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈 担当：国立研究開発法人海洋研究開発機構	…29
3.3 海域における断層モデルの構築 担当：国立研究開発法人防災科学技術研究所	…109
4. 全体成果概要	…204
5. 成果の論文発表・口頭発表等	…204
6. むすび	…205
7. 委員会・会議	…205

はじめに

平成 23 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震による甚大な津波被害を教訓に、現在、国や地方公共団体等で津波ハザード評価が行われており、科学的知見に基づく津波ハザード評価の必要性は国民的なコンセンサスとなっている。津波ハザード評価には、津波の波源となり得る海域に分布する断層の位置や形状、変位方向などの情報が必要である。しかし、陸域の活断層については、全国を統一的基準のもとに認定しカタログ化した「新編日本の活断層(1981)により、活断層の長期評価等のハザード評価が統一的かつ効率的に進められている一方で、海域についてはこのようなカタログは整理されていない。これまで、海洋研究開発機構(JAMSTEC)、石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)、産業技術総合研究所(AIST)等により多くの調査が行われ、海域の断層図が作成されてきたものの、各機関によって精度や解釈に違いがあり、同じ地域でも断層分布の解釈結果が異なるなど混乱が生じている。

このため、日本周辺海域の断層情報を統一的な基準で整備し、津波ハザード評価のための基礎資料を提供することを目的とした研究開発プロジェクトを実施する。

なお、本プロジェクトは、これまで、複数の機関で取得されている海底下構造のデータを再解析し、有識者による一定の解釈を行うことにより、日本周辺の沿岸域の断層情報を整理するとともに、適切な防災減災対策に繋げ、ひいては国土保全のために海底地下構造データベースとして広く情報を公開し、産学官民すべてが有効に活用できるよう運用していくことを目的とする。

1. プロジェクトの概要

陸上では、空中写真や現地での測量、ボーリング調査、放射年代測定などの様々な手法によって断層の調査が実施されている。一方、海底の断層については、石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)の基礎物理探査、産業技術総合研究所(AIST)による浅層反射探査、海洋研究開発機構(JAMSTEC)や海上保安庁による海底下構造探査などが行われ、断層を含めた海底下の構造データが取得されてきているものの、探査や解析手法の違いにより、断層の統一的な評価までには至っておらず、どの位置に断層があるかという基本的な情報も理解されていない。特に陸域に近い浅海部については、物流の拠点であり企業や工場だけではなく、エネルギー関連施設も多く立地した重要拠点であり、沿岸域の断層評価は、断層のずれによる地震や津波の被害軽減の対策を検討するために喫緊の課題である。

本プロジェクトでは、これまで、複数の機関で取得されている海底下構造のデータを再解析し、有識者による一定の解釈を行うことにより、日本周辺の沿岸域の断層情報を整理するとともに、適切な防災減災対策に繋げ、ひいては国土保全のために海底地下構造データベースとして広く情報を公開し、産学官民すべてが有効に活用できるよう運用していくことを目的とする。

これら情報は、活動度の評価と合せ、解りやすい形で提供することにより、特に沿岸域の企業立地戦略や既存建造物の防災・減災対策の策定に資する有益な情報となるほか、普及・広報を通じた住民への防災意識の向上にも有用であるほか、海底下の構造の解釈を通じて地震発生メカニズムの解明に資するデータとなるものである。

(1) 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築

日本周辺の海域断層イメージを得るのに重要な反射法探査データ等を収集する。ここでは、国立研究開発法人、官公庁、各大学などで取得されてきたエアガンを震源とする反射法探査データと深度に変換する速度構造及び海底地形情報を収集し、一元的に管理・保管を行うものとする。

収集した既往のデータから、日本周辺海域の断層分布を明らかにして、成果を公開できるデータベース(DB)を構築する。データは毎年蓄積されるが、DBは、それらのデータを新規に加えて成果を改訂できる柔軟性と拡張性を持つシステムとする。

(2) 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈

収集された統一的断層解釈を行うために必要な反射法探査データ等のデータから、海底下最大 10~20km 程度までの反射面の分布を把握し、ノイズ除去手法など最新のデータ処理を加え、深部イメージングの品質を向上させる。DBに登録後、断層を解釈し、断層の3次元的な広がりを評価する。断層には調査の音源に応じた分解能の違いがあるが、主断層を抽出し(3)に情報を提供する。断層の深部延長も解釈を加え、そのデータタッチメントの場所を評価する。解釈結果は、客観性を保持するため、評価助言委員の方々から意見を頂き、適宜改訂する。

(3) 海域における断層モデルの構築

サブテーマ(2)で再解析・解釈して求めた日本周辺海域の3次元断層分布から、断層面の広がり大きい主断層を抽出し、断層モデルを構築する。M7程度以上であると推定されるもので、かつ、津波や地震動の記録が存在する地震の震源断層と考えられるものについては、地震動と津波のシミュレーションを行うことにより、構築した断層モデルの妥当性を検証する。モデル構築及びシミュレーションについては、必要に応じて地震調査研究推進本部地震調査委員会の下に設置された評価部会等に報告し、その議論も踏まえて進める。また、断層分布と地殻内の変形構造との整合性を確認する。

本報告書では、平成26年度の成果について記す。

2. 業務の実施体制

実施項目	担当機関	担当者
事業責任者	国立研究開発法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター 招聘上席技術研究員	金田 義行
海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築	国立研究開発法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター 海域断層情報総合評価グループ 調査役	及川 信孝
海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈	国立研究開発法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター 研究開発センター長代理	高橋 成実
海域における断層モデルの構築	国立研究開発法人防災科学技術研究所 社会防災システム研究領域 災害リスク研究ユニット 統括主任研究員	藤原 広行

3. 研究報告

3. 1 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層 DB の構築

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層 DB の構築

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人海洋研究開発機構	調査役	及川 信孝
	グループリーダー代理	高橋 成実

(c) 業務の目的

日本周辺の海域断層イメージを得るのに重要な反射法地震探査データ等を収集する。また、これらのデータは膨大な量になるため、統一的に整理し、効率的に検索できるデータベースシステムを構築する。ここでは、国立研究開発法人、官公庁、各大学及び民間石油会社などで取得されてきたエアガンを震源とする反射法地震探査データと位置データ、深度に変換する速度構造及び海底地形情報を収集し、クオリティコントロールを実施した上で、一元的に管理・保管を行うものとする。データは毎年蓄積されるが、データベースはそれらのデータを新規に加えて成果を改訂できる柔軟性と拡張性を持つシステムとする。

収集した既往のデータから、日本周辺海域の断層分布を明らかにして、成果を公開できるデータベースをプロジェクト全体の進捗に合わせて構築する。

(d) 7カ年の年次実施業務の要約

1) 平成 25 年度：

データベース (DB) の仕様を設計、ハードウェアとソフトウェアを選択・導入し、DB を構築した。日本海の既往調査データを JAMSTEC 及び外部機関から収集を開始し、DB へ登録を行った。

2) 平成 26 年度：

引き続き日本海のデータを収集するとともに、DB への登録を行う。平成 25 年度に再解析したデータを登録し、DB の充実を行った。

3) 平成 27 年度：

南海トラフから南西諸島海域のデータを収集するとともに、DB への登録を行う。平成 26 年度に再解析したデータ・解釈結果を登録し、DB の充実を行う。

4) 平成 28 年度：

引き続き南海トラフから南西諸島海域のデータを収集するとともに、DB への登録を行う。平成 27 年度に再解析したデータ・解釈結果を DB に登録し、DB の充実を行う。

5) 平成 29 年度：

日本海溝・伊豆小笠原海域のデータを収集するとともに、DB への登録を行う。平成

28年度に再解析したデータ・解釈結果をDBに登録し、DBの充実を行う。DBの外部への情報公開の方針を決め、情報公開のためのシステムを構築する。

6) 平成30年度：

日本海溝・十勝沖・オホーツク海のデータを収集するとともに、DBへの登録を行う。平成29年度に再解析したデータ・解釈結果をDBに登録する。データ公開システムを検証、仮運用開始を行う。

7) 平成31年度：

平成30年度に再解析したデータ・解釈結果を登録し、DBを完成させる。再解析した結果と解釈結果のDBを確認し、不足分を補てんする。システム全体の機能を再確認し、DBを公開する。この成果を社会還元し、システムの利活用を図るため、いくつかの関係する自治体とともに成果報告会を行う。

(2) 平成26年度の成果

(a) 業務の要約

平成26年度の業務の目的は、平成25年度に引き続き日本海で実施された既往の反射法地震探査データ、速度構造、ならびに海底地形情報の収集である。古い年度の反射法地震探査データについては再解析を実施して解釈に十分な品質を持つデータとして平成25年度に構築を開始したデータベース（DB）に登録した。

日本海の既往データの収集にあたっては、主に海洋研究開発機構（JAMSTEC）をはじめとし、石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）と産業技術総合研究所（AIST）の保管所有するデータを対象としたが、他に海上保安庁などの公的機関及び民間石油会社のデータを加えるとともに深海掘削計画（DSDP）等の公開データについても収集を行った。JOGMECのデータについては、日本海の既往データに加えて南西諸島海域の既往データについても先行して収集を行った。AISTのデータについては平成25年度に能登半島以西のデータ収集を行っており、平成26年度は能登半島以東のデータ収集を進め、AISTが日本海で実施した既往データの収集はほぼ終了した。これら収集されたデータはメタ情報等を付加し、位置データと海底地形の整合性を確認して登録した。メタ情報を付加しているので、これらのデータは、キーワード検索が可能となるような形でDBへ登録を行っている。

(b) 業務の成果

1) データ収集

平成26年度は、JAMSTEC、JOGMEC、AISTの他、海上保安庁、国土地理院の公的機関、富山大学や東京大学大気海洋研究所、及び民間石油会社については国際石油開発帝石（株）（INPEX）、石油資源開発（株）（JAPEX）のデータについて収集を行った。また、深海掘削計画（Deep Sea Drilling Program:DSDP）、国際深海掘削計画（Ocean Drilling Program:ODP）及び統合国際深海掘削計画（Integrated Ocean Drilling Program:IODP）の公開データの収集も行った。これら収集データについて機関ごとのデータについて概要を記述し、表に示す。

JAMSTEC 調査は、マルチチャンネル反射法地震探査及び屈折法地震探査データ取得の調査であり、平成 26 年度「日本海地震・津波プロジェクト」については船上で処理が施された中間段階のデータである（表 1）。

表 1 JAMSTEC調査 収集データ

調査名	2次元調査測線長 (km)	データ種別
平成 14 年度「鳥取沖日本海の地震探査調査研究」 KY02-09	169.83 203.25	反射法地震探査 屈折法地震探査
平成 21 年度「日本海東縁ひずみ集中帯における地震 探査調査研究」KY09-06	250.60	屈折法地震探査
平成 26 年度「日本海地震・津波プロジェクト」 KR14-08	2,278.40	反射法地震探査

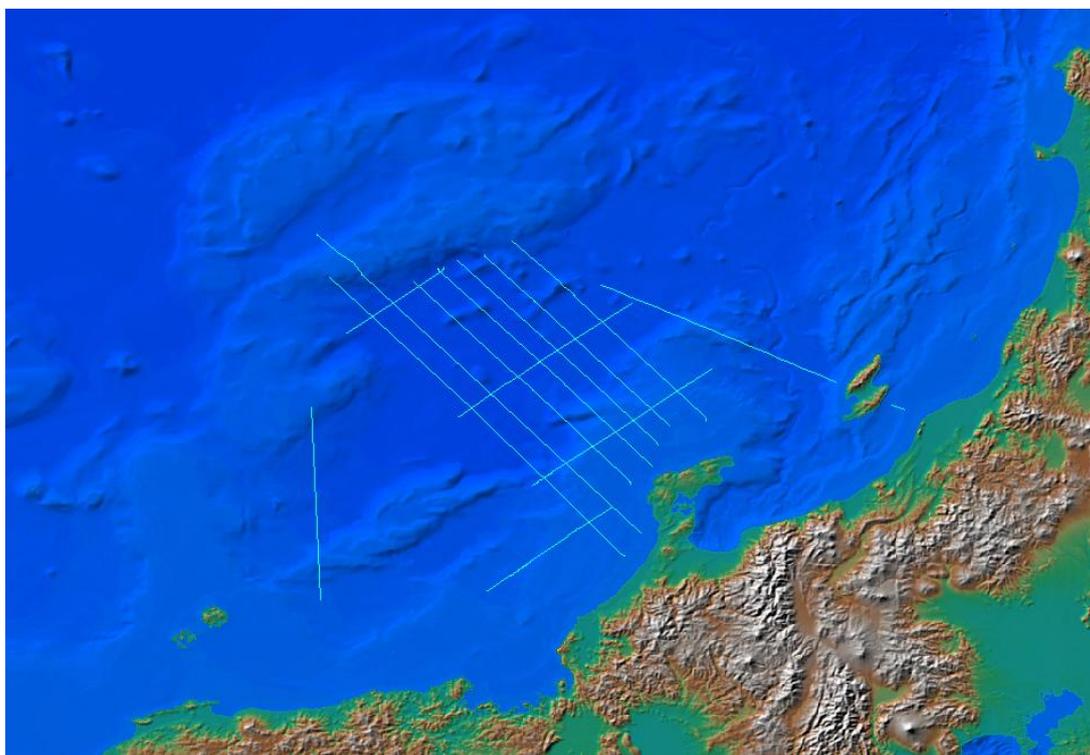


図1 JAMSTEC収集データ（日本海） 白色が測線を示す

JOGMEC調査は、マルチチャンネル反射法地震探査データと坑井データを収集したが、反射法地震探査データについては日本海その他、南西諸島についても計画を先行させて収集を行った（表2）。

表2 JOGMEC調査 収集データ

調査名	調査年度	海域	データ種別
平成2年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「新潟～富山浅海域」	H2	日本海	反射法地震探査
平成3年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「新潟～富山浅海域」	H3	日本海	反射法地震探査
平成3年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「本庄沖 3D」	H3	日本海	反射法地震探査
平成4年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「新潟～富山浅海域」	H4	日本海	反射法地震探査
平成7年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「対馬沖」	H7	日本海	反射法地震探査
平成21年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「対馬南西 3D」	H21	日本海	反射法地震探査
平成8年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「天北浅海域」	H8	日本海	反射法地震探査
昭和42年度 天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「西目沖」	S42	日本海	坑井
昭和43年度 天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「野石沖」	S43	日本海	坑井
昭和43年度 天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「沢目沖」	S43	日本海	坑井
昭和47年度 天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「浜勇知」	S47	日本海	坑井
昭和48年度 天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「遠別」調査	S48	日本海	坑井
昭和56年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「直江津沖北」	S56	日本海	坑井
昭和57年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「鳥取沖」	S57	日本海	坑井
昭和58年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「最上川沖」	S58	日本海	坑井
昭和59年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「富山」	S59	日本海	坑井
昭和59年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「西津軽沖」	S59	日本海	坑井
昭和60年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「金沢沖」	S60	日本海	坑井

昭和 60 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「留萌」	S60	日本海	坑井
昭和 61 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「高田平野」	S61	日本海	坑井
昭和 62 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「柏崎沖」	S62	日本海	坑井
昭和 63 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「香住沖」調査	S63	日本海	坑井
昭和 63 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「佐渡沖」	S63	日本海	坑井
平成 4 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「由利沖中部」	H4	日本海	坑井
平成 5 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「本荘沖」	H5	日本海	坑井
平成 6 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「石狩湾」	H6	日本海	坑井
平成 7 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「西頸城」	H7	日本海	坑井
平成 7 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「子吉川沖」	H7	日本海	坑井
平成 8 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「五島灘」	H8	日本海	坑井
平成 12 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「チカupp」	H12	日本海	坑井
平成 14 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「佐渡南西沖 S」	H14	日本海	坑井
平成 23～25 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎試錐)「上越海丘」	H23～H25	日本海	坑井
浜田-1	S47	日本海	坑井
福江-1	S47	日本海	坑井
福江北-1	S49	日本海	坑井
国府-1	S50	日本海	坑井
山口-1	S50	日本海	坑井
萩-1	S50	日本海	坑井
隠岐-1	S50	日本海	坑井
対馬 Tsu-KE-1	S54	日本海	坑井
対馬 Tsu-KO-1	S54	日本海	坑井
対馬 Tsu-KU-1	S55	日本海	坑井

昭和 47 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「沖縄～与那国」	S47	南西諸島	反射法地震探査
昭和 47 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「南西諸島」	S47	南西諸島	反射法地震探査
昭和 48 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「沖縄」	S48	南西諸島	反射法地震探査
昭和 50 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「沖縄西方海域」	S50	南西諸島	反射法地震探査
昭和 55 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「トカラ列島沖」	S55	南西諸島	反射法地震探査
平成 2 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「九州南西～トカラ沖」	H2	南西諸島	反射法地震探査
平成 14 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「日韓大陸棚」	H14	南西諸島	反射法地震探査
平成 20 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「沖縄-宮古島 2D」	H20	南西諸島	反射法地震探査
平成 22 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「八重山南方 2D」	H22	南西諸島	反射法地震探査
平成 24 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「沖縄 2D・3D」	H24	南西諸島	反射法地震探査

AISTの保管・所有するデータに関しては、シングルチャンネルデータということもあり、調査測線の数が前述2機関のそれに比べ膨大である。平成26年度は、能登半島東方から北海道西部にかけての調査の収集を行った(表3)。AISTデータは、JAMSTECやJOGMECのデータと異なり、1チャンネルしか受振点をもたない短いストリーマーケーブルを採用しているため、深部のイメージングはあまり適さないが、浅部領域を高分解能でイメージングするには適している。測線間隔も狭いため、水平方向の空間分解能を得るには重要なデータである。

表3 AIST調査 収集データ

調査名	調査年度	海域	データ種別
日本海西部及び九州西方	S52	日本海	地震探査
日本海中部	S53	日本海	地震探査
九州及び山口北方海域	S60	日本海	地震探査
島根鳥取沖海域	S61	日本海	地震探査
若狭湾周辺海域	S62	日本海	地震探査
能登半島周辺海域	S63	日本海	地震探査
東北沖日本海	H1	日本海	地震探査
東北沖日本海(佐渡)	H2	日本海	地震探査

東北沖日本海(秋田)	H3	日本海	地震探査
東北沖日本海	H4	日本海	地震探査
東北沖日本海	H5	日本海	地震探査
北海道西方日本海(渡島)	H6	日本海	地震探査
北海道西方日本海(積丹)	H7	日本海	地震探査
北海道西方日本海(石狩)	H8	日本海	地震探査
北海道西方日本海(天塩)	H10	日本海	地震探査
北海道西方日本海(奥尻)	H11	日本海	地震探査

海上保安庁の調査は、調査年度の新旧によりエアガンを震源とするマルチチャンネル反射法地震探査とスパーカーを震源とするシングルチャンネル反射法地震探査調査がある（表4）。

表4 海上保安庁調査 収集データ

調査名	調査年度	海域	データ種別
珠洲沖	S56	日本海	反射法地震探査
七尾湾	S56	日本海	反射法地震探査
日本海中部	S59-60	日本海	反射法地震探査
佐渡周辺	S61	日本海	反射法地震探査
本荘～秋田沖	H12-13	日本海	反射法地震探査
加賀～福井沖	H15	日本海	反射法地震探査

国土地理院調査のデータは、震源がスパーカーのシングルチャンネルデータである（表5）。

表5 国土地理院調査 収集データ

調査名	調査年度	海域	データ種別
富山・氷見	S53-54	日本海	反射法地震探査
平戸	S57-58	日本海	反射法地震探査
行橋	H14	日本海	反射法地震探査

DSDPなどの深海掘削関係の調査は広範囲に及ぶがそれらの収集した調査一覧を表6に示す。

表6 DSDP、ODP、IODP調査 収集データ

DSDP Leg6	—	日本海溝、伊豆、小笠原	坑井
DSDP Leg20	—	日本海溝、伊豆、小笠原	坑井
DSDP Leg31	—	日本海、南海トラフ、 南西諸島、伊豆、小笠原	坑井
DSDP Leg56_57	—	日本海溝	坑井
DSDP Leg58	—	南海トラフ、南西諸島	坑井
DSDP Leg86	—	日本海溝	坑井
DSDP Leg87	—	南海トラフ	坑井
ODP Leg125	—	伊豆・小笠原	反射法地震探査、坑井
ODP Leg126	—	伊豆・小笠原	反射法地震探査、坑井
ODP Leg127	—	日本海	反射法地震探査、坑井
ODP Leg128	—	日本海	反射法地震探査、坑井
ODP Leg131	—	南海トラフ	反射法地震探査、坑井
ODP Leg132	—	伊豆・小笠原	反射法地震探査、坑井
ODP Leg144	—	伊豆・小笠原、日本海溝	反射法地震探査、坑井
ODP Leg185	—	伊豆・小笠原、日本海溝	反射法地震探査、坑井
ODP Leg186	—	日本海溝	坑井
ODP Leg190	—	南海トラフ	反射法地震探査、坑井
ODP Leg196	—	南海トラフ	坑井
IODP Exp. 314	—	南海トラフ	坑井
IODP Exp. 315	—	南海トラフ	坑井
IODP Exp. 316	—	南海トラフ	坑井
IODP Exp. 319	—	南海トラフ	坑井
IODP Exp. 322	—	南海トラフ	坑井
IODP Exp. 326	—	南海トラフ	坑井
IODP Exp. 331	—	南西諸島	坑井
IODP Exp. 332	—	南海トラフ	坑井
IODP Exp. 333	—	南海トラフ	坑井
IODP Exp. 337	—	日本海溝	坑井
IODP Exp. 338	—	南海トラフ	坑井
IODP Exp. 343	—	日本海溝	坑井
IODP Exp. 346	—	日本海、南西諸島	坑井

2) 収集データの整理と登録

収集した既往調査データについては、昨年度策定したワークフローに基づき、全体の把握及び円滑に解釈作業へデータを引き渡せるよう、整理・登録作業を実施した。

本年度は日本海海域を中心に作業を実施したが、一部、南西諸島海域の既往調査データも収集したため、それらも合わせて整理・登録作業を実施した。

a) データ整理プレ段階ワークフロー (図 2)

データ整理プレ段階では収集したデータの全体量把握のために棚卸を実施、各媒体に記録されているデータのディスクへのコピー、古いサイスミックデータに対してはマイグレーションを含む再解析を実施し品質を向上させた。データのディスクへのコピーは、各データの種別により予め決められたディレクトリへとコピーした。

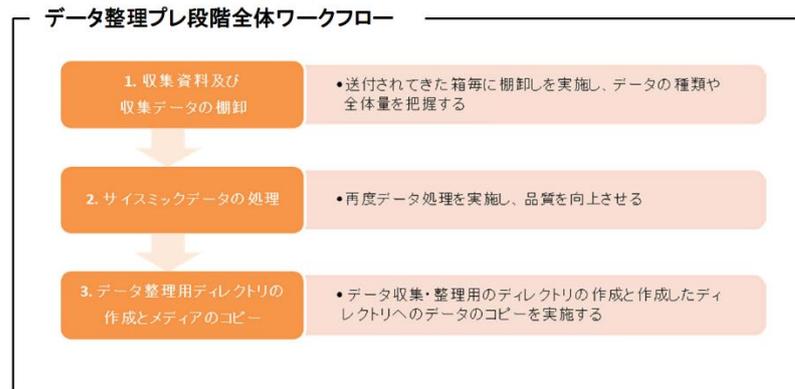


図 2 データ整理プレ段階ワークフロー

b) データ整理段階ワークフロー (図 3)

データ整理段階ではデータ整理・管理ソフトウェアである CTC 社製ソフトウェア e-GeoDB をカスタマイズしたものやサイスミックデータ処理ソフトウェアである Landmark 社製ソフトウェア ProMAX/SeisSpace を活用し、下記の手順に従って効率的なデータの整理、quality control (QC) を行った。



図 3 データ整理段階ワークフロー

i) サイスマック断面のキャプチャ作成

サイスマック断面の画像データのキャプチャを作成し、それらを e-GeoDB へ登録することにより、モニターの同一画面上に複数のサイスマック断面が表示可能となった。これにより、地質構造の変化等が容易に視認可能となった。また、3D 表示によりサイスマック断面上の海底と海底地形図とを比較することでサイスマック断面が正確な位置に登録されていることが確認できる他、デジタルデータの記録開始時刻が正しいか等の QC に活用することが可能となった。キャプチャの作成にあたっては Landmark ソフトウェア ProMAX/SeisSpace を利用し、SEGY ファイルの読み込みと、データの表示等を行った。また記録長、測線長、チャンネル数等、SEGY ファイルのヘッダ類から可能な限りメタ情報を読み取った。

ii) メタ情報の整理

e-GeoDB へ登録するメタ情報の整理は、メタ情報登録テンプレート (Excel 形式) に従い記入するが、これらは調査/データ処理/解釈報告書等の文献から情報を収集する。報告書が存在しない場合や報告書にメタ情報として記入すべき事項が記載されていない場合は、メタ情報登録テンプレートの該当事項は空欄で登録し、後で分かり次第記入することとした。各調査で収集したメタ情報を別表 3 にまとめた。

iii) 位置情報データ (ナビゲーションデータ) の整理

GeoDB へ反射法地震探査測線、OBS 測線及び坑井等の位置情報を登録することで

それらをマップ上に表示可能となり、その結果を視認することにより数値データであるナビゲーションデータが適切に取得されたかの QC 等に活用したりすることができる。

iv) 総括表の作成

各調査の測線毎の詳細情報をまとめる作業を実施した。e-GeoDB へ総括表を登録することで測線毎に紐付くデータの有無或いはその情報を確認することができる。現時点で記入できないものに関しては後で分かり次第記入することとした。

v) e-GeoDB へのデータ登録

i) ~ iv) 及び各種報告書等を e-GeoDB へ登録する作業により登録したナビゲーションデータについてはマップ表示、サイスミック断面のキャプチャについては 3D 表示等が可能となり、その他のデータについても閲覧が可能となる。またナビゲーションデータの登録は全て WGS84 に統一して登録した。e-GeoDB へのデータ登録内容例を表 7 に示す。データの登録内容は、今後収集するデータに合わせて柔軟に対応する。

No.	調査名	調査実施年度	測線数	総測線長 (km)	調査面積 (km ²)	e-GeoDBデータ登録内容	OpenWorksデータ登録内容	備考
JOGMEC 調査								
1	昭和44年度 天然ガス基礎物理探査「秋田-山形新潟陸棚エガン」調査	S44	56	844.1	-	SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	-	スタック後データがないため OpenWorksへの登録は来年度実施
2	昭和45年度 大陸棚石油・天然ガス資源基礎調査 基礎物理探査「石狩-礼文島」調査	S45	34	1829.7	-	SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	-	スタック後データがないため OpenWorksへの登録は来年度実施
3	昭和47年度 大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「白海-奥尻」調査	S47	28	1529.5	-	SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	-	スタック後データがないため OpenWorksへの登録は来年度実施
4	昭和48年度 大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「北陸」調査	S48	20	1440.4	-	SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	-	スタック後データがないため OpenWorksへの登録は来年度実施
5	昭和49年度 大陸棚石油・天然ガス基礎調査 「北陸-山陰」調査	S49	26	2057.7	-	SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	-	スタック後のデータが一部存在
6	昭和51年度 大陸棚石油・天然ガス基礎調査 「北海道西部-新潟」調査	S51	45	5020	-	SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	-	スタック後データがないため OpenWorksへの登録は来年度実施
7	昭和56年度 国内石油・天然ガス基礎物理探査「富山、北陸-隠岐沖、山陰沖」調査	S56	58	3012	-	SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	-	富山のみスタック後データがないため OpenWorksへの登録は来年度実施
8	昭和57年度 国内石油・天然ガス基礎物理探査「オホーツク海」「十勝-網走海域」「後志沖」調査	S57	75	3001.95	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	サイスミック、ナビゲーション	スタック後データはオホーツクのみ
9	昭和60年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「大和半島」調査	S60	47	4002.75	-	ナビゲーション、SEGYPファイル、メタ情報	-	スタック後データがないため OpenWorksへの登録は来年度実施
10	昭和62年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「秋田-青森浅海域」調査	S62	10	81.6	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	サイスミック、ナビゲーション	
11	昭和62年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「西津軽-新潟沖」調査	S62	59	4010	-	-	-	スタック後データ、ナビゲーションがないため OpenWorksへの登録は来年度実施
12	昭和63年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「秋田-青森浅海域」調査	S63	9	79.05	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
13	昭和63年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「北海道西部-北東部」調査	S63	55	4045.2	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	サイスミック、ナビゲーション	一部SEGYPファイルのSEGYPヘッダー (SP) が登録されていない
14	平成元年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「大和半島」調査	H1	7	81.5	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	サイスミック、ナビゲーション	
15	平成元年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「山陰-北九州沖」調査	H1	31	4134.5	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報	サイスミック、ナビゲーション	一部SEGYPファイルのSEGYPヘッダー (SP) が登録されていない
16	平成13年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「佐渡沖南」調査	H13	5	250	253	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
17	平成20年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「佐渡沖 3D」調査	H20	-	-	1708	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
18	平成20年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「大和海域 2D・3D」調査	H20	16	2229	720	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
19	平成22年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「茨城沖 3D」調査	H22	-	-	770	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
20	平成22年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「能登沖 3D」調査	H22	-	-	1744	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
21	平成23年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「日本海北東 2D」調査	H23	16	3968	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
22	平成23年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「佐渡沖北西 2D」調査	H23	16	1555	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
23	平成23年度 国内石油・天然ガス基礎調査 (基礎物理探査)「山口沖 3D」調査	H23	-	-	2070	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
JAMSTEC 調査								
24	MCS95(Leg2: 日本海側)	H7	12	752.05	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
25	KR07-E01	H19	3	195.35	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
26	KR09-09	H21	9	1188.85	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
27	KR10-10	H22	12	2886	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
28	KR11-08	H23	11	1924.5	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	
29	KR12-10	H24	14	2037.4	-	サイスミックキャプチャー、SEGYPファイル、ナビゲーション、メタ情報、報告書	サイスミック、ナビゲーション	

表 7 e-GeoDB へのデータ登録内容例

vi) e-GeoDB 登録データの QC

v) で登録された各データについて正しく登録されたか確認するため以下の作業を実施した。

- ・ナビゲーションデータ及び領域のマップ表示の確認

e-GeoDB にナビゲーションデータ及び 3D 調査領域が正しく表示されているか確認するため e-GeoDB のマップ表示機能を利用して QC を実施した。報告書等に記載の測線図を確認しながらナビゲーションデータ及び 3D 調査領域を確認し、登録した内容が正しいことを確認した。

- ・登録データの確認

各測線や領域に紐付けたデータが正しく登録されているか確認するため登録したナビゲーションデータ及び領域をクリックし、表示内容が正しいか確認した。図 4 に登録データの表示例を示す。

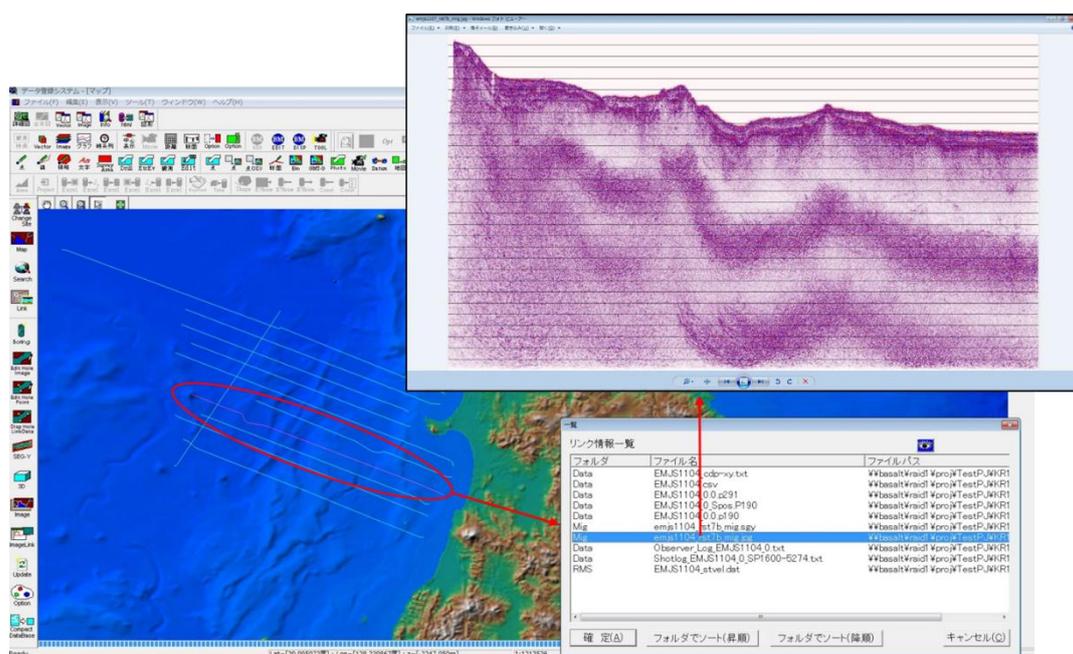


図 4 登録データの表示

- ・サイスマック断面キャプチャの 3D 表示確認

e-GeoDB に登録したナビゲーションデータの確認とそのナビゲーションデータに正しくサイスマックデータが紐付けられているか確認するため e-GeoDB の 3D 表示機能を利用して QC を実施した。e-GeoDB 内では海底地形データを 800m メッシュの往復走時で登録してあるので 3D 表示させた際に海底地形との整合性の確認も同時に実施し、正しく登録されていることを確認した。図 5 にサイスマック断面キャプチャの 3D 表示例を示す。

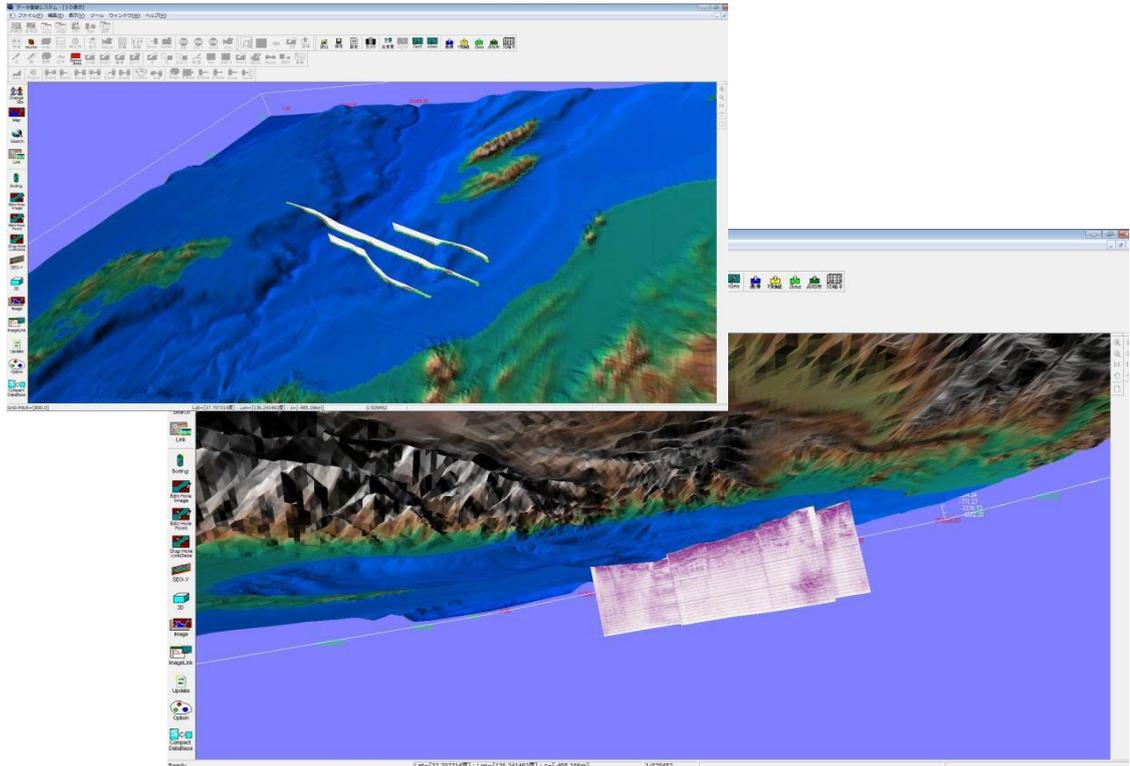


図5 サイスマック断面キャプチャの3D表示

vii) データの検索及びリスト出力

データ管理ソフトウェアであるLandmark社製ソフトウェアOpenWorksへの登録リストを確認するためe-GeoDBの検索機能で検索・リスト出力を行った。図6にデータ検索例を示す。

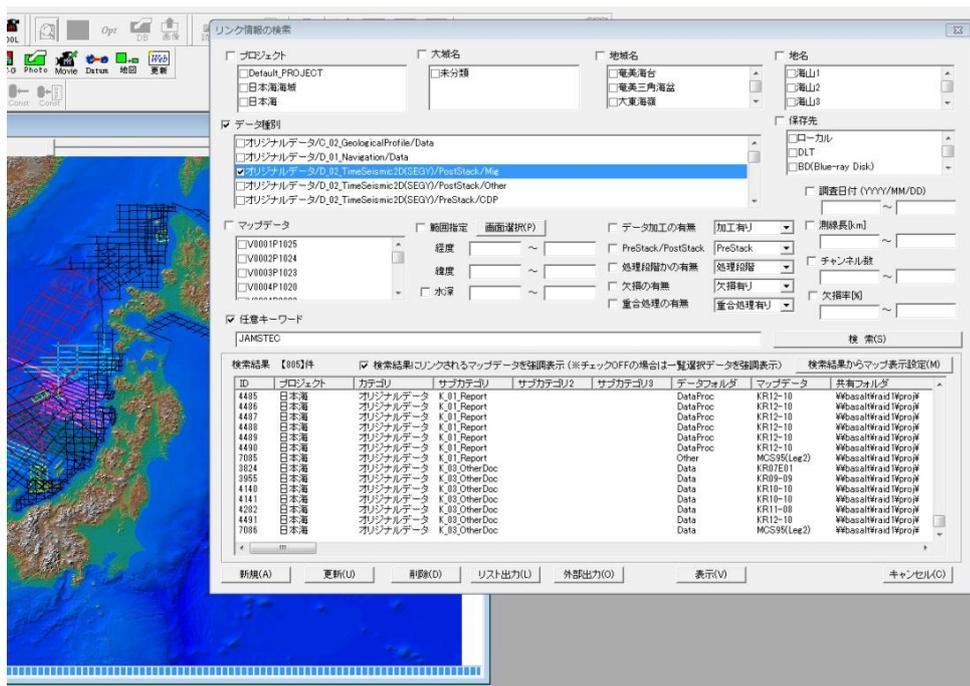


図6 検索機能によるデータ検索例

3) 収集データ整理用ストレージの増強

海域断層プロジェクトで構築される断層モデルについては将来的に一般公開、各研究機関へ成果の公開が予定されているため、そのモデル化プロセスは網羅性・追跡性を持って適切に構築し、管理する必要がある。これを実現する DB として、平成 25 年度は、統一的に解釈された断層データに、実施した作業プロセスや収集データ、関連文書等を関連付けて管理する DB の設計・仕様検討を行った。また、あわせて収集データの種類、数量等を考慮し、それらのデータを効率的かつ適切に扱うことのできる解析・解釈を行うシステムの検討も実施した上で、DB 及び解析・解釈システムの検討された仕様を十分満たすハードウェア、ソフトウェアを選定し、全体システムを構築・導入した（図 6）。平成 26 年度は収集先の機関の数が増え、それに伴いデータ量も増加したため、収集データ整理用のストレージを増強する目的で、図 7 の赤枠部分に IBM 社製 DCS3700 の追加導入を行った（図 8）。

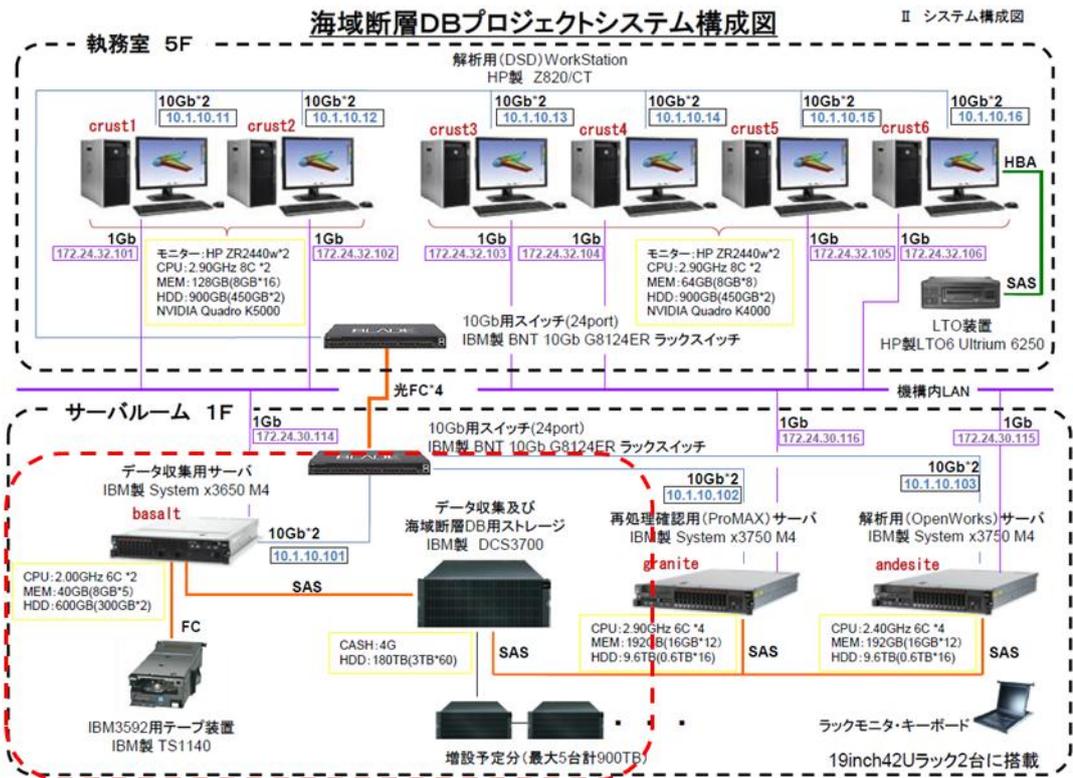


図 7 海域断層 DB プロジェクトシステム構成図
(赤点線枠が DB 部分、枠外が解析・解釈システム部分)

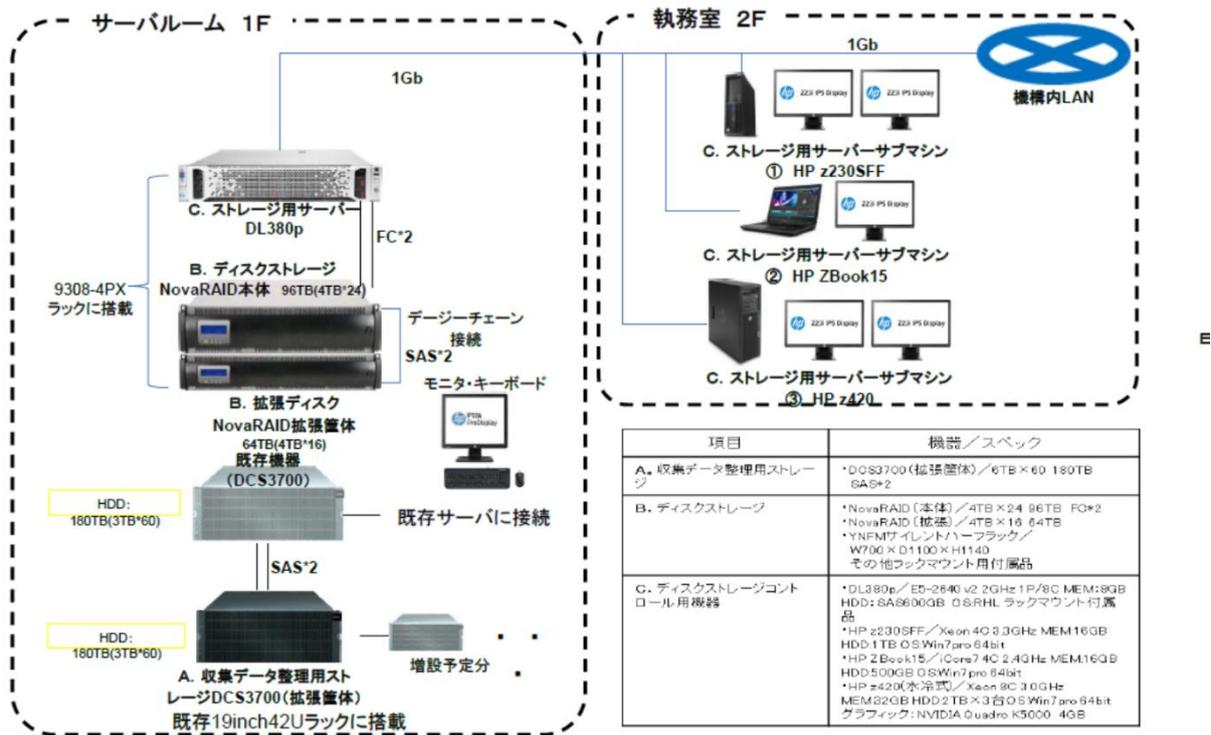


図 8 収集データ用ストレージの追加

4) 公開用データベースシステムの構築検討

今後の断層情報、津波シミュレーション結果等の公開を見据え、本年度から公開システム構築の検討を開始した。その検討内容を以下に示す。

a) 公開対象データ

公開対象とするデータについてはいまのところ i) ~ iii) を候補としているが、更なる検討を加えてゆき、データの追加も考慮する。

i) 断層情報 (関連情報含む)

解釈断層とそれによる断層モデルを登録する。また、それに付属する情報も登録する。但し、データ提供先の機関とそれぞれにデータ借用時に秘密保持契約等を締結しており、その中には第三者に対してのデータ開示には制限がある場合もあるため、それらに注意してログインユーザ種別により公開情報を制御する必要がある。

ii) 速度構造モデル

断層データを時間軸から深度軸に変換するために構築する 3次元速度構造データを登録する。

iii) 地震動・津波シミュレーション

解釈された断層情報から作成した断層モデルによりシミュレートされる地震動と津波のシミュレーションの結果は当プロジェクトが設けている運営委員会等に諮った上で、地震調査研究推進本部に基礎資料として提供するが、それら基礎資料のデータベースへの登録については公開という面も含めて引き続き運営委員会等

で検討をしてゆく必要がある。

b) システム機能

公開 DB システムの機能させるにあたって基本的に考慮すべき項目を拾い出した。使用するケースとしては、まず文部科学省の地震調査研究推進本部での利用がまず考えられる。海域の断層における地震発生可能性の評価、海域断層による地震に伴う強震動の評価と津波の評価が考えられる。また、データを提供して頂いた組織に対しても、それぞれのデータに対して本プロジェクトで再解析したデータが確認できることも必要であると考えられる。断層解釈の結果、海底地形、震源情報や断層モデル、速度構造モデル等がスムーズな検索機能で適切に抽出でき、それらの根拠が把握できるものを目指している。そのためには、それらの抽出項目につなげる形で反射断面や速度情報、坑井データ等が確認できる形である必要がある。これらのデータベースを制御するために、管理プログラムと検索・閲覧システムを準備する。

i) 管理プログラム

管理プログラムとして、以下の項目や機能を必要とする。

- ・ 機関情報／ユーザー情報登録機能
- ・ ユーザー認証機能とログ管理
- ・ データベースからの検索機能と出力
- ・ 各種データの登録機能と編集機能
- ・ 地震動・津波シミュレーションの登録機能と動画再生機能
- ・ 画像作成機能とダウンロード機能
- ・ ユーザーのコマンド使用記録保存機能とディスクスペースなどのシステム管理
- ・ セキュリティ管理

ii) 検索・閲覧システム

- ・ ユーザー認証
- ・ 操作性のよい検索・閲覧（メタ情報の検索、マップ上での検索）
- ・ 3次元可視化データの出力と異なるデータセットの重ね合わせ表示（Google Earth、KML ファイル形式）

図 9～図 12 に全体システムソフトウェア構成及び画面イメージ例を示す。

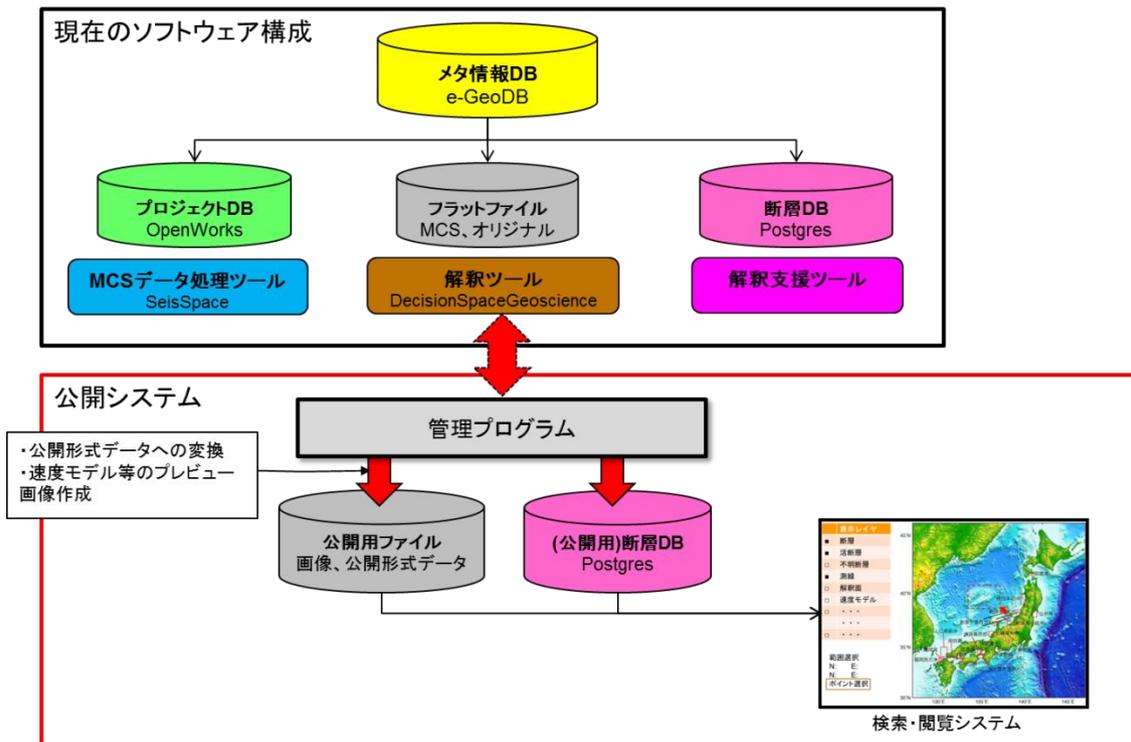


図9 全体システムソフトウェア構成

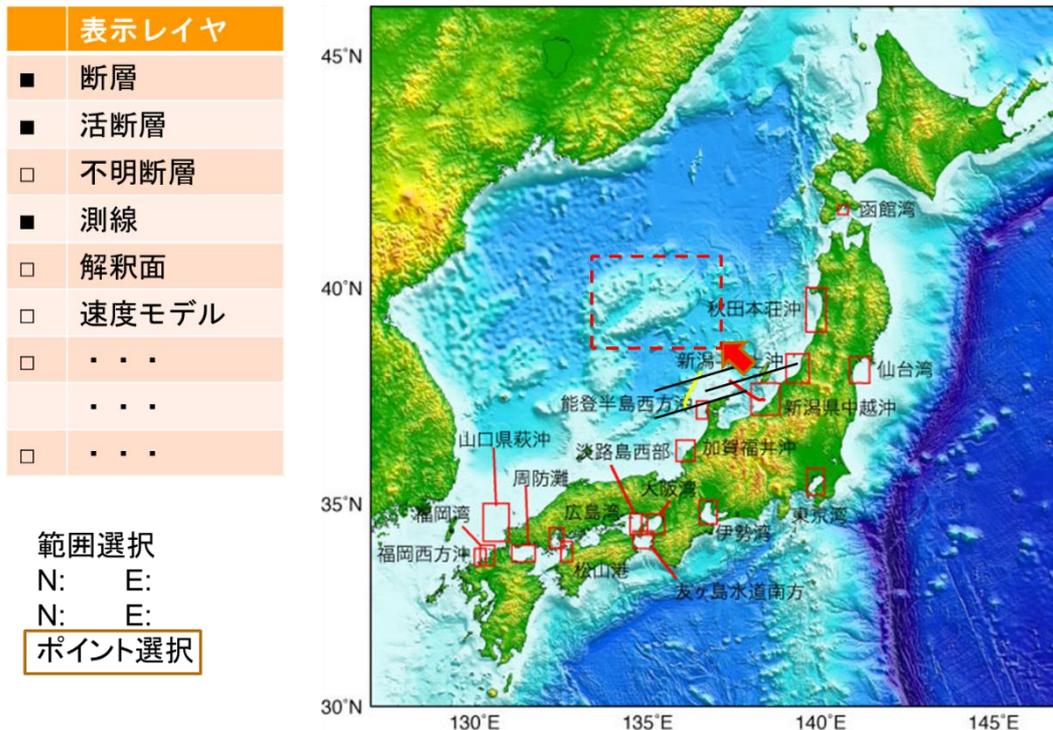


図10 画面イメージ例 (地図検索)

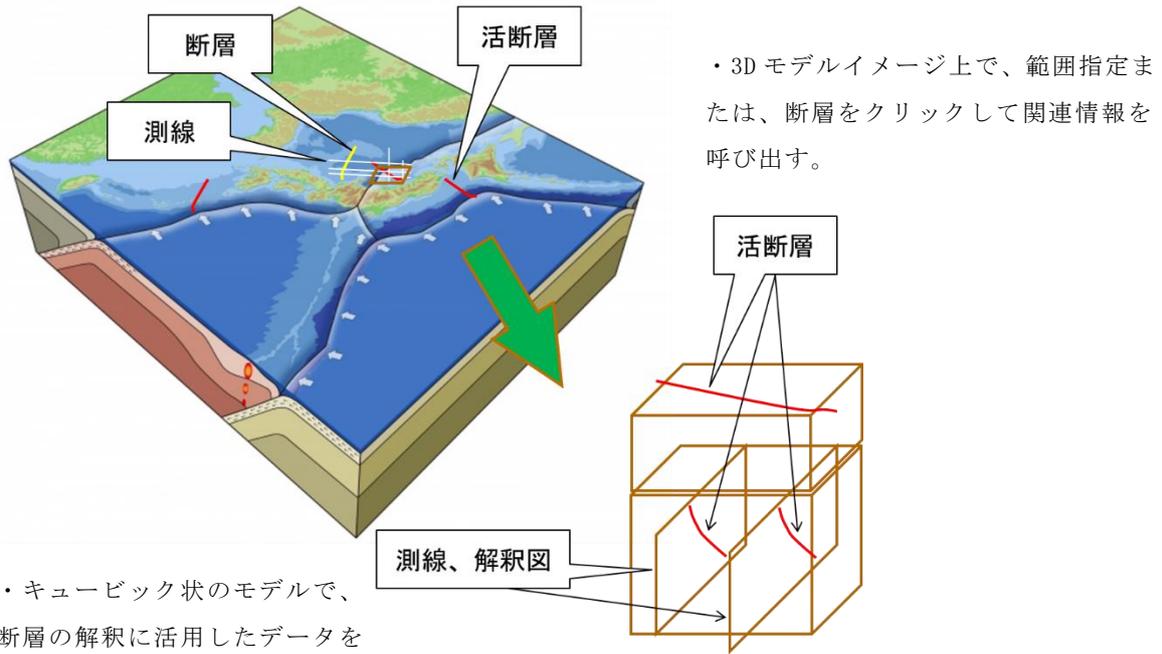


図 11 画面イメージ例（断層情報）

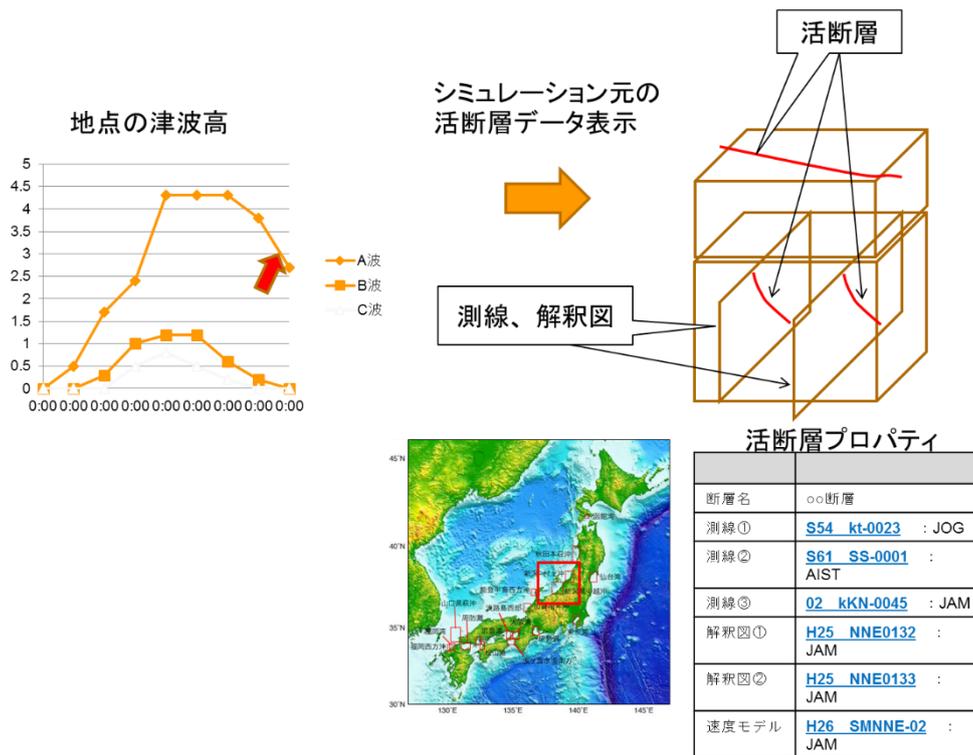


図 12 画面イメージ例（津波シミュレーション）

(c) 結論ならびに今後の課題

1) 結論

本年度は、既往調査データの収集にあたっては公的機関や大学の他に民間の資源会社とも借用の調整を行い、複数の機関から広く協力を頂くことができた。具体的には、昨年度 JAMSTEC、JOGMEC の既往調査データで一部未収集であった分も含めて、日本海における JAMSTEC、JOGMEC の既往調査のデータについてはほぼすべてを収集・登録を終了した。

AIST の既往調査データについては、昨年度能登半島以西のデータを収集したが、本年度は能登半島以東～北海道西部にかけての海域について収集・登録を行い、AIST の日本海の調査データについてもほぼすべて収集・登録を終了した。

また、海上保安庁、国土地理院の各公的機関、富山大学や東京大学大気海洋研究所の各大学及び民間の資源会社の所有する日本海での既往調査データについても収集・登録することができた。

これらの収集されたデータの登録に用いる DB は昨年度に拡張性、柔軟性、簡便性、安全性に留意して設計、構築をしているが、この DB に新たにデータ収録用ストレージを追加し増強を行った。収集・借用したデータは、デジタルデータ、報告書、ナビゲーションデータとの整合性をすべて確認し、順次この DB に登録した。また、収集したデータについては昨年度作成したクオリティコントロールの手順に従い、効率的にクオリティのチェックを行った後に登録作業が行われた。

このプロジェクトの成果を公開するための公開用データベースシステムについては、本年度からその構築に対する検討を開始して、公開の対象とするデータ・成果の選択及び DB を設計する上で必要となる各種システムの洗い出しを行った。

2) 今後の課題

海域におけるデータ密度を増していくため、データ収集先についても本年度データ収集を行った以外の他の民間資源会社、電力会社等にも借用について調整していく必要がある。また、収集するデータの量が増えるにつれ、その中にはデータが収録されている媒体が紙断面のみという調査も多数あり、作業効率を考慮してそれらについてはナビゲーションデータの有無や記録の品質をチェックして有用性の有無を十分に判断して取捨選択をしていくことも必要と考えられる。

公開用 DB については、断層解釈に使用しているデータ、それから得られる成果をどこまで DB に登録するかをさらに検討を進めていくと同時に、ユーザーとしてデータ提供元、研究者、自治体関係者等々種々想定されるが、それぞれのユーザーによりどの段階までのデータ・成果を閲覧可能にするかを検討し、それぞれのユーザーに使い勝手の良い DB となるような検討も必要である。

(d) 引用文献

- 石油開発公団, 昭和 44 年度大陸棚・石油天然ガス資源基礎調査 基礎物理探査「秋田・山形・新潟陸棚エアガン」調査報告書, 1970
- 石油開発公団, 昭和 45 年度大陸棚・石油天然ガス資源基礎調査 基礎物理探査「石狩～礼文島」調査報告書, 1971
- 石油開発公団, 昭和 47 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「日高～渡島」調査報告書, 1973
- 石油開発公団, 昭和 47 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「沖縄～与那国」調査報告書, 1973
- 石油開発公団, 昭和 47 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「南西諸島」調査報告書, 1973
- 石油開発公団, 昭和 48 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「北陸」調査報告書, 1974
- 石油開発公団, 昭和 48 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「沖縄」調査報告書, 1974
- 石油開発公団, 昭和 49 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「北陸～山陰」調査報告書, 1975
- 石油開発公団, 昭和 50 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「沖縄西方海域」調査報告書, 1975
- 石油開発公団, 昭和 51 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「北海道西部～新潟海域」調査報告書, 1977
- 石油公団, 昭和 55 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「トカラ列島沖」調査報告書, 1983
- 石油公団, 昭和 56 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「富山沖・北陸～隠岐沖・山陰沖」調査報告書, 1982
- 石油公団, 昭和 57 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「後志沖」「十勝～釧路沖」「オホーツク海」調査報告書 1983

石油公団， 昭和 57 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「鳥取沖」調査報告書，1983

石油公団， 昭和 60 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「大和堆」調査報告書，1986

石油公団， 昭和 60 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「金沢沖」調査報告書，1986

石油公団， 昭和 62 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「秋田～青森浅海域」調査報告書，1988

石油公団， 昭和 62 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「西津軽～新潟沖」調査報告書，1988

石油公団， 昭和 63 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「秋田～青森浅海域」調査報告書，1989

石油公団， 昭和 63 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「北海道西部～北東部」調査報告書，1989

石油公団， 昭和 63 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「香住沖」調査報告書，1989

石油公団， 平成元年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「秋田～青森浅海域」調査報告書，1990

石油公団， 平成元年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「山陰～北九州沖」調査報告書，1990

石油公団， 平成 2 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「九州南西～トカラ沖」調査報告書，1991

石油公団， 平成 2 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「新潟富山浅海域」調査報告書，1991

石油公団， 平成 3 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「新潟富山浅海域」調査報告書，1992

- 石油公団, 平成 3 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「本荘沖 3 D」調査報告書, 1992
- 石油公団, 平成 4 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「新潟富山浅海域」調査報告書, 1993
- 石油公団, 平成 8 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「天北浅海域」調査報告書, 1997
- 石油公団, 平成 13 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「佐渡沖南西」調査報告書, 2002
- 石油公団, 平成 14 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「日韓大陸棚」調査報告書, 2003
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 平成 20 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「佐渡西方 3 D」データ取得、処理、解釈報告書, 2010
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 平成 20 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「大和海盆 2 D・3 D」データ取得、処理報告書, 2010
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 平成 20 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「沖縄～宮古島 2 D」データ取得、処理報告書, 2010
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 平成 22 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「天北西方 3 D」データ取得、処理、解釈報告書, 2012
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 平成 22 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「能登東方 3 D」データ取得、処理、解釈報告書, 2012
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 平成 22 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「八重山南方 2 D」データ取得、処理報告書, 2012
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 平成 23 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「日本海北部 2 D」データ取得、処理、解釈報告書, 2013
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 平成 23 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「山口沖 3 D」データ取得、処理、解釈報告書, 2013
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 平成 24 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理

探査「沖縄2D・3D」データ取得、処理報告書，2014

産業技術総合研究所，昭和53年度「日本海中部」調査航海，1977

産業技術総合研究所，昭和52年度「日本海西部及び九州西方」調査航海，1977

産業技術総合研究所，昭和60年度「九州及び山口北方海域」調査航海，1985

産業技術総合研究所，昭和61年度「島根鳥取沖海域」調査航海，1986

産業技術総合研究所，昭和63年度「能登半島周辺海域」調査航海，1988

産業技術総合研究所，平成元年度「東北沖日本海」調査航海，1989

産業技術総合研究所，平成2年度「東北沖日本海（佐渡）」調査航海，1990

産業技術総合研究所，平成3年度「東北沖日本海（秋田）」調査航海，1991

産業技術総合研究所，平成4年度「東北沖日本海」調査航海，1992

産業技術総合研究所，平成5年度「東北沖日本海」調査航海，1993

産業技術総合研究所，平成6年度「北海道西方日本海（渡島）」調査航海，1994

産業技術総合研究所，平成7年度「北海道西方日本海（積丹）」調査航海，1995

産業技術総合研究所，平成8年度「北海道西方日本海（石狩）」調査航海，1996

産業技術総合研究所，平成10年度「北海道西方日本海（手塩）」調査航海，1998

産業技術総合研究所，平成11年度「北海道西方日本海（奥尻）」調査航海，1999

海上保安庁，昭和56年度「珠洲沖」調査，1981

海上保安庁，昭和56年度「七尾湾」調査，1981

海上保安庁，昭和59,60年度「日本海中部」調査，1984,1985

国土地理院，昭和53,54年度「富山・氷見」調査，1978,1979

国土地理院, 昭和 57, 58 年度「平戸」調査, 1982, 1983

国土地理院, 平成 14 年度「行橋」調査, 2002

海洋研究開発機構, 平成 14 年度「鳥取沖日本海の地震探査調査研究」, 2002

海洋研究開発機構, 平成 21 年度「日本海東縁ひずみ集中帯における地震探査調査研究」, 2009

海洋研究開発機構, 平成 26 年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」, 2014

(e) 収集文献

(財) 日本水路協会, 海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ

産業技術総合研究所 地質調査総合センター, 海洋地質図 (CDR) NO. 58~NO. 82

3. 2 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人海洋研究開発機構	グループリーダー代理	高橋 成実
国立研究開発法人海洋研究開発機構	調査役	及川 信孝
国立研究開発法人海洋研究開発機構	特任技術副主幹	清水祥四郎
国立研究開発法人海洋研究開発機構	特任技術副主幹	安藤 五郎
国立研究開発法人海洋研究開発機構	特任技術主事	新井 麗
国立研究開発法人海洋研究開発機構	特任技術主事	勝山美奈子
国立研究開発法人海洋研究開発機構	特任技術主任	田中 恵介

(c) 業務の目的

統一的断層解釈を行うために収集された反射法探査データ等から、海底下最大10～20km程度までの反射面の分布を把握するため、ノイズ除去手法などの最新のデータ解析を加え、深部イメージングの品質を向上させる。DBに登録後、断層の解釈、及び断層の3次元的な広がり进行评估する。その後、深さ方向を時間軸から深度軸に変換するための3次元速度構造を作成して解釈した断層を深度領域に変換し、その中から主断層を選定しサブテーマ（3）に情報を提供する。断層の深部延長も解釈を加え、そのデータタッチメントの場所进行评估する。解釈結果は、客観性を保持するため、アドバイザー、評価助言委員の方々から意見を頂き、適宜改訂する。

(d) 7ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成 25 年度：

収集したデータ（日本海）の再解析を開始、多重反射波除去のパラメータテストを行い、今後の解析のフローを作成した。また、既存の解釈データも収集、参考にしながら解釈作業を開始した。併せて日本海周辺の速度情報を収集、層構造構築を開始した。

2) 平成 26 年度：

引き続き収集したデータ（日本海）の再解析と解釈を行い、上記手法に従って断層評価を進める。解釈結果はアドバイザーからの助言を得て適宜改訂を行う。

3) 平成 27 年度：

日本海データの解釈をとりまとめ DB に登録する。南西諸島海域のデータの再解析と解釈を行う。

4) 平成 28 年度：

南西諸島海域のデータの再解析と解釈を行い DB に登録する。3次元速度構造モデ

ルの構築を開始する。解釈結果はアドバイザーからの助言を得て改訂する。データ公開システムの仕様を検討しているサブテーマ(1)に日本海の解釈例の提供を行うとともに、適宜必要に応じて改定を行う。また、断層モデルは適宜サブテーマ(3)に提供する。

5) 平成 29 年度 :

南西諸島海域のデータの再解析と解釈をとりまとめ DB に登録する。3次元速度構造モデルを構築する。解釈結果はアドバイザーからの助言を得て適宜改訂を行い、サブテーマ(3)に提供する。

6) 平成 30 年度 :

伊豆小笠原海域のデータの再解析と解釈を行い DB に登録する。3次元速度構造モデルの構築を開始する。解釈結果はアドバイザーからの助言を得て改訂する。また、断層モデルは適宜サブテーマ(3)に提供する。

7) 平成 31 年度 :

南海トラフ域のデータの再解析と解釈を行い DB に登録する。3次元速度構造モデルの構築を開始する。解釈結果はアドバイザーからの助言を得て改訂し、断層モデルは適宜サブテーマ(3)に提供する。また、情報展開のためのシステムを試作する。

(2) 平成 26 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 25 年度に引き続き日本海海域において反射法探査データの再解析と解釈を実施した。データの再解析については、主に能登半島沖東方～北海道西部にかけての海域で、石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) のマルチチャンネル反射法データ (MCS データ) のうち、測線長計約 15,000 km を実施した。また石油資源開発株式会社 (JAPEX) から提供されたデータのうちデジタルデータが存在しない約 1,500 km に対してはベクトル化解析を行い、デジタルデータを作成した。産業技術総合研究所 (AIST) のシングルチャンネル反射法探査データ (SCS データ) についても解析を行った。

また、日本海海域において速度構造モデルを構築した。作成方法についても議論し、処理フローを作成した。速度構造モデルを作成するにあたり、反射法地震探査の処理過程で使われる重合速度も使用した。日本海においては OBS 調査測線が少ないが、反射法地震探査のデータを使用することで、速度に関する情報を増やすことができた。

解釈を開始するに当たり、昨年度は地震探査 (以下“震探”) データ、坑井データ他、文献等々の収集を図り、能登半島より西側の海域の一部震探データに対して、断層解釈の際に問題となる種々多重反射を取り除く処理、様々なデータ取得仕様を統一的な波形とする波形変換処理等の再処理を実施した。今年度の対象海域は、対馬沖から稚内沖に至る日本海全域であったが、解釈作業は、昨年度に再処理の済んでいた能登半島の西側海域から始め、その後、東側の海域に移って実施した。

(b) 業務の実施方法

本年度実施した基本的なマルチチャンネルデータの再解析フローの内容は、データチ

チェックの後、フォーマット変換、トレースエディットと最小位相解析、簡易速度解析の後にノイズ抑制解析、各種多重反射解析、振幅補償、デコンボリューション、Common Mid Point (CMP) ソート、1 km 間隔の速度解析後の Normal Move Out (NMO) 補正、この時点で除去しきれないデータに対して再度多重反射波除去、タイムマイグレーション、F-X 予測フィルター、帯域通過フィルターの順で解析した。特に多重反射波解析については、海水面に介在する長周期多重反射波を抑制する Surface-Related Multiple Elimination (SRME)、層間多重反射波に代表される短周期多重反射波を抑制する Radial Trace Deconvolution (RTD) を用いた。デジタルデータが存在しない測線については、重合断面図をスキャナーで読み取りベクトル化解析によりデジタルデータを作成した。

AIST 等の SCS データについては、多重反射波除去は不可能であるため、トレースの連続性の着目したフィルター解析が中心である。再解析は、フィールドデータに対して、フォーマット変換、振幅補償、走時補正、F-X 予測フィルター、トレースミュート、タイムマイグレーションを実施、解析の基準フローを作成した。これらのデータは当時、アナログでデータを記録しており、データ再生時のレコーダーヘッドの再生速度の不安定や不均等など品質に問題がある部分も存在する。海底地形データをもとに反射波初動をそろえ、明らかに記録に問題のあるものは除去した。

海洋研究開発機構 (JAMSTEC) データ (2014 年 「日本海地震・津波調査プロジェクト」 KR14-08 航海) は、444 チャンネルの長大ストリーマーと大容量のチューンドエアガンを用いたもので、深部のイメージングも期待できる。船上処理の段階ではあるが、主なデータ解析は、トレースエディット、F-K フィルター、バンドパスフィルター、振幅回復、CMP 編集、最小位相変換フィルター、プレディクティブデコンボリューション、DMO 解析、多重反射波除去解析、速度解析、NMO 補正、CMP 重合、F-X デコンボリューション、キルヒホッフ時間マイグレーションである。多重反射波除去解析も行っており、記録断面の品質は確保されているとして、解釈資料にそのまま使用することとした。

解釈資料としては、これらの再解析したデータに加え、JOGMEC と JAMSTEC の近年取得された再解析を必要としないデータを合わせて解釈作業に使用した。解釈作業にあたっては、既存の解釈結果や文献も参考に解釈を進めた。

3次元速度構造構築については、日本海海域の全域で海底面、A-horizon、B-horizon の解釈を行い、surface を作成し、層構造を作成した。日本海を2つの領域に分けた後、反射法地震探査データや OBS 調査データ及び坑井の速度データなどを使用して、基本となる速度キューブを作成した。その速度キューブに層構造を当てはめ、各層構造に様々な情報から速度ファンクションを与え、速度構造モデルを作成した。速度構造モデルは水平方向 1km グリッド、鉛直方向 100m 間隔の解像度で作成した。作成した速度構造モデルを用いて、反射法地震探査データ及び断層情報の深度変換を行った。

解釈作業は、調査実施期間の異なる反射断面を用いるため、時間断面上で解釈を加え、統一的な 3次元速度構造モデルを用いて深度変換し、断層の形状を確認して、最終的な断層解釈とした。読み取った後、断層の空間的な連続性を同定することになるが、解釈の際に地形や地質構造の特徴、断層下端の位置に従ってラベリングし、その特徴の連続性を判断の基準とした。空間的に同定した断層分布は、日本海における大規模地震に関

する調査検討会（事務局：国土交通省、内閣府、文部科学省）（以下、日本海検討会）の海域断層ワーキンググループにおける検討断層位置図（以下、ワーキンググループ断層図）や各県が実施した断層調査の報告書電力会社による報告書との整合性を確認した。

(c) 業務の成果

1) データ再解析

本年度は、JOGMEC、JAPEx 及び AIST データの内、能登半島より東側海域のデータの再解析を検討し、解釈資料へつなげた。ここではそれぞれのデータのクオリティと再解析内容について具体的に記述する。処理内容自体は、平成 25 年度と同様であるが、テクトニクスや堆積環境等の違いにより、実施した様々な処理パラメータを詳細に検討し、各海域に最適なパラメータを採用した。

a) 再解析を実施した既往探査データの概要

今回の再解析の対象測線の範囲は、一部調査の測線が能登半島西方まで延びるが、ほぼ能登半島東方～北海道西部のエリアである。表 1 に JOGMEC の再解析対象となった 15 調査の概要を示す。

本年度の JOGMEC データについては、陸域と水深約 30m 以浅の沿岸海域を結ぶ浅海域の調査も再解析データに含まれるため、便宜的に陸域～浅海域を対象とした調査を浅海調査、それ以外の調査を深海調査と記述する。

深海調査の発震記録をみると、「富山沖(1981)」「北海道西部～新潟海域(1976)」「石狩～礼文島(1970)」「秋田～山形～新潟陸棚エアガン(1969)」の 4 調査ではデータ取得時に 8Hz のローカットフィルターが適用されているため、発震記録上に波浪ノイズ (Swell Noise) はほとんど確認できない。「北海道西部～北東部海域(1988)」ではデータ取得時のローカットフィルターは 3Hz と上記調査よりも低く、「西津軽～新潟沖(1987)」「大和堆(1985)」ではローカットフィルターは適用されていないため、これら 3 調査では一部の発震記録で Swell Noise と思しき低周波ノイズが見られる。またケーブルノイズや船舶ノイズなどのコヒーレントノイズについてはほとんどの記録で見られず品質は良好であるが、一部の記録では傾斜ノイズが見られる。深海調査の発震記録例を図 1 (a)、(b) に示す。

浅海調査のデータ概要は以下の通りである。陸域受振点の記録は、環境ノイズの影響により海域に比較して S/N が悪いことが確認できる。陸域および海陸接続域での発震記録では、表面波と思しき線形ノイズが卓越しており、一部の記録では反射波の識別を困難にしている。海域発震点の記録では、短周期の多重反射波が見られる。また海域の一部の発震記録では、パルスノイズが見られる。浅海調査の海陸接続測線では、陸域と海域でノイズの状況が大きく異なるため、陸域と海域で異なるノイズ抑制解析を適用する必要がある。浅海調査における発震記録の例を図 2 (a)、(b) に示す。

表 1 再解析対象調査名

調査名	測線数	測線長 (km)	発震点数	発震点 間隔 (m)	受振器 間隔 (m)	Sampling 間隔 (msec)	記録長 (sec)
北海道西部～北東部海域 (1988)「北海道西部」	86	2,684	107,431	25	12.5	4	8
西津軽～新潟沖 (1987)	112	4,197	167,973	25	25	4	8
大和堆 (1985)	40	3,711	148,478	25	25	4	5
富山沖 (1981)「富山沖」	22	955	38,215	25	50	4	5
北海道西部～新潟海域 (1976)「青森西部」	9	605	12,103	50	50	4	5
北海道西部～新潟海域 (1976)「大和堆」	6	699	13,980	50	50	4	5
石狩～礼文島 (1970)	35	1,912	19,150	100	100	4	5
秋田～山形～新潟 陸棚エアガン (1969)	27	847	8,495	100	100	4	5
天北浅海域 (1996)	5	153	6,122	25	25	4	8
新潟～富山浅海域 (1992)	4	115	4,589	25	25	4	8
新潟～富山浅海域 (1991)	2	89	3,573	25	25	4	8
新潟～富山浅海域 (1990)	4	102	4,088	25	25	4	8
秋田～青森浅海域 (1989)	3	58	2,309	25	25	4	8
秋田～青森浅海域 (1988)	3	46	1,857	25	25	4	8
秋田～青森浅海域 (1987)	3	39	1,572	25	25	2	6

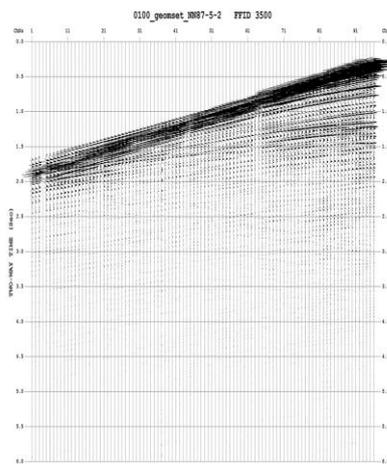


図 1(a) 発震記録例
「西津軽～新潟海域」(1987)

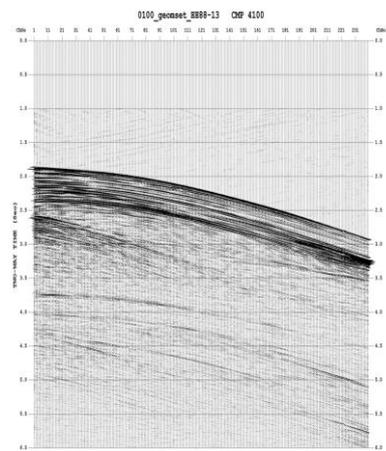


図 1(b) 発震記録例
「北海道西部～北東部海域」(1987)

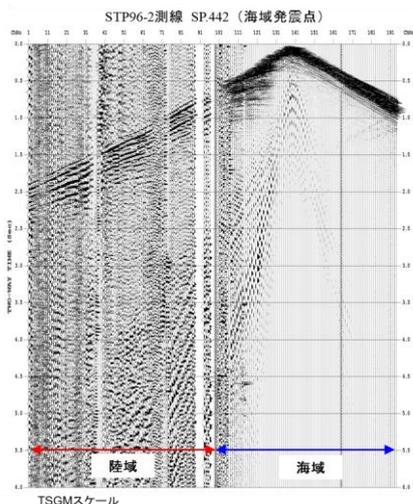


図 2(a) 発震記録例 (海域発震)
「天北浅海域」(1996)

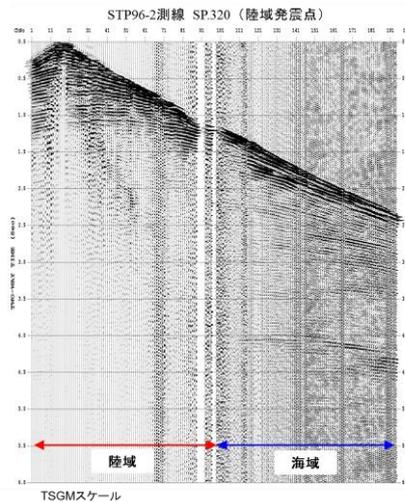


図 2(b) 発震記録例 (陸域発震)
「天北浅海域」(1987)

AIST データは、GH77、GH78、GH89、GH90、GH91、GH92、GH93、GH94、GH95、GH96、GH98、GH99 調査航海で取得されたデータで、一部マルチチャンネルデータが存在するがそのほぼすべてがシングルチャンネルデータである。

b) 再解析概要

本解析では、海域断層のジオメトリー把握と可視化の観点から、解釈上の必要に応じて、複合型多重反射波抑制解析、重合前時間マイグレーション (PSTM) 解析、Multi-dip 型 Common Reflection Surface (CRS) 解析を実施した。古い年代の解析対象データに関しては、一部に発震記録のデータ欠損が確認されている。各測線でデータ欠損率が 25% を越えている場合は、対象測線をデータ再解析から除外し、重合後記録のデジタルデータが残存する場合はその重合後記録を、残存しない場合は重合後記録断面図のベクトル化解析で作成されたデジタルデータを用いて、重合後の信号強調解析、重合後時間マイグレーション及び深度変換を実施した。データ欠損率が 25% 以下であっても、測線全体に欠損箇所が散在し、データ解析に大きな支障となる場合には同様の対応を取った。主な解析項目について以下にまとめる。

複合型ノイズ抑制解析

対象記録のノイズ特性を考慮して、各種手法を複合的に組み合わせたノイズ抑制解析を検討し、適用した。浅海調査以外（以後、深海調査）では、全調査の発震記録上には僅かではあるがランダムノイズが確認されたため、ランダムノイズ抑制効果のある F-X 予測フィルターを発震記録に適用し、空間的にコヒーレントな信号を抽出・強調した。低周波数の強振幅ノイズが見られた調査では F-X エディットを、線形ノイズが確認された調査では速度フィルターを適用した。浅海調査では、深海調査に比較してノイズの影響が大きいため、深海調査で採用した手法に加えて多くの手法を試みた。探鉱機に由来するノイズを抑制するためにパルスノイズ抑制解析を、海域において震源由来のノイズを抑制する目的で受振記録での F-X 予測フィルターを、屈折初動とその繰り返しを抑制する目的で線形ラドンフィルターを適用した。ノイズ抑制手法の選択およびパラメータの決定においては、反射波を損傷しな

いように細心の注意を払った。

複合型多重反射波抑制解析

深海調査の対象海域では海底深度が変化することから、長周期多重反射波、短周期多重反射波及び回折多重反射波などが重複的に発生している可能性があるため、各種手法を複合的に組み合わせた多重反射波抑制解析を検討し適用した。短周期多重反射波の抑制には、標準解析で適用される RTD 解析を用いた。長周期多重反射波の抑制には、SRME 解析を用いた。SRME 解析は、複雑な海底地形でも多重反射波の抑制効果が高く、反射波の損傷も小さく抑えられるため、仕様上は追加解析であったが全測線に適用することとした。ただし、SRME 解析は波動方程式に準拠するため、二次元記録では三次元構造に起因する多重反射波の予測に誤差が生じ、このような多重反射波の抑制効果は低下する。また、ファーオフセットでの多重反射波や、回折多重反射波についてはその抑制効果は限定的であるため、このような多重反射波が存在する場合には、放物線ラドン変換(Parabolic Radon Transform、PRT)解析を検証し、効果が見られた場合は適用することとした。ところで、深海調査ではニアオフセットギャップが大きく、浅海域では海底面反射波が取得できないため、波動方程式に基づく SRME 法や周期性に基づく RTD 解析では、海底面に起因する 1 回目の短周期多重反射波の抑制は困難である。このようなケースでも走時差に基づく PRT 解析では、短周期多重反射波の抑制効果が期待できるため、この手法を検証し、効果が見られた場合は適用することとした。昨年度の解析結果から、PRT 解析が効果を発揮するのは受振点間隔が小さい調査であり、受振点間隔が 50m 以上ではエイリアジングの影響により PRT 解析の誤差が大きくなると考えられるため、PRT の対象調査を決定する際には受振点間隔を考慮することとした。PRT 解析の適用測線を表 2 に示す。なお、本解析では SRME 解析を海域調査の全測線に適用したため、複合型多重反射波抑制解析の対象測線長は PRT の適用測線長のこととなる。

重合前時間マイグレーション(PSTM)解析

過褶曲、複背斜あるいは衝上断層群といった短波長の構造不均質が顕著であり、海域活断層の解釈に重要な領域のデータに関しては、PSTM を適用した。この解析の適用測線を表 2 に示す。

Multi-dip 型 CRS (MDRS) 解析

海域活断層の深部延長に関して、そのジオメトリー把握を目的とした微弱な深部反射波のイメージングが必要と判断されたデータについて、CRS 解析を適用した。CRS 解析では、近軸波線理論(Paraxial Ray Theory)に基づき、ゼロオフセット反射波走時に関わる CMP 間走時差の挙動を考慮したムーブアウト補正、つまり反射面沿いの振幅応答の集約を通じて飛躍的な重合数が確保される。CRS 解析では反射面として連続的な曲面を仮定するため、細かな断層形態を把握することは困難と考えられるが、不明瞭な深部構造の大局的な構造や、大きな断層などの把握に関しては有効である。本解析では、複数の傾斜イベントに関して対応可能なアルゴリズム(MDRS

解析)を採用し、深部反射波イメージングの高精度化を図った。この解析の適用測線を表2に示す。

表2 PRT, PSTM, MDRS 処理適用測線

S63 北海道西部～北東部	PRT	PSTM	MDRS
測線名	16		
HH88-1			
HH88-2	○		
HH88-3			
HH88-4	○		
HH88-5			
HH88-6	○		
HH88-7	○		
HH88-8			
HH88-9			
HH88-10			
HH88-11			
HH88-12	○		
HH88-13	○		
HH88-14	○		
HH88-A			
HH88-B			
HH88-C	○		
HH88-D	○		
HH88-E	○		
HH88-F			
HH88-G			
HH88-H			
HH88-I	○		
HH88-J	○		
HH88-K	○		
HH88-L	○		
HH88-M	○		
HH88-N	○		

S62 西津軽～新潟沖	PRT	PSTM	MDRS
測線名	34	24	6
NN87-1	○	○	
NN87-2	○		
NN87-3	○		
NN87-4	○		
NN87-5	○	○	
NN87-6	○		
NN87-6A	○		
NN87-7	○	○	
NN87-8	○	○	○
NN87-8-2			
NN87-9		○	
NN87-10	○	○	
NN87-11	○	○	
NN87-12	○		
NN87-13	○	○	
NN87-14	○	○	
NN87-15	○	○	
NN87-16	○	○	
NN87-17	○	○	
NN87-18	○	○	
NN87-19		○	
NN87-2			
NN87-21	○	○	
NN87-22			
NN87-23			
NN87-24	○	○	○
NN87-25	○	○	○
NN87-A	○		
NN87-B	○		
NN87-C	○	○	○
NN87-D	○	○	○
NN87-E	○	○	○
NN87-F	○	○	
NN87-G	○		
NN87-H	○		
NN87-I	○		
NN87-J		○	
NN87-K			
NN87-L	○		
NN87-L-1	○		
NN87-M	○	○	
NN87-N		○	
NN87-O			
NN87-O-2			
NN87-P			
NN87-Q			
NN87-Q-1			
NN87-R			

ベクトル化解析

解析対象測線においてデータ欠損が多くデータ解析の除外となった測線で重合時間記録がデジタルデータとして残存していない場合と、JAPEX から提供された既存結果のうち重合後デジタルデータが存在しない測線については、フィルムあるいは紙面で残存するCMP 重合断面図をスキャナーで読み取り SEG-Y データを生成するベクトル化解析を実施した。ベクトル化解析の適用測線では、原則としてデータ再解析は行われませんが、ある程度の区間で十分な品質の重合記録が作成可能な場合は、データ再解析も併せて実施した。解析対象測線でベクトル化解析の適用測線を表 3 に示す。

表 3 ベクトル化解析の適用測線

調査名	測線名
S51 北海道西部～新潟海域	HN76-D
S56 富山沖	TT81-1
	TT81-3
	TT81-4
	TT81-5
	TT81-A
	TT81-B
S60 大和堆	YA85-4
	YA85-5
	YA85-7
	YA85-B
	YA85-C
S62 西津軽～新潟沖	NN87-G
	NN87-H
	NN87-I
	NN87-J
	NN87-K
	NN87-N
	NN87-O
	NN87-Q

c) 深海調査データ再解析詳細

深海調査のデータ解析作業は、図 3 に示すデータ解析フローに基づき実施された。この解析作業は、標準解析、PSTM 解析、MDRS 解析、ベクトル化解析の 4 つに大別できる。以下に各段階での解析内容を解析作業ごとに示す。

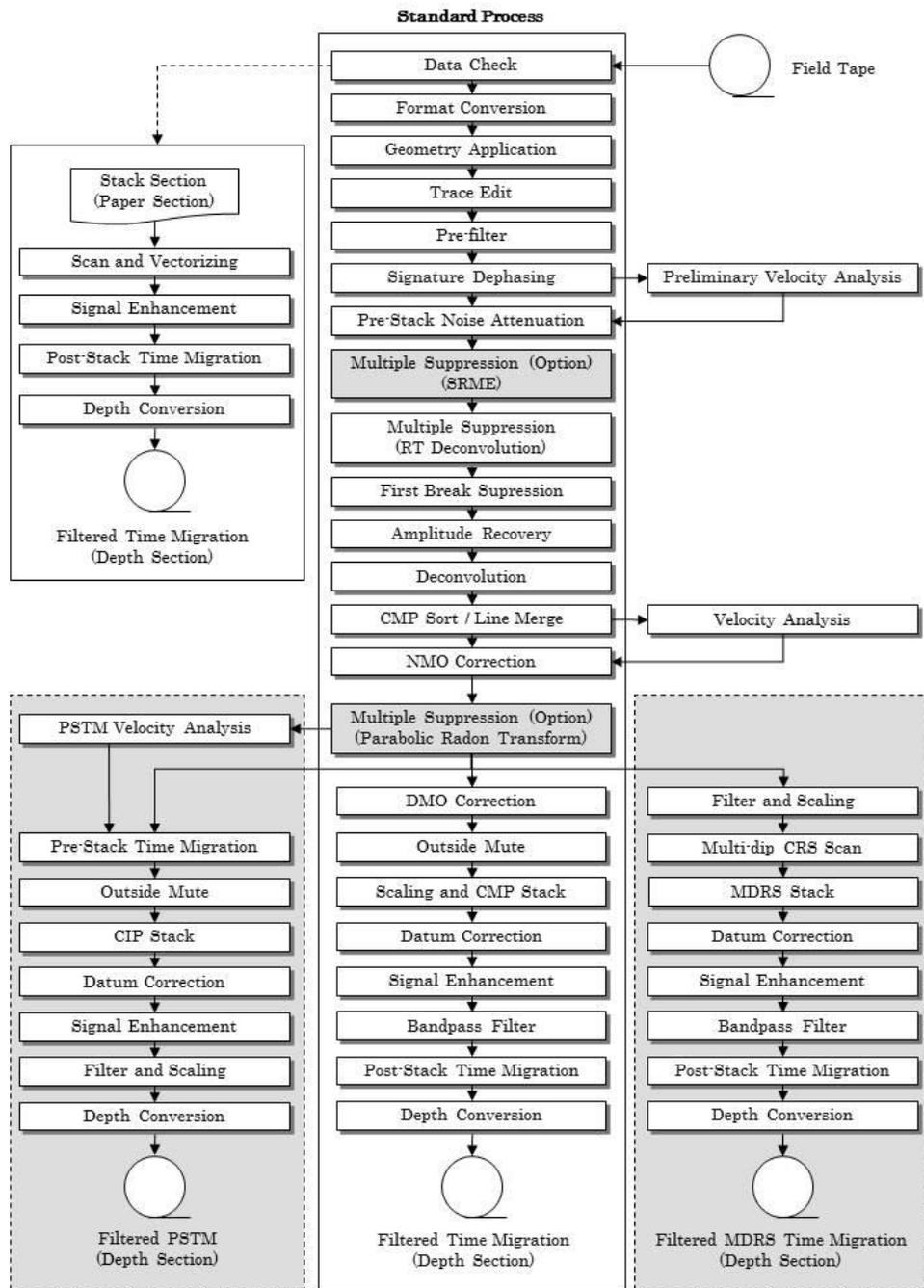


図3 データ解析フロー。PSTM解析とMDRS解析は一部に適用した。

i) 標準解析

以下、標準解析について、重合後時間マイグレーションの深度断面図を作成するまでの標準的な解析の内容を記す。

1. データ確認 (Data Check)

磁気テープ等の記録媒体に保存されている既存データを精査し、データ欠損の状況を集約した。データ欠損率が小さく、十分な品質の重合記録の作成が見込める記録について再解析の対象とした。発震点記録が欠落している記録あるいは発震記録内でトレースが欠落している記録に関しては、発震記録とデータシート(オブザーバズログ)

の対応関係を確認し、過誤が認められた場合には正しい対応を再現した。

2. フォーマット変換 (Format Conversion)

磁気テープ等の記録媒体に保存されている既存データから内部フォーマット (SuperX フォーマット) への変換を行った。「西津軽～新潟沖 (1987)」ではテープに保存されたデータは CMP 編集後の記録であったため、トレースヘッダーの情報に基づき発震記録を再構築した。複数の測線に分けて取得されたデータのうち、発震船の航行方向が同じであり、接続域で発震点位置を含めて測線が一致するような単純なケースについては、この段階で測線を接続した。なお、データ確認の際に判明したトレース順の過誤や発震記録ごとの記録開始時間のずれ等は、この段階で補正された。

3. 測線情報の入力 (Geometry Application)

発震点、受振点及び CMP のインデックスと座標、オフセット距離等の測線情報をトレースヘッダーに入力した。なお、ここで設定される座標値は、二次元測線上の相対的な値である。この時点の結果を、データ解析に使用した基本発震記録として SEG-Y ファイルに出力した。

4. トレースエディット (Trace Edit)

全発震記録を確認することで、以降の解析に悪影響を及ぼす不良記録を読み取り、解析対象から除外するとともに、パルスノイズ抑制解析を併せて適用した。

5. プレフィルター (Pre-filter)

低周波数ノイズが確認された一部の調査では、波形変換解析への悪影響を取り除くために、帯域通過フィルターを適用した。「北海道西部～北東部海域 (1988)」ではデータ取得時のローカットフィルターは 3Hz と低く、「西津軽～新潟沖 (1987)」「大和堆 (1985)」ではローカットフィルターは適用されていない。これら 3 調査では一部の発震記録で低周波数ノイズが確認されたため、帯域通過フィルターを適用した。

6. 波形変換解析 (Signature Dephasing)

各種ウェーブレットを用いて、最小位相変換を適用した。ここでは以下の優先度に従い、ウェーブレットを設定した。

- ・ エアガン震源波形観測記録：「西津軽～新潟沖 (1987)」
- ・ 合成エアガン波形：「北海道西部～北東部海域 (1988)」
- ・ ニアトレース記録から抽出した海底反射波形：その他の調査

「西津軽～新潟沖 (1987)」では、データ取得時と同一のエアガン構成及び発震深度によるファーフィールド震源波形記録が存在したため、これを用いた。波形変換解析では、ケーブルゴーストを付加したウェーブレットを用いて、最小位相変換を適用した。エアガン波形を用いた波形変換解析例を図 4 に、ニアトレース記録に対する最小位相変換の適用例を図 5 に、波形変換解析適用記録にホワイトニング型デコンボリューション

ョンを適用した例を図 6 に示す。

「北海道西部～北東部海域(1988)」では、適切なエアガン震源波形観測記録は存在しなかったが、エアガンの容量及び配置の詳細情報が既存報告書に記載されていたため、Oakwood Computing Associates 社のエアガン波形シミュレーションソフトである Gundalf™ を用いてエアガン波形を作成した。波形変換解析では、震源ゴーストとケーブルゴーストを含めた合成エアガン波形を用いて、最小位相変換を適用した。上記以外の調査では、適切なエアガン震源波形観測記録は存在せず、エアガンの容量及び配置の詳細情報の記載が既存報告書にはなく、シミュレーションソフトを使用したガン波形の作成もできなかったため、ニアトレス記録において海底反射波形の走時を読み取り、これを同一時間に揃えて重合することでウェーブレットを抽出した。

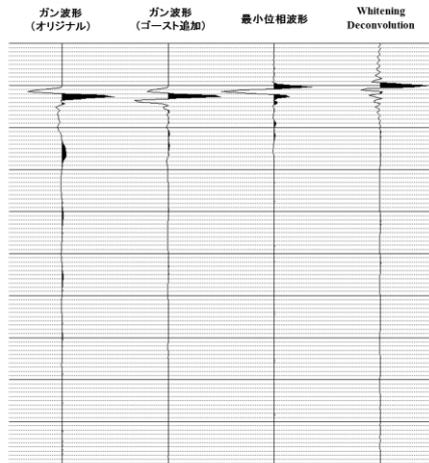


図 4 エアガン波形を用いた波形処理例

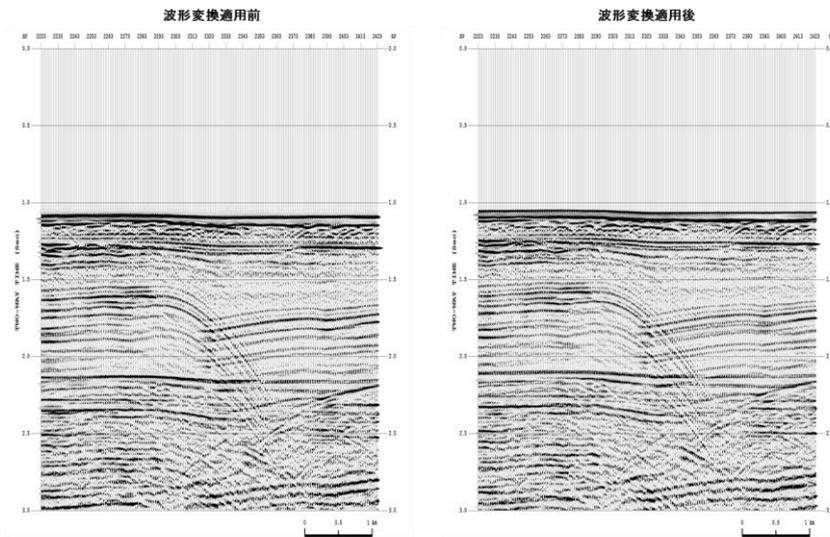


図 5 波形変換処理適用前後のニアトレス記録の比較。「西津軽～新潟沖」(1987)。

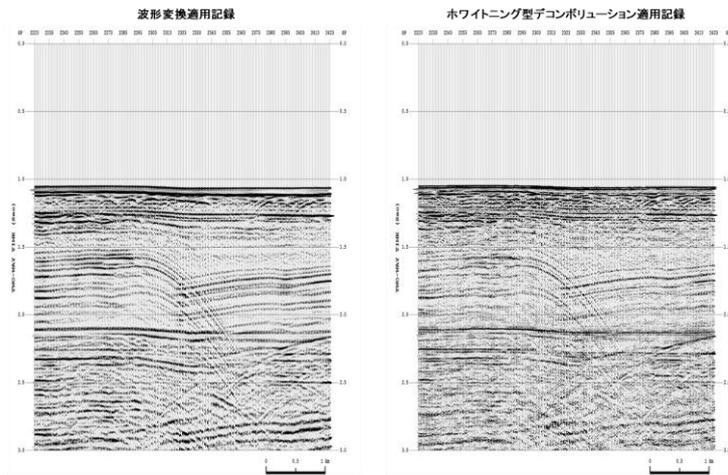


図6 波形変換処理適用記録へのデコンボリューション適用例。「西津軽～新潟沖」(1987)。

7. 予備的な速度解析 (Preliminary Velocity Analysis)

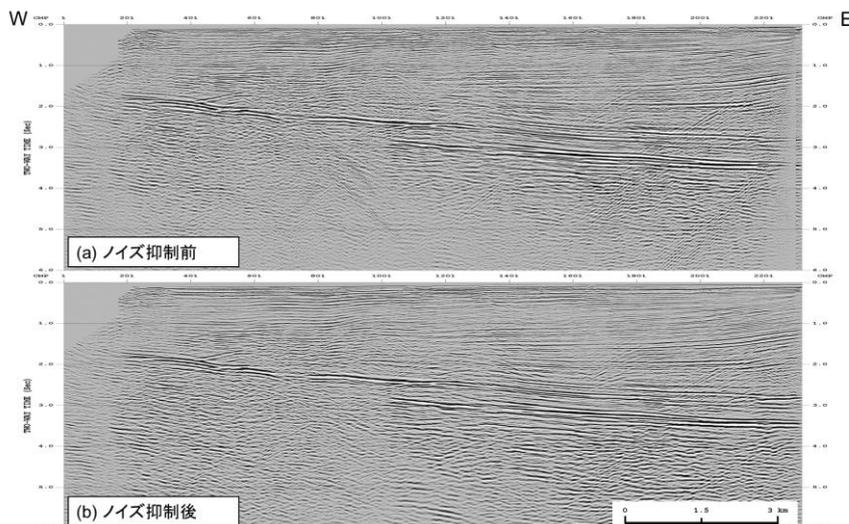
定速度走査法 (constant velocity scan) を用いて 2km 毎に予備的な速度解析を行った。ここで得られた速度は、ノイズ抑制解析における一時的な速度の他、各解析の適用前後の結果を重合記録上で比較・確認するために用いた。

8. 重合前ノイズ抑制解析 (Pre-Stack Noise Attenuation)

重合前記録の品質向上を目的としてノイズ抑制解析を適用した。ランダムノイズを抑制し、相対的にシグナルノイズ比(S/N)を向上させる F-X 予測フィルターを適用した。低周波数の強振幅ノイズが確認された調査では F-X 速度フィルターに先立ち、F-X エディットを適用した。ノイズ抑制解析は以下の手順で実施された。

- F-X エディット (発震記録)
- F-X 予測フィルター (発震記録)
- F-X 速度フィルター (発震記録)

重合前ノイズ抑制解析適用前後での重合記録の比較例を図7に示す。ランダムノイズや線形ノイズが抑制されたことで、特に深部で S/N の改善が見られたため、上記の



重合前ノイズ抑制解析を全測線に適用することとした。

図7 重合前ノイズ抑制処理適用前後の重合記録比較。「北海道西部～北東部海域」(1988)。

9. Surface Related Multiple Elimination (SRME) 解析

海水面を介在する長周期多重反射波を抑制するために、SRME 解析を適用した。SRME 解析は、波動方程式に準拠する多重反射波抑制手法であり、波線経路に海面での反射を含む Surface-related 型の多重反射波を予測し抑制する。共通発震点記録の受振点と共通受振点記録の発震点の位置が一致するような 2 つのトレースをコンボリューションすることにより、一次反射波から多重反射波を合成する。合成された多重反射波は、最小二乗フィルターを用いた Adaptive Subtraction によって波形が調整され、取得された記録から減算される。

図 8(a)~(c)に、SRME 解析による多重反射波抑制解析の適用結果の例を示す。グレースケール記録が SRME 解析適用後の重合記録、赤色が予測された多重反射波成分である。

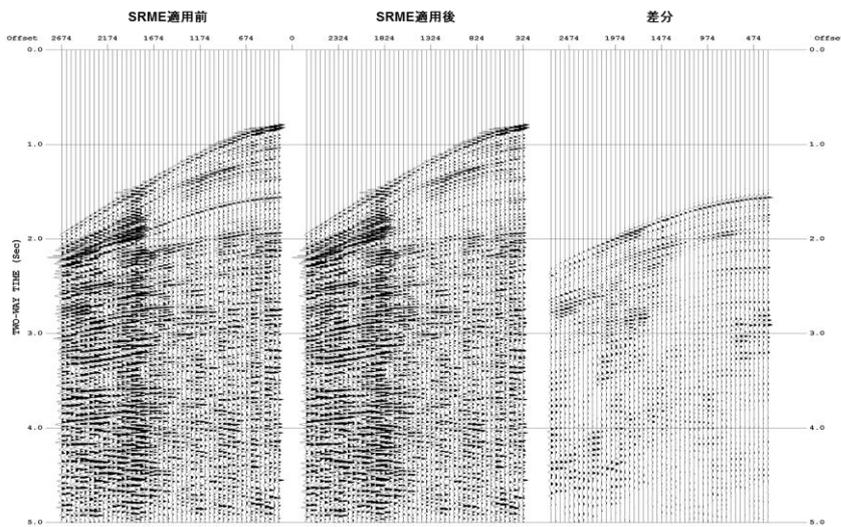


図 8 (a) SRME 解析適用前後の発震記録の比較。「北海道西部～新潟海域」調査 (1976)。

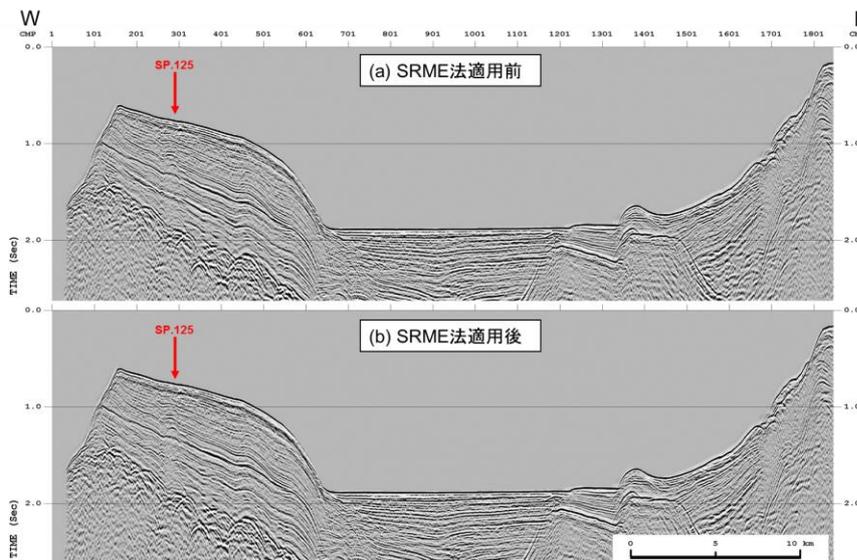


図 8 (b) SRME 解析適用前後の重合記録の比較。「北海道西部～新潟海域」調査 (1976)。

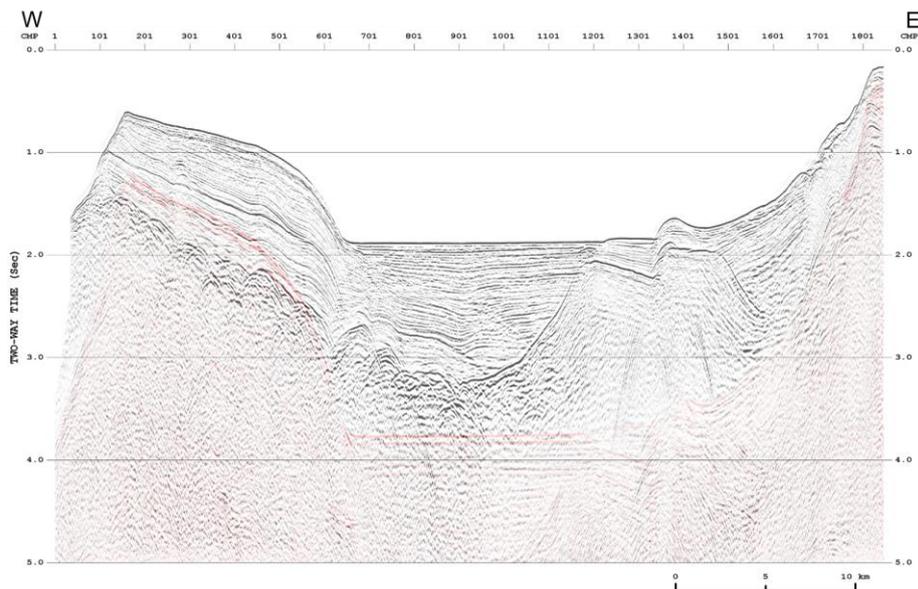


図 8 (c) SRME 解析で予測された多重反射波 (赤色)。「北海道西部～新潟海域」調査 (1976)。

10. Radial Trace Deconvolution (RTD)解析

短周期多重反射波を抑制するために、RTD 解析を適用した。オフセット一時間領域で表現された発震記録を、震源を原点とする様々な傾き (見掛け速度) を持つ放射状の軌跡に沿った時系列トレースに構成し直すことにより放射速度一時間領域 (Radial Trace 領域:RT 領域) の記録が得られる。一次反射波と多重反射波の走時差、および多重反射波間の走時差は、層厚や区間速度に変動が無ければ、RT 領域においては時間方向に一定となるため、RT 領域で予測型デコンボリューションを適用することで周期性を持つ多重反射波を抑制できる。

11. 初動ミュート (First Break Mute)

初動付近では直接波や屈折波が卓越し、これらは幾何発散モデルから極度に逸脱した強振幅を示す。この様な反射波の重合に不都合な波群を予め除去するために初動抑制を実施した。

12. 振幅補償 (Amplitude Recovery)

震源から放出される弾性波は、様々な原因 (三次元的伝播に起因する幾何学的発散効果、多層構造内の透過・反射に起因する伝播損失、非弾性散逸等) により振幅が減衰する。これらの原因による減衰を補償し、データの振幅の一様性を回復するため、振幅補償を適用した。ここでは、球面発散振幅補償適用後に、非弾性効果を補償する目的でゲート長 1000msec の自動振幅補正 (AGC) を適用した。

13. デコンボリューション (Deconvolution)

地層の非弾性や観測系の諸特性により伸張した波形をパルスに戻す目的で、ホワイトニング型のデコンボリューションを適用した。デコンボリューション解析では、次式で示される一次元コンボリューションモデルが前提とされている。

$$F(t) = W(t) * R(t) + N(t)$$

ここに $F(t)$ は地震波トレース、 $W(t)$ は基本波形、 $R(t)$ はランダム定常な反射係数列、 $N(t)$ はランダムノイズである。このモデルにおいて基本波形を構成する要素としては、以下の項目が挙げられる。

- ・ 震源波形 ガン波形、ゴースト効果
- ・ 地層効果 多重反射波、非弾性による吸収
- ・ 記録系 受振器特性、ゴースト効果、探鉱機の応答特性

デコンボリューションでは、こうした要素の集積としての基本波形を地震トレースから推定・除去することで、記録の分解能向上を図ることが可能である。

14. 共通反射点編集 (CMP Sort)

共通発震点記録を、反射点 (発震点と受振点の中心) を共通とするトレースの集合 (CMP ギャザー) に編集した。

15. 測線接続 (Line Merge)

複数の測線に分けて取得されたデータについて、(2) の段階では接続が困難だった測線の接続を行った。測線接続の手法としては、共通反射点編集後のデータに対して、測線が交差あるいは近接する付近で両測線の CMP 番号の対応を取り、最近接 CMP で両測線を接続する方法を用いた。後述するマイグレーション解析や解釈作業を考慮すると、近接測線は接続されていることが望ましいため、測線が完全に交差していなくても、測線間の距離が 100m 程度ならば、測線接続を行った。

16. 速度解析 (Velocity Analysis)

定速度走査法 (constant velocity scan) を用いて 1km 毎に速度解析を行った。

17. NMO 補正 (NMO Correction)

速度解析によって求められた重合速度関数を時間-空間方向に内外挿し、その速度テーブルに従って NMO 補正を適用した。NMO 補正は各トレースのオフセット距離を 0m にする補正解析であり、この解析によって CMP アンサンブル内の反射波走時は同一時間となる。NMO 補正に伴い波形の伸長が生じるため、大きく伸長された波形を除去する目的でストレッチミュートを施した。ストレッチミュートの値が N の場合、元の波形に対して N 倍以上に伸長された波形を除去することを意味する。ストレッチミュートで抑制できない過伸張波形については、後述のアウトサイドミュートで取り除いた。

18. 放物線ラドン変換 (Parabolic Radon Transform, PRT) 解析

SRME 解析や RTD 解析で抑制できなかった多重反射波を抑制するために、PRT 解析を適用した。PRT 解析では、NMO 補正後の CMP アンサンブルを入力として、水平に並ぶ一次反射波と、近似的に放物線軌跡で表現できる多重反射波を分離し、多重反射波を抽出・除去する。各調査で適用テストを実施したところ、「北海道西部～北東部海域

(1988)」と「西津軽～新潟沖(1987)」の一部の測線で抑制効果が確認できたため、効果の見られた測線に限り、PRT 解析を適用することとした。図 9(a)～(b)に、PRT 解析による多重反射波抑制解析適用前後の、NMO 補正後 CMP 記録および重合記録の比較結果を示す。

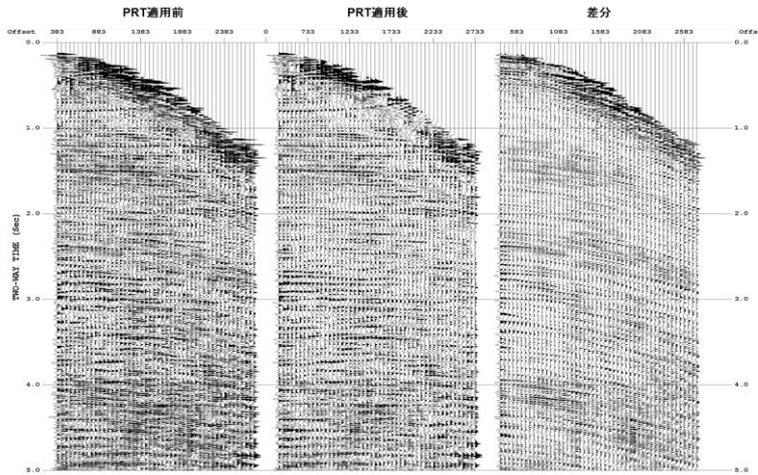


図 9(a) PRT 解析適用前後の NMO 後 CMP 記録の比較。「西津軽～新潟沖」(1987)。

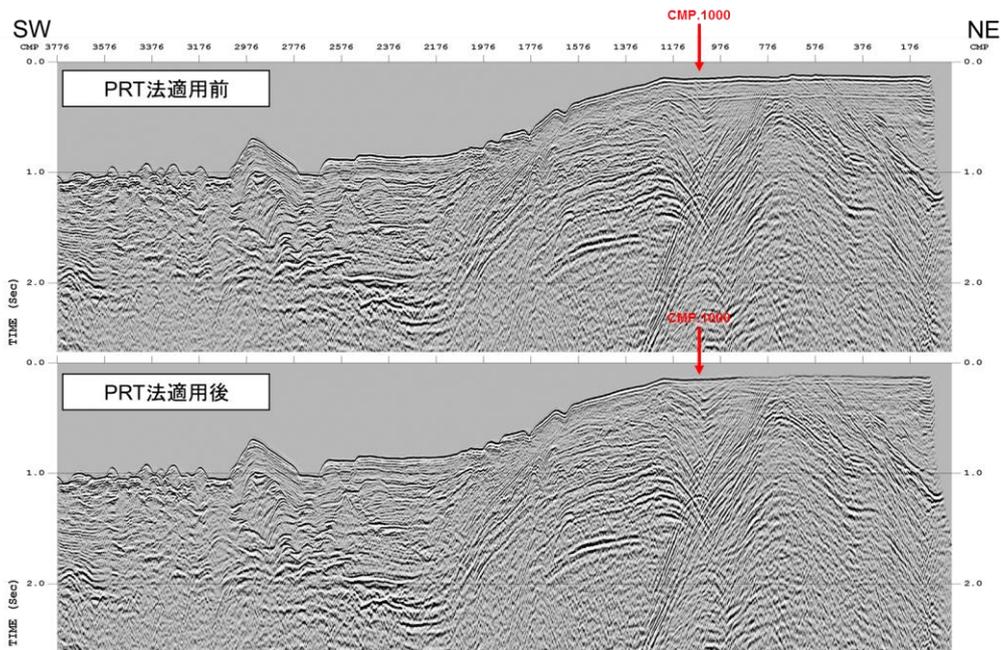


図 9(b) PRT 解析適用前後の重合記録の比較。「西津軽～新潟沖」(1987)。

この時点の記録に、重合速度で逆 NMO 補正を適用した結果を、後述の追加解析 (PSTM 解析、MDRS 解析) の入力記録とした。

19. Dip Move Out (DMO)補正 (DMO Correction)

測線方向に地層傾斜が存在する場合、ゼロオフセットの反射点は傾斜上方に移動するため、CMP ギャザー内の反射点はばらつき、重合効果は低下する。DMO 補正の適用により、この反射点のばらつきを補正し、反射点を収束させることで、重合効果の向上を図った。

本解析では仕様により DMO 補正は受振点間隔 25m 以下の海域マルチチャンネルストリーマ記録を対象としているため、DMO 補正の解析対象調査は深海調査では「北海道西部～北東部海域(1988)」「西津軽～新潟沖(1987)」および「大和堆(1985)」の 3 調査に限られる。対象調査は、海域のマルチチャンネルストリーマ記録であり、オフセット分布は均質であるため、共通オフセット領域 DMO 補正を採用した。

DMO 補正に最適な速度を得るため、1km 間隔で DMO 速度解析を実施した。DMO 速度解析は、重合速度による NMO 補正済み記録に対して以下の手順で行った。

- ・ DMO 補正を適用
- ・ 重合速度で逆 NMO 補正を適用
- ・ 「16. 速度解析」と同様の手法で速度解析を実施

重合速度で逆 NMO 補正した記録に対して、DMO 速度解析で得られた速度を用いて NMO 補正を適用した後に、DMO 補正を適用した。DMO 補正適用前後の重合記録の比較を図 10 に示す。

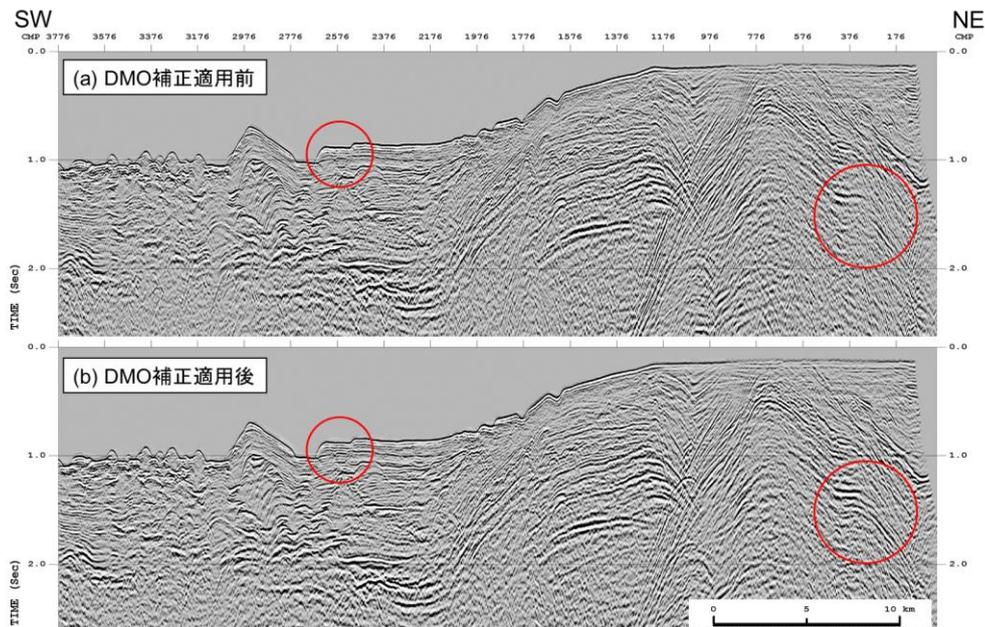


図 10 DMO 補正処理適用前後の重合記録の比較。「西津軽～新潟沖」(1987)。

20. アウトサイドミュート (Outside Mute)

NMO 補正に伴う波形の伸長及びファーオフセット側に残留する屈折波初動部分を抑制する目的で、ミュートを設計し適用した。

21. 振幅調整 (Trace Scaling)

時間方向の振幅バランスを整えるために、ゲート長 600msec の AGC を適用した。

22. CMP 重合 (CMP Stack)

NMO 補正適用後の共通反射点アンサンブルに対して、水平重合解析を実施した。

23. 基準面補正 (Datum Correction)

震源の深度、受振器ケーブルの深度および海水中の音速速度 (1500m/sec) を参照して、基準面を平均海水面とするための補正を行った。

24. 信号強調 (Signal Enhancement)

重合後記録の反射波の連続性を改善するために、ランダムノイズを抑制し、相対的に S/N を向上させる F-X 予測フィルターを適用した。傾斜ノイズが顕著な調査では、傾斜ノイズ抑制解析を併せて適用した。

25. 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

反射波の周波数帯域外にあるノイズを抑制するために、周波数成分解析に基づき、タイム・バリエーション型の帯域通過フィルターを適用した。帯域通過フィルター適用前後の重合記録の比較を図 11 に示す。

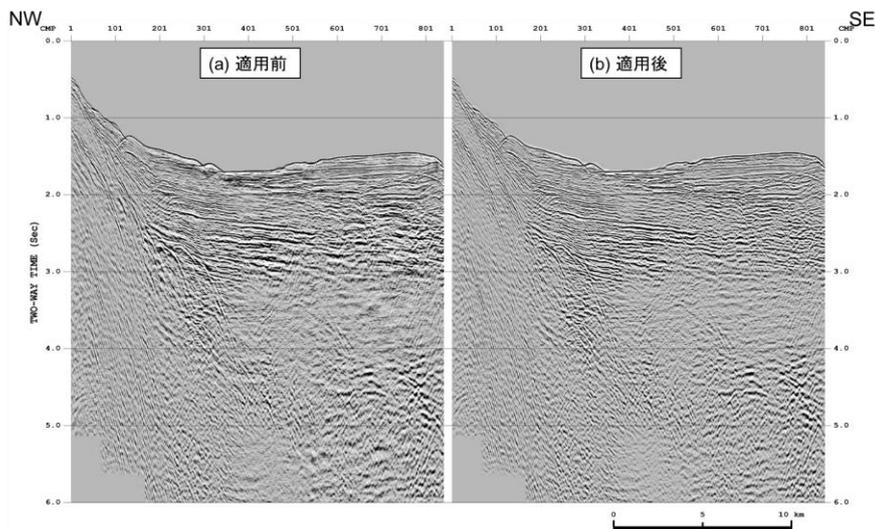


図 11 帯域通過フィルター適用前後の重合記録の比較。「富山沖」(1981)。

26. 振幅調整 (Trace Scaling)

空間方向の振幅バランスの悪い調査については、振幅バランスを調整する目的で、トレースシグマスケールを適用した。

この時点の記録を、重合時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

27. 重合後時間マイグレーション (Post-Stack Time Migration)

重合断面図では、反射波は各 CMP 位置からの垂直往復走時として表現されている。従って傾斜した反射面に関して、重合断面図上の傾斜は真の傾斜より緩やかに表現されることとなる。この誤差を補正し各 CMP 直下の構造形態を得る解析がマイグレーション解析である。マイグレーション解析の手法としては、時間-空間領域での差分時間マイグレーションを採用した。マイグレーション速度としては、DMO 速度あるいは重合速度を空間方向に平滑化した速度関数をスケールして用いた。この時点の記録を、重合後時間マイグレーション時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

28. 深度変換 (Depth Conversion)

深度変換速度を用いて、Vertical Stretch 解析による深度変換を実施した。深度変換速度は、DMO 速度あるいは重合速度を空間方向に平滑化した速度関数を用いた。この時点の記録を、重合後時間マイグレーション深度断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

以上の解析手順により作成された重合時間断面図の例を図 12 に、重合後時間マイグレーション時間断面図の例を図 13 に、重合後時間マイグレーション深度断面図の例を図 14 に示す。

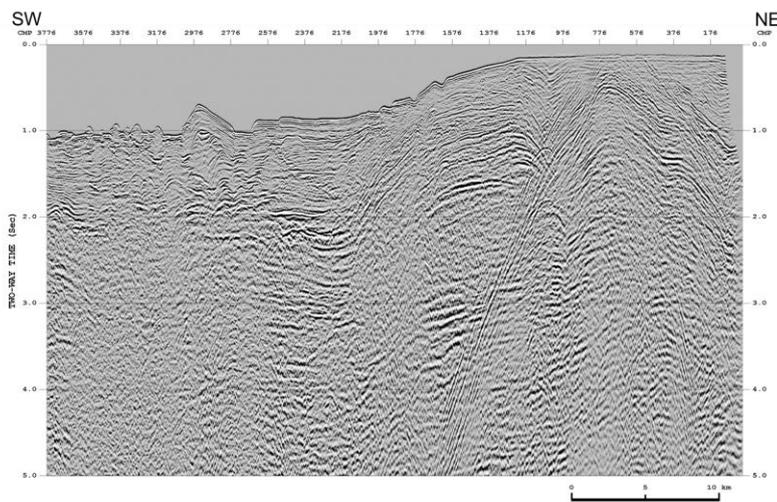


図 12 重合時間断面図。「西津軽～新潟沖」(1987)。

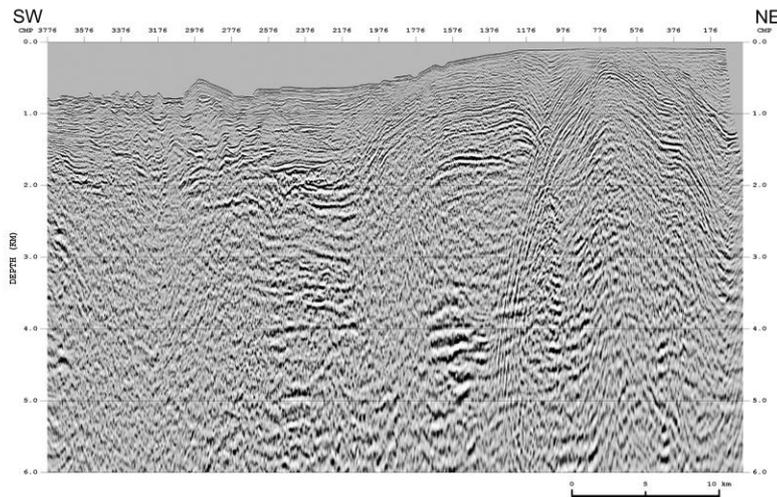


図 13 重合後時間マイグレーション時間断面図。「西津軽～新潟沖」(1987)。

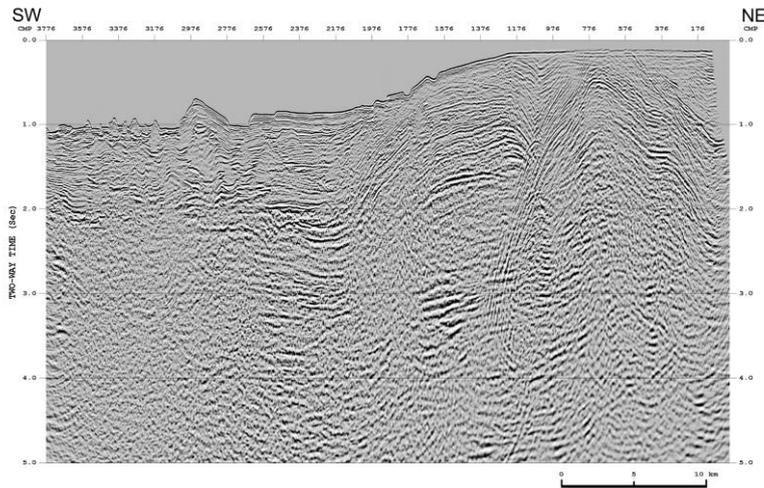


図 14 重合後時間マイグレーション深度断面図。
「西津軽～新潟沖」(1987)。

ii) Pre-Stack Time Migration (PSTM) 解析

PSTM 解析は標準解析から更に進んだ特殊解析の部類に含まれるが、地殻内の精緻なイメージングが可能になる手法である。ここでは重合前時間マイグレーションの深度断面図の作成までの詳細を記す。i) 標準解析の 1. から 18. の解析に続いて以下の解析を行った。

19. PSTM 速度解析 (PSTM Velocity Analysis)

PSTM 解析に最適な速度を得るため、1km 間隔で PSTM 速度解析を実施した。PSTM 速度解析は、逆 NMO 補正を適用した CMP 記録に対して、以下の手順で行った。

- ① DMO 速度を近似 PSTM 速度として PSTM 解析を適用
- ② PSTM 適用時の速度で逆 NMO 補正を適用
- ③ 「i) 標準解析」の「16. 速度解析」と同様の手法で速度解析を実施
- ④ 求めた速度を用いて PSTM 解析を適用

速度が収束するまで上記②から④を繰り返し実行した。なお、急傾斜構造では、近似 PSTM 速度（対象測線が「西津軽～新潟沖(1987)」に限られるため DMO 速度）と PSTM 速度の差が大きいため、上記の速度解析手法では PSTM 速度の推定誤差が大きくなる可能性がある。そのため、速度の精度向上のため Percentage Velocity PSTM Stack を用いた速度解析を追加実施した。Percentage Velocity PSTM Stack とは、基準速度（ここでは上記手順で得られた PSTM 速度）を様々な値でスケールした速度を用いて作成した PSTM 断面図のことである。PSTM 断面図上で直接速度を読み取ることで、急傾斜構造においても最適なイメージを得ることができる。

20. 重合前時間マイグレーション (Pre-Stack Time Migration)

重合前データの見かけの反射点位置を真の位置に移動するとともに、回折波を回折点に復元するために 19. で求めた速度を用いてキルヒホッフ・アルゴリズムによる重合前時間マイグレーションを実施した。手法としては共通オフセット領域におけるキルヒホッフ積分マイグレーションを使用した。

21. アウトサイドミュート (Outside Mute)

波形の伸長を抑制する目的で、ミュートを設計し適用した。

22. Common Imaging Point (CIP) 重合 (CIP Stack)

PSTM 解析適用後の共通イメージ点 (CIP) アンサンブルに対して、水平重合解析を実施した。

23. 基準面補正 (Datum Correction)

基準面を平均海水面とするために、震源の深度、受振器ケーブルの深度および海中の音速速度 (1500m/sec) を参照して基準面補正を行った。

24. 信号強調 (Signal Enhancement)

重合後記録の反射波の連続性を改善するために、ランダムノイズを抑制し、相対的に S/N を向上させる F-X 予測フィルターを適用した。

25. 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

反射波の周波数帯域外にあるノイズを抑制するために、タイム・バリエーション型の帯域通過フィルターを適用した。

26. 振幅調整 (Trace Scaling)

空間方向の振幅バランスを調整する目的で、トレースシグマスケールを適用した。この時点の記録を、重合前時間マイグレーション時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

27. 深度変換 (Depth Conversion)

「i) 標準解析」の「28. 深度変換」と同様の手法で深度変換を実施した。この時点の記録を重合前時間マイグレーション深度断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

以上の解析手順により作成された重合前時間マイグレーション時間断面図の例を図 15 に、重合前時間マイグレーション深度断面図の例を図 16 に示す。

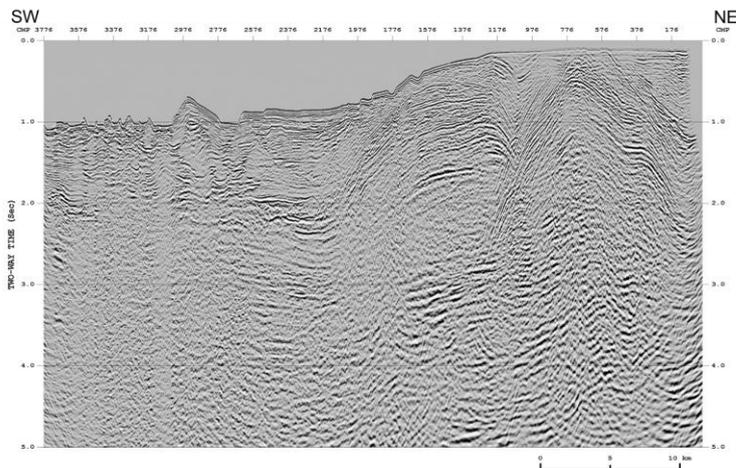


図 15 重合前時間マイグレーション時間断面図。「西津軽～新潟沖」(1987)。

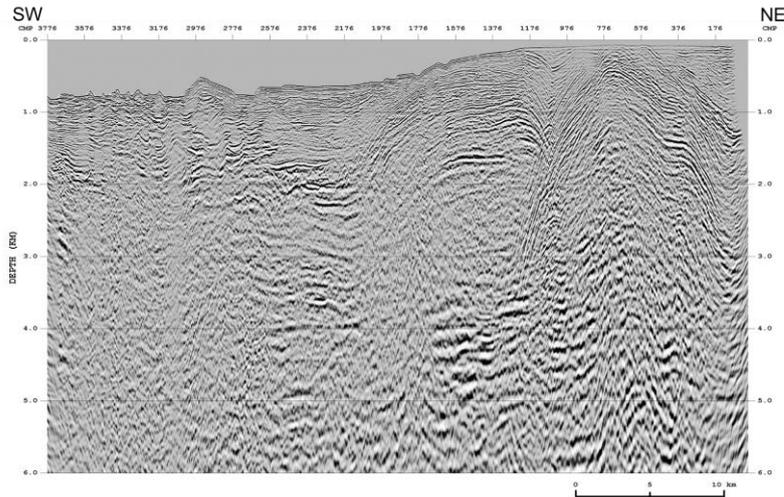


図 16 重合前時間マイ
グレーション深度断面図。
「西津軽～新潟沖」(1987)。

iii) MDRS (Multi Dip Reflection Surface)解析

MDRS 解析は MDRS 重合後時間マイグレーション深度断面図を作成するまでの追加解析である。「i) 標準解析」における 1～18 の解析に続き以下の解析を実施した。

19. 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

MDRS 解析の前解析として、反射波の周波数帯域外にあるノイズを抑制するために、帯域通過フィルターを適用した。

20. 振幅調整 (Trace Scaling)

MDRS 解析の前解析として、時間方向の振幅バランスを整えるために、ゲート長 600msec の AGC を適用した。

21. マルチディップ CRS スキャン (Multi-dip CRS Scan)

CRS (Common Reflection Surface) 解析は CMP に属するトレースだけでなく、その近傍の CMP 多数を併せたスーパーギャザーを重合解析することで、従来の CMP 重合解析に比べて飛躍的に高い S/N 比を得る手法である。しかし CRS 解析では各時間サンプルで 1 つの傾斜角 (1 組の CRS パラメータセット) しか選択できないため、異なる反射面からの反射波が交差する状況 (コンフリクティング・ディップ) には対応できない。本解析の対象地域のように、複雑な地質構造を有する地域ではゼロオフセット断面上でコンフリクティング・ディップの存在が予想されるため、この問題を解決し、より忠実な反射面を再現するために、マルチディップ CRS スキャンを実施した。以下に手順を述べる。

- ① 傾斜の範囲を 61 分割し、それぞれにおいて CRS スキャンを実施
- ② 求めた CRS アトリビュートを用いてスーパーギャザーの走時を補正
- ③ それぞれの傾斜範囲において重合解析を実施

以上の手順により、傾斜の各範囲で CRS 重合記録と関連するアトリビュートを 1 組ずつ、合計 61 組を作成した。

22. MDRS 重合 (MDRS Stack)

一般に反射記録を解釈するにあたり、様々な数値解析を行うが、これをアトリビュート解析という。これらのアトリビュート解析のうち、センブランス値は CRS 重合記録における重合効果の指標であり、大きなセンブランス値が高い重合効果を表している。これを利用して、重合結果および関連する各アトリビュートに対してサンプル毎にセンブランス値の高い順に並べ替える MDRS ピッキングを行い、センブランス値の高い方から 2 番目までのセクションを用いて MDRS 重合を実行することで、コンフリクティング・ディップに対応した CRS 重合記録を作成した。このようにセンブランス値の高い方から複数枚のセクションを加算することで、ゼロオフセット断面上で複数(ここでは最大 2 つまで)の反射波が交差する状況に対応した。なお、センブランス値による並べ替えに際して、傾斜範囲に制限を設けることで不要な傾斜ノイズを除去した。

23. 基準面補正 (Datum Correction)

基準面を平均海水面とするために、震源の深度、受振器ケーブルの深度および海中の音速速度 (1500m/sec) を参照して基準面補正を行った。

24. 信号強調 (Signal Enhancement)

重合後記録の反射波の連続性を改善するために、ランダムノイズを抑制し、相対的に S/N を向上させる F-X 予測フィルターを適用した。

25. 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

反射波の周波数帯域外にあるノイズを抑制するために、「1. 標準解析」の 25. と同様のタイム・バリエーション型の帯域通過フィルターを適用した。この時点の記録を、MDRS 重合時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

26. 重合後時間マイグレーション (Post-Stack Time Migration)

「i) 標準解析」の 27. と同様の手法で、重合後時間マイグレーションを適用した。この時点の記録を、MDRS 重合時間マイグレーション時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

27. 深度変換 (Depth Conversion)

「i) 標準解析」の「28. 深度変換」と同様の手法で、深度変換を実施した。この時点の記録を、MDRS 重合時間マイグレーション深度断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

以上の解析手順により作成された MDRS 重合時間断面図の例を図 17、MDRS 重合時間マイグレーション時間断面図の例を図 18、MDRS 重合時間マイグレーション深度断面図の例を図 19 に示す。

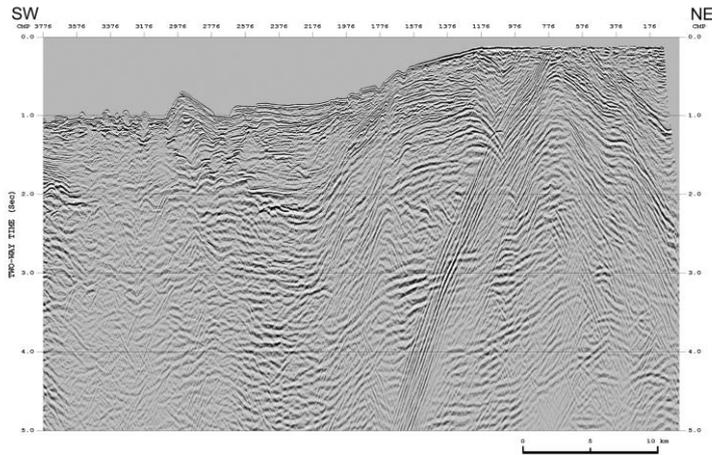


図 17 MDRS 重合時間断面図。
「西津軽～新潟沖」(1987)。

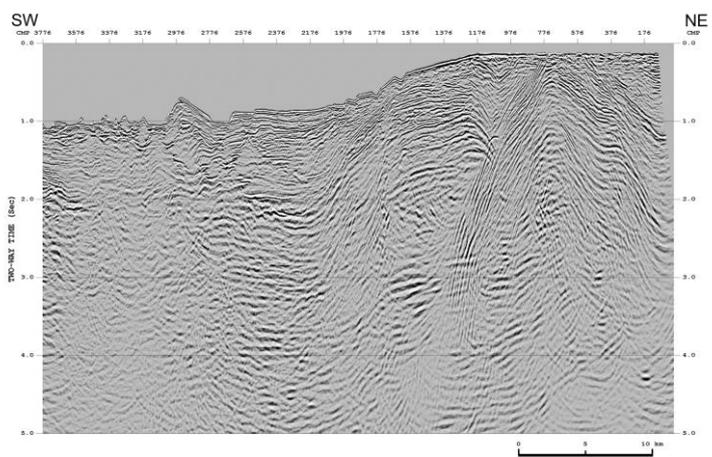


図 18 MDRS 重合時間マイグレーション時間断面図。「西津軽～新潟沖」(1987)。

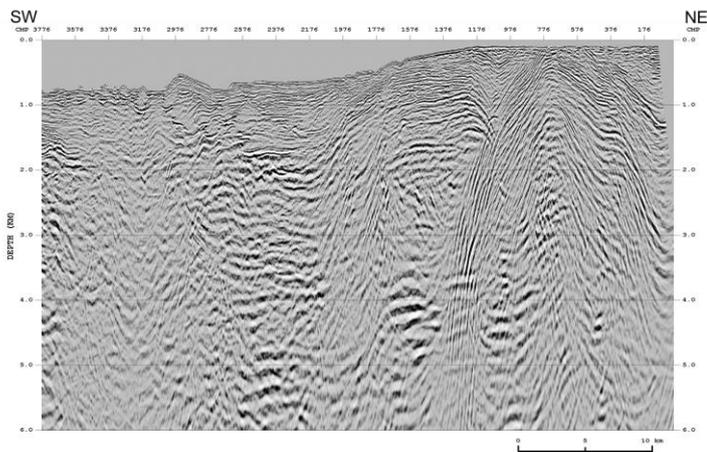


図 19 MDRS 重合時間マイグレーション深度断面図。「西津軽～新潟沖」(1987)。

iv) ベクトル化解析

ベクトル化解析は、フィルムあるいは紙面で残存する CMP 重合断面図から重合後時間マイグレーション深度断面図を作成するまでの解析である。対象測線は、解析対象測線でデータ欠損が大きくデータ再解析の除外となったもののうち、重合時間記録がデジタルデータとして残存していない測線と、JAPEX から提供されたベクトル化対象測線である。

① スキャンとベクトル化解析 (Scan and Vectorizing)

大型スキャナーを使用して紙の重合時間断面図をスキャンした tiff フォーマットの画像データに対して、Lynx Information Systems Ltd 社のソフトウェア「SSV (Seismic Section Vectorizing)」を使用してトレースデータをベクトル化した。ベクトル化されたトレースデータに、同社のソフトウェア「TRACEPREP」を使用して振幅補正等の解析を行い、SEG-Y ファイルに出力した。

② 信号強調 (Signal Enhancement)

重合後記録の反射波の連続性を改善するために、ランダムノイズを抑制し、相対的に S/N を向上させる F-X 予測フィルターを適用した。

③ 位相補償 (Phase Compensation)

ベクトル化解析でデジタル化した記録を本再解析結果と位相が整合するように、位相補償を適用した。ベクトル化解析は既往図面をデジタル化する解析であるため、既往結果の位相がそのまま反映される。既往解析ではガン波形に基づく波形変換解析を適用していないため基本波形は最小位相波形ではなく、ホワイトニングデコンボリューションを適用していてもゼロ位相波形にはならない。そのため、再解析結果と位相が整合していない可能性が高い。実際に、ベクトル化結果と再解析結果の位相を測線交差位置で比較したところ「富山沖(1989)」では再解析結果と海底面および各反射波の位相はほぼ整合していたものの、それ以外の調査では位相にずれが見られたため、「富山沖(1989)」以外の調査については、本再解析結果と位相が整合するように位相補償を適用した。位相補償としては、ベクトル化した記録上で海底反射波形の走時を読み取り、これを同一時間に揃えて重合することでウェーブレットを抽出、この波形に基づきゼロ位相化解析を適用した。この際に海底面反射波が正のピークとなるように、符号を反転した。CMP 重合断面図のデジタルデータが残存している調査についても、同様の位相補償を適用した。

ウェーブレット抽出までの過程を図 20(a)に、位相補償適用前後の比較を図に示す。図 20(b)での赤線は、位相補償適用前の記録の右端での海底面反射波の立ち下がり時間を表しているが、位相補償適用後の記録の右端では海底面反射波のピーク位置に対応しており、正しくゼロ位相化された結果と考えられる。位相の確認のため、位相補償適用前後での再解析結果との比較結果を図 21(a)と(b)に示す。図 21(a)と(b)は、ベクトル化解析結果の NN87-G 測線と再解析結果の NN87-12 測線の交差位置で両測線を接続表示したものであり、図面中央の縦線が交差位置を表す。位相補償適用により、再解析結果との反射波出現時間の整合性が向上したことが確認できる。この時点の結果を、ベクトル化解析の重合時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

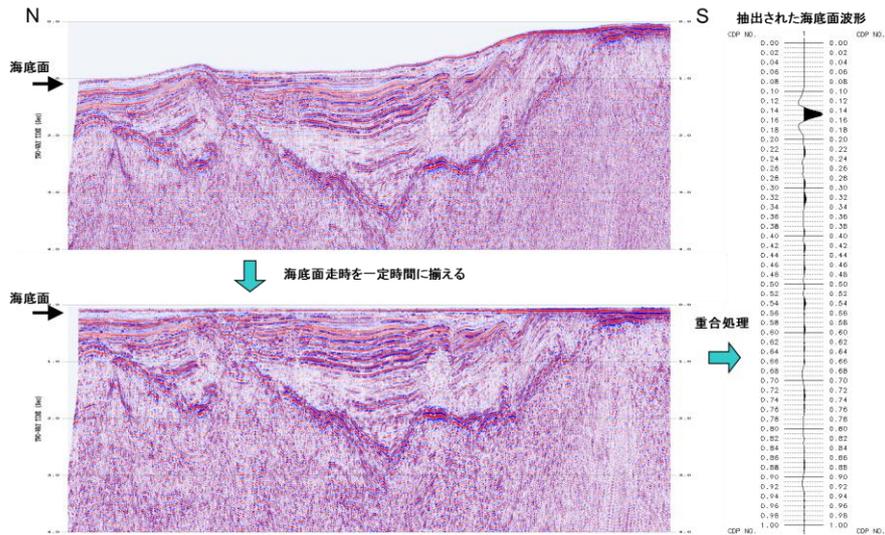


図 20(a) ベクトル化記録から抽出したウェーブレットの例。「西津軽～新潟」(1987)。

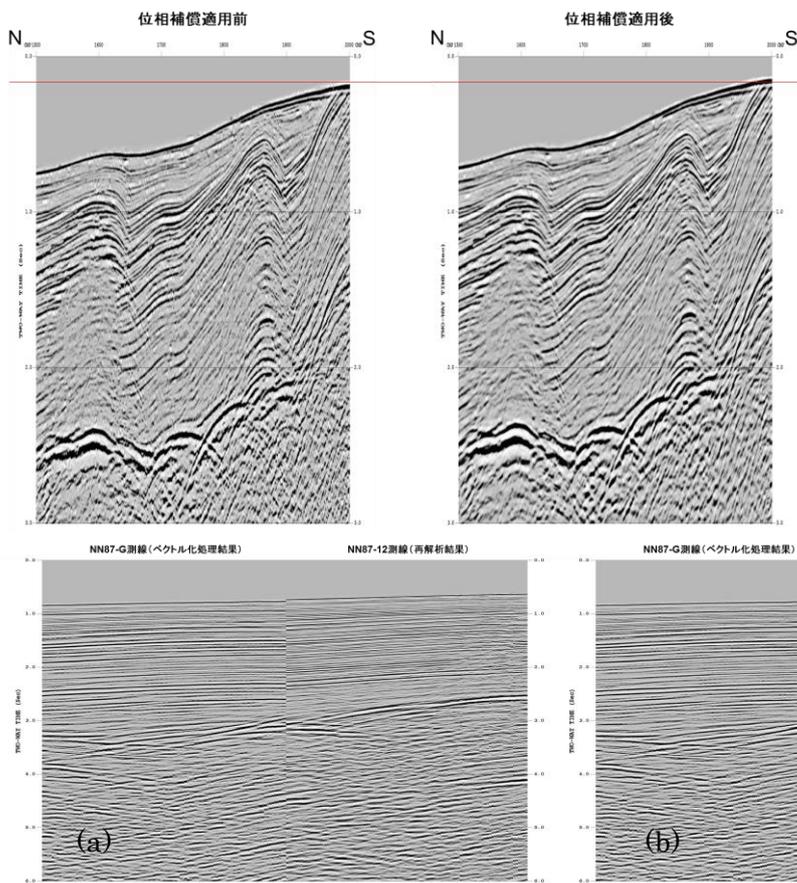


図 20(b) 位相補償適用前後の比較。「西津軽～新潟沖」調査(1987)。

図 21 再解析結果との比較図。「西津軽～新潟沖」調査(1987)。(a) 位相補償適用前 (b)位相補償適用後。

④ 重合後時間マイグレーション (Post-Stack Time Migration)

「i) 標準解析」の「27. 重合後時間マイグレーション」と同様の手法で、重合後時間マイグレーションを適用した。マイグレーション速度としては、対象測線で再解析を実施している場合はその速度を用い、再解析を実施していない場合は既存のフィルムまたは紙の重合断面図に記載された速度テーブルを読み取り、空間方向に

平滑化した速度関数をスケージングして用いた。この時点の記録を、ベクトル化解析の重合後時間マイグレーション時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

⑤ 深度変換 (Depth Conversion)

深度変換速度を用いて、Vertical Stretch 解析による深度変換を実施した。深度変換速度は「3. 重合後時間マイグレーション」で参照した速度を空間方向に平滑化した速度関数を用いた。この時点の記録を、ベクトル化解析の重合後時間マイグレーション深度断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

以上の解析手順により作成されたベクトル化解析の重合時間断面図の例を図 22 に、ベクトル化解析の重合後時間マイグレーション時間断面図の例を図 23 に、ベクトル化解析の重合後時間マイグレーション深度断面図の例を図 24 に示す。

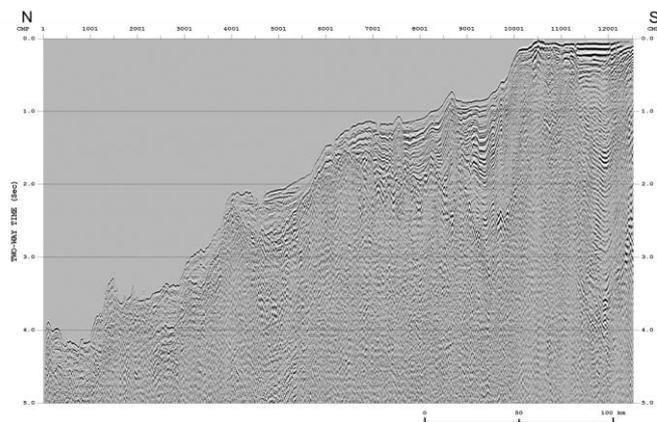


図 22 ベクトル化解析の重合時間断面図。「西津軽～新潟海域」調査(1987)。

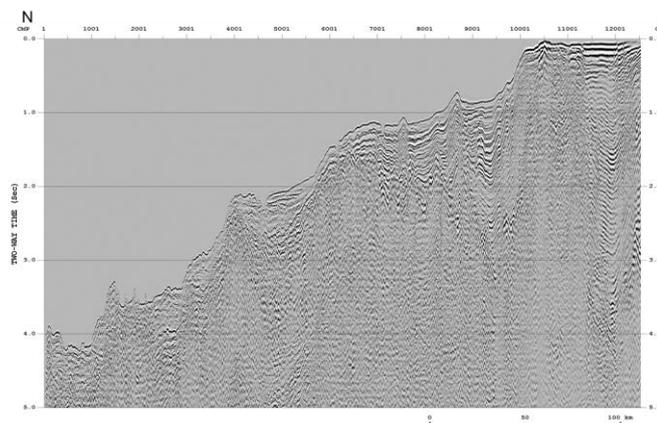


図 23 ベクトル化解析の重合後時間マイグレーション時間断面図。「西津軽～新潟海域」調査(1987)。

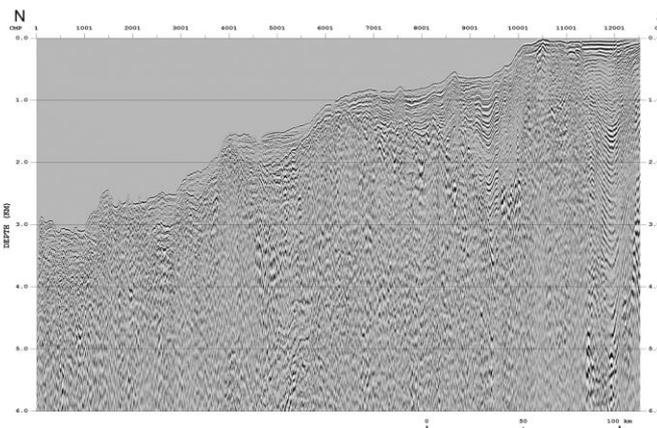


図 24 ベクトル化解析の重合後時間マイグレーション深度断面図。「西津軽～新潟海域」調査(1987)

d) 浅海調査データ解析詳細

浅海調査のデータ解析作業では、海陸接続域固有の問題が存在する。浅海調査データ取得の概要と問題点を図 25 に示す。浅海調査固有の問題点としては次が挙げられる。

- ① 異種受振器・異種震源間の位相補償（波形変換解析、位相補償）
- ② 浅海調査固有のノイズへの対応（複合型ノイズ抑制解析）
- ③ 表層の影響への対応（表層補正解析）

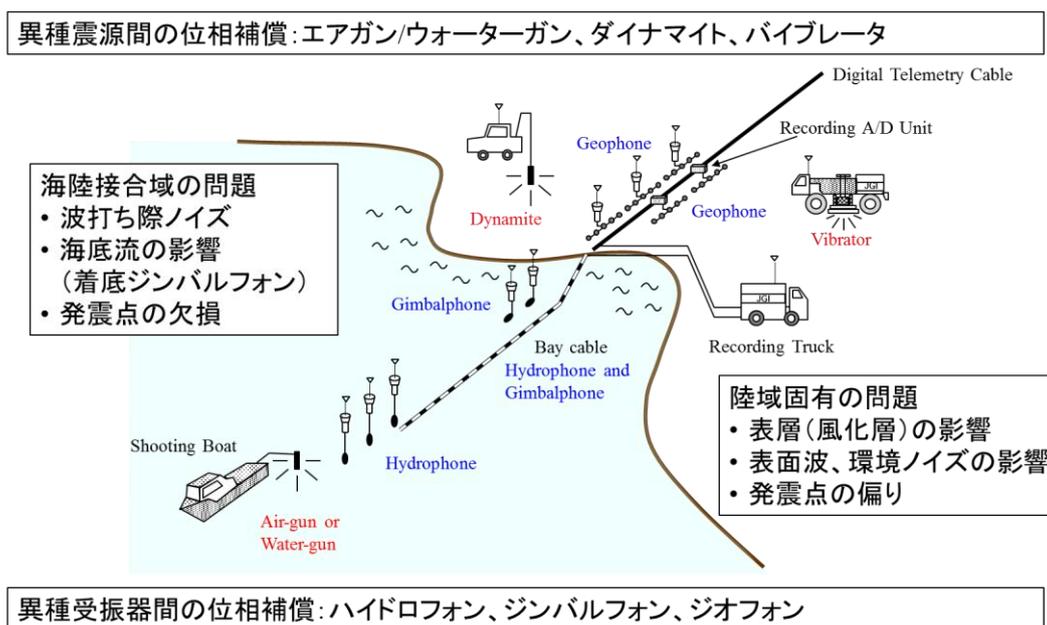


図 25 浅海調査データ取得概要と問題点

これらの問題点を考慮してデータ解析フローを構築した。浅海調査のデータ解析作業におけるデータ解析フローを図 26 に示す。データ解析フローには、標準解析と、ベクトル化解析（実際は既存デジタルデータの重合後解析）の 2 つが記載されている。以下に各段階での解析内容を解析作業ごとに示す。

i) 標準解析

標準解析は、重合後時間マイグレーションの深度断面図を作成するまでの標準的な解析である（図 26）。

1. データ確認 (Data Check)

磁気テープ等の記録媒体に保存されている既存データを精査し、データ欠損の状況を集約した。データ欠損率が小さく、十分な品質の重合記録の作成が見込める記録について再解析の対象とした。

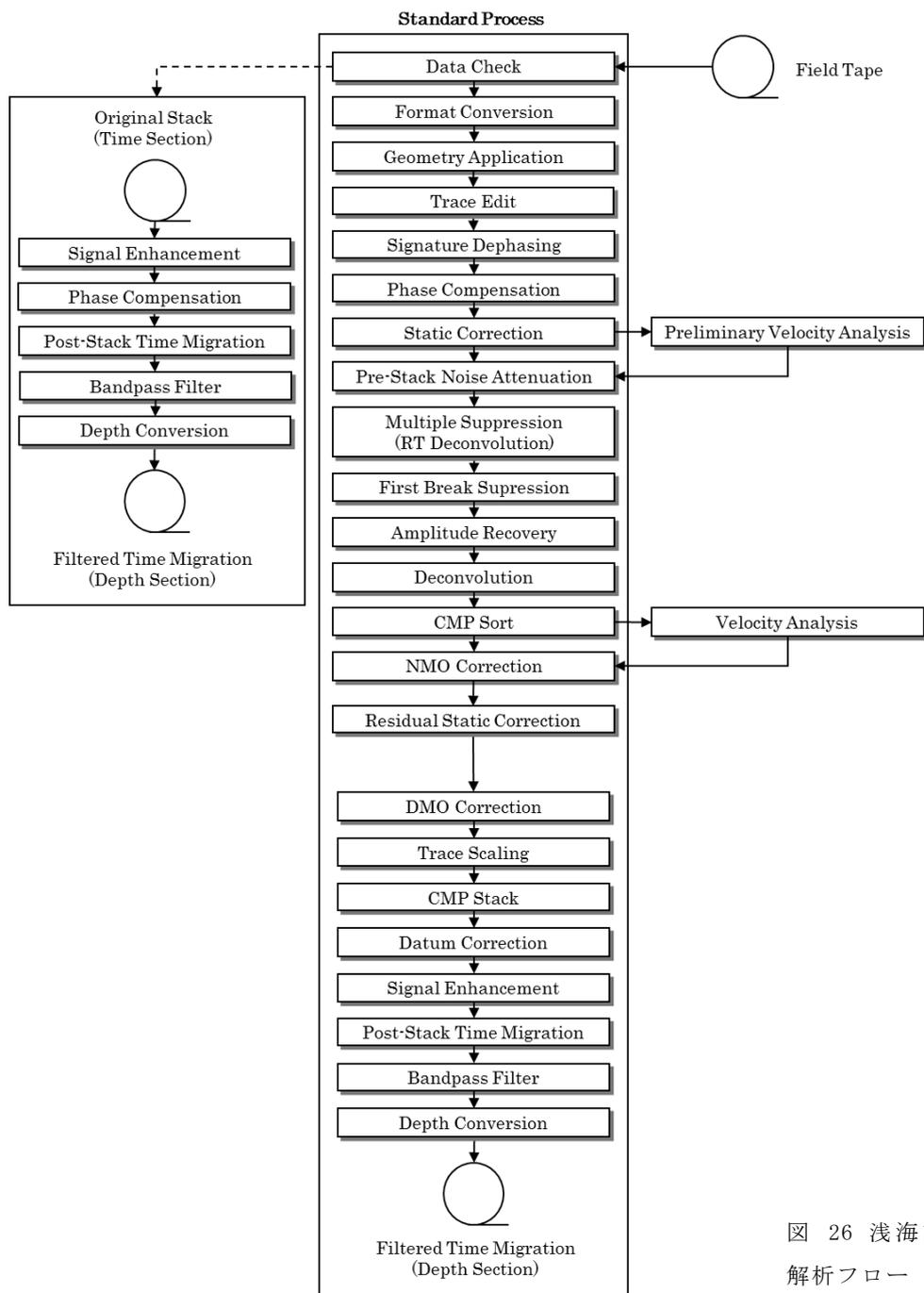


図 26 浅海調査データ
解析フロー

2. フォーマット変換 (Format Conversion)

磁気テープ等の記録媒体に保存されている既存データから JGI 内部フォーマット (SuperXフォーマット) への変換を行った。「新潟～富山浅海域」の SNT90-A と SNT91-A、SNT92-A の 3 測線、「秋田～青森浅海域」の SAA88-A と SAA89-A の 2 測線については、この段階で測線を接続した。

3. 測線情報の入力 (Geometry Application)

発震点、受振点及び CMP のインデックスと座標、オフセット距離等の測線情報をトレースヘッダーに入力した。なお、ここで設定される座標値は、局所座標系に変換し

た値である。各調査における局所座標原点は以下のように設定した。

天北浅海域 (500000, 500000)

新潟～富山浅海域 (270000, 4150000)

秋田～青森浅海域 (400000, 4300000)

この時点の結果を、データ解析に使用した原発震記録として SEG-Y ファイルに出力した。

4. トレースエディット (Trace Edit)

全発震記録を確認することで、以降の解析に悪影響を及ぼす不良記録を読み取り、解析対象から除外するとともに、パルスノイズ抑制解析と強振幅ノイズ抑制解析を併せて適用した。

5. 波形変換解析 (Signature Dephasing)

震源波形を用いた最小位相変換を適用した。海域発震記録に対しては、ガン震源波形観測記録のウェーブレットを用いて、最小位相変換を適用した。解析対象である全ての浅海調査で、データ取得時と同一のガン構成及び発震深度によるファーフィールド震源波形記録が存在したため、これを用いた。海域受振器の記録に対しては、ケーブルゴーストを付加したウェーブレットを用いて、最小位相変換を適用した。浅海調査の海域では、異なるタイプの受振器が使用されているため、受振器のタイプに合わせてケーブルゴーストを付加する必要がある。図 27 に新潟～富山浅海域(1990)での波形変換解析例を示す。ハイドロフォンとジンバルフォンでゴーストを付加したガン波形が異なることが分かる。

「天北浅海域(1996)」では一部でバイブレータ震源が用いられているため、バイブレータ波形として補助チャンネルに記録されていたクラウド波形を用いて、これを最小位相に変換するオペレータを設計し、バイブレータ記録に適用した。海域受振器の記録に対しては、受振器ゴーストを付加したクラウド波形を用いて、最小位相変換を適用した。図 28 に最小位相変換解析の例を示す。

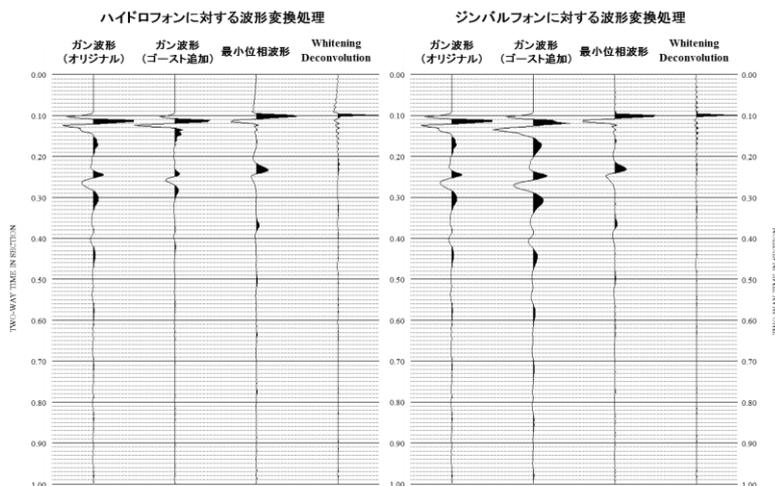


図 27 エアガン波形を用いた波形変換解析例。「新潟～富山浅海域」調査(1990)。

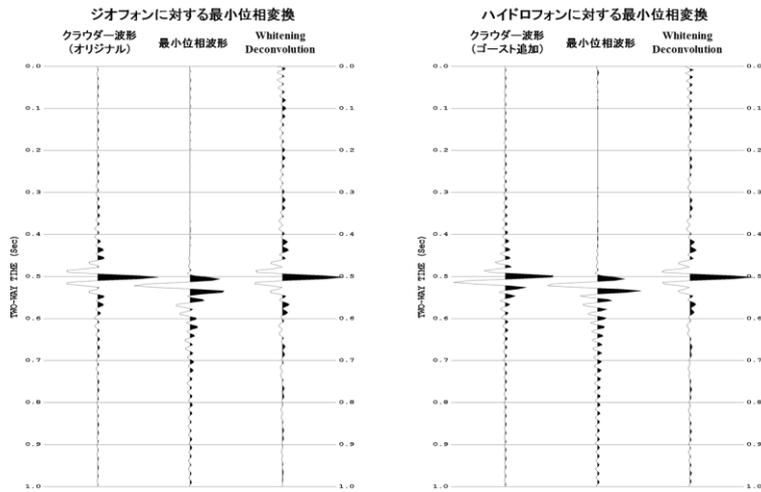


図 28 クラウダー波形を用いた最小位相変換解析例。「天北浅海域」調査 (1996)。

6. 位相補償 (Phase Compensation)

異種受振器間および異種震源間での位相差を検証し、必要に応じて位相補償を実施した。

位相補償後の極性は、陸域の断面記録との接続を考慮して、海底面反射波が正となるように設定されたため、ホワイトニング型デコンボリューションを適用した記録では、海底面反射波が正のピークとなる。

7. 静補正 (Static Correction)

静補正を適用した。静補正は、陸域において表層厚や表層速度、表層基底層速度の変化に起因する影響を取り除く表層補正と、標高変化の影響を取り除く標高補正から成る。静補正の適用に際しては、基準面 (Datum; 本解析では Mean Sea Level に設定) に対して直接補正を行うのではなく、この解析段階では CMP 毎に設定される浮動基準面 (Floating Datum) へ補正を行い、後述の「基準面補正」の段階で浮動基準面から基準面への補正を行う。

表層補正は陸域発震・陸域受振の記録を対象とし、会話型屈折初動解析システム『iRAS』を使用して2層構造を仮定したタイムターム法による表層補正を実施した。表層補正值は表層媒質を基底層媒質で置き換えた場合の時間差を補正する値であり、タイムターム値 (表層を波が伝わる時間)、表層速度 (V_w) および基底層速度 (V_{sw}) により求まる。そのうちタイムターム値と基底層速度はタイムターム法により求まるが、表層速度はこの手法では求まらないため、本解析では既往解析を参考に表層速度を 800m/sec と設定した。海陸接続域で静補正值が不連続にならないように、海岸線から海側へ滑らかにゼロになるようにタイムターム値と基底層速度を調整した。

表層補正解析例を図 29(a) に示す。これらの図で赤い点は発震点における値を、青い点は受振点における値を表している。上段の図は屈折初動解析からインバージョンにより求めたタイムターム値であり、中段の図が表層および基底層速度である。下段の図がタイムターム値と速度分布から求めた表層の深度構造を表す。Loc. 400 が海岸線でありここから東側でのみ表層補正解析が実施された。

標高補正值は、受振点または発震点の基準面から見た標高を、標高補正速度で割っ

た値である。標高補正速度は海域では 1500m/sec、陸域では表層補正により表層媒質が基底層媒質に置き換えられたため基底層速度を用いた。浮動基準面は、CMP 内のオフセット距離 1500m までのデータの平均標高値と平均基底層速度を用いて定義した。

タイムターム法による表層補正の適用前後の重合解析結果を図 29(b)に示す。CMP. 780 付近から東側が陸域であるが、表層補正適用により反射波の連続性が向上していることが確認できる。

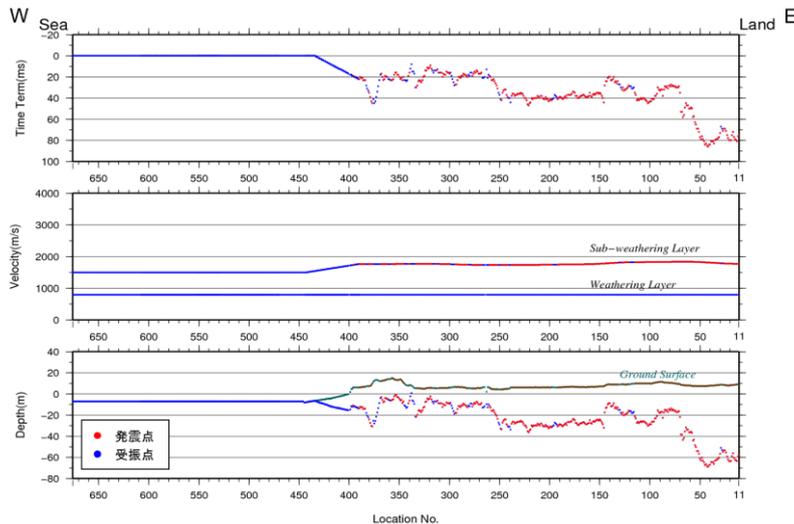


図 29(a) 表層補正解析例。「天北浅海」調査(1996)

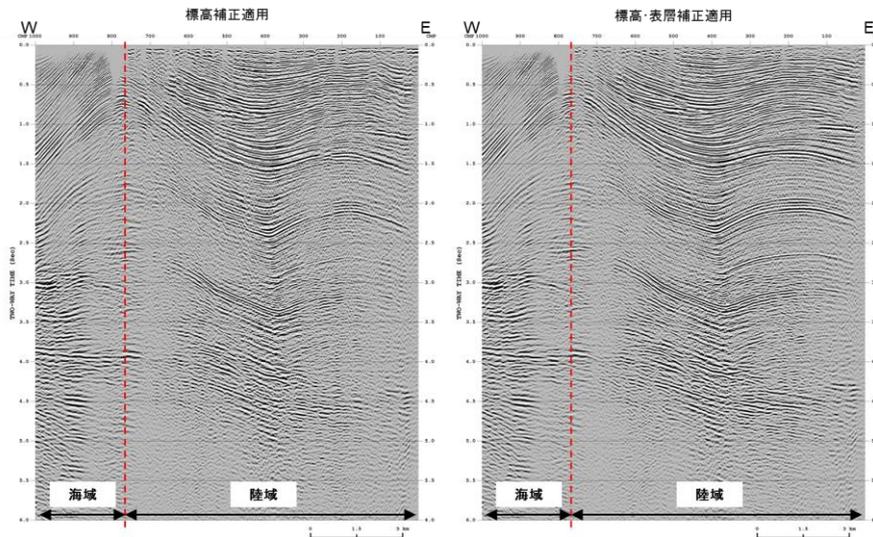


図 29(b) 表層補正適用前後の重合断面図の比較。「天北浅海」調査(1996)。

8. 予備的な速度解析 (Preliminary Velocity Analysis)

定速度走査法(constant velocity scan)と定速度重合法(constant velocity stack)を用いて 2km 毎に予備的な速度解析を行った。反射波の空間方向の連続性を考慮するため、全 CMP で定速度重合法を行う Long CVSK 法を併用した。ここで得られた速度は、ノイズ抑制解析における一時的な速度の他、各解析の適用前後の結果を重合記録上で比較・確認するために用いられた。

9. 重合前ノイズ抑制解析 (Pre-Stack Noise Attenuation)

重合前記録の品質向上を目的としてノイズ抑制解析を適用した。ノイズ抑制解析は以下の手順で実施された。

- ① F-X 予測フィルター (発震記録)
- ② F-X 予測フィルター (受振記録、海域のみ)
- ③ F-X 速度フィルター (発震記録)
- ④ 線形ラドンフィルター (発震記録、海域のみ)

海域では発震点が等間隔なため、受振記録上で F-X 予測フィルターが適用可能である。浅海域の一部で震源由来のノイズが確認できたため、受振記録での F-X 予測フィルターを適用した。図 30(a)ではこのようなノイズが抑制されたことが確認できる。浅海域の一部の発震記録で屈折初動とその繰り返しが顕著だったため、線形ラドンフィルターを適用した。図 30(b)では線形ノイズが抑制され、浅部反射波が明瞭になっていることが確認できる。

重合前ノイズ抑制解析適用前後での重合記録の比較例を図 30(c)に示す。線形ラドンフィルターの適用により、浅部の傾斜ノイズが抑制され、反射波が明瞭となったことが分かる。ランダムノイズや線形ノイズが抑制されたことで、深部で S/N の改善が見られる。

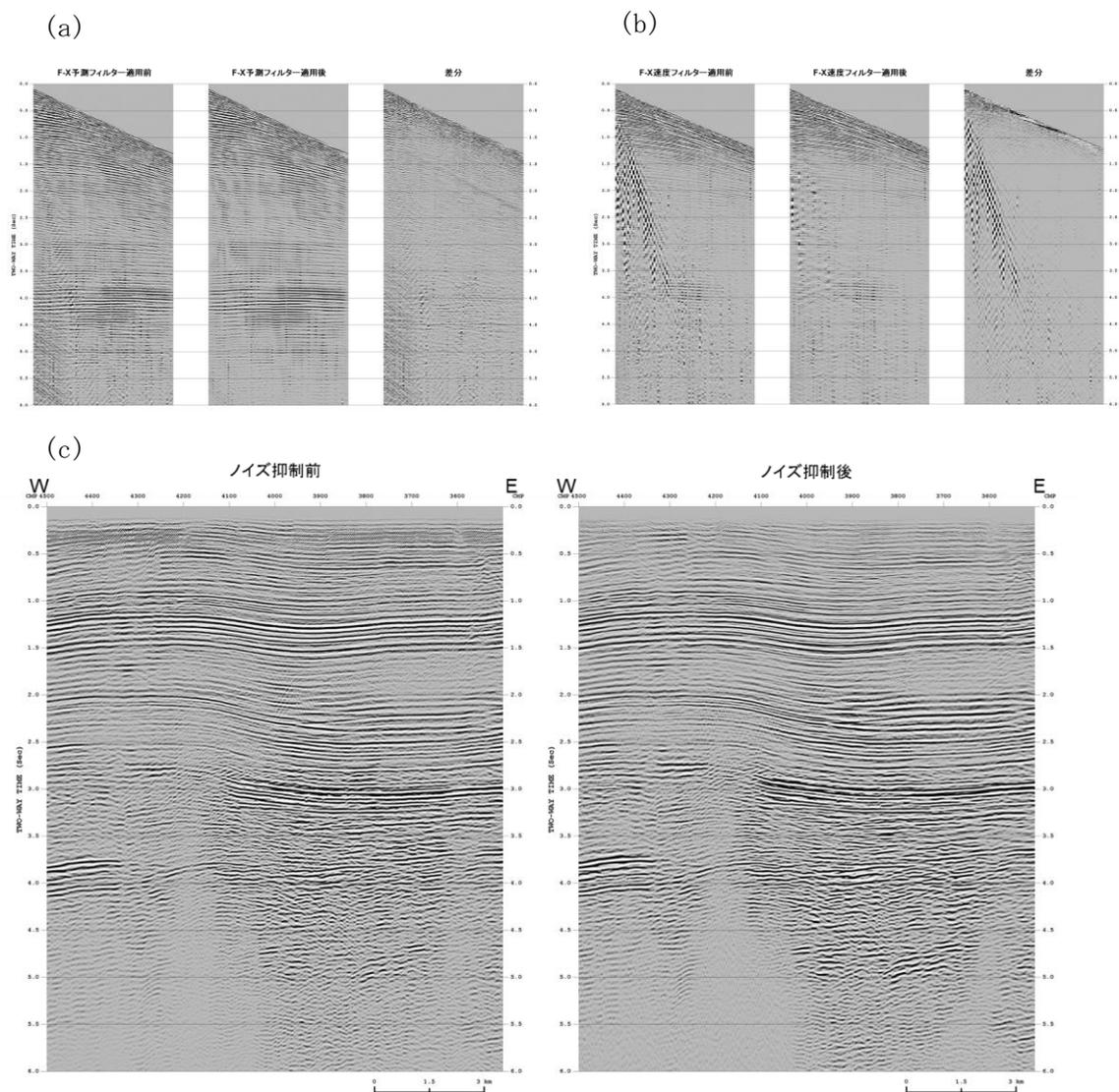


図 30 フィルター適用例。「天北浅海域」調査(1996)。(a) F-X速度フィルター適用例 (b) 線形ラドンフィルター適用例 (c) 重合前ノイズ抑制処理適用前後の比較。

10. Radial トレースデコンボリューション (Radial Trace Deconvolution)

短周期多重反射波が見られたため、これを抑制するために RTD 解析を適用した。図 31(a)、(b)、(c)に、RTD 解析による多重反射波抑制解析の適用結果の例を示す。図 31(c)は、RTD 解析で予測された多重反射波を重合記録上で表しており、グレースケール記録が RTD 解析適用後の重合記録、緑色が予測された多重反射波成分である。

11. 初動ミュート (First Break Mute)

初動付近では直接波や屈折波が卓越し、これらは幾何発散モデルから極度に逸脱した強振幅を示す。このような反射波の重合に不都合な波群を予め除去するために初動抑制を実施した。

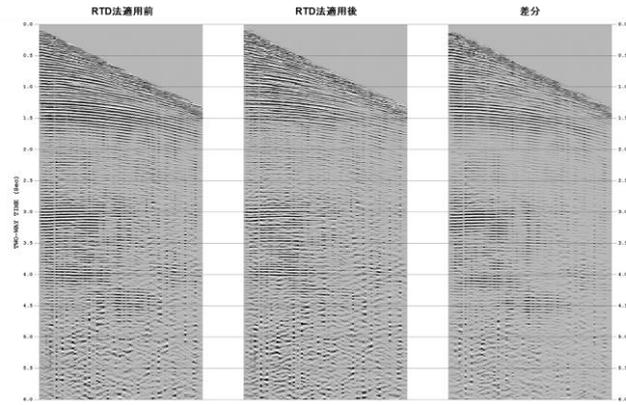


図 31(a) RTD 解析適用前後の発震記録の比較。「天北浅海域」調査(1996)。

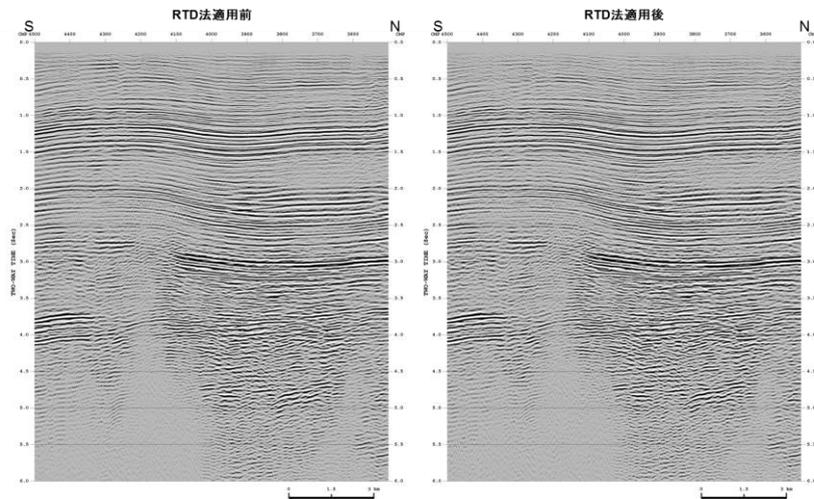


図 31(b) RTD 解析適用前後の重合記録の比較。「天北浅海域」調査(1996)。

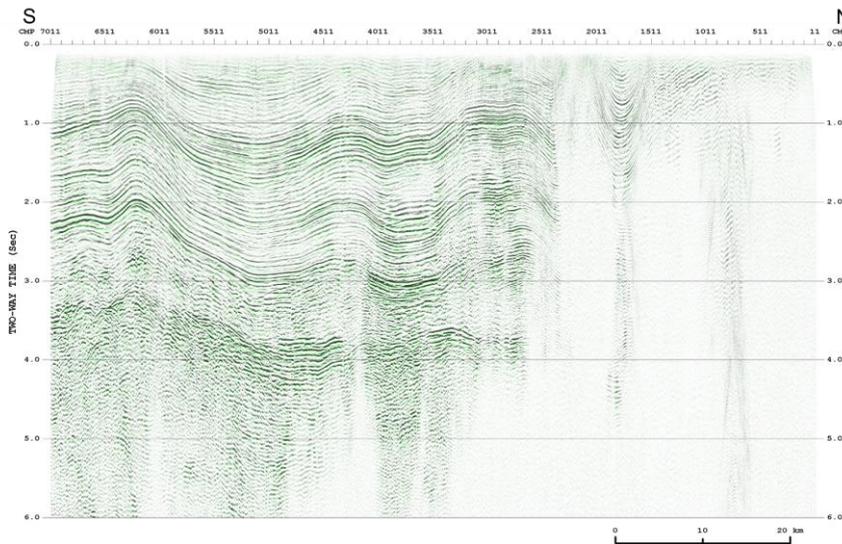


図 31(c) RTD 解析で予測された多重反射の重合記録。「天北浅海域」調査(1996)。

12. 振幅補償 (Amplitude Recovery)

震源から放出される弾性波は、様々な原因（三次元的伝播に起因する幾何学的発散効果、多層構造内の透過・反射に起因する伝播損失、非弾性散逸等）により振幅が減衰する。これらの原因による減衰を補償し、データの振幅の一様性を回復するため、

振幅補償を適用した。振幅補償テストを実施したところ、深海調査と同様の球面発散振幅補償を適用すると極浅部の振幅が弱まることから、ゲート長 1000msec の自動振幅補正 (AGC) のみを適用することとした。

13. デコンボリューション (Deconvolution)

地層の非弾性や観測系の諸特性により伸張した波形をパルスに戻す目的で、ホワイトニング型のデコンボリューションを適用した。通常のデコンボリューションは、震源波形や地層効果、記録系といった諸特性の推定・除去をトレース単位で行うが、一般に陸域の記録は S/N が悪く、オペレータ推定の誤差が大きくなるため、波形を歪ませる要因となる。これを解決するために、浅海調査に対しては SC デコンボリューション (Surface Consistent Deconvolution) を適用した。SC デコンボリューションは、周波数領域での各トレースの平均スペクトルからのずれを発震点・受振点・CMP・オフセットの 4 成分に分解し、各トレースで平均スペクトル・発震点成分・受振点成分を用いてデコンボリューションオペレータを設計する。4 成分分解は統計的に計算されるため、通常のデコンボリューションに比較してノイズに強い性質を持つ。また、発震点・受振点毎にオペレータを設計するため、異種受振器と異種震源に起因する差異の適切な補正が期待できる。

14. 共通反射点編集 (CMP Sort)

共通発震点記録を、反射点 (発震点と受振点の midpoint) を共通とするトレースの集合 (CMP ギャザー) に編集した。

15. 速度解析 (Velocity Analysis)

定速度走査法 (constant velocity scan) と定速度重合法 (constant velocity stack) を用いて 1km 毎に予備的な速度解析を行った。反射波の空間方向の連続性を考慮するため、全 CMP で定速度重合法を行う Long CVSK 法を併用した。

16. NMO 補正 (NMO Correction)

速度解析によって求められた重合速度関数を時間-空間方向に内外挿し、その速度テーブルに従って NMO 補正を適用した。NMO 補正は各トレースのオフセット距離を 0m にする補正解析であり、この解析によって CMP アンサンブル内の反射波走時は同一時間となる。NMO 補正に伴い波形の伸長が生じるため、大きく伸長された波形を除去する目的でストレッチミュートを施した。ストレッチミュートの値が N の場合、元の波形に対して N 倍以上に伸長された波形を除去することを意味する。

17. 残差静補正 (Residual Static Correction)

各 CMP 内の反射波到達時間のばらつきを、統計的手法により発震点、受振点毎に算出し、時間シフト量として補正する残差静補正解析を適用した。残差静補正は表層の影響を補正する手法であるため一般に海域では適用されないが、浅海域では海底面の性状が空間方向に変化する場合があり、残差静補正により品質が改善するケースがあ

る。また、異種受振器間あるいは異種震源間で時間シフトが生じている場合、残差静補正によりこれを補正することが可能であるため、陸域だけでなく海域にも適用を試みた。残差静補正の適用前後での重合記録の比較例を図 32 に示す。赤の点線の位置が海岸線であり、西側が海域、東側が陸域である。この図を見ると、陸域のみならず海域においても反射波の連続性が大きく改善したことが確認できる。解析対象の全測線で改善が確認されたことから、本解析では浅海調査には残差静補正を適用することとした。

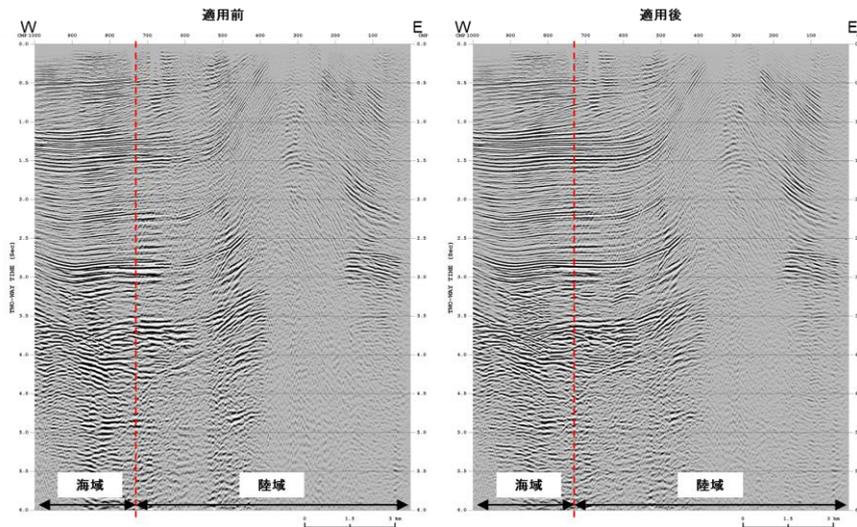


図 32 残差静補正適用前後の重合記録の比較。「天北浅海域」調査(1996)。

18. DMO 補正 (DMO Correction)

測線方向に地層傾斜が存在する場合、ゼロオフセットの反射点は傾斜上方に移動するため、CMP ギャザー内の反射点はばらつき、重合効果は低下する。DMO 補正の適用により、この反射点のばらつきを補正し、反射点を収束させることで、重合効果の向上を図った。本解析では仕様により DMO 補正は受振点間隔 25m 以下の記録を対象としているため、浅海調査では全調査が DMO 補正の解析対象となる。浅海調査では、陸域で発震点分布に偏りが見られるものの、測線全体ではオフセット分布は概ね均質であるため、深海調査と同様に共通オフセット領域 DMO 補正を採用した。

DMO 補正に最適な速度を得るため、1km 間隔で DMO 速度解析を実施した。DMO 速度解析は、重合速度による NMO 補正済み記録に対して以下の手順で行った。

- ① DMO 補正を適用
- ② 重合速度で逆 NMO 補正を適用
- ③ 「(15) 速度解析」と同様の手法で速度解析を実施

重合速度で逆 NMO 補正した記録に対して、DMO 速度解析で得られた速度を用いて NMO 補正を適用した後に、DMO 補正を適用した。DMO 補正適用前後の重合記録の比較を図 33 に示す。赤丸で示した箇所では僅かではあるが改善が見られる。

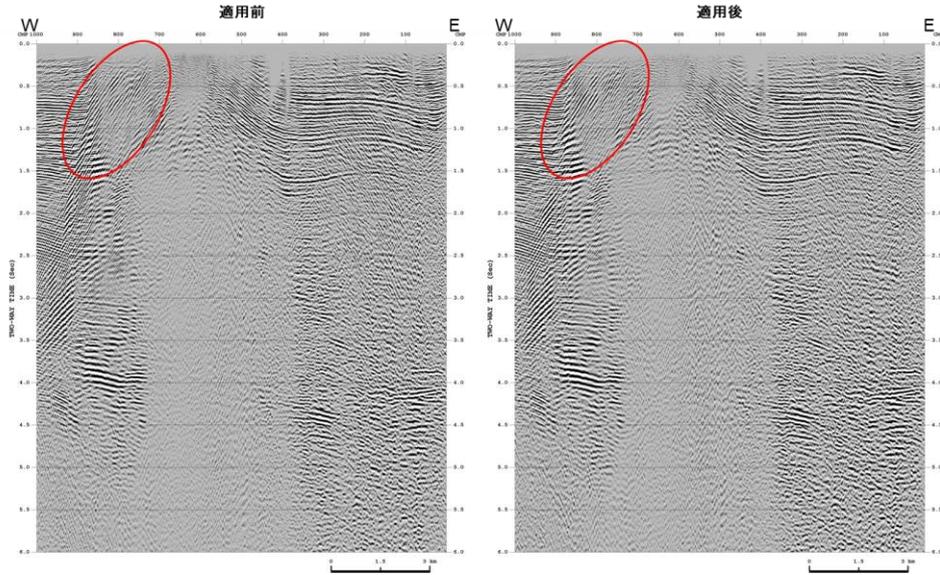


図 33 DMO 補正処理適用前後の重合記録の比較。「天北浅海域」調査(1996)。

19. 振幅調整 (Trace Scaling)

時間方向の振幅バランスを整えるためにゲート長 1000msec の AGC を適用した。

20. CMP 重合 (CMP Stack)

NMO 補正適用後の共通反射点アンサンブルに対して水平重合解析を実施した。

21. 基準面補正 (Datum Correction)

浮動基準面から基準面への補正を行った。基準面は平均海水面 (Mean Sea Level : MSL) とした。

22. 信号強調 (Signal Enhancement)

重合後記録の反射波の連続性を改善するために、ランダムノイズを抑制し、相対的に S/N を向上させる F-X 予測フィルターを適用した。

この時点の記録に後述の「24. 帯域通過フィルター」を適用した結果を、重合時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

23. 重合後時間マイグレーション (Post-Stack Time Migration)

重合断面図では、反射波は各 CMP 位置からの垂直往復走時として表現されている。従って傾斜した反射面に関して、重合断面図上の傾斜は真の傾斜より緩やかに表現されることとなる。この誤差を補正し各 CMP 直下の構造形態を得る解析がマイグレーション解析である。マイグレーション解析の手法としては、時間-空間領域での差分時間マイグレーションを採用した。マイグレーション速度としては、DMO 速度を空間方向に平滑化した速度関数を用いた。

24. 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

反射波の周波数帯域外にあるノイズを抑制するために、周波数成分解析に基づき、タイム・バリエーション型の帯域通過フィルターを適用した。帯域通過フィルター適用前後の重合記録の比較を図 34 に示す。周波数成分解析結果での赤線は、設定した周波数帯域を表す。この時点の記録を、重合後時間マイグレーション時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

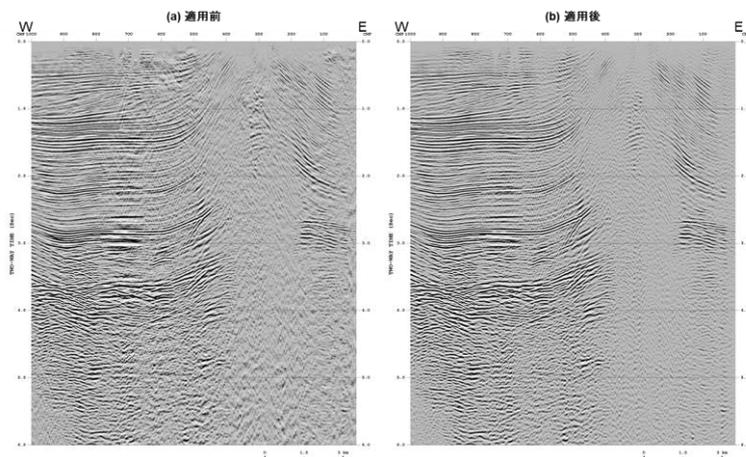


図 34 帯域通過フィルター適用前後の重合記録の比較。「天北浅海域」調査(1996)。

25. 深度変換 (Depth Conversion)

深度変換速度を用いて、Vertical Stretch 法による深度変換を実施した。深度変換速度は、DMO 速度を空間方向に平滑化した速度関数を用いた。この時点の記録を、重合後時間マイグレーション深度断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

以上の解析手順により作成された重合時間断面図の例を図 35 に、重合後時間マイグレーション時間断面図の例を図 36 に、重合後時間マイグレーション深度断面図の例を図 37 に示す。

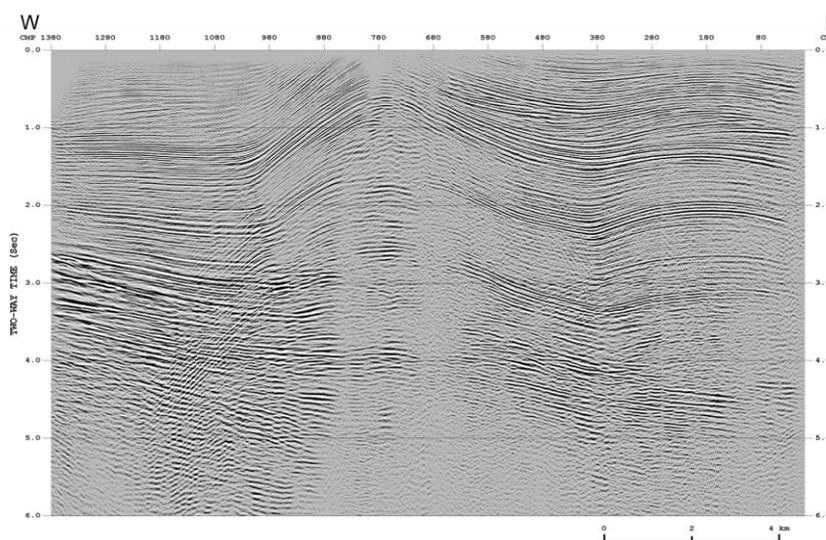


図 35 重合時間断面図。「天北浅海域」調査(1996)。

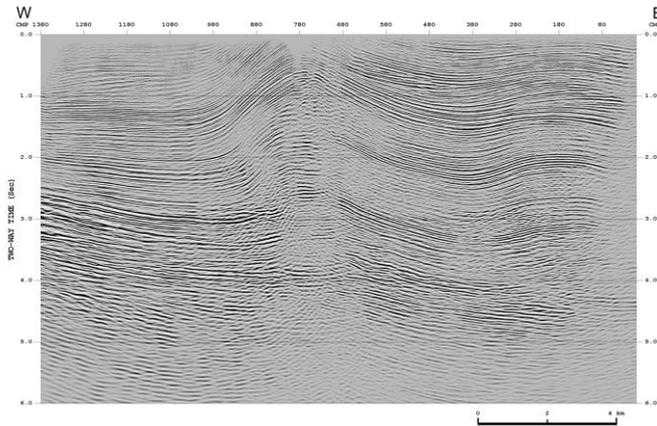


図 36 重合後時間マイグレーション時間断面図。「天北浅海域」調査(1996)。

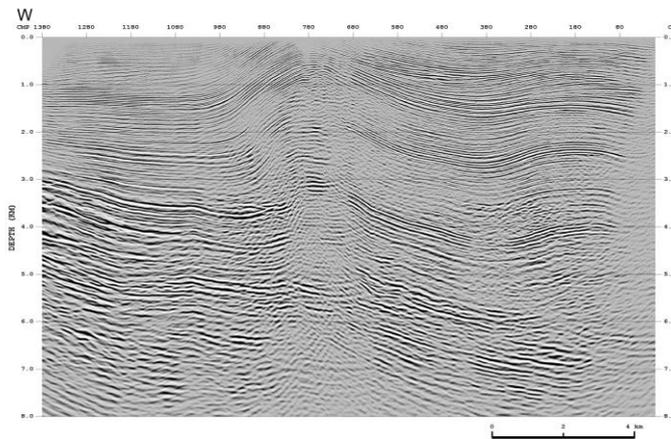


図 37 重合後時間マイグレーション深度断面図。「天北浅海域」調査(1996)。

ii) 浅海調査 「秋田～青森浅海域(1987)」の海域測線

浅海調査のうち「秋田～青森浅海域(1987)」の海域測線である SAA87-A 測線では、データ欠損が大きく断面図上でもデータ欠損の影響が見られたが、対象測線では重合後時間記録がデジタルデータとして残存していたため、既存デジタルデータから重合後解析を下記の通り実施した。

1. 信号強調 (Signal Enhancement)

重合後記録の反射波の連続性を改善するために、ランダムノイズを抑制し、相対的に S/N を向上させる F-X 予測フィルターを適用した。

2. 位相補償 (Phase Compensation)

深海調査では、ベクトル化解析でデジタル化した記録を本再解析結果と位相が整合するように位相補償を適用したことから、浅海調査でも同様の位相補償の必要性を検証した。対象調査の既存解析では、ガン波形に基づく波形変換解析と位相補償、ホワイトニングデコンボリューションが適用されているため、基本波形はゼロ位相であると考えられ、同様にゼロ位相化された再解析結果との位相差は、極性の定義を除けば存在しないものと考えられた。

SAA87-A 測線はデータ欠損が見られるものの有効データが十分に存在するため、再解析も実施しており既存結果との比較が可能である。既存結果の位相を検証する

ため、この再解析結果と既存結果の重合記録を比較した結果を図 38 に示す。赤線で示した縦線は CMP. 800 の位置を表しており、左側が既存結果、右側が再解析結果である。既存解析では本再解析とは極性の定義が逆のため、既存結果については極性を反転している。この図から、両者の位相はほぼ完全に一致していることが確認できる。以上から、既存デジタルデータの位相補償は極性反転のみを適用することとした。この時点の結果に後述の「4. 帯域通過フィルター」を適用した結果を、ベクトル化解析の重合時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

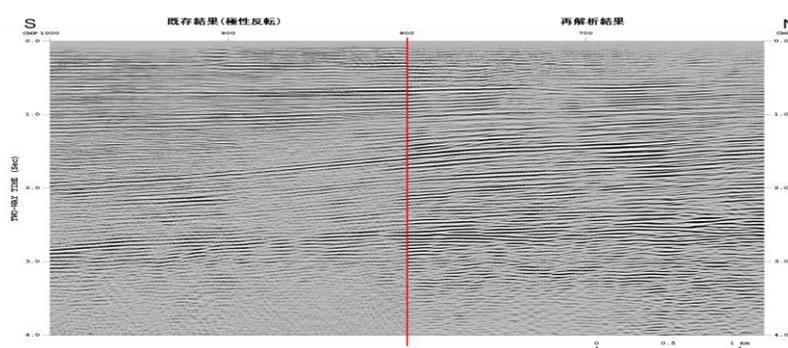


図 38 既存結果と再解析結果の重合記録の位相比較。「秋田～青森浅海域」調査(1987)。

3. 重合後時間マイグレーション (Post-Stack Time Migration)

「i) 標準解析」の 23. と同様の手法で、重合後時間マイグレーションを適用した。マイグレーション速度としては、対象測線で再解析を実施しているため、その DMO 速度を空間方向に平滑化した速度関数を用いた。

4. 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

「i) 標準解析」の 24. と同様のタイム・バリエーション型の帯域通過フィルターを適用した。この時点の記録を、ベクトル化解析の重合後時間マイグレーション時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

5. 深度変換 (Depth Conversion)

「d) i) 標準解析の 25. 深度変換」と同様の手法で、深度変換を実施した。

この時点の記録を、ベクトル化解析の重合後時間マイグレーション深度断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

以上の解析手順により作成されたベクトル化解析の重合時間断面図を図 39 に、重合後時間マイグレーション時間断面図を図 40 に、重合後時間マイグレーション深度断面図を図 41 に示す。

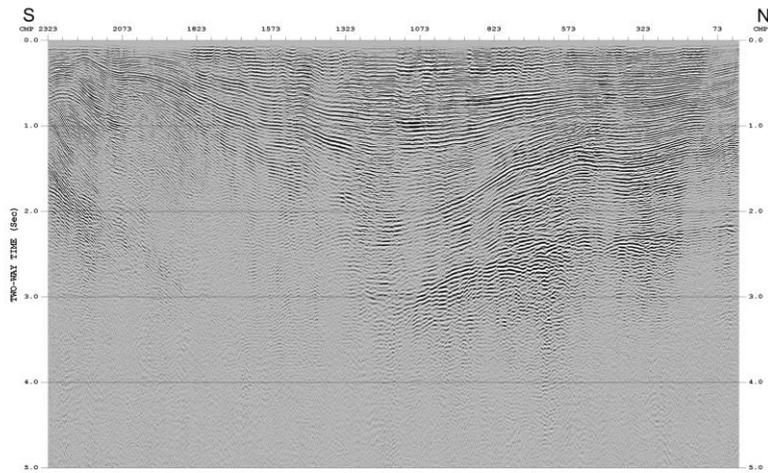


図 39 ベクトル化解析の重合時間断面図。「秋田～青森浅海域」調査(1987)。

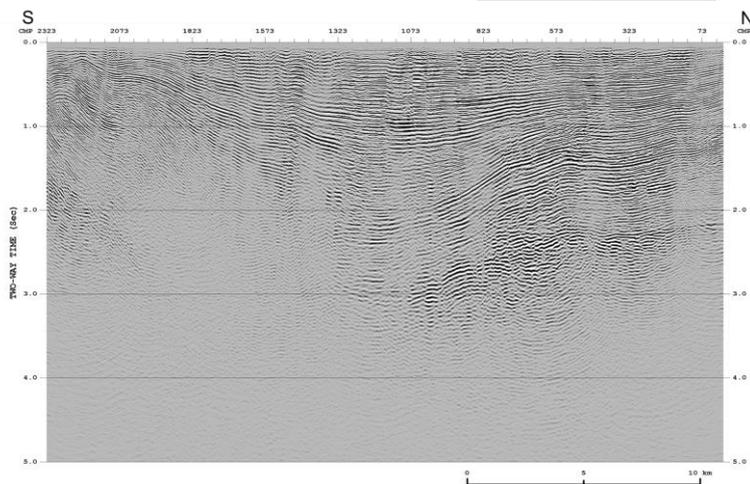


図 40 ベクトル化解析の重合後時間マイグレーション時間断面図。「秋田～青森浅海域」調査(1987)。

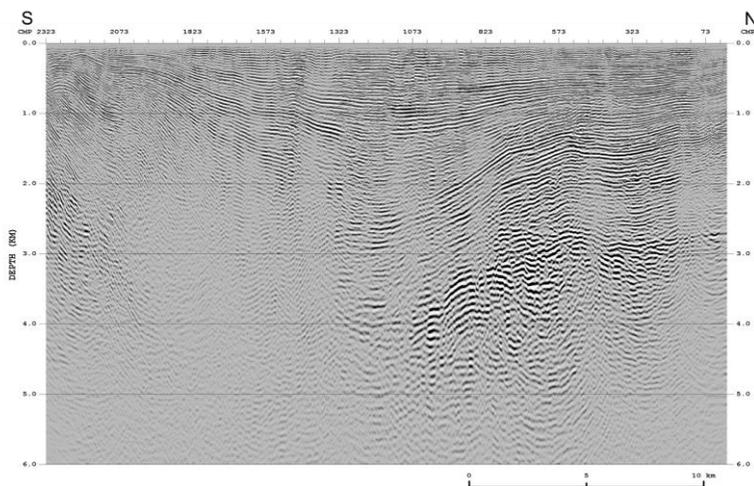


図 41 ベクトル化解析の重合後時間マイグレーション深度断面図。「秋田～青森浅海域」調査(1987)。

e) AIST 既往探査データの解析

AIST のシングルチャンネルのオリジナルデータを平成 25 年度に確立したシングルチャンネルデータ解析フローに基づき (図 42)、品質を向上させた反射記録断面を作成した。ナビゲーションデータの信頼性を確認し、解釈に使用できるデータを抽出した。元データは、振幅のバランスや位相の連続性に改善要素があった。振幅補償、ウェーブエフェクトの除去、デコンボリューション、F-X プレディクションフィルター、ミュート、時間マイグレーション、ゲイン調整を実施した。特に、F-X プレディクションフィルターは水平方向の位相の連続性を改善するフィル

ターであり、これらのデータのクオリティの改善に大きく寄与した。これらのデータはショット間隔の時刻を一定としてデータを取得されている。仮に使用船舶の測線に対する速度が天候や潮流などによりゆらいでしまうと、現実的なショット間隔がばらばらになってしまう。この場合、時間マイグレーションを適用しても除去すべき散乱波の走時をそろえることができず、なかなかマイグレーション解析による改善がみられないことになる。実際、このようなケースはナビゲーションのデータの品質に依存するので、これ以上の改善は望めない。しかし、このような事例は一部であるため、時間マイグレーション解析は反射断面の品質向上には有益である。

この解析の結果、堆積層内の变形や層序もよく確認できた。解析例を図43に示す。

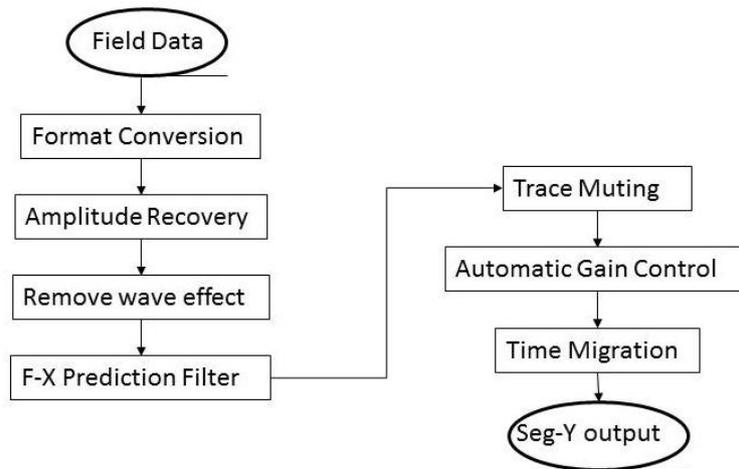


図 42 シングルチャンネルデータの解析フロー

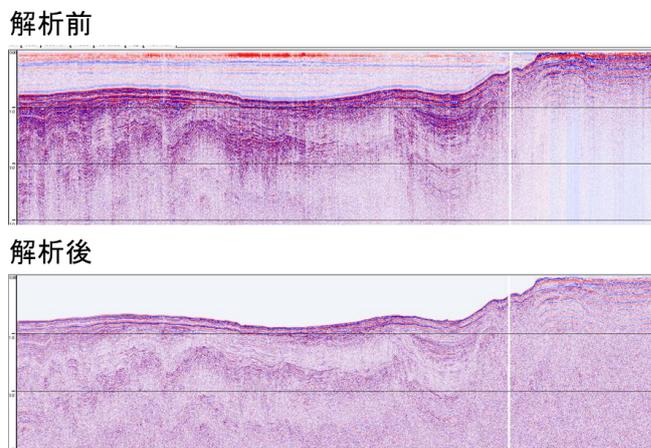


図 43 解析前後の記録例

2) 海域における速度構造モデルの作成

石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）、海洋研究開発機構（JAMSTEC）、産業総合研究所（AIST）、海上保安庁などの様々な機関から提供された反射法探査データ、OBS 調査データ及び坑井の情報を使用し、ホライズンの解釈を加えて、3次元速度構造モデルを構築した（図44）。速度構造モデルを作成するにあたり、効率性を考えて、日本海を東部と西部の2つの領域に分けた（図45）。なお、東部と西部で別々に計算を行なって速度モデルを作成したが、両者の境界付近については重なる領域を設置し、接合が取れるようにした。海底面（図46）、A-horizon（図47）、B-horizon（図48）

の解釈を行った。A-horizon として主に日本海の広い地域に形成されている中新世の不整合面を追跡した。B-horizon は堆積層と上部地殻との境界と定義した。堆積層は A-horizon を境として、Sediment1 と Sediment2 の 2 つに分けた。海底面はシングルチャンネルデータを含む全ての測線で解釈を行ない、海底面以下の A-horizon、及び B-horizon は深部まで反射波が明瞭に見えているマルチチャンネルデータ測線で解釈を行った。B-horizon 以下の C-horizon 及び Moho 面については本プロジェクトのデータは使用せず、既存の論文などで使用されているデータを基にして作成した。C-horizon は上部地殻と下部地殻の境界にあると考えられる速度ギャップの箇所とし、論文をもとに深度を決定し、情報のないエリアは上部の B-Horizon に添う形になるように作成した(図 49)。Moho 面は下部地殻とマントルとの境界で、他のプロジェクトのデータや人工衛星 (GOCE) による重力マップを参考に作成した(図 50)。この各 horizon から 1km グリッドの surface を作成した。 Horizon 解釈時には反射法探査データ以外にも海底地質図や水深図なども参考にし、矛盾しない結果となるように解釈を行なった。作成した速度モデルは、地震波速度の差異に注目して境界を設定したため、必ずしも地質的な境界とは一致しない場合もある。

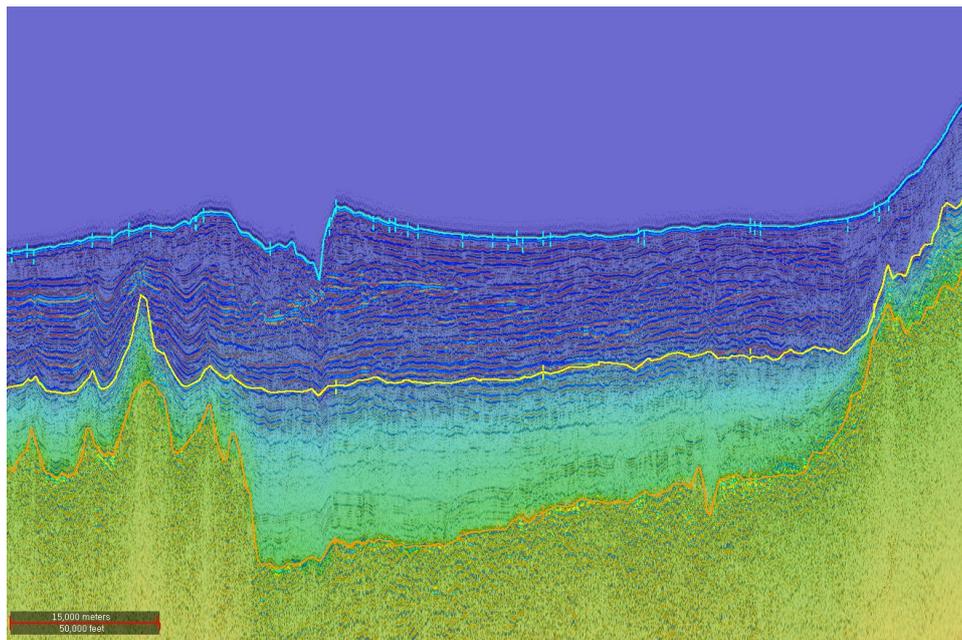


図 44 反射法地震探査データ上での Horizon 解釈の例。青線が海底面、黄線が A-horizon、橙線が B-horizon を示す。

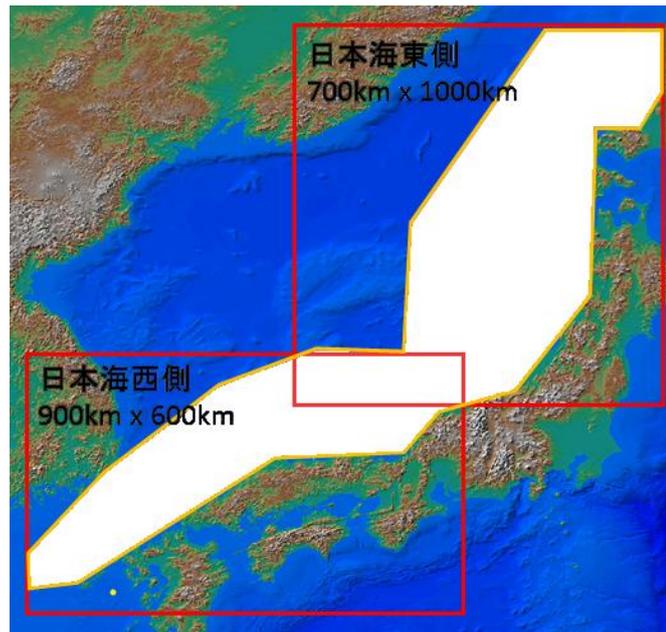


図 45 赤枠は速度構造モデルの作成領域を示し、オレンジの枠は物理探査データの測線の範囲を示す。

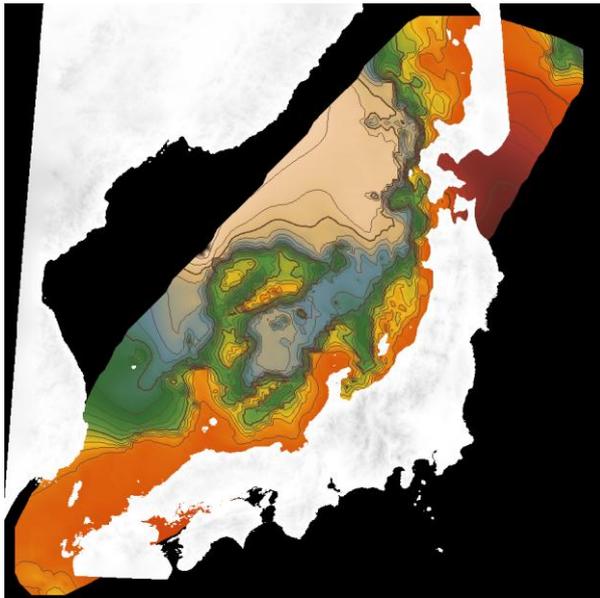


図 46 海底面の解釈範囲

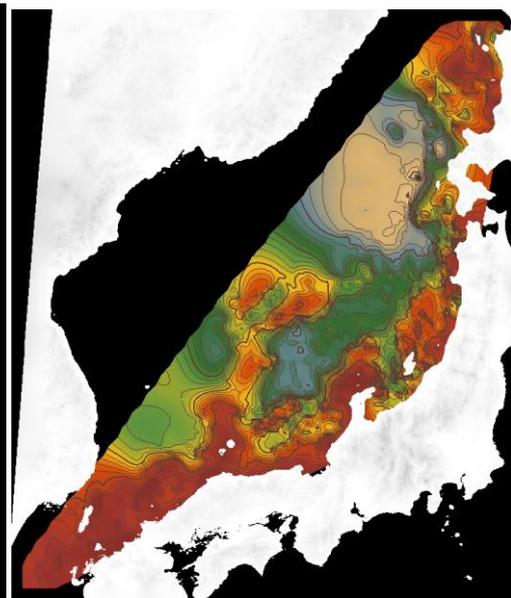


図 47 A-horizon の解釈範囲

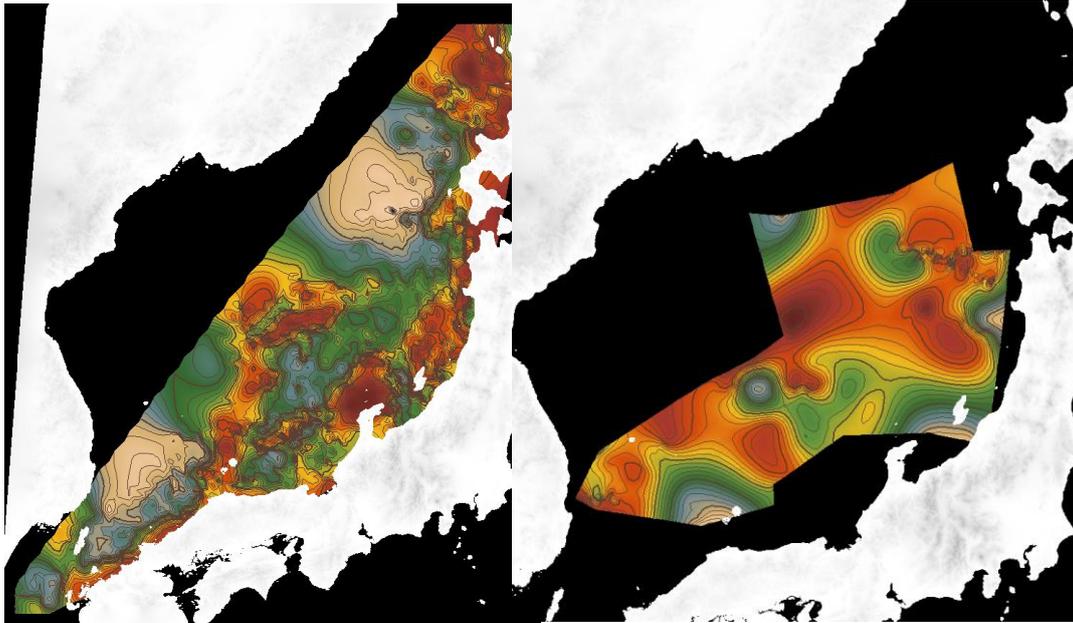


図 48 B-horizon の解釈範囲

図 49 論文を基にした C-horizon で作成した surface

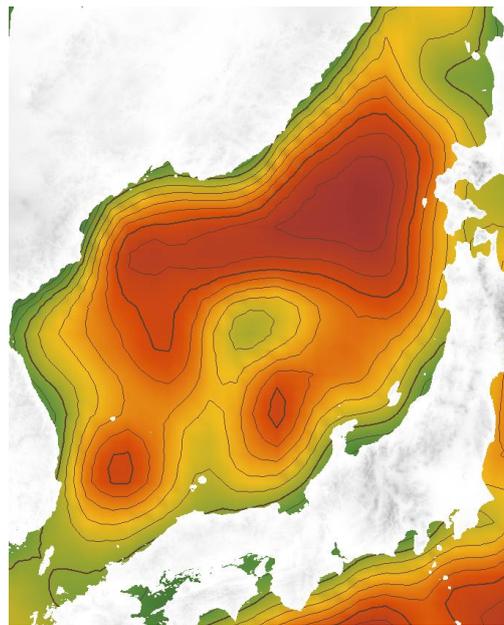


図 50 Moho 面

3次元速度構造を構築するフローを図 51 に示す。まず、ベースとなる速度キューブ（速度モデル 1）を作成した。この速度キューブは反射法探査データの再処理の際に得られる DMO 処理時の速度データや OBS 調査で作成された速度を用いて作成した。また、坑井のデータを用い速度のキャリブレーションを行った。作成した速度キューブはスムージングを行ない、特異な変化が無いようにした。

Sediment1 の速度構造は反射法物理探査データの再処理過程で作成された DMO 処理時の速度データ、及び OBS 速度データを使用し、坑井の速度データを用いてキャリブレーションを行った。

作成した各 surface を速度キューブに当てはめ、層構造 (Sea Water、Sediment1、Sediment2) を作成する。Sediment1 は速度モデル 1 の値をそのまま用い、Sediment2 は計算式を用いた速度を入力する。Sediment2 の速度は、マルチチャンネルデータ上であっても反射波が明瞭に見えない場合があるため、反射法地震探査の速度データは使用せず、上面は Sediment1 の基底速度となるようにし、下面は 4700m/sec とするよう速度関数 K を求めて計算を行なって決定した ($V=V_{A\text{-horizon}}+K*(Z-Z_{A\text{-horizon}})$)。 K は場所によって異なるため、 K の分布を示す K -map を作成し、計算に用いた。 Sediment2 以下はこの時点では一定値を入力している。これによってできた速度キューブを速度モデル 2 とする。

速度モデル 2 により、時間ドメインであった海底面、A-horizon、B-horizon を深度ドメインに変換する。その後、マントルまでの最終速度モデルを深度ドメインで作成する。この時、Sediment2 以下を上部地殻、下部地殻、マントルに区分し、論文を参考にした計算式を用いて速度構造を求めた。まず、上部地殻は下面を 6390m/sec とし、速度関数を 0.23 として計算を行なった ($V=6390+0.23*(Z-Z_{C\text{-horizon}})$)。下部地殻は上面を 6580m/sec とし、速度関数を 0.06 として計算を行なった ($V=6580+0.06*(Z-Z_{\text{Moho}})$)。上部地殻と下部地殻の境界には速度ギャップの存在が示唆されており、本プロジェクトの速度構造モデルにおいても、速度ギャップの存在するモデルとした。また、マントルの地震波速度は 8000m/sec 一定値とした。このようにして作成した速度構造モデルを最終速度構造モデルとした (図 53)。図 54 から図 66 までは、3次元速度構造の断面例を示す。

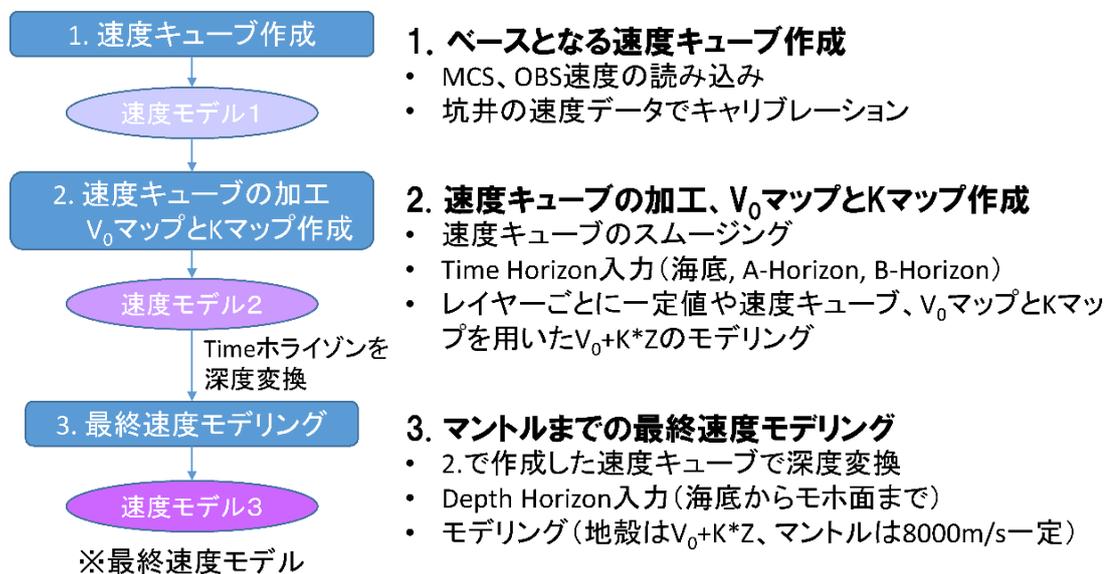


図 51 速度構造モデルの処理フロー図

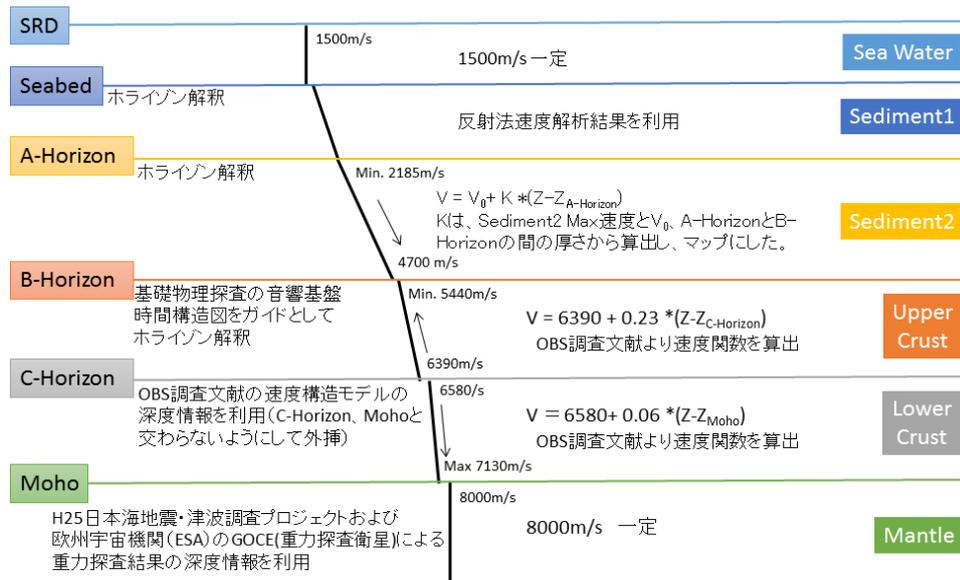


図 52 速度構造の層構造図

続いて、この最終速度構造モデルを使用して反射法地震探査データ及び断層情報の深度変換を行った。深度変換を行なうことで、断層の見かけの傾斜や形状などが変化する。これは、水平方向に地層構造や地震波速度が一定でないため起こるもので、図 66 や図 67 のように変化する。深度変換をした後に解釈を行った断層をそれぞれ表示して確認したが、おおむね問題なく深度変換が完了していることが確認できた。

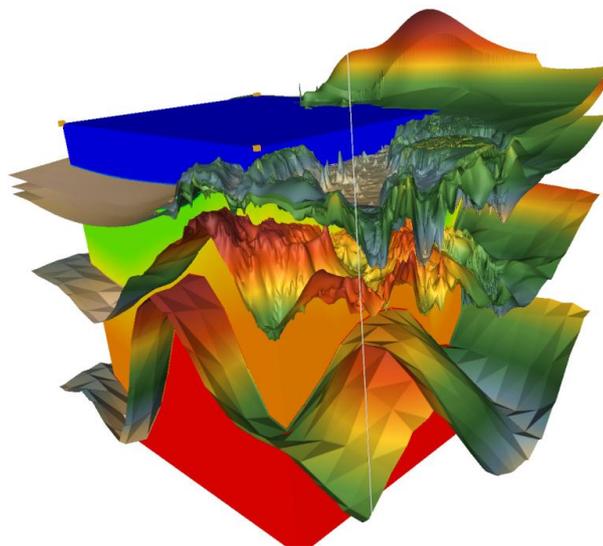


図 53 速度構造モデル概観。3次元で速度キューブと surface を表示させた。日本海の東部。

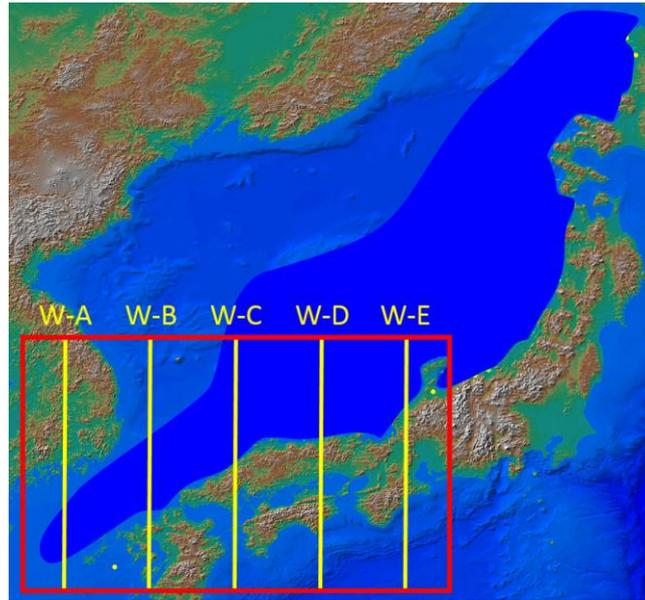


図 54 速度構造モデルの断面測線位置図(西側)

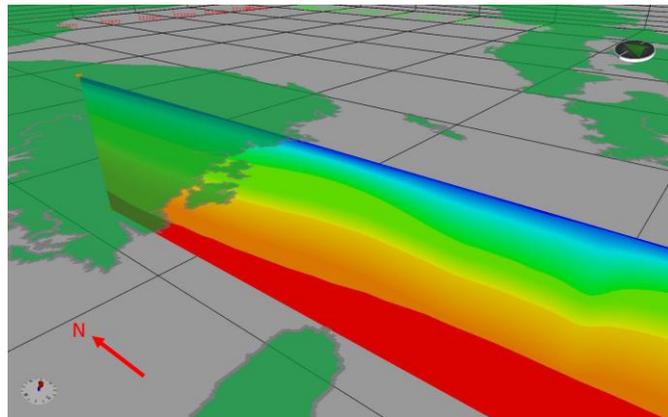


図 55 速度構造モデルの W-A 測線断面図

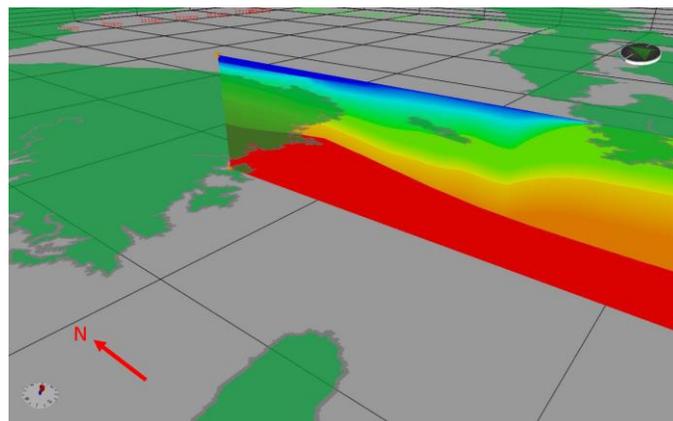


図 56 速度構造モデルの W-B 測線断面図

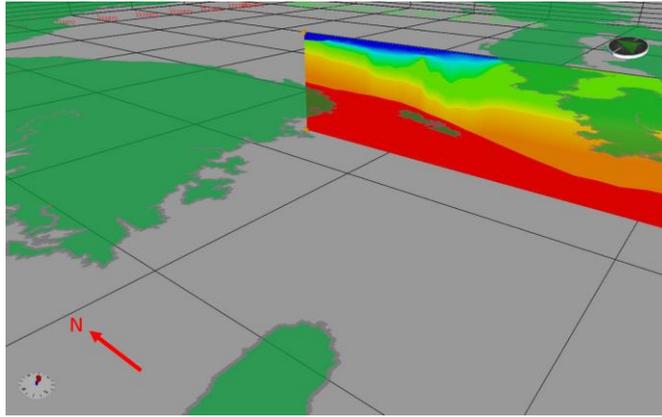


図 57 速度構造モデルの W-C 測線断面図

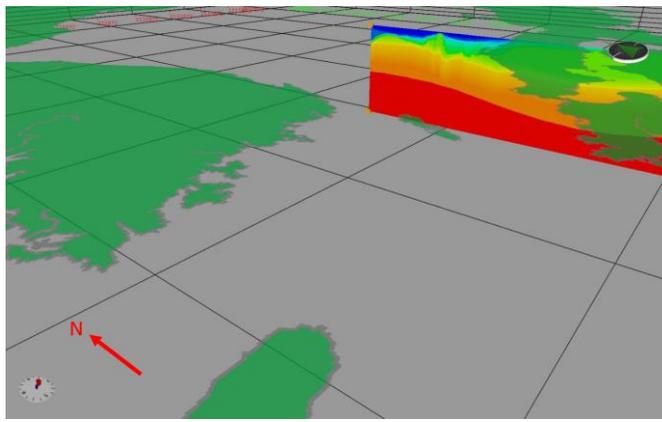


図 58 速度構造モデルの W-D 測線断面図

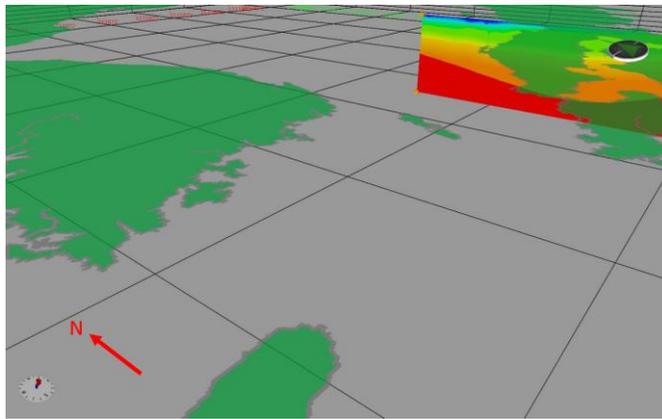


図 59 速度構造モデルの W-E 測線断面図

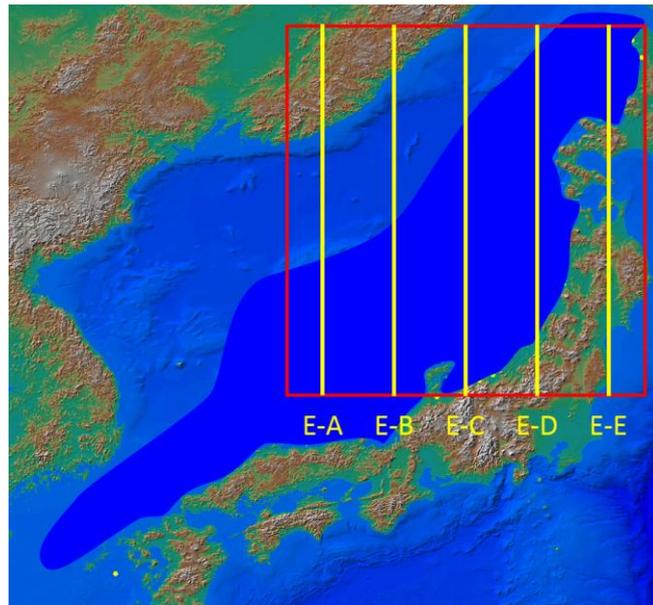


図 60 速度構造モデルの断面測線位置図(東側)

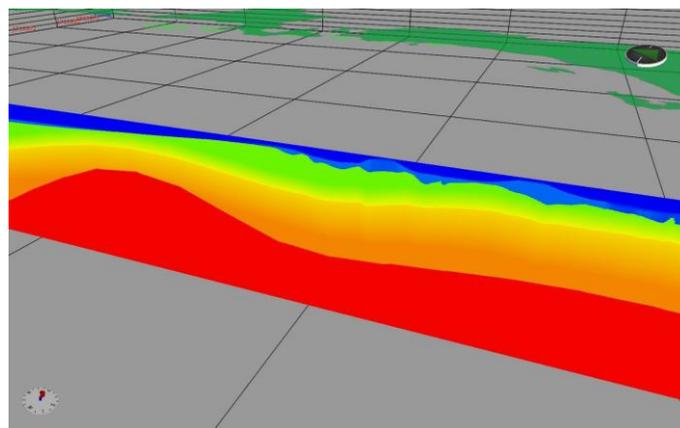


図 61 速度構造モデルの E-A 測線断面図

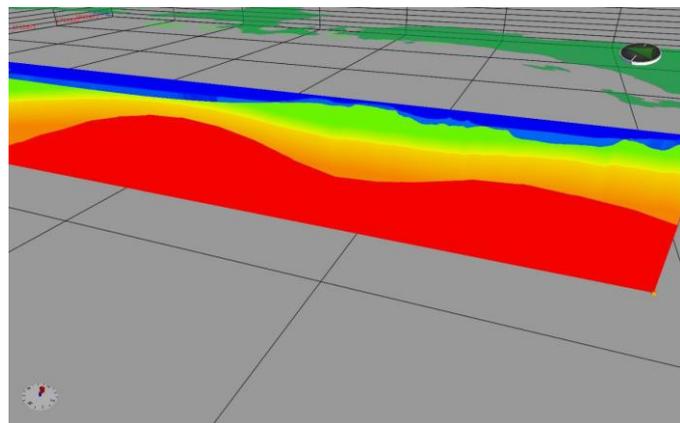


図 62 速度構造モデルの E-B 測線断面図

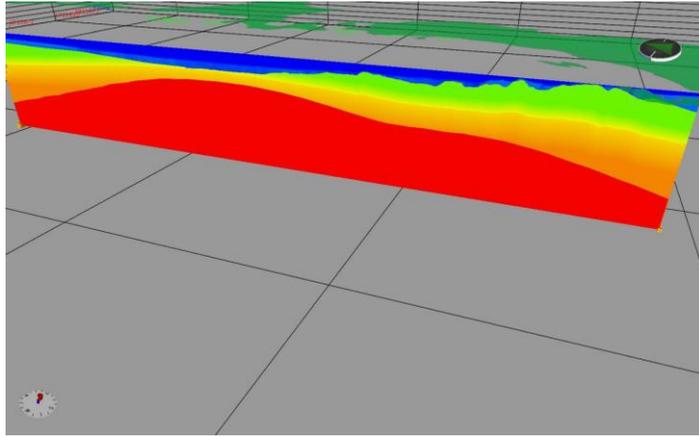


図 63 速度構造モデルの E-C 測線断面図

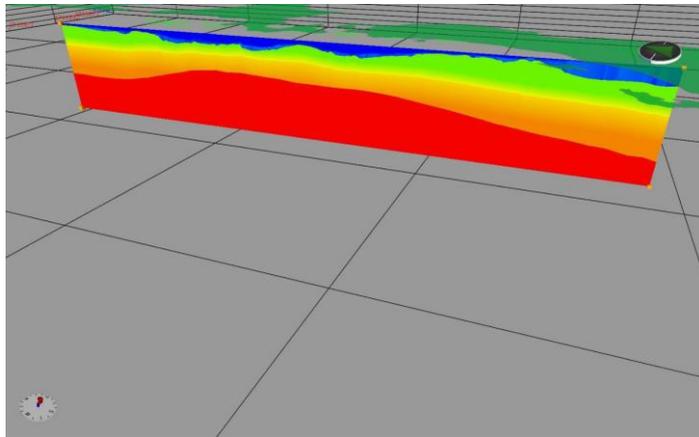


図 64 速度構造モデルの E-D 測線断面図

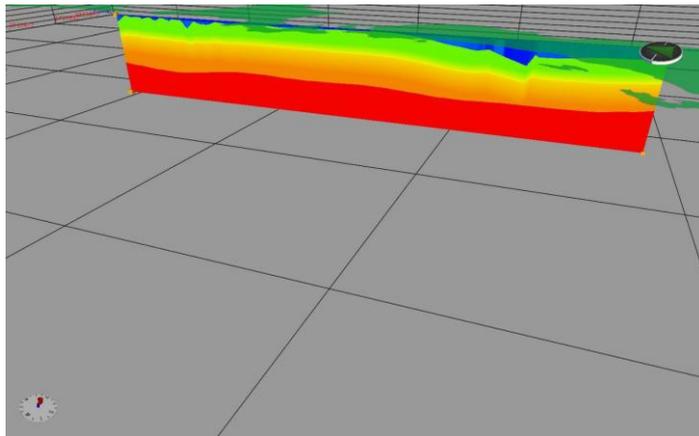


図 65 速度構造モデルの E-E 測線断面図

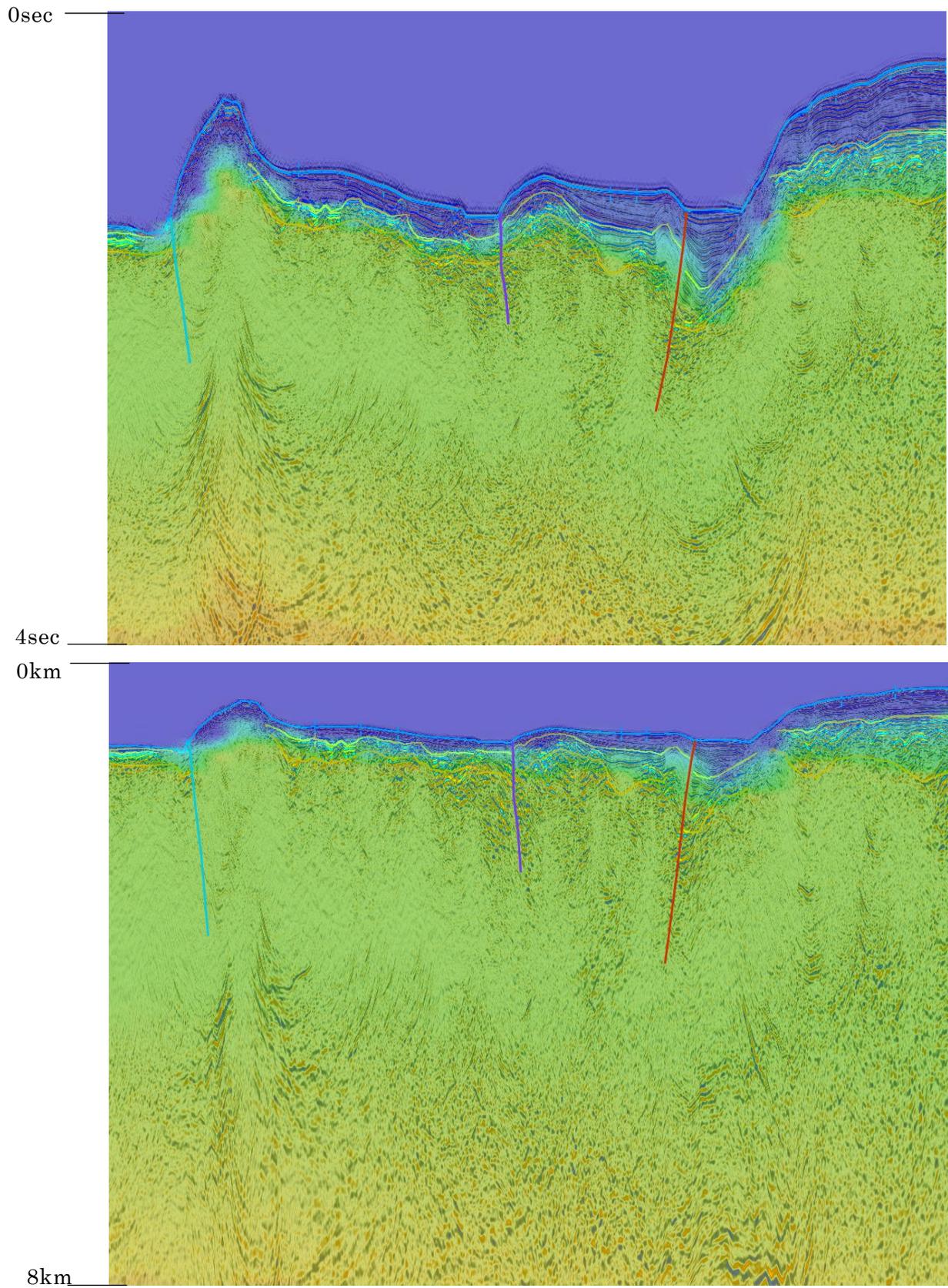


図 66 地震探査断面図および断層の深度変換前後。上は時間断面。下は深度断面。

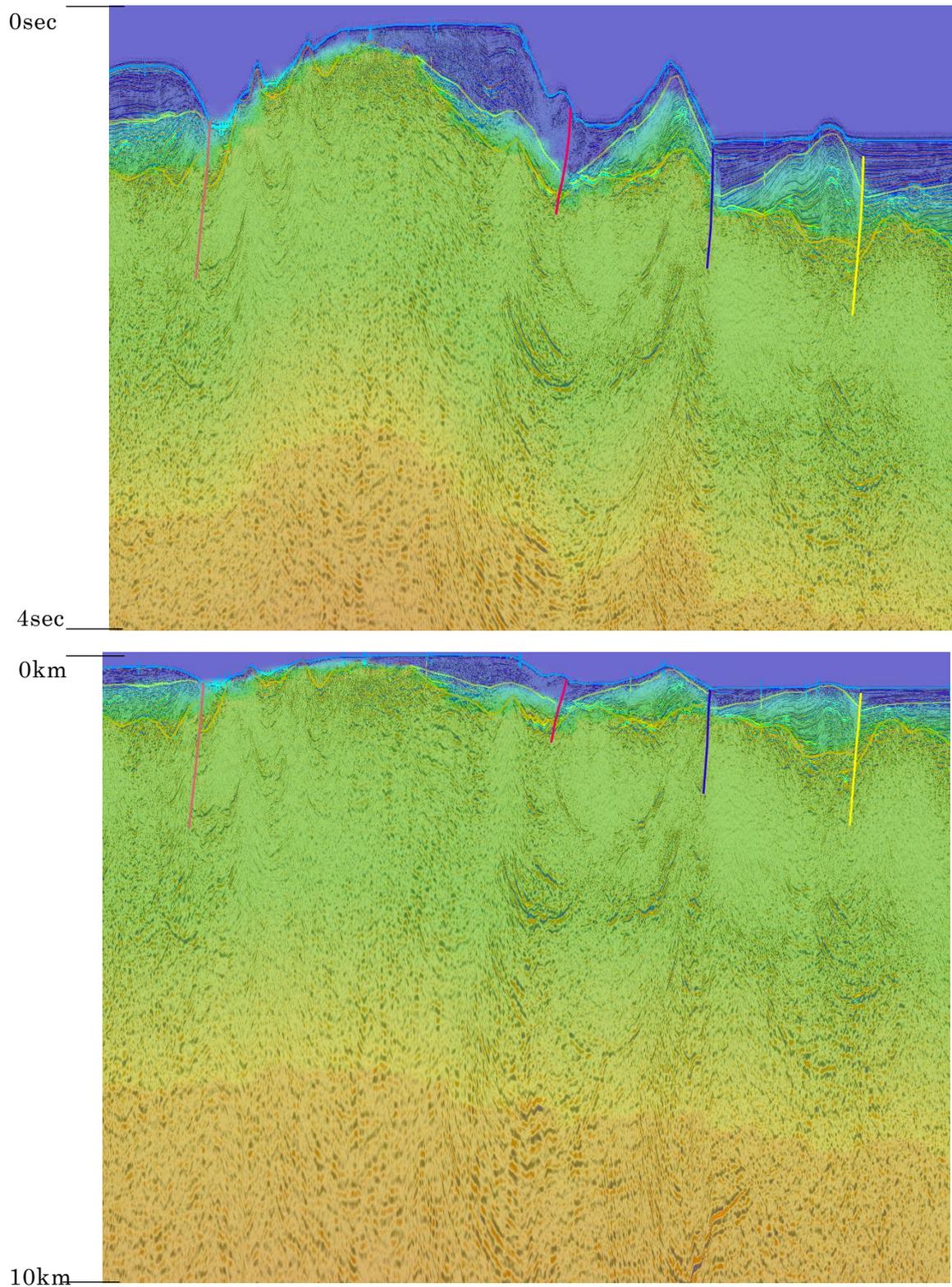


図 67 地震探査断面図および断層の深度変換前後。上は時間断面。下は深度断面。

3) 解釈と断層リスト作成

(a) 解釈基準策定

断層解釈にあたり、まず基準を同定することが必要である。断層として特定する基準は以下とした。

- 地質構造（堆積層内での変位、撓曲など）に変位がある
- 且つ、海底地形の変位が見られる

今回の断層解釈作業で最も重要な事は、特定した断層が断層面として連続するかを判断する事にある。この解釈作業で求めた断層情報は防災科学技術研究所 (NIED) に提供される。NIED は、特定された断層から、想定される地震の規模、津波の大きさをモデル計算し、地震調査研究推進本部の評価のための基礎データを作成する。断層面を特定する基準は以下のように設定した。

- 断層が震探断面上で明確に認定出来る
- 地質構造から、同じ断層と認識出来る
- 新規断層の場合、連続して 3 測線以上の震探断面で確認出来る

なお、既存の報告書等で解釈されて断層の位置とほぼ同じ位置にある場合は、連続して 2 測線で確認出来る場合も例外として特定した。以上の条件を満たした断層面を特定し、平成 26 年度の成果とした。

断層評価では、断層の活動性評価を目的とはしていないが、地震動や津波のシミュレーションを実施するため、活断層であるかの判断が必要となり、その判断基準の策定も求められた。断層が海底面まで延びていて、海底面の地形に変位があれば、極めて最近まで断層が動いていたことと判断出来る。そこで、今回特定した断層面は、海底面まで断層が延びているかを基準に、ランク付けを行った（表 4）。

ランク I：堆積層内の地質構造に変位があり、且つ、海底地形にも変位がある。

ランク II：堆積層内の地質構造に変位があるが、海底地形には変位が見られない。

次に、断層がどの深度まで延びているかを、図 68 を例とするような断面図上で判断した。

ランク A：Sediment 1（中新世の不整合面）

ランク B：Sediment 2（音響基盤）

ランク C：Upper Crust（上部地殻）

ランク D：Lower Crust（下部地殻）

以上、2 種類の判断から、表 3-1 に示すランク付けを全ての断層面に対して行った。

表 4 断層ランク付け一覧

	A	B	C	D
I	I A	I B	I C	I D
II	II A	II B	II C	II D

以下に断層解釈、及びそのランク付けの例を示す。

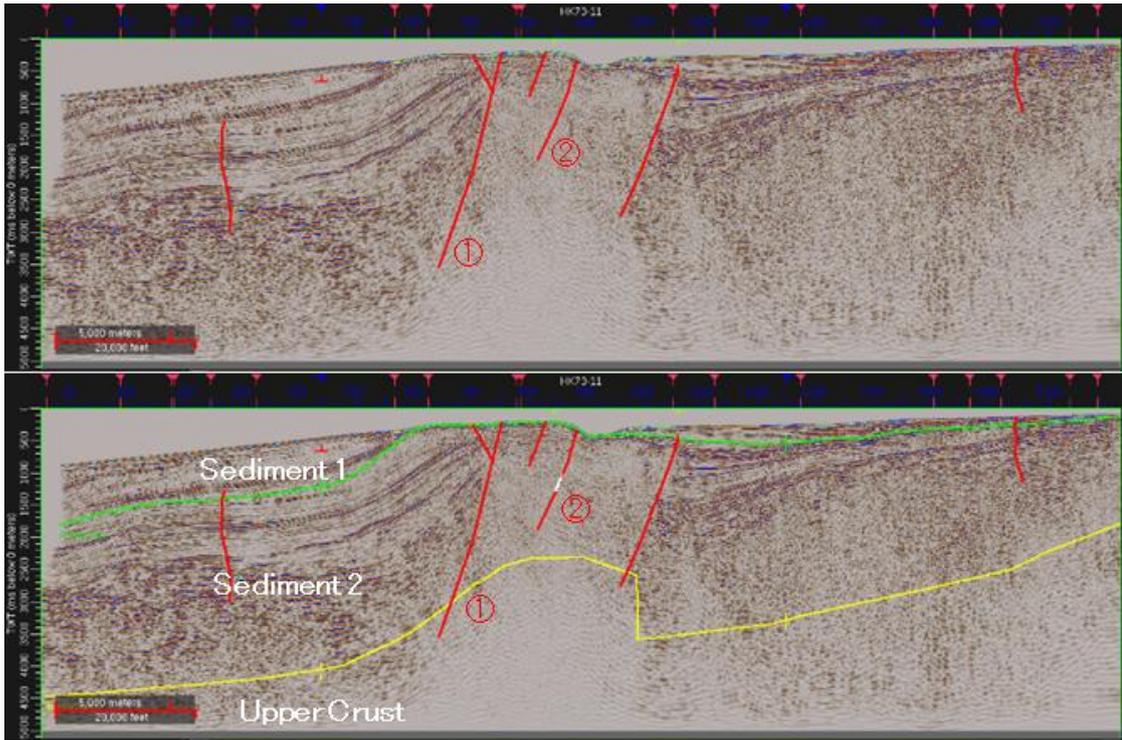


図 68 断層の伸びによる分類の例。①海底地形の変位あり。断層の伸びは Upper Crust 内まで ⇒ IC、②海底地形の変位あり。断層の伸びは Sediment2 内まで ⇒ IB となる。

活断層である可能性がある海底まで達している断層については、解釈を行うに際し、日本海における応力場を理解する必要がある。Terakawa and Matsu'ura (2010) によると、図 69 に示す通り、能登半島付近を境界として、応力場が異なっている事がわかる。即ち、能登半島西側では、横ずれ断層、東側では圧縮場による逆断層が支配的である。この結果から、震探断面図を利用した断層解釈結果も同様の特徴が確認できた場合、断層の連続性を含めて空間分布を整理することとした。

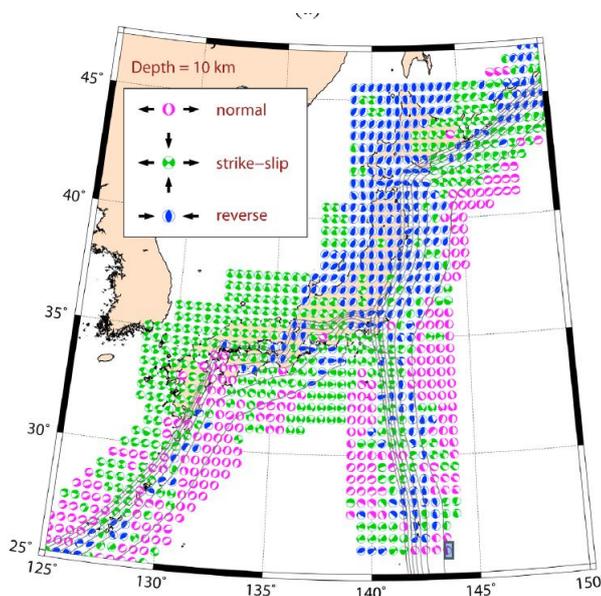


図 69 日本周辺の応力パターン (Terakawa & Matsu'ura (2010))

(b) 使用データ

使用するデータには、主にシングルチャンネルサイスミック（SCS）と、主に石油探査用に使われるマルチチャンネルサイスミック（MCS）の2種類がある。各データの特徴は以下の通りである。

(1) SCS (Single-Channel Seismic)

- 測線密度が細かい
- 震源の周波数帯域が高く、高分解能であり、浅部に特化した解釈に有効
- シングルチャンネルのデータのため、反射法地震探査の処理が殆ど出来ず、速度情報得られない
- ゼロオフセットへの補正がされていないので、海底面が傾斜している場合、SCS 測線同士の交点で反射面に時間差が見られる
- 震源エネルギーが小さいので、深部のイメージ取得が困難である

(2) MCS (Multi-Channel Seismic)

- 震源エネルギーが大きく、且つ重合効果で、深部までのイメージを取得出来る
- 反射法地震探査の処理過程で速度情報の入手が可能
- ゼロオフセットへの補正がされているので、急斜面を除き、MCS 同士の交点では反射面が一致する場合が多い
- 調査測線の密度が粗い
- 震源の周波数帯域が相対的に低く、データの分解能が低い
- 調査海域全体でのデータ取得が行われていない

このように、利用したデータには各々特徴があるため、2種類のデータの利点を活かして主として SCS データは断層の位置特定に使用し、MCS データは断層の形態の把握にも活用して、断層の有無を決定した。尚、断層を特定する際、ほぼ全てのデータを活用した。

(c) 解釈断層

(1) 断層分布の特徴と整理

下記の図 70 は、今回の断層解釈で判明した海域断層と陸上の活断層を重ね合わせた図面である。この図面から、一部の陸上の活断層が、海域まで延長していることも確認できた。九州北部の断層群や、新潟県の角田弥彦断層があげられる。表 5 には、平成 26 年度の断層解釈作業で特定された断層の数を海域別に纏めた。この作業では、全体で、237 の断層面を特定した。

また、各断層の特徴を記述した図 71 のようなテンプレートを作成した。このテンプレートには、断層の典型的な特徴を示す代表的な震探断面図も添付し、1枚のテンプレートで、断層の特徴が理解出来るように心掛けた。最終的には、データベース上で検索できるような機能を持つこととなる。

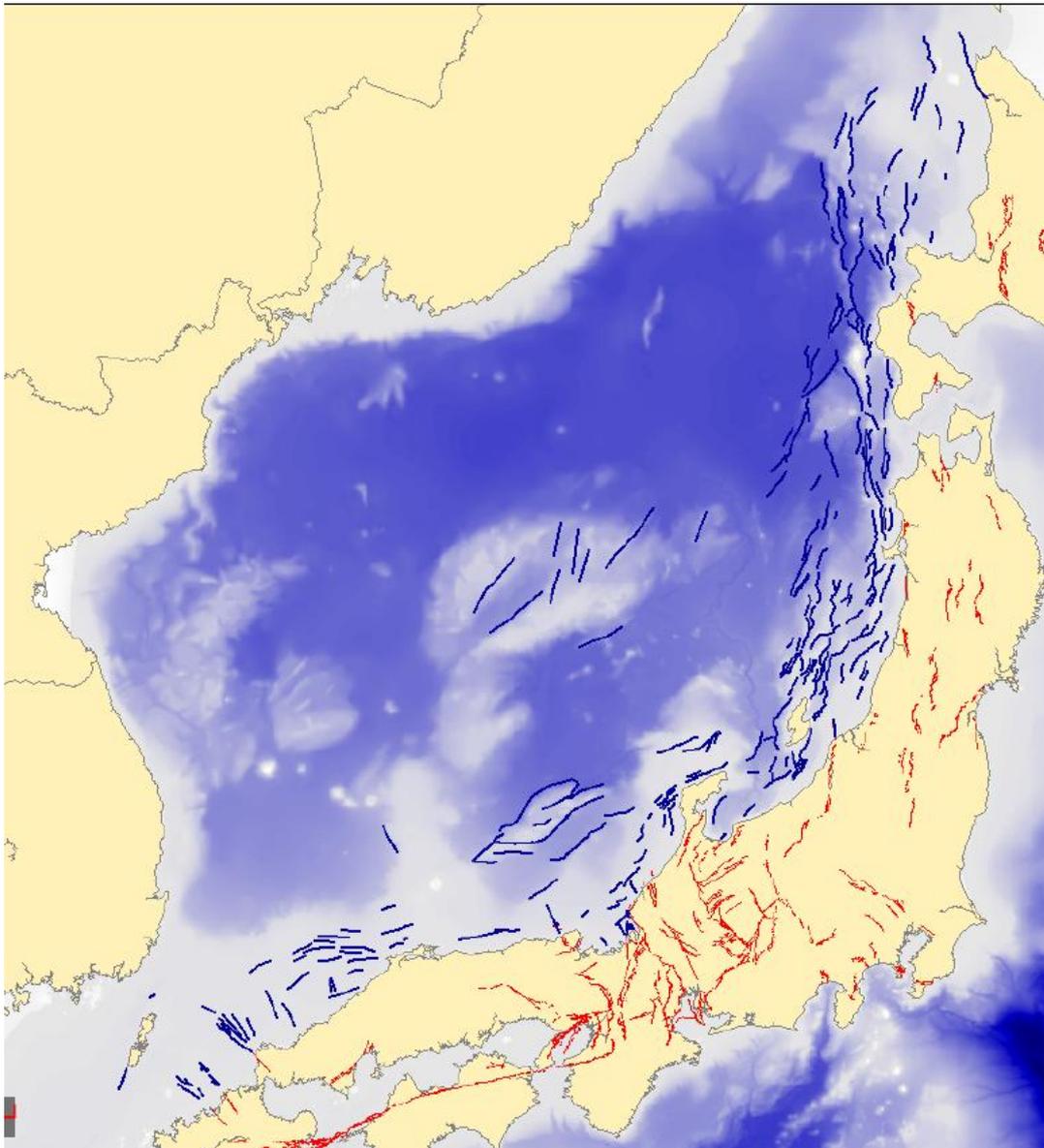


図 70 陸上活断層（赤色）と海域断層（青色）分布図
 海域断層は、今回の作業で特定された断層面

表 5 日本海での断層面の数（海域別）

海域名	断層面数	海域名	断層面数
北西九州沖	12	隠岐海嶺	10
山口沖	11	大和堆	10
島根沖	20	新潟沖	35
鳥取沖	2	山形沖	12
京都沖	3	秋田沖	24
福井沖	11	青森沖	15
石川沖	19	北海道西方沖	48
富山沖	5		

解釈者ステータス	終了
----------	----

海域	青森西方海域
----	--------

断層名	AOM-09	
実施年度及び担当者	2014年 清水	
更新年度及び担当者	未更新	
特徴	レベル	I D
	タイプ	逆断層
	走向／傾斜	南－北／東傾斜
	長さ	約 55km
	最大比高	9 km (EMJS1205)
	使用された測線数	MCS 4本、SCS 8本
	代表的な測線名	EMJS1205
参考資料	ワーキンググループ断層図	
Remarks	日本海中部地震の震源断層	
	MCSでは、海底下3秒まで断層による反射が認められる	
	SCSでは、海底の変位のみ認識出来る	

管理者記入欄

管理者ステータス	例:チェック済、作業依頼、など
最終チェック日	2015年3月10日
前回チェック日	
管理者コメント	

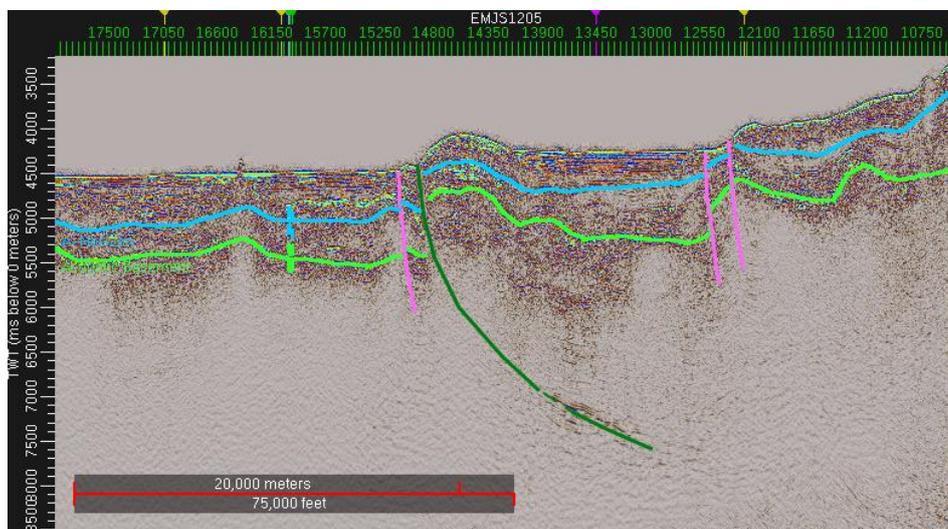


図 71 断層解釈作業例。(上) テンプレート、(下) 対象断層 (図中の緑線)。
 水色 : A Horizon、黄緑色 : B Horizon、桃色 : 特定出来なかった段層、
 緑色 : 特定された断層面

(2) 各海域の断層の特徴

1. 対馬周辺海域

対馬周辺海域では、高密度の SCS データが存在せず、かつ MCS の測線間隔も広いので、断層の有無の確認では重力データや地質構造を参考にした。2本の MCS で同じ形態の断層が確認され、且つ、重力データから対馬に沿って西側に堆積盆が存在することが推定されたので、対馬西側の 2 本の MCS と、島の南西部の測線 1 本を使い、長い正断層の存在を推定した。同海域では電力会社が反射法地震探査を実施しており、その報告書に対馬西側の断層様子海が示されている(図 72 参照)。そこで、対馬西側の断層は、2 つに別けて解釈するのが妥当であると判断した。

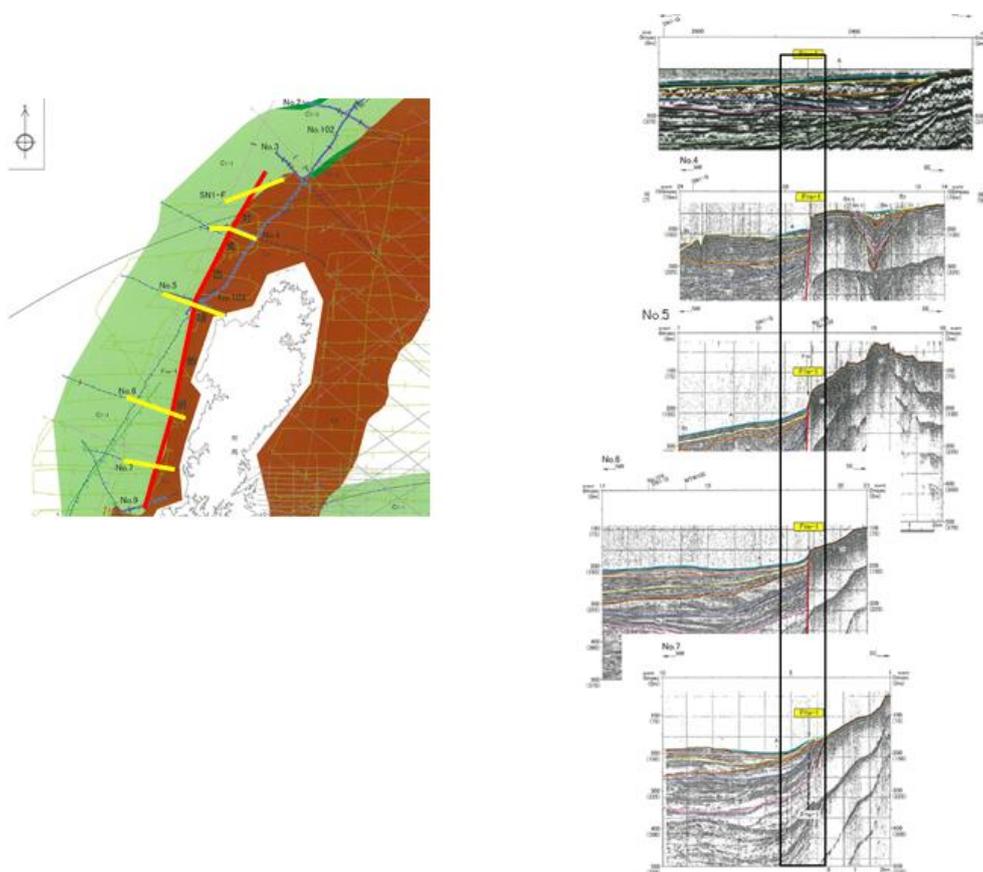


図 72 対馬周辺の断層分布（九州電力報告書より引用）。薄緑色は堆積層、茶色は基盤隆起帯を示す。右側の断面図は、左の黄色で示された測線の震探断面である。なお、断層部分が図の中心となるように各図面をずらして表示。

2. 福岡～山口沖

この海域では、応力場から判断すると、横ずれ断層が発達していると考えられる。横ずれ断層の場合、断層に平行な測線では、その変化を見出すことが非常に難しい。断層を垂直方向に横切る測線では、多少、地層の変化等を見る事が出来る可能性がある。

ここでは、断層解釈の経過を示す。図 73 には、この海域の測線、及び測線で解釈された断層上端の位置が示されている。図 74 は、図 73 から測線情報を取り除いた図面である。この図から解ることは、測線上に断層が分布している事、断層が無いエリアには、測線が無い事等であって、断層の位置だけでは、断層面を解釈出来ないことが解る。最終的には、図 75 に示す断層面が認められたが、電力会社の報告書に記載された断層、ワーキンググループ断層図を参考にした。

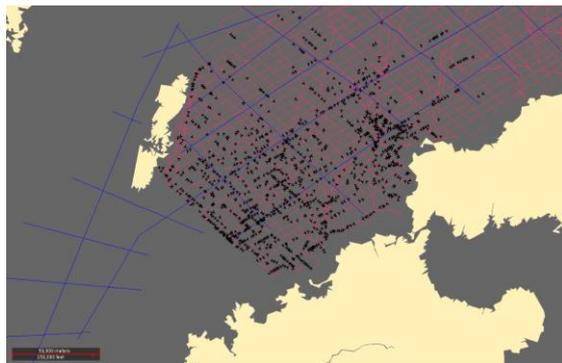


図 73 測線と断層位置

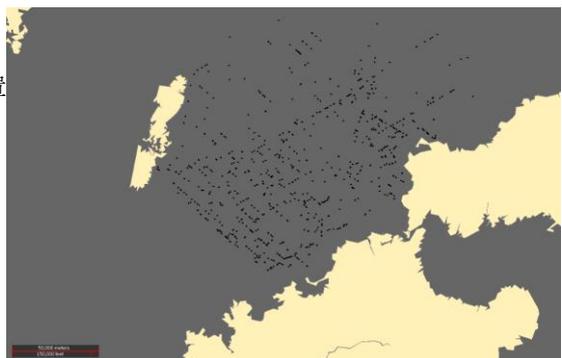


図 74 解釈された総ての断層位置

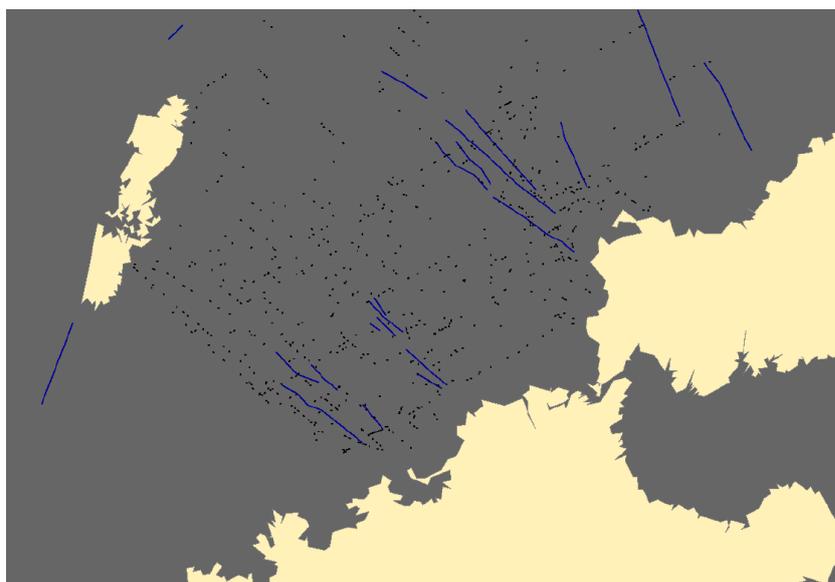


図 75 特定された断層（北西九州～山口沖）。

3. 山陰沖

山陰沖は、比較的断層活動が低い海域である。図 76 は、この測線の深度断面図であり、図 76(下)は、深度断面図に速度構造を重ねた表示である。この断面図で解る通り、断層は堆積層の深部や、基盤に発達しており、断層のタイプも正断層である。これは、現在の応力場とは異なっており、過去の断層活動と考えられる。また、浅部にも数条の連続性が不明な断層が認められるが、落差も殆ど無く、活発な上下変位を伴った断層活動が続いていたとは考えられない。一方、海岸線近傍では、横ずれ断層が発達している。図 77 は、SCS の時間断面図であるが、ここでは 1927 年に発生した北丹後地震の震源エリアで発達した断層が海域へ延長していると思われる箇所に、横ずれ断層（黄色）が特定された。ここに示した断層は、連続して特定された断層の 1 例に過ぎず、他の測線でも特定された断層は、その傾斜が微妙に異なったケースもあり、多数の小規模な断層が雁行状に延びた断層群と解釈するのが、妥当と思われる。

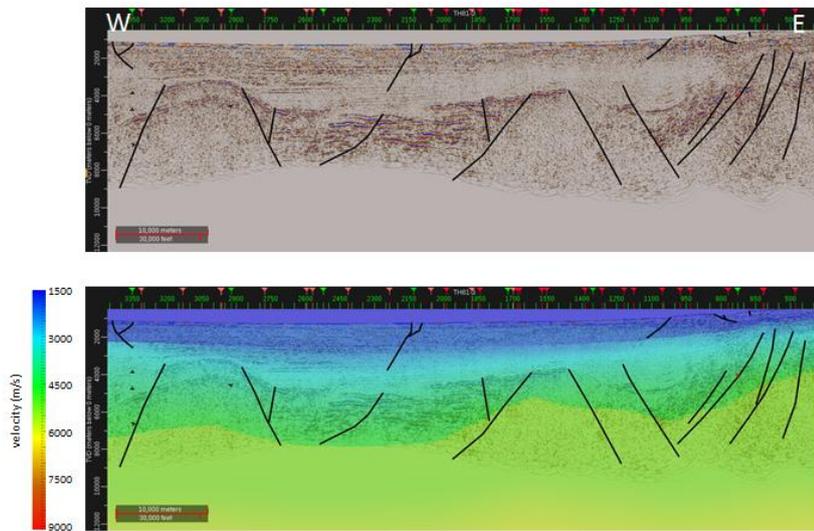


図 76 山陰沖の深度断面例。(上) 反射断面上の断層解釈、(下) 速度構造上の断層解釈。

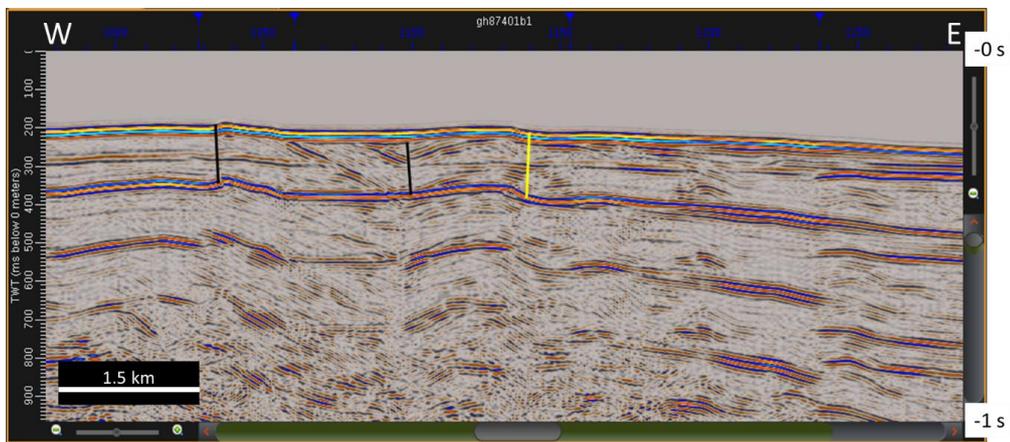


図 77 北丹後地震の海域断面図 (SCS 時間断面図)。黄色が当該断層を示す。

4. 若狭湾

この海域では、SCS が湾内まで実施されているが、MCS が殆ど無く、断層特定は海底面直下の細部までの結果となった。それでも沖合の東北東-西南西方向の断層と湾内の北西-南東方向の断層がいくつか特定できた。海底地形の情報として、JHA 海底地形デジタルデータがあったため、海底の屈曲率を示すアトリビュートを作成した（図 78）。その結果、海底の地形変化を顕在化することで、震探断面図と海底地形により断層上端の位置を特定しやすくなった。

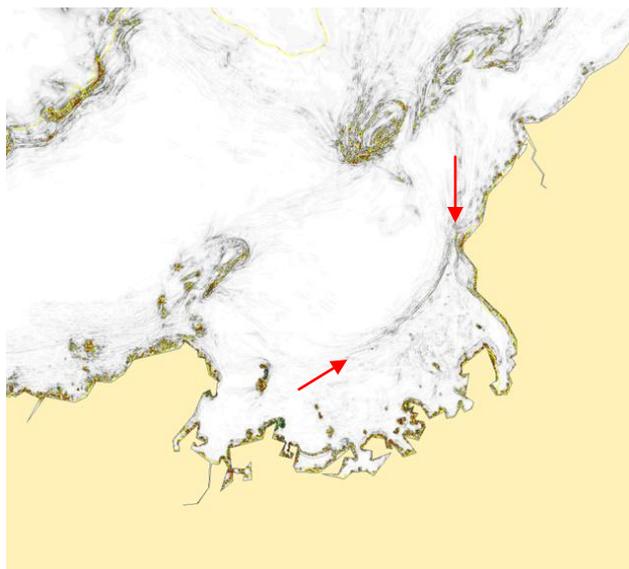


図 78 若狭湾の海底地形。赤矢印：海底地形及び震探データで特定された断層面の位置を示す。

5. 大和堆

この海域では、初めて断層解釈が実施されたが、40～50km と震探データの間隔が粗く、断層解釈（図 79）は出来るものの、同じ断層であるかの特定には海底地形を参考にしている。最終的には海底地形を参考に 10 の正断層面を特定したが、他の海域に比較すると反射記録断面が少ないため、解釈結果の信頼性は乏しい。

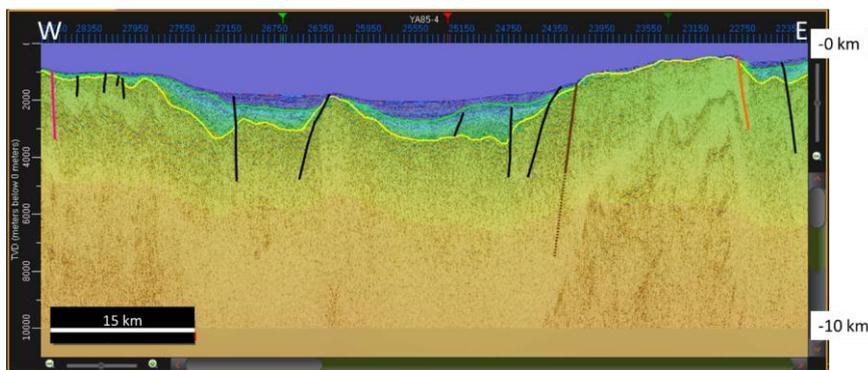


図 79 大和堆の典型的な深度断面図例。背景色はP波速度を示す（カラースケールは図 76 と同様）。

6. 新潟沖

佐渡島を含む新潟沖の海域で、35の断層面が特定された(図80)。35の断層面は、全て逆断層で、佐渡島とほぼ同様の走向(北北東～南南西)を示す。この走向は、海底地形にも顕著に現れている。

角田付近まで南北に延びている断層(黄色)は、陸上の活断層マップ上に見られる断層の延長部にあたり、角田弥彦断層の海側延長部に相当すると考えられる。

図81は、1964年の新潟地震の震源近傍の震探断面図(深度及び時間)である。海底まで延びる複数の高角な逆断層が特徴的である。

図82は、新潟から佐渡島の南西に延びる測線で中越沖地震の震源域を横断する深度断面図である。この断面図上では6の逆断層面が確認出来る。殆どの断層が海底まで延びていて、海底にも断層による地形変化が明らかである。尚、断面図上に示された断層の色は、図81に示された断層の色と共通で、同じ色は連続する断層であることを示す。

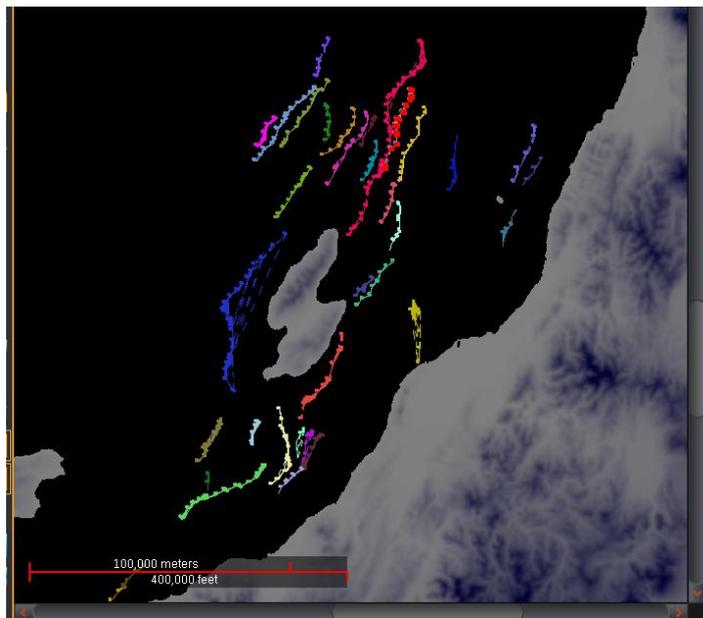


図80 新潟沖海域断層マップ

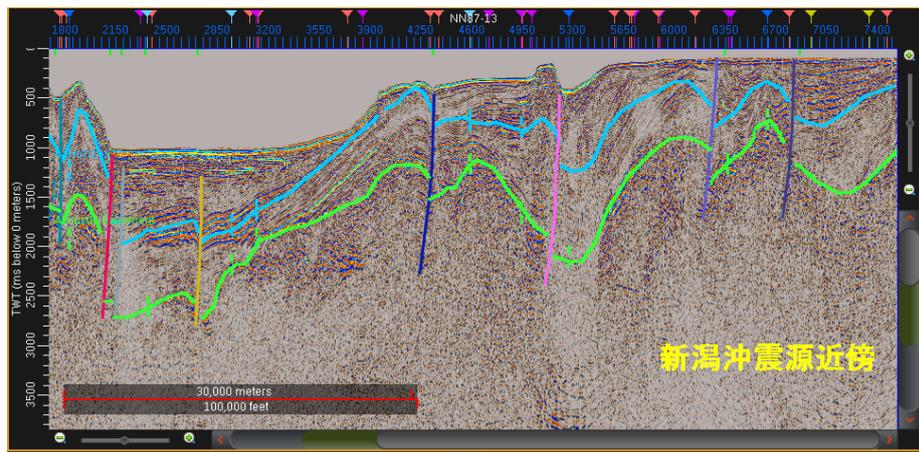
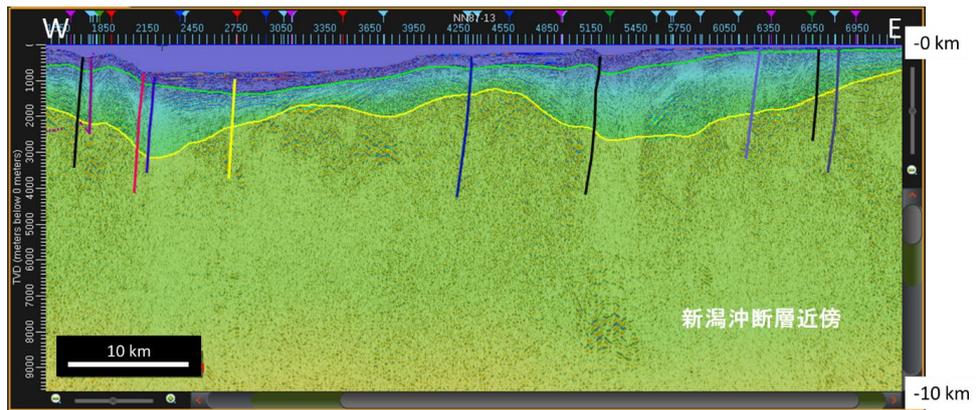


図 81 新潟地震震源近傍反射断面。(上) 深度断面。背景色は P 波速度を示す (カラスケールは図 76 と同様)。(下) 時間断面。

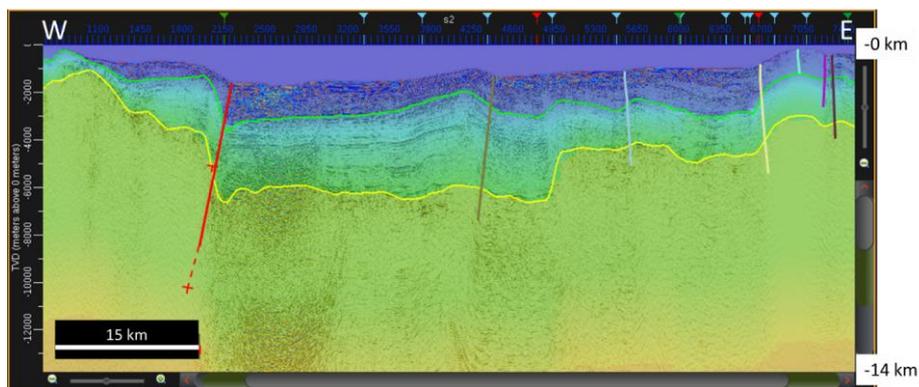


図 82 中越沖地震震源域の深度断面図。カラスケールは図 76 と同様。

7. 山形沖

山形沖では、12 の断層面が認定され、全ての断層が逆断層で、且つ、西傾斜を示している。断層の走向は一般的に海岸線に並行で、北北東-南南西に延びている (図 83)。この海域は、海岸線の沖合を除き、堆積層が非常に薄く、断層の形態は、海底地形に反映されている。今回認定された断層では、すべての断層において MCS データを使った解釈が行われた。そのため、断層の深度方向の延びは、信頼性がある。図 84 は、今回認定された断層を横切る MCS の断面図である。この断面図で解る通り、断層は、非常に薄い堆積層

を貫き、音響基盤から深部に達している。断層下端の同定は難しいが、上部地殻に至ることが判明した。

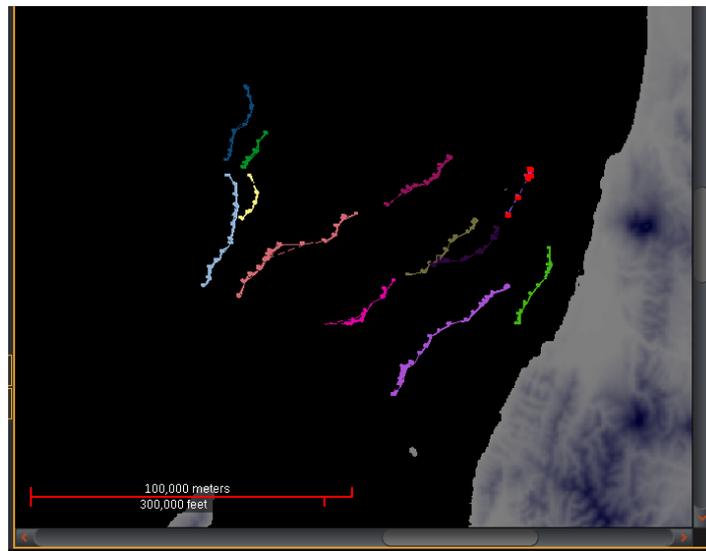


図 83 山形沖断層図。

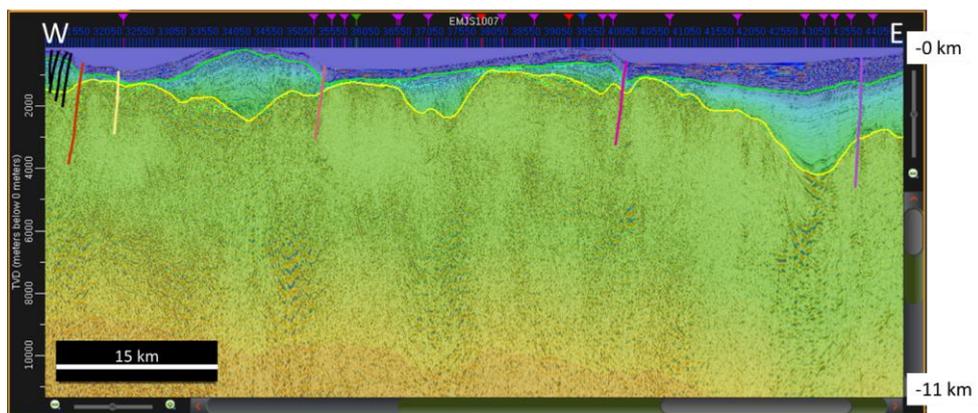


図 84 山形沖の深度断面図。カラースケールは図 76 と同様。

8. 秋田沖

秋田沖では、24 の断層面が特定され、全てが逆断層、また 21 が西傾斜を示した(図 85)。断層の走向は、ほぼ海岸線に並行の北北東～南南西である。図 86 は、秋田沖の東西測線の断面図である。

この断面図での特徴は、海岸近くに約 5km の深さの堆積盆が海岸線と並行に存在するが、その沖側(西)では堆積層が極端に薄くなり、基盤が浅部まで上昇してくる。

図 87 と図 88 は、男鹿半島を挟んだ 2 本の東西測線(時間断面図)である。図 87 が北側の測線で、図 88 が南側の測線である。この両測線の断面図から、断層の向き、形態等が明らかに違っているが、男鹿半島周辺を境に、類似したテクトニクスでも断層の発達過程が異なっている可能性もある。沖合には、北北東～南南西に延びる断層群があるが、これら断層は、大陸棚と西側の大

洋底の境界に発達した断層群と解った。

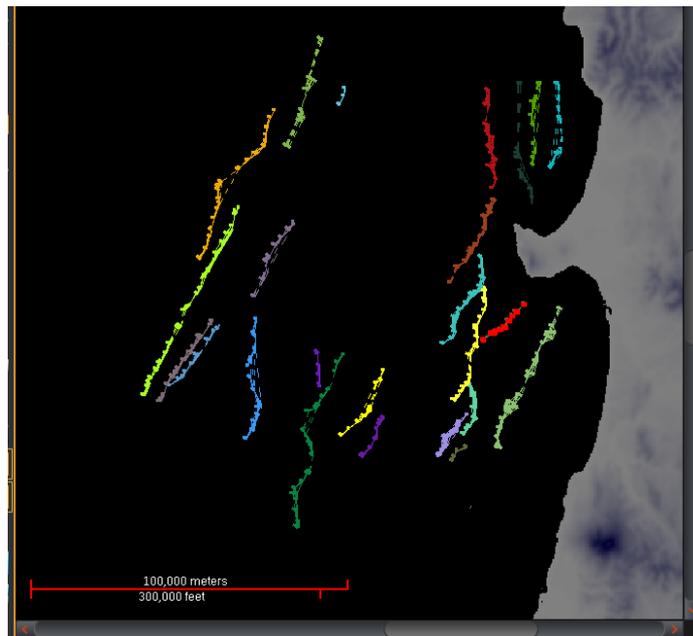


図 85 秋田沖断層図。

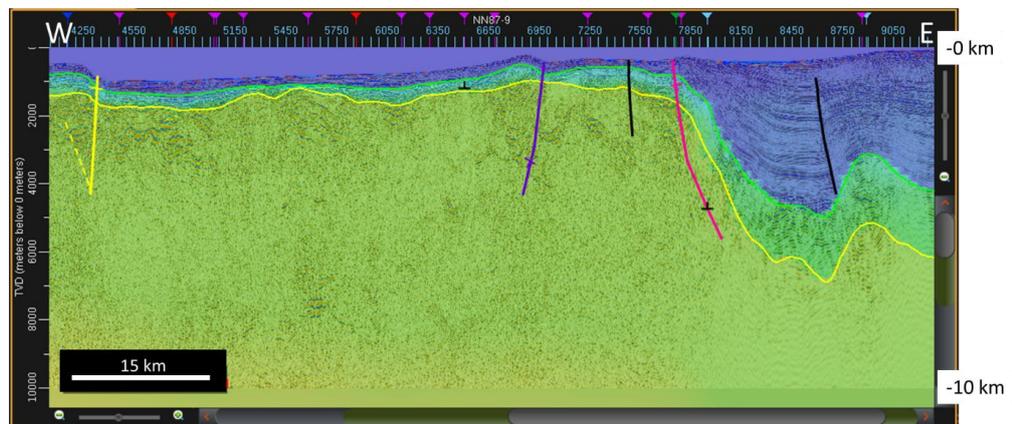


図 86 秋田沖の東西方向の測線に沿った典型的な深度断面図。カラスケールは図 76 と同様。

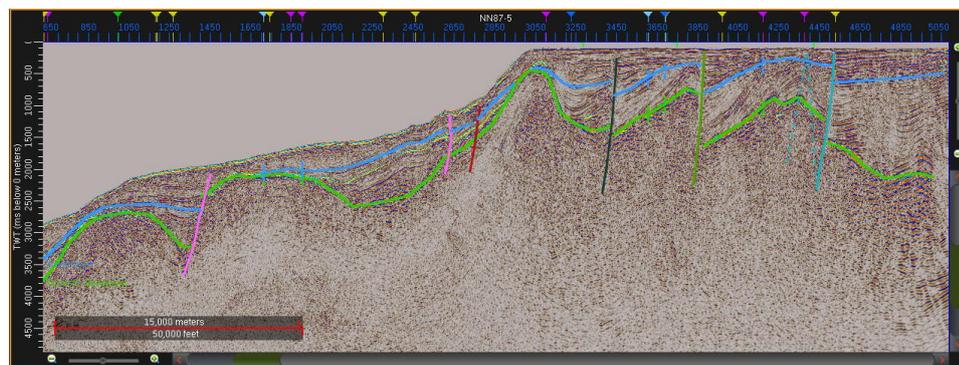


図 87 男鹿半島北側東西測線の時間断面図。

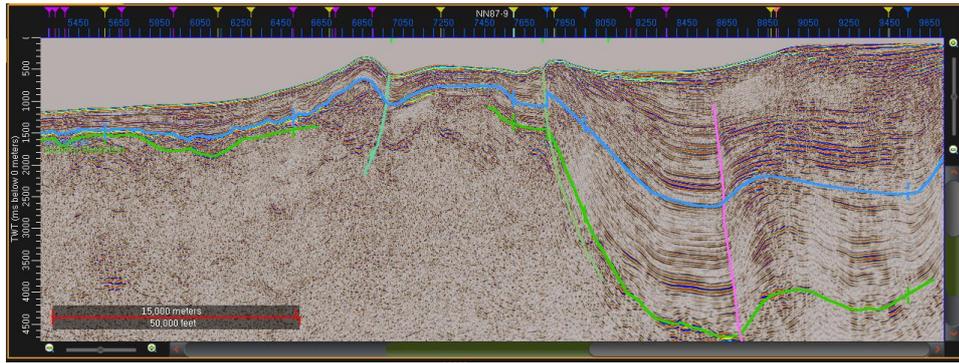


図 88 男鹿半島南側東西測線の時間断面図。

9. 青森沖

青森沖では 15 の断層面が認められ、全て逆断層と解釈された。これらの内、図 89 に示す海岸線に近い 8 つの断層は、ほぼ南北の走向を示し、その傾斜方向は、東西それぞれ 4 つとなっている。各断層は、MCS によって確認されており、比較的深い上部地殻下方まで読み取ることができた。また、これらの断層は、海底地形でも断層により落差が顕著なため、海底地形図からも解釈する事が出来る。一方、図 89 の沖合にある断層は、ほぼ北北東-南南西の走向を示すが、傾斜方向はまちまちである。

この海域で最も特徴的な断層として、AOM-09 が上げられる。この断層は、1983 年 5 月 26 日に発生した日本海中部地震の震源域に位置するが、今回の解釈作業では、断層の長さが南北方向に約 55km である事まで確認できた。EMJS1205 測線（図 90）は、この断層を横切る典型的な震探断面図である。この測線は、MCS のデータで、且つ、震源としてのエアガンの容量が非常に大きいので、深部までの反射波を取得出来ている。ひずみ集中帯調査観測プロジェクトでも確認できているが、この断面図を含め、この断層の空間的な連続性を確認することができた。反射法地震探査から得られる重合速度、坑井データ、及び OBS からの速度情報を基に作成した速度構造モデルを使って、この断層を深度変換した場合、約 15km の深さまで延びており、上部地殻と下部地殻の境界を越えてモホ面まで達している事が判明した。更に、断層を 3D で表示した場合の見え方を図 91 に示した。

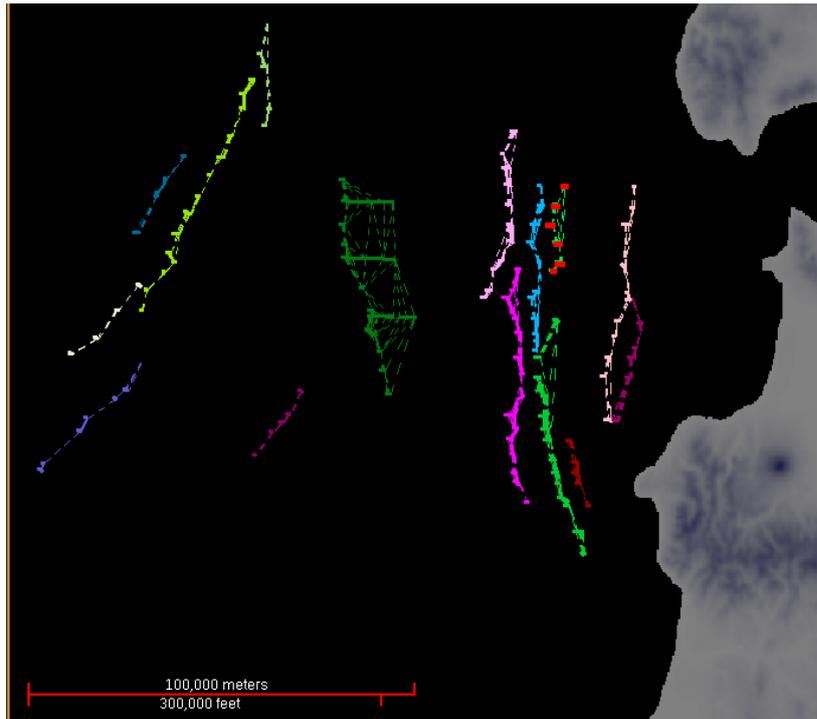


図 89 青森沖断層図。

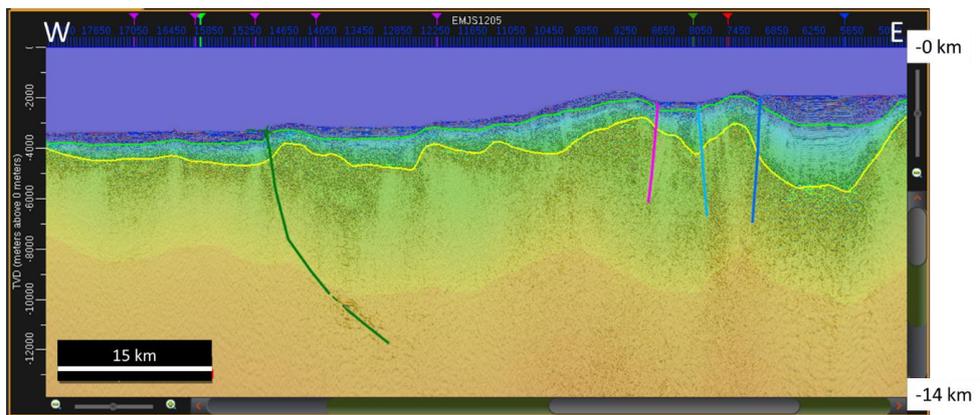


図 90 深度断面図上の AOM-09：日本海中部地震震源近傍の断層。

カラスケールは図 76 と同様。

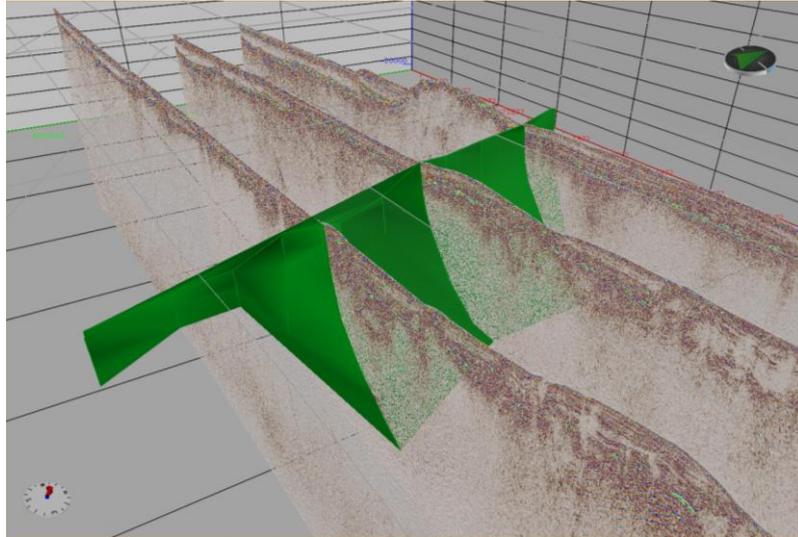


図 91 AOM-09 断層の 3D キューブ表示。

10. 北海道西方海域

北海道西方沖では、45 の断層面が確認された (図 92)。この図によれば、渡島半島から積丹半島の沖合にかけて、数多くの断層があり、この海域がテクトニクス的に活発であることが推察出来る。一方、天北から稚内の沖合では、海底まで延びるような新たな断層が殆ど無く、断層活動が比較的低い (図 93)。主な活動域は、約 100km 沖の積丹半島より北側延長部に見られる。

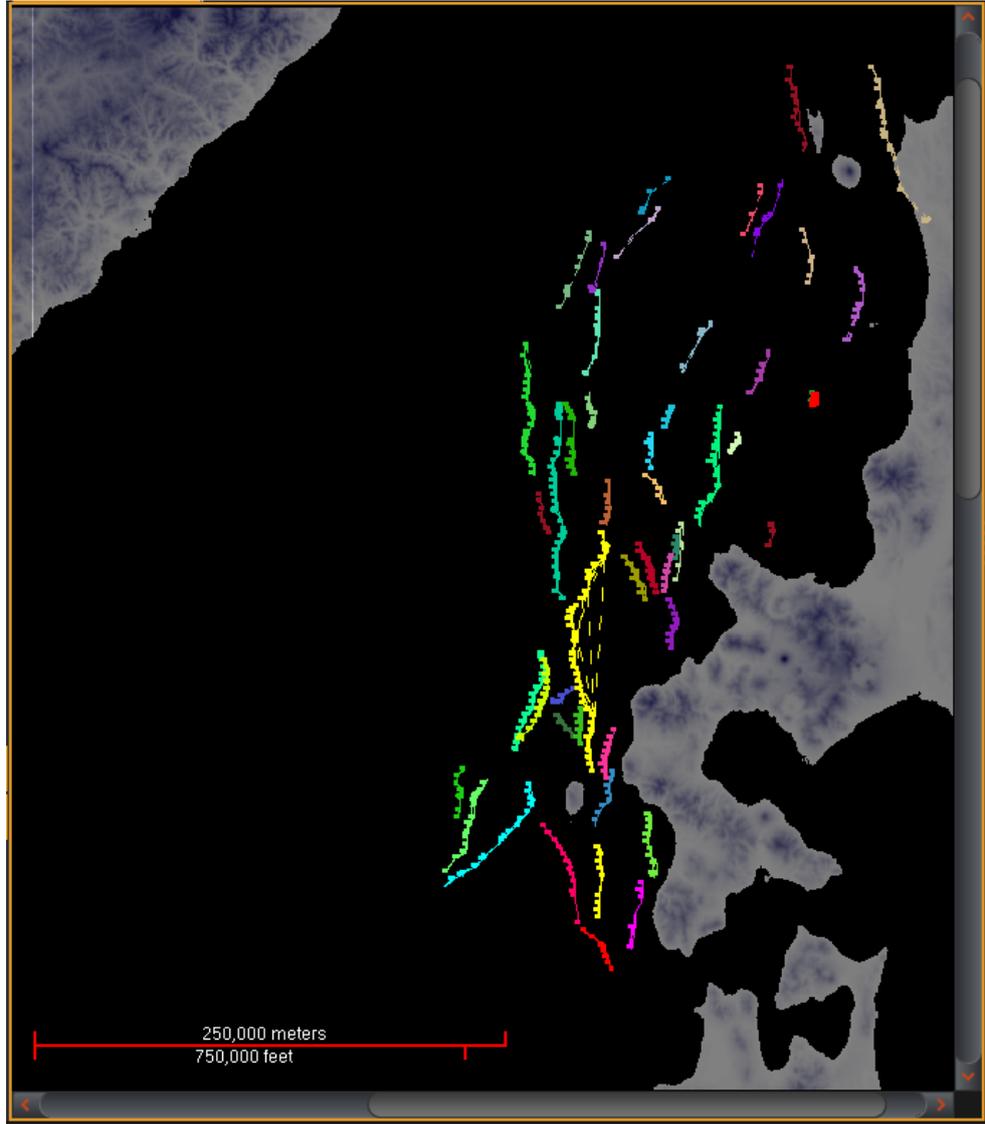


図 92 北海道西方沖断層図。

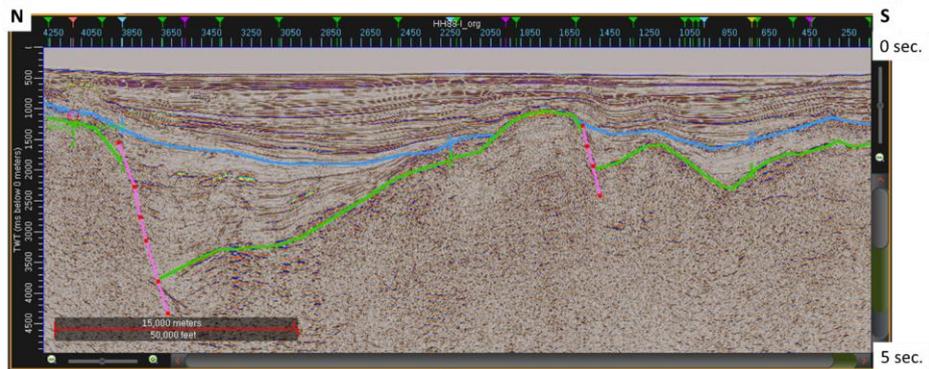


図 93 天北沖合の時間断面図。

奥尻島周辺は 1993 年の北海道南西沖地震の震源域が位置しているが、この地震断層とみられる断層が特定できた。加藤他（1994）によると、この地震のメカニズムは、P 波初動、CMT 解析から、2 つの逆断層解が得られている。図 94 の震探断面図は、この震源周辺を横断しているが、共役関係の 2 つの断層が認められた。また、この 2 つの並行した断層は、今回の解釈結果から、ほぼ南北方向に約 50km 長連続していることが確認できた。この結果は、加藤等（1994）の報告と非常に調和的である。

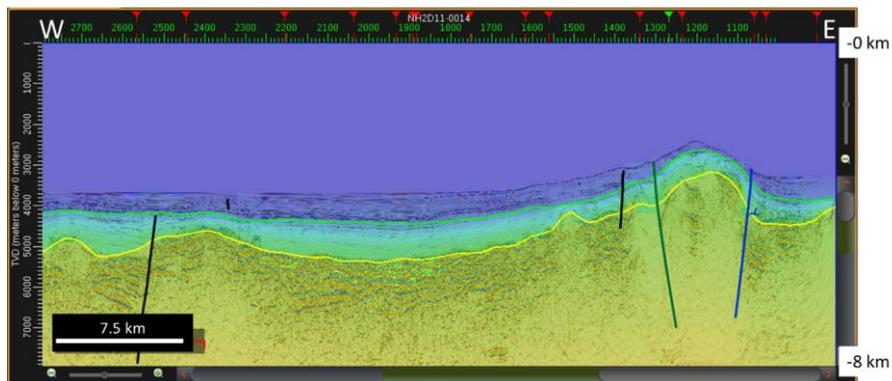


図 94 北海道南西沖地震の震源近傍の深度断面図。右側に互いに共役の 2 条の断層を確認することができる。カラースケールは図 76 と同様。

石狩湾から天北沖にかけての海域は、他の海域と比較し、陸に近い海域での断層分布は相対的に少ない。この海域では、一部に中新世以前には発達した正断層が見られるのみである。一方、陸より 100km 以上離れた積丹半島北部では、逆断層が発達しており、図 95 に示す断層は、1940 年に起きた北海道西方地震の震源近傍に位置している。

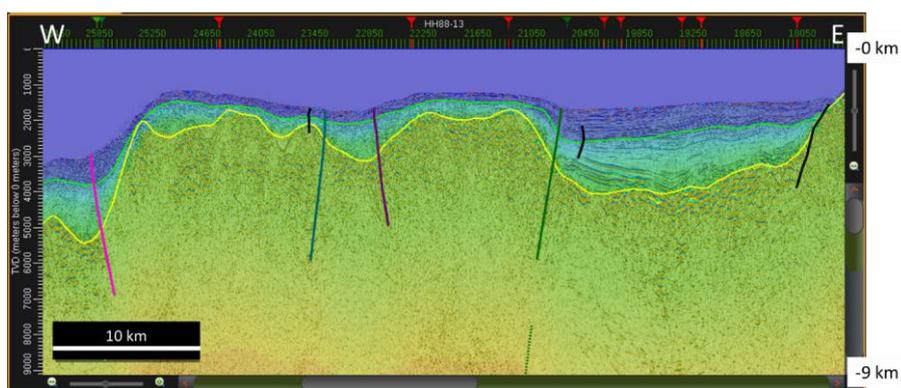


図 95 北海道西方沖地震の震源近傍の深度断面図。カラースケールは図 76 と同様。

稚内沖から南方にはほぼ海岸線に沿った巨大な背斜構造が発達しており、その最大傾斜角に沿って、逆断層が発達している（図 96）。更に南下すると、陸上に同様な褶曲構造が海陸接合部での震探断面図（図 97）でも認められるため、この断層が北海道の陸上域まで延びていることを確認した。

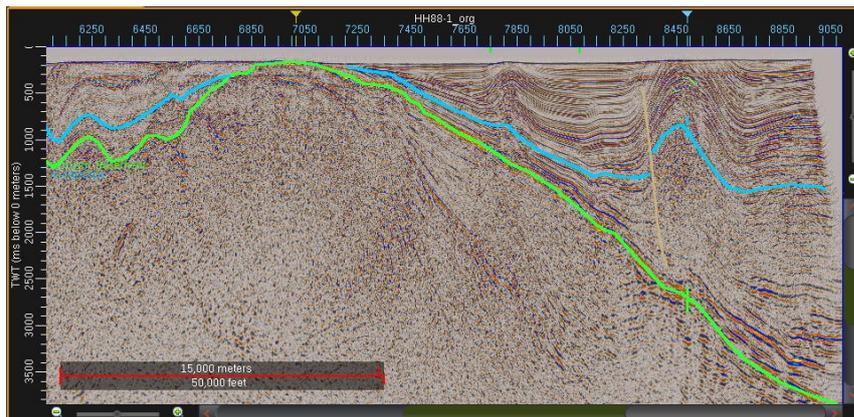


図 96 稚内沖の東西方向の時間断面図。明瞭な背斜構造と堆積層内に発達する褶曲構造が確認できる。

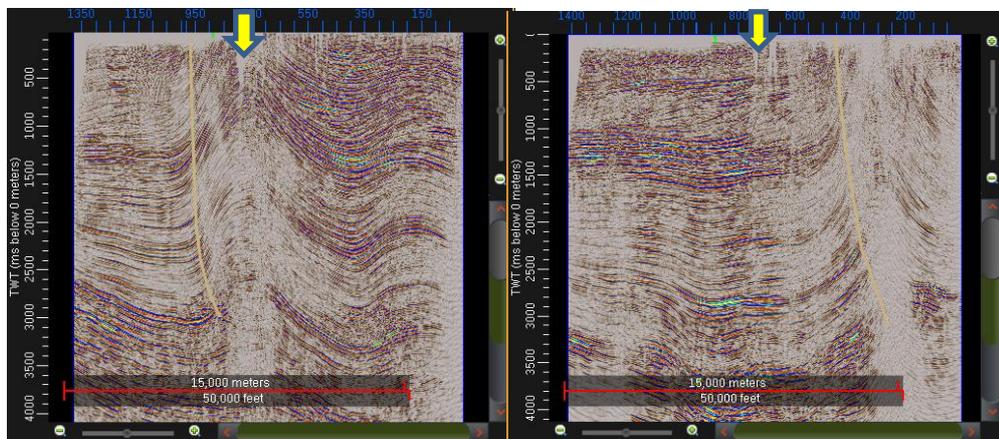


図 97 海陸接合部の時間断面図。黄色矢印は海岸線の位置を示す。左は北側、右図が南側に測線が位置し、南側では断層が陸域に位置することを確認した（左が海側、右が陸側）。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成26年度は、平成25年度に引き続き日本海海域の既往探査データの再解析を実施したが、AISTのシングルチャンネル反射データについては、平成25年度の解析フローに基づき効率的に解析を進めてデータ品質の向上を図ることができた。また、JOGMECのマルチチャンネルの古いデータについては、主に多重反射波除去にクオリティコントロールの重点をおいて解析を行った結果、十分な品質向上が得られ再解析の効果を得ることができた。

平成27年度は南西諸島海域の既往探査データの再解析を予定しているが、当該海域のJOGMECの調査測線は各測線が長大であるものの、各測線の間隔が粗いため、断層解釈になるべく支障をきたすことがないよう民間会社のデータを含め各機関の既往探査データの測線配置を検討し、効果的に解釈ができるような測線を選択し再解析を進めることが必要と考えられる。

日本海海域は東部、西部の二つの領域に分け、速度構造モデルを作成した。この速度

構造モデルを使い、断層の深度変換を実施したが、おおむね満足に行く結果が得られた。今後、日本海海域のデータの追加が予定されているが、当初からの計画どおり、新規データが追加されれば順次改訂を行なっていく予定である。

西は対馬沖から東は稚内沖までの非常に広範囲な日本海全域の断層解釈作業を行った。解釈に使った震探断面図は、データ取得の年代、使われた機材の仕様、調査そのものの仕様に違いがあり、様々な見た目も異なるデータを使っての解釈作業であったが、最新のデータ処理技術を使って、データの再処理を施したことが解釈に有効であった。その結果、日本海海域での断層分布図（図 98）をマッピングすることが出来た。日本海検討会でもワーキンググループ断層図を作成したが、データ再処理や、様々なデータの正確な座標系の変換作業を行ったことで、より位置データに依拠した正確な位置を示すことができた。断層自体のランク分けも実施し、震源モデル構築の際に、空間的な広がりへの検討には有益であると考えられる。今年度の断層解釈結果を海域別に要約すると、以下の通りである。

- 九州西方～山口沖 横ずれ断層
- 山口～島根沖 撓曲に伴う断層
- 鳥取沖 正断層（堆積層下部まで達する断層確認）
- 鳥取～京都 横ずれ断層
- 隠岐海嶺～大和堆 正断層（海底から上部地殻まで達する断層を確認）
- 敦賀湾～能登周辺 逆断層（海底から上部地殻まで達する断層を確認）
- 富山、新潟～北海道西方海域 逆断層（海底から上部地殻まで、日本海盆内はモホ面まで達する断層を確認）

この結果は、Terakawa and Matsu'ura（2010）が示した地震による日本海での応力パターンと調和的であり、活断層の可能性が高い断層をリスト化することができた。なお、解釈結果は、今後データベース化する事によって、利用し易く、且つ、更なる成果の更新に対応出来るようにする予定である。また、今回特定した 237 の断層面について、テンプレートを作成したが、更新履歴を記載する箇所もあり、今後新しい調査データが加わって断層分布の位置精度や連続性の検討が進む際には、比較的容易に検討に入ることができるよう配慮した。今後、データベース化を早めると共に、更新履歴等が記載可能なシステムを作り、新たに加わる調査データを適宜取り込める形にしたい。北海道の稚内沖から天北地域で示したような陸域の活断層との連続性の確認が今後重要になると考えられる。

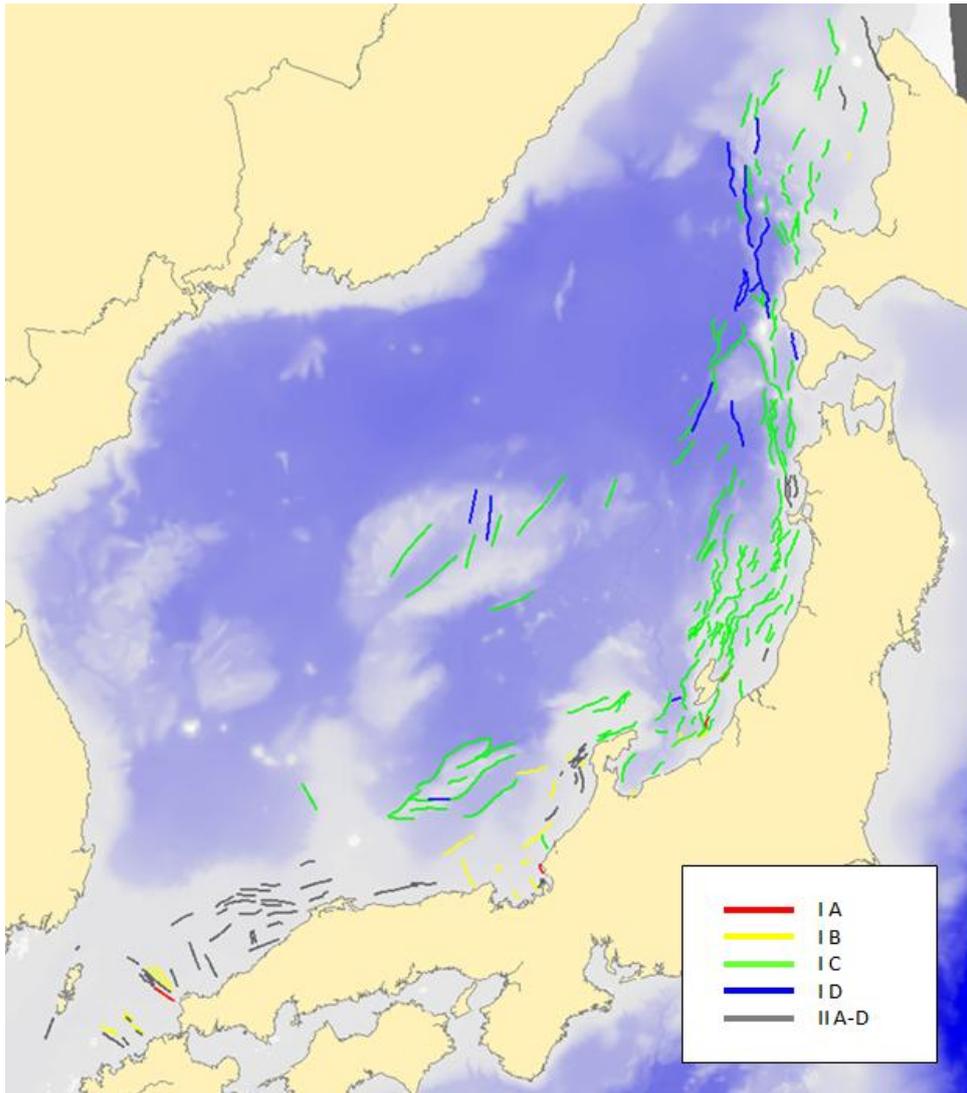


図98 ラベルごとに分類した断層の空間分布。ラベルの付け方は本文参照。

(e) 引用文献

石油開発公団， 昭和 44 年度大陸棚・石油天然ガス資源基礎調査 基礎物理探査「秋田・山形・新潟陸棚エアガン」調査報告書，1970

石油開発公団， 昭和 45 年度大陸棚・石油天然ガス資源基礎調査 基礎物理探査「石狩～礼文島」調査報告書，1971

石油開発公団， 昭和 51 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「北海道西部～新潟海域」調査報告書，1977

石油公団， 昭和 56 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「富山沖・北陸～隠岐沖・山陰沖」調査報告書，1982

- 石油公団, 昭和 57 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「後志沖」「十勝～釧路沖」「オホーツク海」調査報告書, 1983
- 石油公団, 昭和 60 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「大和堆」調査報告書, 1986
- 石油公団, 昭和 62 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「秋田～青森浅海域」調査報告書, 1988
- 石油公団, 昭和 62 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「西津軽～新潟沖」調査報告書, 1988
- 石油公団, 昭和 63 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「秋田～青森浅海域」調査報告書, 1989
- 石油公団, 昭和 63 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「北海道西部～北東部」調査報告書, 1989
- 石油公団, 平成元年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「秋田～青森浅海域」調査報告書, 1990
- 石油公団, 平成 2 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「新潟富山浅海域」調査報告書, 1991
- 石油公団, 平成 3 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「新潟富山浅海域」調査報告書, 1992
- 石油公団, 平成 4 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「新潟富山浅海域」調査報告書, 1993
- 石油公団, 平成 8 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「天北浅海域」調査報告書, 1997
- 産業技術総合研究所, 昭和 53 年度「日本海中部」調査航海, 1977
- 産業技術総合研究所, 昭和 52 年度「日本海西部及び九州西方」調査航海, 1977
- 産業技術総合研究所, 昭和 60 年度「九州及び山口北方海域」調査航海, 1985
- 産業技術総合研究所, 昭和 61 年度「島根鳥取沖海域」調査航海, 1986

- 産業技術総合研究所, 昭和 63 年度「能登半島周辺海域」調査航海, 1988
- 産業技術総合研究所, 平成 元年度「東北沖日本海」調査航海, 1989
- 産業技術総合研究所, 平成 2 年度「東北沖日本海（佐渡）」調査航海, 1990
- 産業技術総合研究所, 平成 3 年度「東北沖日本海（秋田）」調査航海, 1991
- 産業技術総合研究所, 平成 4 年度「東北沖日本海」調査航海, 1992
- 産業技術総合研究所, 平成 5 年度「東北沖日本海」調査航海, 1993
- 産業技術総合研究所, 平成 6 年度「北海道西方日本海（渡島）」調査航海, 1994
- 産業技術総合研究所, 平成 7 年度「北海道西方日本海（積丹）」調査航海, 1995
- 産業技術総合研究所, 平成 8 年度「北海道西方日本海（石狩）」調査航海, 1996
- 産業技術総合研究所, 平成 10 年度「北海道西方日本海（手塩）」調査航海, 1998
- 産業技術総合研究所, 平成 11 年度「北海道西方日本海（奥尻）」調査航海, 1999
- T. W. Chung, N. Hirata, R. Sato, Two-dimensional P- and S- wave velocity structure of the Yamato Basin, the Southeastern Japan Sea, from refraction data collected by an ocean bottom seismographic array, *Journal of Physics the Earth*, vol.38, 1990
- N. Hirata, H. Tokuyama, T. W. Chung, An anomalously thick layering of the crust of the Yamato Basin, southeastern Sea of Japan: the final stage of back-arc spreading, *Tectonophysics*, 165, 303-314, 1989
- N. Hirata, B. Y. Karp, T. Yamaguchi, T. Kanazawa, K. Suyehiro, J. Kasahara, H. Shiobara, M. Shinohara, H. Kinoshita, Oceanic crust in the Japan Basin of the Japan Sea by the 1990 Japan-USSR Expedition, *Geophysical Research Letters*, vol. 19, No. 20, 2027-2030, 1992
- H. Katao, Seismic structure and formation of the Yamato Basin, *Bulletin of the Earthquake Research Institute University of Tokyo*, vol.63, 51-86, 1988
- 加藤茂・浅田昭・春日茂, 富山トラフの変動地形と地質構造, *地学雑誌*, 99-1, 1990

加藤健二・都司嘉宣 (1994) : 1993 年北海道南西沖地震の断層要素の推定とその津波の特性、地震研究所彙報 Vol.69 39-66

H. J. Kim, H. T. Jou, H. M. Cho, H. Bijwaard, T. Sato, J. K. Hong, H. S. Yoo, C. E. Baag, Crustal structure of the continental margin of Korea in the East Sea (Japan Sea) from deep seismic sounding data: evidence for rifting affected by the hotter than normal mantle, *Tectonophysics*, 364, 2003

H. J. Kim, S. J. Han, G. H. Lee, S. Huh, Seismic study of the Ulleung Basin crust and its implications for the opening of the East Sea (Japan Sea) , *Marine Geophysical Reserches*, 1998

E. Kurashimo, M. Shinohara, K. Suyehiro, J. Kasahara, N. Hirata, Seismic evidence for stretched continental crust in the Japan Sea, *Geophysical Research Letters*, 1996

W. J. Ludwig, S. Murauchi, R. E. Houtz, Sediments and Structure of the Japan Sea, *Geological society of America Bulletin*, vol.86, 651-664, 1975

K. Nakahigashi, M. Shinohara, E. Kurashimo, T. Yamada, A. Kato, T. Takanami, K. Uehira, Y. Ito, T. Iidaka, T. Igarashi, H. Sato, R. Hino, K. Obana, Y. Kaneda, N. Hirata, T. Iwasaki, T. Kanazawa, Seismic structure of the source region of the 2007 Chuetsu-oki earthquake revealed by offshore-onshore seismic survey: Asperity zone of intraplate earthquake delimited by crustal inhomogeneity, *Tectonophysics*, 2012

K. Nakahigashi, M. Shinohara, T. Yamada, K. Uehira, K. Mochizuki, T. Kanazawa, Seismic structure of the extended continental crust in the Yamato Basin, Japan Sea, from ocean bottom seismometer survey, *Journal of Asian Earth Science*, 2013

A. Nishizawa and A. Asada, Deep crustal structure off Akita, eastern margin of the Japan Sea, deduced from ocean bottom seismographic measurements, *Tectonophysics*, 306, 1999

T. No, T. Sato, S. Kodaira, T. Ishiyama, H. Sato, N. Takahashi, Y. Kaneda, The source fault of the 1983 Nihonkai-Chubu earthquake revealed by seismic imaging, *Earth and Planetary Science*, 2014

佐藤壮, 篠原雅尚, 末広潔, B. Y. Karp, R. G. Kulinich, 伊勢崎修弘, エアガン海底地震計探査による日本海北大和トラフの P 波速度構造, *地震*, 第 53 巻, 2001

T. Sato, M. Shinohara, B. Y. Karp, R. G. Kulinich, N. Isezaki, P-wave velocity structure in the northern part of the central Japan Basin, Japan Sea with ocean bottom seismometers and airguns, *Earth Planets Space*, 56, 501-510, 2004

T. Sato, N. Takahashi, S. Miura, G. Fujie, D. H. Kang, S. Kodaira, Y. Kaneda, Last stage of the Japan Sea back-arc opening deduced from the seismic velocity structure using wide-angle data, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, vol.7, 2006

T. Sato, T. Sato, M. Shinohara, R. Hino, M. Nishino, T. Kanazawa, P-wave velocity structure of the margin of the southeastern Tsushima Basin in the Japan Sea using ocean bottom seismometers and airguns, *Tectonophysics*, 412, 2006

T. Sato, T. No, S. Kodaira, N. Takahashi, Y. Kaneda, Seismic constraints of the formation process on the back-arc basin in the southeastern Japan Sea, *Journal of Geophysical Research: solid Earth*, 2014

M. Shinohara, N. Hirata, H. Nambu, K. Suyehiro, T. Kanazawa, H. Kinoshita, Detailed crustal structure of northern Yamato Basin, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, vol.127/128, Part.2, 1992

Terakawa and Matsu'ura, The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events, *Tectonics*, vol. 29, DOI:10.1029/2009TC002626, 2010

西坂弘正, 篠原雅尚, 佐藤利典, 日野亮太, 望月公廣, 笠原順三, 海底地震計と制御震源を用いた北部大和海盆, 秋田沖日本海東縁部海陸境界域の地震波速度構造, *地震*, 第 54 巻, 2001

徳山他, 日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史, *海洋調査技術*, 第 13 巻 第 1 号, p. 27-53, 2001

九州電力株式会社, 玄海原子力発電所 対馬周辺海域における海上音波探査結果, 2013

九州電力株式会社, 玄海原子力発電所 警固断層帯及び壱岐北東部断層群周辺海域における海上音波探査結果, 2013

日本海における大規模地震に関する調査検討会 海底断層ワーキンググループ 報告書, 2014

3. 3 海域における断層モデルの構築

(1)業務の内容

(a) 業務題目 海域における断層モデルの構築

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所	領域長	藤原 広行
	総括主任研究員	平田 賢治
	主任研究員	中村 洋光
	主幹研究員	大角 恒雄
	主任研究員	森川 信之
	主任研究員	前田 宜浩

(c) 業務の目的

サブテーマ(2)で再解析・解釈して求めた日本周辺海域の3次元断層分布から、断層面の広がり大きい主断層を抽出し、断層モデルを構築する。M7程度以上であると推定されるもので、かつ、津波や地震動の記録が存在する地震の震源断層と考えられるものについては、地震動と津波のシミュレーションを行うことにより、構築した断層モデルの妥当性を検証する。モデル構築及びシミュレーションについては、必要に応じて地震調査研究推進本部地震調査委員会の下に設置された評価部会等に報告し、その議論も踏まえて進める。また、断層分布と地殻内の変形構造との整合性を確認する。

(d) 7カ年の年次実施業務の要約

1) 平成 25 年度：

サブテーマ(1)での DB 構築と平行して、断層モデルの構築手法を検討した。

2) 平成 26 年度：

解釈を終えた日本海の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在する M7 程度以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行う。

3) 平成 27 年度：

解釈を終えた日本海の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在する M7 程度以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行う。

4) 平成 28 年度：

解釈を終えた南海トラフ・南西諸島海域の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在する M7 程度以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行う。断層モデル例を公開システムの仕様検討担当のサブテーマ(1)に提供を行う。

5) 平成 29 年度 :

解釈を終えた南海トラフ・伊豆小笠原海域の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在する M7 程度以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行う。

6) 平成 30 年度 :

解釈を終えた日本海溝・十勝沖の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在する M7 程度以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行う。

7) 平成 31 年度 :

解釈を終えた十勝沖・オホーツク海の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在する M7 以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行う。評価した断層モデル全体をとりまとめ、データ公開システム上での検索・表示内容の検証を行う。

(2) 平成 26 年度の成果

(a) 業務の要約

当該年度においては、津波や地震動の元となる断層モデルの構築手法を検討した。その際、サブテーマ(1)、(2)の検討から得られる主断層の断層パラメータの確からしさ等の質の違いに応じたモデル化を考慮した。また、構築した断層モデルの妥当性を、津波や地震動のシミュレーションを用いて検証するための手法を検討した。具体的には、自治体の被害想定を含む既往の津波波源の検討結果等を踏まえ、日本海で発生した過去の津波や地震動の記録を中心に、系統的に収集・整理し、それらとシミュレーション結果を比較すること等により断層モデルの妥当性を検証する手法を検討した。

これらの手法を用いることで、次年度以降、抽出した断層について断層モデルの構築を進める。

(b) 業務の実施方法

日本海地域の海域の活断層の活動によるものと考えられる既往の歴史地震津波の波源にかかわる想定断層モデルを整理し、その結果を踏まえて、データが不完全な場合も考慮し、本プロジェクトで提供される断層についてのデータを用いて断層パラメータの不確実性を含む断層モデルを構築する方法を検討した。また、既往文献を参考に今回得られた断層モデルに対し、津波シミュレーションを実施し、津波痕跡値の比較を行なった。断層モデルに基づく地震動指標（震度など）を評価し、歴史資料あるいは観測資料との適合を確認した。津波の予測では、日本海海域全域の津波予測計算用地形データ（海底及び沿岸で遡上の可能性のある範囲を含む）を作成して計算を行った。さらに、震源不特定の地震の断層モデルを設定するため、代表的な想定波源断層についてパラメータスタディを実施し、日本海海域に設定した断層モデルの各パラメータの違いが沿岸の津波の波高にどれだけ影響するかを検討した。

(c) 業務の成果

(I) 準備

①日本海海域における地震・津波に関する既往資料の収集整理

a) 概要

今年度の作業としては、昨年度の成果を用いて、既往地震のうちの代表的なもの（M7クラス以上）について断層モデルの検証を行うための資料を整理した。

b) 収集整理結果

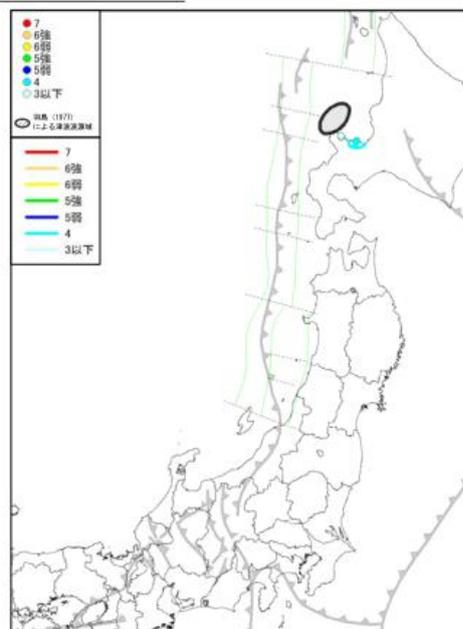
日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書（2014）を参考に、日本海東縁で発生したM7クラス以上の地震を表I.1-1に示した。表I.1-1で示した既往地震のうち、検証の対象とした地震は、1792年北海道西方沖地震（M7.1）、1793年鯨ヶ沢地震（M7.0）、1804年象潟地震（M7.0）及び1833年庄内沖の地震（M7.7）、1940年神威岬地震（M7.5）及び1971年サハリン西方沖地震（M6.9）の6つの地震を選定した。

図I.1-aから図I.1-fに、上述した6つの地震の震度分布と津波高さの分布を示した。

表 I.1-1 日本海東縁で発生した M7 クラス以上の地震。マグニチュードは、宇津（1999）及び気象庁による（赤色の行は検討の対象とした地震）。

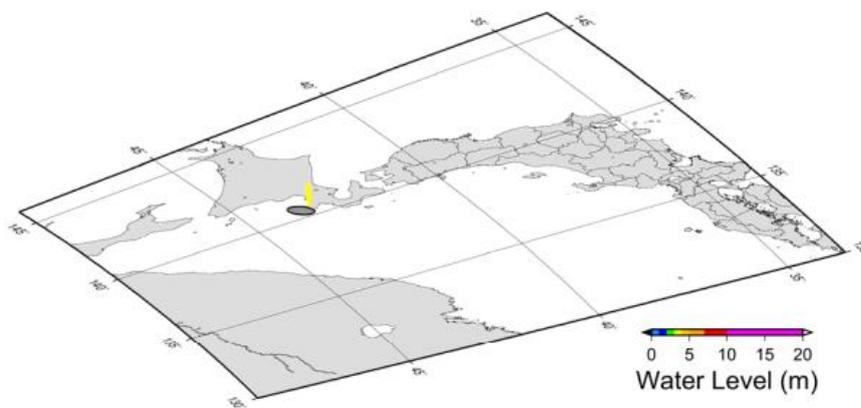
地震名	発生年月日	マグニチュード
1741年渡島大島津波	1741/08/29	-
1792年北海道西方沖地震	1792/06/13	7.1
1793年鯨ヶ沢地震	1793/02/08	7.0
1804年象潟地震	1804/07/10	7.0
1833年庄内沖の地震	1833/12/07	7.7
1940年神威岬地震	1940/08/02	7.5
1964年新潟地震	1964/06/16	7.5
1971年サハリン西方沖地震	1971/09/06	6.9
1983年日本海中部地震	1983/05/26	7.7
1993年北海道南西沖地震	1993/07/12	7.8

1792年北海道西方沖地震 (M=7.1)



(1) 1792年北海道西方沖地震震度分布

- ・震度分布：宇佐美（1994）
- ・波源域：羽鳥・片山（1977）

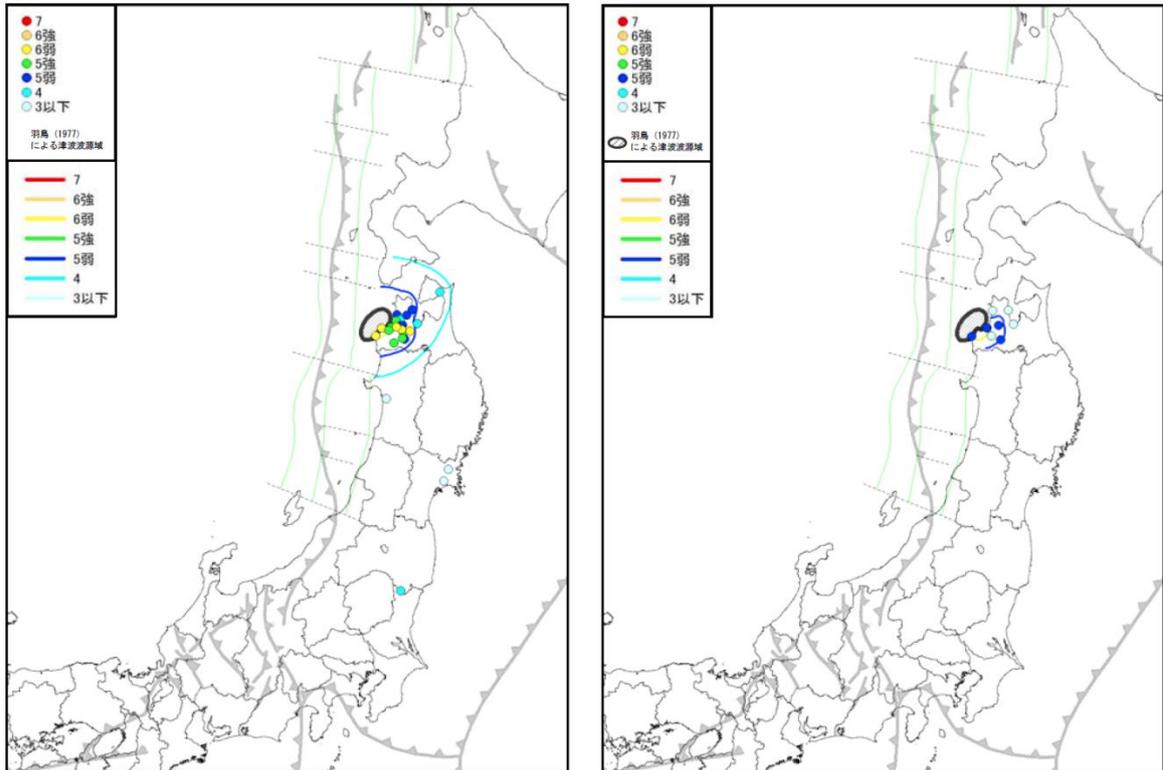


(2) 1792年北海道西方沖地震 (M=7.1) 津波高さ分布

- ・津波高：羽鳥・片山（1977）
- ・波源域：羽鳥・片山（1977）

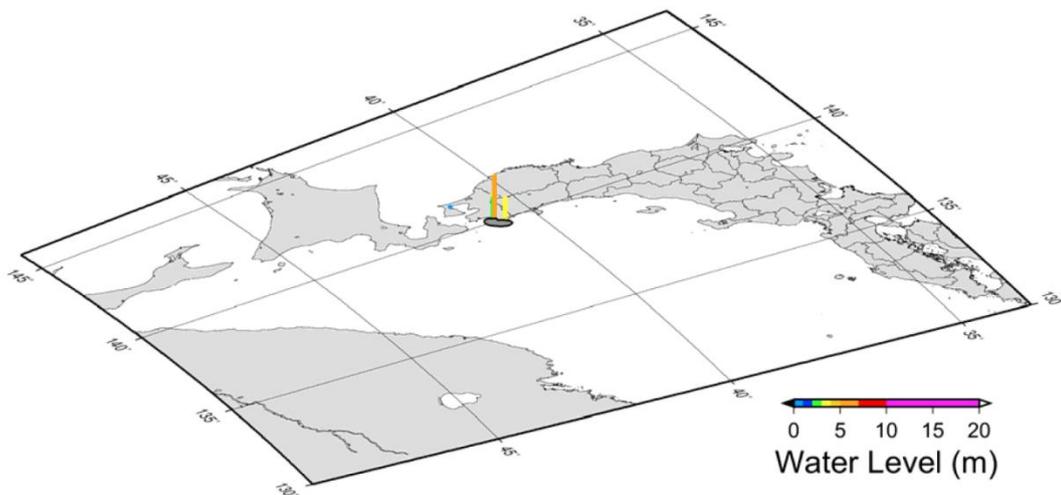
図 I .1-a 1792年北海道西方沖地震における既往地震の震度分布(1)と津波高さ分布(2)
(日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014から抜粋)

1793 年鯨ヶ沢地震 (M=7.0)



(1) 1793 年鯨ヶ沢地震震度分布
 ・震度分布：宇佐美 (1994)
 ・波源域：羽鳥・片山 (1977)

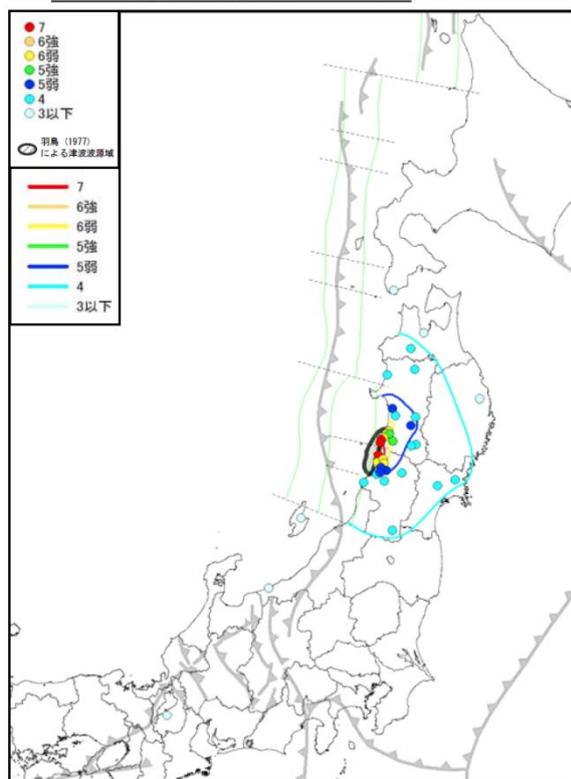
(2) 1793 年鯨ヶ沢地震震度分布
 ・震度分布：宇佐美 (2003)
 ・波源域：羽鳥・片山 (1977)



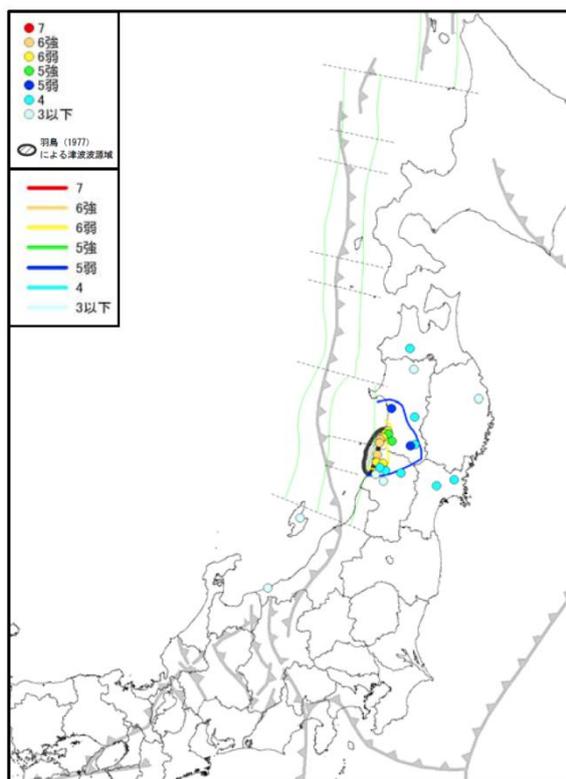
(3) 1793 年鯨ヶ沢地震 (M=7.0) 津波高さ分布
 ・津波高：羽鳥 (1987)
 ・波源域：羽鳥・片山 (1977)

図 I.1-b 1793 年鯨ヶ沢地震における既往地震の震度分布(1, 2)と津波高さ分布(3) (日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014 から抜粋)

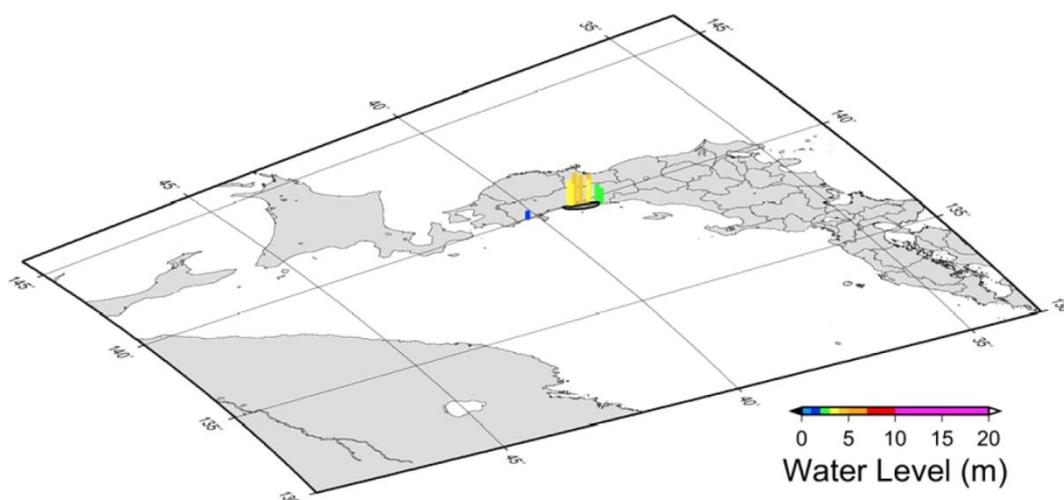
1804 年象潟地震 (M=7.0)



(1). 1804 年象潟地震震度分布
 ・震度分布：宇佐美 (1994)
 ・波源域：羽鳥・片山 (1977)



(2) 1804 年象潟地震震度分布
 ・震度分布：宇佐美 (2003)
 ・波源域：羽鳥・片山 (1977)



(3) 1804 年象潟地震 (M=7.0) 津波高さ分布
 ・津波高：羽鳥 (1986)
 ・波源域：羽鳥・片山 (1977)

図 I.1-c 1804 年象潟地震における既往地震の震度分布 (1, 2) と津波高さ分布 (3) (日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014 から抜粋)

1833 年庄内沖の地震 (M=7.7)

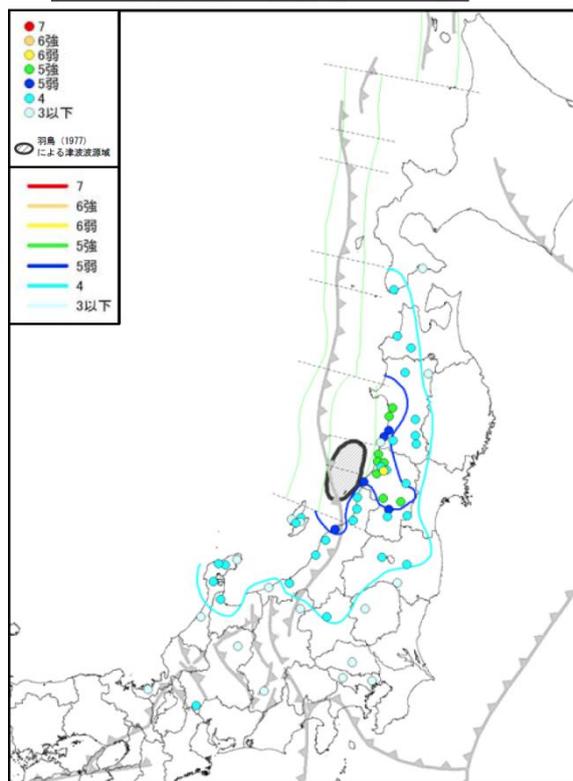


図 6(1) 1833 年庄内沖の地震震度分布

- ・震度分布：宇佐美 (1994)
- ・波源域：羽鳥・片山 (1977)

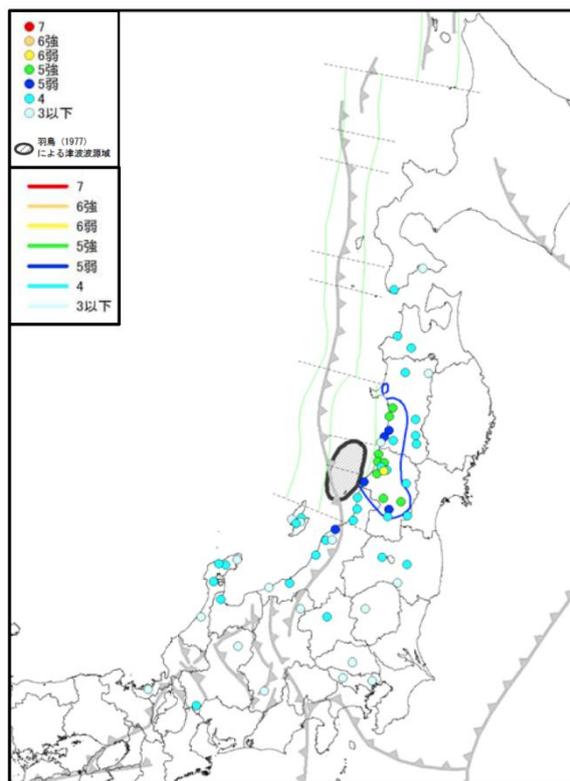


図 6(2) 1833 年庄内沖の地震震度分布

- ・震度分布：宇佐美 (2003)
- ・波源域：羽鳥・片山 (1977)

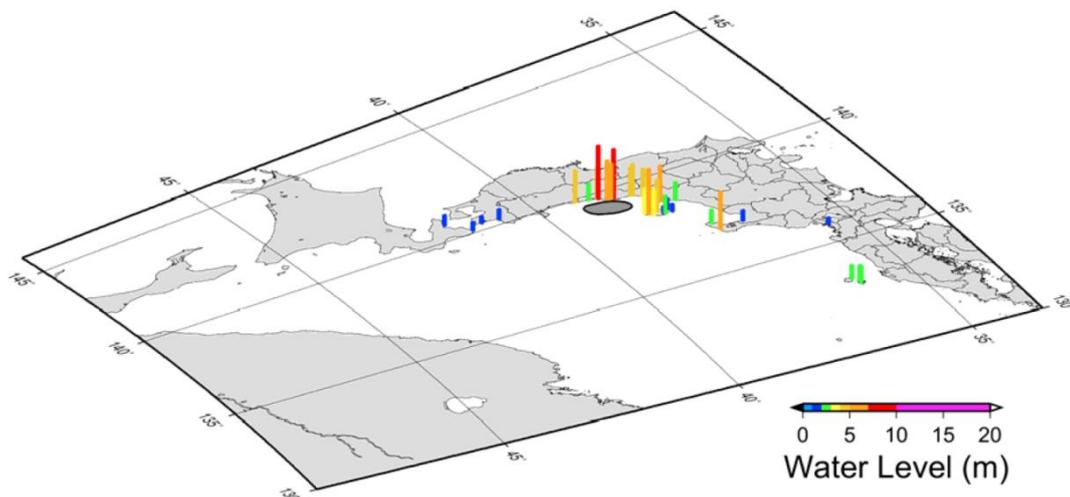
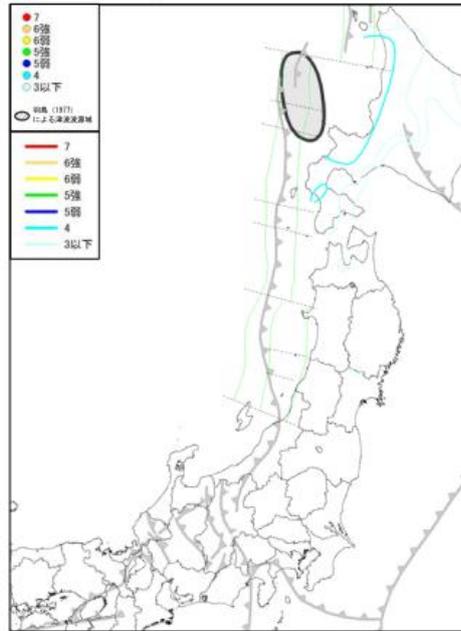


図 6(3) 1833 年庄内沖の地震 (M=7.7) 津波高さ分布

- ・津波高：羽鳥 (1990)
- ・波源域：羽鳥・片山 (1977)

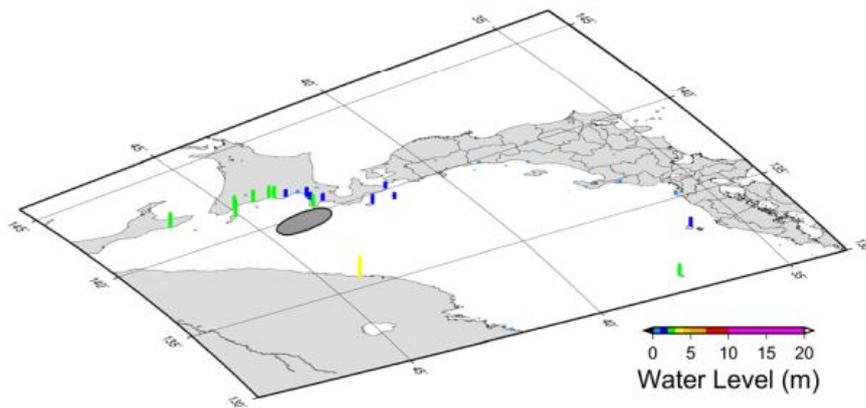
図 I.1-d 1833 年庄内沖地震における既往地震の震度分布 (1, 2) と津波高さ分布 (3) (日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014 から抜粋)

1940年積丹半島沖津波 (M=7.5)



(1) 1940年積丹半島沖津波震度分布

- ・震度分布：宇佐美 (2003)
- ・波源域：羽鳥・片山 (1977)

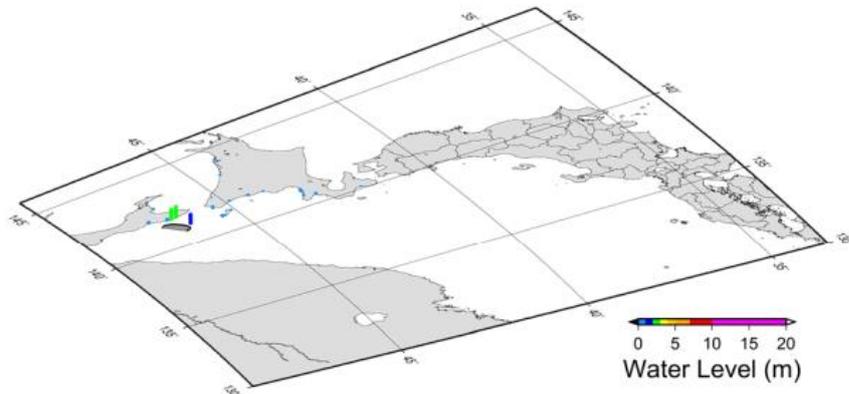


(2) 1940年積丹半島沖津波 (M=7.5) 津波高さ分布

- ・津波高：渡辺 (1998)
- ・波源域：羽鳥・片山 (1977)

図 I .1-e 1940年神威岬地震における既往地震の震度分布(1)と津波高さ分布(2) (日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014 から抜粋)

1971年サハリン西方沖地震 (M=6.9)



(1) 1971年サハリン西方沖地震 (M=6.9) 津波高さ分布
・津波高：渡辺 (1998)
・波源域：羽鳥 (1972)

図 I.1-f 1971年サハリン西方沖地震における既往地震の津波高さ分布 (1) 震度分布はなし (日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014 から抜粋)

本検討で対象とした地震、1792年北海道西方沖地震、1940年神威岬地震及び1971年サハリン西方沖地震の震源域と、日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書による断層モデルの位置を図 I.1-2-aに、また1793年鱒ヶ沢地震、1804年象潟地震及び1833年庄内沖地震の震源域と、日本海における大規模地震に関する調査検討会によって設定された断層モデルの位置を図 I.1-2-bに示す。図 I.1-2 から、1833年庄内沖の地震や1940年神威岬地震の震源域付近に断層モデルが比較的多く設定されていることがわかる。

1940年神威岬地震の断層モデルと本プロジェクト (サブテーマ(2)) で設定された断層との関係は、表 I.1-3 に示す。

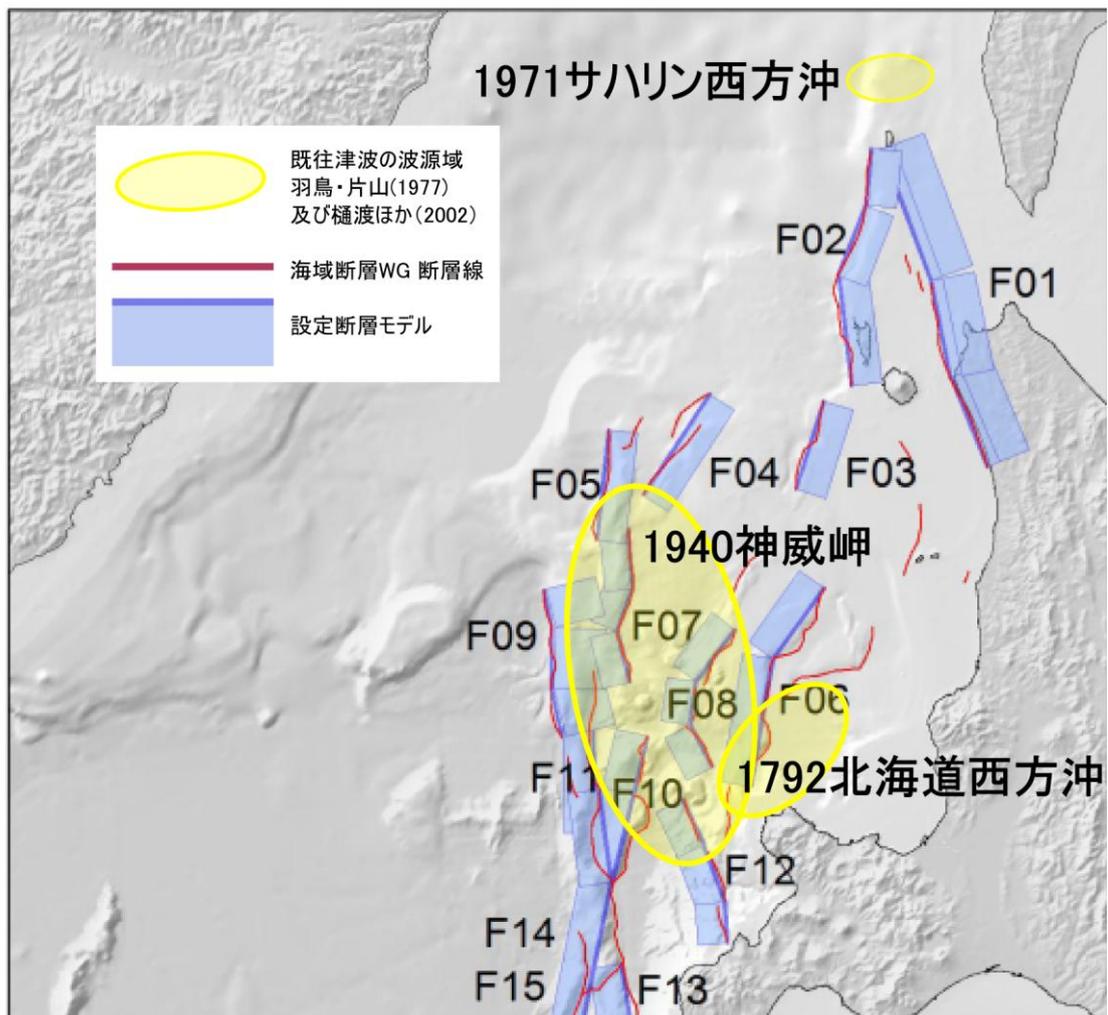


図 I.1-2-a 既往地震の波源域（黄）と日本海における大規模地震に関する調査検討会による断層モデル（青）の位置
 （日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014 から抜粋し波源域を加筆）

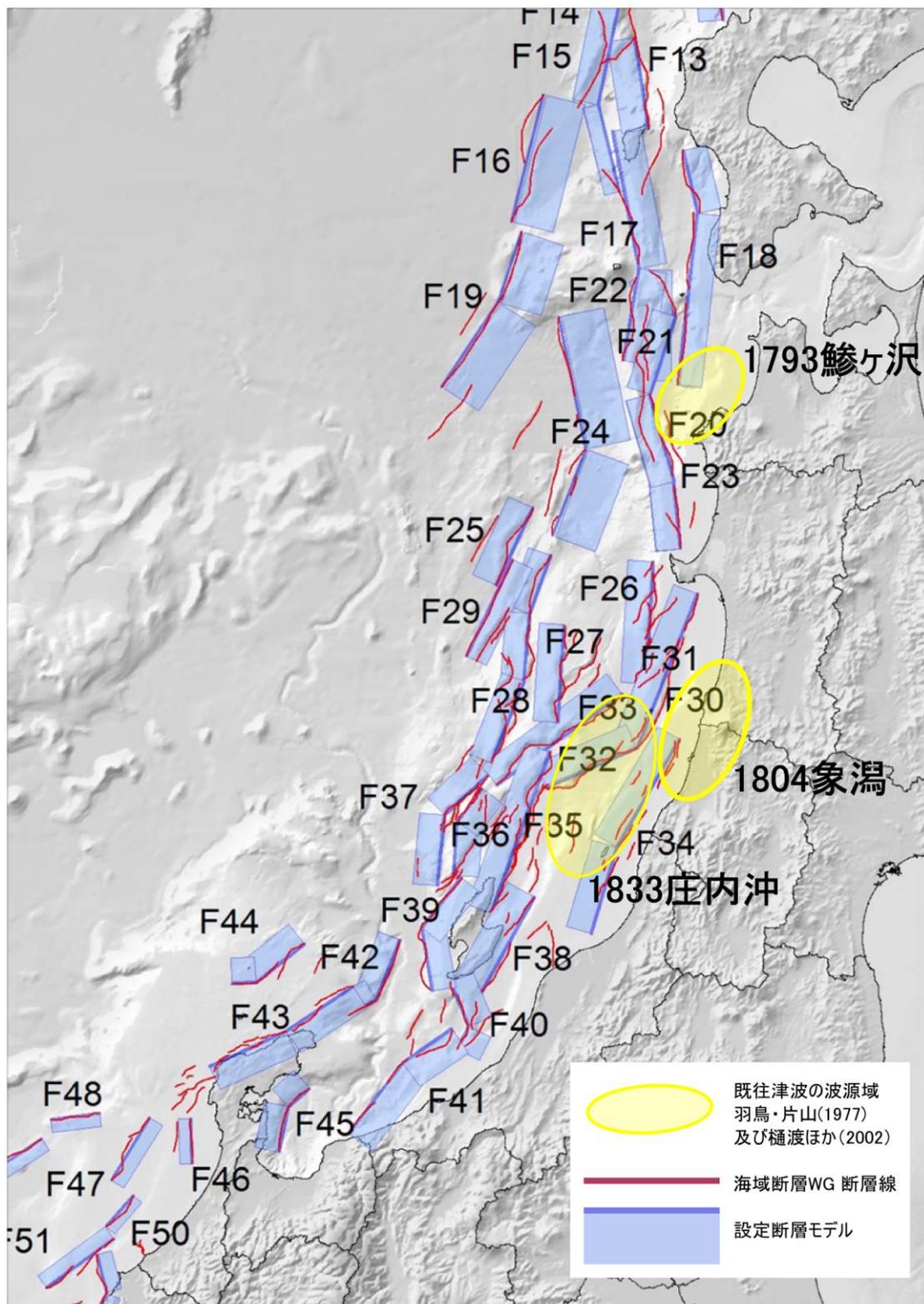


図 I.1-2-b 既往地震の波源域（黄）と日本海における大規模地震に関する調査検討会による断層モデル（青）の位置
 （日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014 から抜粋し波源域を加筆）

1940年神威岬地震の断層モデルを検証に用いるために、震源域に対応している断層モデルを整理した。震源域と日本海における大規模地震に関する調査検討会によって設定された断層モデルの位置との比較（図 I.1-2-a）から、1940年神威岬地震の震源域付近にある断層モデルはF07、F08及びF09である。また、神威岬地震の主な既往研究に、Satake(1986)、Fukao and Furumoto (1975)、Okamura *et al.* (2005)らが検討した断層モデルがある。これらの断層モデルのパラメータを表 I.1-3 にまとめた。

日本海における大規模地震に関する調査検討会による断層モデル F07 と F08 の走向の角度は、他の断層モデルの走向と比べ 180° の違いが生じている（表 I.1-3）。また、Fukao and Furumoto (1975)の断層モデルの断層長さが他の断層モデルと比べ、およそ 2 倍長い。

表 I.1-3 1940年神威岬地震の震源域付近で設定されている断層モデルのパラメータ
（日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014に Okamura *et al.* (2005)を加筆）

断層モデル名	出典	Mw	緯度 deg N	経度, deg E	上端深さ, km	走向, deg	傾斜, deg	すべり角, deg	断層長さ, km	断層幅, km	平均すべり量, m
F07	日本海調査検討会	7.4	44.5843	139.5556	2.4	176	45	54	29.0	17.9	3.70
			44.3286	139.5818		201	45	76	21.6	17.9	
			44.1416	139.4856		167	45	48	25.3	17.9	
F08	日本海調査検討会	7.4	44.1467	140.1912	2.0	218	45	93	31.3	18.4	3.75
			43.9197	139.9500		189	45	77	20.9	18.4	
			43.7285	139.9106		153	45	63	23.1	18.4	
F09	日本海調査検討会	7.6	43.6888	139.1853	4.0	347	30	103	24.4	27.9	4.78
			43.8979	139.1166		2	30	104	29.2	27.9	
			44.1640	139.1298		347	30	103	18.8	27.9	
Fukao1975	Fukao and Furumoto, 1975	7.6	42.82	139.03	-	0	46	90	170	50	1.10
Satake1986_E2	Satake, 1986	7.4	43.73	139.53	0.0	347	40	90	100	35	1.50
Okamura2005	Okamura <i>et al.</i> , 2005	7.5	44.57	139.34	-	22	45	-	42	16	1.64
			44.55	139.58	-	184	45	-	42	16	2.23
			44.17	139.48	-	162	45	-	37	16	2.74
			43.69	139.13	-	0	45	-	53	16	0.58

なお、1940年神威岬地震の断層モデルと本プロジェクト（サブテーマ(2)）で設定された断層との関係は、

F07= HKD-38_M3_0108_E, HKD-22（以下同じのため省略）

F08= HKD-34, HKD-35, HKD-36

F09= HKD-21

となる。

②津波予測計算用地形データの修正

a) 概要

検証方法の妥当性を評価するための津波予測計算に必要となる海底及び沿岸の地形データについて、長崎県周辺の海域を新たに作成・追加した。

b) 修正したデータ

新たに作成・追加した長崎県周辺の海域を含む領域は、450m メッシュの領域 No. 10 (図 I. 2-2) と 150m メッシュの領域 No. 24 から No. 27 (図 I. 2-3) である。新たに作成・追加した領域における座標やサイズなどの諸元を表 I. 2-2 と表 I. 2-3 に示す。地形データは表 I. 2-1 に示した資料や基礎データに基づき作成した。地形データの座標は、UTM 座標(53 帯)で、測地系は世界測地系である。また、データの取扱いの便を考え、擬東経+500,000m を与えた。

表 I.2-1 地形モデル作成のための基礎データ一覧

資料名	最小メッシュのデータの範囲、 各領域のメッシュサイズ、 座標系	発行年等
日本海の津波調査業務 (中央防災会議)	<ul style="list-style-type: none"> ・北海道オホーツク海～山口県の沿岸 ・1350m、450m、150m、50m メッシュ ・東経 139° を中心とした UTM 座標(旧測地) 	平成 19 年 3 月
津波に関する防災アセスメント調査(福岡県)	<ul style="list-style-type: none"> ・福岡県沿岸 ・2430m、810m、270m、90m、30m、10m メッシュ ・平面直角座標系 I 系(世界測地) 	平成 24 年 3 月
海溝型地震津波想定に関する報告	<ul style="list-style-type: none"> ・長崎県沿岸 ・1350m、450m、150m、50m、25m、12.5m メッシュ ・平面直角座標系 I 系(世界測地) 	平成 24 年 3 月

図 I. 2-4 に各領域の位置を示す。波源域から沿岸域までを一括して計算するため、外洋から陸域に近づくほど細かい格子間隔となるように 1:3 の割合で計算格子を細分化する方法で地形モデルを構成し、外洋部から 1350m、450m、150m、50m の空間格子間隔で接続した。格子間隔ごとの領域数は、新たに追加した領域を含めると以下のとおりになる。

- ・ 1350m メッシュ領域 : 1 領域
- ・ 450m メッシュ領域 : 10 領域
- ・ 150m メッシュ領域 : 27 領域
- ・ 50m メッシュ領域 : 55 領域

収集した地形データに対して補間を行った。補間の方法は、収集した地形データから TIN(Triangulated Irregular Network: 三角形不規則網)を作成し、線形補間により各計算格子に対して格子中心での標高を与える手法を用いた (図 I. 2-1 参照)。

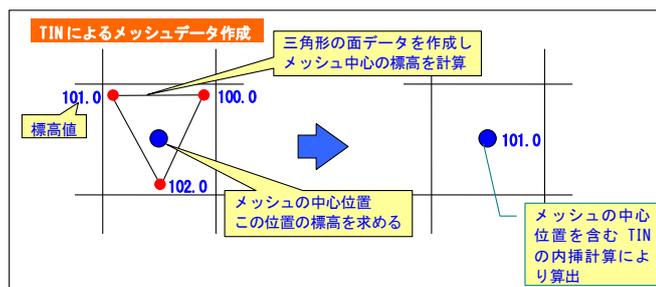


図 I.2-1 TIN 法の概念図

表 I.2-2 450m メッシュ領域のサイズ及び位置（赤色の行は新たに作成・追加した領域）

領域 No.	メッシュ サイズ (m)	南西端の位置		北東端の位置		メッシュ個数		上位接 続領域
		X 座標 (m)	Y 座標 (m)	X 座標 (m)	Y 座標 (m)	X 方向	Y 方向	領域 No.
0450-01	450	935,550	4,870,800	1,362,150	5,170,500	948	666	1350-01
0450-02	450	827,550	4,768,200	1,111,050	5,170,500	630	894	1350-01
0450-03	450	797,850	4,509,000	1,067,850	4,868,100	600	798	1350-01
0450-04	450	818,100	4,357,800	1,088,100	4,708,800	600	780	1350-01
0450-05	450	747,900	4,095,900	977,400	4,471,200	510	834	1350-01
0450-06	450	580,500	4,025,700	939,600	4,284,900	798	576	1350-01
0450-07	450	448,200	3,898,800	756,000	4,217,400	684	708	1350-01
0450-08	450	249,750	3,877,200	619,650	4,133,700	822	570	1350-01
0450-09	450	37,800	3,732,750	383,400	4,045,950	768	696	1350-01
0450-10	450	-176,850	3,547,150	179,550	3,941,350	792	876	1350-01

表 I.2-3 150m メッシュ領域のサイズ及び位置（赤色の行は新たに作成・追加した領域）

領域 No.	メッシュ サイズ (m)	南西端の位置		北東端の位置		メッシュ個数		上位接 続領域
		X座標(m)	Y座標(m)	X座標(m)	Y座標(m)	X方向	Y方向	領域 No.
0150-01	150	1,219,050	4,896,000	1,345,050	4,993,200	840	648	0450-01
0150-02	150	1,119,150	4,892,850	1,258,650	5,002,650	930	732	0450-01
0150-03	150	1,043,550	4,939,200	1,161,450	5,066,100	786	846	0450-01
0150-04	150	941,400	4,988,250	1,082,700	5,125,050	942	912	0450-02
0150-05	150	965,250	4,881,150	1,060,650	5,010,750	636	864	0450-02
0150-06	150	947,250	4,785,300	1,051,650	4,911,300	696	840	0450-02
0150-07	150	900,000	4,733,550	1,035,900	4,860,450	906	846	0450-03
0150-08	150	836,550	4,647,600	949,950	4,766,400	756	792	0450-03
0150-09	150	835,200	4,572,450	939,600	4,706,550	696	894	0450-03
0150-10	150	891,900	4,516,200	1,059,300	4,660,200	1,116	960	0450-04
0150-11	150	873,900	4,391,550	960,300	4,566,150	576	1,164	0450-04
0150-12	150	870,300	4,294,350	952,200	4,432,050	546	918	0450-05
0150-13	150	825,750	4,189,050	929,250	4,318,650	690	864	0450-05
0150-14	150	751,050	4,098,600	906,750	4,278,600	1,038	1,200	0450-06
0150-15	150	641,700	4,059,900	794,700	4,176,900	1,020	780	0450-06
0150-16	150	614,250	4,061,250	731,250	4,209,750	780	990	0450-06
0150-17	150	565,200	3,966,300	672,300	4,100,400	714	894	0450-07
0150-18	150	479,700	3,917,700	607,500	3,994,200	852	510	0450-07
0150-19	150	376,200	3,917,700	499,500	3,989,700	822	480	0450-08
0150-20	150	270,900	3,900,150	392,400	4,037,850	810	918	0450-08
0150-21	150	190,800	3,833,550	314,100	3,947,850	822	762	0450-09
0150-22	150	89,100	3,791,700	228,600	3,886,200	930	630	0450-09
0150-23	150	64,350	3,738,150	147,150	3,829,050	552	606	0450-09
0150-24	150	27,900	3,695,650	139,500	3,827,950	744	882	0450-10
0150-25	150	-32,400	3,600,700	95,400	3,773,500	852	1,152	0450-10
0150-26	150	-66,150	3,774,850	23,850	3,871,150	600	642	0450-10
0150-27	150	-113,400	3,608,350	-29,700	3,712,750	558	696	0450-10

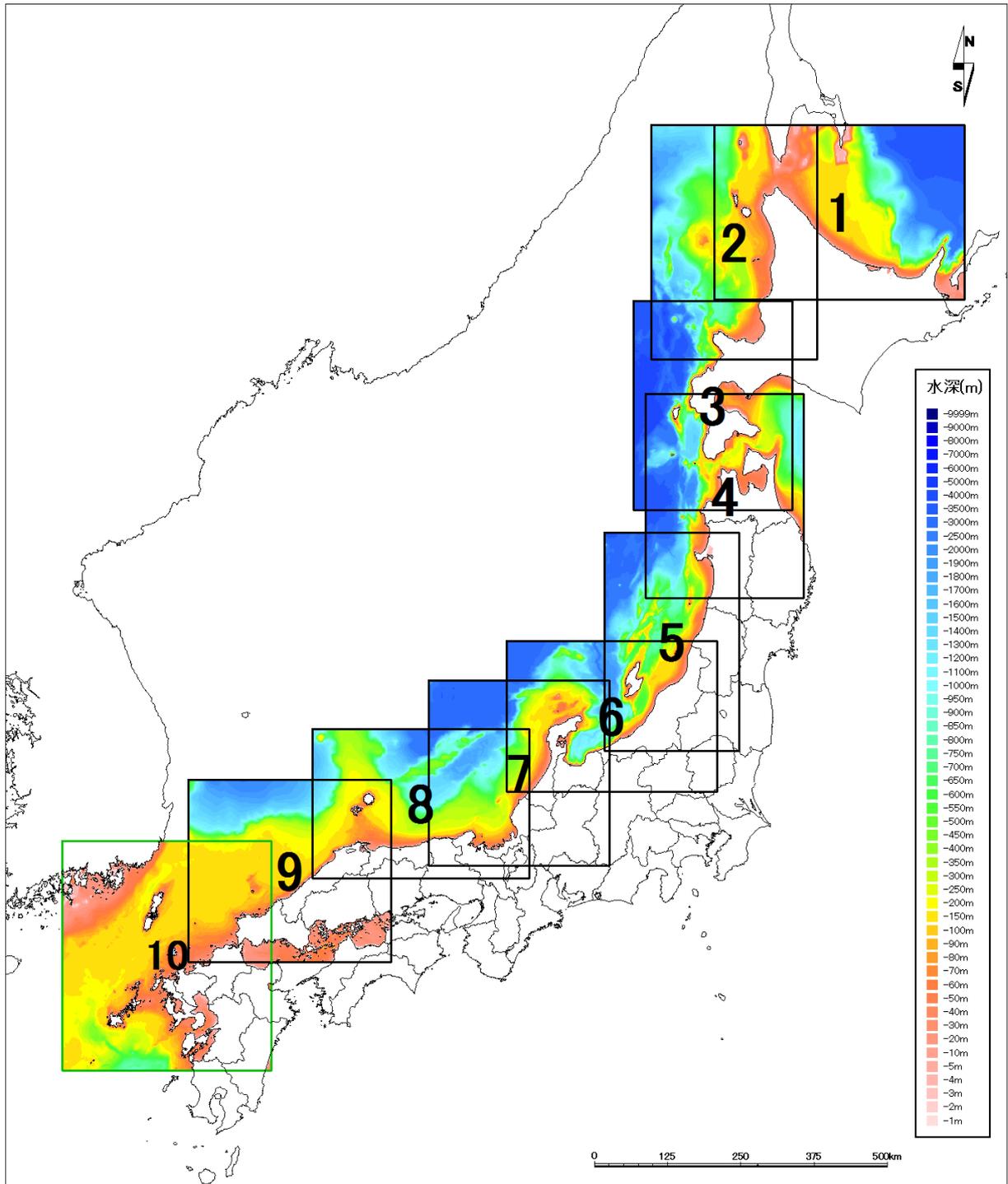


図 I.2-2 450m メッシュ領域の位置図（緑：新たに作成・追加した領域）

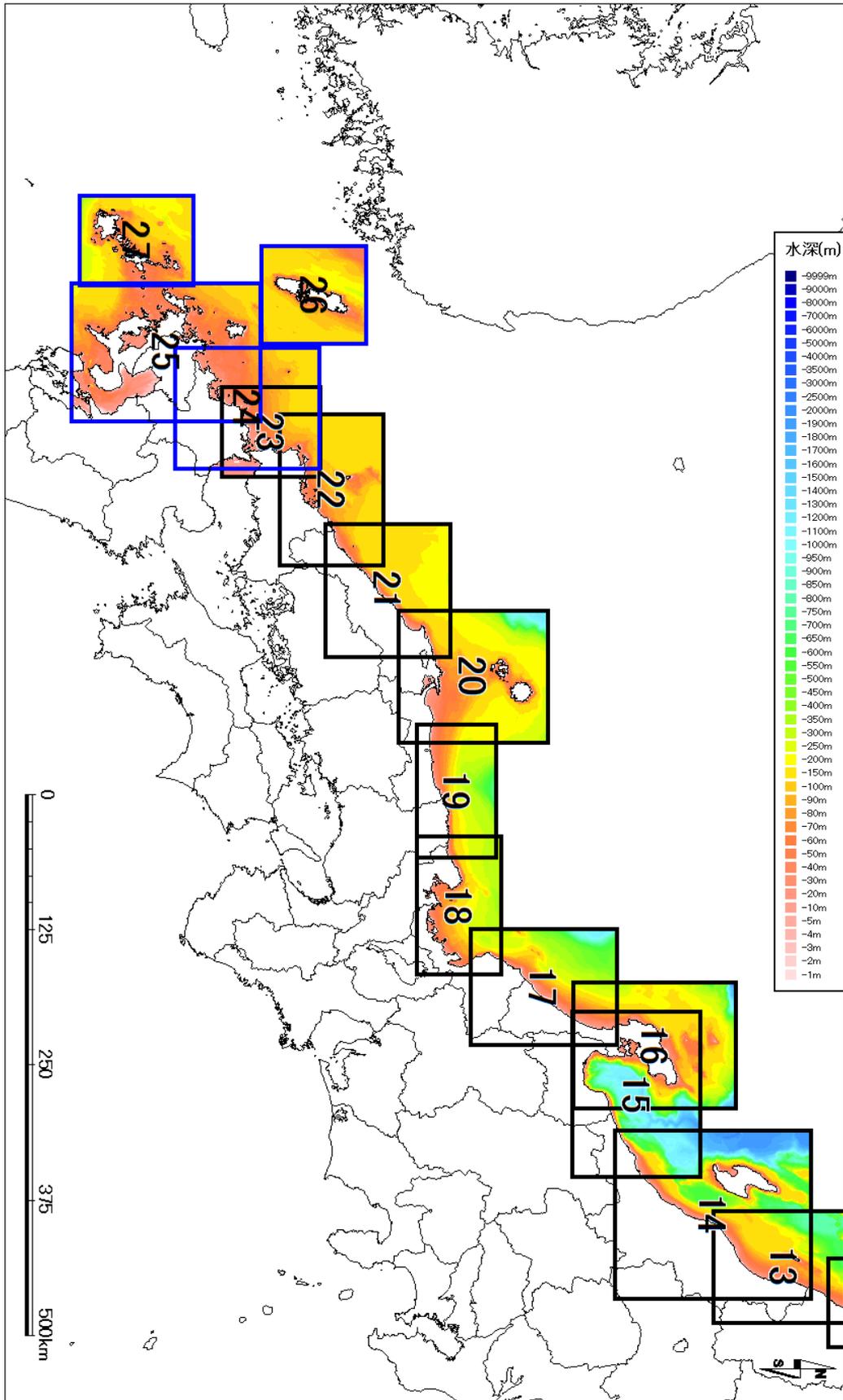


図 I.2-3 150m メッシュ領域の位置図（青：新たに作成・追加した領域）

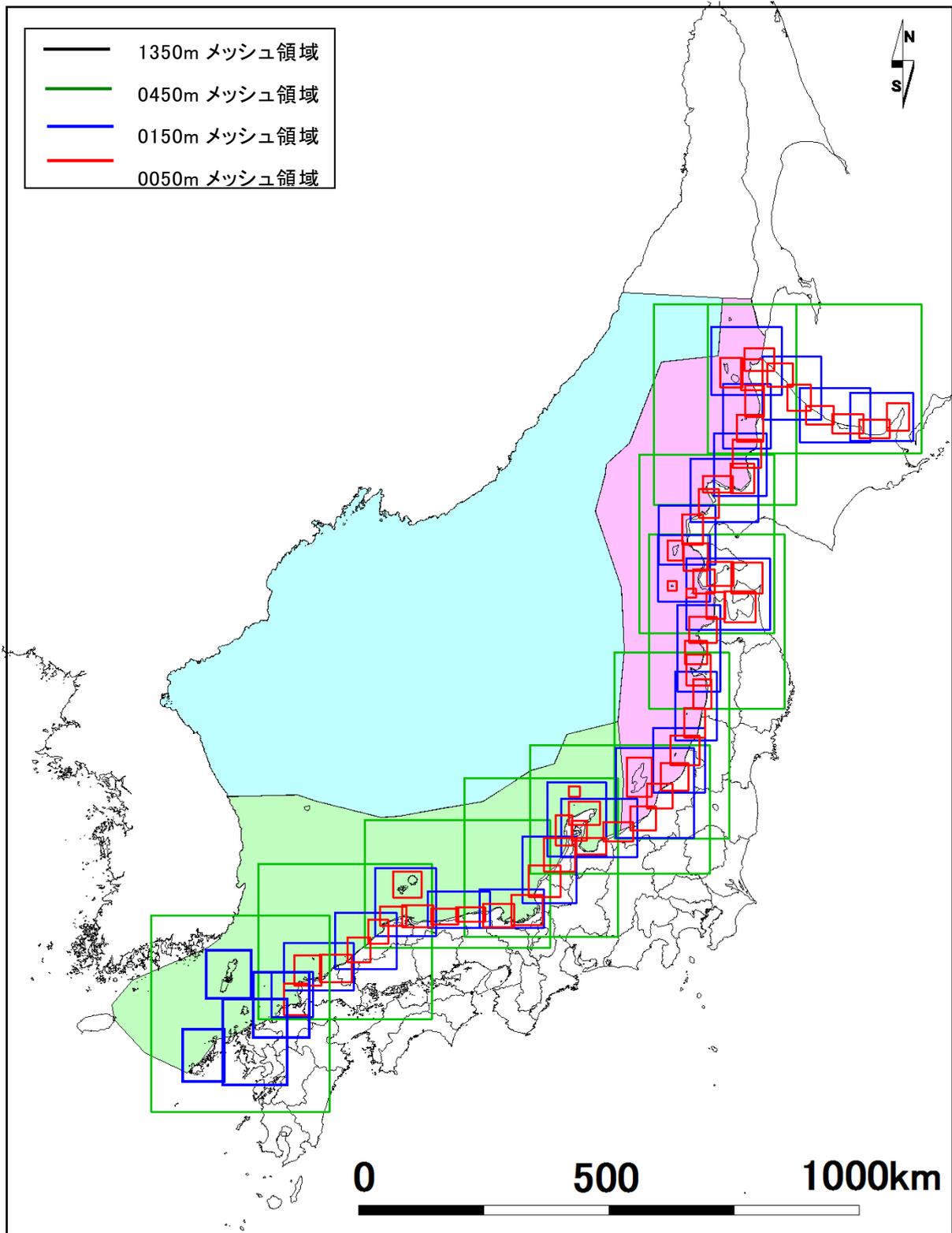


図 I.2-4 各メッシュ領域の位置図

③ 断層モデルパラメータの不確実性に関する既往研究事例の整理

a) 概要

海域における断層モデルの構築手法の検討においては断層解釈の不確実性を踏まえた断層モデルを構築する必要がある。そのため、これまでの研究事例において、海域における断層の位置、走向、傾斜、すべり角度、すべり量、発生層厚さから決まる断層幅等パラメータを目的に応じて検討した事例を収集し整理した。

b) 対象とする文献

対象とした文献を以下の表 I.3-1 にまとめた。

表 I.3-1 不確実性に関するレビューの対象とした文献

No	文献名	発行年	著者
地震 1	「全国を概観した地震動予測地図」報告書	2005	地震調査研究推進本部 地震調査委員会
津波 1	原子力発電所の津波評価技術	2002/10	土木学会 原子力土木委員会
津波 2	確率論的津波ハザード解析の方法	2011/9	土木学会 原子力土木委員会
津波 3	原子力安全基盤調査研究 津波波源モデルの精度向上に関する研究	2010 年度	原子力安全基盤機構

c) 整理の方法

該当文献から目的に応じて不確実性を持たせた断層パラメータのばらつきの手法及び地震動、津波波高等の結果に与える影響を抽出する。そのため、各文献において以下の各項目を整理することとする。

- 1) 不確実性を持たせた断層パラメータ
- 2) パラメータのふり幅（最大、最小）及び刻み幅
- 3) 結果に与えた影響度
- 4) その他

d) 既往文献事例

i) 地震1 「全国を概観した地震動予測地図」報告

「全国を概観した地震動予測地図」（地震調査推進研究本部地震調査委員会，2006）は、日本全国の地震による強い揺れの危険性の評価を確率論的ハザード評価の手法を用いて実施したものであり、日本全国の範囲で様々な種類の地震を対象としたハザード評価として参考となる既往研究である。以下に、「全国を概観した地震動予測地図」において不確実性を持たせた断層パラメータとその取扱いについて説明する。

「全国を概観した地震動予測地図」では、地震の規模と震源の位置の不確実性の扱いについて、「震源断層を予め特定できる地震」と「震源断層を予め特定しにくい地震」で区別している。「震源断層を予め特定できる地震」は長期評価によって震源断層が特定された主要活断層帯で発生する地震や海溝型地震であり、規模や震源断層の位置を特定してハザード評価を行うが、断層パラメータの不確実性は陽には考慮されていない。一方で、「震源断層を予め特定しにくい地震」は活断層が知られていないところで発生する内陸の浅い地震や海溝型の中小地震などであり、地震の一つ一つについて事前に発生場所、規模、発生確率を特定することが困難であるため、地震群としての特徴を確率モデルで表現している。具体的には、あるマグニチュードの地震の発生確率を過去の観測記録から推定し、マグニチュード毎の発生確率が b 値 0.9 の G-R 則に従うものと仮定してマグニチュード毎に分配し、発生位置については特定の地域の範囲で空間的に均等な確率で発生するものとして確率を計算している。

一方で、「全国を概観した地震動予測地図」では、地震動強さを距離減衰式とそのばらつき（標準偏差）を用いて評価しているが、断層のメカニズム やアスペリティ分布などの不確実性が距離減衰式のばらつきの要因の一つとして扱われている。距離減衰式のばらつきの要因は、大きく次の3つに分けられる。

- ・ サイト特性
- ・ 伝播経路特性
- ・ 震源特性

ばらつきの要因をそれぞれ定量的に評価することは困難であるため、サイト特性によるばらつきの検討として、2003年十勝沖地震を対象にしたばらつきの定量的検討でサイト補正を行った比較をしている。ここで「サイト補正」とは、観測地点ごとの観測記録と距離減衰式の推定値との比の平均値を「サイト係数」として、距離減衰式の推定値から差し引く補正である。サイト補正前のばらつきが常用対数標準偏差で約 0.22 であったのに対し、サイト補正後にはばらつきは約 0.19 となった。震源特性の不確実性に伝播経路特性の不確実性を加えた結果ではあるが、ばらつきの大きさは常用対数標準偏差で約 0.19 と評価している。

ii) 津波 1 原子力発電所の津波評価技術

断層パラメータの不確実性に関するパラメータスタディは、次の4つの領域を対象に行われている。

- ・三陸沿岸（日本海溝沿い）
- ・熊野灘沿岸（南海トラフ沿い）
- ・日本海東縁部沿岸
- ・若狭湾沿岸

パラメータスタディの実施手順は次の通りである。まず概略検討として断層の位置を動かしたパラメータスタディを実施して、対象地域で最も厳しい津波水位の結果が得られる断層位置を特定する。次にその断層位置を基準として傾斜角・走向・すべり角などの断層パラメータを変えることにより、詳細検討のパラメータスタディを実施する。最後に、詳細検討において最大となった水位が既往最大の痕跡高を包絡しているか調べ、十分大きな津波を想定できているかを考察する。数値計算における基礎方程式には非線形長波理論を用い、計算格子サイズは領域ごとに異なる。以下、本業務に関連する日本海海域のパラメータスタディ結果をまとめる。

<日本海東縁部沿岸のパラメータスタディ>

日本海東縁部沿岸では、表 I.3-2 及び図 I.3-1 に示す基準断層を対象に詳細検討のパラメータスタディを実施した。「上端深さ」「傾斜角」「走向」を対象にして次の条件でパラメータスタディを実施した。最小格子サイズは 200m である。

- ・上端深さ : 0, 2.5, 5km
- ・傾斜角 : 45°, 52.5°, 60°
- ・走向 : 基準値±10°

表 I.3-2 日本海東縁部沿岸での基準断層パラメータ（土木学会，2002 より抜粋）

走向 (°)	3°
d (km)	0
D (m)	9.44
δ (°)	60
傾斜方向	東傾斜
λ (°)	90

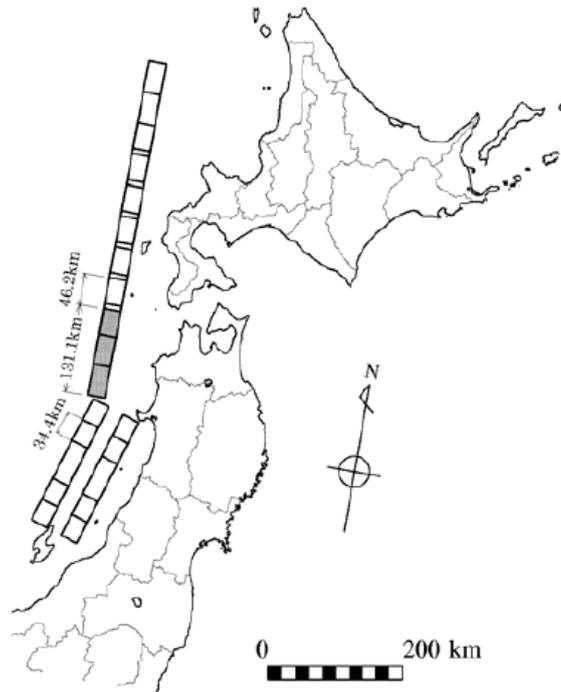


図 I.3-1 日本海東縁部沿岸の基準断層モデル設定位置（土木学会，2002 より抜粋）

パラメータの変動範囲における最大水位の最大値と最小値の比 (H_{max}/H_{min}) の頻度分布図を図 I.3-2 に示す。走向の値が結果に与える影響度が最も大きく、最大で約 2 倍の違いが生じる。3 パラメータ全てを変えた場合には、最大で約 2.8 倍の違いが生じる。

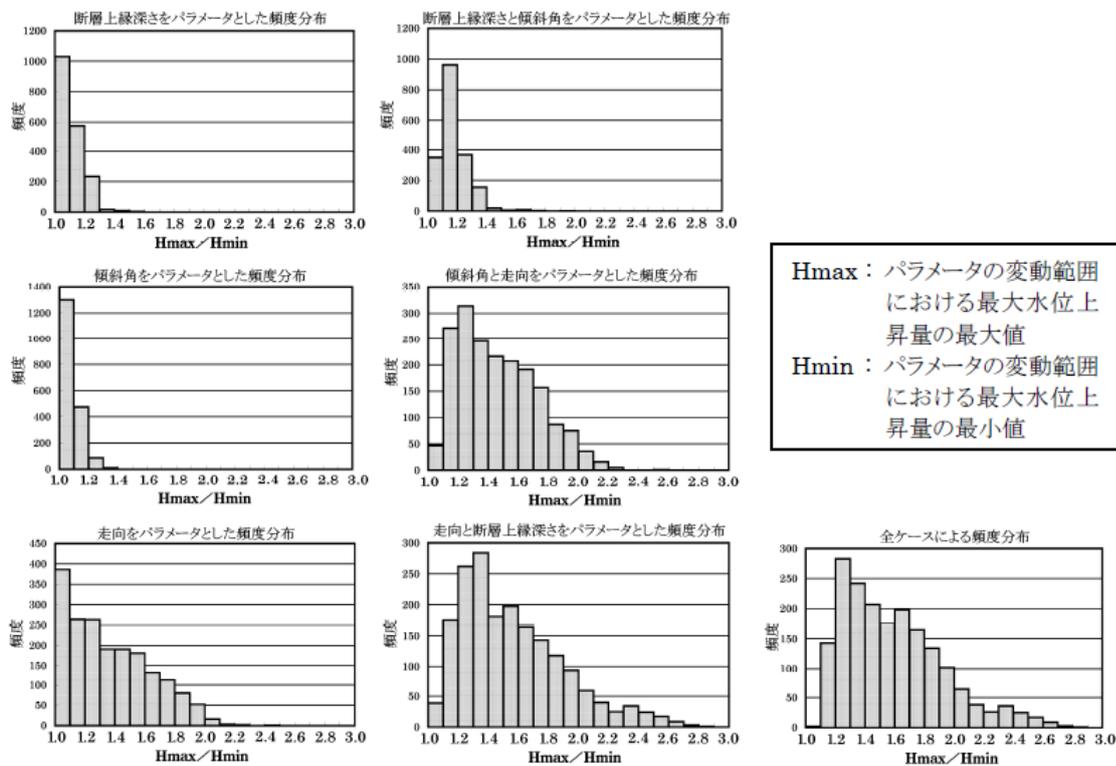


図 I.3-2 日本海東縁部沿岸でのパラスタ結果（土木学会，2002 より抜粋）

<若狭湾沿岸のパラメータスタディ>

若狭湾沿岸では、図 I.3-3 及び表 I.3-3 に示す基準断層を対象に概略検討のパラメータスタディを実施し、このうち最も厳しい結果が得られた表 I.3-4 に示す断層パラメータのケースで詳細検討のパラメータスタディを実施している。対象とした断層パラメータは次の3つである。最小格子サイズは 200m である。

- ・ 上端深さ : 0, 2.5, 5km
- ・ 傾斜角 : 75°, 82.5°, 90°
- ・ すべり角 : 75°, 90°, 105°

概略検討パラメータスタディと詳細検討パラメータスタディの最大水位上昇量の最大値の比較結果を図 I.3-4 に示す。地点によっては詳細検討パラメータスタディの最大値が 5%程度上回ることがあるが、全体的に上記の3パラメータを変化させることによる結果への影響度は小さい。

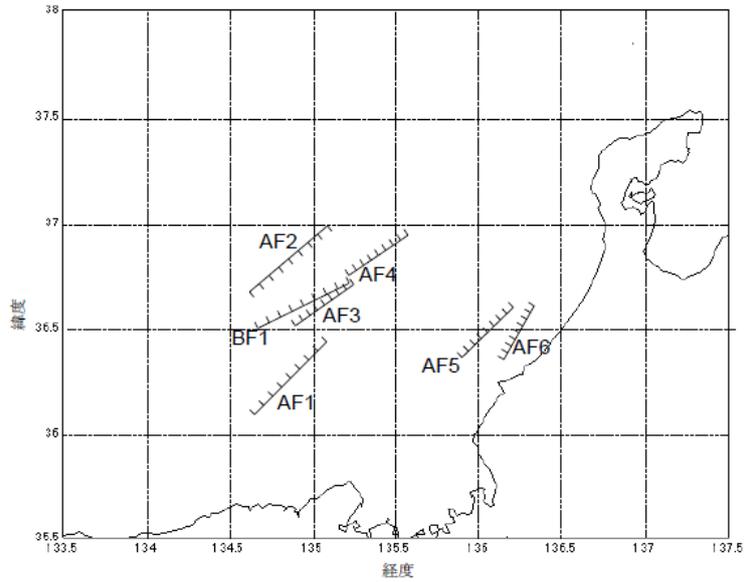
表 I.3-3 若狭湾での基準断層モデルのパラメータ一覧 (土木学会, 2002 より抜粋)

断層	AF1			AF2			AF3			AF4		
M_w	7.29			7.29			7.09			7.09		
L (km)	50			50			35			35		
W (km)	$15/\sin\delta$			$15/\sin\delta$			$15/\sin\delta$			$15/\sin\delta$		
d (km)	0			0			0			0		
θ (°)	45			230			55			56		
δ (°)	90	67.5	45	90	67.5	45	90	67.5	45	90	67.5	45
λ (°)	105-180	110-170	110-160	110-180	120-180	120-170	120-180	125-180	125-180	120-180	125-180	125-180
D (m)	4.16	3.87	2.94	4.16	3.87	2.94	2.91	2.69	2.06	2.91	2.69	2.06

断層	AF5			AF6			BF1		
M_w	7.09			7.00			7.29		
L (km)	35			30			50		
W (km)	$15/\sin\delta$			$15/\sin\delta$			$15/\sin\delta$		
d (km)	0			0			0		
θ (°)	46			30			64		
δ (°)	90	67.5	45	90	67.5	45	90	67.5	45
λ (°)	105-180	110-175	115-160	90-125	90-135	90-135	130-180	140-180	140-180
D (m)	2.91	2.69	2.06	2.49	2.3	1.76	4.16	3.87	2.94

表 I.3-4 若狭湾での詳細検討の基準断層パラメータ (土木学会, 2002 より抜粋)

断層	AF1
M_w	7.3
L (km)	50
W (km)	$15/\sin\delta$
d (km)	0
D (m)	4.16
δ (°)	90
θ (°)	45
λ (°)	105



AF1～AF6：活断層研究会編（1991）による。
 BF1：通商産業省工業技術院地質調査所編（1992）による。

図 I .3-3 若狭湾での基準断層モデル設定位置（土木学会，2002 より抜粋）

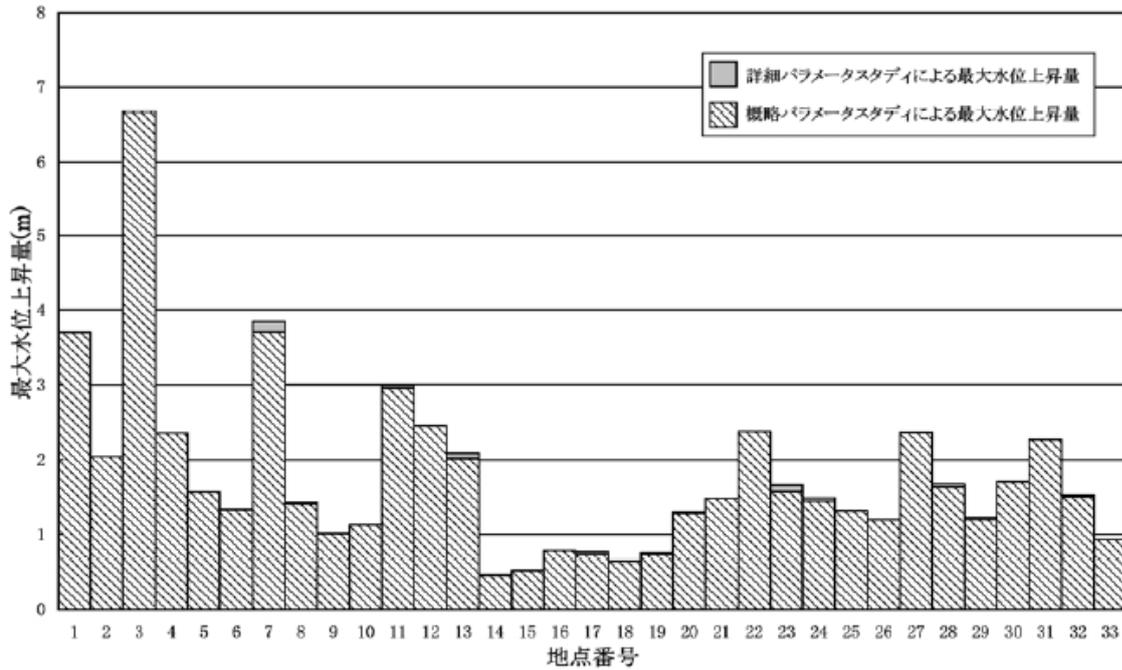


図 I .3-4 若狭湾でのパラメータスタディ：概略検討と詳細検討の最大値の比較（土木学会，2002 より抜粋）

以上の4つの領域におけるパラメータスタディの結果は、次のようにまとめられている。

- ・ 結果に与えた影響度

全体の傾向として、走向が最も大きく結果に影響を与えていた。走向についてのパラメータスタディを行わなかった若狭湾沿岸では、走向以外の3パラメータを変えても結果に大きな違いは生じなかった。

なお、パラメータスタディ結果の最大値と最小値の比較のみのため、標準偏差などのばらつきの定量的な検討は行われていない。

- ・ その他

この文献での検討は、最小格子サイズが80m~200mであり、地形が複雑な沿岸での津波計算の精度が低い点を留意する必要がある。

iii) 津波 2 確率論的津波ハザード解析の方法

土木学会の津波評価部会は平成 14 年の「原子力発電所の津波評価技術」(以下、土木学会, 2002) において、過去に海域で発生した地震に対する調査結果を取りまとめ、震源メカニズムのばらつきの大きさについて検討した上で、震源メカニズムの不確実性が津波計算結果にどの程度の違いを生むかを数値計算によるパラメータスタディを実施して検討した。ここでは、土木学会(2002)の調査結果を整理する。日本海溝-千島海溝及び日本海東縁部で過去に発生した地震の、既存断層パラメータのばらつきについての調査結果を表 I.3-5 に示す。この結果を踏まえて断層パラメータの範囲を設定し、パラメータスタディを実施している。

表 I.3-5 既存断層パラメータのばらつきの評価結果 (土木学会, 2002 より抜粋)

海域大区分	海域小区分	萩原マップ で対応する 海域区分	解析対象 データ	データ 数	走向(°)		すべり方向(°)		すべり角(°)		傾斜角(°)	
					平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
日本海溝 千島海溝 (南部)	千島海溝南部	41°N 以北	プレート間 逆断層地震 のハーバード 解	43	222.3	14.1	304.3	10.8			21.7	6.4
	日本海溝北部	38~41°N		29	185.4	12.1	295.0	7.7			16.0	5.7
	日本海溝南部	35.3~38°N		14	204.2	13.5	292.3	12.2			21.1	5.1
日本海東縁部	北部	40°N 以北	F	6(3)	-2.7	9.6			91.7	11.3	43.3	14.0
	南部	40°N 以南 138°E 以東		5(3)	25.2	6.3			96.0	13.4	57.0	6.7

(注)・日本海溝および千島海溝(南部)沿い海域では、ハーバード CMT による発震機構解(1976年1月~2000年1月に発生した M_w 6.0 以上、深さ 60km 以下の地震)を解析対象とした。
 ・日本海東縁部では、発震機構解の節面の特定が困難であるため、津波の痕跡高を説明できる断層モデルのパラメータを用いてばらつきを評価した。
 ・「すべり方向」は、スリップベクトルの水平投影が真北から時計回りになす角度である。
 ・日本海東縁部のデータ数のうち括弧内の値は、走向に対して適用した 1 枚断層換算のモデル数である。
 ・日本海東縁部(南部)の新潟地震モデルには Noguera and Abe (1992) を採用している。天保山形沖地震(1833)は沖合・沿岸近くの両モデルを採用している。
 ・萩原マップは萩原尊禮編(1991)による。

土木学会(2011)による「確率論的津波ハザード解析の方法」では、地震動について行われてきた確率論的ハザード解析の手法を津波被害に対して適用する方法の提案をしている。以下に、確率論的津波ハザード解析で提案された不確実性の扱い方について記す。

まず、確率論的津波ハザード解析は不確実性を「偶然的ばらつき」と「認識論的不確実性」とに分けて考えている。偶然的ばらつきは、現実に存在しているが現状では予測不可能と考えられるものであり、ハザード評価においてばらつきとして一本のハザード曲線で評価される。認識論的不確実性は、研究が進展すれば確定できるが現状では予測不可能なものと考えられる不確実性である。これに対しては、判断が分かれる事項(分岐)に関して複数の選択肢を設定し、各分岐に重み付けすることで重みの異なる複数のハザード曲線群を算出して評価する、「ロジックツリー手法」を用いる。

ロジックツリー手法を用いる場合、考慮する地震の数が多くなると分岐の組合せの数が膨大となり現実的に解析が不可能となる場合が多い。そこで土木学会(2011)では、分岐の組合せを求める際に乱数を用い、各分岐の重みによってサンプルして必要な数のハザード曲線群を作成し統計処理する、「モンテカルロ手法」をとっている。モンテカルロ手法を用いることで、離散的な分岐でなくても、連続的分布の分岐から確率によって組み合わせを

求めることができる。

土木学会(2011)は確率論的津波ハザード解析の手法の提案を主にするものであり、ケーススタディとして三陸北部の震源域による津波ハザード評価例を示しているが、断層パラメータの不確実性が津波高さに与える影響のパラメータスタディなどは特に行っていない。断層パラメータの不確実性の扱い方としては、日本海東縁部海域、海域活断層、大地震以外の地震（背景的地震）でのハザード評価方針を示している。断層パラメータの不確実性は基本的に認識論的不確実性に分類され、連続的分布の分岐に対してモンテカルロ手法によるサンプリングで評価する、としている。

以下では、日本海東縁部海域、海域活断層、背景的地震についての、断層パラメータの不確実性の扱いについてまとめる。なお、津波水位の計算を伴うパラメータスタディは実施されていないため、結果に与えた影響度の項目は該当しない。

<日本海東縁部海域>

地震調査研究推進本部「日本海東縁部の地震活動の長期評価について」(2003)等の知見を基に断層パラメータの基準値を設定し、傾斜角、傾斜方向、走向の3項目に対し不確実性を考慮している。

・傾斜角

30~60° の一様分布とする。

・傾斜方向

西傾斜と東傾斜を考える。分岐の確率は両者で等しいものとする。

・走向

活動域の走向に対して±20° の範囲にほぼすべての地震が含まれることを前提に、標準偏差の範囲を活動域主軸の走向±10° とする。確率分布形状は正規分布とする。

その他の断層パラメータの設定方法を表 I.3-6 に示す。

表 I.3-6 日本海東縁部海域の断層パラメータ設定方法 (土木学会, 2011 より抜粋)

断層長さ	スケーリング則に基づき, M_w から求める。
幅	地震発生層の厚さ(15km)を考慮し傾斜角に応じて決める。
すべり量	$\log M_0(N \cdot m) = 1.5M_w + 9.1$, $D = M_0 / \mu L W$ により算出する。
上縁深さ	0km とする。
走向	海底地形の走向に基づき設定する。
傾斜角	30~60° とする。西傾斜と東傾斜の双方を考慮する。
すべり角	90° とする。
剛性率	$3.5 \times 10^{10} (N/m^2)$ とする。
スケーリング則 1	幅 (地震発生層厚さ) に上限あり。 スケーリングの変曲点を境に, M_w が大きいとき武村(1998)の関係 $\log L(km) = 0.75M_w - 3.77$, $L \propto D, W = const.$ が, M_w が小さいとき $W = \frac{2}{3}L, L \propto W \propto D$ の関係が成り立ち, 両者が連続的に接続するものとする。
スケーリング則 2	推本の地震動予測手法 (「レンビ」) などで用いられる $M_0[N \cdot m] = (S[km^2] / 4.24 \times 10^{-11})^2 \times 10^{-7}$ (Wells and Coppersmith(1994)などのデータに基づく入倉・三宅 (2001) の提案式, 地震モーメント $7.5 \times 10^{18} N \cdot m$ 以上の地震に適用する) を適用する。

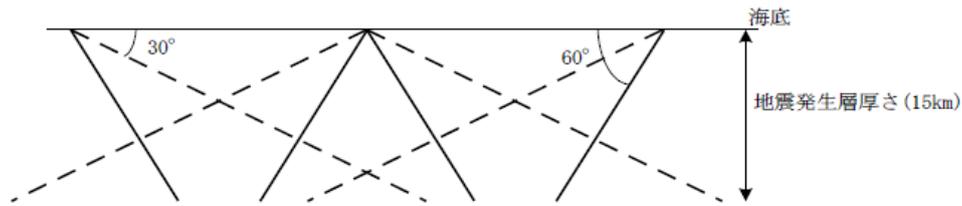


図 I.3-5 日本海東縁部海域における鉛直断面内の断層パターン（土木学会，2011 より抜粋）

< 海域活断層 >

個々の海域活断層に関する情報や地震動評価との整合性を踏まえることが必要であるため、断層の長さや走向といった断層パラメータは調査による情報に則って設定し、次の4つの断層パラメータの不確実性を考慮している。

- ・断層上端深さ
0～5km の一様分布とする。
- ・傾斜角
西南日本では 45～90°、中越地方では 30～60° の切断正規分布とする。
- ・すべり角
広域応力場から断層毎に範囲を設定する。確率分布は一様分布とする。
- ・傾斜方向
褶曲のように傾斜方向が未知の場合には両方向を設定し、等確率とする。

< 背景的地震 >

背景的地震の断層パラメータは、地震動評価と同じ位置に断層の中心を設定し、以下の4つの断層パラメータについては、周辺断層のパラメータを基準値として不確実性を考慮し、設定している。

- ・断層上端深さ
断層面の範囲を地表～地震発生層（15km）下端までとし、確率を一様分布とする。
- ・傾斜角
西南日本では 45～90°、中越地方では 30～60° の切断正規分布とする。
- ・すべり角
広域応力場から断層毎に範囲を設定する。確率分布は一様分布とする。
- ・走向
周辺断層から基準値を決定し、±20° 程度のばらつきを一様分布で考慮する。

なお、結果に与えた影響度については公表されていない。

iv) 津波 3 原子力安全基盤調査研究 津波波源モデルの精度向上に関する研究

a) 不確実性を持たせた断層パラメータ

断層のすべり分布を離散的な小断層に分割したときの分割数

b) パラメータのふり幅(最大、最小)及び刻み幅

・2007年新潟県中越沖地震(Mw6.7) 40枚を基準として、24分割、20分割、16分割、12分割、8分割、4分割、2分割、一様すべりの波源モデルの比較

・2003年十勝沖地震(Mw.8.0) 48枚を基準として、12分割、8分割、4分割、一様すべりの波源モデルの比較

c) 結果に与えた影響度

・非一様なすべり分布と一様すべり分布モデルによる違い

各地震すべり分布モデルの違いが与えた波高への影響度を比較した(表 I.3-7、表 I.3-8)。また、空間的な分布の違いを図 I.3-6 と図 I.3-7 に示す。全体的な傾向は一様モデルでも表現可能であるが、局所的な沿岸波高を再現することは一様モデルでは難しい。

表 I.3-7 2007年新潟県中越沖地震の隆起・沈降分布

	隆起・沈降 形状	最大 隆起量	沿岸津波高	
			押し	引き
一様すべり分布モデル	緩い傾斜	20cm弱	全体傾向は一致するが、非一様モデルに存在する局所的に大きな(2倍程度)値が一様すべりにはない。	
非一様なすべり分布 (40枚モデル) 長さ4km×幅4km	鋭い傾斜	40cm弱		

表 I.3-8 2003年十勝沖地震の隆起・沈降分布

	隆起・沈降 形状	最大 隆起量	沿岸津波高	
			押し	引き
一様すべり分布モデル	海溝軸沿い	20cm弱	全体的に非一様モデルのほうが高め。同程度の地域もあるので、K倍等の対処では調整できない。	
非一様なすべり分布 (40枚モデル) 長さ20km×幅20km	陸側	60cm弱		

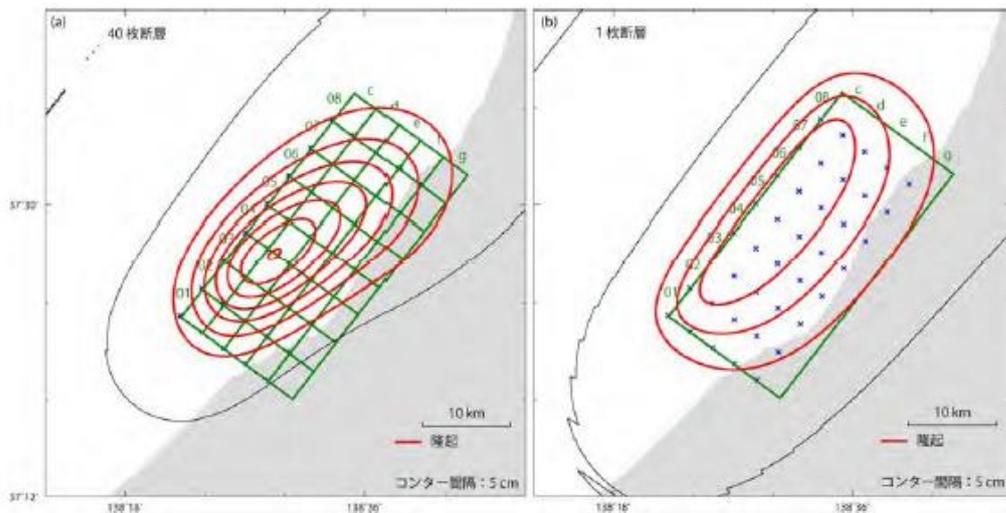


図6 (a) 2007年新潟県中越沖地震津波の波源域を40枚の小断層に分割した波源モデル(基礎波源モデル)における隆起・沈降量分布。赤線は隆起量のコンターを表し、その間隔は5 cmである。緑色の矩形は、設置した小断層を表し緑色の番号はその小断層番号を表す。(b) 波源域を1枚断層(一様すべり)で表現したさいの隆起・沈降量分布。

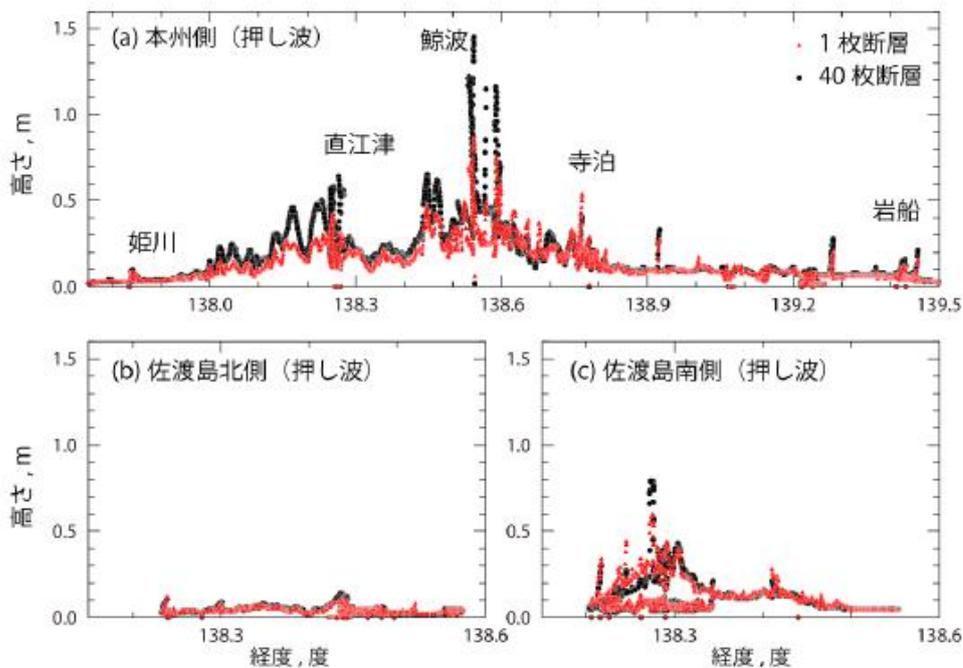


図7 2007年新潟県中越沖地震津波の波源域を40枚の小断層に分けたモデル(基礎波源モデル)と1枚断層(一様すべり)のモデルによる計算沿岸津波高さの比較。(a)本州沿岸、(b)佐渡島北側沿岸、(c)佐渡島南側沿岸

図 I .3-6 2007年新潟県中越沖地震 1枚と40枚で表現した場合の隆起/沈降分布と沿岸津波高さ分布(原子力基盤機構, 2010より抜粋)

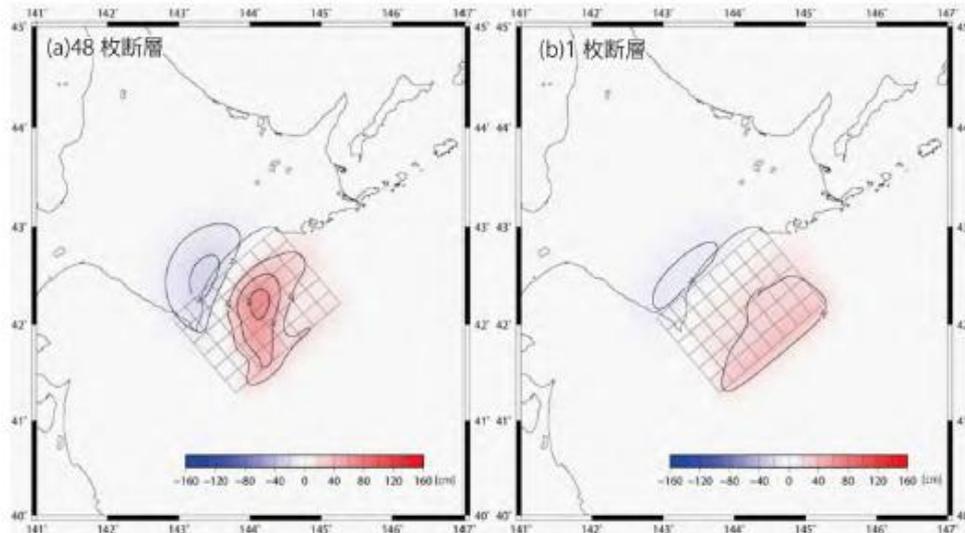


図8 (a) 2003年十勝沖地震津波の波源域を48枚の小断層に分割した波源モデル(基礎波源モデル)における隆起・沈降量分布. (b) 波源域を1枚断層(一様すべり)で表現したさいの隆起・沈降量分布.

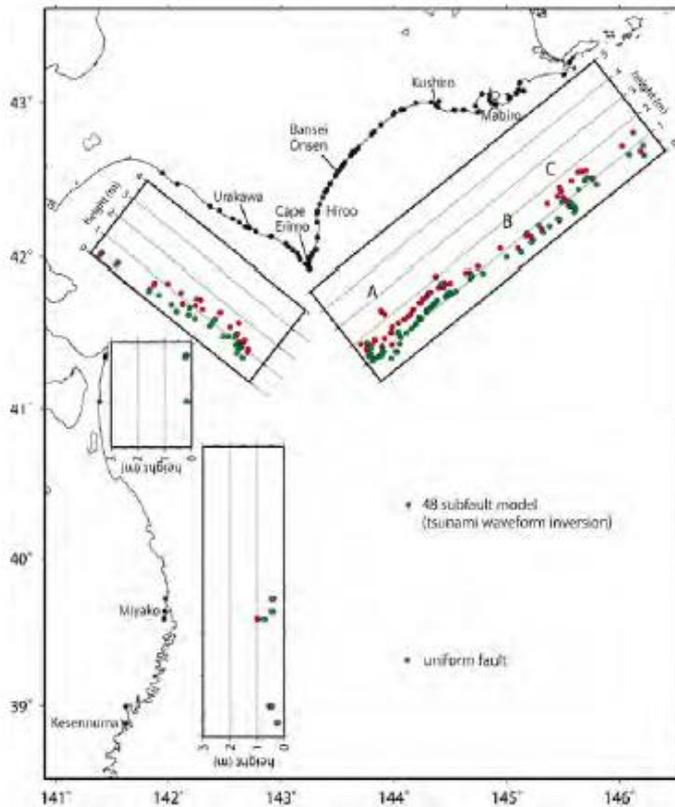


図9 2003年十勝沖地震津波の波源域を48枚の小断層に分けたモデル(基礎波源モデル)と1枚断層(一様すべり)のモデルによる計算沿岸津波高さの比較.

図 I.3-7 2003年十勝沖地震 1枚と40枚で表現した場合の隆起/沈降分布と沿岸津波高さ分布(原子力基盤機構, 2010より抜粋)

・波源モデル分割数による違い

沿岸の津波高さの分割数による感度を見るため、基礎波源モデル（2007年40枚、2003年48枚）に対して分割数を変えた場合の幾何平均 K 及び幾何標準偏差 κ を算出している（表 I.3-9、表 I.3-10）。分割数を変えたモデルの断層すべり量は、基礎波源モデルのすべり量を平均した値を用いている。

2007年中越沖地震の場合は K の値に分割数依存性はなく、沿岸津波高さの規模はさほど影響を受けなかったが、2003年十勝沖地震では分割数の数と K の大きさが反比例し、分割数が大きく詳細な波源ほど津波高が大きくなる。

また、 κ については両ケースとも、分割数が小さく、粗い不均質分布ほど大きくなり、局所的な分布を表せない傾向がある。

表 I.3-9 2007年中越沖地震 各モデルの K 及び κ の値（原子力基盤機構，2010より抜粋）

	押し波		引き波	
	K	κ	K	κ
40分割波源モデル(基礎波源モデル)	1	1	1	1
24分割波源モデル	1.03	1.07	1.03	1.08
20分割波源モデル	0.94	1.14	0.95	1.17
16分割波源モデル	0.89	1.2	0.89	1.23
12分割波源モデル	0.98	1.13	0.99	1.16
8分割波源モデル	0.96	1.22	0.93	1.25
4分割波源モデル	1.02	1.24	1.01	1.26
2分割(長さ方向)波源モデル	1.16	1.26	1.14	1.3
2分割(幅方向)波源モデル	0.96	1.28	0.94	1.33
一様波源モデル	1.14	1.26	1.12	1.31

表 I.3-10 2003年十勝沖地震 各モデルの K 及び κ の値（原子力基盤機構，2010より抜粋）

	K	κ
48分割(基礎)波源モデル	1	1
12分割波源モデル	1.23	1.10
8分割波源モデル	1.12	1.22
4分割波源モデル	1.44	1.31
一様波源モデル	1.48	1.24

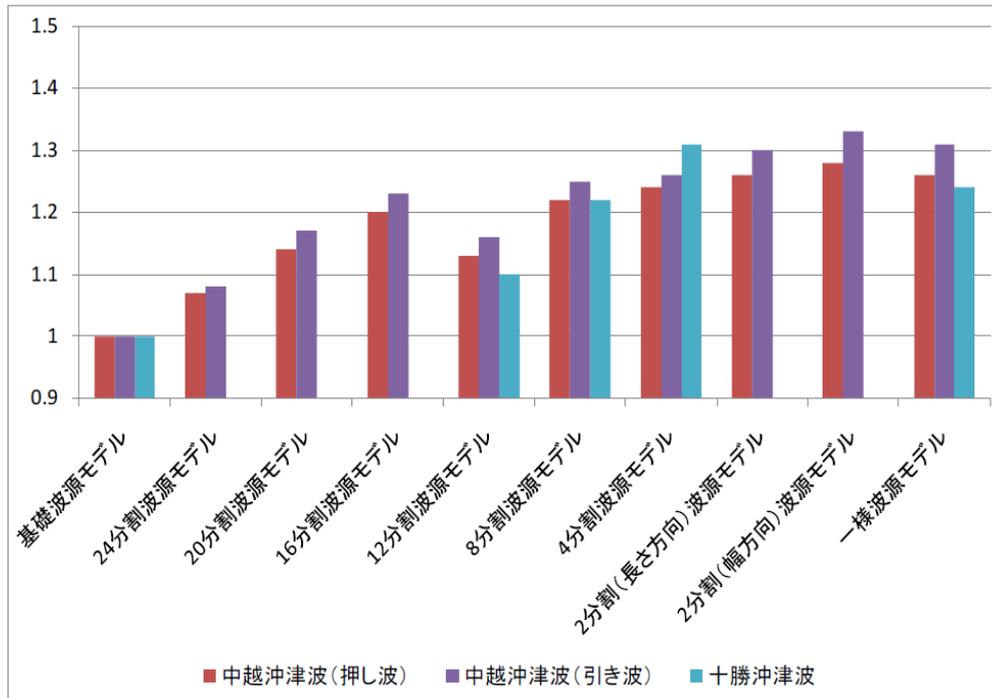


図 I.3-8 基礎波源モデルによる沿岸高さに対する各モデルの沿岸高さの κ の値の比較 (原子力基盤機構, 2010 より抜粋)

d)その他

インバージョン解析の断層モデルの要素単位を変化させて、推定した波源モデルを用いた計算波形と観測波形と比較した残差については、図 I.3-9 にみえるように 12 分割程度で飽和しているように見える。

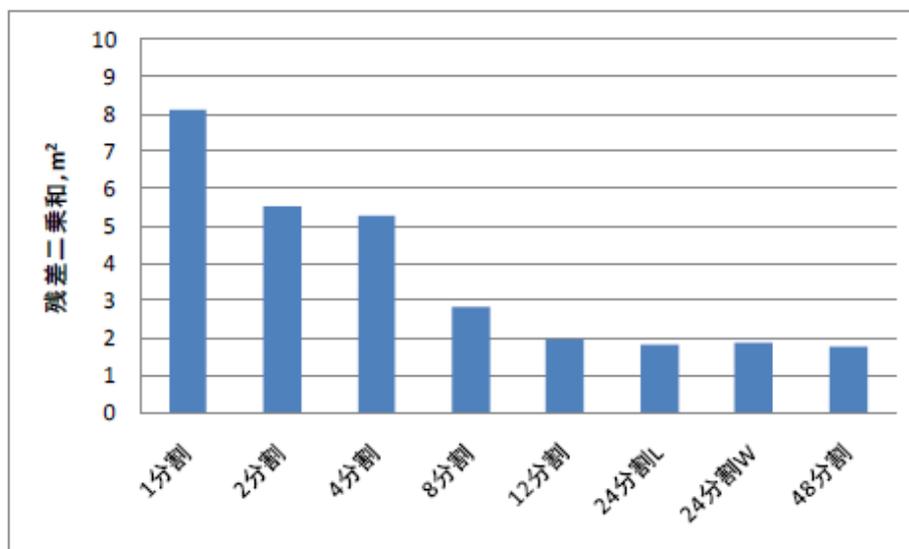


図 I.3-9 波源(断層面を仮定)の分割数に対する計算波形と観測波形との残差二乗和の比 (原子力基盤機構, 2010 より抜粋)

(II) 断層モデルの設定

(i) 津波波源断層の設定に関する検討

①使用するデータ

サブテーマ(2) (本プロジェクトと省略) で得られた断層データをもとに、別途国土交通省、内閣府、文部科学省を事務局として進められた「日本海における大規模地震に関する調査検討会 (以下日本海調査検討会と省略)」の成果も参照して津波波源断層モデルを設定する。本プロジェクトで得られた断層データと日本海調査検討会海底断層 WG の成果による断層評価及びパラメータの特徴を表 II. i-1 にまとめる。

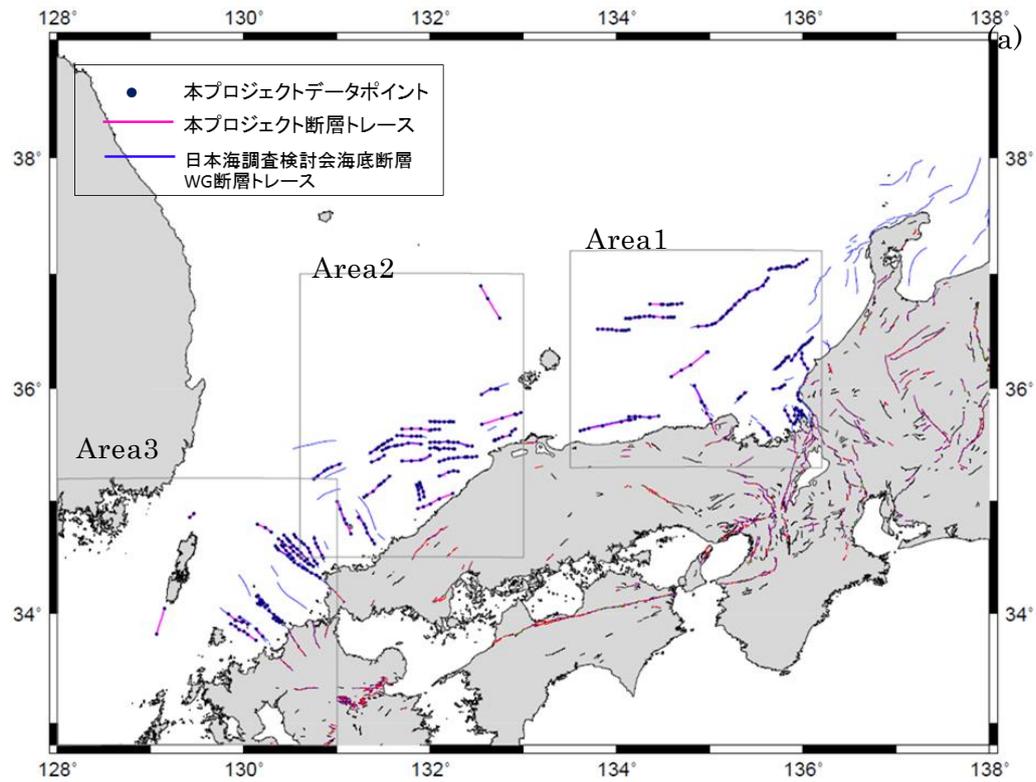
表 II. i-1 本プロジェクト (サブテーマ(2)) 及び日本海調査検討会海底断層 WG による断層情報

	本プロジェクトによる断層設定	日本海調査検討会海底断層WGによる断層設定
断層位置	範囲内の対象はおおむね網羅されている。断層トレースの数は日本海調査検討会海底断層WGよりも多い。	範囲内の対象はおおむね網羅する。ただし、若狭沖や隠岐海嶺など沿岸から離れた断層は含まない。
長さ・走向	断層端点のデータがあり、長さおよび走向は推定できる。端点は変位を確認できた測線で設定。	断層端点のデータがあり、長さおよび走向は推定できる。
傾斜角	測線上で変位が確認された範囲についてのみかけ傾斜角として提供されている。	傾斜角に関する情報はない。
すべり量	すべり量に関する情報はない。	すべり量に関する情報はない。
すべり角	すべり角に関する情報はない。	すべり角に関する情報はない。
地下構造	一部であるが、データあり。	一部であるが、データあり。
活構造かどうか	確認された断層の一部に構造に関するコメントあり。海底面に変位が見られることを設定根拠の1つとしている。	構造を示すデータあり。
既往津波波源との対応	既往の津波波源および歴史地震の震源と対応する断層あり。	既往の津波波源および歴史地震の震源と対応する断層あり。

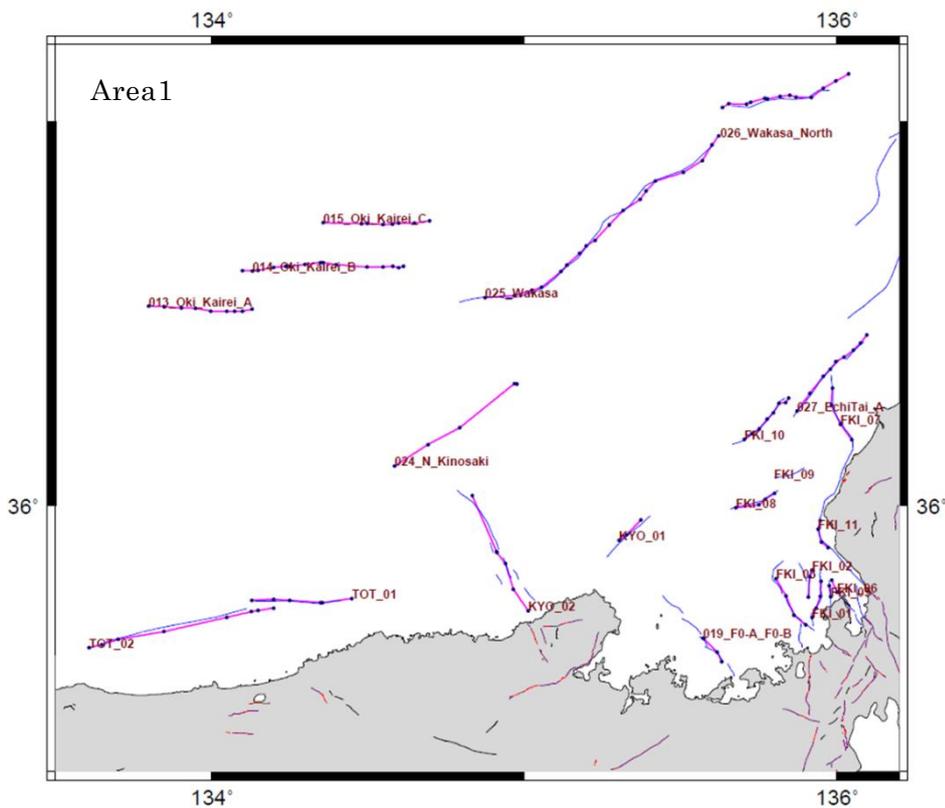
②断層パラメータの整理

本プロジェクトで得られた断層データによる断層の位置を図 II. i-1 に示す。日本海調査検討会海底断層 WG における海底断層と、断層の位置や長さを比較できるように重ねて示している。断層の本数は、本プロジェクトは多くなっているが、断層の長さは本プロジェクトの方が短い傾向にある。

表 II-i-2 には本プロジェクトのデータから抽出ないし推定できる断層のパラメータを示す。

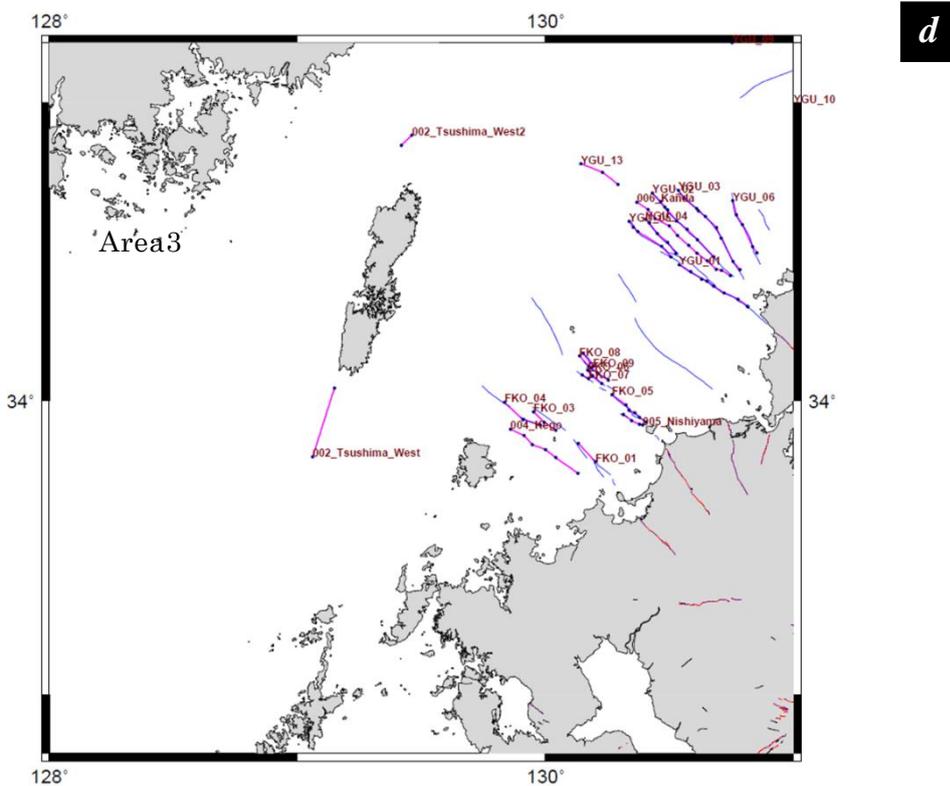
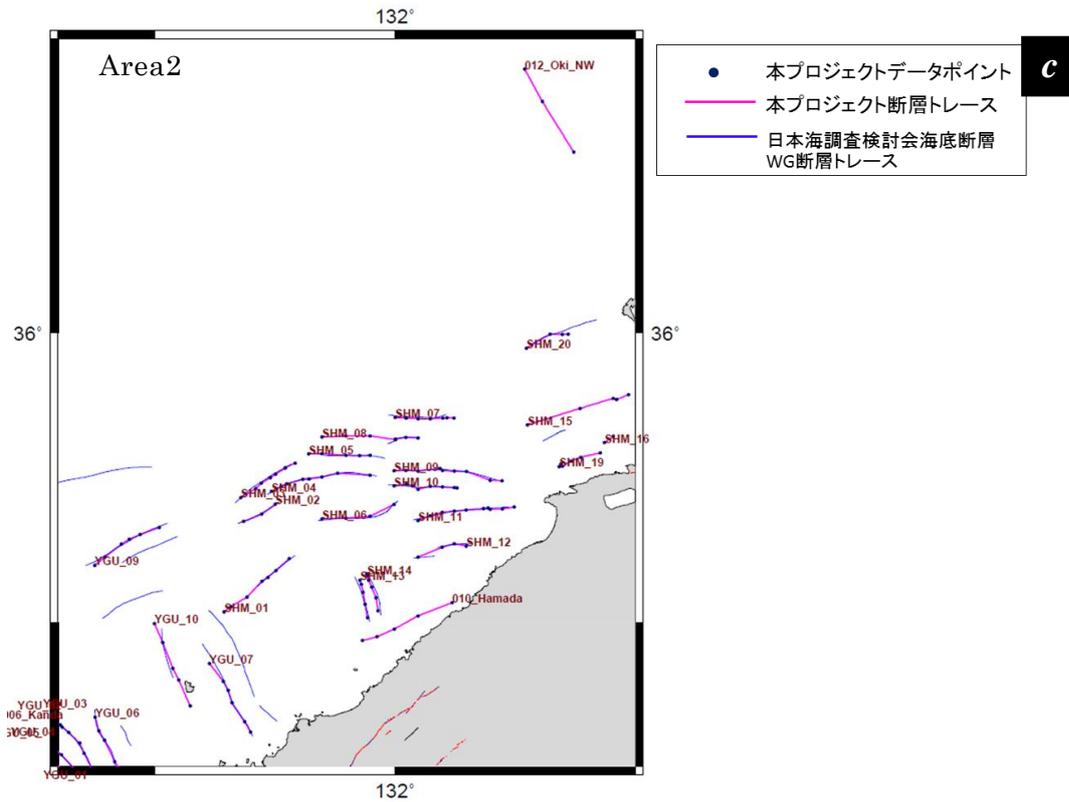


a



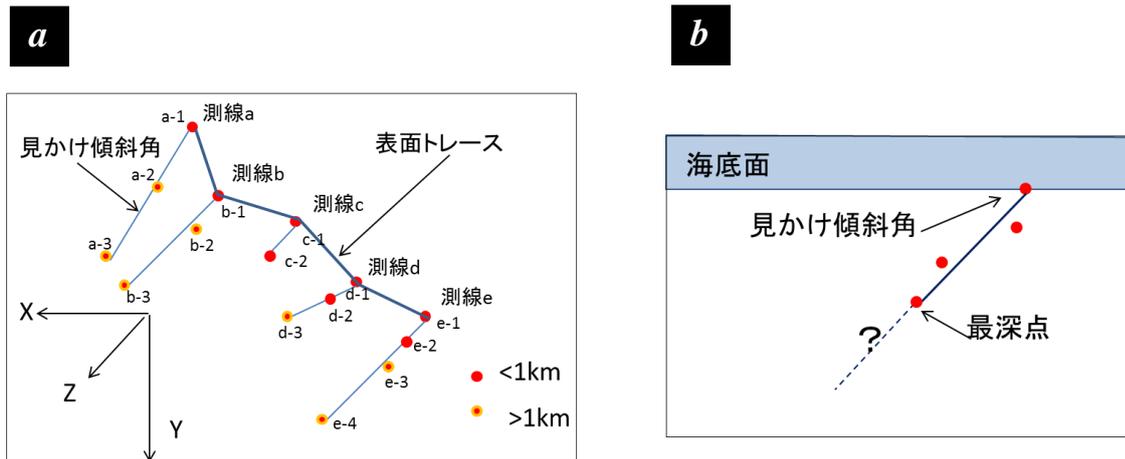
b

図 II. i -1 本プロジェクト (サブテーマ (2)) による断層位置と日本海調査検討会海底断層 WG の断層位置の比較
 a) 全体図 b) 若狭～山陰



図Ⅱ.i-1 本プロジェクト（サブテーマ（2））による断層位置と日本海調査検討会海底断層 WG の断層位置の比較
 c) 山陰～山口県沖 d) 山口県沖～北九州及び対馬

表Ⅱ-i-2のうち、断層の単点の座標、走向、長さ、変位のセンスは、本プロジェクトの断層データから抽出できる値を整理したものであるが、断層の傾斜方向、傾斜角及び断層幅はデータから類推した。傾斜方向は、音波探査の各測線における見かけ傾斜から推測できる、支配的な断層傾斜方向であり、傾斜角は、それぞれの断層が確認できた測線における見かけ傾斜角を平均したものである。図Ⅱ.i-2にみかけ傾斜角と採用した断層の傾斜角の概念を示した。ここでは、測線a～eの見かけ傾斜角を平均したものをこの断層の傾斜角とみなしている。



図Ⅱ.i-2 みかけ傾斜角と断層傾斜の概念図

a) 断層を上から見たスケマチックなイメージ b) 1本の測線を断面でみたときのイメージ

表Ⅱ.i-2 本プロジェクト（サブテーマ（2））によるデータから抽出した断層パラメータ

本プロジェクトで抽出された断層パラメータ				断層上端 (m)	断層下端 (m)	走向	すべり角	断層傾斜角 (deg.)		断層長(km)	断層幅(km)
								傾斜方向	平均		
002_Tsushima_West	129.0615	33.80993	Lateral	110	11908	201		NW	60	27.1	13.6
002_Tsushima_West2	129.4616	34.89136	Lateral	210	6399	229		NW	62	5.4	7.0
004_Kego	129.858	33.90277	Lateral	113	773	126		SW	75	30.6	0.7
005_Nishiyama	130.3919	33.91735	Lateral	85	210	302		NE	55	8.4	0.2
006_Kanda	130.3686	34.66638	Lateral	115	1570	311		NE	79	44.8	1.5
010_Hamada	132.239	35.0705	Lateral	117	304	248		N	20	37.3	0.5
012_Oki_NW	132.5402	36.89612	Normal	524	9023	151		W	47	36.2	11.6
013_Oki_Kairei_A	133.797	36.52129	Lateral	699	9372	92		S	69	29.9	9.3
014_Oki_Kairei_B	134.1303	36.61263	Lateral	537	10558	269		S	72	45.5	10.5
015_Oki_Kairei_C	134.3558	36.73814	Lateral	452	13035	269		S	76	30.6	13.0
019_F0-A_F0-B	135.5709	35.65279	Lateral	115	339	142		SW	42	9.0	0.3
024_N_Kinosaki	134.5841	36.10364	Normal	455	4936	236		N	46	42.9	6.2
025_Wakasa	134.8737	36.54344	Normal	1375	6973	55		N	42	84.7	8.4
026_Wakasa_North	135.6262	36.95806	Normal	749	4575	74		N	38	38.7	6.2
027_EchiTai_A	135.8726	36.2481	Reverse	189	480	222		NW	50	30.0	0.4
FKI_01	135.9197	35.70674	Reverse	145	445	194		NW	66	11.2	0.3
FKI_02	135.9206	35.83068	Reverse	130	570	188		W	73	7.9	0.5
FKI_03	135.8049	35.80841	Reverse	109	383	327		NE	27	16.3	0.6
FKI_05	135.9797	35.76105	Reverse	120	305	352		NE	29	3.2	0.4
FKI_06	136.0001	35.77324	Reverse	103	296	336		NE	32	3.9	0.4
FKI_07	136.0109	36.21315	Reverse	121	1133	339		NE	50	16.6	1.3
FKI_08	135.6761	35.99457	Reverse	306	1044	249		NW	38	12.3	1.2
FKI_10	135.7031	36.17354	Reverse	296	2588	226		NW	40	18.2	3.6
FKI_11	135.9389	35.93897	Reverse	125	249	343		N	22	8.9	0.3
FKO_01	130.2013	33.79274	Lateral	90	277	320		NE	62	9.5	0.2
FKO_03	129.9519	33.96248	Lateral	87	512	313		NE	71	10.8	0.4
FKO_04	129.8343	33.99445	Lateral	128	737	125		SW	77	16.4	0.6
FKO_05	130.2685	34.01983	Lateral	108	323	311		NE	58	16.5	0.3
FKO_06	130.171	34.1016	Lateral	81	716	316		NE	71	7.2	0.7
FKO_07	130.1734	34.07438	Lateral	87	704	304		NE	83	2.7	0.6
FKO_08	130.1359	34.15085	Lateral	87	781	313		E	73	14.2	0.7
FKO_09	130.1917	34.11465	Lateral	87	813	325		*	49	6.2	1.0
KYO_01	135.3024	35.90931	Normal	194	776	47		SE	64	8.7	0.6
KYO_02	135.0124	35.72394	Lateral	118	1614	154		SW	64	37.5	1.7
SHM_01	131.2897	35.03855	Lateral	163	6031	233		NW	64	32.3	6.5
SHM_02	131.5024	35.41004	Lateral	184	347	243		NW	78	13.7	0.2
SHM_03	131.36	35.43297	Lateral	168	5869	59		SE	76	24.5	5.9
SHM_04	131.487	35.45444	Lateral	176	2371	262		N	85	38.4	2.2
SHM_05	131.6424	35.58385	Lateral	194	1248	93		S	71	23.1	1.1
SHM_06	131.6974	35.35954	Lateral	192	381	260		N	64	28.4	0.2
SHM_07	132.0011	35.70828	Lateral	251	8599	272		N	73	22.4	8.7
SHM_08	131.6973	35.64163	Lateral	198	2436	92		S	76	36.6	2.3
SHM_09	131.9974	35.52493	Lateral	194	1119	277		N	78	41.8	0.9
SHM_10	131.9973	35.47285	Lateral	190	1688	273		N	82	24.5	1.5
SHM_11	132.0976	35.35374	Lateral	135	7340	263		N	60	37.2	8.3
SHM_12	132.2972	35.26605	Lateral	173	364	259		NE	62	19.2	0.2
SHM_13	131.8548	35.14731	Lateral	176	984	170		SW	84	14.7	0.8
SHM_14	131.8847	35.1696	Lateral	145	1235	165		SW	79	14.8	1.1
SHM_15	132.5524	35.6833	Lateral	113	8995	250		N	59	39.9	10.4
SHM_16	132.8724	35.62242	Lateral	150	3518	236		N	67	4.1	3.7
SHM_20	132.5479	35.94652	Lateral	221	1639	73		S	66	17.1	1.6
TOT_01	134.4475	35.75667	Lateral	281	7780	269		N	60	29.0	8.7
TOT_02	133.6074	35.62712	Lateral	137	9153	258		N	56	54.7	10.9
YGU_01	130.5382	34.45776	Lateral	113	873	304		*	83	30.2	0.8
YGU_02	130.4302	34.69825	Lateral	162	1053	139		W	79	33.0	0.9
YGU_03	130.5362	34.70604	Lateral	108	1022	145		W	75	37.9	0.9
YGU_04	130.4036	34.60966	Lateral	147	1192	141		W	80	17.1	1.1
YGU_05	130.3378	34.60316	Lateral	174	926	313		NE	82	20.7	0.8
YGU_06	130.7543	34.67282	Lateral	130	678	338		NE	74	21.6	0.6
YGU_07	131.2291	34.85904	Lateral	99	714	331		NE	72	30.9	0.6
YGU_09	130.7515	35.19934	Lateral	193	1200	242		NW	73	28.8	1.1
YGU_10	131.0006	34.99811	Lateral	76	963	339		NE	80	34.6	0.9
YGU_13	130.1429	34.79601	Lateral	113	2449	302		NE	72	15.9	2.5

※この表における断層の上端、下端は、音波探査測線断面で確認できた深度であり、後述するモデル化で採用する値とは異なる。

(ii) 断層モデルの設定

① 断層モデル群の設定方法

(i)で整理した断層データを用いて津波波源となる断層モデルを設定した。本プロジェクト（サブテーマ（2））及び日本海調査検討会で作成した波源断層モデルの特徴を表II.ii-1に示す。

表II.ii-1 本プロジェクト（サブテーマ（2））及び日本海調査検討会による波源断層モデルの特徴

	本プロジェクトの波源断層	日本海調査検討会の波源断層
断層位置	範囲内の対象をなるべく網羅するように設定。断層群をひとつの断層モデルで代表させることで、近接する断層は、代表的な断層の位置のばらつきとする。	範囲内の全断層は網羅していない。最大クラスの津波波源のみを対象とする。
長さ・走向	断層のグルーピングにより連動性を考慮。短い断層は18kmと設定。	断層の連動、陸側への延長等により断層長は長く設定。
傾斜角	本プロジェクトのデータを参考に、一定の値として設定。	断層の性格をふまえて一定の値として設定。横ずれ断層=90°、縦ずれ断層=45° ± 15°
すべり量	日本海調査検討モデルと同じスケールリング式で設定。平均的な値を用い、不確実性を考慮する。	独自のスケールリング式により設定。最大クラス相当の値を採用。
すべり角	日本海調査検討会のデータを参照して設定。	広域応力場のデータから設定。
地下構造	*	*
活構造かどうか	*	*
既往津波波源との対応	既往の津波波源、歴史地震と対応するように意識して設定。	対応しているものもある。

本プロジェクトにおける断層モデル群は2つである。ひとつは、「解釈された断層モデル」であり、今回の検討において「基本断層モデル」として示す断層モデル群である。また、基本断層モデルの分割によって、津波を発生し得るより小さい規模の断層モデルを検討し、基本断層モデルの連動によって、より大きな規模の断層モデルについても検討した（図II.i-1）。

図II.i-1 日本海領域の断層モデルの概念

(1) 解釈された断層モデル: 基本断層モデル <ul style="list-style-type: none"> 震源として評価された断層で発生する地震のモデル セグメントはひとつないし複数 既往地震(津波)の再現モデルを含む 		<ul style="list-style-type: none"> 活断層として認定して断層の位置、長さを設定 日本海調査検討会による設定断層、本プロジェクトの断層データ、文献の断層データをもとに設定 既往地震、津波の再現断層モデルの検証において断層に起因する歴史地震の津波痕跡がデータ不足
(2) 解釈された断層モデルをもとにした分割および連動モデル ハザード評価のための断層モデル	(2-1) 解釈された断層の連動で発生する地震のモデル <ul style="list-style-type: none"> 不確実性を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 解釈された断層で発生する地震より頻度が低く、規模が大きい地震を想定 連動の範囲の設定方法の検討 特に大規模な地震の想定には「プレート境界型」の概念の扱い、超巨大地震の考え方を考慮
	(2-1) 解釈された断層の一部で発生する地震のモデル	<ul style="list-style-type: none"> 解釈された断層で発生する地震より頻度が高く、規模の小さい地震を想定 沿岸に影響する可能性がある最も小さい規模の地震の設定の検討が必要(津波遡上範囲の広さで影響度を評価して断層モデルを設定)

これらの考え方から、日本海調査検討会で設定された断層モデル群を参考に、本プロジェクトで提供された断層のモデル化を行った。断層モデルの設定時においては、以下の既往文献及び先行研究も参照した。

【日本海海域における断層モデルの作成方法を系統的にまとめた公表資料】

- ・土木学会原子力委員会津波評価部会（2002）：原子力発電所の津波評価技術
- ・原子力規制庁（2013）：基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド（案）
- ・内閣府（2007）：日本海の津波調査業務 報告書

【日本海海域における活断層及び活構造の資料】

- ・藤田ほか（1991）：日本海周辺における活断層の分布が示されている。
- ・徳山ほか（2001）：日本海周辺の活断層及び活構造の分布が示されている。
- ・日本海調査検討会海底断層ワーキンググループ（2014）：
日本海調査検討会における断層モデル設定の基本となった断層データ及び地殻構造などが示されている。
- ・地震調査推進本部（2005~2015）：日本海海域の断層についての長期評価。

② 断層パラメータの設定方法

断層モデルのパラメータは、本プロジェクトで提供された断層に関するデータをもとに、日本海調査検討会海および日本海調査検討会海底断層 WG の結果を考慮し、またその他既往文献・先行研究についても参照して設定した。

a. 位置・形状・長さ・走向

断層モデルの上端の位置は、音波探査断面で得られた断層の海底面との交点の位置で設定する。音波探査断面による断層と海底面と交点の位置データから描いた断層トレースを直線で近似し、断層上端及び下端の深度と断層傾斜角から断層幅を設定して矩形断層でモデル化する（**図 II. ii-2**）。断層トレースの直線近似は、直線的なトレースに対しては、トレースの起点と終点を直線で結んで近似し、途中で大幅に走向を変えるようなトレースの場合は複数のブロックに区切って近似する。断層の長さは、矩形の断層上端部の合計の長さとし、走向についても、この線に沿う。

長さが極端に短い断層については、地震調査研究推進本部による「活断層の長期評価手法」報告書^{*}にもとづき、全体の長さが 18 km となるように、断層の両端部を延長した（**図 II. ii-3**）。

^{*}「活断層の長期評価手法」報告書（地震調査研究推進本部 地震調査委員会 長期評価部会（暫定版）、平成 22 年 11 月 25 日）

この中では、「地表に変位が現れている活断層については、最低限考慮すべき地震の規模として M6.8 を設定する。」とされており、（解説）において、「「短い活断層」と判断する「起震断層」の長さは、15~18km 程度を目安とする。」とされている。また、原子力施設の耐震安全審査においても、同様の考え方が採用されている。

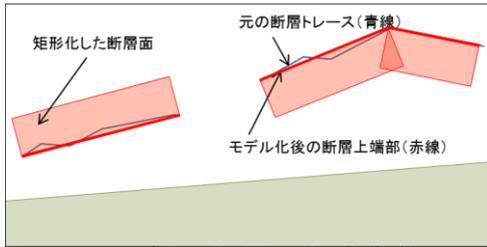


図 II. ii -2 矩形断層の作成方針

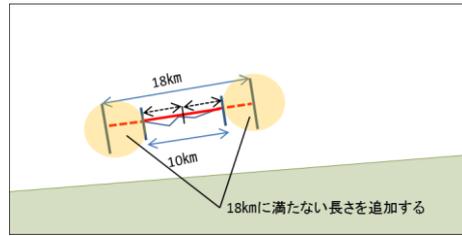


図 II. ii -3 断層長が短い場合の設定方法

断層の位置情報については、堆積層の内部での断層の分岐や消滅、反射断面の精度などの問題で実際には断層が続いていたとしても確認できなかった可能性がある。もしくは、測線の直前で途切れている可能性も考えられる。ここでは、断層の位置や長さにはこれらの偶然のおよび認識論的な不確実性が含まれていると考える。

b. 断層の上端及び下端

断層の上端は原則として海底面とし、下端は日本海調査検討会海底断層WGによる地質構造区分に従い、15 kmとする（図 II. ii -4 参照）。ただし、断層の上端及び下端深度については地震モーメントと断層すべり量に関係し、津波の高さに影響をあたえるため、設定にあたっては微小地震の分布における D10、D90 深度分布及び津波波高のパラメータスタディも参照した。

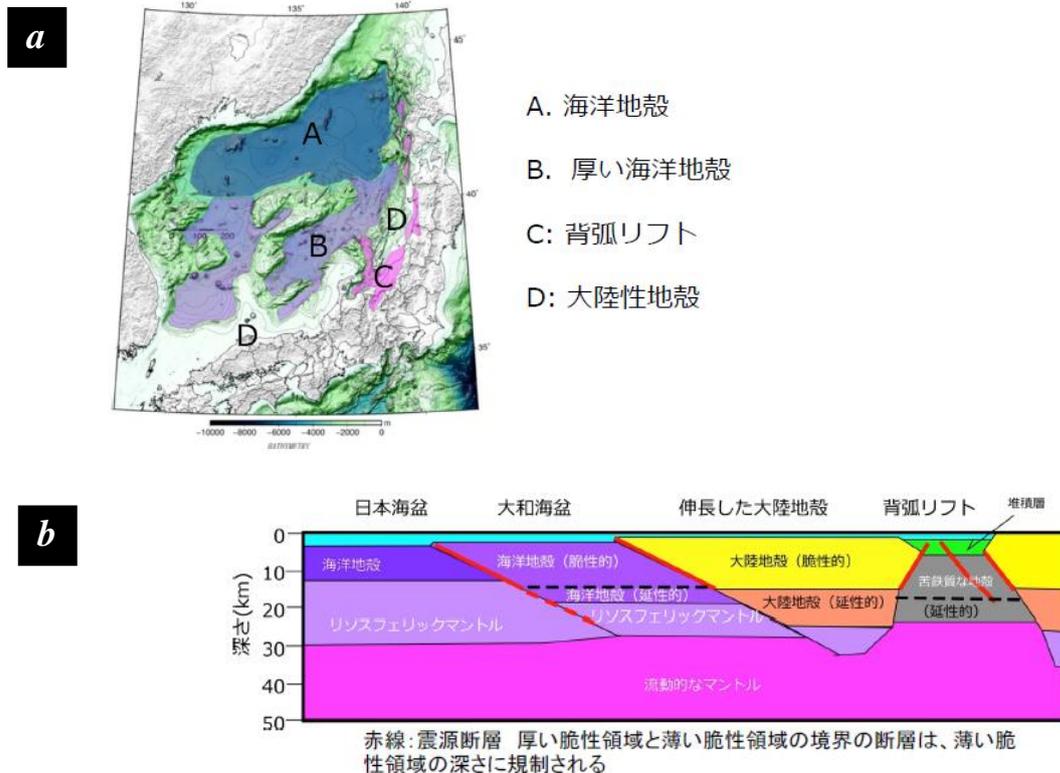


図 II. ii -4 日本海調査検討会海底断層 WG 報告書から引用。元は佐藤ほか（2014）による a) 日本海の地殻構造の区分、b) 日本海東部の地震発生層概念図。これらをもとに、日本海調査検討会では、A. 海洋地殻=18 km、B. 厚い海洋地殻=25 km、C. 背弧リフト=18 km、D. 大陸性地殻=15 kmとしている。

<D10 及び D90 の深度の設定方法>

対象領域に 10 km 間隔のグリッドを配置し、そのグリッドを中心とした円柱を設定する。円柱のなかに入る震源データを取り出して、それらの 90% が含まれる深さを D90、10% が含まれる深さを D10 とする。今回、円柱のサイズは、半径 20 km、高さ 30 km とし、円柱に入る震源の数が 50 個以上の場合のみ、D10 及び D90 を計算することとしている（図 II. ii -5 参照）。

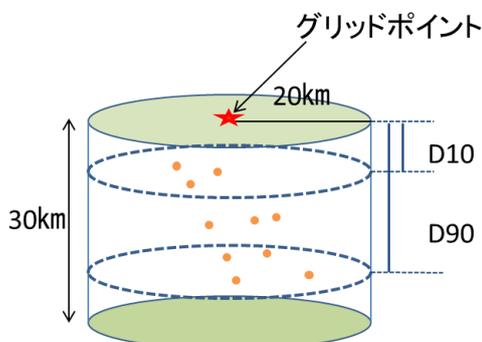


図 II. ii -5 D10 及び D90 の推定方法の概念図

気象庁による 1923 年～2013 年までの日本海沿岸域の震源データを検討すると、図 II. ii -6 のようになり、今回検討の対象となっている能登半島より西の領域は、日本海東縁部に比べると D90 深度が浅いことがわかる。能登半島より西の領域の D90 深度はおおむね 10 km～20 km 程度に分布しており、今回の断層下端に設定は概ね妥当といえる。しかしながら、海域部分のデータは少なく、観測点からの距離も離れているために震源の深さの不確実性は大きく、特に D10 深度については震源分布から判断することは難しい。

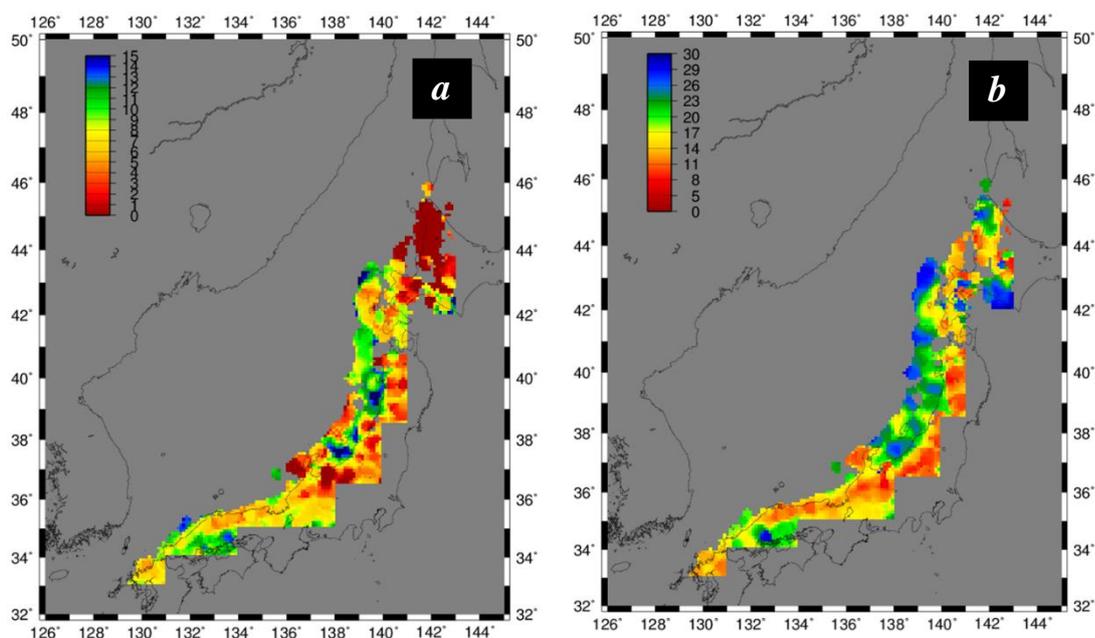


図 II. ii -6 気象庁データによる D10 (a) 及び D90 (b) 深度分布

なお、本プロジェクトで得られた断層上端及び下端に相当するデータとしては、各測線での、変位が確認されたいちばん浅い深度といちばん深い深度の値もある。しかしながら、これらのデータは、あくまでも「確認された範囲」であり、これより浅い部分及び深い部分に断層が続いていないと断定できるものではない。事実、数十 km の長さの断層が定義されているにもかかわらず、変位が確認されたいちばん深い部分の深度が数 100 m 程度と、表層のみの場合もあり、この情報のみからでは断層下端深度を決定することはできない。ただし、変位が確認されたいちばん浅い部分の深さは 1 つの断層 (025_Wakasa) を除いて、すべては 1 km より浅くなっている。断層上端深度はこれよりも浅いと考えられることから、断層上端深度を海底面 (0 km) とすることは妥当であると考えられる。

c. 断層傾斜角

日本海調査検討会の方針と同様に横ずれ断層=90°、縦ずれ断層=45° ±15° と一定の値として設定したが、断層の傾斜角設定に資するデータとして、本プロジェクトでは見かけ傾斜角が提供されているので (みかけ傾斜角については図 II. i -2 参照)、これらのデータも参照して決定した。

みかけ傾斜角の、各断層における平均値 (個々の断層の見かけ傾斜角とみなす) については表 II. i -2 に記しているが、これらの値をみると、横ずれ断層に対して、60° 以下の低角な値があるなど、そのまま使用することは難しい断層もあり、また、変位が確認された最も深い部分の深度が数 100 m と浅く、表層のみで決定されているものもあるため、断層傾斜角の設定は走向ごとに分類した断層傾斜角の平均値を確認したうえで、横ずれ断層を 90°、縦ずれ断層は基本的には 45° (低角なものは 30°、高角なものは 60°) として使用することとした。

本プロジェクトにおける各断層の見かけ傾斜角の分布は図 II. ii -7 のようにまとめられる。

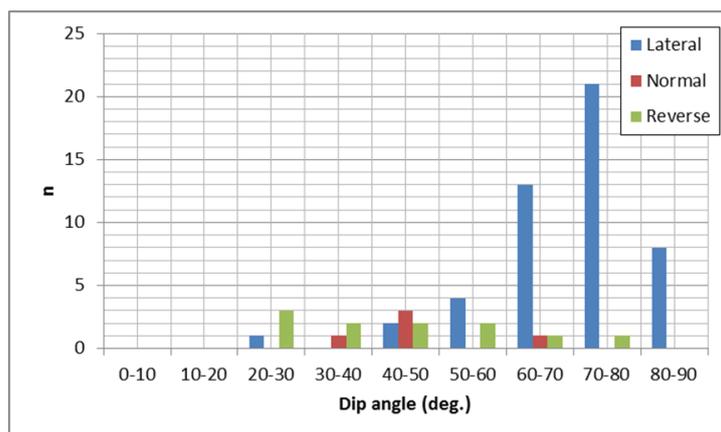


図 II. ii -7 本プロジェクトにおける見かけ傾斜角の分布

傾斜角の各範囲にある断層数を数えて表示したもの。

図 II. ii -7 において、横ずれ断層の大半では、傾斜角は 70° ~90° の範囲にある。しかしながら、60° よりも低角の、横ずれ断層としては考えにくいような断層も、横ずれ断と判断された断層の総数に対して 1 割以上含まれている。また、縦ずれ断層 (正断層と逆断

層) は多くが $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ にあるが、縦ずれ断層の数自体は横ずれ断層よりも圧倒的に少なく、数のピークは卓越しない。横ずれ断層を走向で分類し、傾斜方向も考慮して傾斜角の平均値を求めると表 II. ii-2 に示す結果となる。

表 II. ii-2 本プロジェクトにおける走向ごとの断層傾斜角

		Lateral		Normal	Reverse
0-45	東	*	-60	*	*
180-225	西	-60		*	63
45-90	東	68.66667	-87.6	48	*
225-270	西	-63.86667		*	41
90-135	西	73.6	89.75833	*	*
270-315	東	-74.0833		*	*
135-180	西	71.85714	-88.0714	*	*
315-360	東	-68		*	32

ここで、横ずれ断層の走向が $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 及び $180^{\circ} \sim 225^{\circ}$ のデータ数は少ないためにこれ以外のものの平均傾斜角をみると、 90° に近い値になっている。この結果からみて、日本海調査検討会の断層モデルで使用された基準で本プロジェクトにおける断層データの断層傾斜角はおおむね表現することが可能であると考えられる。日本海調査検討会の基準でカバーされる範囲と、本プロジェクトのデータによる見かけ傾斜角の比較を図 II. ii-8 に示す。

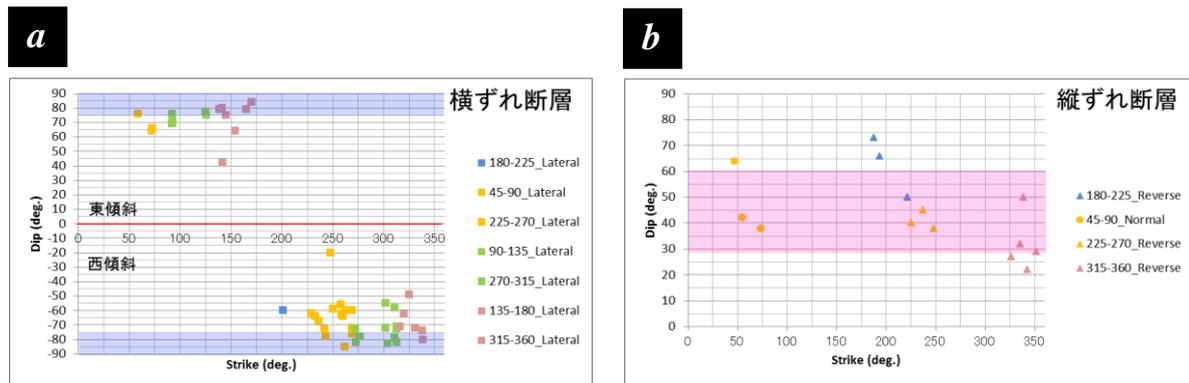


図 II. ii-8 本プロジェクトにおける見かけ傾斜角と断層走向との関係

断層の走向には断層傾斜方向に関する情報が含まれている。a) 横ずれ断層に関する検討。青い網掛け部分が日本海調査検討会の基準によってデータが包含される範囲を示す。日本海調査検討会では一律 90° としているが、ここでは縦ずれ断層の例にならって、 $\pm 15^{\circ}$ の範囲を設けている。b) 縦ずれ断層に関する検討。赤い網掛け部分は日本海調査検討会の基準によって包含される範囲を示す。日本海調査検討会では、 $45^{\circ} \pm 15^{\circ}$ の範囲としている。

d. 断層の幅

断層の上端深度、下端深度と断層傾斜角から設定する。ただし、断層の幅が長さを超えないように調整する。日本海調査検討会では断層長と断層幅のアスペクト比は 2:1 を越えないように設定されているが、本プロジェクトは日本海調査検討会で検討されたよりも短い断層についても扱うため、地震調査研究推進本部による「内陸活断層の強震動評価レシピ (以下「強震動レシピ」と省略)」と同様にアスペクト比は 1:1 以下とした。

e. 断層のすべり角

本プロジェクトではすべり角もしくはそれを推定できるデータは提供されていない。また、日本海調査検討会で使用された広域応力場のデータを使用することができなかったため、個々の断層についてすべり角を再解析することはできなかった。よって、日本海調査検討会の断層すべり角から推定し設定する。近隣に似たような断層タイプの日本海調査検討会のモデル断層が設定されておらず、日本海調査検討会によるモデル断層から推定できない場合には強震動レシピから、逆断層= 90°、正断層= 270°、左横ずれ断層= 0°、右横ずれ断層=180° と設定する。

f. すべり量

断層のすべり量は断層面 S (m²) と地震モーメント M_o (Nm) のスケーリング式から設定する。スケーリング則については、検討の余地は残るが、本年度の作業としては、日本海調査検討会のスケーリング則から平均的な関係式と防災上の観点から平均すべり量のばらつきを考慮して大きなすべり量を想定するために設定した関係式を採用し、ばらつきとして考慮する。

日本海調査検討会におけるすべり量の設定方法は、次の通りである。

・ μ 式

μ 式は平均的な地震規模を求める式である。平均すべり量は 4.5 m で飽和する。計算手順は以下のようなになる。

① 断層面積 (S [m²]) から M_o [Nm]を求める

$$M_o=(S/2.23*10^9)^{3/2}*10^{-7} \quad (M_w>6.5)$$

$$M_o=(S/4.24*10^5)^2*10^{-7} \quad (6.5 \leq M_w < 7.7)$$

$$M_o=1.54*S*10^{11} \quad (7.7 \leq M_w)$$

} 入倉・三宅 (2001) による

② 平均すべり量を求める

$$M_o=\mu DS, \quad \mu=3.34*10^{10} \quad [\text{Nm}]$$

$$\log M_o=1.5M_w+9.1$$

・ σ 式

σ 式は防災上の観点から、より大きいすべり量との地震規模を求める式であり、 μ 式で求められた平均すべり量に 1.5 m を加算する。平均すべり量は 6.0 m で飽和する。計算手順は、 μ 式によって平均すべり量を計算したあと、その値に 1.5 m を加算し、地震モーメントを再計算する。

今回は、平均的な地震規模として μ 式による値を示し、また不確実性を考慮した値を併記することのより、ばらつきの範囲として評価する。本プロジェクトによるデータは、断層の長さは、変位が確認された測線間の長さとなるため、実際よりも短くなっているという性格に留意する必要がある。その結果、地震モーメントは小さめに評価される傾向があり、断層長が今回、示されているデータよりも長い可能性を考慮して、このようなばらつきを設定した。

③基本断層モデルの設定

a. 基本断層モデル

前項((ii) -②)を通して説明した方法によりパラメータを設定し、作成した単純な矩形断層モデルが基本断層モデルである。本来、基本断層モデルでは、地質構造の観点から連続性を判断して設定することが必要であるが、地震断層として地下では連続しているが、地下浅部の地質断層は、堆積層内部で分岐して、海底面付近で平行ないし雁行する場合があるなど、偶発的な不確実性がある。また、観測手法に関する誤差や反射断面の読み取り誤差のような解析手法に起因する誤差など、認識論的不確実性もある。以上の観点から、これらの不確実性を考慮して、音波探査による個々の断層をグルーピングして、ひとつの断層モデルとすることが必要である。基本モデルを確定するためのグルーピングの検討は今後の課題である。この基本断層モデルをもとに、いくつかの断層を整理することによって、連動の可能性を考慮したモデルの作成を検討する予定である。

b. 断層の連動の可能性の検討

前述の図Ⅱ. i -1 の断層モデルの設定方針にもとづいて、前項でモデル化した基本断層モデルをもとに、連動の可能性を考慮した断層モデルを設定した。設定方針は次のとおりである(図Ⅱ. ii -9 参照)。

- ・断層長が十分長く孤立している断層は、原則としてそのまま1本の断層とした。
- ・離隔距離が短く走向が同方向で断層タイプが同じもの、近接して平行ないし雁行して配列し形成機構が同様と考えられるもの等については、まとめて、1本の断層連動型モデルとした。
- ・断層長が短いものについては、基本断層モデルの作成において断層長を18 kmに延長しているが、さらに周辺の断層との傾斜方向の一致および断層タイプ、断層の離隔距離等の関係から断層連動型モデルを検討した。

例えば、北九州、山口県沖、島根県沖の、離隔距離が短く平行に走るような断層群は、地下深部に横ずれ断層としての主断層が存在し、これが地下浅部で分岐しているフラワー構造(地下深部の横ずれ断層から地表へ広がっていく断層群)である可能性があると考え、1本の断層にまとめて扱うこととした。

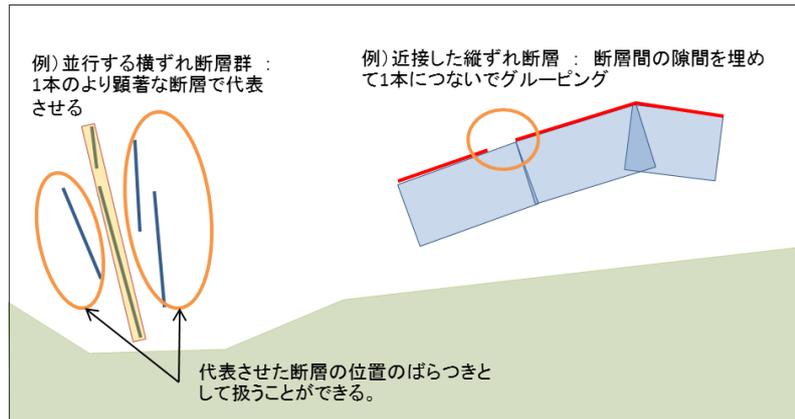


図 II. ii -9

基本断層モデルから連動型断層モデルを設定する際のグルーピングの考え方の概念図

c. 断層情報が不完全な場合の断層モデルの設定

本プロジェクトにて提供された断層データは、先行する日本海調査検討会海底断層 WG で認定された断層と比較して位置が大きく逸脱することはなく、日本海調査検討会海底断層 WG で断層が認定されていない場所についても断層の存在が想定されている(図 II. i -1)。例えば、010_Hamada は歴史地震としてよく知られている 1872 年浜田地震(今村(1913)及び島根県(2014)など)の震源断層に相当するが、この断層は日本海調査検討会海底断層 WG においては評価されていない(図 II. i -1-c)。そのため、断層の存在については既往文献、先行研究に遜色なく網羅されていると考えられる。

しかしながら、これらの断層は前述(II-ii-①~②(P.148~P.154))のように、変位が確認された測線間の距離で表わされるため、実際の長さよりも短く認定されている傾向がある。また、断層傾斜角についても、変位が確認されたいちばん浅い点からいちばん深い点までの見かけ傾斜角で与えられるため、それが本来の震源断層の傾斜を表わしているとは限らない。また、実際の断層の下端の深さも明示的に示されていないため、これらが本プロジェクトで提供されたデータの補うべき点とした。

断層が短い場合には地震本部の強震動レシピおよび土木学会の考えを踏襲し、上部地殻内の震源断層が地表に現れている場合には地下深部では 18 km 程度以上の断層規模であると想定し、18 km まで延長した。そのほか、断層傾斜角については、傾斜角を一般的な値で仮定することによって補い、断層下端の深さについては、地質構造区分から値を設定することとした。また、断層位置や、断層パラメータが、ばらつきを持つ値として扱うことにより、断層位置のずれ、パラメータのずれ、また、認定された断層の近隣に位置する未発見の断層の存在をカバーすることができる。これらの情報の不完全さに起因するパラメータのばらつきについて、沿岸の津波波高に対する影響を④で示す津波数値計算によるパラメータスタディの実施で本検討の適切さやばらつきの範囲を評価した。

以上の作業により設定した波源断層の基本モデルを図 II. ii -10 に示す。

図 II. ii -10 は本プロジェクトによる全断層トレースに矩形をあてはめて、単純にモデル化した基本モデルである。これらのモデルをさらに分割することによって、より小さい規模の地震を考慮し、グルーピングすることによって断層連動の可能性による、より大規模な地震について検討する。

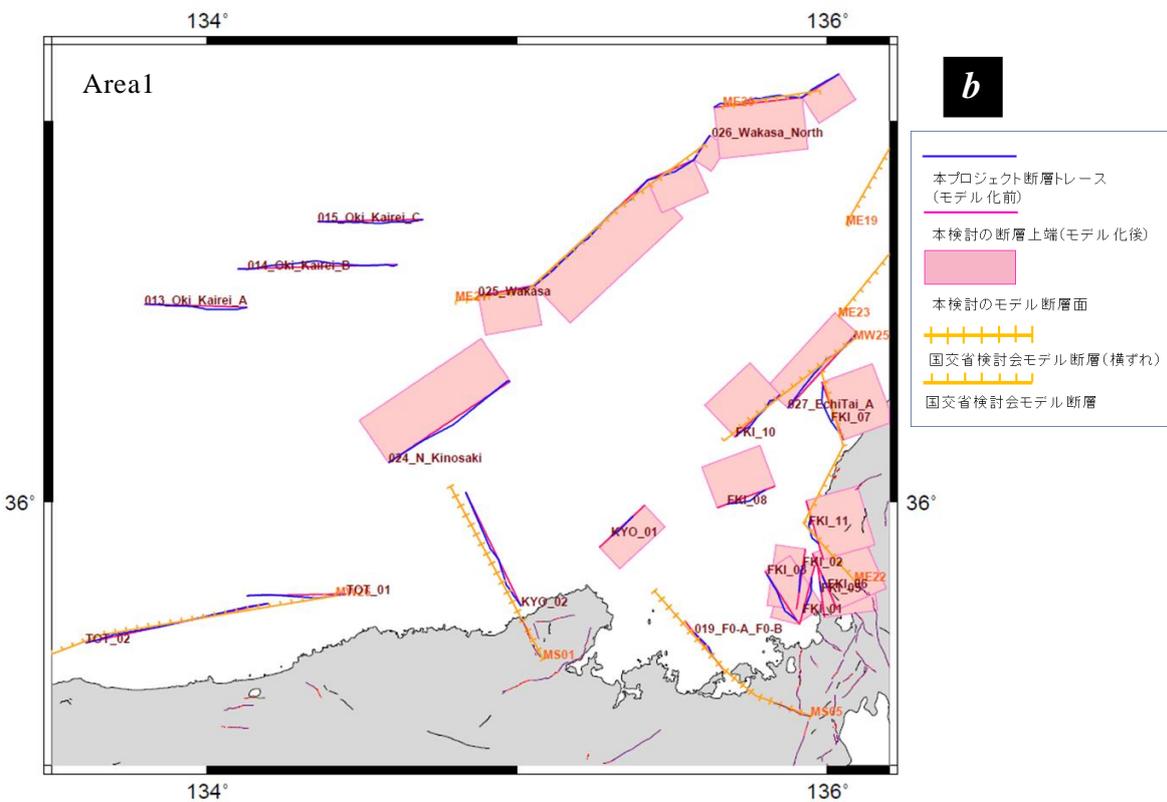
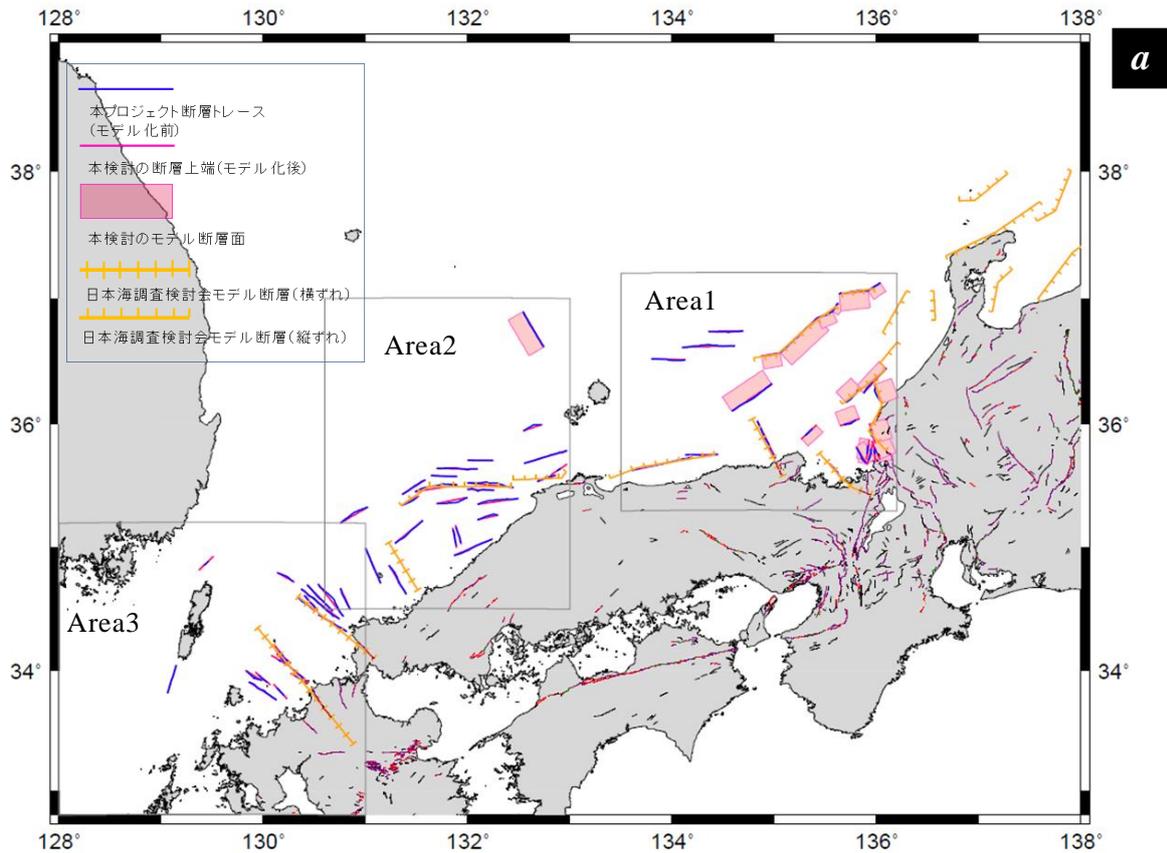
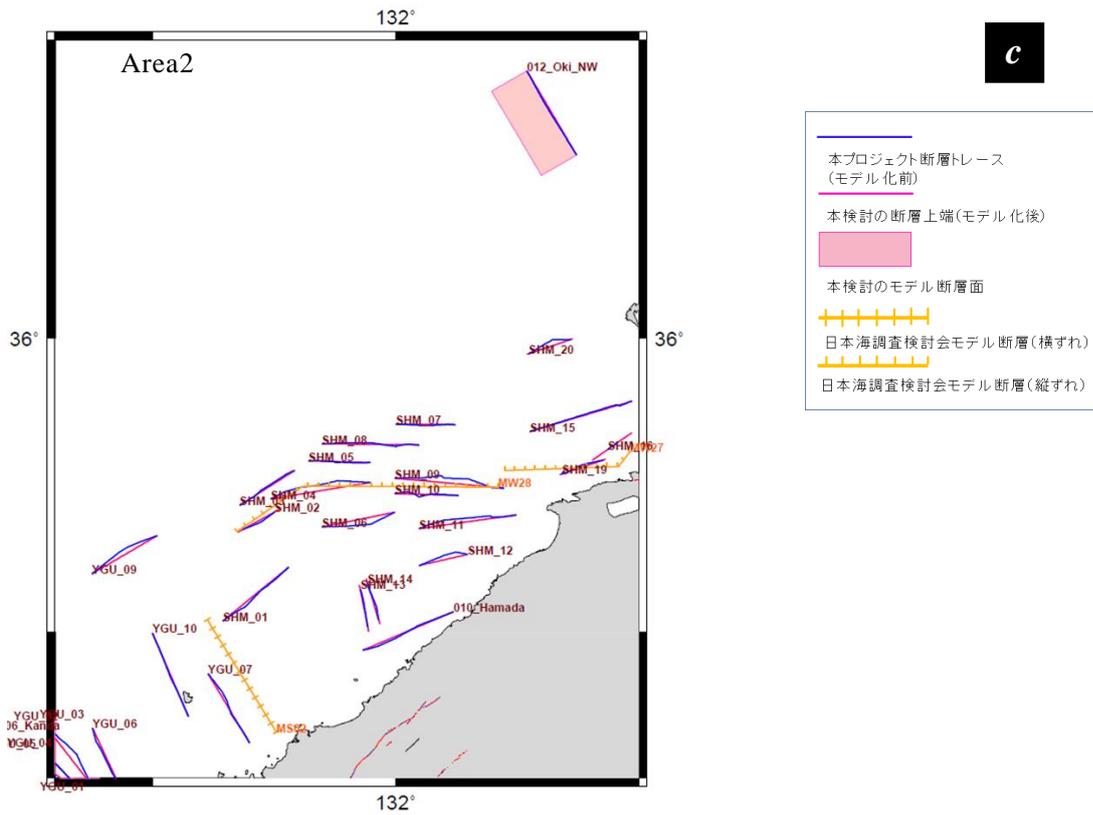
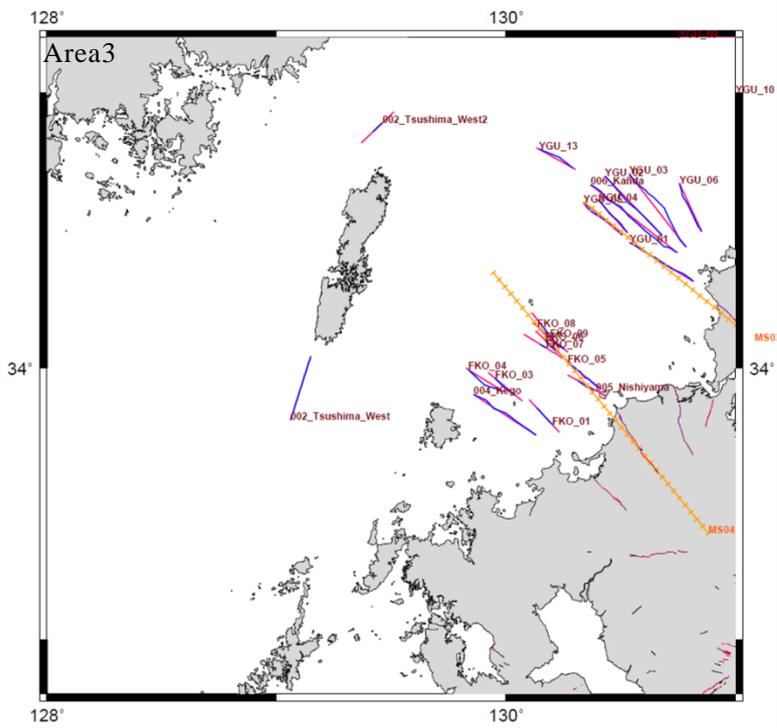


図 II . ii -10(1) 日本海西部の海域断層の基本モデル



c



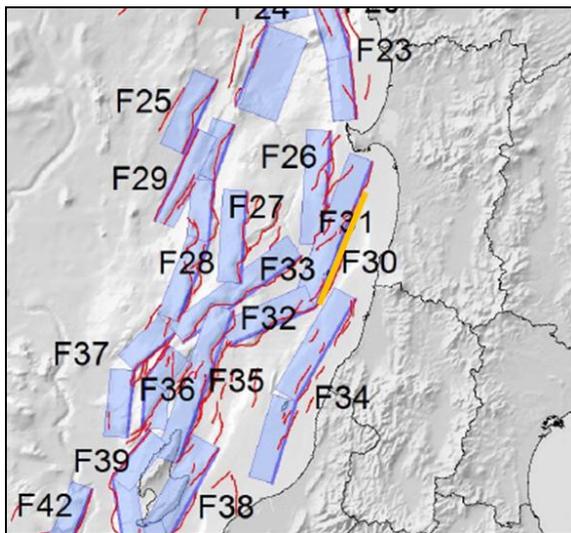
d

図 II . ii -10(2) 日本海西部の海域断層の基本モデル

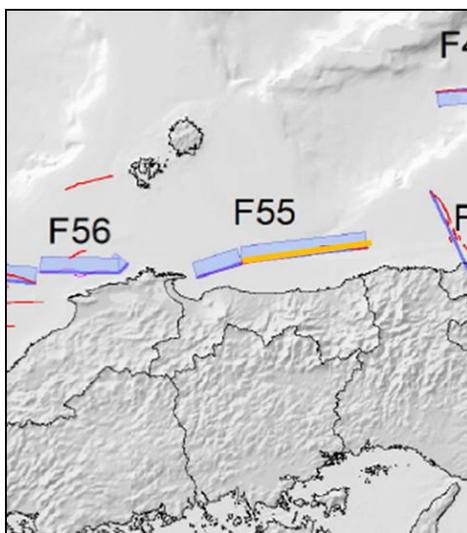
④断層パラメータの不確実性の影響度評価

断層データの不完全さに起因する断層パラメータの不確実性の評価として、断層パラメータの違いが沿岸の津波波高にどのような影響をあたえるのかを見積もるため、実験用の断層を選定し、津波のパラメータスタディを実施した。

地形や、基本となるパラメータの違いによる影響もあるため、パラメータスタディに使用する断層は鳥取県沖と、今回の断層モデル設定範囲外であるが、秋田県沖の断層の2つを選定した。パラメータスタディにもちいる断層モデルは、日本海調査検討会によるモデル断層をもとに設定した（図Ⅱ-ii-11）。



a



b

図Ⅱ.ii-11 パラメータスタディに使用した断層の位置 a)秋田県沖の断層（日本海調査検討会モデルF31）、b)鳥取県沖の断層（F55）、日本海調査検討会報告書（2014）に加筆

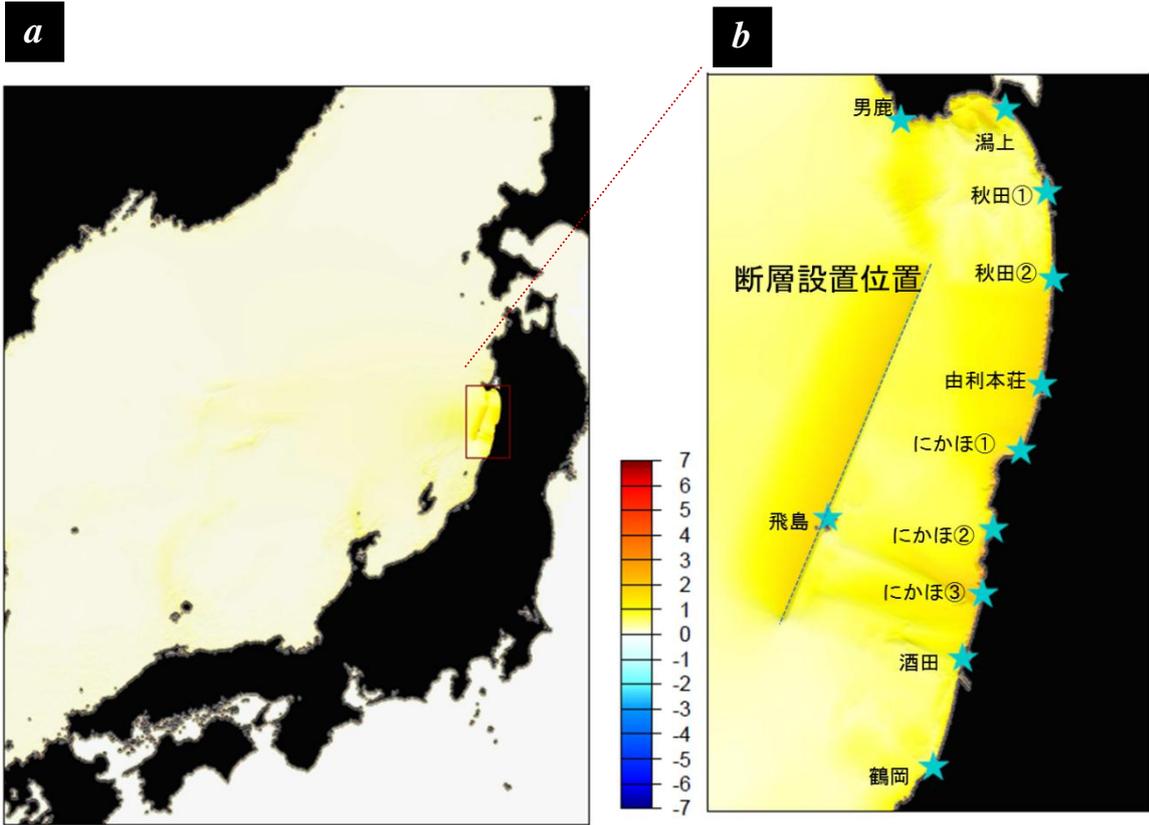
a. パラメータスタディ用断層モデルの設定方法

図Ⅱ.ii-11に示すように、秋田県沖及び鳥取県沖の日本海調査検討会のモデル断層が設定されている位置に断層を設定する。このパラメータスタディで使用する断層モデルは日本海調査検討会のモデル断層を参照し設定した、仮想的な波源断層を想定する。断層の長さについては、秋田県沖と鳥取県沖の結果を比較できるように、両者を同じ長さ（72 km）に調整した。断層の上端及び下端深度はそれぞれ1 kmと18kmとしている。平均すべり量は断層面積 S (m²) と地震モーメント M_0 (Nm) のスケーリング則から計算した。スケーリング式は入倉・三宅（2001）（Ⅱ.ii-②-gを参照）を使用した（パラメータスタディ用断層モデルの標準パラメータは表Ⅱ.ii-4を参照）。

表Ⅱ.ii-4 パラスタで使用した仮想断層の標準パラメータ

	断層上端 (km)	断層下端 (km)	走向	傾斜	すべり角	断層長(km)	断層幅(km)	断層面積 (km ²)	Mw(Nm)	平均すべり 量(m)
秋田県沖	1.0	18.0	201.8	45	90	72.0	24.1	1731.6	7.41	2.81
鳥取県沖	1.0	18.0	260.5	60	35	72.0	19.6	1413.4	7.30	2.29

標準パラメータにより津波計算をおこなったときの最大波高の分布を図Ⅱ.ii-12と図Ⅱ.ii-13に示す。また、ここに示した地名は、今後のパラメータスタディでの沿岸波高の検討地点として使用する。

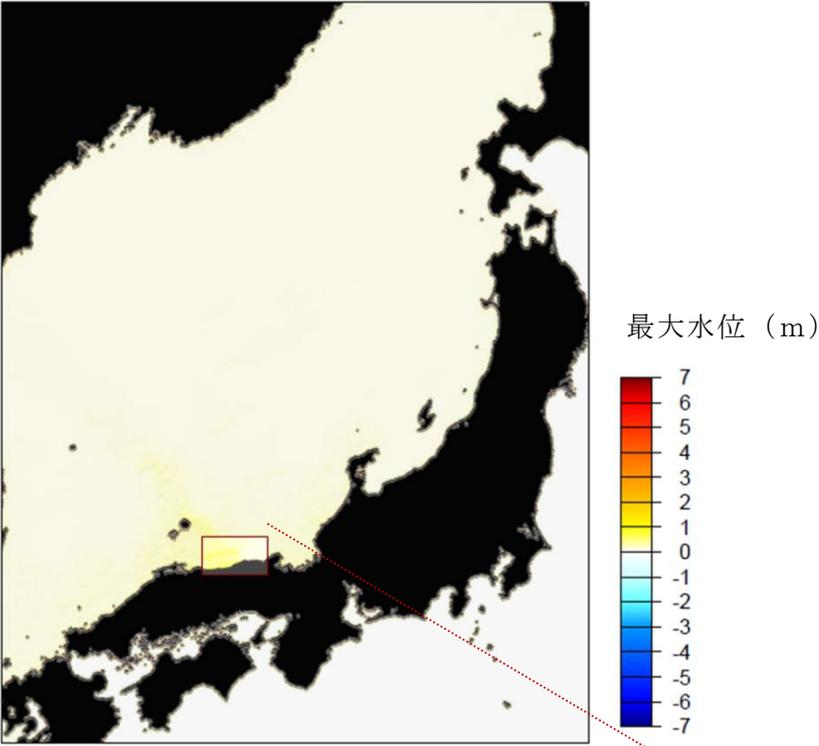


最大水位 (m)

図 II.ii-12 秋田県沖に設定した波源による津波波高の分布

断層パラメータは (strike, dip, rake) = (201.8, 45, 90), (L, W) = (72, 24.05), $d=2.81$, $M_w=7.41$ a) 広域での最大水位分布 b) 150 m メッシュ領域内での最大水位分布

a



b

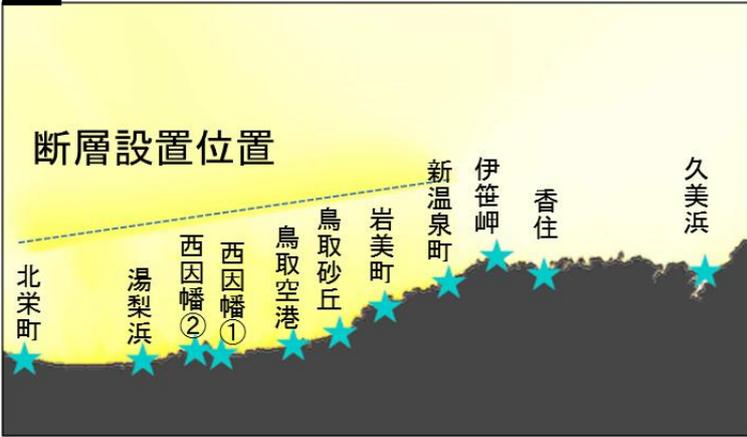


図 II . ii -13 鳥取県沖に設定した波源による津波波高の分布
断層パラメータは (strike, dip, rake) =(260.5, 60, 35), (L, W)=(72, 19.63), d=2.29, Mw=7.30 a) 広域での最大水位分布 b) 150m メッシュ領域内での最大水位分布

b. パラメータスタディの計算条件

今回のパラメータスタディにおける津波予測計算は、150m メッシュを最小メッシュ領域とし、表 II - ii -5 の条件で計算を行った。

表 II . ii -5 津波予測計算の計算条件

項目	計算条件
	最小格子150m、日本海海域
支配方程式	非線形長波理論式
数値解法	後藤モデル(港湾研II)または東北大モデル Staggered Leap-frog差分スキーム
計算領域	異なる格子間隔の領域を1:3でネステイング
計算格子間隔	1350m、450m、150m (沿岸はすべて150m)
境界条件	陸側: 陸域への遡上計算 海側: 完全無反射で透過
地形データ	本プロジェクトにおける津波予測計算用地形
各種施設の取り扱い (堤防・水門等)	考慮なし
計算時間	12時間
計算時間間隔	安定性(CFL条件)を考慮して設定
初期水位	Okada(1992)で算定した地殻変動量から算出される海底地盤変動量を初期水位として与える
潮位	T.P. = 0 m
打ち切り水深	10 ⁻² m
粗度係数	一定値(0.025)

c. パラメータスタディの実施と結果

このパラメータスタディにおいて検討対象のパラメータは、断層位置、断層深さ、傾斜角、すべり角とそれらにともなって変化する断層幅、すべり量、すべり角、地震規模である。固定のパラメータは断層幅と走向である。

以下、今回、実施したパラメータスタディの概要とパラメータの一覧及び結果を示す。

- ・パターン1：断層下端深度と断層傾斜角がかわる場合

断層上端深度を固定し、断層下端深度を変化させる。また、断層傾斜角も変化させる。これらのパラメータが変化することによって、断層幅が変化し、地震規模も変化する。パターン1において変化するパラメータを表 II . ii -6 に示す。ここでパラメータスタディを行った全モデルを表 II . ii -7 に示す。

表 II . ii -6 パターン1における可変パラメータ

断層位置	走向	傾斜	すべり角	断層長	断層幅	上端深度	下端深度	Mw	すべり量
×	常に一定	○	×	常に一定	○	×	○	○	○

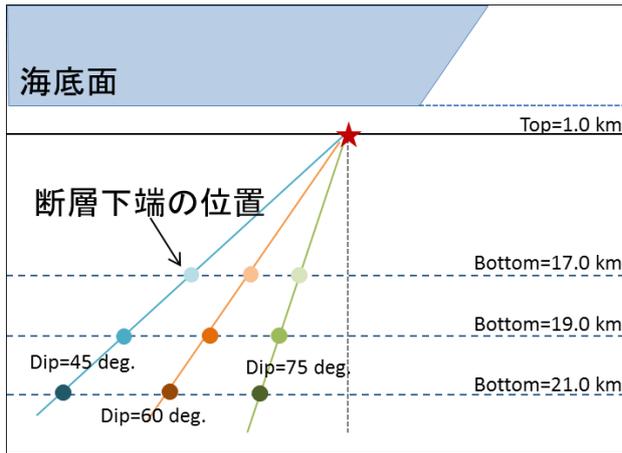


図 II . ii -14 パラメータスタディ パターン1 の概念図

表 II . ii -7 パターン1 の全パラメータ

	Area	lat	lon	top	bottom	strike	dip	rake	L	W	slip	Mw	
Akita	Area 12 b16d45	12	39.604	139.767	1	17	201.8	45	90	72	22.63	2.64	7.38
	Area 12 b16d60	12	39.604	139.767	1	17	201.8	60	90	72	18.48	2.16	7.26
	Area 12 b16d75	12	39.604	139.767	1	17	201.8	75	90	72	16.56	1.93	7.2
	Area 12 b17d45	12	39.604	139.767	1	18	201.8	45	90	72	24.048	2.81	7.41
	Area 12 b17d60	12	39.604	139.767	1	18	201.8	60	90	72	19.63	2.29	7.3
	Area 12 b17d75	12	39.604	139.767	1	18	201.8	75	90	72	17.598	2.05	7.23
	Area 12 b18d45	12	39.604	139.767	1	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b18d60	12	39.604	139.767	1	19	201.8	60	90	72	20.79	2.43	7.33
	Area 12 b18d75	12	39.604	139.767	1	19	201.8	75	90	72	18.63	2.18	7.27
	Area 12 b19d45	12	39.604	139.767	1	20	201.8	45	90	72	26.874	3.14	7.48
	Area 12 b19d60	12	39.604	139.767	1	20	201.8	60	90	72	21.94	2.56	7.36
	Area 12 b19d75	12	39.604	139.767	1	20	201.8	75	90	72	19.669	2.3	7.3
	Area 12 b20d45	12	39.604	139.767	1	21	201.8	45	90	72	28.29	3.3	7.51
	Area 12 b20d60	12	39.604	139.767	1	21	201.8	60	90	72	23.09	2.7	7.39
	Area 12 b20d75	12	39.604	139.767	1	21	201.8	75	90	72	20.7	2.42	7.33
	Area 12 b22d45	12	39.604	139.767	1	23	201.8	45	90	72	31.12	3.63	7.56
	Area 12 b22d60	12	39.604	139.767	1	23	201.8	60	90	72	25.4	2.97	7.45
	Area 12 b22d75	12	39.604	139.767	1	23	201.8	75	90	72	22.77	2.66	7.38
	Area 12 b24d45	12	39.604	139.767	1	22	201.8	45	90	72	33.946	3.96	7.61
	Area 12 b24d60	12	39.604	139.767	1	22	201.8	60	90	72	27.714	3.24	7.5
Area 12 b24d75	12	39.604	139.767	1	22	201.8	75	90	72	24.845	2.9	7.43	
Area 12 b25d45	12	39.604	139.767	1	26	201.8	45	90	72	35.36	4.13	7.64	
Area 12 b25d60	12	39.604	139.767	1	26	201.8	60	90	72	28.87	3.37	7.52	
Area 12 b25d75	12	39.604	139.767	1	26	201.8	75	90	72	25.88	3.02	7.46	
Tottori	Area 19 b16d45	19	35.761	134.449	1	17	260.5	45	35	72	22.63	2.64	7.38
	Area 19 b16d60	19	35.761	134.449	1	17	260.5	60	35	72	18.48	2.16	7.26
	Area 19 b16d75	19	35.761	134.449	1	17	260.5	75	35	72	16.56	1.93	7.2
	Area 19 b17d45	19	35.761	134.449	1	18	260.5	45	35	72	24.048	2.81	7.41
	Area 19 b17d60	19	35.761	134.449	1	18	260.5	60	35	72	19.63	2.29	7.3
	Area 19 b17d75	19	35.761	134.449	1	18	260.5	75	35	72	17.598	2.05	7.23
	Area 19 b18d45	19	35.761	134.449	1	19	260.5	45	35	72	25.46	2.97	7.45
	Area 19 b18d60	19	35.761	134.449	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d75	19	35.761	134.449	1	19	260.5	75	35	72	18.63	2.18	7.27
	Area 19 b19d45	19	35.761	134.449	1	20	260.5	45	35	72	26.874	3.14	7.48
	Area 19 b19d60	19	35.761	134.449	1	20	260.5	60	35	72	21.94	2.56	7.36
	Area 19 b19d75	19	35.761	134.449	1	20	260.5	75	35	72	19.669	2.3	7.3
	Area 19 b20d45	19	35.761	134.449	1	21	260.5	45	35	72	28.29	3.3	7.51
	Area 19 b20d60	19	35.761	134.449	1	21	260.5	60	35	72	23.09	2.7	7.39
	Area 19 b20d75	19	35.761	134.449	1	21	260.5	75	35	72	20.7	2.42	7.33
	Area 19 b22d45	19	35.761	134.449	1	23	260.5	45	35	72	31.12	3.63	7.56
	Area 19 b22d60	19	35.761	134.449	1	23	260.5	60	35	72	25.4	2.97	7.45
	Area 19 b22d75	19	35.761	134.449	1	23	260.5	75	35	72	22.77	2.66	7.38
	Area 19 b24d45	19	35.761	134.449	1	25	260.5	45	35	72	33.946	3.96	7.61
	Area 19 b24d60	19	35.761	134.449	1	25	260.5	60	35	72	27.714	3.24	7.5
Area 19 b24d75	19	35.761	134.449	1	25	260.5	75	35	72	24.845	2.9	7.43	
Area 19 b25d45	19	35.761	134.449	1	26	260.5	45	35	72	35.36	4.13	7.64	
Area 19 b25d60	19	35.761	134.449	1	26	260.5	60	35	72	28.87	3.37	7.52	
Area 19 b25d75	19	35.761	134.449	1	26	260.5	75	35	72	25.88	3.02	7.46	

表 II. ii-7 のパラメータを使用し計算したパラメータスタディの結果を 図 II-ii-15 及び 図 II-ii-16 のグラフにまとめた。

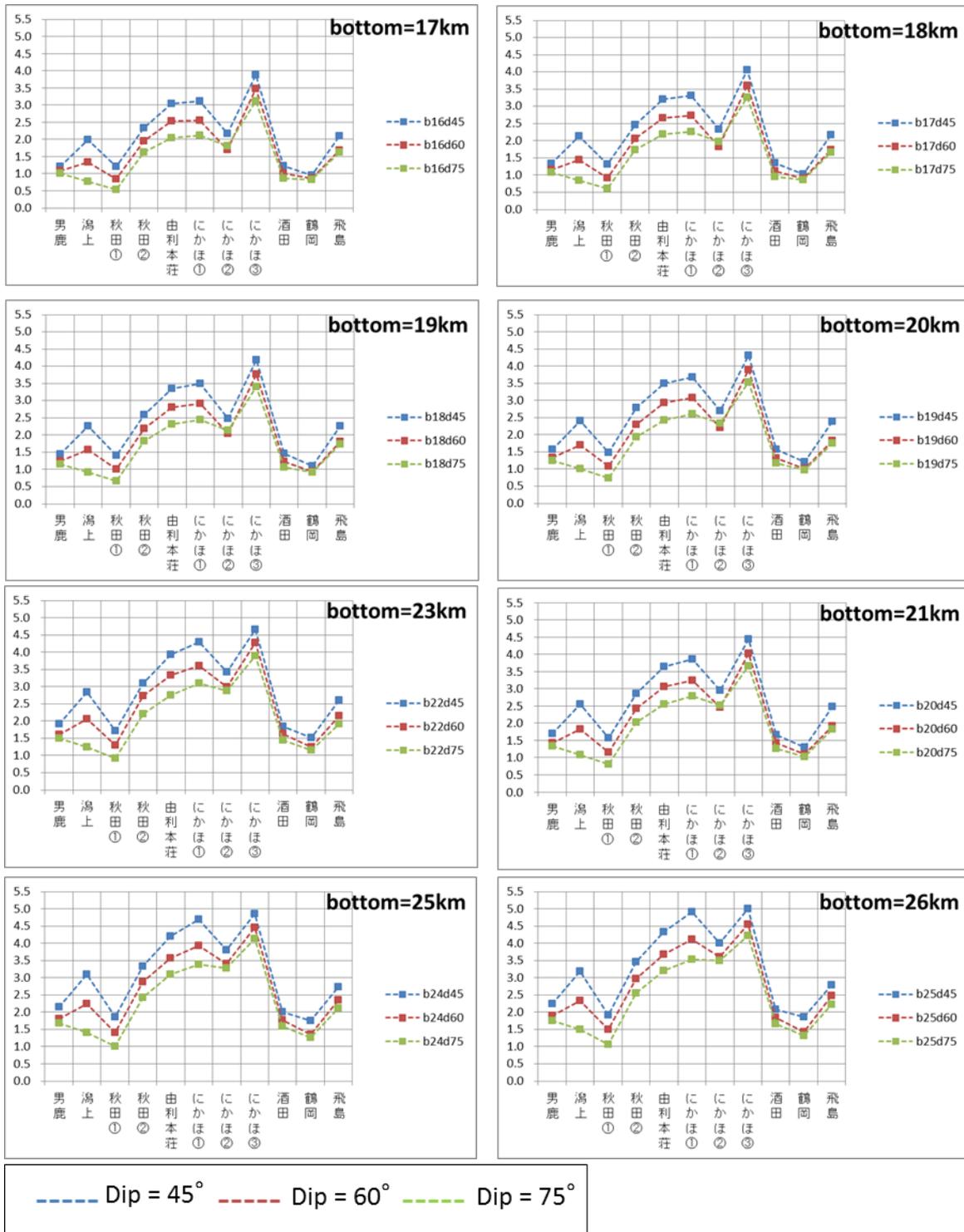


図 II. ii-15 秋田県沖におけるパターン1の計算結果
縦軸は津波の最大波高、横軸は検討地点

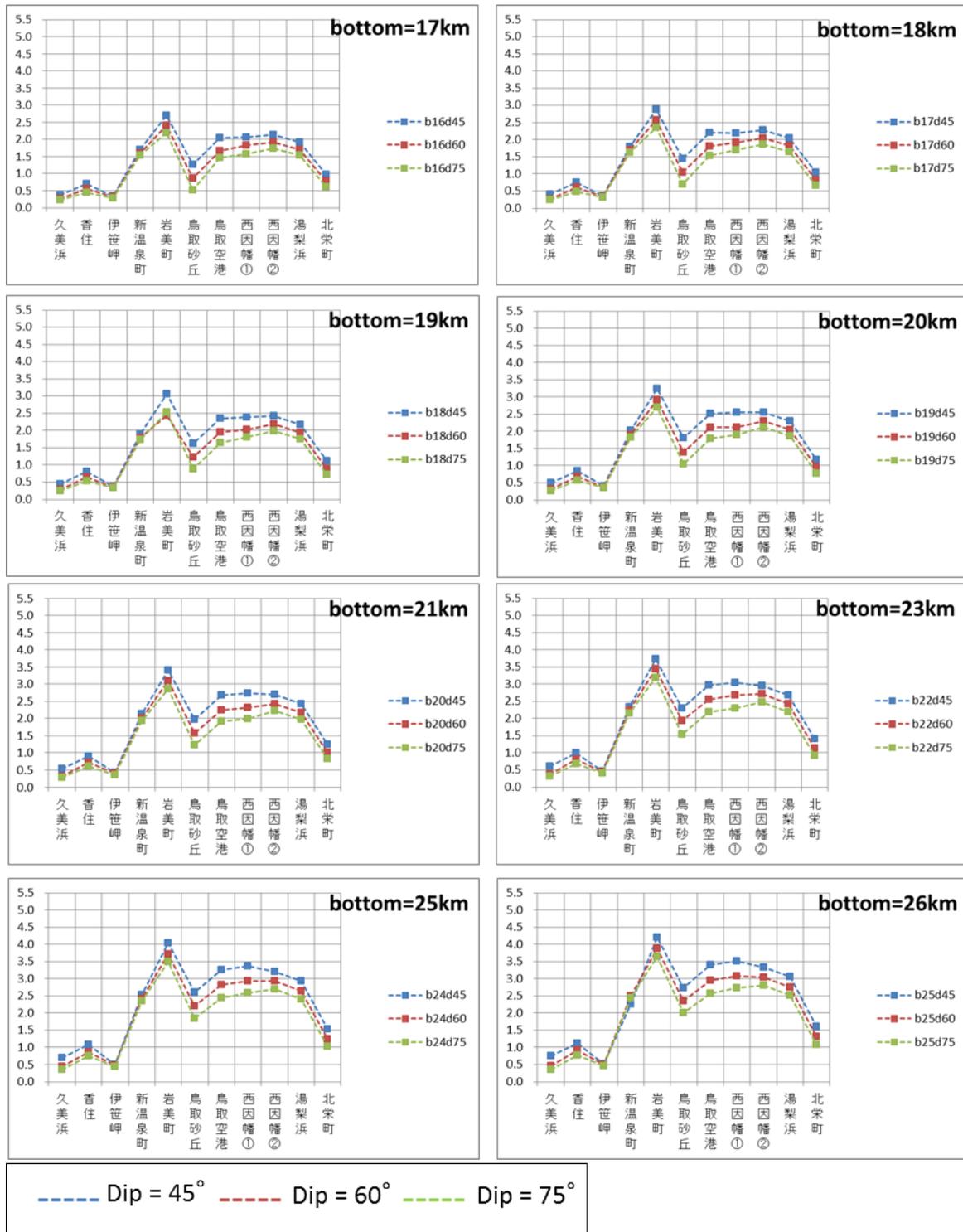


図 II. ii -16 鳥取県沖におけるパターン 1 の計算結果
縦軸は津波の最大波高、横軸は検討地点

このパラメータスタディにおけるモーメント量は秋田県沖においても、鳥取県沖においても同じであるにもかかわらず、全体的に鳥取県沖のほうが波高は低い傾向にある。鳥取は、水深が浅く、またすべり角を低く設定しているために沿岸の波高が抑えられていると考えられる。また、傾斜角の変化に対する波高の変化（三本線の間隔）は秋田が大きくなる傾向にある。

断層下端の深さに対する波高の変化は鳥取のほうが大きく、17 km～26 km の区間で、秋田では 4 m～5 m の変化に対して、鳥取では 2.8 m～4.2 m と変化量は約 1.5 倍になっている。

・パターン 2：すべり角が変化する場合

すべり角以外のパラメータをすべて標準モデルと同じとし、すべり角は標準モデルから $\pm 15^\circ$ を変化させる。パターン 2 において変化するパラメータを表 II. ii-8 に示す、ここでパラメータスタディをおこなった全モデルを表 II. ii-9 に示す。

表 II. ii-8 パターン 2 における可変パラメータ

断層位置	走向	傾斜	すべり角	断層長	断層幅	上端深度	下端深度	Mw	すべり量
×	常に一定	×	○	常に一定	×	×	×	×	×

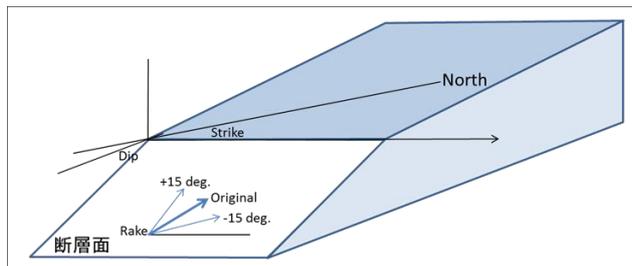


図 II. ii-17 パラメータスタディ パターン 2 の概念図。

表 II. ii-9 パターン 2 の全パラメータ

	Area	lat	lon	top	bottom	strike	dip	rake	L	W	slip	Mw	
Akita	Area 12_b17d45r75	12	39.604	139.767	1	18	201.8	60	75	72	24.048	2.81	7.41
	Area 12_b17d45r90	12	39.604	139.767	1	18	201.8	90	75	72	24.048	2.81	7.41
	Area 12_b17d45r105	12	39.604	139.767	1	18	201.8	60	105	72	24.048	2.81	7.41
Tottori	Area 19_b17d60r20	19	35.761	134.449	1	18	260.5	60	20	72	19.63	2.29	7.3
	Area 19_b17d60r35	19	35.761	134.449	1	18	260.5	60	35	72	19.63	2.29	7.3
	Area 19_b17d60r50	19	35.761	134.449	1	18	260.5	60	50	72	19.63	2.29	7.3

表 II. ii-9 のパラメータを使用し計算したパラメータスタディの結果を図 II. ii-18 及び図 II. ii-19 のグラフにまとめた。

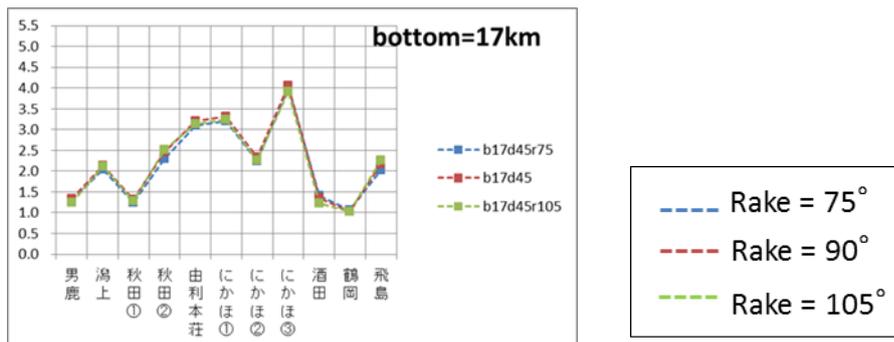


図 II - ii -18 秋田県沖におけるパターン 2 の計算結果
縦軸は津波の最大波高、横軸は検討地点

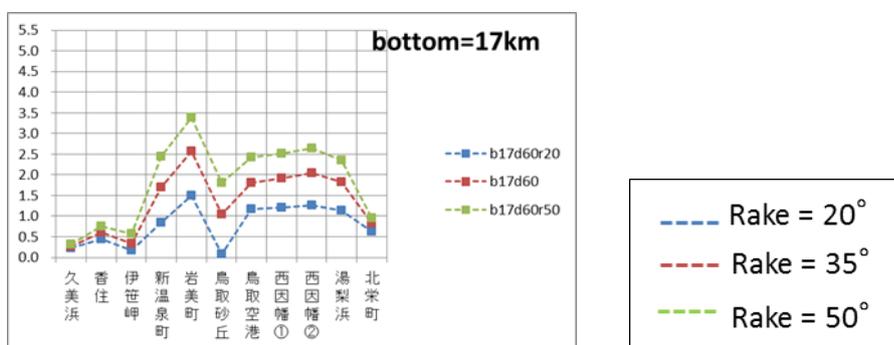


図 II . ii -19 鳥取県沖におけるパターン 2 の計算結果
縦軸は津波の最大波高、横軸は検討地点

図 II - ii -18 及び図 II - ii -19 から同じ幅ですべり角を変化させているのに対して、秋田ではほとんど変化がなく、鳥取では明確に変化している。これらの結果から、すべり角が浅い場合には、すべり角の変化が波高に与える影響は大きくなるといえる。

- ・パターン 3：断層上端深度と海岸からの距離が変わる場合

断層位置を標準モデルの位置から、「断層幅を海底投影した長さ」の 1/2～5 倍のピッチで移動させると同時に、それぞれの場合の断層上端深度を 0～2 km に変化させる。パターン 3 において変化するパラメータを表 II . ii -10 に示し、ここでパラメータスタディをおこなった全モデルを表 II . ii -11 に示す。なお、ここでは鳥取の断層下端深度を秋田よりも深くしているが、それは鳥取の傾斜角が高いために、断層の移動距離が短くなることによる。

表 II . ii -10 パターン 3 における可変パラメータ

断層位置	走向	傾斜	すべり角	断層長	断層幅	上端深度	下端深度	Mw	すべり量
○	常に一定	×	×	常に一定	×	○	○	×	×

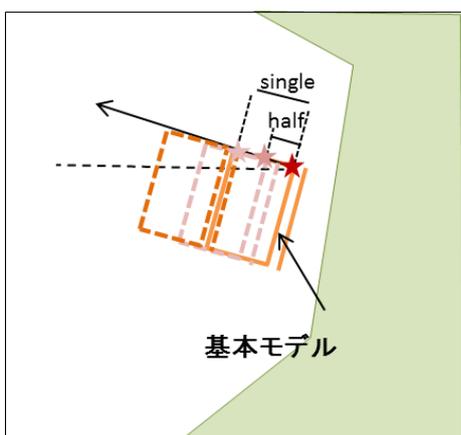
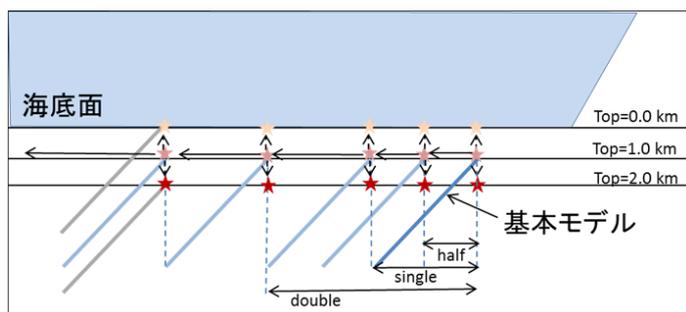


図 II . ii -20 パターン 3 の概念図

表 II . ii -11 パターン 3 の全パラメータ

	Area	lat	lon	top	bottom	strike	dip	rake	L	W	slip	Mw	
Akita	Area 12 b17d45 half0k	12	39.621	139.711	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 single0k	12	39.639	139.655	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 double0k	12	39.674	139.542	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 triple0k	12	39.709	139.430	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 quadruple0k	12	39.744	139.317	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 quintuple0k	12	39.778	139.204	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 half1k	12	39.621	139.711	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 single1k	12	39.639	139.655	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 double1k	12	39.674	139.542	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 triple1k	12	39.709	139.430	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 quadruple1k	12	39.744	139.317	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 quintuple1k	12	39.778	139.204	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 half2k	12	39.621	139.711	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 single2k	12	39.639	139.655	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 double2k	12	39.674	139.542	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
Area 12 b17d45 triple2k	12	39.709	139.430	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45	
Area 12 b17d45 quadruple2k	12	39.744	139.317	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45	
Area 12 b17d45 quintuple2k	12	39.778	139.204	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45	
Totтори	Area 19 b18d60 half0k	19	35.807	134.440	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 single0k	19	35.854	134.430	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 double0k	19	35.946	134.411	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 triple0k	19	36.039	134.392	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 quadruple0k	19	36.132	134.373	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 quintuple0k	19	36.224	134.354	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 half1k	19	35.807	134.440	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 single1k	19	35.854	134.430	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 double1k	19	35.946	134.411	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 triple1k	19	36.039	134.392	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 quadruple1k	19	36.132	134.373	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 quintuple1k	19	36.224	134.354	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 half2k	19	35.807	134.440	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 single2k	19	35.854	134.430	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 double2k	19	35.946	134.411	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
Area 19 b18d60 triple2k	19	36.039	134.392	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33	
Area 19 b18d60 quadruple2k	19	36.132	134.373	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33	
Area 19 b18d60 quintuple2k	19	36.224	134.354	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33	

表 II . ii -11 のパラメータを使用し計算したパラメータスタディの結果を図 II . ii 21 及び図 II . ii -22 のグラフにまとめた。

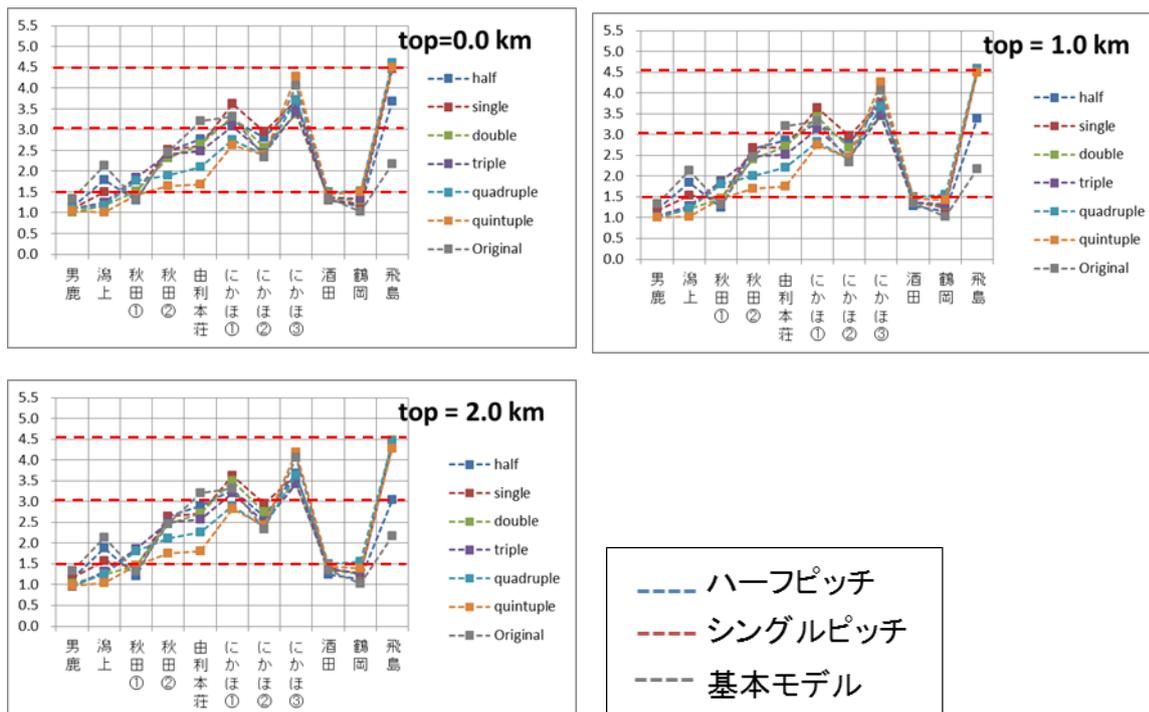


図 II. ii -21 秋田県沖におけるパターン 3 の計算結果
縦軸は津波の最大波高、横軸は検討地点

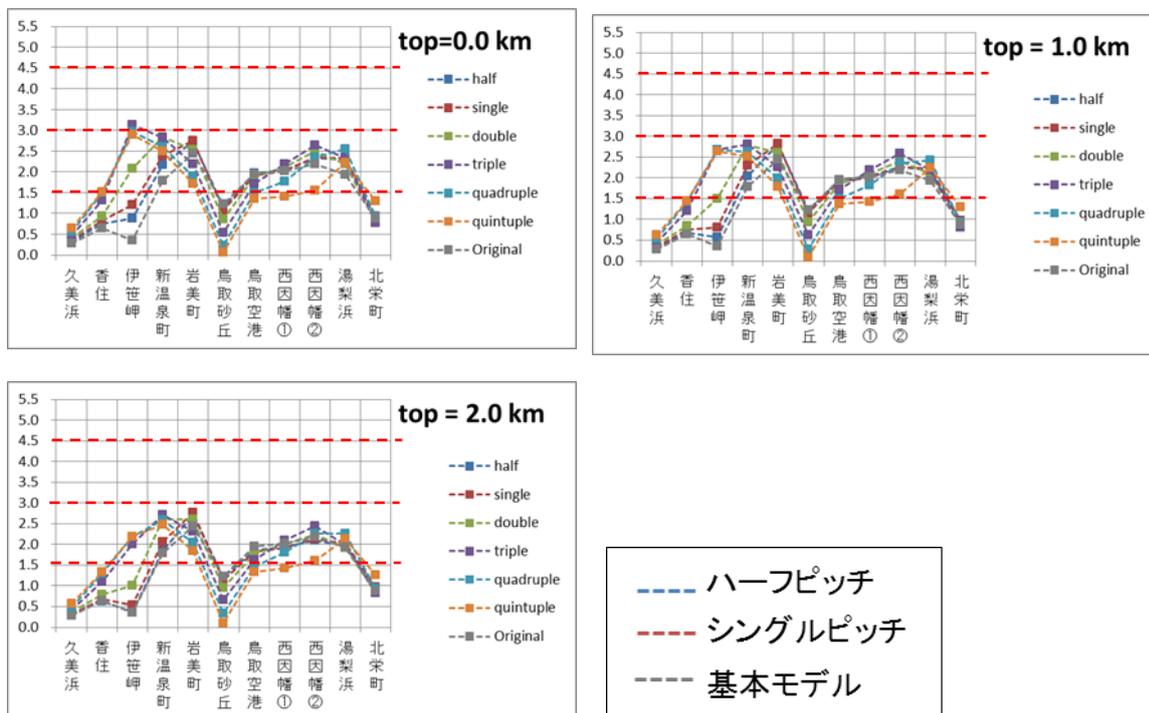
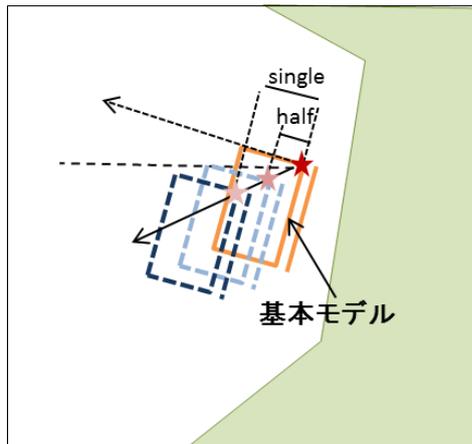


図 II. ii -22 鳥取県沖におけるパターン 3 の計算結果
縦軸は津波の最大波高、横軸は検討地点

また、表Ⅱ. ii -10 及び表Ⅱ. ii -11、図Ⅱ. ii -20 及び図Ⅱ. ii -21、図Ⅱ. ii -22 と同じ考えかたで、断層の移動方向が異なる場合についても検討した（図Ⅱ. ii -23）。



図Ⅱ. ii -23 パターン3' の概念図

表Ⅱ. ii -12 パターン3' の全パラメータ

	Area	lat	lon	top	bottom	strike	dip	rake	L	W	slip	Mw	
Akita	Area 12 b17d45 half0k inv	12	39.575	139.675	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 single0k inv	12	39.547	139.583	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 double0k inv	12	39.490	139.400	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 triple0k inv	12	39.433	139.215	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 quadruple0k inv	12	39.376	139.031	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 quintuple0k inv	12	39.319	138.847	0	17	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 half1k inv	12	39.575	139.675	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 single1k inv	12	39.547	139.583	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 double1k inv	12	39.490	139.400	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 triple1k inv	12	39.433	139.215	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 quadruple1k inv	12	39.376	139.031	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 quintuple1k inv	12	39.319	138.847	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 half2k inv	12	39.575	139.675	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 single2k inv	12	39.547	139.583	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 double2k inv	12	39.490	139.400	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 triple2k inv	12	39.433	139.215	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 quadruple2k inv	12	39.376	139.031	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 quintuple2k inv	12	39.319	138.847	2	19	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
Tottori	Area 19 b18d60 half0k inv inv	19	35.807	134.459	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 single0k inv	19	35.854	134.468	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 double0k inv	19	35.946	134.487	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 triple0k inv	19	36.039	134.506	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 quadruple0k inv	19	36.132	134.525	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 quintuple0k inv	19	36.224	134.544	0	18	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 half1k inv	19	35.807	134.459	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 single1k inv	19	35.854	134.468	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 double1k inv	19	35.946	134.487	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 triple1k inv	19	36.039	134.506	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 quadruple1k inv	19	36.132	134.525	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 quintuple1k inv	19	36.224	134.544	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 half2k inv	19	35.807	134.459	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 single2k inv	19	35.854	134.468	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 double2k inv	19	35.946	134.487	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 triple2k inv	19	36.039	134.506	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 quadruple2k inv	19	36.132	134.525	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 quintuple2k inv	19	36.224	134.544	2	20	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33

表Ⅱ. ii -12 のパラメータを使用し計算したパラメータスタディの結果を図Ⅱ. ii -24 及び図Ⅱ. ii -25 のグラフにまとめた。

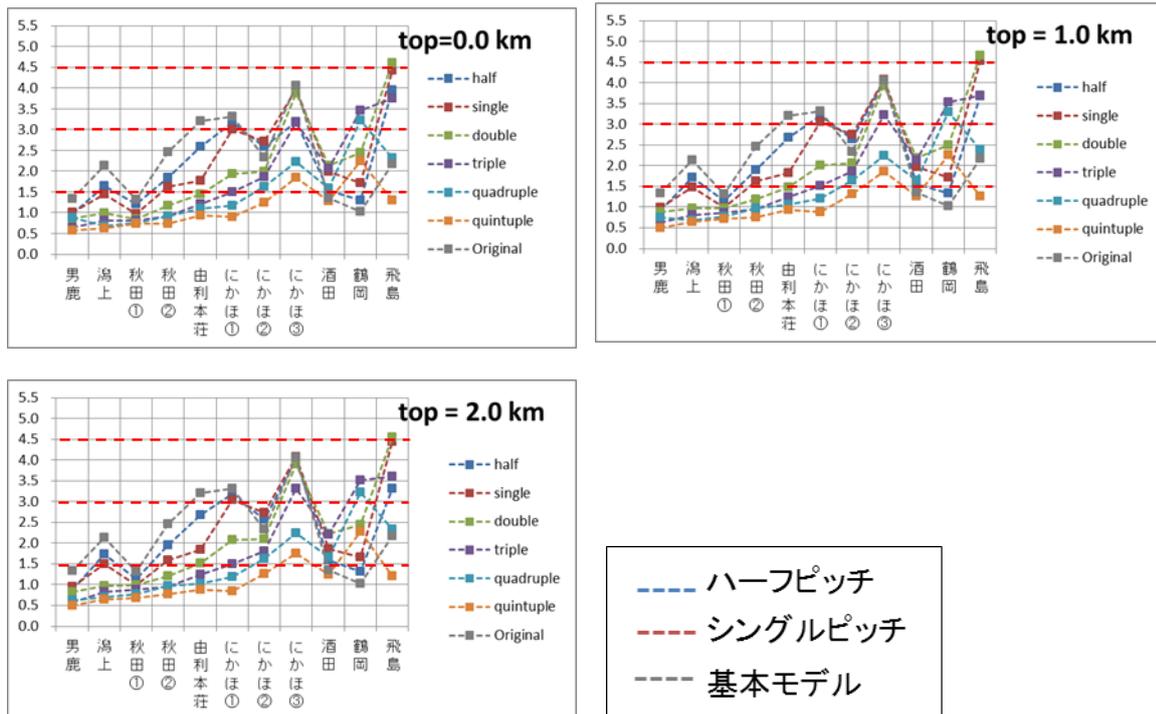


図 II.ii-24 秋田県沖におけるパターン3'の計算結果
縦軸は津波の最大波高、横軸は検討地点

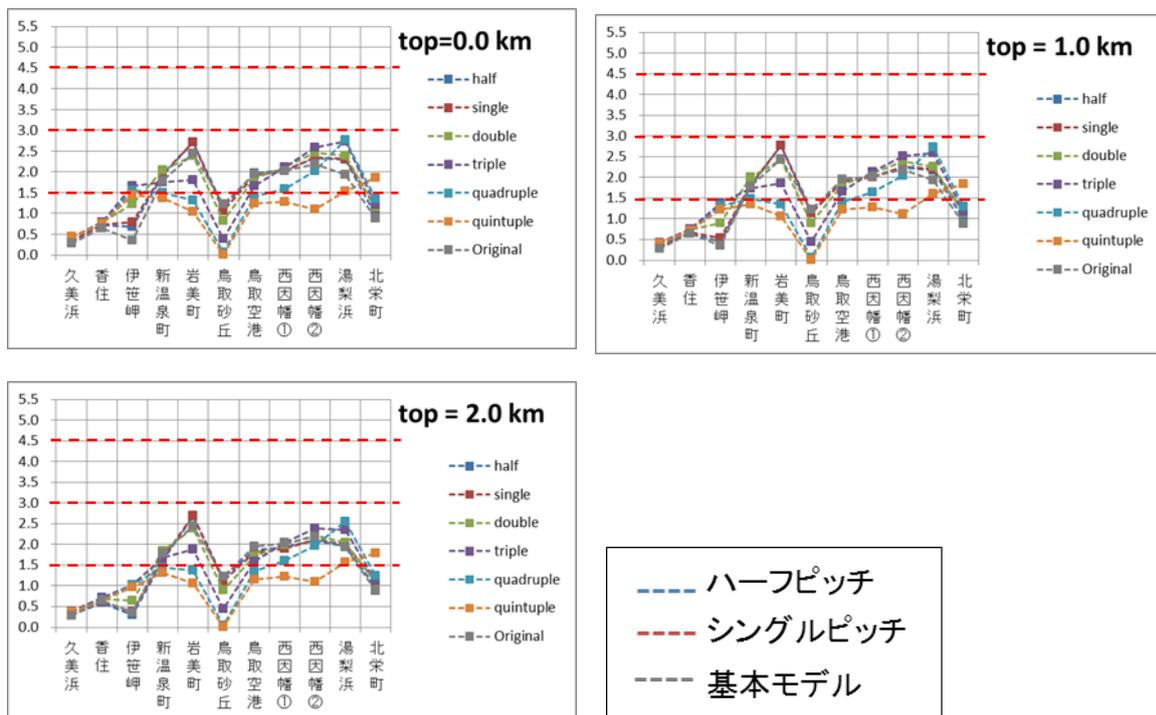


図 II.ii-25 鳥取県沖におけるパターン3'の計算結果
縦軸は津波の最大波高、横軸は検討地点

秋田の例のように、海岸から同じ距離で断層を離していても、断層の移動方向によって結果のばらつきが大きくかわることがある（図Ⅱ.ii-21 及び図Ⅱ.ii-24）。これは、図Ⅱ.ii-24 のほうが、断層の走向に平行する成分の移動が大きいためこのような結果になっていると考えられる。同様の検討をおこなった鳥取では、断層の走向がほぼ東西で水平であるために、断層の移動方向にたいする影響を受けにくかったと考えられる（図Ⅱ.ii-22 及び図Ⅱ.ii-25）。

これらの結果から、断層走向に直交するような移動の影響は移動方向や断層の走向など関係する要因によって、影響の度合いが変化することがわかる。とくに海岸線に直交する成分の移動より、海岸線に平行する成分の移動が結果に大きく影響する。

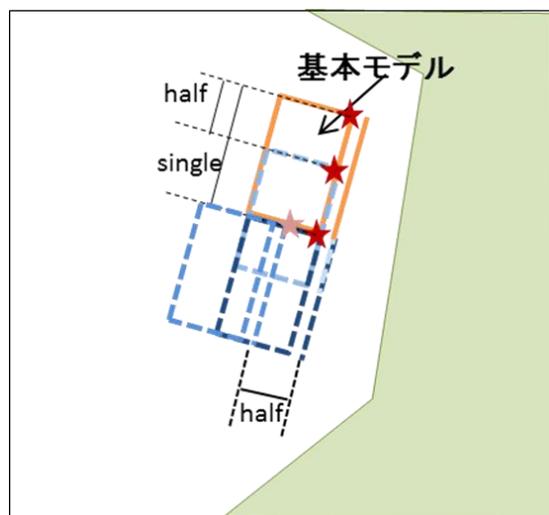
・パターン4：断層を走向に平行な方向に移動させる場合

断層を、走向に平行な方向に「断層の長さ」の1/2ピッチ及び1ピッチで移動させた。また、さらに、断層の走向に直交する方向でも、「断層幅を海底投影した長さ」の1/2ピッチ及び1ピッチで移動させた。

パターン4において変化するパラメータを表Ⅱ.ii-13に示し、ここでパラメータスタディを行った全モデルを表Ⅱ.ii-13に示す。

表Ⅱ.ii-13 パターン4における可変パラメータ

断層位置	走向	傾斜	すべり角	断層長	断層幅	上端深度	下端深度	Mw	すべり量
○	常に一定	×	×	常に一定	×	×	×	×	×

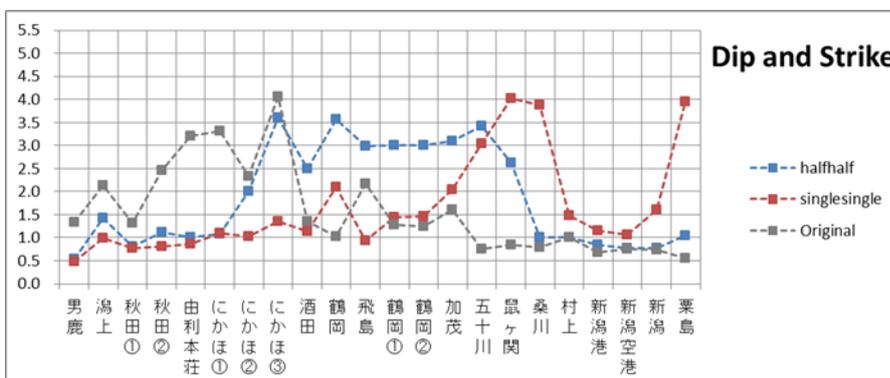
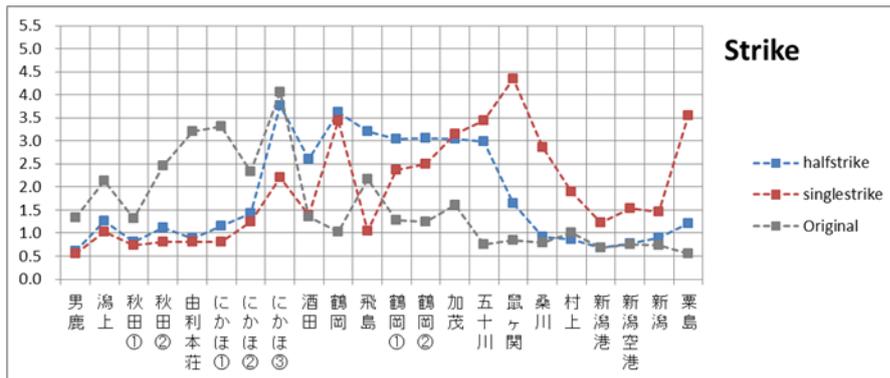
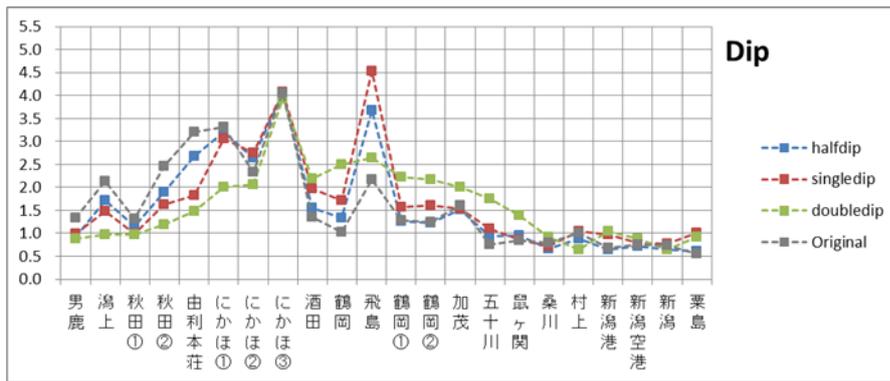


図Ⅱ.ii-26 パターン4の概念図

表 II. ii -14 パターン 4 の全パラメータ

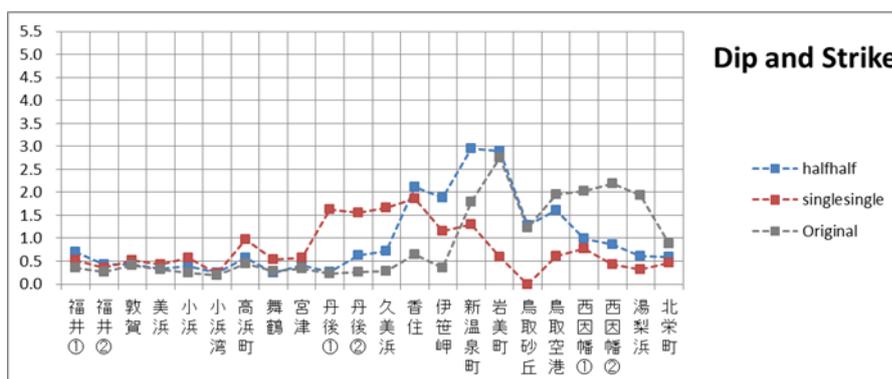
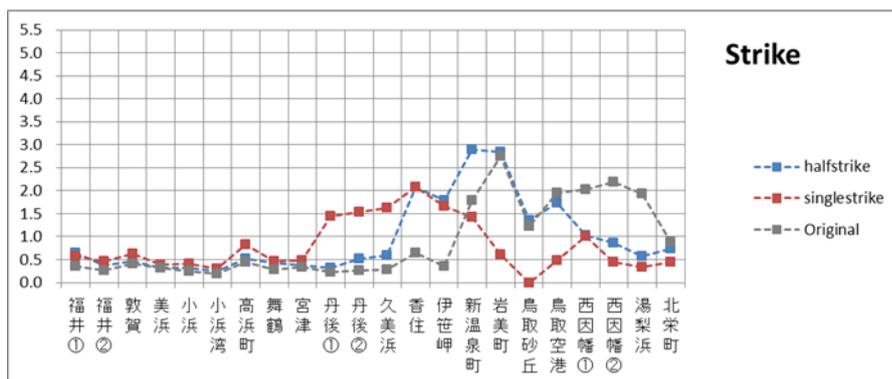
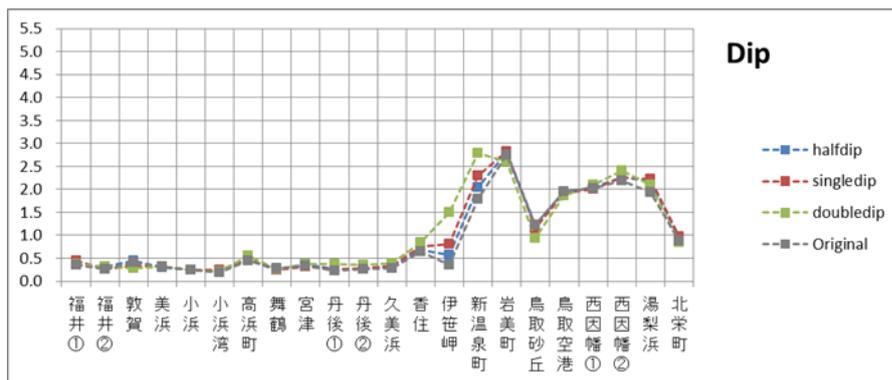
	Area	lat	lon	top	bottom	strike	dip	rake	L	W	slip	Mw	
Akita	Area 12 b17d45 halfdip	12	39.621	139.711	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 singledip	12	39.639	139.655	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 doubledip	12	39.674	139.542	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 halfstrike	12	39.302	139.611	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 singlestrike	12	39.000	139.455	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 halfhalf	12	39.284	139.555	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 12 b17d45 singlesingle	12	38.965	139.343	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 13 b17d45 halfdip	13	39.621	139.711	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 13 b17d45 singledip	13	39.639	139.655	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 13 b17d45 doubledip	13	39.674	139.542	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 13 b17d45 halfstrike	13	39.302	139.611	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 13 b17d45 singlestrike	13	39.000	139.455	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 13 b17d45 halfhalf	13	39.284	139.555	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
	Area 13 b17d45 singlesingle	13	38.965	139.343	1	18	201.8	45	90	72	25.46	2.97	7.45
Tottori	Area 18 b18d60 halfdip	18	35.807	134.459	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 18 b18d60 singledip	18	35.854	134.468	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 18 b18d60 doubledip	18	35.946	134.487	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 18 b18d60 halfstrike	18	35.815	134.842	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 18 b18d60 singlestrike	18	35.868	135.235	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 18 b18d60 halfhalf	18	35.861	134.852	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 18 b18d60 singlesingle	18	35.961	135.254	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 halfdip	19	35.807	134.459	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 singledip	19	35.854	134.468	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 doubledip	19	35.946	134.487	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 halfstrike	19	35.815	134.842	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 singlestrike	19	35.868	135.235	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 halfhalf	19	35.861	134.852	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33
	Area 19 b18d60 singlesingle	19	35.961	135.254	1	19	260.5	60	35	72	20.79	2.43	7.33

表 II. ii -14 のパラメータを使用し計算したパラメータスタディの結果を図 II. ii -27 及び図 II. ii -28 のグラフにまとめた。



- ハーフピッチ
- シングルピッチ
- 基本モデル

図 II . ii -27 秋田県沖におけるパターン 4 の計算結果
縦軸は津波の最大波高、横軸は検討地点



--- ハーフピッチ
 --- シングルピッチ
 --- 基本モデル

図 II . ii -28 鳥取県沖におけるパターン 4 の計算結果
 縦軸は津波の最大波高、横軸は検討地点

パターン 3 でも明らかだったが、走向に平行した移動は、ここで挙げた例の場合、走向に直交した移動よりも影響がはるかに大きい。秋田の例も、鳥取の例も、断層は海岸線と並行するように存在している。そのため、走向に平行する移動は、単に海岸からの距離が近づいたり離れたりするよりも、波源からの直接の波が到来する範囲や方向に大きな違いが出てくるためにばらつきが大きくなる。

【パラメータスタディ結果のまとめ】

これら、パラメータスタディの結果から、沿岸における津波波高にもっとも影響をおよぼすパラメータは断層の位置、とくに、海岸に平行した成分であることがわかった。

断層の上端及び下端の深さについては、固定した値で考えても影響は少ないと考えられ、また断層傾斜角やすべり角についても、ある一定の範囲のばらつきとして評価することができると考えられる。しかしながら、断層の位置については、断層が移動することによって、波が影響する範囲自体が複雑に変わってくるために、ある程度細かく考慮する必要がある。

今回、断層の長さは72 kmとしてパラメータスタディを行ない、走向に平行するような移動が1/2 ピッチであっても大きな影響がでている。よって、この事例では1/4 ピッチなど、もっと細かいピッチでの移動を検討する必要性があり、更には、断層の位置に関するパラメータのばらつきとしては、断層の長さによって適切に考える必要があるといえる。72 kmの断層であれば、走向に平行した移動は1/2 ピッチで36 kmであるが、仮に36 kmの断層であれば18 kmであるので、同じ1/2 ピッチでも移動距離は異なり、津波が海岸におよぼす影響の度合いも変わってくると考えられる。

(iii) 日本海海域で設定される断層モデルの検証

日本海海域で設定される断層モデルの検証を実施するため、国土交通省、内閣府、文部科学省を事務局として進められた日本海における大規模地震に関する調査検討会(以下、日本海調査検討会)で設定された日本海の海域活断層モデル群を対象に、既往の被害地震の再現が可能な断層モデルについて検討する。検討によって抽出する断層モデルを用いて津波予測計算を行い、計算で得られる津波高さとの比較を行う。対象とした波源断層及び断層モデルについては、(I) 準備 「b) 収集整理結果 (P.111~P.120)」の部分に、歴史地震・津波のとりまとめで示した。

① 検証で使用する断層モデルの抽出

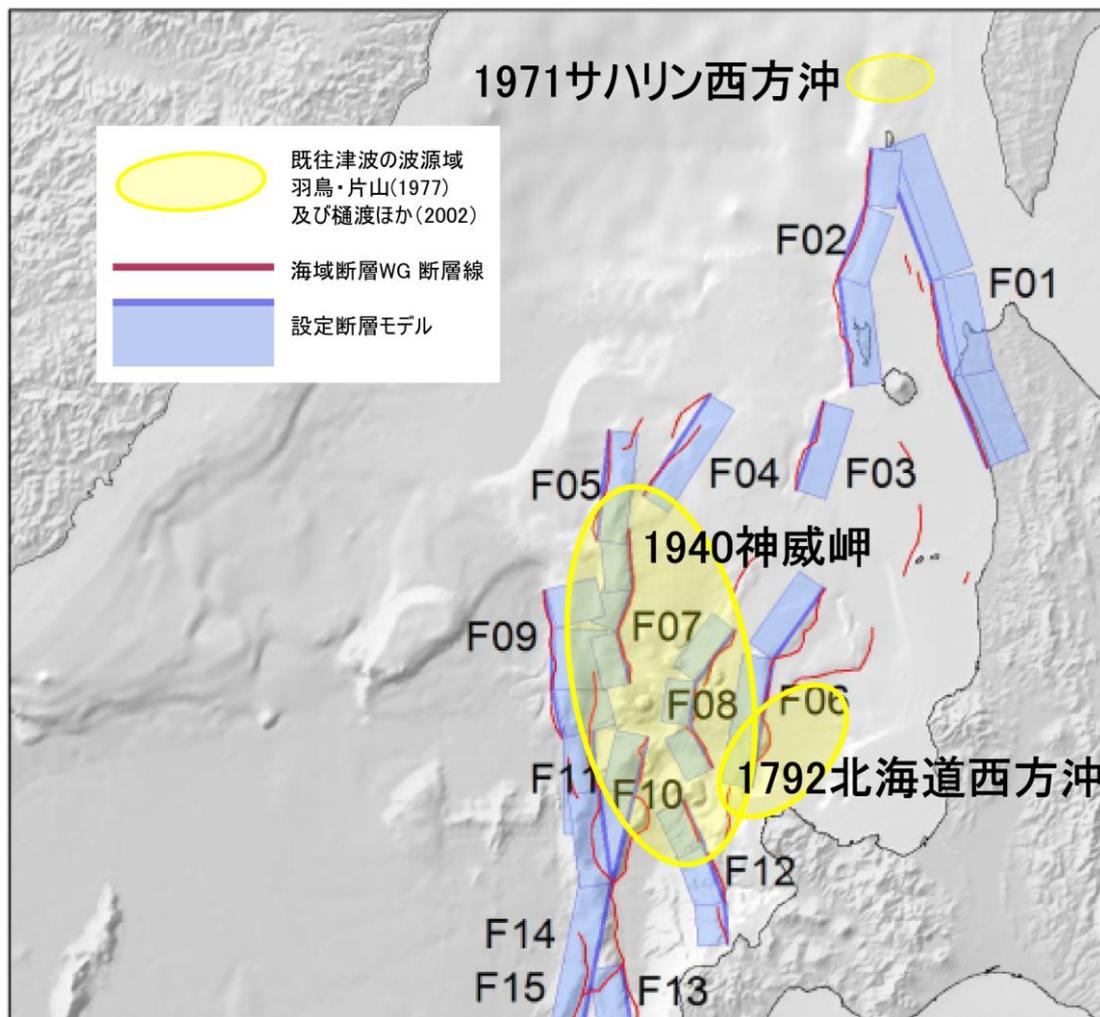
本検討で対象とした地震、1792年北海道西方沖地震、1940年神威岬地震及び1971年サハリン西方沖地震の震源域と、日本海調査検討会によって設定された断層モデルの位置(前出の図 I.1-1-a~f)から、1833年庄内沖の地震や1940年神威岬地震の震源域付近に断層モデルが比較的多く設定されていることがわかる。また、表 II.iii-1 に示したとおり、痕跡の数(津波痕跡データベース、東北大)においても、1833年庄内沖の地震や1940年神威岬地震が他の地震より多い。

これら6つの地震のうち1833年庄内沖の地震と1940年神威岬地震は、震源域付近に断層モデルが多く設定されており、また計算結果と比較できる痕跡の数が多いので、この2つを断層モデル検証の対象とした(図 II.iii-1)。一方、1792年北海道西方沖地震、1793年鯨ヶ沢地震、1804年象潟地震、1971年サハリン西方沖地震については、震源域付近に対応する断層モデルが少なく痕跡の数も少ないため、検証対象から除外した。

表 II.iii-1 痕跡値の数と信頼度(赤色の行は断層モデルの抽出の対象とした地震)

地震名	痕跡の数	信頼度 AB の痕跡の数
1792年北海道西方沖地震	1	0
1793年鯨ヶ沢地震	4	0
1804年象潟地震	13	0
1833年庄内沖の地震	79	6
1940年神威岬地震	116	5
1971年サハリン西方沖地震	0	0

1940年神威岬地震の断層モデルを検証するため、震源域に対応している断層モデルを抽出する。1940年神威岬地震の震源域付近にある日本海調査検討会において設定された断層モデルはF07、F08及びF09である。また、神威岬地震の主な既往研究に、Satake(1986)、Fukao and Furumoto (1975)、Okamura *et al.* (2005)らが検討した断層モデルがある。これらの断層モデルのパラメータを表 II.iii-2 にまとめ、位置を図 II.iii-2 に示した。



図Ⅱ.iii-1(既出) 既往地震の波源域(黄)と日本海調査検討会が設定した断層モデル(青)の位置(日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014 から抜粋し波源域を加筆)

日本海調査検討会の断層モデル F07 と F08 の走向の角度は、他の断層モデルの走向と比べ、およそ 180 度違う。また、Fukao and Furumoto (1975) の断層モデルの断層長さが他の断層モデルと比べ、およそ 2 倍長い (表Ⅱ.iii-2, 図Ⅱ.iii-2)。

本検討ではまず、断層モデルの走向と断層長さが比較的近い値である日本海調査検討会の F09 と Satake (1986) の断層モデルを使って検証を実施した。参考として、本プロジェクトでの断層モデルのパラメータ案を表Ⅱ.iii-3 に示す。

表Ⅱ.iii-2 1940年神威岬地震の震源域付近で設定されている断層モデルのパラメータ

(日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014にOkamura et al. (2005)を加筆)

断層モデル名	出典	Mw	緯度 deg N	経度, deg E	上端深さ, km	走向, deg	傾斜, deg	すべり角, deg	断層長さ, km	断層幅, km	平均すべり量, m
F07	日本海調査検討会	7.4	44.5843	139.5556	2.4	176	45	54	29.0	17.9	3.70
			44.3286	139.5818		201	45	76	21.6	17.9	
			44.1416	139.4856		167	45	48	25.3	17.9	
F08	日本海調査検討会	7.4	44.1467	140.1912	2.0	218	45	93	31.3	18.4	3.75
			43.9197	139.9500		189	45	77	20.9	18.4	
			43.7285	139.9106		153	45	63	23.1	18.4	
F09	日本海調査検討会	7.6	43.6888	139.1853	4.0	347	30	103	24.4	27.9	4.78
			43.8979	139.1166		2	30	104	29.2	27.9	
			44.1640	139.1298		347	30	103	18.8	27.9	
Fukao 1975	Fukao and Furumoto, 1975	7.6	42.82	139.03	-	0	46	90	170	50	1.10
Satake 1986_E2	Satake, 1986	7.4	43.73	139.53	0.0	347	40	90	100	35	1.50
Okamura 2005	Okamura et al., 2005	7.5	44.57	139.34	-	22	45	-	42	16	1.64
			44.55	139.58	-	184	45	-	42	16	2.23
			44.17	139.48	-	162	45	-	37	16	2.74
			43.69	139.13	-	0	45	-	53	16	0.58

表Ⅱ.iii-3 1940年神威岬地震に対応する断層モデルのパラメータ
(本プロジェクト)

断層モデル名	出典	Mw	緯度 deg N	経度, deg E	上端深さ, km	走向, deg	傾斜, deg	すべり角, deg	断層長さ, km	断層幅, km	平均すべり量, m
KAMUI	本プロジェクト	7.1	44.58407	139.5702	1.0	184	72	-	44.5	14.7	1.8
			44.18669	139.5022		170			28.8		

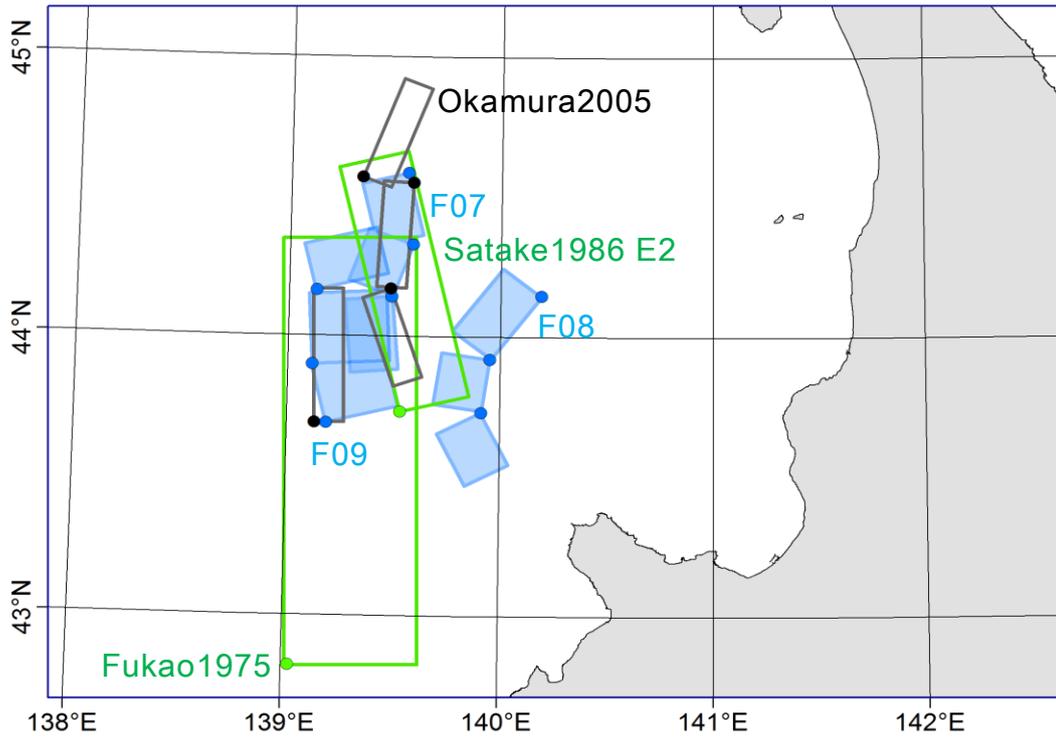


図 II .iii -2 1940 年神威岬地震の震源域付近における日本海調査検討会設定の断層モデル (F07、F08、F09) の位置と既往の研究で設定された断層モデルの位置

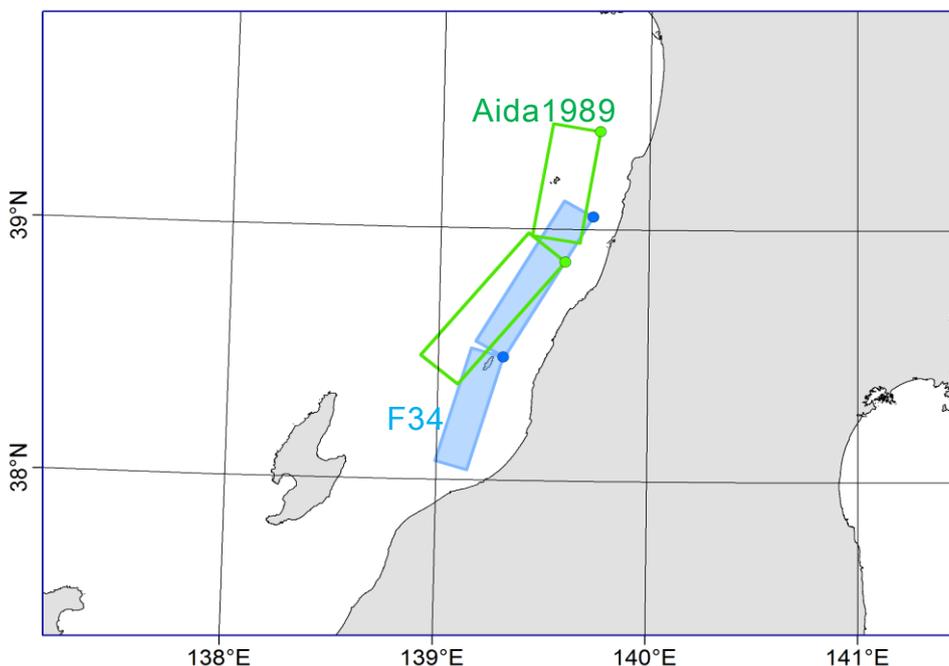
1833年庄内沖地震の断層モデルを検証するため、震源域に対応している断層モデルを抽出した。日本海調査検討会の断層モデル F34 と既往研究の断層モデル相田(1989)のパラメータを表Ⅱ. iii-4 に示す。また、これらの断層モデルの位置を図Ⅱ. iii-3 に示す。地震の規模や震源メカニズムなどでは両者に大きな差はないが、断層モデルの位置は重なる。この図から、1833年庄内沖地震の震源断層については、日本海調査検討会が設定した F34 断層モデルを対応させることとした。参考として、本プロジェクトでの断層モデルのパラメータ案を表Ⅱ. iii-5 に示す

**表Ⅱ. iii-4 1833年庄内沖地震の震源域付近における断層モデルのパラメータ
(日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014)**

断層モデル名	出典	Mw	緯度 deg N	経度 deg E	上端深さ, km	走向 deg	傾斜 deg	すべり角 deg	断層長さ km	断層幅 km	平均すべり量 m
F34	日本海調査検討会	7.7	39.05	139.73	1.1	211	45	106	71.9	19.7	5.45
			38.49	139.31		197	45	97	52.0	19.7	
Aida1989	相田, 1989	8.0	39.39	139.76	2.0	190	60	90	50.0	40.0	7.95
			38.87	139.60		220	60	61	70.0	40.0	

**表Ⅱ. iii-5 1833年庄内沖地震に対応する断層モデルのパラメータ
(本プロジェクト)**

断層モデル名	出典	Mw	緯度 deg N	経度 deg E	上端深さ, km	走向 deg	傾斜 deg	すべり角 deg	断層長さ km	断層幅 km	平均すべり量 m
SHONAI	本プロジェクト	7.2	39.0240	139.7132	0.0	206	62	-	67.2	17.0	1.9



図Ⅱ. iii-3 1833年庄内沖地震の震源域付近における日本海調査検討会設定の断層モデル (F34) の位置と既往の研究で設定された断層モデルの位置

② 断層モデルのパラメータスタディ

検証の対象となりうる 1940 年神威岬地震と 1833 年庄内沖地震のうち、まず 1940 年神威岬地震のパラメータスタディを実施した。

1940 年神威岬地震のパラメータスタディの設定は、日本海調査検討会の断層モデル F09 の大すべりの位置を変える既往のパラメータスタディ（日本海における大規模地震に関する調査検討会、2014）を参考にした。

図 II. iii-4 は日本海調査検討会の断層モデル F09 を使った既往パラメータスタディの概要図である。この既往パラメータスタディでは、3 枚の矩形で作成された断層モデルの大すべりの位置を変えることで、最大津波水位への感度を調べている。大すべりの動かし方は 5 パターンあり、図 II. iii-4 の断層モデルの位置を示した 5 つのパネルに対応している。図 II. iii-4 のとおり、大すべりの位置は各矩形断層の (1) 右側、(2) 中央、(3) 左側、(4) 隣接 LRR、(5) 隣接 LLR に設定されている。

大すべりモデル(σ式)

断層モデル F09 (海底断層 E24)

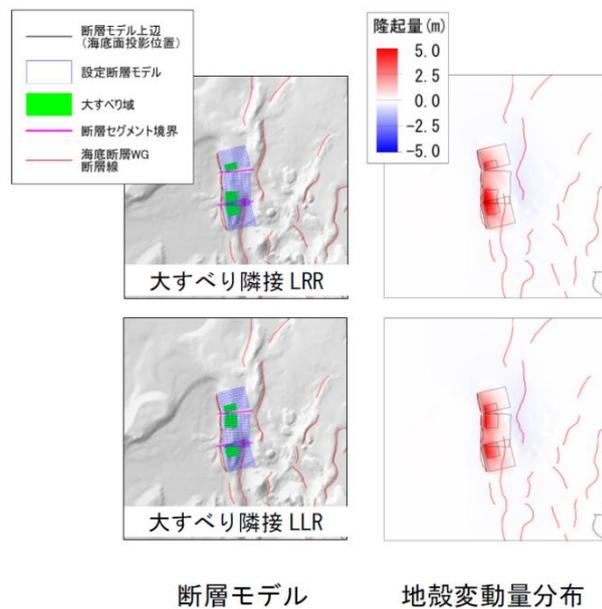
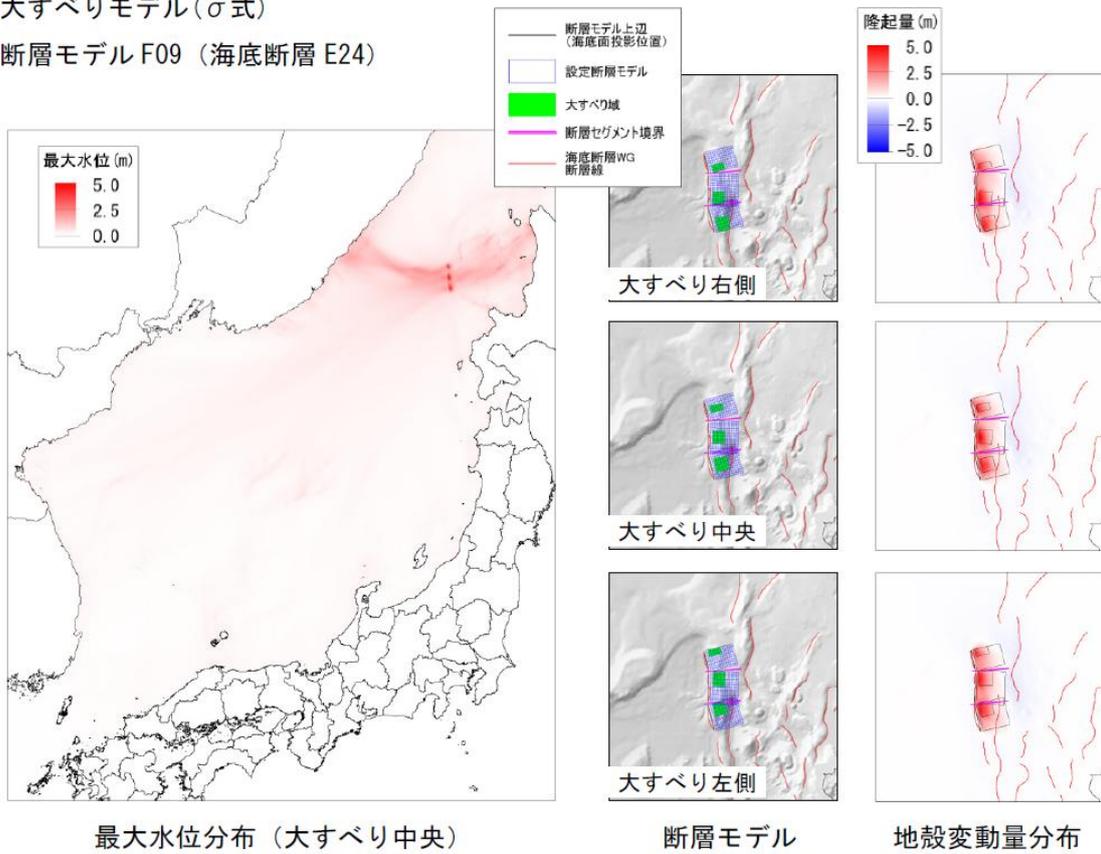


図 II.iii-4 日本海調査検討会の断層モデル F09 の大すべり (緑) の位置を 5 つのパターンで設定し実施された既往パラメータスタディの概要図 (日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書、2014 から抜粋)

③ 津波予測計算の条件設定

津波予測計算の条件設定を、表Ⅱ. iii-6 に示す。各メッシュの計算領域は図Ⅱ. iii-6 に示した。

表Ⅱ. iii-6 津波予測計算の計算条件

項目	計算条件
	最小格子 50 m, 日本海海域
支配方程式	非線形長波理論
モデル・数値解法	後藤モデル（港空研 II）、東北大学モデル Staggered Leap-frog 差分スキーム
計算領域	異なる格子間隔の領域を 1:3 でネスティング 各波源に対して沿岸での水位変動が±1m 以上となる領域を考慮する
計算格子間隔	計算格子間隔： 1350, 450, 150, 50 m（沿岸域は全て 50m）
境界条件	陸側： 陸域への遡上計算 海側： 完全無反射で透過
地形データ	50m メッシュ計算領域(1～55)：図 4 参照
各種施設の取り扱い (堤防・水門等)	各種施設は考慮しない
計算時間	6 時間
計算時間間隔	安定性 (CFL 条件) を考慮して適切に設定
初期水位	Okada (1992) で算出した海底地盤変位量の鉛直成分を与える
潮位	T.P. = 0 m
打ち切り水深	10^{-2} m
粗度係数	一定値 (0.025)

津波予測計算の結果と痕跡値との比較・検証

津波予測計算の結果から汀線付近（評価点）での最大津波水位を抽出し図Ⅱ. iii-5 に示した。横軸の番号は図Ⅱ. iii-6 に示した領域を表し、領域 55 の福岡から領域 1 の知床岬までに対応している。ただし、無人島である領域 19 と 20 には評価点がないため、グラフに表示されない。図Ⅱ. iii-5 (a)から(e)は、日本海調査検討会によって設定された断層モデル F09 の大すべりの位置を変えたパラメータスタディ 5 パターン（図Ⅱ. iii-4）の結果を、(f)は Satake1986_E2 の断層モデルの結果である。

痕跡値（赤）は、津波痕跡データベースに収録されていた 116 個（表Ⅱ. iii-1）のうち、位置が重複するデータ及びデータベース中の注釈において、“他文献による引用”と記載されているのものうち、同一の浸水高を記録する点がある場合を除いた 61 個のデータである。これらの痕跡値の位置を直線距離で最も近い汀線付近（評価点）の 50 m 計算格子点へ紐付け、最大津波水位と同じ横軸で表示した。

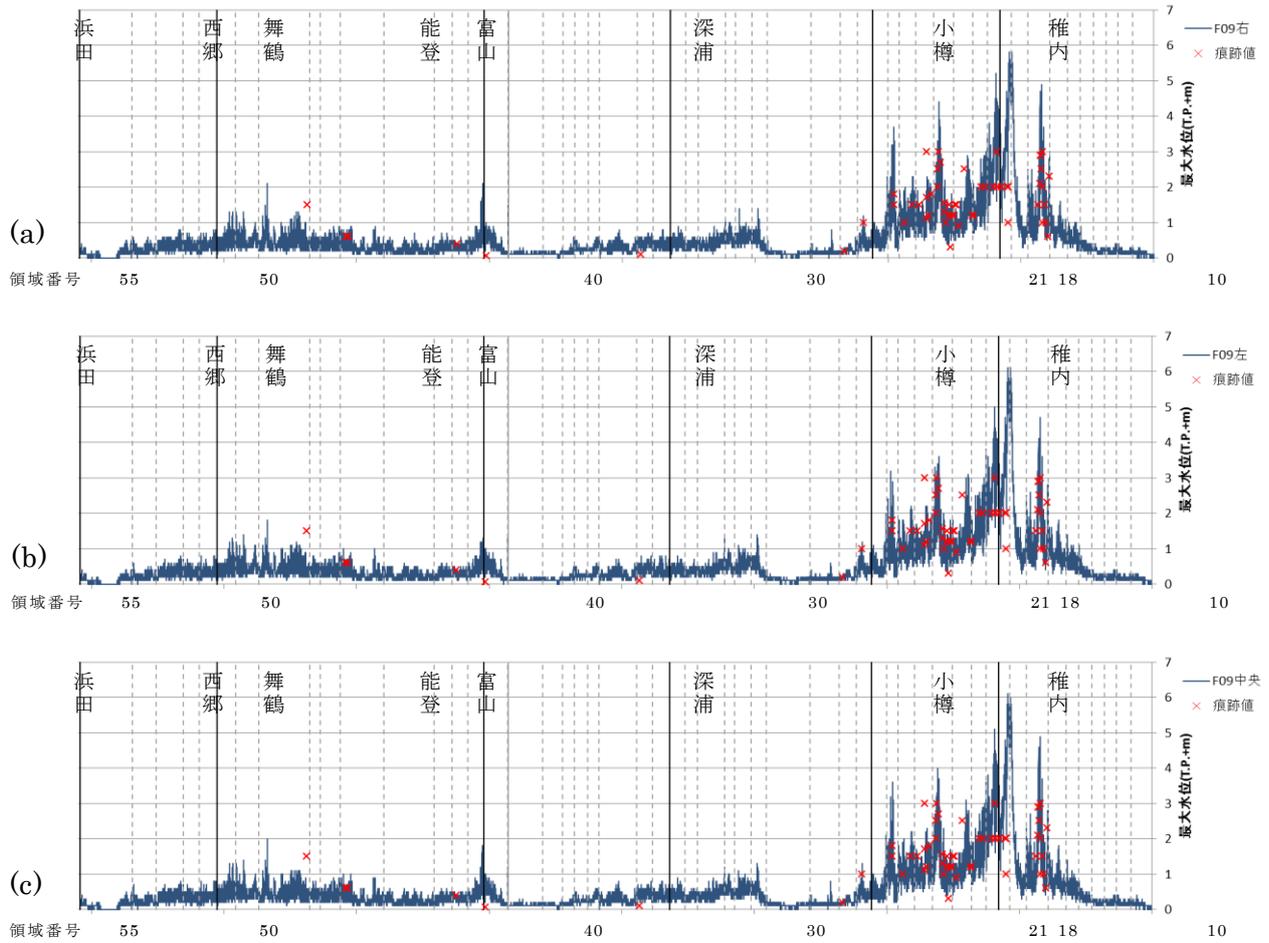


図 II .iii -5-a 汀線での最大津波水位の計算結果（実線）と痕跡値（赤）

上段から (a) 断層モデル F09（大すべり右側）、(b) 断層モデル F09（大すべり中央）、(c) 断層モデル F09（大すべり左側）を使用し計算した結果を示している。破線は 50m メッシュの計算領域（1 から 55）の境界を示す。

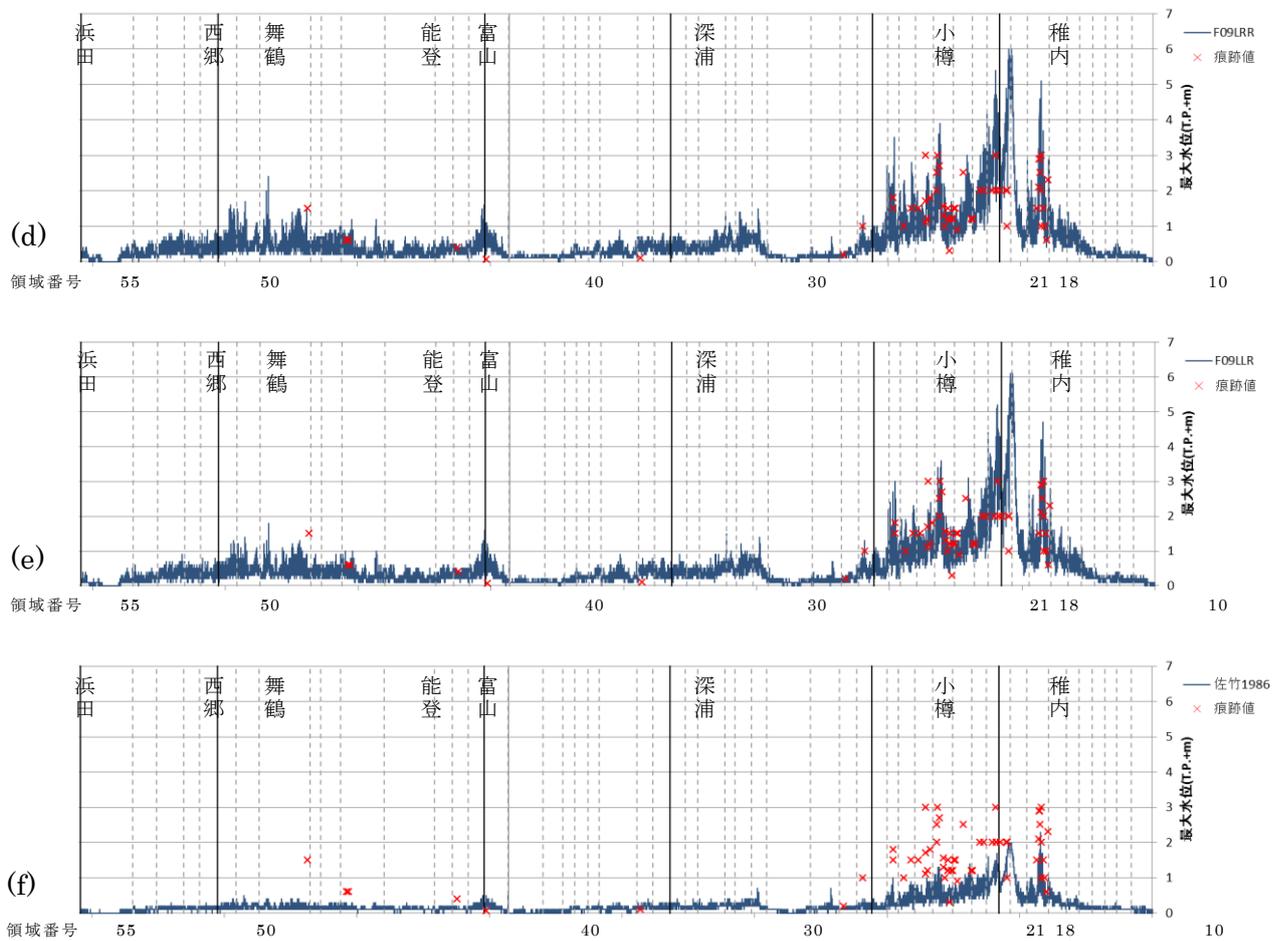


図 II .iii -5-b 汀線での最大津波水位の計算結果（実線）と痕跡値（赤）

上段から (d) 断層モデル F09（隣接 LLR）、(e) 断層モデル F09（隣接 LRR）、(f) 断層モデル Satake1986_E2 を使用し計算した結果を示している。破線は 50m メッシュの計算領域（1 から 55）の境界を示す。

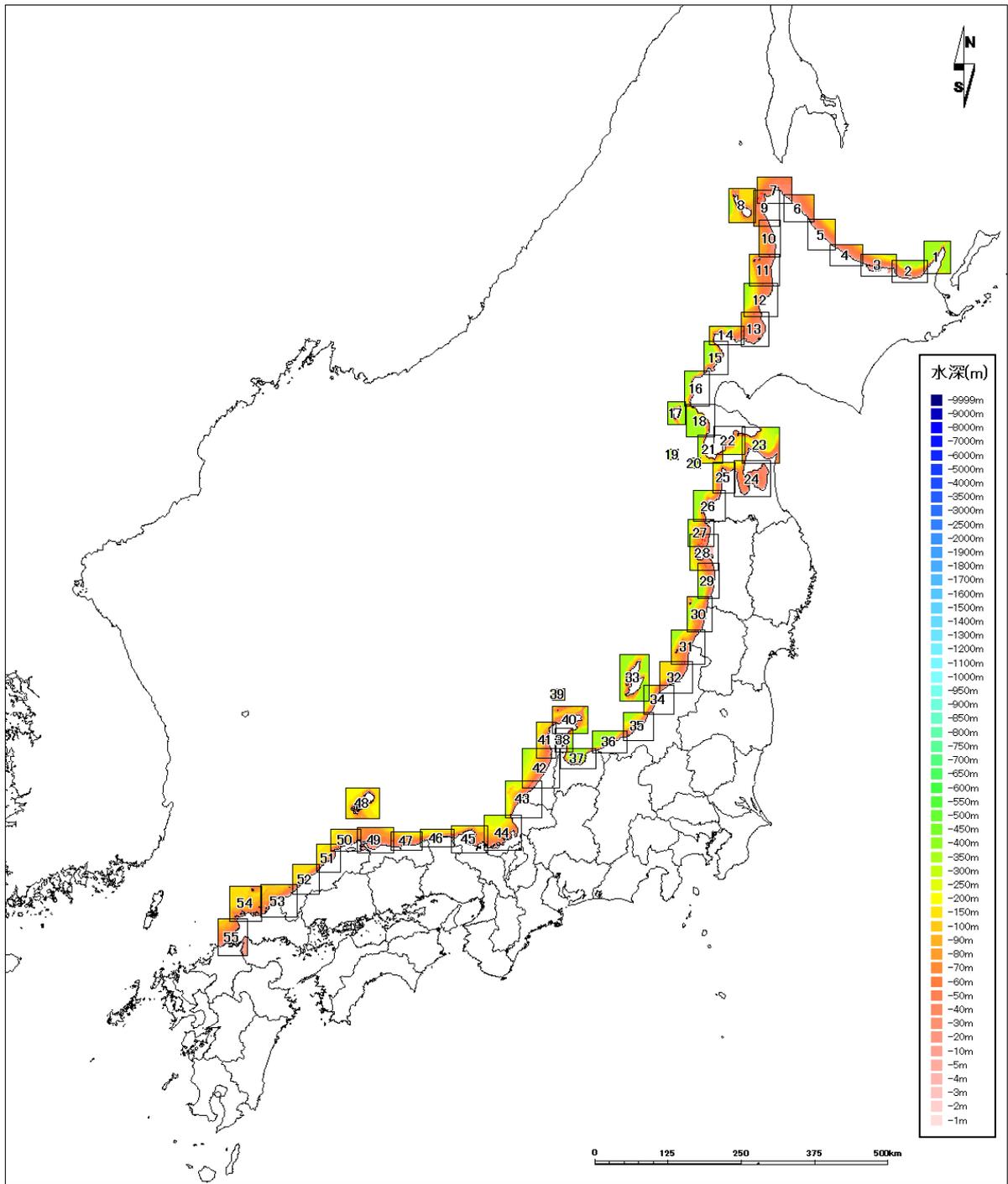


図 II .iii-6 50m メッシュ領域の位置図

本検討では、計算結果から得られた汀線付近（評価点）での最大津波水位と痕跡値とを全 55 領域（図 II. iii-6）で比較し、 K - κ を求めた。この結果から、検証対象の断層モデルの 1940 年神威岬地震に対する再現度を評価する。この比較で使用した痕跡値の数は重複を除いた 61 個である。これらの痕跡値は最も近いハザード評価点に紐付けられている。ここでは、利用できる痕跡値の数が 61 個しかないため、痕跡値の位置とハザード評価点との距離に制限を付けたり、構造物付近などの地形による条件を設けたりせず、すべての痕跡値をハザード評価点に紐付けた。また、信頼度 A と B の痕跡値は 5 個（表 II. iii-1）しかないため、信頼度によるデータの選択は行わず、すべてのデータを用いた。

表 II. iii-7 は本検討で実施した 6 つの津波予測計算結果と 61 個の痕跡値から求めた K - κ の値である。

表 II.iii-7 汀線付近（評価点）での最大津波水位と痕跡値から求めた K - κ の値

断層モデル名	K	κ	痕跡値の数
MLIT_F09（大すべり右側）	0.98	1.45	61
MLIT_F09（大すべり中央）	1.00	1.44	61
MLIT_F09（大すべり左側）	1.02	1.46	61
MLIT_F09（大すべり隣接 LLR）	0.99	1.48	61
MLIT_F09（大すべり隣接 LRR）	0.96	1.51	61
Satake1986_E2	2.34	1.83	61

III 地震動の検証

「II 断層モデルの設定」で設定されたモデルを用いて、距離減衰式による地震動の計算を行い、観測記録との比較検証を行う。まず、工学的基盤での最大加速度・最大速度を計算するための距離減衰式は司・翠川（1999）によるものを利用した。また、表層地盤のモデルは、防災科学技術研究所 web サイト・地震ハザードステーション「J-SHIS」で公開されているデータを使用した。このデータは 250m メッシュごとの微地形区分と表層 30m の平均 S 波速度（AVS30）（Wakamatsu and Matsuoka, 2013）と AVS30 から藤本・翠川（2006）により求められる最大速度増幅率からなる。そこで、距離減衰式で求めた工学的基盤最大速度に表層地盤による速度増幅率を乗じることによって、地表面最大速度を求めた。地表面最大速度から推定震度を求める方法については、藤本・翠川（2005）によるものを使用した。

入力データとして使用した J-SHIS 公開の 250m メッシュの表層地盤モデルを以下に示す。それぞれ微地形区分（**図 III-1**）微地形区分コード表（**表 III-1**）、地表から地下 30m までの深さの平均 S 波速度を推定した AVS30（**図 III-2**）、表層地盤による速度増幅率（**図 III-3**）である。

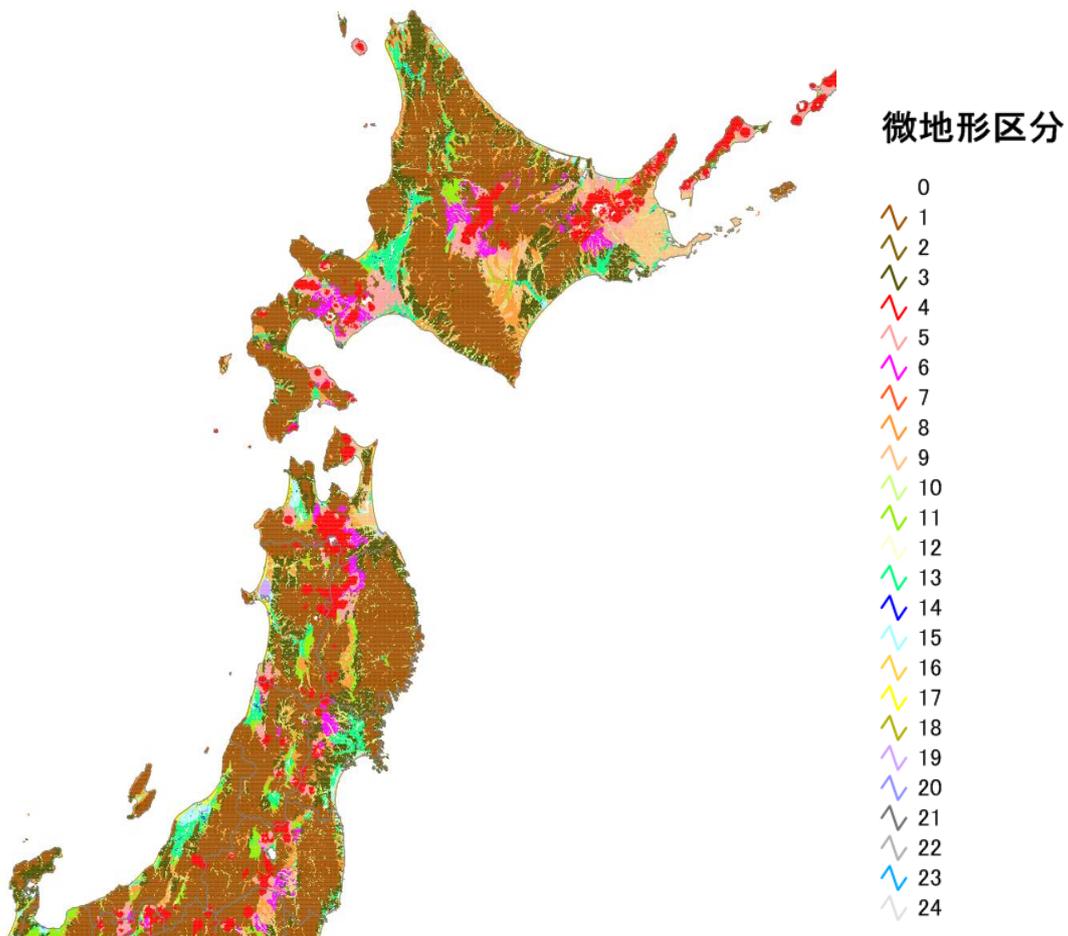
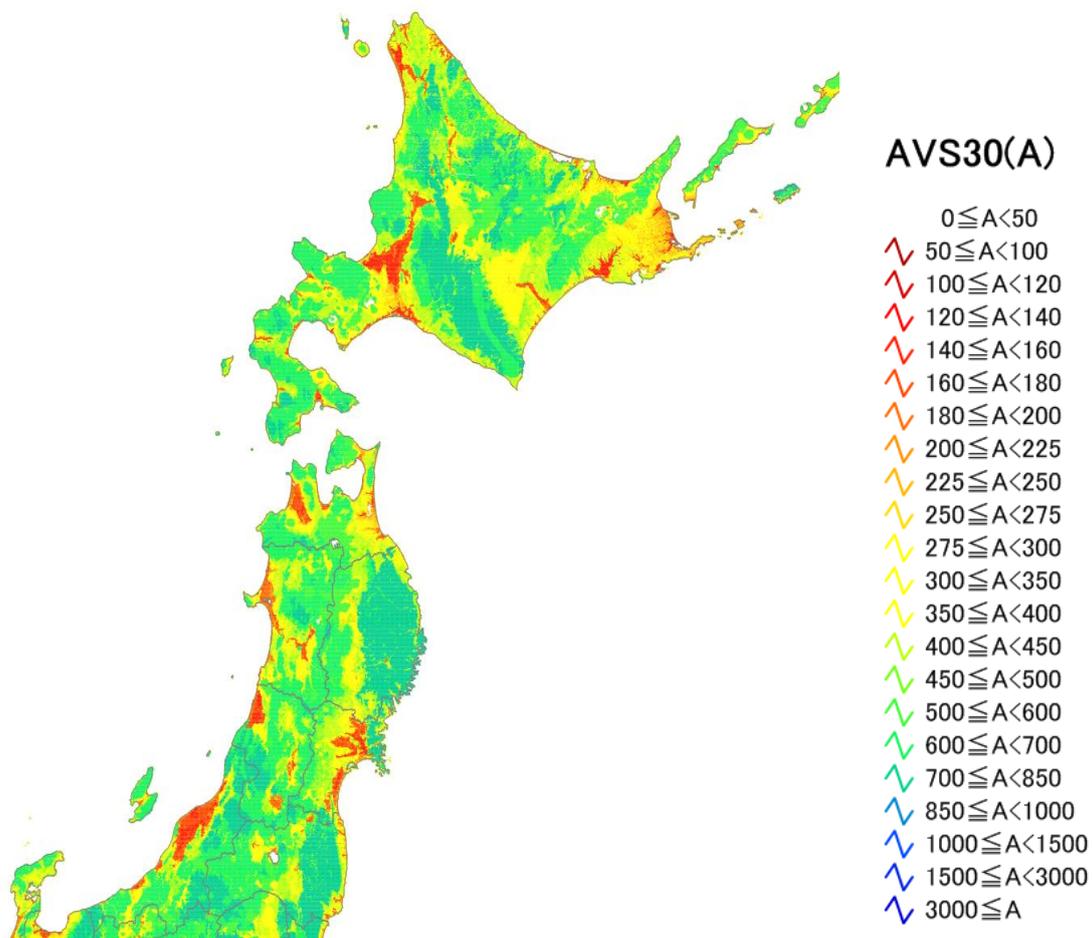


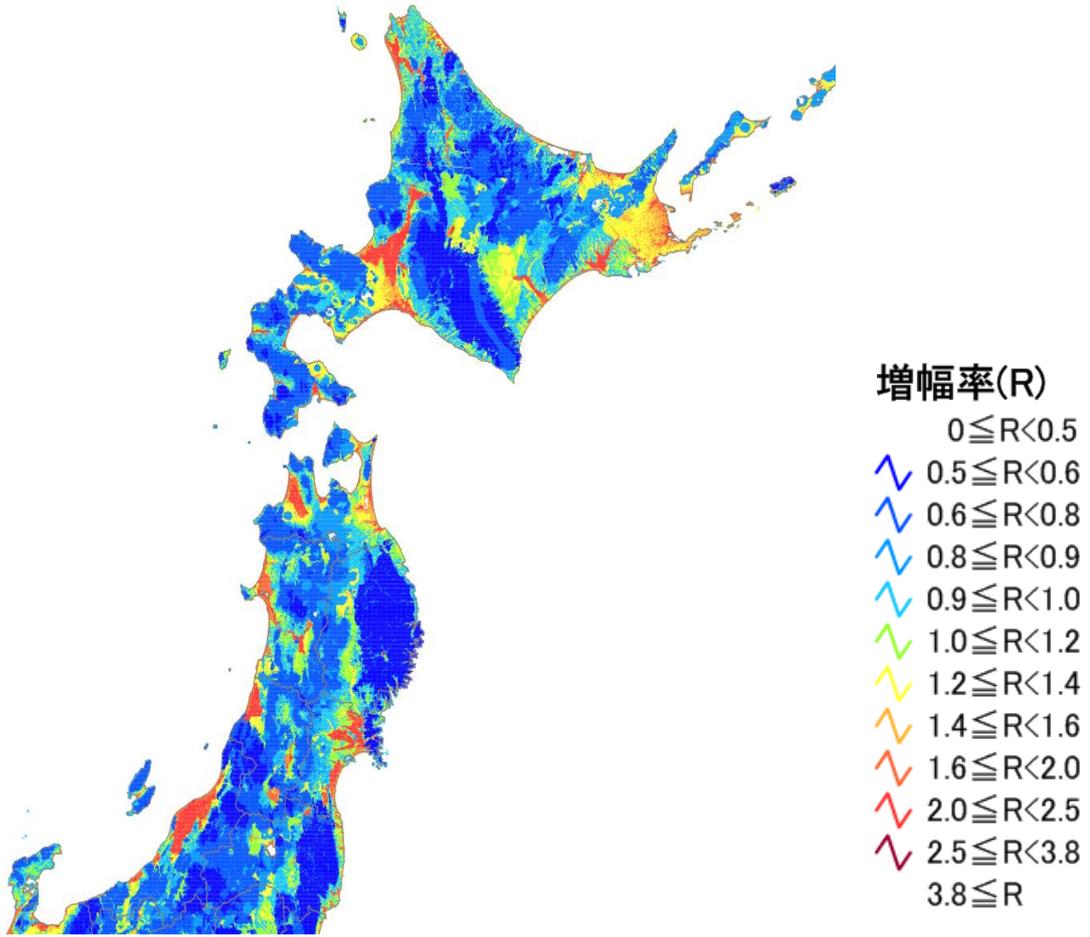
図 III-1 微地形区分（J-SHIS データ）

表Ⅲ-1 微地形区分コード対応表（J-SHISによる）

コード	微地形区分
1	山地
2	山麓地
3	丘陵
4	火山地
5	火山山麓地
6	火山性丘陵
7	岩石台地
8	砂礫質台地
9	ローム台地
10	谷底低地
11	扇状地
12	自然堤防
13	後背湿地
14	旧河道
15	三角州・海岸低地
16	砂州・砂礫州
17	砂丘
18	砂州・砂丘間低地
19	干拓地
20	埋立地

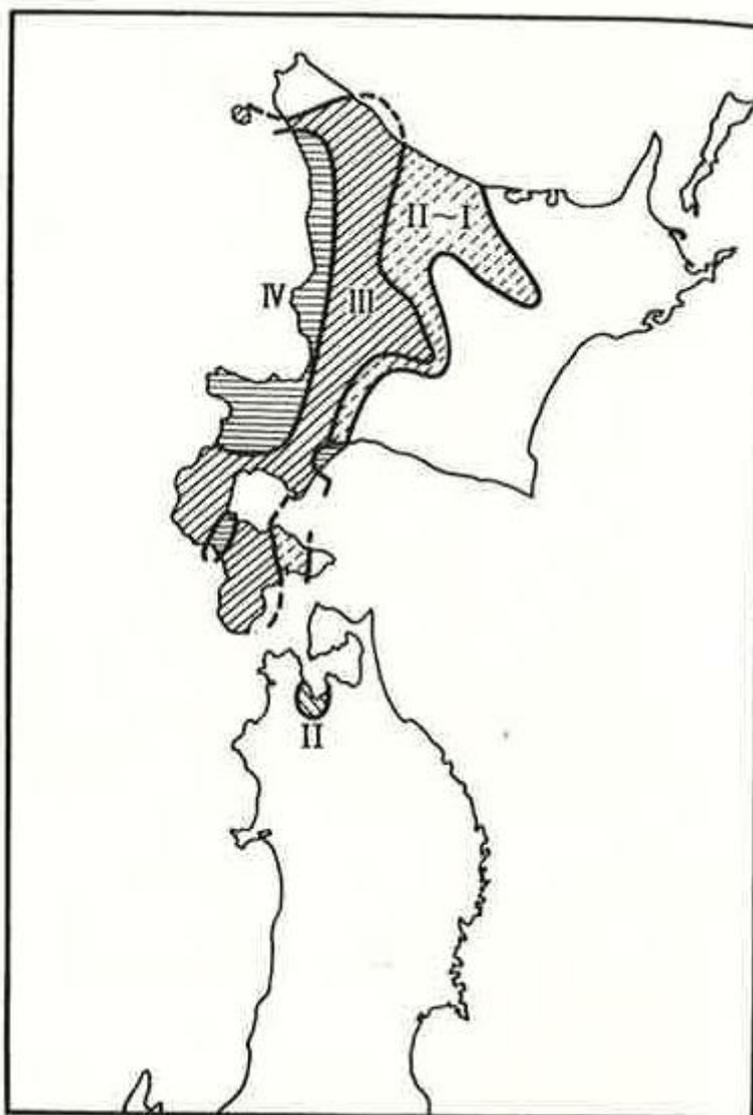


図Ⅲ-2 AVS30（J-SHIS データ）

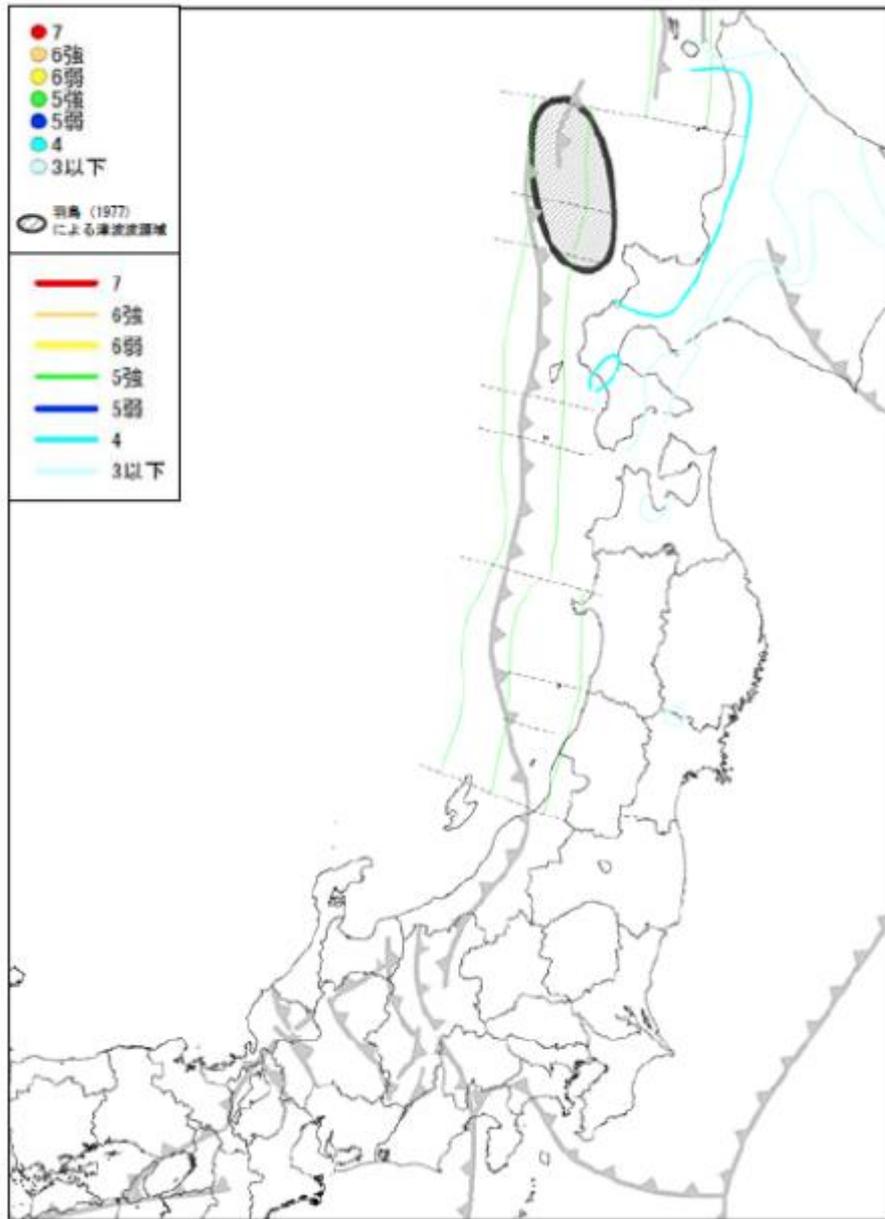


図Ⅲ-3 表層地盤による速度増幅率

検証対象とした 1940 年神威岬地震における地震動についての被害および観測記録を以下にまとめる。宇佐美ほか(2003)によると、神威岬地震による地震の被害はほとんどなく、被害は津波によるものであった。宇佐美・他(2013)及び日本海調査検討会報告書(2014)による神威岬地震の震度分布を図Ⅲ-4・図Ⅲ-5にそれぞれ示す。震度は最大で4であった。



図Ⅲ-4 1940年神威岬地震の震度分布図(宇佐美・他, 2013)

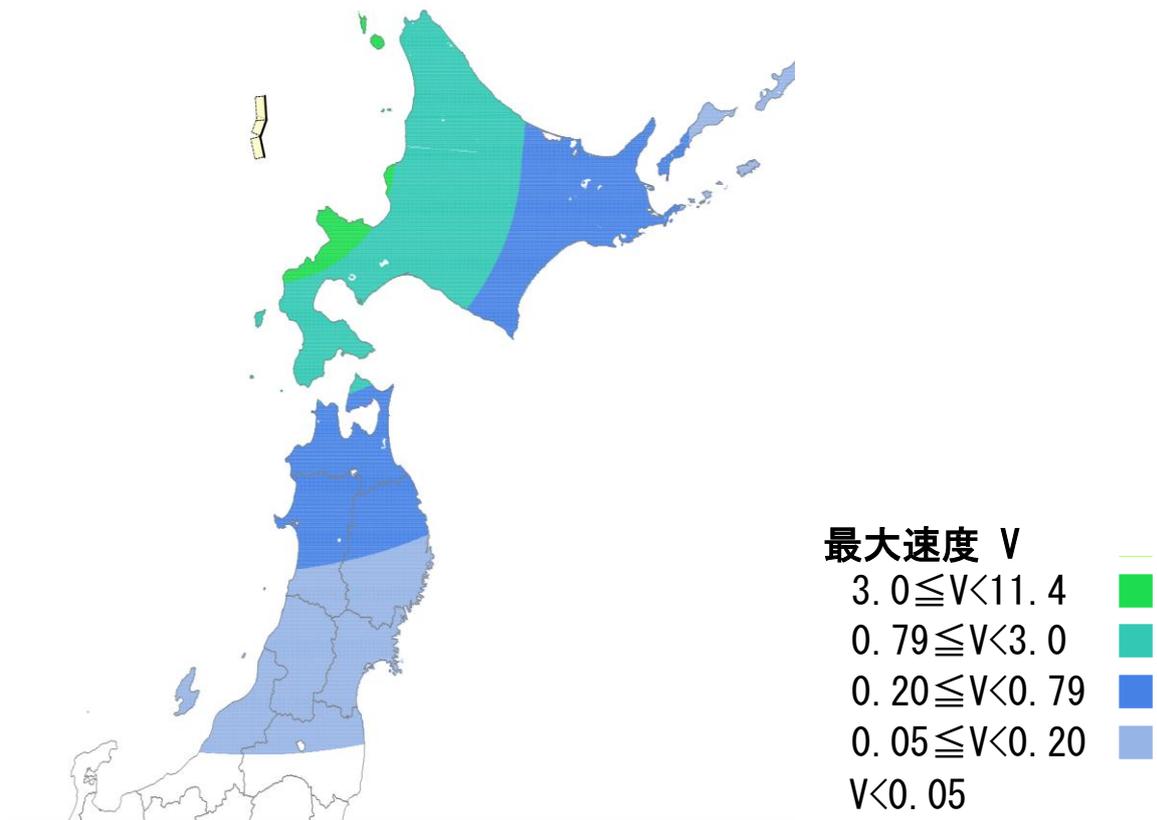


図III-5 1940年神威岬地震の震度分布図（日本海調査検討会報告書，2014）

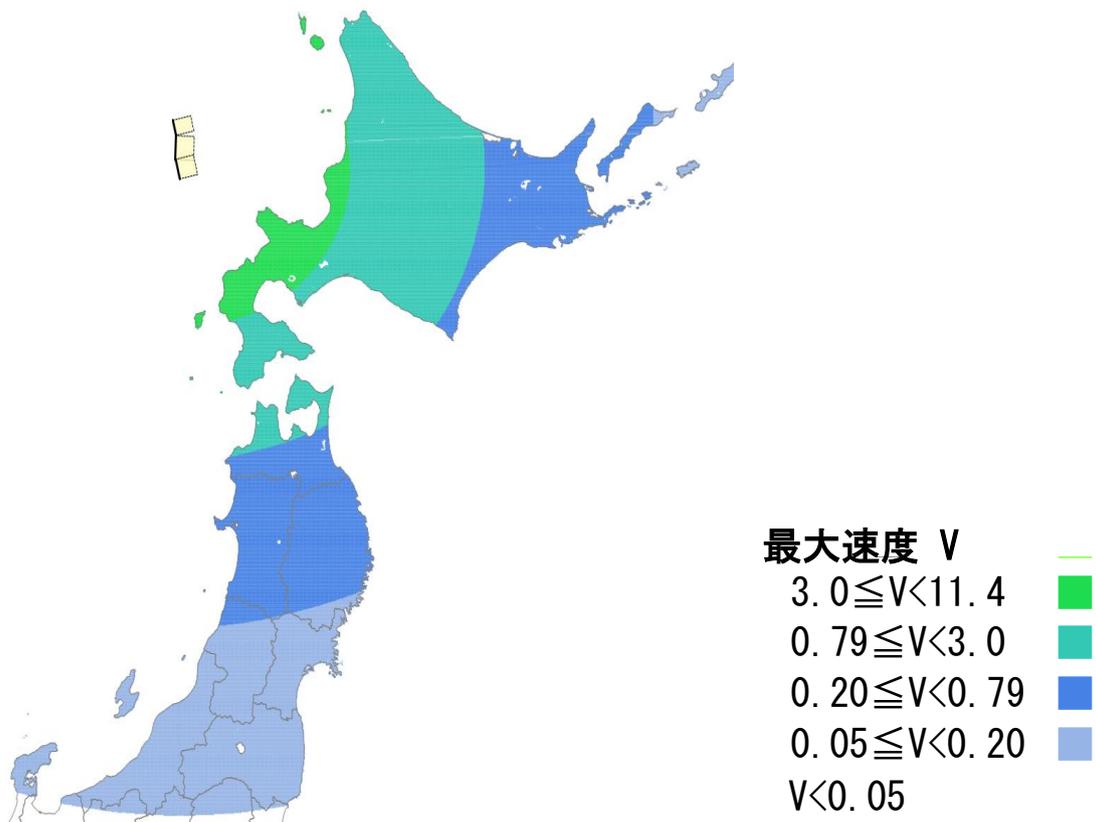
距離減衰式の計算に用いる断層モデルは、1940年神威岬地震に対応する日本海調査検討会報告書のモデルとして、F07断層とF09断層を用いた。以下に、距離減衰式の計算結果についてまとめる。

工学的基盤面の最大速度（**図Ⅲ-6、Ⅲ-7**）では、距離に応じて減衰する様子が見られ距離減衰式の妥当性を確認できる。また、表層地盤での最大速度（**図Ⅲ-8、Ⅲ-9**）、推定計測震度（**図Ⅲ-10、Ⅲ-11**）において表層の地盤の増幅率の違いによって、震源から等距離でも大きな違いが現れている。F07断層とF09断層の結果を比較すると、F07断層の方が陸域に近いものの、マグニチュードの大きさによりF09断層の方が地震動が大きいことが分かる。

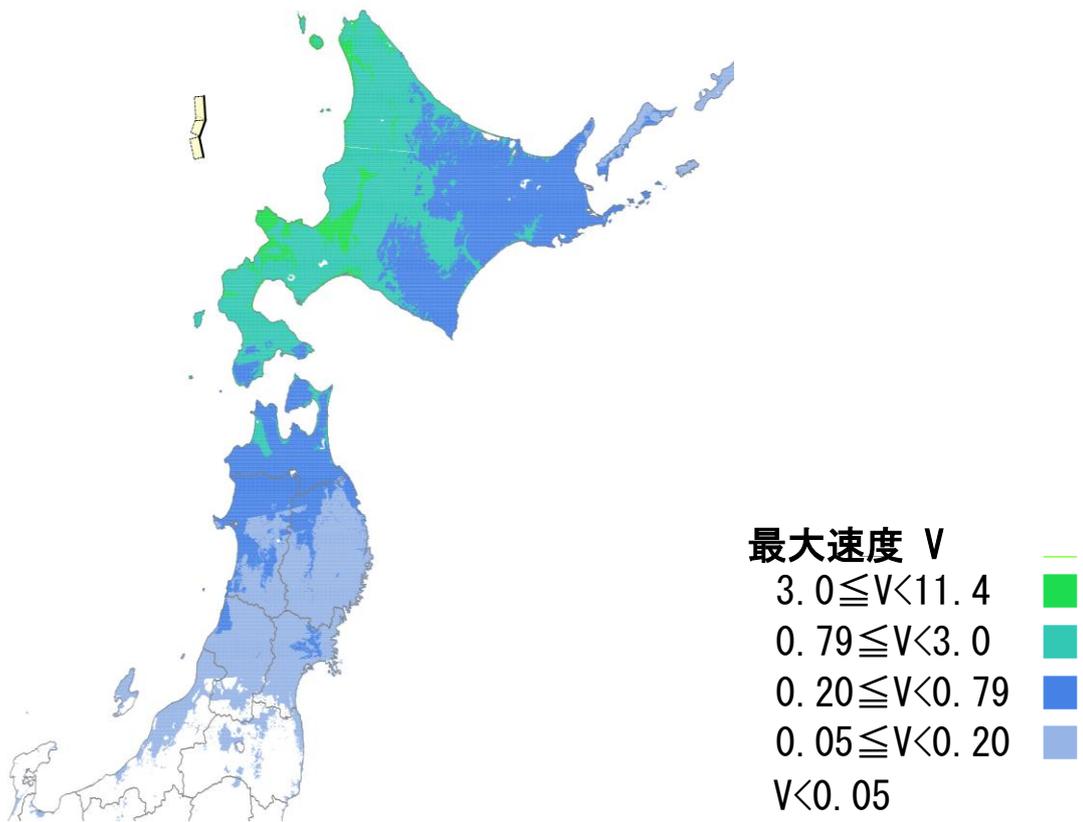
1940年神威岬地震で観測された震度と比較すると、F07断層の結果は震度2～4のそれぞれの範囲が**図Ⅲ-4**よりも狭く、特に震度4の地点が少ないことから、実際の観測に比べると地震動が小さく計算されるモデルであることが分かる。一方、F09断層は震度4の範囲が**図Ⅲ-4**よりも若干小さいものの、震度2,3の範囲を概ね説明できていると言える。



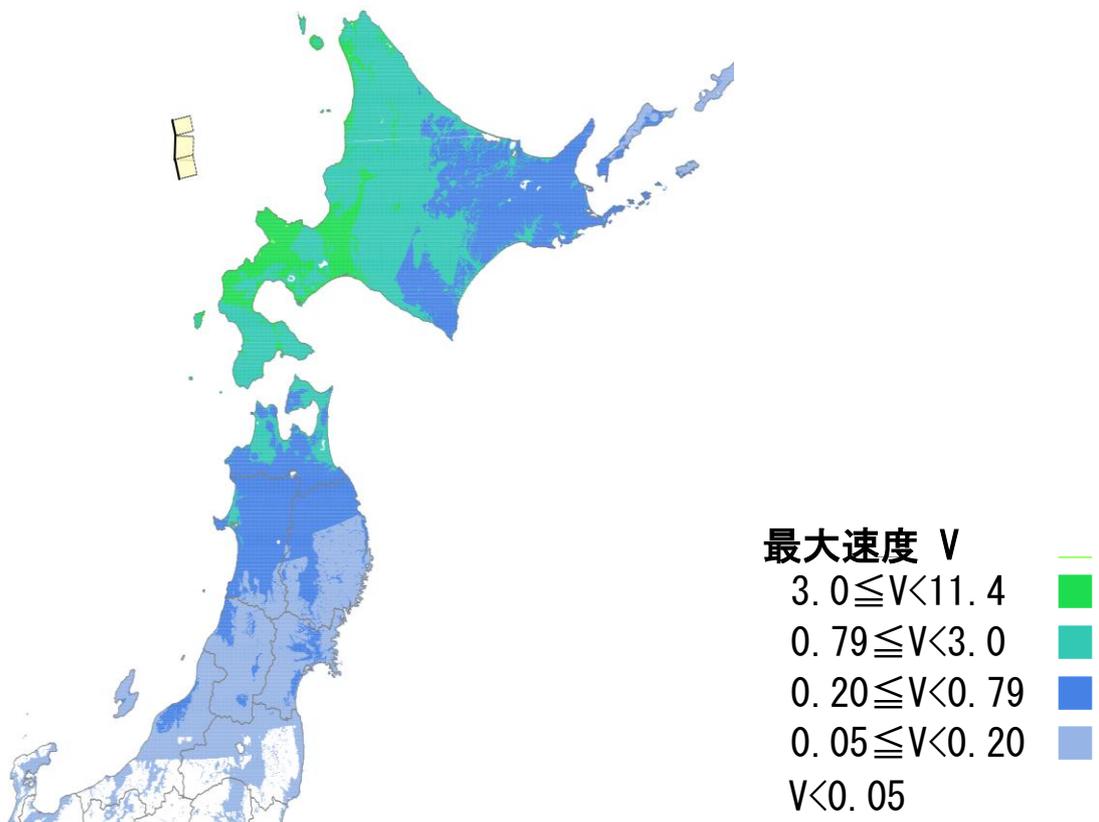
図Ⅲ-6 F07断層の工学的基盤最大速度



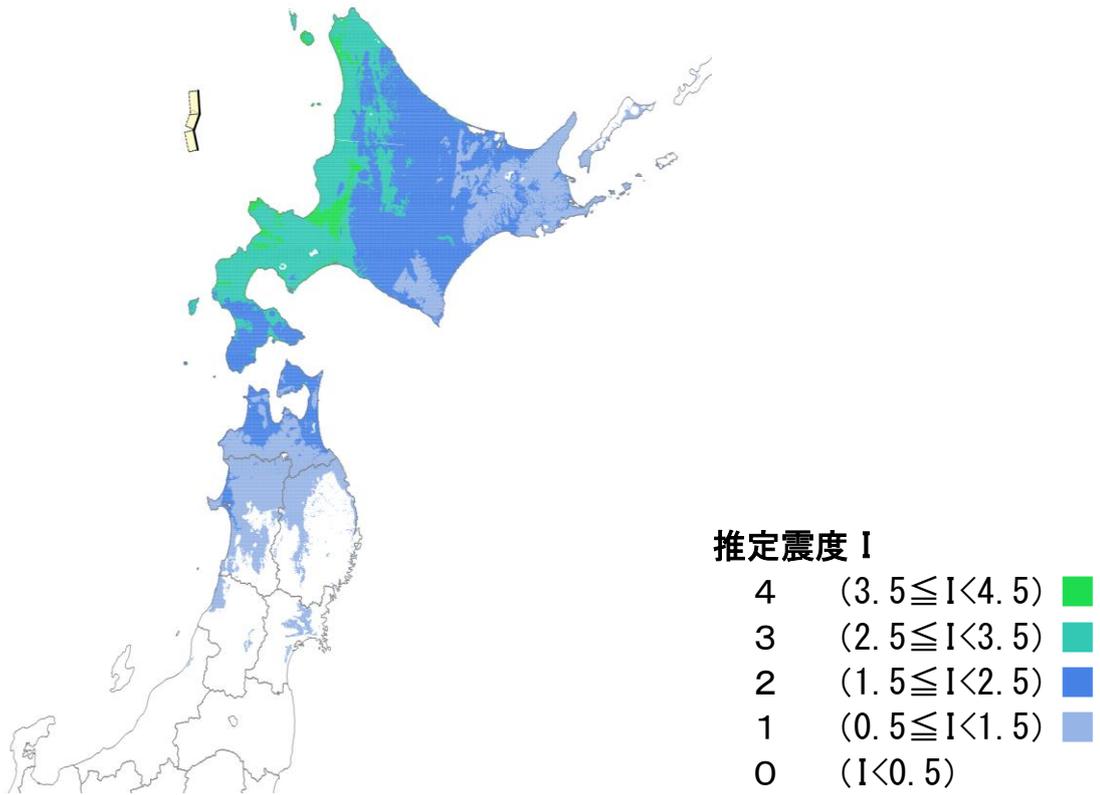
図Ⅲ-7 F09断層の工学的基盤最大速度



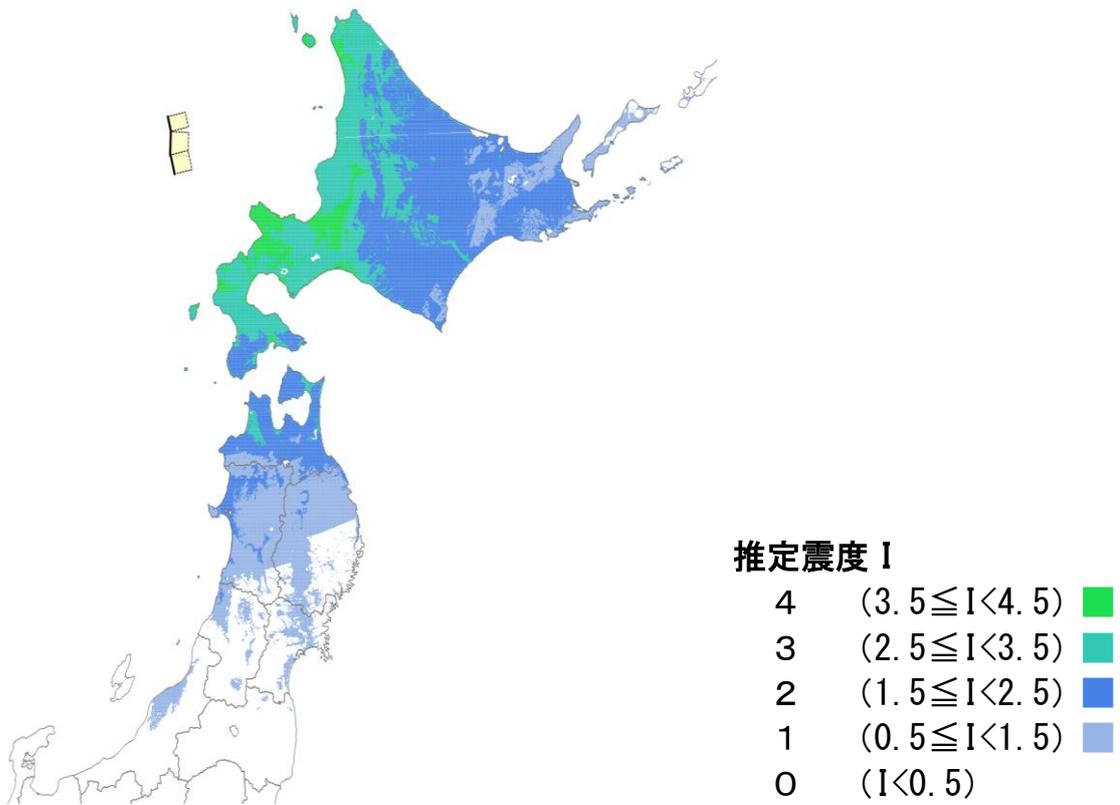
図Ⅲ-8 F07断層の表層地盤での最大速度



図Ⅲ-9 F09断層の表層地盤での最大速度



図Ⅲ-10 F07断層の推定計測震度



図Ⅲ-11 F09断層の推定計測震度

(d) 今年度成果と今後の課題

1) 断層モデルの設定

【今年度成果】

1. 本プロジェクトにおける断層データは先行する日本海調査検討会海底断層WGの断層を包含し、また、同WGでは示されなかった断層のデータも含まれていることを確認した。
2. 本プロジェクトの断層データから、日本海海域のうち、能登半島以西について、断層の連動の可能性を考慮した基本断層モデルを設定した。作成した断層モデルの特徴は以下のようにまとめられる。
 - ・日本海調査検討会では網羅されなかった、規模の小さい断層や沿岸から離れた断層、既往津波地震及び歴史地震の波源についても、網羅する断層モデル群を作成することができた。
 - ・既往文献、先行研究及び調査のデータが不足する日本海海域について、断層上端深度や断層傾斜角などを実際のデータの性格を反映して設定した断層モデルを作成した。
 - ・本プロジェクトの断層データから断層モデルをグルーピングすることにより、断層の連動性を考慮したモデルを設定した。
3. 断層モデルの設定にあたり、パラメータスタディによって各断層パラメータのちがいが沿岸の津波波高に与える影響を評価し、もっとも影響の大きいパラメータを抽出した。
 - ・沿岸の津波波高に与える影響が最も大きいパラメータは断層の位置である。
 - ・断層の位置に関係するパラメータについて、海岸線に対して直交する成分の変化は影響が小さいが、海岸線に平行な成分の違いは大きく影響することがわかった。
 - ・そのほかのパラメータについて、影響がもっとも小さいのは断層上端深度である。また、断層傾斜角や断層下端深度については、すべり角や地形の違いに起因して、モーメント量が同じであっても津波波高への影響の度合いが異なる。また、すべり角は、高角な場合には津波波高への影響は小さいが、低角な場合には大きく影響することがわかった。

【今後の課題】

1. 断層モデルの平均すべり量と、予測されるモーメント量をあたえるスケーリング則について、日本海調査検討会の μ 式（平均的な値）と不確実性を考慮した値の二通りを併記したが、適切なスケーリング則の選定にはさらに検討が必要であると考えられる。
2. 断層下端深度について、今回は地殻構造区分の観点から一定値としたが、地域的な特徴をより反映した値を設定する必要があると考えられる。
3. すべり角について、それを推定するデータが得られず日本海調査検討会のモデル断層からパラメータを設定しているが、すべり角の設定方法には検討が必要である。
4. 断層位置のばらつきの範囲の設定について、断層の規模に応じて設定する必要がある。どの程度の断層に、どれだけのばらつきの範囲をあたえるのか、さらなる検討が必要である。

2) 断層モデルの検証

① 津波

【今年度成果】

1. 断層モデルの抽出

痕跡値の数や既往の断層モデルの文献などを参考に、検証に適している地震として1940年神威岬地震と1833年庄内沖地震を選択した。1940年神威岬地震の再現性の検証については、まず、日本海調査検討会による断層モデル F09 と Satake (1986) の断層モデル E2 を使い検討した。

2. パラメータスタディ

既往のパラメータスタディ結果を参考に、本検討においても、断層モデル F09 の大すべりの位置を動かした5パターンにおける汀線付近での最大津波水位を計算し、痕跡値と比較した。

3. 津波予測計算の結果と痕跡値との比較

本検討で用いた6パターンの断層モデルで実施した津波予測計算の結果から得られた全55領域における汀線付近（ハザード評価点）の最大津波水位を図化した。日本海調査検討会による断層モデル F09 の最大津波水位が Satake (1986) の断層モデル E2 より大きくなった。その主な理由として、すべり量が断層モデル F09 より E2 のほうが小さいなどが挙げられる。

4. $K-\kappa$ の算出

津波予測計算の結果と痕跡値との比較結果を $K-\kappa$ で評価した。本検討では、汀線付近の最大津波水位と遡上域の痕跡値とを比較し $K-\kappa$ を求めた。

Satake (1986) の文献中に示されている断層モデル E2 の $K-\kappa$ と、本検討で求まる $K-\kappa$ が異なる。その理由として、用いた痕跡値の数が異なることと、信頼度が異なることなどが挙げられる。

【今後の課題】

- ・今後、1833年庄内沖地震と神威岬地震に対応する日本海調査検討会の断層モデル F07 や Okamura *et al.* (2005) の断層モデルなどでも検証を実施する予定である。
- ・断層モデル F07 を使った検証を実施する場合も、同様に大すべりの位置を動かしたパラメータスタディを実施する必要があると考えられる。
- ・本検討では津波予測計算において潮位を T. P. = 0 m (表 II. iii-6) で設定しており、1940年神威岬地震発生時の潮位と異なる。今後、潮位の条件や痕跡値の選択などを再検討し、再度 $K-\kappa$ を求める必要があると考えられる。

② 地震動

【今年度成果】

1. 既往地震記録

神威岬地震による地震の被害はほとんどなく、被害は津波によるものであった。震度は最大で震度 4 となった。

2. 断層モデルによる地震動

日本海調査検討会による断層モデル (F09、F07 断層) による地震動計算結果と 1940 年神威岬地震で観測された震度と比較すると、F07 断層の結果は震度 2~4 のそれぞれの範囲が既往地震記録よりも狭く、特に震度 4 の地点が少ないことから、実際の観測に比べると地震動が小さく計算されるモデルと考えられる。一方、F09 断層では、震度 4 の範囲が既往地震記録より若干狭いものの、震度 2, 3 の範囲を概ね説明できていると考えられる。

【今後の課題】

- ・ 今後、1833 年庄内沖地震と神威岬地震に対応する Okamura *et al.* (2005) の断層モデルなどでも検証を実施する予定である。

(e) 引用文献

- 1) 相田勇 (1989) : 天保四年の庄内沖地震による津波に関する数値実験, 『続古地震—実像と虚像』(荻原尊禮編著), 東京大学出版会, 204-214
- 2) 土木学会原子力委員会津波評価部会 : 原子力発電所の津波評価技術(2002)
- 3) 藤田和夫・今泉俊文・貝塚爽平・松田時彦・中田高・岡田篤正・太田陽子・宇津徳治・米倉伸之・吉井敏尅(1991) : 日本の活断層〔新編〕 分布図と資料, 437pp, 4 sheets, , 活断層研究会, 東京大学出版会, .
- 4) Fukao, Y. and Furumoto, M., (1975) Mechanism of large earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea, *Tectonophysics*, 26, 247-266.
- 5) 原子力安全規制庁(2013) : 基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド(案) .
- 6) 羽鳥徳太郎・片山通子 (1977) : 日本海沿岸における歴史津波とその波源域. 東京大学地震研究所彙報. 52, 49-70.
- 7) 樋渡康子・佐藤魂夫・今村文彦 (2002) : 日本海沿岸に発生する地震に伴う津波の波源と伝播—1704 年岩館地震, 1793 年鯨ヶ沢地震, および 1804 年象潟地震による津波—, 地震 2, 54, 431-440.
- 8) 今村明恒(1913) : 明治五年ノ濱田地震, 震災予防調査報告, 77, 43-77.
- 9) Irikura, K. and H. Miyake(2011) : Recipe for Predicting Strong Ground Motion from Crustal Earthquake Scenarios, *PAGEOPH*, 168, 85-104.
- 10) 地震調査研究推進本部 : 主要活断層帯の長期評価, 2005~2015.
http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_danso.htm
- 11) 内閣府(2007) : 日本海の津波調査業務 報告書
.
- 12) 日本海における大規模地震に関する検討会(2014) : 日本海における大規模地震に関する検討会 最終報告.
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/
- 13) 日本海における大規模地震に関する検討会 海底断層ワーキンググループ(2014) : 日本海における大規模地震に関する検討会 海底断層ワーキンググループ 報告.
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/
- 14) Okamura, Y., Satake, K., Ikehara, K., Takeuchi, A., and Arai, K. (2005) : Paleoseismology of deep-sea faults based on marine surveys of the northern Okushiri ridge in the Japan Sea, *Jour. Geophys. Res.*, 110, B09105, doi:10.1029/2004JB003135.
- 15) Satake, K. (1986) : Re-examination of the 1940 Shakotan-oki earthquake and the fault parameters of the earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 43, 137-147.
- 16) 島根県(2014) : 島根県地震被害想定調査報告書.
http://www.pref.shimane.lg.jp/bousai_info/bousai/bousai/bosai_shiryo/jishinhigaisoutei_houkokusyo.html
- 17) 徳山英一・本座栄一・木村政昭・倉本真一・芦寿一郎・岡村行信・荒戸裕之・伊藤康人・徐垣・日野亮太・野原壮・阿部寛信・坂井真一・向山建二郎(2001) : 日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史 (CD-ROM 版), 海洋調査技術, 13, 1, 1, CD-ROM, 海洋調査技術学会.

18) 宇佐美龍夫・石井 寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013) : 日本被害地震総覧, 599, 東京大学出版会.

4. 全体成果概要

海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築では、今年度は、昨年度に引き続き、日本海の反射法探査データ、速度構造データ、well データを収集し、すべてのデータ QC を実施するとともに、日本海の 3 次元速度構造を構築した。

また、海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈では、今年度まで日本海の反射法探査データの再処理を実施し、日本海の断層解釈を終了した。そして、断層の連続性を地質構造と地形から確認し、断層リストを作成するとともに、サブテーマ 3 の実施者である国立研究開発法人防災科学技術研究所へ提供した。

海域における断層モデルの構築では、サブテーマ 2 で解釈を終えた日本海の断層分布から主断層の断層パラメータの確からしさ等の質の違いに応じたモデル化を考慮した。また、構築した断層モデルの妥当性を、津波や地震動のシミュレーションを用いて検証するための手法を検討した。

5. 成果の論文発表・口頭発表等

(1) 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
金田義行, 高橋成実, 及川信孝, 大角恒雄, 藤原広行	海域における断層総合評価プロジェクト	日本地震学会 2014 年度秋季大会	2014 年 11 月 25 日
高橋成実・及川信孝・荒井麗・勝山美奈子・安藤五郎・清水祥四郎・田中恵介 (JAMSTEC)・荒井晃作・井上卓彦 (AIST)・金田義行 (JAMSTEC)	反射法探査から見た日本海の断層分布	日本地震学会 2014 年度秋季大会	2014 年 11 月 25 日
Narumi Takahashi	The Use of Marine Seismic Industry Data in Japan	Increasing the Access to and the Relevance of Marine Seismic Data, NSF Marine Seismic Data Workshop	2014 年 12 月 12 日

- (b) 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
 - 2) ソフトウェア開発
 - 3) 仕様・標準等の策定
 - なし
- (2) 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈
 - (a) 成果の論文発表・口頭発表等
 - (1)と同様
- (b) 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
 - 2) ソフトウェア開発
 - 3) 仕様・標準等の策定
 - なし
- (3) 海域における断層モデルの構築
 - (a) 成果の論文発表・口頭発表等
 - なし
 - (b) 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
 - 2) ソフトウェア開発
 - 3) 仕様・標準等の策定
 - なし

6. むすび

本年度で2年目となる本プロジェクトに関しては、各サブテーマに基づいて既往調査結果のデータ収集も順調に行い、再解析も実施され順調に推進している。

7. 委員会・会議

(1) 運営委員会

(a) 設置趣旨及び役割

海洋研究開発機構において、文部科学省からの受託事業「海域における断層情報総合評価プロジェクト」を円滑に推進するため、「海域における断層情報総合評価プロジェクト」運営委員会（以下「運営委員会」という。）を設置する。

運営委員会は、受託事業「海域における断層情報総合評価プロジェクト」に関し、次の各号に掲げる事項を行う。

- ・ 研究実施の全体計画及び個別年度計画の検討並びに進捗状況の評価
- ・ 年度成果報告の検討及び評価
- ・ 文部科学省が行う中間評価及び事後評価における評価資料のとりまとめ
- ・ その他、研究開発を推進するために必要な事案の検討

(b) 活動報告

・会議録

「海域における断層情報総合評価プロジェクト」第3回運営委員会

1. 日時：平成26年9月12日（金） 13:00～15:00

2. 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 共用会議室 A, B

3. 議事

議題1 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築進捗状況報告

議題2 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈進捗状況報告

議題3 海域における断層モデルの構築進捗状況報告

議題4 総合討論

「海域における断層情報総合評価プロジェクト」第4回運営委員会

1. 日時：平成27年3月6日（金） 10:00～12:00

2. 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 共用会議室 A, B

3. 議事

議題1 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築進捗状況報告

議題2 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈進捗状況報告

議題3 海域における断層モデルの構築進捗状況報告

議題4 本プロジェクトの全体概要と来年度以降の業務計画案について

議題5 総合討論

(c) 構成員

委員長

佐竹 健治 東京大学地震研究所 地震火山情報センター 教授

委員

岩渕 洋 海上保安庁 海洋情報部 海洋調査課 海洋調査課長

諏訪 義雄 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 海岸研究室長

佃 栄吉 産業技術総合研究所 理事

市川 真 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 理事

横田 崇 内閣府政策統括官（防災担当）付 参事官

(2) 評価助言委員会

(a) 設置趣旨及び役割

海洋研究開発機構において、文部科学省からの受託事業「海域における断層情報総合評価プロジェクト」を円滑に推進するため、「海域における断層情報総合評価プロジェクト」評価助言委員会（以下「評価助言委員会」という。）を設置する。評価助言委員会は、受託事業「海域における断層情報総合評価プロジェクト」に関し、次の各号に掲げる事項を行う。

- ・研究実施計画の年次計画及び当該年度計画への評価及び助言
- ・解析されたデータに関する評価及び助言
- ・その他、研究開発を推進するために必要な事項の評価及び助言

(b) 活動報告

「海域における断層情報総合評価プロジェクト」第3回評価助言委員会

1. 日時：平成26年9月12日（金） 10:00～12:00

2. 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 共用会議室 A, B

3. 議事

議題1 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築進捗状況報告

議題2 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈進捗状況報告

議題3 海域における断層モデルの構築進捗状況報告

議題4 総合討論

「海域における断層情報総合評価プロジェクト」第4回評価助言委員会

1. 日時：平成27年3月2日（月） 10:00～12:00

2. 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 共用会議室 A, B

3. 議事

議題1 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築進捗状況報告

議題2 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈進捗状況報告

議題3 海域における断層モデルの構築進捗状況報告

議題4 総合討論

(c) 構成員

委員長

今村 文彦 東北大学災害科学国際研究所 所長

委員

大堀 道広 福井大学附属国際原子力工学研究所 原子力防災・危機管理部門
准教授

篠原 雅尚 東京大学地震研究所 観測開発基盤センター 教授

日野 亮太 東北大学災害科学国際研究所 災害理学研究部門 教授

古村 孝志 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

江波戸俊和 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 探査部 部長

(3) アドバイザー会議

(a) 設置趣旨及び役割

海洋研究開発機構において、文部科学省からの受託事業「海域における断層情報総合評価プロジェクト」を円滑に推進するため、「海域における断層情報総合評価プロジェクト」アドバイザー会議（以下「アドバイザー会議」という。）を設置する。

アドバイザー会議は、受託事業「海域における断層情報総合評価プロジェクト」に関し、次の各号に掲げる事項を行う。

- ・研究実施計画の年次計画及び当該年度計画へのアドバイス
- ・解析されたデータに関するアドバイス
- ・その他、研究開発を推進するために必要な事項のアドバイス

(b) 活動報告

「海域における断層情報総合評価プロジェクト」第4回アドバイザー会議

1. 日時：平成26年5月20日（火） 14:00～16:00
2. 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 共用会議室 A, B
3. 議事
 - 議題1 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築進捗状況報告
 - 議題2 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈進捗状況報告
 - 議題3 海域における断層モデルの構築進捗状況報告
 - 議題4 総合討論

「海域における断層情報総合評価プロジェクト」第5回アドバイザー会議

1. 日時：平成26年8月7日（木） 14:00～16:00
2. 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 共用会議室 A, B
3. 議事
 - 議題1 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築進捗状況報告
 - 議題2 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈進捗状況報告
 - 議題3 海域における断層モデルの構築進捗状況報告
 - 議題4 総合討論

「海域における断層情報総合評価プロジェクト」第6回アドバイザー会議

1. 日時：平成26年11月11日（火） 10:00～18:00
2. 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 共用会議室 A, B
3. 議事
 - 議題1 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築進捗状況報告
 - 議題2 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈進捗状況報告

- 議題 3 海域における断層モデルの構築進捗状況報告
- 議題 4 探査データ等解析及び統一的断層解釈に関する討論
- 議題 5 総合討論

「海域における断層情報総合評価プロジェクト」第7回アドバイザー会議

1. 日時：平成 27 年 2 月 3 日（火） 13:00～18:00
2. 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 共用会議室 A, B
3. 議事
 - 議題 1 海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築進捗状況報告
 - 議題 2 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈進捗状況報告
 - 議題 3 海域における断層モデルの構築進捗状況報告
 - 議題 4 探査データ等解析及び統一的断層解釈に関する討論
 - 議題 5 総合討論

(c) 構成員

- 芦 寿一郎 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 准教授
- 今泉 俊文 東北大学大学院 理学研究科 教授
- 岡村 行信 産業技術総合研究所 首席研究員
- 岩渕 洋 海上保安庁 海洋情報部 海洋調査課 海洋調査課長
- 鳥海 光弘 海洋研究開発機構 海洋地球生命史研究分野長