

# 共同研究成果報告書

## 既往の巨大津波の波源推定 —1611年慶長三陸地震津波を例として—

原子力規制委員会 原子力規制庁

学校法人関西大学

国立大学法人東北大学災害科学国際研究所

国立大学法人東京大学

令和7年2月

## 1. 研究目的

基準津波の策定において、津波堆積物等の地質学的証拠や歴史記録等から推定される既往津波波源及び津波の規模（津波高及び浸水域）に関する情報が活用されている。しかし、津波堆積物や歴史記録に基づいて浸水したことが推定されるような過去の巨大津波の中には、その津波波源の位置や規模が明確には定まっていないものがある。その要因の一つとして、津波堆積物は、津波堆積物の認定精度、堆積年代の推定の幅、未発見であっても浸水や堆積物消失の可能性を否定できないこと等の不確かさを伴うことが挙げられる（以下「津波堆積物の不確かさ」という。）。

1611年慶長三陸地震津波（以下「当該津波」という。）は、その津波波源の位置や規模に関して諸説があり<sup>1,2</sup>、それらが明確には定まっていない巨大津波の一つである。当該津波により東北地方が浸水したことを示す歴史記録は複数ある。また、当該津波によって形成された可能性のある津波堆積物は、北海道及び東北地方の太平洋沿岸に広く分布する。しかし、これらの沿岸で同時代に発生した津波イベントは複数あるため、津波堆積物と津波イベントとの対応関係の解釈の違いが、統一的な津波波源の推定を困難にさせている要因の一つとなっている。こうした解釈の違いは、津波堆積物に基づく津波波源の推定では常にある津波堆積物の不確かさに起因する課題であるものの、可能性のある津波波源を推定する上では重要である。しかしながら、津波堆積物の不確かさの程度又はそれに起因する津波堆積物に対する解釈の違いが、津波波源の位置及び規模の推定結果へ及ぼす影響、すなわち、津波堆積物の不確かさと推定波源の関係性についてはほとんど知られていない。このような知見が得られれば、既往津波の再現のために有用な津波堆積物（調査地点、不確かさの低減等）の特定に役立てられる。また、当該津波と関連する津波堆積物の不確かさを考慮して推定される津波波源の情報は、基準津波の策定において参照すべき既往津波の一つとしての活用が見込まれる。

そこで本共同研究では、当該津波と関連する津波堆積物及び歴史記録並びに津波及び土砂移動の数値解析に基づき、当該津波の津波波源を推定するとともに、津波堆積物の情報量や信頼度を変化させたデータセットに基づき、津波堆積物の不確かさと推定波源の関係性を把握することを目的とする。

## 2. 研究内容

本共同研究では、まず、当該津波に関する文献調査を行い、津波堆積物情報の拡充が有効と考えられる地域を選定する。そして、現地調査及び年代測定等を行い、得られたイベント堆積物について、当該津波に起因するかどうかの信頼度判定を行う。次に、当該津波と関連する津波堆積物及び歴史記録並びに津波及び土砂移動の数値解析に基づき、当該津波の津

---

<sup>1</sup> 後藤ら<sup>3</sup>において、「上下の堆積物や周辺の地形から推定される平常時の堆積環境では形成され得ない堆積構造、包有物等が認められる堆積物」と定義されている。

津波波源を推定する。その際、多数の津波波源を仮定したシナリオ波源を当該津波の津波波源の候補とする。そして、津波堆積物の信頼度判定結果を踏まえて不確かさを数値化し、それぞれのシナリオ波源に基づく津波及び土砂移動の数値解析の再現性を定量的に評価する。これを「推定波源の確からしさ」を表す指標とする。この情報に基づいて多数のシナリオ波源から複数の津波波源を抽出する。最後に、津波堆積物の不確かさのうち、情報の多寡や信頼度が津波波源の推定結果にどの程度影響するのか把握するために、津波堆積物の情報量や信頼度を変化させたデータセットを複数作成し、これらに対して津波波源を推定する。そして、これらの結果から津波堆積物の不確かさと推定波源の関係性を調査する。

なお、本共同研究（令和3年度～令和5年度）は、原子力規制庁の安全研究プロジェクト「津波評価手法及び既往津波の波源推定に関する研究」（令和3年度～令和6年度）（以下、「安全研究プロジェクト」という。）の一環として実施した。

### 3. 実施方法

#### 3.1 津波堆積物情報に関する知見収集

##### a) 文献調査及び現地調査の実施

当該津波によって形成された可能性のある津波堆積物に関する文献調査を実施した上で、津波波源の推定において、津波堆積物情報を新たに取得することが望ましい地点等を選定する。選定結果を踏まえ、現地調査を実施し、イベント堆積物の確認及び試料採取を行う。

##### b) 試料分析

簡易型地層抜き取り装置等で採取した堆積物試料について、肉眼観察を行い、イベント堆積物及び平常時堆積物（有機質堆積物等）に区別する。その上で、それぞれから年代測定用及び各種分析（火山灰分析及び珪藻分析等）用の試料を採取し、放射性炭素年代測定及び津波堆積物の信頼度判定に係る分析を行う。

##### c) 津波堆積物の信頼度判定

区別したイベント堆積物について、現地調査及び試料分析の結果を、過去の安全研究で整備した津波堆積物の認定手順<sup>3</sup>等に照らし、津波堆積物としての信頼度判定を行う。また、文献調査で収集した津波堆積物に関する情報についても信頼度判定を行う。

#### 3.2 数値解析の実施及びデータベースの拡充

##### a) シナリオ波源の設定

当該津波が発生したと考えられる日本海溝から千島海溝における領域に複数のシナリオ波源を設定する。シナリオ波源のモデル設定については、過年度の安全研究成果<sup>4,5</sup>を活用し、地殻変動の水平変位が鉛直方向に寄与する効果を踏まえた特性化波源モデルを設定する。

##### b) 解析対象領域の設定

3.1の文献調査及び現地調査の結果を踏まえ解析対象領域を設定し、地形データ等を整備する。

#### c) 津波遡上解析及び土砂移動解析の実施

過年度の安全研究「津波ハザード関連評価技術の整備（平成 25 年度～平成 28 年度）」において、高橋ら<sup>6</sup>の土砂移動モデルに、菅原ら<sup>7</sup>の流況に応じて飽和浮遊砂濃度を動的に変化させる予測式を導入した土砂移動解析コード「TUNAMI-STM」を整備した。TUNAMI-STM のうち土砂移動解析機能を規制庁の津波解析コード「SANNAMI(+TUNAMI)」に組み込む。次に、本解析コードを用いて、a) のシナリオ波源及び、b) の解析対象領域について津波遡上及び土砂移動の数値解析を実施する。

#### d) 波源推定のためのデータベースの拡充

c) で実施した解析結果を過年度の安全研究「津波ハザード関連評価技術の整備（平成 25 年度～平成 28 年度）」で整備した「津波堆積物に基づく津波波源推定手法」<sup>8</sup>によるデータベース（以下「従来データベース」という。）に追加する。

### 3.3 津波堆積物の不確かさを考慮した津波波源の推定

3.1 で判定した津波堆積物の信頼度及び 3.2 のデータベースを用いて、当該津波の波源を推定し、津波堆積物の不確かさと推定波源の関係性を把握する。

## 4. 研究実施分担

項目	原子力規制庁	関西大学	東北大学 災害科学国際研究所	東京大学
(1) 津波堆積物情報に関する知見収集	○	○	◎	◎
(2) 数値解析の実施及びデータベースの拡充	○	◎	○	○
(3) 津波堆積物の不確かさを考慮した津波波源の推定	◎	○	○	○

◎：主担当、○：副担当

## 5. 共同研究参加者

氏名	所属部局・職名	本共同研究における役割
佐藤 太一	原子力規制庁長官官房技術基盤グループ地震・津波研究部門 副主任技術研究調査官	・研究の統括（主に、(3) 津波堆積物の不確かさを考慮した波源推定） ・試料分析の補助
山下 啓	同 副主任技術研究調査官	・研究の統括（主に、(3) 津波堆積物の不確かさを考慮した波源推定） ・特性化波源モデルの設定 ・数値解析の補助

(続き)

氏名	所属部局・職名	本共同研究における役割
杉野 英治	原子力規制庁長官官房技術基盤グループ 安全技術管理官 (地震・津波担当)	・研究の統括（主に、(3) 津波堆積物の不確かさを考慮した波源推定） ・特性化波源モデルの設定
高橋 智幸	関西大学社会安全学部 教授	・研究の統括（主に、(2) 数値解析及びデータベースの拡充） ・文献調査の補助 ・津波堆積物の不確かさを考慮した波源推定の補助
菅原 大助	東北大学災害科学国際研究所 准教授	・研究の統括（主に、(1) 文献・現地調査及び試料分析） ・数値解析の補助 ・津波堆積物の不確かさを考慮した波源推定の補助
石澤 堯史	同 助教	・文献・現地調査及び試料分析 ・津波堆積物の不確かさを考慮した波源推定の補助
後藤 和久	東京大学大学院理学系研究科 教授	・研究の統括（主に、(1) 信頼度判定） ・文献・現地調査、試料分析 ・数値解析の補助 ・不津波堆積物の不確かさを考慮した波源推定の補助

## 6. 研究実施工程

項目	年度		令和3年度 2021年度		令和4年度 2022年度		令和5年度 2023年度	
	上	下	上	下	上	下	上	下
	期	期	期	期	期	期	期	期
(1) 津波堆積物情報に関する知見収集								
a) 文献調査及び現地調査の実施								
b) 試料分析								
c) 津波堆積物の信頼度判定								
(2) 数値解析の実施及びデータベースの拡充								
a) シナリオ波源の設定								
b) 解析対象領域の設定								
c) 津波遡上解析及び土砂移動解析の実施								
d) 波源推定のためのデータベースの拡充								
(3) 津波堆積物の不確かさを考慮した津波波源の推定								

## 7. 成果概要

### 7.1 津波堆積物情報に関する知見収集

#### a) 文献調査及び現地調査の実施

当該津波によると考えられる津波堆積物に関する文献調査を実施した。その結果、岩手県及び宮城県では、当該津波が押し寄せた歴史記録が各地域にあることから、当該津波と対比される津波堆積物の情報が比較的多くある一方で、青森県、福島県及び茨城県では、当該津波に係る歴史記録が少なく、当該津波と対比可能な津波堆積物の情報も少ないことがわかった。津波波源推定に当たり、当該津波の本州における津波堆積物分布の境界に関する情報を拡充する必要性を認識し、青森県、宮城県（南部）、福島県及び茨城県の4県における6地域で現地調査を行い、イベント堆積物の確認及び試料採取を行った。

#### b) 試料分析

簡易型地層抜き取り装置等で採取した堆積物試料について、肉眼観察を行い、イベント堆積物及び平常時堆積物（例えば、植物由来の有機質堆積物等）を区分した。その上でそれぞれから年代測定用及び各種分析（火山灰分析及び珪藻分析）用の試料を採取し、放射性炭素年代測定、火山灰分析及び珪藻分析を行った。その結果、青森県において、当該津波によって堆積した可能性を有するイベント堆積物が得られた。宮城県（南部）、福島県及び茨城県で得られたイベント堆積物については、当該津波よりも古い年代を示した。そのうち数地点では当該津波による可能性を否定できない堆積年代を示すイベント堆積物を確認できたが、海岸線に対して直交方向に群列採取した周辺の堆積物試料では、同堆積物の連続性（広範囲な分布）を確認できなかったため、津波起因かどうかの判断は困難であった。なお、珪藻分析からは、津波起因の根拠とできる有意な結果は得られなかった。

近年、イベント堆積物の上位層及び下位層のそれぞれ複数地点の年代測定の結果を利用し、統計的な処理を行うことで、イベント堆積物の堆積年代を数十年の範囲に絞り込むことが可能となっている。本共同研究の最終年度（令和5年度）の終盤に青森県で得られた堆積物試料は、表層での人工改変の影響が無く、上述の絞り込みが可能な貴重な堆積物試料と考えられる。よって、本共同研究の終了後、現在得られている年代測定の結果に対して複数地点の年代測定結果を利用し、統計的な処理を行うことで、より詳細な堆積年代の絞り込みを実施する計画である。

#### c) 津波堆積物の信頼度判定

区別したイベント堆積物について、過去の安全研究で整備した津波堆積物の認定手順<sup>4</sup>等に照らし、津波堆積物としての信頼度判定を行った。判定により、以下の6つの分類（S、A1、A2、B、C、X）のうち、C及びXに区分された。

S：地質学的、歴史的証拠に基づき津波により堆積した可能性が高いイベント堆積物

A1：津波による堆積が示唆されるイベント堆積物

A2：歴史記録に対応するイベント堆積物

B：海水起源のイベント堆積物

C：現世の津波堆積物と類似した堆積学的特徴を有するイベント堆積物

X：イベント堆積物

なお、文献調査結果の信頼度判定については本共同研究の終了後の令和 6 年度に実施する計画である。そして、現地調査及び文献調査の本判定の情報に年代測定結果、歴史記録の有無等を加え、当該津波の堆積物に関する信頼度を判定する。

## 7.2 数値解析の実施及びデータベースの拡充

### a) シナリオ波源の設定

過年度安全研究「津波ハザード評価の信頼性向上に関する研究（平成 29 年度～令和 2 年度）」<sup>4</sup> で得られた地殻変動の水平変位が鉛直方向に寄与する効果を考慮した特性化波源モデルの設定方法を活用し、日本海溝から千島海溝を対象に、地殻変動の水平変位の影響を考慮したシナリオ波源を作成した。作成したシナリオ波源は対象海域で発生し得るプレート間地震を網羅した合計 193 通りであり、各波源における大すべり及び超大すべり域はそれぞれ最大 1 つとした。

### b) 解析対象領域の設定

7.1 a) における文献調査及び現地調査の結果を踏まえ、当該津波の波源推定に効果的であると考えられる、北海道から千葉県にわたる合計 18 地域の解析対象地域を設定した。土砂移動解析を実施するための地形データ等については、現在得られるデータは現代のものであるため、海岸線の位置・形状の調節や人工構造物の消去を行い、1611 年当時を模擬するよう整備した。

### c) 津波遡上解析及び土砂移動解析の実施

過年度安全研究「津波ハザード関連評価技術の整備（平成 25 年度～平成 28 年度）」における委託研究で整備された津波及び土砂移動の数値解析ツール「TUNAMI-STM」<sup>5, 6</sup> の土砂移動解析機能を、原子力規制庁が所有する津波及び土砂移動の数値解析ツール「SANNAMI(+TUNAMI)」に適合するように実装し、TUNAMI-STM と同等の安定した数値解析結果を得ることができた。また、遡上先端部等の土砂移動解析機能の改良により、計算安定性を向上させた。

また、土砂移動の駆動力として重要な摩擦速度の評価手法において、非定常流及び浮遊砂流の効果を同時に考慮できる新しい手法を開発して TUNAMI-STM 及び SANNAMI(+TUNAMI)へ実装した。（なお、提案手法及び検証結果を論文<sup>7</sup>としてまとめて令和 3 年度に公表した。ただし、後述の「7.3 津波堆積物の不確かさを考慮した津波波源の推定」では計算効率の観点から利用していない）。

なお、本共同研究の終了後も、「7.2 d) 波源推定のためのデータベースの拡充」のため、整備した津波及び土砂移動の解析ツールを用いた数値解析を実施する計画である。

### d) 波源推定のためのデータベースの拡充

令和 4 年度に従来データベースの動作確認及びアップデートを目的に、7.2 c) における

津波及び土砂移動の試解析結果の登録を行ったところ、従来データベースは、本共同研究の波源推定に適合したアルゴリズムを有していないことがわかった。従来データベースでは、一つの地域に対してその地域における津波堆積物の層厚を代表する一つの値を用いて津波波源を推定するアルゴリズムが採用されていたが、本共同研究では、一つの地域に対して任意地点における層厚及び浸水高を用いて津波波源を推定するアルゴリズムが必要となる。そこで、令和4年度から令和5年度にかけて、データベースシステムの拡張方針及び方策を決定し、令和6年度における拡張計画を具体化した。

なお、データベースの拡張及びc)の解析結果のデータベースへの登録については、本共同研究の終了後に、令和6年度までの安全研究プロジェクトにおいて実施する計画である。

### 7.3 津波堆積物の不確かさを考慮した津波波源の推定

7.2 c)及びd)に記載したとおり、共同研究発足時に予見していなかった解析ツール及びデータベースの課題解決に時間要したため、データベースを用いた当該津波の波源推定は実施できなかった。ただし、7.1における津波堆積物の信頼度情報の一部と、7.2 c)における津波及び土砂移動の試解析結果を用いて、当該津波の波源を予察的に推定した。当該津波を起源とする可能性のある津波堆積物に対する解釈の違いを考慮し、シナリオA「北海道沿岸における津波堆積物は当該津波が起源ではない場合」と、シナリオB「北海道沿岸における津波堆積物は当該津波が起源である場合」を仮定した結果、津波波源域が千島海溝沿いのみではシナリオA及びBのいずれも説明できなかった。シナリオAを説明し得る津波波源域は日本海溝沿いに限定され、シナリオBを説明し得る津波波源域は日本海溝沿い及び千島海溝沿いの両者にまたがることと推定された。以上のように今後得られる推定波源の傾向に関する知見を得た。

また、推定波源の確からしさの評価や、津波堆積物の不確かさと推定波源の関係性を調査するため、まず、津波堆積物の不確かさの程度を段階的に区分し、重み付けによって数値として評価した。次に、本数値、津波堆積物の現地で確認された層厚、及び数値解析的に求められた層厚に基づく再現性に係る評価式を構築した。

なお、上述した手法のデータベースへの実装については、本共同研究終了後の令和6年度に実施し、津波堆積物の不確かさを数値化し、推定波源の確からしさの評価する計画である。そして、津波堆積物の不確かさを変化させて得られる推定波源の確からしさに基づき、津波堆積物の不確かさと推定波源の関係性を調査する計画である。

## 8. 今後の計画

推定波源の確からしさを評価するには、当該津波の堆積物に関する信頼度判定、データベースの機能拡充等を実施する必要がある。そのため、本共同研究の終了後の令和6年度に安全研究プロジェクトとして以下の内容を計画している。

津波堆積物情報に関する知見収集に関しては、現在得られている年代測定の結果に対し



て複数地点の年代測定結果を利用し、統計的な処理を行うことで、より詳細な堆積年代の絞り込みを実施する計画である。また、文献調査結果の信頼度判定についても実施する計画である。そして、現地調査及び文献調査の津波堆積物としての信頼度判定の情報に、年代測定結果、歴史記録の有無等を加え、当該津波の堆積物に関する信頼度を判定する。

数値解析の実施及びデータベースの拡充については、データベースの機能を拡張しつつ、整備した津波及び土砂移動の解析ツールを用いて、本解析を実施し、データベースへ登録する計画である。

津波堆積物の不確かさを考慮した津波波源の推定として、津波堆積物の不確かさを数値化し、推定波源の確からしさを評価する計画である。そして、津波堆積物の不確かさ（情報量や信頼度）を変化させて津波波源を推定し、これらの結果から津波堆積物の不確かさと推定波源の関係性を調査する計画である。

## 9. 公表成果一覧

- 1) 山下啓、菅原大助、高橋智幸、「遡上津波の圧力勾配及び浮遊砂流の影響を考慮した津波土砂移動解析」、第29回海洋工学シンポジウム、OES29-052、令和4年

## 10. 参考文献

- 1 澤井祐紀、「東北地方太平洋側における古津波堆積物の研究」、地質学雑誌、123 巻、10 号、pp.819-830、平成 29 年、<https://doi.org/10.5575/geosoc.2017.0055>
- 2 宍倉正展、「千島・日本海溝沿いの超巨大地震履歴」、地震予知連絡会会報、101 巻、pp.471-474、平成 31 年
- 3 後藤和久、菅原大助、西村裕一、藤野滋弘、小松原純子、澤井祐紀、高清水康博、「津波堆積物の認定手順」、津波工学研究報告、33 号、pp.45-54、平成 29 年
- 4 杉野英治、岩渕洋子、「確率論的津波ハザード評価に係る手法の提案－プレート間地震による津波波源の設定方法とその適用例－」、NRA 技術報告、NTEC-2018-4001、原子力規制委員会、平成 30 年  
<https://www.nra.go.jp/data/000229901.pdf> (2025 年 1 月 31 日確認)
- 5 杉野英治、道口陽子、佐藤太一、「津波ハザード評価の信頼性向上に関する研究」、安全研究成果報告、RREP-2021-4002、原子力規制庁長官官房技術基盤グループ、令和 3 年  
<https://www.nra.go.jp/data/000355509.pdf> (2025 年 1 月 31 日確認)
- 6 高橋智幸、首藤伸夫、今村文彦、浅井大輔、「掃流砂層・浮遊砂層の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発」、海岸工学論文集、46 巻、pp.606-610、平成 11 年、<https://doi.org/10.2208/proce1989.46.606>
- 7 菅原大助、成瀬元、後藤和久、「堆積粒子の巻き上げに伴うエネルギー散逸を考慮した津波土砂移動の計算と検証」、日本堆積学会 2014 年山口大会講演要旨集、O27、

平成 26 年

- 8 高橋智幸、川崎浩司、平田賢治、「津波堆積物に基づく津波波源推定データベースの構築」、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、74 巻、2 号、pp.I\_541-I\_546、平成 30 年、[https://doi.org/10.2208/kaigan.74.I\\_541](https://doi.org/10.2208/kaigan.74.I_541)