

特集

遠地津波の到達はなぜ 予想時刻から遅れるのか？

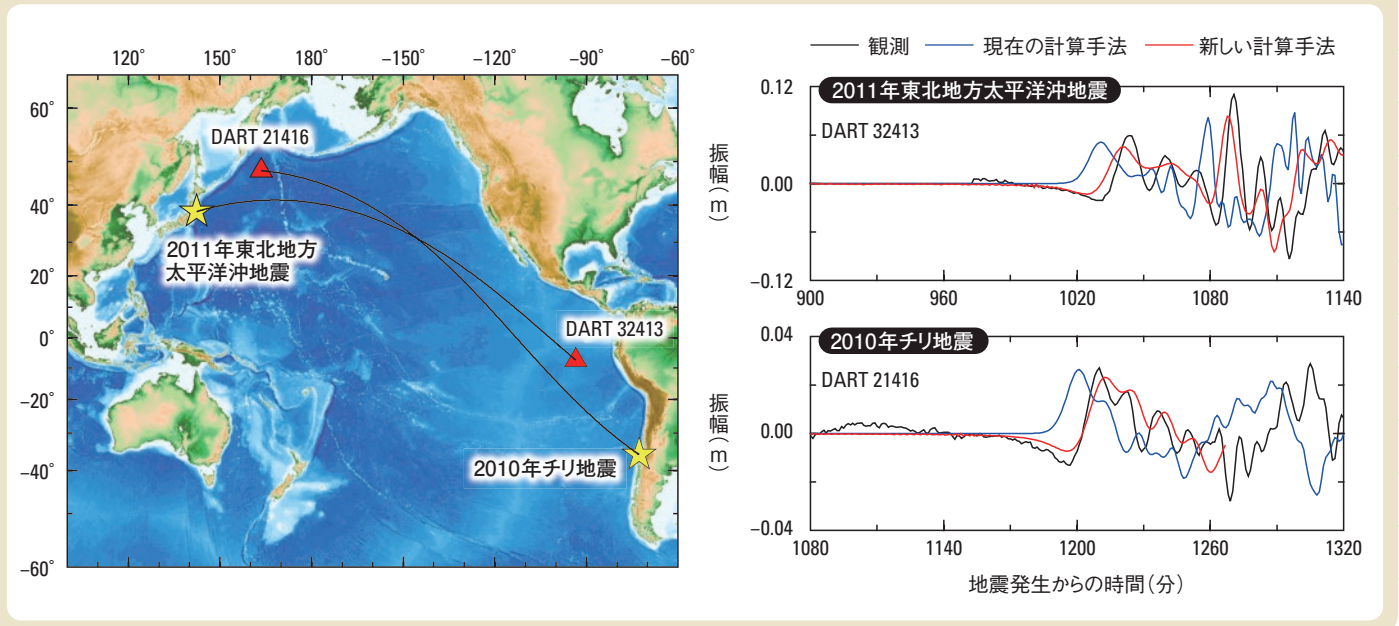
地震に伴って津波の発生が予測される場合、津波警報・注意報とともに到達予想時刻が発表される。しかし2010年チリ地震の津波が日本に、2011年東北地方太平洋沖地震の津波がチリに実際に到達した時刻は、予想時刻より数十分ほど遅く、問題になっていた。そうした中、綿田辰吾助教らは、地球の弾性、海水の圧縮性、重力場の変化の影響を考慮した新しい計算手法によって、津波の到達と予想時刻の差を解消できることを明らかにした。これは遠地津波の予測精度の向上につながる。



図1 2010年チリ地震津波、2011年東北地方太平洋沖地震津波において観測された波形と計算による波形の比較

左図は、震源(星印)から太平洋を横断して深海に設置した水圧計(三角)に到達する津波を黒い曲線で示している。右図の黒線は水圧計で観測された津波波形、青線は海底地形と地震断層モデルから計算された津波波形。実際の津波は、計算より数十分遅れて到達している。赤線は、今回新たに開発された、地球の弾性、

海水の圧縮性、重力場の変化の影響を考慮した計算手法による津波波形。到達時間の遅れはほぼ解消されている。観測波形では第1波の前に引き波が見られるが、新しい手法ではそれも再現できている。



「地震に伴って津波の発生が予測される場合には、日本では気象庁から津波警報・注意報とともに到達予想時刻が発表されます。しかし、太平洋の向こう側で発生して伝播してくるような遠地津波では、実際の到達が予想時刻より遅くなることが問題になっていました」と綿田辰吾助教は言う。この問題が注目されるようになったきっかけの一つが、2010年2月27日に発生したチリ地震(M8.8)に伴う津波である。津波が日本沿岸に到達する約3時間前に津波警報とともに到達予想時刻が発表されたが、実際には予想時刻より30分ほど遅れて到達したのだ(図1)。

気象庁ではこの問題を重く見て、2010年5月、そして2011年に開催した「津波予測技術に関する勉強会」で対策を検討した。「2011年の勉強会は3月11日の午前でした。その日の午後、東北地方太平洋沖地震(M9.0。以下、2011年東北地震)とそれに伴う巨大津波が発生したのです」と綿田助教は振り返る。「翌日チリに到達した津波でも

予想時刻からの遅れが見られたことから、遠地津波の到達遅れは地域的ではなく普遍的な現象だと広く認識されるようになりました。そこで、その原因を明らかにして予測精度の向上を目指すべきだという機運が高まりました」

海底地形データが原因か？

「遠地津波の到達予想時刻とのずれは、実は新しい問題ではありません」と佐竹健治教授は指摘する。「以前から認識されており、津波の伝播が複雑な海岸地形の影響を受けるために正確な計算が難しいからだと考えられていました。ところが、2010年チリ地震と2011年東北地震の際に、太平洋の深海に設置された海底水圧計の津波波形ですでに予測とのずれが生じていることが明確になり、あらためて注目されるようになったのです」(表紙：2011年東北地震津波の太平洋伝播図。日本沖合と南米沖合の2地点[白丸]での予測された津波波形[黄]と観測された津波波形[白]を比較)。

では、なぜ遠地津波の到達が予想時刻より遅くなるのか——佐竹研究室の修士課程1年だった楠本 聡さんも、その問題に関心を持った一人だ。「私が大学院に入ったのは、2011年4月。地震直後だったこともあり、津波そのものの研究に取り組みたいと考えたのです」と振り返る。

楠本さんはまず、津波到達予想時刻が観測より遅くなる原因を明らかにしようとした。津波の伝播は、線形長波理論に基づいてオイラーの運動方程式と流体の質量保存則を解いて計算する。その際、海底地形データや地震断層モデルを用いるのだが、「観測と予測の到達時刻のずれは海底地形データの不正確さに起因するに違いない」という意見が大勢を占めていた。楠本さんも、海底地形データが原因だと考えていた。

無視されていた三つの効果

一方、綿田助教は、原因は海底地形以外にあると考えていた。ところで、綿田助教の専

遠地津波の到達 予想時刻から

門は、もともとは津波ではなく地震を中心とした固体地球物理だ。なぜ遠地津波の遅延問題に取り組むことになったのだろうか。

「2004年スマトラ沖地震の巨大津波発生に関するテーマで研究費を申請したいと、佐竹教授の部屋に相談に行きました。2010年の秋でした。すると佐竹教授は、『話は違いますが、遠地津波の遅延という未解決の問題があるんだよとおっしゃったのです』と綿田助教。「興味をそそられたので、少し調べてみました。すると、津波伝播の計算では簡単にするために、重力は一定で、海底は変形せず、海水の密度は一定であると仮定していることが分かりました(図2左)。津波の伝播へのそれらの変動の影響は無視できる程度だと考えられていたからです。しかし私は、それはおかしいと直感しました」

実際には、津波によって厚さ数千mの海水が移動すれば、海水の荷重の変化により海底も変形し、海水は圧縮され密度が変わり、その結果、重力も変動する(図2右)。そうした影響も計算に入れるべきだと、綿田助教は考えたのだ。「PREMという標準地球モデル上で伝播する津波では、地球の弾性や海水の圧縮性、重力場の変化を正確に考慮することができます。そこで、2010年12月にPREMを用いた津波の位相速度の分散曲線を計算してみたグラフを佐竹さんに示して、これで到達時刻のずれは解消できるのではないかと話しました」。波の山あるいは谷が移動する速度を位相速度と呼び、それが周期により変わることを求めたのだ。「そのグラフは津波伝播速度が長周期で低下することを示していました。反応は、いまひとつでしたね(笑)」

対立から連携へ

2011年東北地震後の6~7月にオーストラリア・メルボルンで開催された国際測地学・地球物理学連合総会では、臨時的津波セッションが連日行われた。遠地津波の遅延も話題になったが、その原因は海底地形だと考えている人が多かった。

10月に行われた日本地震学会秋季大会でも、状況は同じ。「楠本さんは海底地形に原因があると主張し、私は地球の弾性や海水の圧縮性、重力場の変化の影響を考慮すべきだと主張。対立関係でした」と綿田助教。12月にアメリカ地球物理学連合でポスター発表するも、ほとんど注目されなかった。「相変わらず海底地形が原因だという人が主流でした。しかし、自分で検証したのではなく、津波伝播モデルに問題はないと考える人も多かったように思います」

一方、楠本さんは、海底地形データが津波伝播の計算に与える影響を詳細に検証していた。ところが、「最新の高精度な海底地形データを使うと、伝播時間のずれは減少します。しかし、わずか1~2分。数十分のずれを解消することはできませんでした」と楠本さん。地球は真球であるとして計算しているが、実際は赤道方向に膨らんだ楕円体である。そこで、その効果やそれに伴う重力加速度の変化も考慮してみたが、時間のずれは1~2分しか解消されなかった。「修士論文が書けないと、途方に暮れました」

「楠本君の研究が難航していると耳にしたので、一緒にやらないかと声を掛けました」と綿田助教。2012年夏のことだ。「自分の考えに間違いがないという自信もありました。また、私は津波の専門家ではないので、専門家グループと組んだ方が多くの人に注目してもらえる研究になるというもくろみもありました」。こうして綿田助教と楠本さんの共同研究が始まった。

観測と計算のずれを解消

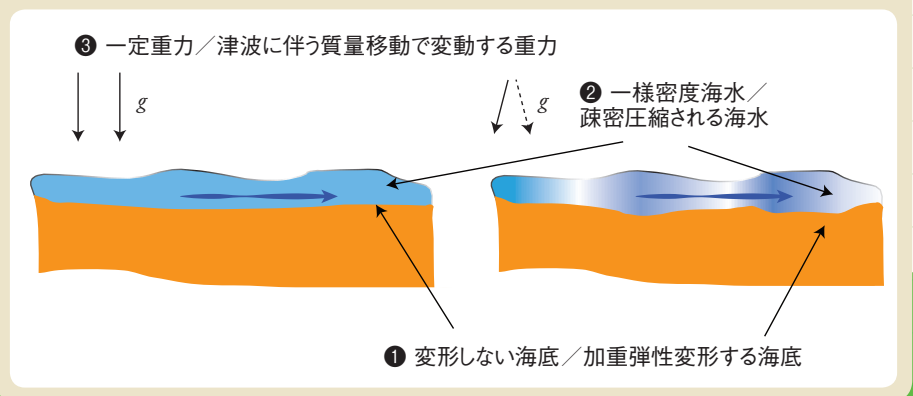
綿田助教と楠本さんは、海底水圧計の観測データから2010年チリ地震津波と2011年東北地震津波の伝播速度を詳細に解析し、単に津波発生地点からの距離が遠いほど観測と計算の到達時刻のずれが大きくなるだけではなく、周期1000秒以上の津波の位相速度は周期に依存し、綿田助教がかつて予測したように長周期で低下していたことを突き止めた。測定された位相速度は、地球の弾性、海水の圧縮性、重力場の変化の影響を考慮した周期依存性のある津波位相速度の分散曲線と非常によく一致した。次に、津波波形計算結果に周期依存した位相速度補正を加える手法を開発し、計算してみた。「津波到達時間の遅れはほぼ解消し、第1波が到着する直前の弱い引き波を含め、観測波形を驚くほどよく再現していました!」と綿田助教(図1)。

津波の到達が予想時刻より遅くなるのは、地球の弾性、海水の圧縮性、重力場の変化を考慮していないことが原因だったのだ。楠本さんは、これらの成果をまとめて2013年3月に修士論文として発表。「綿田さんに声を掛けていただき、よかったです。そうでなければ、海底地形の寄与は小さいというだけの結論で終わっていたでしょう」と楠本さんは笑う。2014年6月には『Journal of Geophysical Research』で発表。2015年1月には気象庁の勉強会でも報告した。「ぜひ津波到達時刻の予測にも組み入れてほしいですね」と綿田助教は期待を寄せる。

(取材・執筆/鈴木志乃)

図2 津波伝播の概念図

従来は、海底地形は変形せず、海水の密度は一樣で、重力は一定であるとして、津波の伝播を計算していた(左)。実際は、津波に伴う海水の質量移動によって海底は変形し、また海水は圧縮によって密度が変わり、重力も変動する(右)。



はなぜ遅れるのか?

綿田辰吾 海半球観測研究センター 助教

楠本 聡 大学院博士課程

佐竹健治 地震火山情報センター センター長・教授



TOPICS

特別展示『ミュオグラフィ——21世紀の透視図法』開催

2015年12月5日(土)から2016年2月21日(日)まで、JPタワー学術文化総合ミュージアム インターメディアテック2階「GREYCUBE(フォーラム)」にて、特別展示『ミュオグラフィ——21世紀の透視図法』を開催しています。
住所: 東京都千代田区丸の内2丁目7-2 JPタワー/KITTE 2・3階
時間: 11:00~18:00(木・金は20:00まで開館、入館は閉館時間の30分前まで)*時間は変更する場合があります。
休館日: 月曜日・年末年始、そのほか館が定める日

主催: 東京大学総合研究博物館+東京大学地震研究所
共催: イタリア国立原子核物理学研究所、イタリア国立地球物理学火山学研究所
後援: 在日イタリア大使館、駐日ハンガリー共和国大使館、駒澤大学、新日鐵住金株式会社
入館料: 無料
 詳細は下記をご参照ください。
<http://www.intermediatheque.jp/ja/schedule/view/id/IMT0086>

2年連続でゴードン・ベル賞にノミネート

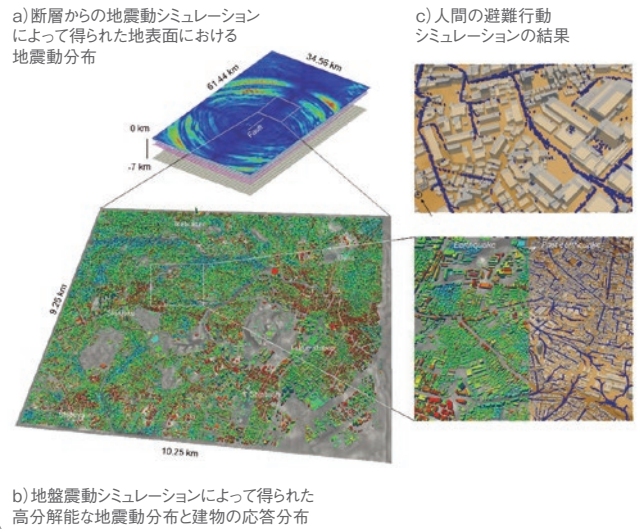
スーパーコンピュータ「京」による成果「次世代地震被害予測システムのコア技術の開発」がゴードン・ベル賞にノミネートされました。ゴードン・ベル賞は、ハイパフォーマンスコンピューティング分野において最も優れた成果に対してアメリカ計算機学会から授与される賞です。

「次世代地震被害予測システムのコア技術の開発」では、現実の都市空間情報データから、スーパーコンピュータ「京」上に都市モデルを構築し、地震時の地盤・構造物群のゆれを計算。精緻な解析モデルに基づいた地震時の都市のゆれの評価は、地震被害予測システムの信頼性向上につながると期待されています。

本シミュレーションは、文部科学省によるHPCI戦略プログラム分野3「防災・減災に資する地球変動予測」(代表機関:海洋研究開発機構)の研究課題「都市全域の地震等自然災害シミュレーションに関する研究」の一環として実施されたものです。

本研究で開発されたシミュレーション手法によって高度化された統合地震シミュレーション

地殻、地盤、都市の複雑さを適切に捉えた超高精細な解析結果が得られている。



本所永遠の使命とする所は地震に関する諸現象の科学的研究と直接又は間接に地震に起因する災害の予防並に軽減方策の探究とである(寺田寅彦)

受賞・表彰

- 塩原肇教授・篠原雅尚教授らの論文が「海洋調査技術学会技術賞」を受賞
- 森田裕一教授・及川純助教らの論文が「日本火山学会論文賞」を受賞
- 前田拓人助教が「森田記念賞」を受賞
- 中田節也教授がIUGG(国際測地学・地球物理学連合)名誉会員に表彰

最近の研究から

最近の研究を紹介するコンテンツ「最近の研究から」に、新たな論文が追加されています。地震研究所のホームページで、ぜひご覧ください。

- ニュートリノ振動を用いた地球深部の化学組成測定

地震・火山情報

地震研究所ホームページの「地震・火山情報」で、情報が随時更新されています。

- 2015年9月16日チリの地震により発生した津波
南米チリで、2015年9月16日午後7時54分ごろ(現地時間)M8.3の地震がありました(USGSによる)。
- 2014年9月27日御嶽山の噴火
2015年8月19~20日に山頂調査を行いました。

東京大学地震研究所
 ニュースレターPlus
 第23号

発行日 2015年12月24日
 発行者 東京大学 地震研究所
 編集者 地震研究所 広報アウトリーチ室
 制作協力 フォトクリエイト (デザイン: 酒井デザイン室)

問い合わせ先
 〒113-0032
 東京都文京区弥生1-1-1
 東京大学 地震研究所
 広報アウトリーチ室
 Eメール orhp@eri.u-tokyo.ac.jp
 ホームページ <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>

INFORMATION

人事異動

- 12月1日 辞職 望月裕峰 技術部総合観測室 再雇用職員
- 11月16日 採用 木下正高 地震火山情報センター 教授