

## 2010 年チリ地震津波のチリ沿岸での現地調査

今村 文彦\*, 藤間 功司\*\*, 有川 太郎\*\*\*

## 1. はじめに

## 1.1 地震の概要

2010 年 2 月 27 日現地夏時間 3 時 34 分にモーメントマグニチュード Mw8.8 の大地震が発生した (図 1 参照)。この地域では、太平洋側からはナスカプレートが大陸側の南アメリカプレートの下に沈み込み帯があり、過去、津波を伴う巨大地震が発生している。特に、1960 年 5 月 22 日には Mw9.5 という観

測史上最大規模の巨大地震が発生し、それによる津波が太平洋沿岸に伝播し多大な被害が発生した。我が国も含めた国際的津波警報システム設立のきっかけとなった災害であった。今回の地震発生域は、そのすぐ、北側に位置しており、南は Concepcion から、北の Valpariso までの約 600km で震源域が広がった。

1960 年チリ沖地震は過去最大級の地震であり、それにより発生した津波は我が国を始め、環太平洋沿岸諸国に影響し、多大な被害が生じた。その後の国際連携のあり方や津波研究・防災対応を大きく変えた災害であった。これから半世紀を迎えた今年、ほぼ同じ地域で、Mw8.8 (モーメントマグニチュード) の巨大地震が発生し、同様に津波の影響を受けたが、各地での人的被害は最小限に抑えられた感がある (1960 年チリ地震では、1743 名、日本で 142 名、ハワイで 61 名の死者・行方不明者を出している。2010 年ではチリ国内だけであり 500 名弱という報告がある)。

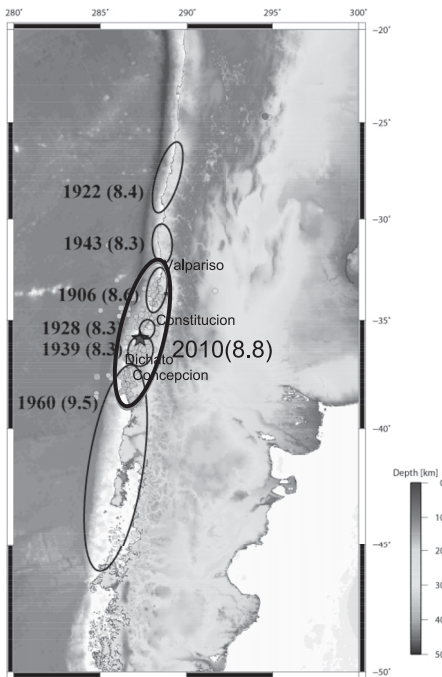


図 1 2010 年地震の余震分布との周辺の過去の地震 (東大地震研, 2010 に加筆)

## 1.2 津波調査の目的

Mw8.8 地震による津波の影響は大きく、チリ国内のみならず、南米さらには日本も含む全太平洋域に伝播し、影響を与えた。我が国でも、大津波警報が発令されるなど津波の規模は大きく、実際に、全振幅で 2m 以上の津波規模も観測されていた (気仙沼市, 2010)。幸い人的被害は小さく、1960 年津波では多大な被害を出した日本やハワイでの犠牲者はいない。警報システム、避難体制、防災施設の整備によると考えるが、一方、避難率低下の問題や水産業を中心とした経済被害などの課題は残されている。

一方、チリ国内での津波観測や被害情報は断片的なものであり、沿岸での確実なデータが不足していた。さらに、調査前に、メディ

\* 東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター

\*\* 防衛大学校建設環境工学

\*\*\* 港湾空港研究所アジア・太平洋沿岸防災研究センター

アを通じた現地情報から、いくつかの特徴や疑問も挙げられていた。例えば、地震発生後に来襲した第一波が小さく、その後しばらく平穏で、その後の 2, 3 波が大きいと報告されているが、本当か?なぜ、そのような状況になったのか?将来日本でも可能性のある、プレート地震・津波による被害の類似性はないのか?である。そこで、以下のような項目を目的とした現地調査を実施する必要があった。

津波の実態 (遡上高さ, 来襲回数, 最大波, 浸水), 被害状況 (家屋, 港湾施設, 観光地域, 沿岸環境, 地震動などとの複合災害), 警報情報と避難実態 (いつ避難出来たのか?出来なかったのか?), 事前の対応 (避難訓練や啓発はどの程度やっていたのか?)。これらの調査により, 我が国でも発生が懸念されている東海から南海にいたる連動地震および津波に対する知見や教訓が得られると期待される。

調査は, 文科省の国際会議経費や港湾空港研研究所の調査費などから支援を得て, 津波以外の地震工学, 耐震, 地盤, 社会インフラなどについての調査チームと合同で実施した。

### 1.3 スケジュール

行程は以下に示す通りである。場所は図-1を参照されたい。

3月28日 Santiago 着, 午後 Chile 大学教授と打ち合わせ

3月29日 午前 JICA チリ事務所にてスケジュール確認, 午後 Catolica 大学, UNESCO サンチャゴ事務所にて情報収集

3月30日 Santiago → Concepcion (車移動)

午後4時 Concepcion 大学打ち合わせ, 市内被害調査

3月31日 Dichato (Concepcion より北側, 車で1時間程度) および Coliumo (Cichato の南)にて津波被害と痕跡調査

4月1日 ヘリコプターにて Talcahuano より Constitucion の北まで空中視察, 午後 Talcahuano 港にて津波痕跡調査

4月2日 Concepcion から Constitucion まで車移動, 移動中 Pelluhue 周辺で痕跡調査。

Concepcion にて痕跡調査 (今回の最大遡上高さを計測, 河川の遡上高さ計測)

4月3日 Concepcion から Valparaiso まで移動。途中, San Antonio 港周辺の集落にて被害・津波痕跡調査

4月4日 Valparaiso 港を視察し, Concon (北側)まで移動したあと, Santiago にもどる

4月5日 UNESCO にて調査報告会, Catolica 大学にて調査報告会, Santiago 発, 翌日帰国

## 2. 津波の情報について

### 2.1 津波伝播と予測について

今回は, 断層の位置 (津波の発生位置) が若干, 北に移動していたものの太平洋に伝播する津波の伝播特性は, 1960年の事例と似ていた。約15時間後にハワイ, 23時間後に日本へ到達していた。気象庁は, 近地津波だけでなく, 遠地津波に対しても量的予報システムを稼働しており, 今回も来襲前に, 津波の到達時間および津波高さを予想していた。これは, あらかじめ, 太平洋の地震発生地域約100ヶ所に配置した仮想的な震源について津波の数値シミュレーションを実施し, その計算結果から日本沿岸の各地点及び海外の潮位観測点における津波の高さのデータベースを作成しておくものである。遠地震が発生した際は, 次のような手順で津波予報を行っている。

(1) PTWC 等からの情報に基づき, 遠地震の震源とマグニチュードを推定する。

(2) 推定した震源等に対応する計算結果をデータベースから検索し, 日本沿岸及び海外の潮位観測点 (DART など)における津波予測値を得る。

(3) 得られた予測値と, 海外における津波観測結果とを比較し, これに基づいて, 日本沿岸の津波予測値を修正し, 予報を行う。

今後, 海面レベル (潮位など) も含めた詳細な検討が必要であるが, 今回の予想到達時

間は若干早く、津波高さも過大である傾向が見られた。1万7千kmの伝播過程を考慮すれば、非常に高い精度であると思われるが、警報としての所要の精度はその程度かさらには必要な情報は何であるかを検討する必要がある。無論、津波を発生した震源過程の検討も含めて、今後の予測シミュレーション技術の向上に向けて検討が必要である。

なお、東北大学(2010)における検討結果と観測記録との比較を図2に示す。大きく南半球と北半球に分けると、前者では、津波到達時間および波形も非常によい一致が見られる。しかし、北半球に移動すると、数値解析の方が、到達時間が早く、波形にも差が見られるようになる。

## 2.2 津波関連の警報について

太平洋津波警報センター (PTWC) は太平洋広域津波警報を出して、太平洋沿岸各国に津波への警戒を呼び掛けた。始めは、チリ沿岸に、次に、南米、最後には太平洋全域に出している。気象庁は日本にも到達する可能性が高いとして28日午前9時33分警報、注意報を発表した。地震発生19分後にチリ沿岸を津波が来襲、半日以上津波が繰り返し襲ってきたと報告されている。第一波では避難したが、その後、沿岸に戻ってしまい被災したという事例も報告されている。今回の災害による死者の大半である400人以上が津波による犠牲になったと見られる。

太平洋津波警報センターはハワイ全島に警報を発令、到着予想時刻の5時間半前に避難

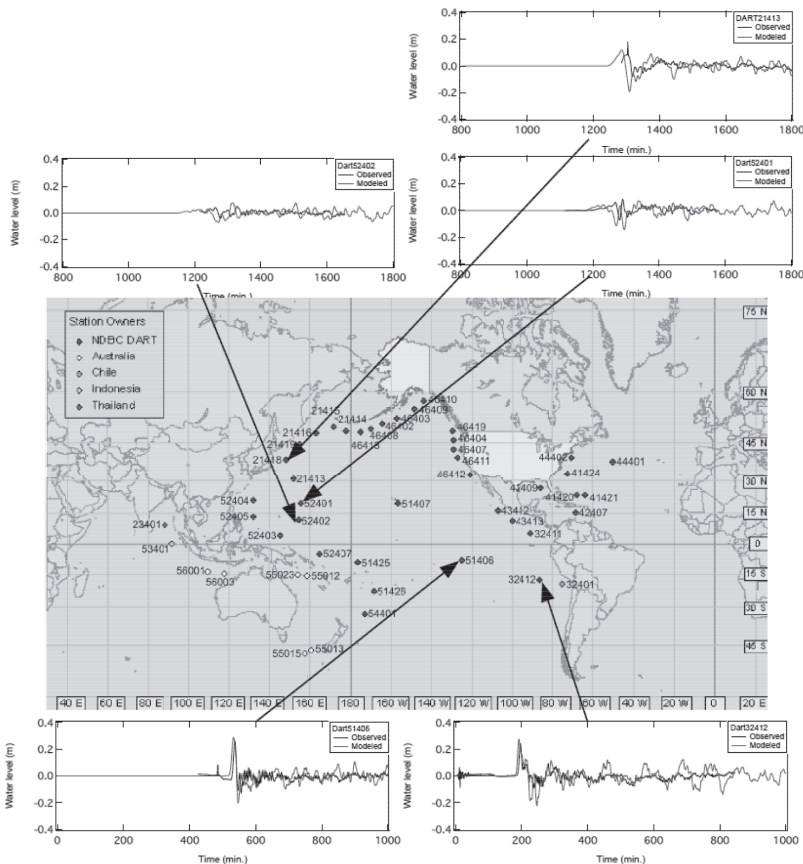


図2 2010年チリ沖地震津波の観測データと数値解析結果の比較 (東北大学津波工学HP)

を呼びかけた。混乱は殆ど無かった模様で、地元紙は「観光客は警報システムを賞賛」と報じた。ハワイ州は 1960 年のチリ地震で 61 人の死者を出した経験もあって津波対策は万全を期していた。

我が国での避難状況は、近地津波と異なり、住民が地震発生を認識することが困難であるため、津波予報の発表がない限り避難などの防災行動は期待できない。一方、地震発生から津波到達までに時間的余裕があることから、適切な指示があれば、津波到達までに防災行動を完了させることは容易である。つまり、遠地津波は津波予報が最もその効果を発揮できる機会なのである。

### 3. 主な調査結果

#### 3.1 津波の規模

現地調査で得られた主な成果をまとめると、以下ようになる。チリ沿岸の津波被災地域には平均 5～8 メートルの津波（遡上高

さ）が押し寄せていた。これらの値は、東北大学の速報値（東北大学, 2010）とよい一致を示している。現地調査において、津波発生 1 ヶ月後の調査であったが、住宅や沿岸周辺域に残された痕跡は明瞭であった。なお、住宅地域や港湾施設などでは、がれきなどの撤去作業が進み、建物被害や漂流物移動の実態を把握することは難しい。最高遡上高さは、Constitution の沿岸部での 28 メートルの値を示した（図 3 と写真 1）。これは、ビル 10 階に相当する。また、同地域の河川において約 5km 上流でも 6m の遡上痕を残していた（図 4）。なお、しかし、被災した地域は限定的であり、かつ、海岸沿いに 50-70km 程度の間隔で存在していた。

#### 3.2 主要被害

さらに、主な被災地域での状況をまとめると、Dichato では、8m の遡上を記録し、ここでは、護岸が若干高く存在し、その後、3m～3.5m の平坦な地盤となり、最後に丘に続

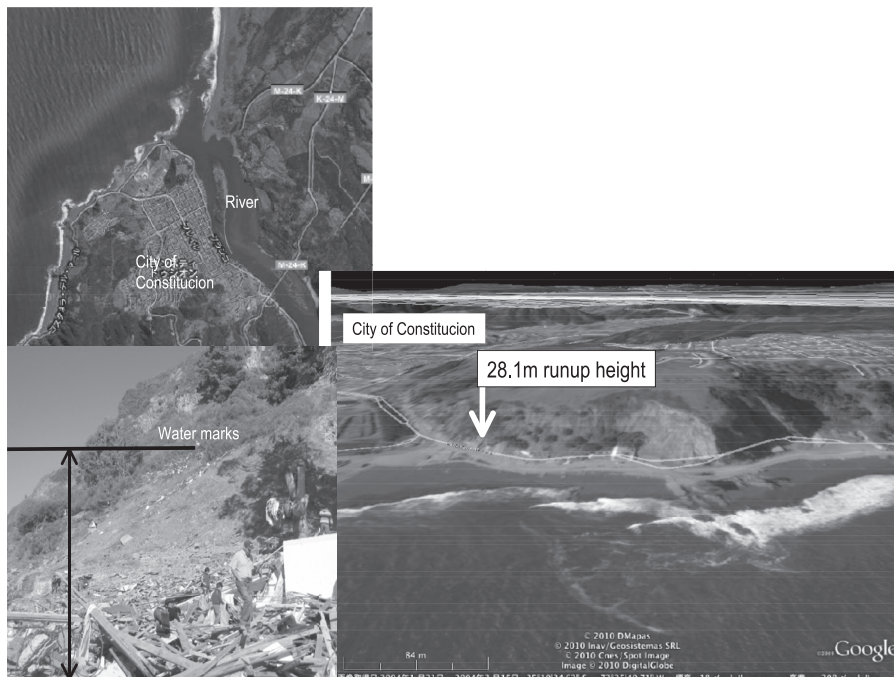


図 3 Constitution 付近の地形と津波の遡上



写真1 Constitucion の沿岸部での28メートルを記録（津浪遡上高さ）



図4 Constitucion での河川を遡上した津波。河口から5km以上離れた場所でも6mもの遡上が見られた

いている（図5、6）。このような地形に、浸水深2mを超えるような津波が一気に流れ込み、8割以上の住宅が破壊された。また、本測線上の護岸は階段護岸のような構造である、地震ならびに津波による洗掘を受けて、破壊されたと考えられるような被害を受けていた。若干南の位置では、護岸は健全であった。この差も被害の違いを生んだ可能性がある。なお、家屋は1階が煉瓦、2階部分が木で出来ている作りが多かった。

さらに、波源の北端付近に位置しているSan Antonia (LloLleo) には、6.5mの津波が押し寄せた。ここでは、堤防の有無により被害の明暗が大きく分かれていた。7mの堤防があった地区は被害がなかったのに対し、最高でも6m程度の砂丘しかなかった地区は、家屋がほぼ完全に崩壊していた（図6）。低地には津波が浸入しやすく、如何にこの破壊力を軽減するかが重要であることを示した事例となった。

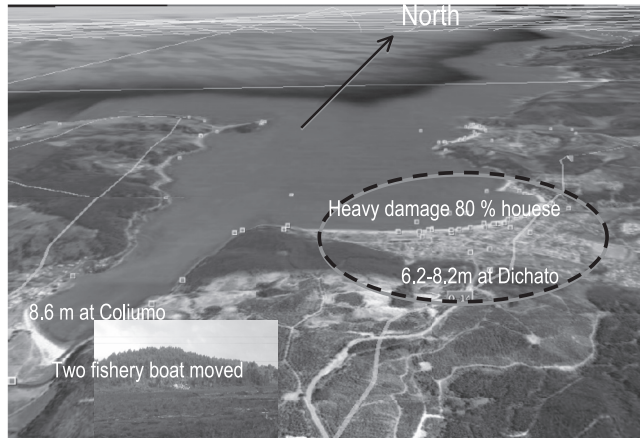


図 5 Dichato の位置と津波遡上高さ

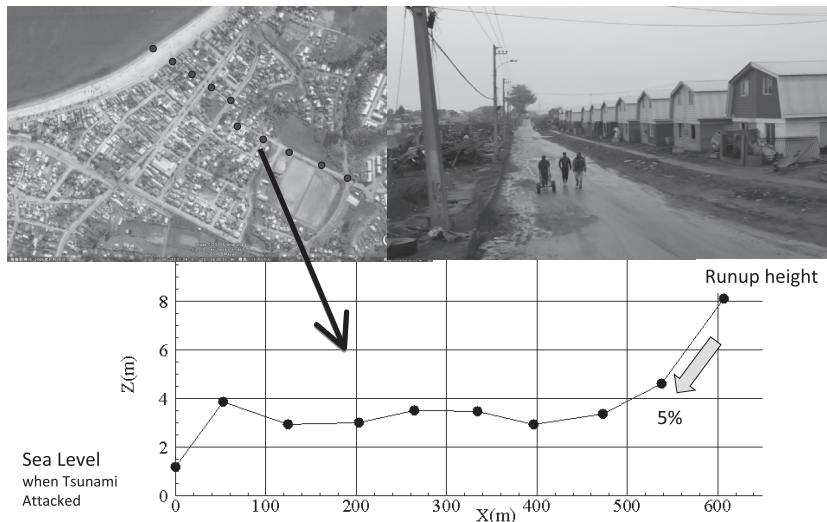


図 6 Dichato での断面地形と津浪遡上高さ (8.2m)

### 3.3 避難実態や津波来襲について

津波の最大波に関しては、住民の体験談や当日撮影したビデオなどの情報を得た。最大波が第一波以降であることは確認出来たが、第一波以降しばらく静穏であったこと、いつ最大波になったのか？などについては、多くの住民が避難していたために、断定できなかった。

Dichato は、保養地で海水浴客のための飲食店や別荘などが建ち並んでいた。

多くの住民が自発的に高台に逃げたが、住

民と観光客約 7000 人のうち、11 人が死亡、42 人が行方不明である。地元の住民の話によると、地震発生から 1 時間後に大きな引き潮に続いて 4～5m の津波が来た。地元の住民が撮影した映像では、3 回目の津波が押し寄せた際に、建物などが押し流される様子が写っている。

チリ沿岸における検潮所での記録は残されている。今回の波源域周辺では、Valparaiso および Talcahuano (第 2 波以降はスケールアウト) において、観測記録がある。今後の解

析に役立てることができる。

さらに、住民への聞き取り調査をしたところ、第1波の後に自宅などへ戻った人もいたが、多くの人は地震発生とともに高台に逃げて、半日以上避難を続けたという。死者は500人を超えたが、被害の実態をみればもっと死者が出てもおかしくなかった。こういう姿勢は教訓として学ぶべきであると考ええる。

#### 4. まとめ

M8以上の海溝型地震および津波による被害は、我が国でも共通の課題であり、今回の緊急調査で、その実態を調べることが出来たと思われる。今後は、さらに、詳細な地域での被害の実態調査を加え、全体像と今後の課題整理を行う必要があると思われる。チリ沿岸では、今後、今回の地震の北部で地震空白域(図1)が残されており、今後の予防・減災の面でも協力を深めたい。

今回の調査結果は、限定された地域で実施されたものである。ITIC(2010)では、警報発令の実態、潮位・津波観測データ、地震情報、津波数値解析結果、メディア情報、現場写真・ビデオ、津波現地調査結果など総合的なデータ・情報を整理し発信している。最新の情報は、ITIC(2010)のWEBページを参照されたい。

#### 謝辞

文科省事業(事業3.国際研究集会派遣研究員)で派遣経費を、現地調査については、4学会(土木学会、建築学会、地震工学学会、地盤工学学会)で実際された。チリ国内での手配や調整においては、JICAチリ事務所から多大な支援を得た。Prof. Sergio Barrientos(Chile大学地震学)、Dr. Rodrigo Cienbugos、Dr. Marcelo Lagos, Lopez(Catolica大学)、Dr. Samuel Homrazbal、Dr. Arturo Belmonte、Dr. Dante Figueroa(Concepcion大学地球物理学、災害リスク)、には多くの情報とデータを頂いた。ここに記して、謝意を表す。

#### 参考文献

- 東北大学, 2010, 津波工学研究室, 津波の解析結果, [http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/events/chile\\_100227/chile\\_100227.html](http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/events/chile_100227/chile_100227.html)
- 気仙沼市, 2010, チリ中部沿岸を震源とする地震に伴う津波について, <http://www.city.kesenuma.lg.jp/icity/browser?ActionCode=content&ContentID=1269491082102&SiteID=0>
- ITIC, 2010, International Tsunami Information Center, <http://ioc3.unesco.org/itic/contents.php?id=667>