

特集記事

チリ津波40周年
—何をもたらし、何
がかわったか?—

学会誌・企画委員会

企画・総括 首藤伸夫*・今村文彦**

編集担当 大和則夫***・橋本晴行****

林 春男*****・松波孝治*****

はじめに

首藤 伸夫*

津波対策の見直し及び国際的な太平洋津波警報組織の設立への契機になったチリ地震津波が我が国に來襲して40年を迎えた。地震の揺れという前ぶれのない津波が來襲し、全国で1,000名以上の死傷者を出した。近地津波では被害のなかった場所での波高増幅や従来では見られなかった新しい災害を引き起こしたと言われる。当時のチリ津波がもたらしたものは何であったか、その後の津波対策に及ぼした影響は何であったか、などをレビューしながら40年間の歴史を振り返る。

1. チリ津波前後を概観する

首藤 伸夫*

1.1 何が変わったか

昭和35年(1960年)チリ津波の前後で何が変わったか、その後の40年間でどんな変化があったかと問われれば、津波研究、津波対策の全てが大変化を遂げたと答えて良いであろう。

一方には日本の国力の向上と充実があり、他方では科学技術の進歩があったからである。各分野

での今日の状況を主体とした紹介は、第2章以下に詳述されるが、ここでは全体について概観する。

1.2 何が起こったか

昭和35年5月23日午前4時(日本時間)過ぎ、チリの沖合いで大地震があった。これで発生した津波は24日午前4時頃から日本各地の太平洋沿岸に影響を与え始めた。日本とは対極にある位置で発生したため、いったん太平洋に広がった津波は、また日本列島に集中した。発生時推定波長は日本に向かう方向で700kmと長く、伝播距離1万7千km上で僅か24,5回上下運動を繰返した後、日本に到達した。

地震を体感しなかったから津波とは思わず、引潮に乗じて魚貝を捕りに行き遭難した人も出た。津波警報も津波來襲後に発令された。「地震があったら津波と思え」が常識となっていた三陸地方では、「大自然の掟と世間の掟の差」として受け止められた(五十嵐, 1993)。

北海道から沖縄まで広い範囲に影響をもたらしたが、特に北海道、青森、岩手、宮城、三重、和歌山などで甚大な被害となった。

上記の6道県だけで、死者119名、行方不明20名、重軽傷者872名、全壊家屋1,571棟、半壊家屋2,183棟、流失家屋1,259棟、床上浸水19,863

* 岩手県立大学総合政策学部
** 東北大学大学院工学研究科
*** (株)東京建設コンサルタント九州支店

**** 九州大学大学院工学研究科
***** 京都大学防災研究所

棟, 流失・埋没田畑 529 ha, 道路損壊 177 ケ所, 橋梁流失 44 ケ所, 堤防決壊 124 ケ所, 鉄道被害 21 ケ所, 通信施設被害 1,714 ケ所, 船舶沈没・流失 1,130 隻, 罹災世帯 3 万 2 千戸以上, 金額にして 385 億円に達した。

前年 9 月の伊勢湾台風 (推定被害額 1,365 億円) に引き続き, 我が国の沿岸防災の必要性を痛感させる大災害となった。(以上, この項の数字は, 日外アソシエーツ編集部編, 昭和災害誌年表事典による)。

1.3 防災施設の重視

チリ津波緊急対策は, 防潮堤建設を主として実行された。その完成を祝う「チリ地震津波災害復興誌」(岩手県, 1969) には, その間の事情を次のように述べている。

「昭和 31 年に海岸法が制定され, 本県においても各省所管の海岸保全施設の整備を昭和 34 年度より実施しましたが, その矢先に津波の被害を受けたのであります。政府においても被害甚大であるのかんがみ, チリ地震津波対策について特別措置法の立法措置を講ぜられたのであります。

これにもとづいて, 昭和 35 年度から昭和 41 年度までの 7 ケ年にわたり, 約 60 億円の巨費を投じて延長約 52 km の海岸堤が完成しました・・・」。ここには, 防浪堤以外の対策を考慮した気配は感じられない。勿論, 津波予報については, 気象庁が様々な検討をするのではあるが, 各地先では防災構造物一点張りであったとして, ほぼ差し支えないであろう。

これを昭和 8 年直後の内務大臣官房都市計画課の見解と比較すると, その特徴が明確となる。昭和 3 陸大津波後の「三陸津浪に因る被害町村の復興計画報告書」(1934) では, 1. 部落の高地移転, 2. 敷地の地上げ, その次に 3. 防浪堤の順番とし,

「3. 防浪堤 高地移転をなし得可き適当なる敷地を求め得ざる場合に於ては, 防浪堤の築設に依り防浪の目的を達するの外なし。」としているのである。

事実, 「部落の高地移転, 敷地の地上げ等の住宅適地造成事業を執行せるものは, 宮城県に於て 15

カ町村, 60 部落, 岩手県に於て 18 カ町村, 38 部落に及ぶ。宮城県に於ける 60 部落中集団移転をなせるもの 11 部落, 他の部落は各戸移転, 岩手県に於ける 38 部落は全部集団移転」であった。

こうした違いの生じた主原因は, 津波の差に加えて, 経済力の相違であった。昭和 3 陸大津波は高い所では 30 m に近い這い上がりを示したので, 大きな構造物を建設する事は始めから問題外であったといえる。

これに比べチリ津波の高さはせいぜい 5, 6 m でしかなかった。経済成長を始めた昭和 30 年代後半の日本では, 5, 6 m の高さの防災構造物なら建設が可能であった。防潮堤の延長が伸び, 津波防波堤が大船渡に始めて実現し, 河川を横断する津波水門も各所に建設された。

前年秋の伊勢湾台風対策, その後の海岸浸食対策の進行と共に, 海岸の至る所で防潮堤が見られる時代が始まったのである。

1.4 当時の科学技術

チリ津波当時, 科学技術はどの程度期待されていたのであろうか。チリ津波被害を契機に編まれた「大船渡災害誌」(大船渡市, 1962) の編者は, その序文中に次のように書き記している。

「津波の科学的な原理から云って, “またも必ずやって来る” ことはその確率は百パーセントと云ってよい。色々の津波対策が科学陣を動員して計画され実施に移りつつあることはまことに結構であるが, 津波の大きさ激しさについてはその程度の予想はまったく困難, いや不可能な現状にある」。

まだ計算機が十分に発達していない時代であったから, 個々の津波の発生から沿岸での打ち上げまでの動態を明らかにする事など, まったく考えられなかった。簡単な地形条件下での, 線形理論による考察に止まっていたのである。

日本へのチリ津波集中を説明するために, 地球儀に紙を巻きつけ, その上で手書きで屈折図を描いたのが, 良い思いつきと褒められた時代であった。

海底での断層運動の結果として, 海底地盤の上

下運動が起こり、これが津波初期波形をきめるとは判っていても、それを地震のデータから決める事は出来なかった。津波到達時刻の明確な地点から海に向かって出発する津波フロントの伝播図を描き、これに基づいて波源域を決める逆伝播法が使用された。

波源域の広さは決まったものの、初期波形の鉛直変位は決まらなかったから、まだ津波を理解する手段としても、津波対策を立案する根拠としても使えなかった。

チリ津波の頃、電子計算機が使われ始めたが、対策として使われたのは、大船渡津波防波堤の効果の算定であった。入射波は正弦波群、港口から流入した海水は広い湾内に瞬間的に広がるという、ごく単純な仮定のもとでの計算であった。

津波水門の設計にあたっては、水理実験が行われた。

防潮堤の構造として、表法、裏法、天端の三面をコンクリートで張った三面張りが採用されたものの、断面形状は既往海岸堤防に倣って作られた。

大型水理実験が行われ、砕波段波の波圧が定式化されたが、これが反映された新たな安定計算法が導入された訳ではない。

1.5 チリ津波対策の効果

チリ津波対策緊急事業は、昭和42年3月で終了する。その1年後、昭和43年5月16日十勝沖地震が発生する。地震による被害は大きかったが、津波による被害は僅少であった。津波が殆どの所でチリ津波を越えなかったから、堤防の完成した場所では、浸水被害は生じなかった。チリ津波対策から取り残された場所で数軒の破壊・流失が起こったのみで、後は床上浸水にとどまった。ただ、水域での船舶や水産養殖業への被害は、止めようが無かった。

殆どの所でチリ津波を越えないと云う偶然があったのだが、チリ津波対策で建設された防潮堤が完全に働いたため、津波対策は防潮堤で十分対処できるとの考えが生まれたともいえる。

チリ津波対策緊急事業が完成した後も、岩手県だけは明治・昭和の三陸津波を考慮して防潮堤の

嵩上げを計画し、現在に至るまで営々とその努力を続けているが、まだ完了には至っていない。

1.6 研究進歩の始まり－津波初期波形決定－

津波研究が飛躍的に進歩するのは、チリ津波から10年以上も経過してからである。その契機は地震学の進歩であり、その後の発展は電子計算機の発達に支えられている。

まず、1971年に断層運動によって生ずる地盤変位を計算する事が可能となった(Mansinha and Smylie, 1971)。ただ、そのためには断層運動の特徴を与える断層パラメタが必要である。

地震波形から逆算して、どのような断層運動であったかを求める事が、容量の大きくなった計算機を利用して可能となってきた。チリ津波に関しては、Kanamori and Cipar (1974) がこれを行い、その結果の断層パラメタを使った津波初期波形が図1-1のように求められた。

これを初期条件として詳細な計算をすると、図1-2のように日本沿岸での潮位記録と驚く程良く一致する(高岡他, 2001)。遠地津波であるから長周期成分のみが生き残る事、長周期成分に対しては潮位計特性による減衰が無い事の好条件が重なったからである。

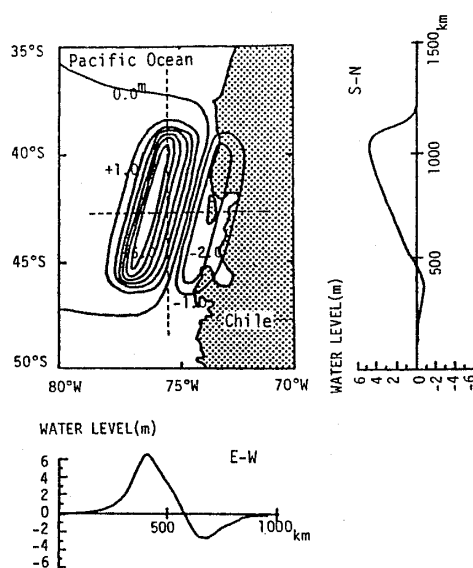


図1-1 チリ地震による地盤変動(津波初期波形として与えられる)

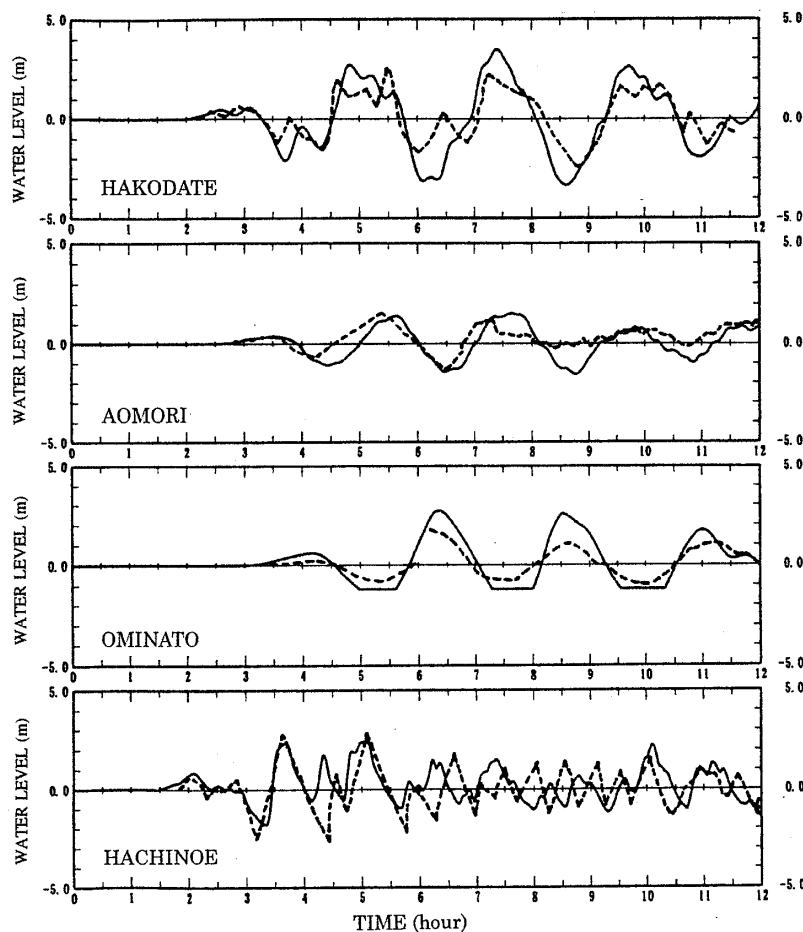


図 1-2 日本沿岸各地での観測波形と計算波形

しかし、近地津波に対しては問題が残った。1983年日本海中部地震津波に対しても、1993年北海道南西沖地震津波に対しても、地震波から得られた断層パラメタを使っている限り、津波を説明できなかった。津波痕跡値を使って初期波形を修正するのが普通である。この時、相田の方法(1977)が使われる。

1983年日本海中部地震津波を契機に、波源での不均一性を求めるため、地震波形を使った逆変換法(Fukuyama and Irikura, 1986)、津波波形を使った逆変換法(Satake, 1987)などが考案されたが、いずれにも難点が残っており、結局相田の方法をも使いながら精度を高めていかねばならないのが現状である。

1.7 津波数値計算

個々の津波は初期波形が異なり、異なった地形

を持つ海域を伝わる。個々の津波を考えるには、それぞれに対して詳細な数値計算が必要となる。

数値計算上、一番面倒なのが陸上での津波である。ここは本来水の無い所であるから、空間座標系の方程式では巧く扱えない。理論的には、Carrier-Greenspan変換を用いる方法、または津波フロントに原点を取り直す変換が、この難点を解決するが、複雑な形状の地形でしかも平面的な広がりを持つ場への適用は難しい。物質座標系の方程式を使えば、この問題は解決できるが、現実に適用してみると、津波遡上の最大値の生ずる場所に水粒子が集中して、それ以外の地点の精度が落ちる。結局、津波フロントに簡便な移動境界条件を導入するほか無く現在に至っている。

数値計算をすれば答えが出るが、それが実態を表わすとは限らない。採用する方程式や移動境界条件に絡んだ数値誤差の議論は、1980年代に行

われ、ほぼ結論が出ており、実用化されている。地形の離散化誤差については、1990年代に検討が始まったが、結論はいまだ得られていない。

津波による石油や木材の輸送、津波による地形変形など、津波遡上問題以外の数値解法も進んだが、まだ対策に使われるには至っていない。

こうして進んできた数値計算の結果を動画で見る事が始まったのは1970年代半ばであり、今では当たり前的事となっている。

さらに、平成11年4月から始まった気象庁の新津波予報は、10万ケースにも及ぶ数値計算結果に基づいている。

数値計算は今や、津波を理解し、津波対策を立てる為の必須の手段に成長した。

1.8 津波防災対策

チリ津波対策緊急事業完成後、それに引き続いて対策を進めたのは、先に述べたように岩手県であった。基本は明治・昭和の大津波に対応できるよう、防潮堤の嵩上げ・強化が主体であった。

1970年代後半にチリ津波対策以降の津波対策をどうすれば良いかの検討が、建設省、水産庁で始まり、結論が「津波常襲地域総合津波防災対策(案)」(例えば、水産庁、1983)としてまとまったのが、日本海中部地震津波直前の3月であった。

この案は、1993年の北海道南西沖津波の後、関連7省庁の合意の下での「地域防災計画における津波対策強化の手引き」(国土庁他、1997a)に姿を変える。平成9年3月の事であった。

また、気象庁の予報結果を各地先々の浸水図に翻訳する方法を国土庁他(1997b)が示したのが、平成10年であった。同様に、気象庁の予報結果を漁船避難や係留に役立つ情報への変換を可能としたのが、日本水路協会の研究(1999)であった。

1.9 終わりに

今後解決されるべき問題のうち、次の二つが最も重要であろう。

一つは、津波初期波形の詳細な推定方法の開発である。このためには、発生時及び発生直後の津

波の計測がなされなければならない。

次は、災害を忘れがちな人間の記憶力に抗して、如何に津波への警戒心を持続させるかである。これ無くしては、次の津波での人的被害をゼロにする事は出来ない。

参 考 文 献

- 相田 勇：三陸沖の古い津波のシミュレーション，地震研究所彙報，Vol.52, pp.71-101, 1977.
- Fukuyama, E. and K. Irikura: Rupture process of the 1983 Japan Sea (Akita-Oki) earthquake using a waveform inversion method, Bull. Seism. soc. Am., vol. 76, pp. 1623-1640, 1986.
- 五十嵐之雄：津波災害文化の有効性と限界性，科研費報告書「災害多発地帯の災害文化に関する研究」，pp. 79-102, 1993.
- 岩手県：チリ地震津波災害復興誌，261頁，1969.
- 岩手県大船渡市：チリ地震津波1960大船渡災害誌，413頁，1962.
- Kanamori, H. and J.J. Ciper: Focal process of the Great Chilean Earthquake May 22, 1960, Physics Earth and Planetary Interiors, Vol. 9, pp. 128-136, 1974.
- 国土庁，農林水産省構造改善局，農林水産省水産庁，運輸省，気象庁，建設省，消防庁：地域防災計画における津波対策強化の手引き，99頁，1997a.
- 国土庁，消防庁，気象庁：津波災害予測マニュアル，96頁，1997b.
- Manshinha, L. and D. E. Smylie: The displacement fields of inclined faults, Bull. Seismological Soc. Am., Vol.61, No.5, pp. 1433-1440, 1971.
- 内務大臣官房都市計画課：三陸津浪に因る被害町村の復興計画報告書，53頁，1934.
- 日外アソシエーツ編集部：昭和災害史年表事典(用)，紀伊国屋書店，426頁，1992.
- 日本水路協会：港湾域における津波の挙動の調査研究，その3，96頁，1999.
- Satake, K.: Inversion of tsunami waveforms for the estimation of a fault heterogeneity: Method and numerical experiments, J. Physic Earth, Vol. 35, pp. 241-154, 1987.
- 水産庁：津波常襲地域総合防災対策調査報告書，243頁，1983.
- 高岡一章，伴 一彦，山木 滋：数値シミュレーションによる遠地津波予報の可能性－1960年チリ地震津波の例，東北大学大学院研究科付属災害制御研究

センター、津波工学研究報告、第18号、2001（投稿中）。

2. チリ地震津波は津波予報をどう変えたか

関田 康雄*

2.1 チリ地震津波の警報

遠地津波は、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。

しかるに1960年5月23日（日本時間；以下同じ。）に発生したチリ地震津波に対しては、気象庁は有効な津波警報を発表することができず、災害の発生を防ぐことができなかった。南米チリで発生した津波は、翌24日午前2時30分頃から、北海道、東北の太平洋沿岸に到達し始め、午前4時過ぎには災害を発生させるような大きな潮位変化となった（気象庁、1961）。しかし、これらの潮位変化がチリ地震の津波であると認識され、津波警報が発表されたのは、午前5時前後のことである（気象庁、1960）。

実は、気象庁観測部地震課では23日昼までには、チリで大地震が発生したこと、津波が日本に來襲するとすれば24日午前2時過ぎになることを把握していた（気象庁、1960）。にもかかわらず有効な津波警報が発せられなかった理由は、次の2点であると考えられる。

- 日本での津波の高さを、高くても50 cm程度と推定したこと。
- ホノルルの地磁気観測所から津波観測との連絡がなかったため、津波は発生しなかったと認識したこと。

安政東海地震（1854年）におけるサンフランシスコでの津波の高さは約30 cm、また、昭和三陸地震津波（1933年）の際のチリでの津波の高さは20 cm程度（宇佐美、1996）であったことから、地震課ではチリ地震津波の日本での高さを30 cm～50 cmと見積もった。この高さでは、津波警報の基準に達せず、津波注意報がない当時では、津波予報は発表されないことになる。残念ながら1877年のチリ地震で、三陸沿岸に3 mの津波が來襲したことについての認識はなかったようである。

現在のような密な連絡体制ではなかったものの、当時もホノルルと地震観測値等の情報交換を行っており、ハワイ等で津波が観測された際は、観測結果が気象庁へ通報されていた。しかし、チリ地震津波の際は、津波観測に係るホノルルからの情報の入手が遅れたため（地震課が情報を入手したのは津波警報発表後）、地震課では、津波は一切観測されていないと判断してしまった。仮に、地震課が、津波が観測されたことを把握していれば、注意喚起の情報が全国の気象台へ伝達され、事前に津波警報は発表されないまでも、明瞭な潮位変化が観測された時点で、直ちに津波警報が発表されたと考えられる（気象庁、1960）。

以上から、遠地津波への認識不足と外国機関との連絡の不徹底が、チリ地震津波に対して有効な津波予報を実施できなかった原因であると言える。

2.2 国際協力体制の確立

このような事態の改善のためには、国際協力体制の確立が不可欠であることは明らかであった。このような認識の下、ユネスコ政府間海洋学委員会（IOC/UNESCO）第3回総会（1964年）の決議に基づいて、1965年4月にホノルルで「太平洋津波警報組織の国際協力に係る作業グループの会合」が開催された。この会合で日本は次の2つの機関を設置するという重要な提案を行った。一つは、地震発生時に関係各国の地震、津波に関する情報を収集し、収集した情報を関係国へ提供する情報センターであり、もう一つは、関係国間における情報交換、意見調整等を行うための国際調

* 気象庁福岡管区気象台技術部