

第5章 気象庁の対応

第1節 はじめに

1960年（昭和35）年チリ地震津波の発生は、気象庁の津波予報体制に根本的な変革をもたらした。もともと、気象庁の津波予報は、近地津波に対応する体制であった。日本沿岸に襲来する津波災害は、近地津波に限られるものと認識されていた。ところが、チリ津波によって、遠地津波からも大きな災害をもたらすことが明確になった。このため、遠地津波を含めた対応が必要であるという認識になった。

遠地津波の予報は、当然国際的連携が密接に関連することはいうまでもない。気象庁は、国際的な津波体制を新設し、近地津波を含めた総合的な体制をつくることにした。なお、地震及び津波の学問的発展と通信手段の飛躍的な進歩によって、体制の大幅な改革が期待された。

総合的な体制はその後いくつかの改革が行われた。本報告では、2008（平成20）年現在の津波予報体制の現状について記述し、将来の問題点にも触れてみる。

第2節 1960年チリ地震津波までの津波予報体制

1 津波予報のはじまり

日本における津波予報体制は、1952（昭和27）年に中央气象台（後、気象庁に改組）として、正式に開始した。しかしながら、1941（昭和16）年三陸沿岸を対象とした津波警報組織を発足させた（気象庁, 1975）。これはおそらく津波予報組織として、世界で初めてであるといっていよう。1946（昭和21）年アリューシャン列島で起こった地震による大津波で、特にハワイで大災害が発生した。このことを受けて、アメリカでは1946（昭和21）年アメリカ沿岸測地局が中心となり、太平洋におけるアメリカ国内向けの津波警報組織を確立させた。

1949（昭和24）年、中央气象台では、全国組織として津波予報組織を実施することにした。その後、津波予報業務の法制化について検討を重ね、1952（昭和27）年4月1日、気象官署津波業務規程（以下、規程という）を定め、同年実施することになった。同年6月、遅れて気象業務法で定められたが、津波業務の具体的内容はほとんどない。チリ地震津波時の津波予報体制はその後若干の変更はあったが、ほぼ規程に則って実施されている〔気象庁（地震課）, 1977〕。

2 気象官署津波業務規程

規程の主な内容は次のとおりである。

- ① 津波予報のための地震観測は、震度4以上の地震及び震度3以下であっては発震後3分以内の最大全身幅10mm以上の場合行うこととする。
- ② 津波予報の方法は地震のマグニチュードから、津波の規模を定める。この考え方は現在でも変わらない。図5-1は最初に用いられた津波予報図(地震のP～S時間と強震計の最大全振幅との関係)で、チリ津波時の図はスケールなど変更されているが、本質的に変わらない。
- ③ 津波予報は発震後15分以内行う。後に20分以内に改正された。
- ④ 津波予報の内容は「大津波」、「弱い津波」及び「津波なし」(警報ではない)である。

ここで、時々用いられている近地津波と遠地津波について説明する。近地津波は、震央が北海道、本州、四国、九州及び南西諸島の沿岸から600km以内で発生した地震により発生した津波である。また、遠地津波は、これらの沿岸から600km以上離れて発生した地震により発生した津波をいう。チリ地震津波時までの津波予報制度は近地津波に限られていた。

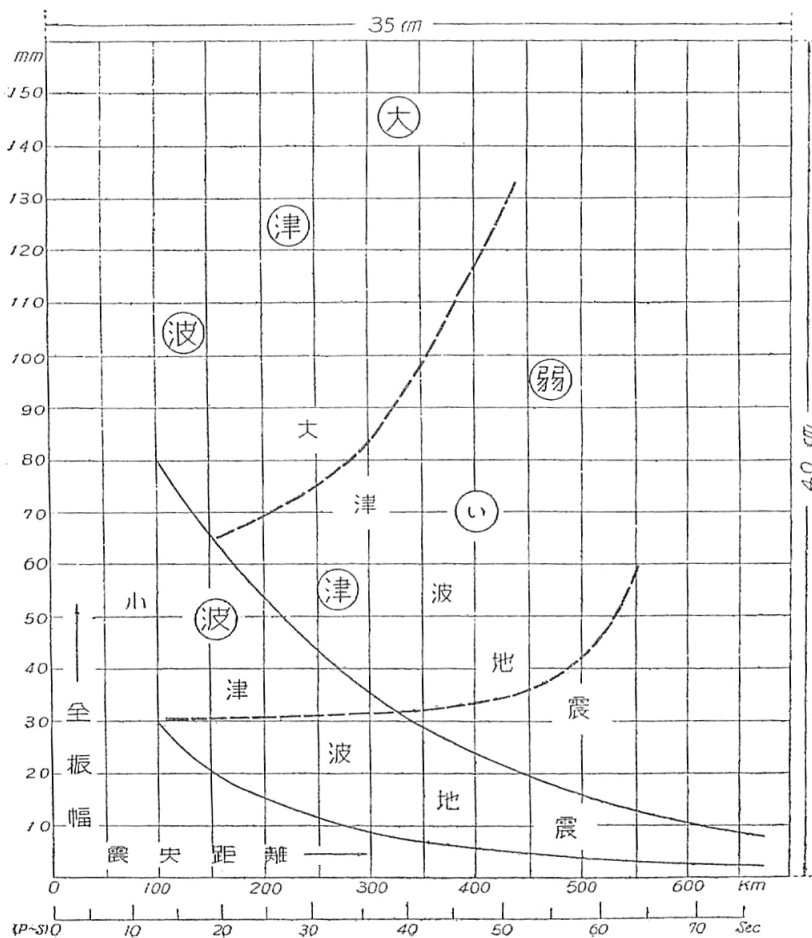


図5-1 津波予報図 (測候時報, 44, 1977)

第3節 1960年チリ津波の実況と津波予報 (気象庁,1961)

1 1960年チリ津波の日本沿岸における実況

1960 (昭和35) 年5月23日4時11分 (日本時間)、チリで大地震が発生した。震央は 46° S、 $73\ 1/2^{\circ}$ Wで、地震のマグニチュードは $8\ 1/2$ ないし $8\ 3/4$ という値で、最大のものである。地震のモーメント・マグニチュードは9以上という今まで経験したことがない。チリ沿岸では大津波が発生した。

日本沿岸の津波の襲来状況は次のとおりである。

日本沿岸で津波の初動が最も早く到達したのは、伊豆大島の24日2時33分に始まる南関東で、次に北海道花咲の2時38分である。北海道西岸、三陸沿岸は次いで到達し、西へ行くにつれて次第に遅れ、南九州の枕崎では5時50分に現れている。最大動は初動から2～3時間後に発生し、検潮記録の全振幅の大きいところは北海道南海岸、三陸沿岸、東海道、伊豆半島及び四国沿岸である。これらの沿岸では津波の高さ3m以上のところが多い。なお、北日本ではほぼ満潮時から2～3時間後、西日本ではちょうど満潮時に最大動が起きている。したがって、最高潮位は北日本では最大動発生直前に現れ、西日本では満潮時と同時刻に現れた。津波災害の大きかった沿岸では、この時刻とほぼ一致する。また、浸水高であるが、岩手県北部沿岸 (玉川) では、8.1mという高さが記録されている。

2 津波予報の発表とその効果

津波予報の発表により、実際に発生した津波災害対策に効果があったかどうかを検討する。

津波予報の発表官署である中央气象台 (後の気象庁)、管区气象台及び指定されている地方气象台 (その後廃止) の発表した内容と発表時間は次のとおりである。内容は全発表の官署で「ヨワイツナミ」、発表時間は中央气象台：5月24日5時20分、札幌管区气象台：同日5時00分、仙台管区气象台：4時59分、大阪管区气象台：6時35分、福岡管区气象台：7時45分、名古屋地方气象台：6時7分、高松地方气象台：6時30分である。結果として、津波の初動の到達時間まで津波警報が間に合ったところはどこもない。また、最大波の到達までに三陸沿岸などの多くの沿岸でも警報が間に合わなかった。しかし、一部の沿岸では、警報受領後津波が到達したところがあったが、避難などの災害防止対策を考えると、津波警報は役立ったとは思われない。

発表した津波警報「ヨワイツナミ」の内容は、『津波は予想されるが大きいものではない。被害はない見込みですが一応用心して下さい。予想される津波の高さは高いところで2～3m程度、多くのところで1m程度あるいはそれ以下と聞いていいでしょう』となっている。今回の

場合、津波警報の項目を単純に当てはめてみると、「オオツナミ」であろう。

前日チリで大津波が発生したとき、中央气象台（地震課）では日本沿岸に到達する津波の高さは30～50cmと見積もったといわれる。この高さでは当時の規程からは「ツナミナシ」か津波警報を公表しなくてもよいことになる。現地の気象官署からメートル単位の津波の高さが報告されても、大規模にならないと判断し、津波警報として「ヨワイツナミ」を公表したものと思われる。「オオツナミ」の概念は担当者の間ではほとんどなかったのであろう。

以上を総合して判断すると、津波警報とその後の情報の発表にかなりの混乱があり、適切な処置が行われたかどうか疑問であるといつてよい。気象官署に対する厳しい批判があったことも事実である。

第4節 遠地津波に対する津波予報の新設と国際的連携

（北沢,1990；渡辺,1992；関田,2000）

1 遠地津波に対する津波予報の新設

1960年チリ津波予報の失敗に鑑み、遠地津波に対する津波予報を新設した。すなわち、決められていなかった担当管署は、気象庁が津波予報全国中枢として新設された。これに伴って、管区气象台と沖縄气象台は津波予報地方中枢として、近地津波の津波予報を担当する。なお、新潟、名古屋及び高松の各地方气象台の津波予報業務は廃止され、それぞれ気象庁と大阪管区气象台が担当することになった。これは外国との間の地震・津波に関する情報交換を気象庁が受け持っていることと、日本全国の地震・津波観測が常時気象庁に通報されるようになっていることによる。

また、津波予報分の内容は「ツナミナシ」が「ツナミナシ」と「ツナミチュウイ」とし、「ヨワイツナミ」が「ツナミ」に改正した。この理由はツナミの高さが数十糎程度の小ツナミに対しても、最近社会的関心が増大したこと、「ヨワイツナミ」のように津波予報略文とその予報文が一致せず、誤解を招くことがあったためである。

2 遠地津波に対する国際連携

1960（昭和35）年10月、中央气象台は観測部長を、国際協力を強化する目的でアメリカに派遣、とりあえずの対策を講じた。また、各国の強力な組織的協力が必要なことから、1964（昭

和39)年UNESCO/IOC(ユネスコ・政府間海洋委員会)が太平洋津波警報組織の創設を決議、その中心(基幹)として1965(昭和40)年ITIC(国際津波情報センター)がアメリカ・ハワイのホノルルに設立された。また、加盟国間の津波警報活動の有効な調整、津波観測法及び津波予報技術向上のための情報交換の促進、ITICの運営に助言することを目的として、IOCの下部組織としてICG/ITSU(太平洋津波警戒・減災システムのための政府間調整グループ)が設立され、1968(昭和43)年に第1回会合が開催された。また、各国から地震及び潮位の観測データを集め、津波の予測状況を提位する機能を、ハワイのPTWC(太平洋津波警報センター)に置いた。現在、ICG/ITSUに改組され、加盟国は30カ国で、委員会はほぼ2年ごとに開催されている。

なお、ITICと気象庁(地震課)との関係は密接で、津波発生時には直接担当者同志で電話などによる意見交換が行われたことがあった。

第5節 2008(平成20)年現在の津波予報と将来の問題点

1 2008(平成20)年現在の津波予報と改革

現在の津波予報は、既に述べた遠地津波に対する予報が新設され、近地津波の予報と総合的に確立した津波予報と制度のうえで変わらない。しかし、その後いくつかの改革が行われた。そのうち、最も大きな3つのイベントについて取り上げる。

第一は1983(昭和58)年の日本海中部地震・津波の発生による試練である。津波による死者100人を出したこの津波は、最も早い海岸で地震発生後7分で到達したため、災害防止のための予報発表時間の短縮が要望された。この点を改善した新しい技術と装置が考案され、1987(昭和62)年3月から実施された。図5-2は気象庁に設置された「地震活動総合監視システム」(以後、システムと略)で、地震波形の検測を含む自動化により処理されている。システムは東海道地震予知業務も兼務している(渡辺,1992)。

システムには、大地震時に震源と地震のマグニチュードを短時間に求めるため、地震波形をAR(自己回帰)モデルに適用させ、統計的決定による自動読み取りを行い、さらに自動震源決定方法を採用し、津波予報の決定を迅速に行うようにしてある。また、津波発生が予想される場合は、津波到達時間の計算、地震波形の自動読み取り手法を応用し、検潮データから自動的に津波の始まり、波高の読み取りなどを行うことができる。

システムのインターフェイス装置は、既設テレメータから各種データを収集し、一括処理の後、本体処理装置に転送する。また、ADESS(気象資料自動編集中枢装置)とFAX(気象情報同送装置)と接続して、電報や情報の入出力を行う。本体処理装置は地震・津波処理、

編集・バックアップ装置などがあり、地震波形表示、電源表示、津波予報表示各ディスプレイに表示する。津波当番者が確認の上、操作卓から送信キーを押すことにより、津波予報をAD E S Sに送り出すことができ、必要な官署や機関では受信できる。同時に地震発生状況、電報の入電状況、津波予報の発表状況などが地図上で監視できるようになっている。

第二は津波の量的予報である。津波予報の原理は震央距離と地震計の記録振幅から求める地震のマグニチュードが津波規模に比例するという関係を利用したものである。津波予報では、大津波、津波のように、ある程度量的に表現されているように思われるが、あくまで定性的である。この問題を解決し、津波の量的予報を確立するために、地震のメカニズムとモーメントを用いる。すなはち、統計的な方法とオーソドックスな方法がある。前者は地震モーメント係数（地震のモーメントに地震の特性を乗じたもの）と特徴周期（地震波が断層の幅を伝わる時間）から統計的に地震モーメントを求めるようするものである（小山・武村, 1981）。後者のオーソドックスな方法は長周期表面波（周期100～300秒）から地震のメカニズムとモーメントを弾性論から計算するものである（Kanamori and Given, 1983）。

以上のほか、津波のシミュレーションがある（今村・首藤・後藤, 1990）。運動方程式を直接数値的に解くことをシミュレーションあるいは数値実験といっている。津波の場合、実際の海底地形を格子の形で与えて、差分法などで津波の伝播を計算するものである。沿岸における反射状況を適切に与えると、反射波の評価、到達時間及び最大波を与えて、波形を計算することができる。一般に、差分法などでは1波長あたり少なくとも10個の格子が必要とされている。また、海底の複雑なところ、特に海岸近くでは、海底の形を正確に表すための細かい格子間隔が必要である。日本付近の津波について一般に行われている数値計算では、外洋では数軒、海岸近くでは数百メートル以下の格子間隔が用いられている。なお、最近使用されている有限要素法では格子間隔を自由に変えることができるので、津波の計算に都合のよいことがある。海底地形によって津波伝播が大きく影響を受けた例として、1990（平成2）年4月6日のマリアナ海溝（サイパン島の東）及び2006年と2007年の千島列島の地震・津波がある。

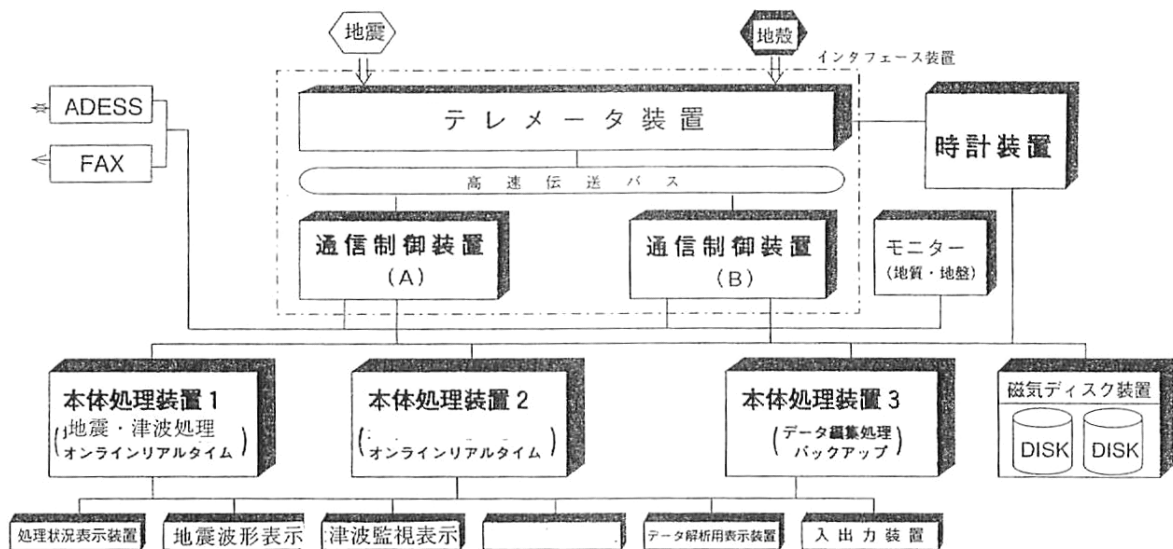


図5-2 地震活動総合監視システム (渡邊, 建設防災, 180, 1992)

第三は、予報の迅速化である。1941（昭和16）年の開始以来、情報処理を電話連絡など人手によっていた時代には、予報伝達までには20分程度の時間を要していた。1980（昭和55）年度から地震計の観測データが専用回線で送られ、読み取りと入力人が行うが、その後の処理は電子計算機が行うようになり、約10分で予報できるようになった。

ところが、1983（昭和58）年の日本海中部地震津波が早いところで約7分で来たのは上述のとおりである。地震検知から震源計算までをすべて電子計算機で自動的に行うように変え、津波予報に必要な時間は約7分に短縮された。

しかしながら、1993（平成5）年の北海道南西沖地震津波では発震後3～4分で襲来した場所も生じた。それまでのS波使用からP波使用にと切り替えた。また、津波予報図から数値計算結果への移行もあって、予報にかかる時間は3～5分と短縮された。数値計算は断層位置、断層深さ、地震マグニチュードなどの組み合わせを10万ケースほど想定して行い、その結果をデータベースとして格納してある。したがって、P波から必要な断層パラメータが決まれば、1秒後にはこのデータベースから津波情報が判るのである。ただし、データベースをつくる際、断層の傾斜角は45度としていた。

即時的に地震データを処理する機能を備えた地震計（ナウキャスト地震計）の試験運用が拡大されたことにより、2006（平成18）年には約2分で予報が出されるようになった。それとともに予報の精度向上も図られた。さらに断層傾斜角も増やすなどして、14万ケースの数値計算を追加し、データベースを豊かにした。発震後約20分間の地震波形を使って詳しい断層パラメータが決められると、この新しいデータベースから、もっと現実的な津波を知ることができ、津波の追加予報が出されるのである（気象庁, 2007）。

2 将来の問題点

津波の実態についてはかなり解明されているが、まだ不明のところがあ、今後新たに現れるかもしれない。これは津波発生数が限られているため、発生が都度新しい実態が出現するからである。したがって、津波予報の精度がかなり向上したとしても、これが完全であるということはない。津波予報の飛躍的発展があるとすれば、新たに発生する津波現象に左右される。なお、津波のシミュレーション開発によって、津波予報も影響を受けたが、地震発生について問題点が残されている。津波を発生する地震断層の地震学的解明と津波初期波形の推定方法の開発及び発生時の津波の計測が必要である。

津波予報の原理が成立しない“津波地震”について、簡単に触れておく。断層がある程度変動するとき、食い違いが完了するまでに時間を立ち上がり時間といっている。普通の地震ではこの時間は数秒とか十秒のオーダーであるが、異常に長い地震がある。異常に長いといっても数分以下のオーダーである。このような場合、震度分布や地震のマグニチュードに比較して以上に大きな津波が発生する。これを津波地震あるいは低周波地震（ぬるぬる地震）ともいっている。典型的な例は1896（明治29）年の三陸沖地震でマグニチュード7.1であったが、30mの大津波が発生した。

なお、津波地震を発生する海域は限られており、日本付近では三陸沖北部、千島列島西部沖などがある。津波地震の津波予報は間違いなく適用できるという保障はない。

現在、日本沿岸に津波を観測するシステムが展開しつつある。これらの観測情報を津波予報に取り込んでいくのも、これからの課題であろう。