

(130) 地震・津波の防災判断のシステム化

長岡技術科学大学 正員 ○増井由春、早川典生

研究目的

現在我が国の地震・津波防災に関するシステムの運営主体は気象庁が担当し、地震発生直後から、地震の時刻、震源位置と深さ、各地の震度、被災状況、あるいは津波発生の有無、津波の来襲時刻や津波高さ等の情報は、図1に示すような経路で、マス・メディアを通じて国民一般に、あるいは関連行政機関を通じて関係住民にもたらされる。関係住民への情報伝達時間については、一般的に、マスコミ・ルートの方が行政ルートのそれよりも早い結果を得る。これらの情報は、関係諸機関のみならず、各行政レベルや民間施設の関係者によっても分析され、関係地域における防災対策、住民避難、復旧活動等に利用される。とくに地震直後からの、現地関係者によって行なわれる被災状況の把握、情報収集の重要性は、当該地域の被害想定に基づいた復旧計画等の防災活動を進める上での根幹となることが認識されている。しかし、現実には地震直後の限られた情報から“発生地震のイメージ”を把握することは関係者といえども容易でない。各種施設のシステム運用における防災戦略、復旧戦略の開始時刻には、時として関係者の主観的判断にたよらざるを得ない場合が生じる可能性もある。また津波に関しては、人命や船舶等の緊急避難の性格を要するために、一刻も早い関係地域への警報伝達が必要とされ、関係機関において情報伝達の時間短縮への努力が重ねられている。しかし、津波の来襲が予想される関係地域住民の避難の実施対策等については、最終的に各県・市町村単位の行政レベルに委ねられることから、唯一のこれら情報内容の関係地域住民への伝達に比較的時間を要す結果となる事実是否めない。

本研究は、地震発生直後から、当該地震のイメージを把握できる方法はないかという素朴な問題意識で、気象庁から発表される地震・津波情報を活用することにより、関係地域の地震・津波防災の実務者が実施するであろう、図2に示すような安全判断の検討を、既往の研究成果、工学的知見を応用してマイクロ・コンピュータを用いてシステム化することを試みるものである。なお、本システムで必要とする入力地震パラメータは震央の緯度・経度と地震規模である。

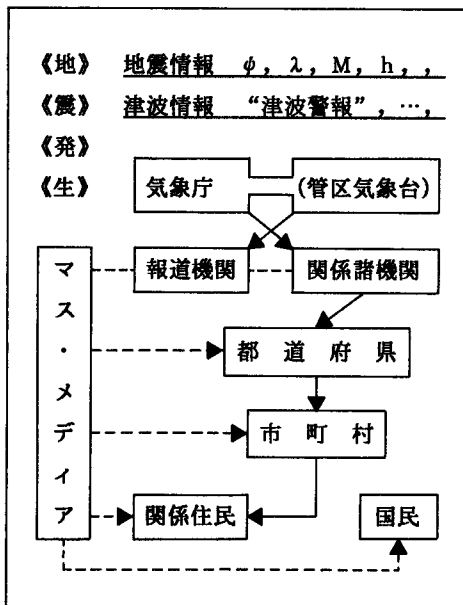


図1 地震・津波情報の伝達

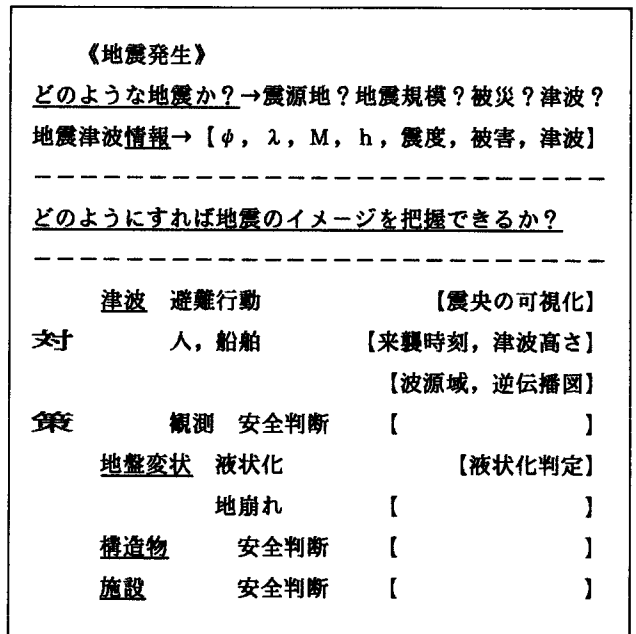


図2 地震・津波に対する安全判断の考え方

地震・津波情報の処理

我々は発生地震に対して自己のいる地域がどこに位置付けられるかをとっさの場合でも考えることが多いように思われる*1。またシステム運用にたずさわる関係者、各行政機関の防災担当者においても管轄区域内の迅速な対応策を講じる必要性から地震の位置、地震規模、各地の震度等に注目する。一般的にはあるが、【地震動の大きさ】あるいは【被害の大きさ】=【震央距離】・【地震規模】の関係で示すことができることの意義は大きい。

本システムでは、図2中の【 】の安全判断について処理を行なう。本システムは地震発生と同時にスタートし、地震情報の入手後、震央の緯度・経度、地震規模の地震パラメータを入力データとして与える。発生地震に対して震央位置を図3のように可視化する。図中には震央を中心とした半径100kmごとの円と、また液状化の推定範囲（本地震で半径150km）が表示される。しかし、この大スケールの図だけではとうてい関係者が必要とする地域の安全判断を期待することは困難である。今、新潟・佐渡沿岸地域に限定して発生地震の位置関係を表示したものが図4および5である。図4では、注目する観測点までの震央距離を計算して注目地域における地盤の液状化の可能性を判断している。なお、震央距離の計算は球面三角法の公式（文献1,2）参照）による*2。

栗林・龍岡・吉田3)によれば、液状化地点までの最大震央距離Rmax(km)と地震規模Mの関係は、 $M > 6$ の地震に対して、図6のように

$$\log_{10} R_{max} = 0.77M - 3.6$$

と液状化の危険度を最も過大に評価する関係式として求められている。本研究の液状化範囲の予測にはこの

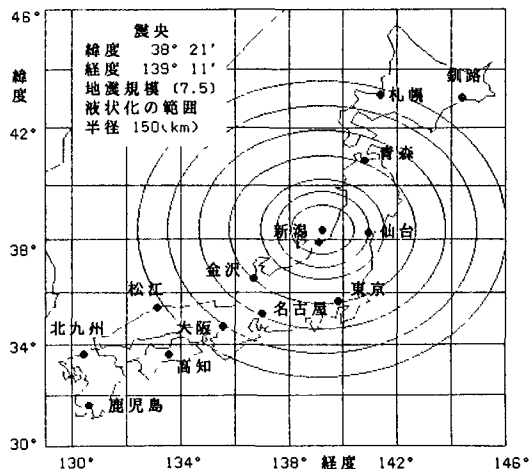


図3 発生地震位置の地図上への可視化

***** 地震津波解析 *****				
地震名	緯度	経度	地震規模	津波発生規模地震
NIIGATA	38 21	139 11	7.5	液状化の範囲 半径 150(km) 液状化の判定
観測点	緯度	経度	震央距離	
長岡	37° 25'	138° 47'	109.4 km	液状化有
内浦 港	38° 28'	139° 15'	14.2 km	液状化有
両津 港	38° 05'	138° 26'	72.1 km	液状化有
二見 港	37° 58'	138° 16'	90.9 km	液状化有
鼠ヶ関 港	38° 34'	139° 33'	40.0 km	液状化有
岩船 港	38° 11'	139° 26'	28.7 km	液状化有
新潟東港	37° 59'	139° 13'	40.8 km	液状化有
新潟西港	37° 56'	139° 04'	47.4 km	液状化有
寺泊 港	37° 38'	138° 46'	87.6 km	液状化有
柏崎 港	37° 22'	138° 32'	123.2 km	液状化有
直江津 港	37° 11'	138° 15'	153.4 km	液状化無
姫川 港	37° 02'	137° 51'	187.6 km	液状化無

図4 観測点までの震央距離と液状化の可能性

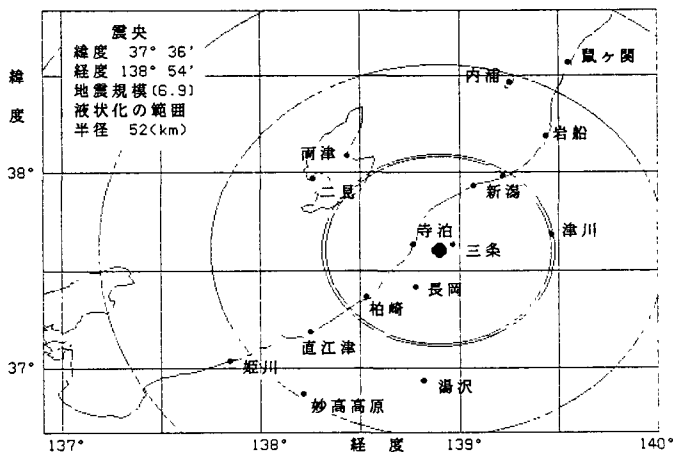


図5 注目地域における液状化範囲の推定

研究成果を用いた。図5に示した発生地震に対して、地盤が液状化すると推定される範囲は上式で求めた最大震央距離約50kmとなる。なお、図中には震央を中心に半径50kmごとの円と液状化の推定範囲が示されている。防災関係者はこの範囲内の「旧河道、旧河川敷などの埋立地、海岸埋立地」3)や関係機関で事前作成されている液状化発生の予測図等を用いてより客観的に対応策を講じることが可能となろう。本システムに液状化の判断を導入したのは、前述したように、発生直後の限られた情報の中から関係者が地震・震害のイメージを的確に把握することが大切であるとの考え方による。

気象庁は日本近海における地震の津波予報業務を全国18の海域区に分けて実施しており、津波警報あるいは津波注意報の発令には、津波予測図（図7参照）を用いる*3。これは、各気象台で観測された、最大地動の全振幅Aと地動の初期微動継続時間から求めた震央距離Δのデータをもとに、緊急的に、発生地震の平均的な地震規模および関係する海域区の津波の大きさを求めるものである。すなわち、ある気象台のデータがA線より上方に位置すれば“大津波”の来襲が予測される沿岸地域となる。同様に、A線とB線に囲まれば“津波”地域、B線の下方より破線Cにおいては“津波注意”地域となる。破線Cより下方に位置すれば津波来襲の恐れがないとして処理される。また、IおよびII線はそれぞれ“大津波”、“津波”が生じない限界を示している。図中の曲線は、地震規模Mと震央距離Δ(km)、最大地動振幅A(ミクロン)の関係

$$M = 1.73 \log_{10} \Delta + \log_{10} A - 0.83$$

を示す気象庁の式（坪井公式）である。

本システムでは、気象庁の手法を逆に利用する考え方であり、来襲する津波高さの数値的予測が地形や湾・港の特性に左右される性格を示すために困難であることから、気象庁によって求められた地震規模と震央位置を用いて、注目する観測地域における津波の大きさ、あるいは地動の振幅を推定するものである。図7は新潟地震(1964)の場合であり、

観測点までの震央距離の小さい順に危険度が示されている。津波の大きさは直江津・姫川港を除いて“大津波”の地域と推定できる。実際の津波高さは、両津300、粟島150、岩船130、柏崎約115、直江津132（単位cm）程度であった4)。

津波発生後、注目している観測地域に、津波が来襲する時間を予測できれば避難対策等の活動に利用できる。しかし、来襲時刻の予測には津波の波源域を求める必要性が生じる。波源域の直径は地震

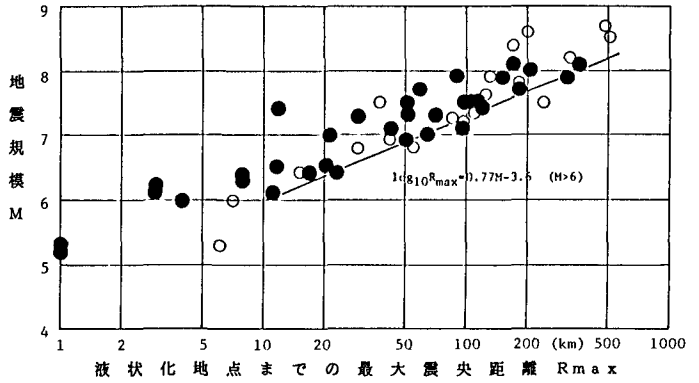


図6 液状化地点までの最大震央距離と地震規模の関係

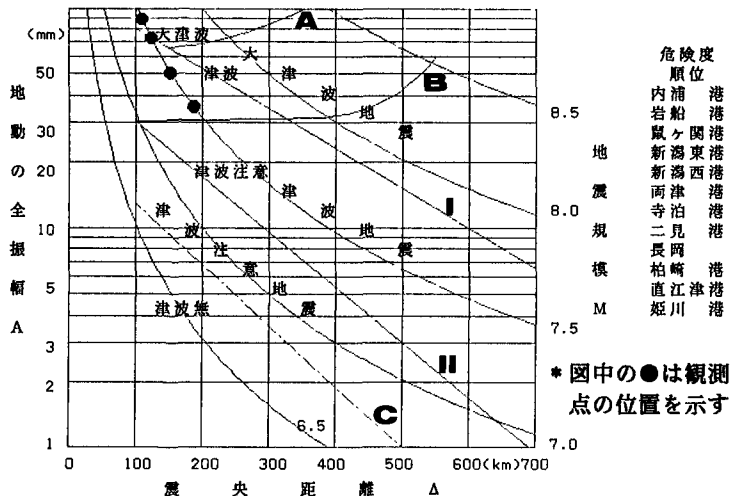


図7 注目地域における津波規模と地動振幅の推定

断層の長さに、また波源域は余震域に、ほぼ一致することが知られているが²⁾、地震直後のデータからこれらの情報を得ることは不可能といえる。飯田によれば²⁾、津波の波源域の直径L (km)と地震規模Mの関係は

$$\log_{10} L = 0.46M - 1.82$$

で求められている。

本システムでは、上式を用いて波源域を円で仮定し、注目する観測地域からの逆伝播図を用いて津波の到達時刻を推定する。逆伝播図の作成には、津波の速度を長波とし、波の屈折にはSnellの法則を用いた。

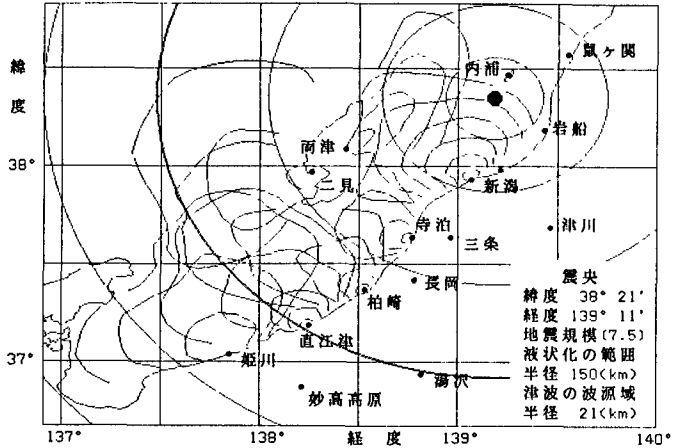


図8 津波波源域と津波の逆伝播図

図8は、海図を利用して*4、注目する観測地域から32方位分割で求めた波向線を5分間隔でプロットした津波の逆伝播図である。図中の新潟地震の推定波源域からの津波の到達時間は、新潟西港まで約15分、両津港まで約16分となる。実際の津波到達時間は、新潟西港まで16分、両津港まで28分と報告されている⁴⁾。波源域の推定方法の問題は承知のうえで、来襲予定時刻を注目する観測地域に危険度側に評価すれば防災対策を有利に進めることができると考える。なお、過去の地震津波の研究において逆伝播図が波源域を求める必要性から描かれることが多いが、本研究では対象地域の観測地点からの津波の逆伝播図を予め用意しておくことで地震発生後の避難対策等への利用をはかるものである。

本研究では、津波が発生する地震規模Mを6以上とし、これを“津波発生規模地震”とした。津波規模と地震規模、震源深さの関係については、過去に研究されているが、その後震源情報に関して再調査されたこともあり、本研究では宇佐美⁵⁾、宇津⁶⁾および理科年表¹⁾のデータを整理し直して求めたものである。

まとめ 本研究は、関係地域の地震・津波防災の実務者が、気象庁から発表される情報を活用することにより、発生直後から当該地震のイメージを把握し、処理することで防災判断に役立たせるという観点から、マイクロ・コンピュータを用いてシステム化することを試みたものであり、関係者自身が地震の発生位置、地盤の液状化範囲、津波の大きさや来襲時刻等を認識できれば情報伝達の錯綜や混乱に少なからず対処できると考える。なお、解析にはMPU (PC9801)、日本語プリンタを使用しており、カラー・グラフィック処理による一連の処理時間は、地震パラメータ入力後、図3～5、7、8で約40秒である。筆者らの地震防災に対する問題意識、考え方について、識者や関係者の御指導を頂ければ幸いである。

本研究の一部は文部省科学研究費 (奨励研究 (B) 59918026) で行なった。

資料、参考文献

- *1 土木学会誌1985-2『長野県西部地震報告』のアンケート調査結果を参考とした。
- *2 筆者が過去に勤務した研究室作成のプログラムを改善したものである。
- *3 文献7の「地震と情報」87ページから引用した。
- *4 海上保安庁水路部発行のNo.120, 1180の海図を使用した。
- 1. 東京天文台編纂：「理科年表」昭和60年版、丸善
- 2. 宇津徳治：「地震学」、共立出版、1984,10
- 3. 栗林栄一、龍岡文夫、吉田精一：「明治以降の本邦の地盤液状化履歴」、土木研究所彙報、第30号、1974,12
- 4. 気象庁：「昭和39年6月16日新潟地震調査報告」、気象庁技術報告、第43号、1965,5
- 5. 宇佐美龍夫：「資料日本被害地震総覧」、東京大学出版会、1981,2
- 6. 宇津徳治：「日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885年～1980年」、地震研究所彙報、Vol.57, 1982
- 7. 宇佐美龍夫：「地震と情報」、岩波新書、1980