

(参考資料)

震度の活用と震度階級の変遷等に関する参考資料

平成 21 年 3 月
気象庁

目次

I 震度の活用等

1. 震度の活用とその迅速な提供
2. 歴史地震の研究、過去の事例からの地震防災対策検討の利用
3. 震度観測の変遷
4. 昭和 63 年及び平成 7 年における震度の計測化の検討

II 資料集

1. 気象審議会・答申第 19 号（平成 6 年 10 月 6 日）
「今後の地震・津波情報の高度化のあり方について」（抜粋）
2. 震度の計測化に関する検討
第 1 回（昭和 60 年～63 年）
震度観測検討委員会報告、解説資料（昭和 63 年 2 月）

第 2 回（平成 7 年）
震度問題検討会検討結果中間報告（平成 7 年 7 月 5 日）
震度問題検討会検討結果最終報告（平成 7 年 11 月 29 日）

I 震度の活用等

資料目次

1. 震度の活用とその迅速な提供
2. 歴史地震の研究、過去の事例からの地震防災対策検討の利用
3. 震度観測の変遷
4. 昭和 63 年及び平成 7 年における震度の計測化の検討

1. 震度の活用とその迅速な提供

(1) 震度の活用

気象庁の震度は、防災関係機関の初動立ち上がりの基準及び災害応急対策の基準としても活用されている。

報道機関においては、地震時の特別番組への切り替えの基準や取材先の選定などに利用され、特に速報性が求められている。また、住民においては、自らが強い揺れに遭った場合にどの程度の震度か知り、どう対処しなければならないかを判断する、安否情報として利用するなどがなされている※。

※ 住民が自ら判断するためにも、震度階級関連解説表は重要

地震時の震度の活用

- ① 初動対応用情報 ② 災害応急対策用情報 ③ 状況を確認するための情報

【資料】平成 6 年 10 月 気象審議会 第 19 号答申「今後の地震・津波情報の高度化のあり方について」より

『震度情報の部外の利用状況及び地震・津波情報等に関する調査』（平成 4 年 1 月～2 月、防災関係機関 804 機関に対し気象庁地震火山部が実施）によれば、震度を「職員待機に利用する」（315 機関、39.2%）、「職員参集に利用する」（362 機関、45.0%）などとなっている。すなわち、これらの機関は震度を最も有効な初動対応のための情報の一つとして活用しているほか、災害応急対策の基準等被害推定のためのデータとしても活用している。また、震度は住民が地震の状況を知るための情報としても広く利用されている。

このように、震度は被害発生推定の基準となることから、地震時の①初動対応用情報、②災害応急対策用情報、③状況を確認するための情報としての役割を有している。

また、地震時の一層迅速な初動対応を確保するため、津波予報発表前の事前情報としてさらに迅速な震度発表が強く要望されてきている。

(2) 震度の迅速な提供

震度が防災対応の重要な情報として活用され、また、その活用のされ方として、速報性や地震動の強さを表す客観的な量であることが重要であることから、気象庁は、震度の迅速な提供のための震度観測・情報伝達体制の整備を行ってきた。

震度の迅速な提供のために実施したこと

- ① 震度の計測化（震度計による自動観測・通報）、震度速報の開始（迅速な情報提供）
- ② 震度観測点の充実（気象庁震度観測点の整備、地方公共団体、（独）防災科学技術研究所の観測データの収集・品質管理・発表）
- ③ 情報伝達体制の整備（オンライン通信、衛星による通信環境の整備）

【資料】平成6年10月 気象審議会 第19号答申「今後の地震・津波情報の高度化のあり方について」より

平成2年度以降、気象庁では震度を客観的かつ迅速に観測するため、計測震度計の導入を進め、また、全国各地の震度を迅率に収集できる体制も整備してきた。

さらに、平成5年度、新たに「津波地震早期検知網」が整備され、日本近海で発生する地震に対する津波予報発表を地震発生後3分程度に短縮することが可能となった。この検知網の整備に伴い、地震動を全国均一に観測する能力が整い、今後、その有効な活用を図ることが望まれている。

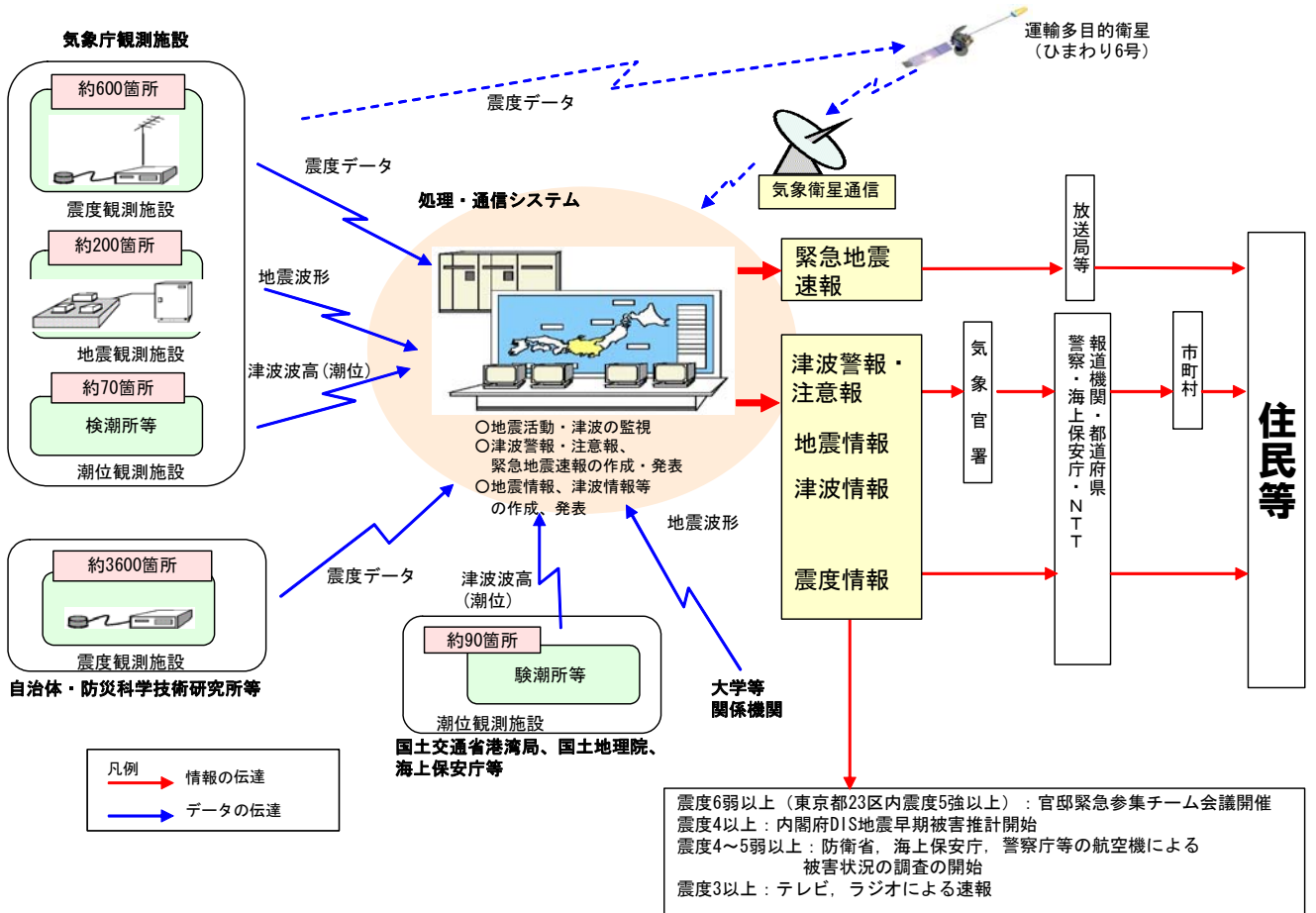
上記の震度の情報伝達手段としては、従来のオンラインデータ伝送に加え、衛星の活用も可能となっており、情報伝達を迅速化する環境も整備されてきている。

【資料】平成6年10月 気象審議会 第19号答申「今後の地震・津波情報の高度化のあり方について」より

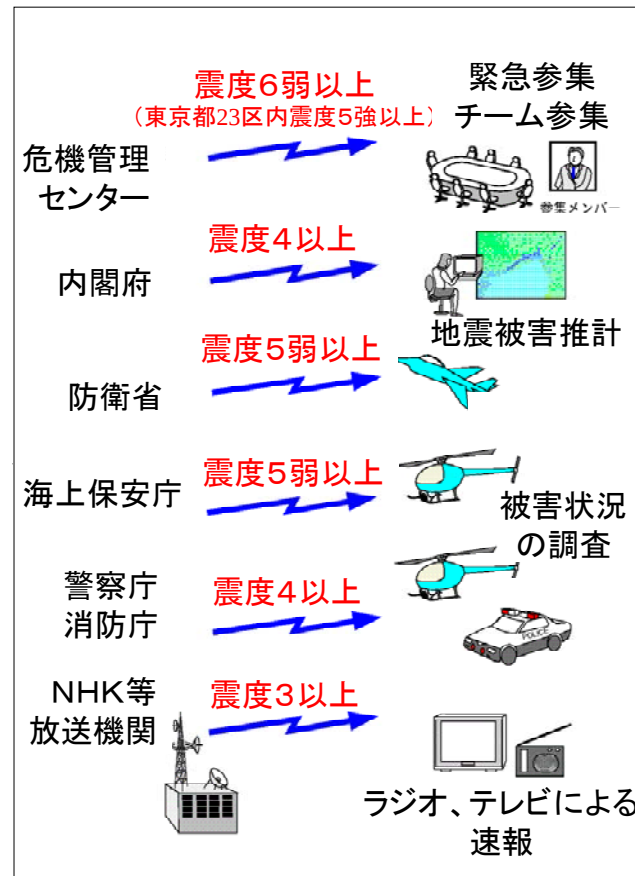
地方公共団体等においては、地震発生時、地域内における避難指示、職員参集を行うとともに被害状況の把握に基づき救援、災害復旧等各種の対策を実施している。各機関は、地域内のより詳細な状況を迅速に把握し防災対策を有効に実施するため、自ら計測震度計観測システム、防災情報システム等の導入を進めている。

これらのデータはいずれも被害の推定及び効果的防災活動の実施等に重要であるが、気象庁は、国として地方公共団体等が地域内において実施する緊急対策等支援することを役割として、広域的な震度情報を提供することが適当である。

地震津波情報の作成・伝達までの流れ



気象庁が発表した震度に基づく防災関係機関等の対応基準



2. 歴史地震の研究、過去の事例からの地震防災対策検討の利用

震度観測は明治時代から開始されたものであるが、江戸時代以前の地震（歴史地震）についても、古文書等の文献による被害記録より、震度の推定が行われている。過去の地震活動やその際の地震動の程度を知る重要な資料となっており、地震工学や地震防災対策の検討に活用されている。

歴史地震の研究、過去事例からの地震防災対策検討

- ① 地震観測がなされていない時代に発生した地震の様相を知る。
- ② そうして分かった過去の被害地震の様相を、地震防災対策検討に活用する。

【資料】昭和 63 年 2 月 震度観測検討委員会 報告 解説資料より

震度観測は明治時代から始まったものではあるが、それ以前の地震(歴史地震)についても、古文書等に残されている地震時の揺れの状況や被害程度から各地の震度を推定することが可能であり、各地域の過去の地震活動やその地域が受けた地震動の履歴が精力的に調査され、地震予知や地震工学の分野に活用されている。震度は過去と現在の地震学及び他の学問との間を繋ぐ役目を果たしているといえることができる。

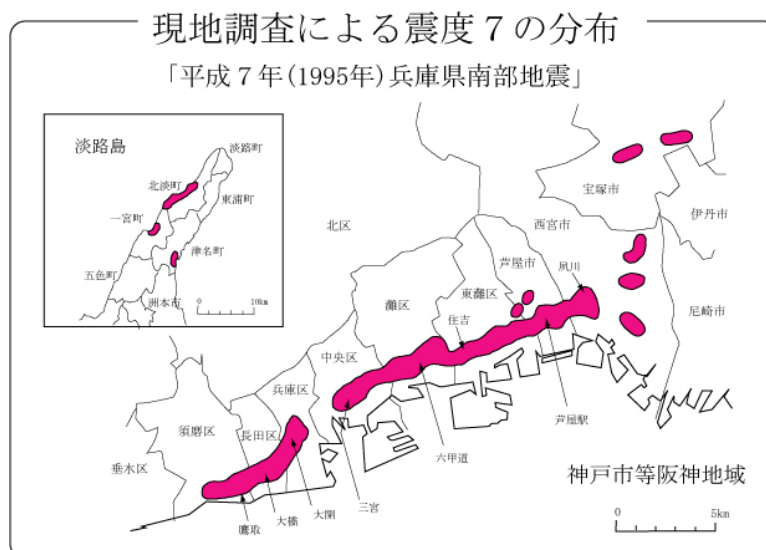
【資料】昭和 63 年 2 月 震度観測検討委員会 報告 解説資料より

地震動の強弱という概念の中には、被害の発生も含まれているため、地震工学的見地から震度と物理量との対応を求める試みが何人かの研究者により行われている。これは地震計のない時代あるいは地域における地震動の加速度や速度を推定し、震度の地震工学等への活用を図ろうとする試みである。

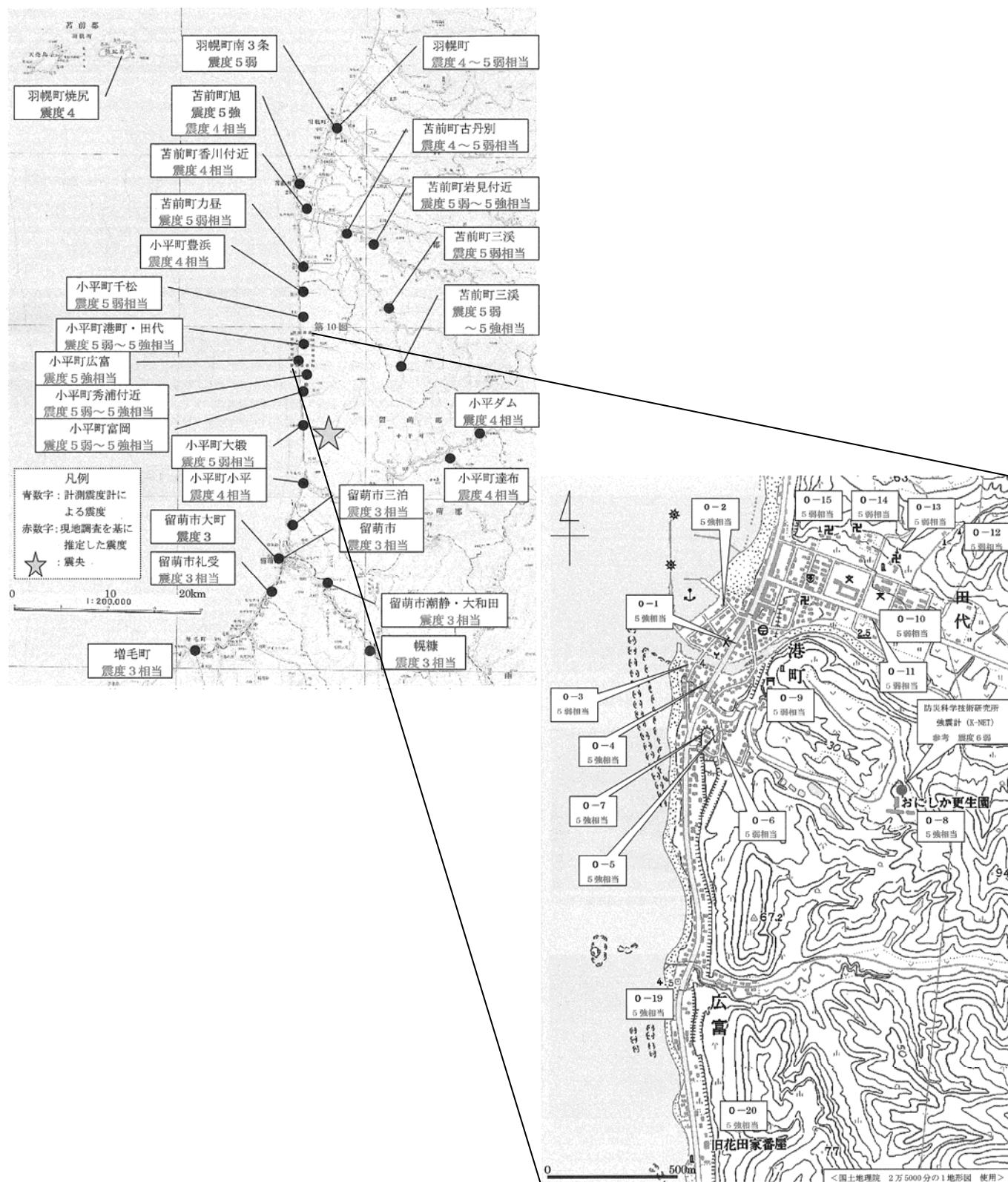
震度の利用例（１）

過去の地震において被害記録等から震度を推定するほか、現在でも顕著な被害地震の場合、地震時に各地点がどのような揺れであったかを、地震後に、現地の状態に関する調査や地震時の模様の聞き取り調査を行い、震度により整理することがある。

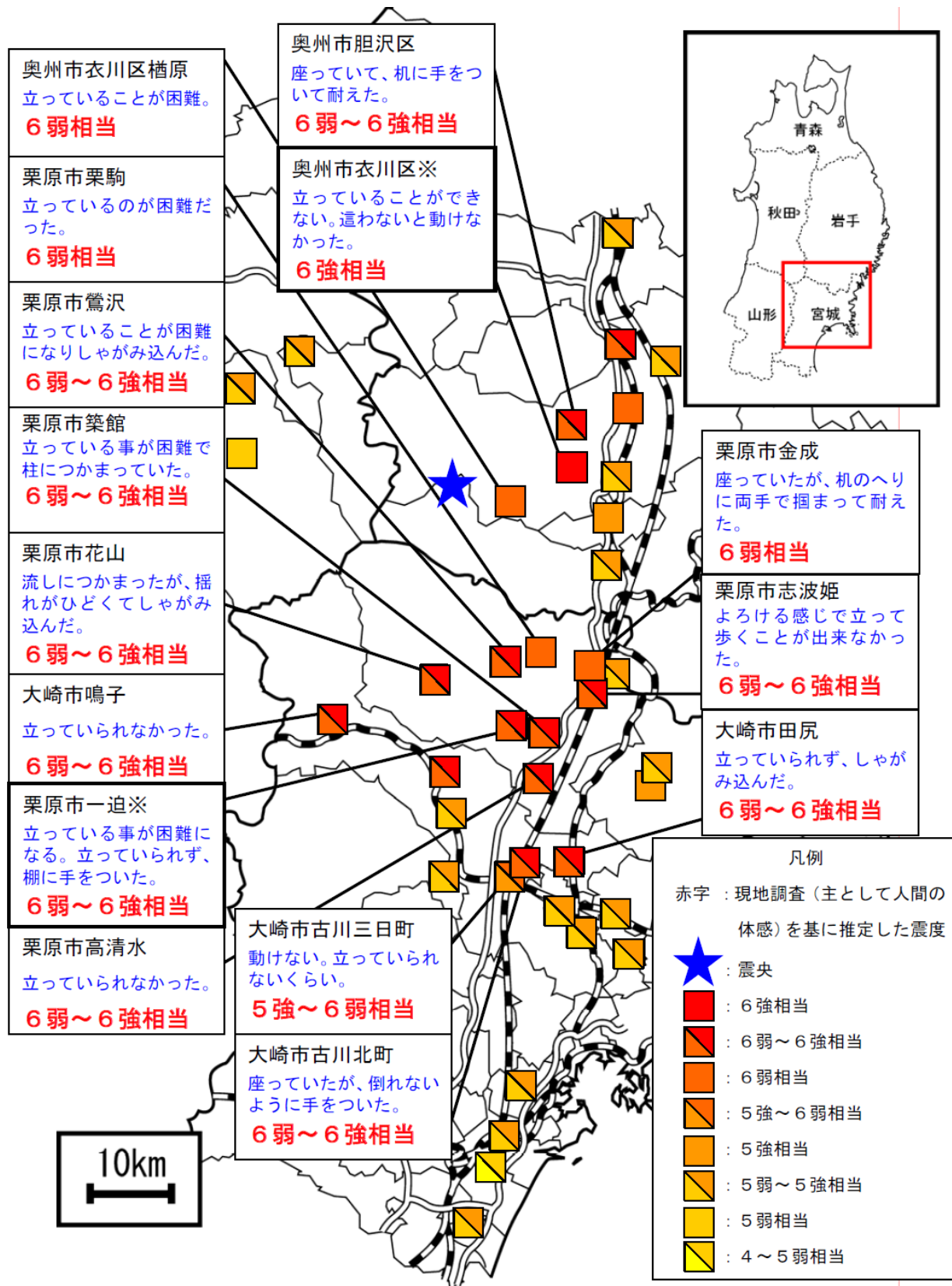
a) 平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震では、震度 7 の揺れ地域がどの範囲になるかの調査を行った。当時、震度 7 の定義は、被害状況によるものとなっており、現地調査を実施した。結果、震度 7 の範囲を次図のように判定した。



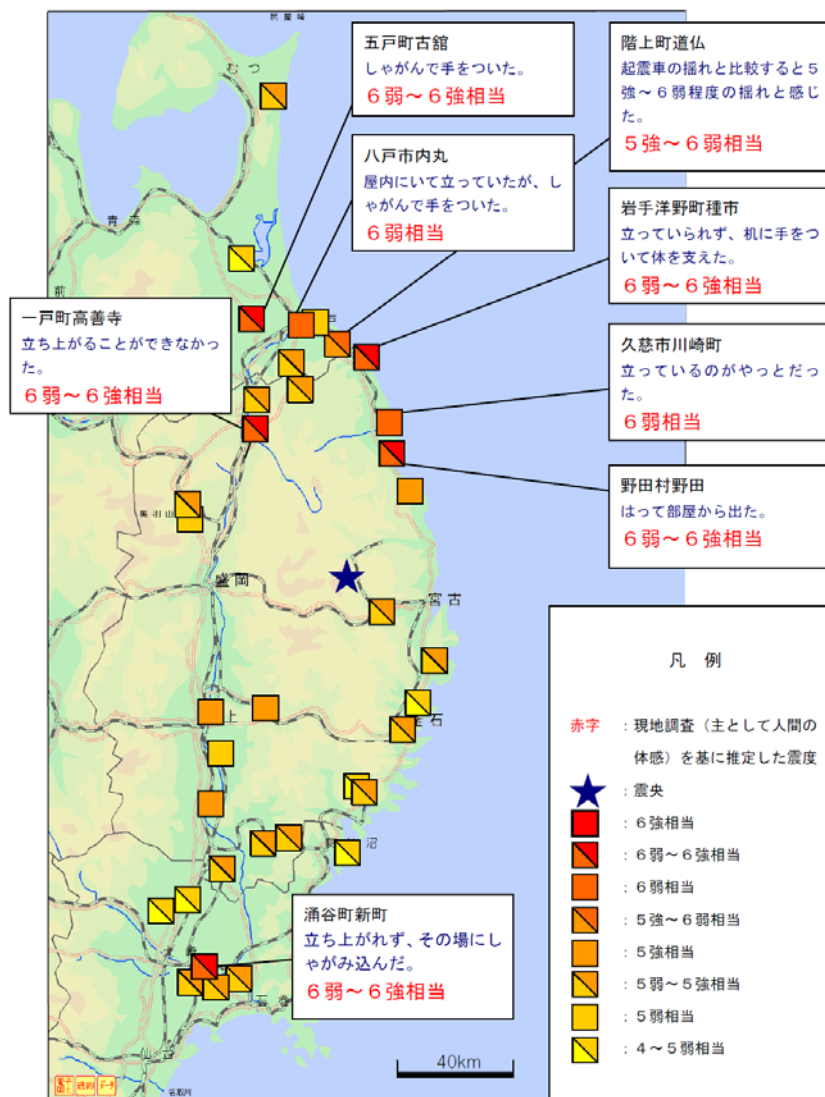
b) 平成 16 年（2004 年）12 月 14 日留萌支庁南部の地震（M6.1、深さ 9km）では、震度 5 強を観測した苫前町、震度 5 弱を観測した羽幌町その他、小平町、留萌市で現地調査を行っている。目視による建築物・構造物の被害状況、地面現象の把握、聞き取り調査による揺れの強さの把握を行っている。結果は、震度〇〇相当として、次のとおりまとめている。



c)「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」及び平成 20 年 7 月 24 日の岩手県沿岸北部の地震では、現地の聞き取り調査から揺れの強さの分布を推定し、震度〇〇相当としてまとめている。各々の結果を掲載する。



平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震、聞き取りから推定した揺れの強さの分布（全体図）
（「災害時地震速報 平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」より）

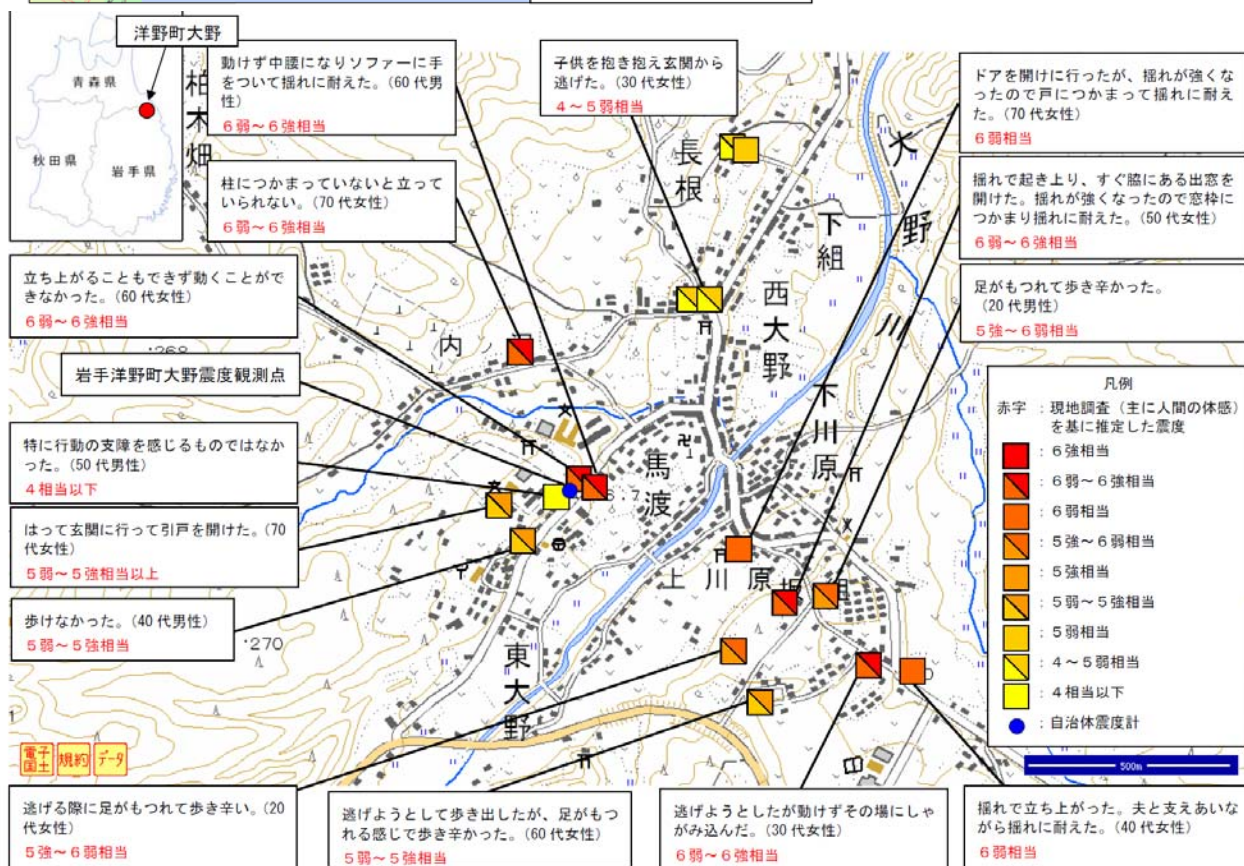


平成 20 年 7 月 24 日の岩手県沿岸北部の地震・宮城内陸地震、聞き取りから推定した揺れの強さの分布

（上図：全体図

下図：「岩手洋野町大野」震度観測点付近）

（「災害時地震速報 平成 20 年 7 月 24 日の岩手県沿岸北部の地震」より）



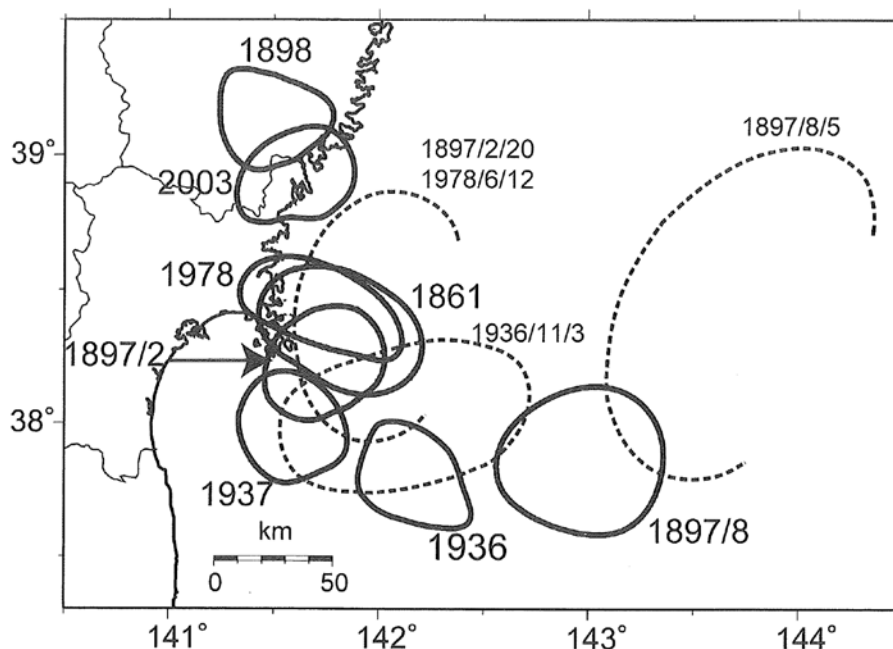
震度の利用例（２）

近代的な地震観測による地震波形記録の無い時代の地震では、地震時の各地の揺れの状況や被害の記録から、各地の震度が推定されている。

震度を知るのみならず、推定した震度から、地震の震源域の詳しい様子を求める研究などが行われている。

例として、宮城県沖で繰り返し発生する地震を対象に、震度データから短周期の地震波を発生させた領域を推定した研究結果を掲載する。

（神田克久・武村雅之（2005）：震度データから検証する宮城県沖で発生する被害地震の繰り返し，地震 第2輯，第58巻，pp.177-188）



宮城県沖で発生した過去の地震において、短周期地震波を発生させた領域（実線）の比較。

なお、点線は、羽鳥による津波の波源域。神田・武村（2005）より。

3. 震度観測の変遷

(1) 日本における震度観測点数の変遷

日本における震度観測は、1884 年（明治 17 年）に約 600 箇所の観測点で始まり、1904 年（明治 37 年）には気象官署や民間への委託をあわせ 1,437 の観測所から震度データが収集された。昭和 30 年代にもほぼ同数の観測点が維持されていた。当初は、地震計による観測がまだ十分でなく、地震現象の把握は、震動の強弱や揺れの方向等についての体感や被害調査等により行われていた。

昭和 30 年代に入り、地震計による観測を中心としての業務の構築が行われてきたことから地震観測としての震度観測はその役目を終え、1958 年（昭和 33 年）から、順次観測所の整理が行われ、昭和 63 年当時には、全国 158 ヶ所の気象官署において震度観測が行われるのみとなった。

(2) 震度観測の計測化と観測点数の増強

震度が、防災関係機関の初動対応の基準として極めて重要なものと認識されるようになり、そのため、より客観的かつ迅速な震度、震度観測点数の増強への要望が高まった。

a) 震度の計測化

気象庁は、震度観測検討委員会の報告（昭和 63 年 2 月）を受けて、震度の機械観測（震度の計測化）の試験を開始し、計測化を進めた。体感による震度観測自体は廃止せず、震度の計測化を並行して進め、平成 5 年度（平成 6 年）には、全ての震度観測点への整備を完了した。

b) 観測点の増設、地方公共団体等による震度データの活用

防災対策での活用をより効果的に行うため、平成 5 年にはそれまで約 150 箇所であった震度観測点を約 300 箇所に、平成 8 年には約 600 箇所へ増強した。また、平成 8 年より、現行の計測震度により観測したものとし、体感による震度観測を廃止した。

さらに、平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震の経験により、地方公共団体が独自に震度計を設置し自らの初動防災対応に活用を始めた。気象庁では、地方公共団体や（独）防災科学技術研究所が整備した震度計の震度データについて、準備のできたところから、気象庁が発表する震度情報に含めて発表してきた。

平成 21 年 1 月現在、気象庁約 600 箇所、（独）防災科学技術研究所約 800 箇所、地方公共団体約 2800 箇所、合計約 4200 箇所の震度観測点のデータを気象庁の情報発表に活用している。

c) 発表対象とする震度観測点の条件

気象庁に集約し、国として一元的に発表する震度の発表にあたっては、震度データの品質を確認し、異常なデータは除外している。また、地方公共団体の震度計設置にあたっては、震度計の精度確保のため検定を行い、設置場所等についても基準を定め、合格したもののみ発表対象としている。

(3) 気象庁震度階級の変遷

- ① 震度の階級は明治17年（1884年）の地震報告心得では4階級。
- ② 明治31年（1898年）より7階級。明治41年（1908年）階級に説明を付ける。
- ③ 昭和11年（1936年）から昭和23年（1948年）に用いられたものでは、震度Ⅰ及び震度

Ⅱは人間の感覚、震度Ⅲ及び震度Ⅳは室内の状況、震度Ⅴ及び震度Ⅵは家屋の被害などを記述。

- ④ 昭和24年（1949年）に震度Ⅶを設けた改良の際に、あわせて、震度を津波予報作業の基準に用いることとし、震度を素早く判定するために、体感での記述が追加された（震度Ⅲと震度Ⅳの区別に震度Ⅳに体感の記述を、震度Ⅴと震度Ⅵの区別に震度Ⅵに体感の記述。）。ただし、震度の速報は震度Ⅵまでとし、震度Ⅶについては、後日の調査により被害状況から判定するものとしていた。
- ⑤ 昭和53年（1978年）には、体感による観測をより適切に行えるよう、気象庁の地震観測の指針（地震観測指針（観測編））の震度の観測方法の参考事項として、速報する震度Ⅵまでの全ての階級に体感を示した。
- ⑥ 平成8年（1996年）には、気象庁で発表する震度は計測震度で観測するものとした。また、震度情報が、災害応急対策等の防災対策を実施する上で有効な情報となるためには、ある震度が観測された際に、実際にどのような現象、被害が発生するかをあらかじめ示しておく必要があり、このため、「気象庁震度階級関連解説表」を作成した。

震度観測の変遷

- ① 日本における震度観測の開始
地震現象の把握等に利用。地震観測の方法として震度により観測。
- ② 気象庁震度階級の変遷
昭和24年から体感による速報、防災のための速報としての面を重視。
- ③ 震度観測点の充実・強化
 - ・ よりいっそうの速報性や客観性が重要。
 - ・ 平成8年に震度の計測化（機械観測化）。
 - ・ 地方公共団体等の震度観測データの活用推進。
 - ・ 気象庁震度階級関連解説表の作成

4. 昭和 63 年及び平成 7 年における震度の計測化の検討

(1) 第 1 回目の検討：震度観測検討委員会（昭和 60 年 3 月～昭和 63 年 2 月）

震度観測検討委員会（昭和 63 年 2 月）報告を受けて試験、整備を開始。ここでは、旧計測震度と呼ぶ。

旧計測震度

- 河角式 $I=2\cdot\log(a) + 0.7$ I ：震度、 a ：加速度（ $\text{gal}=\text{cm/s/s}$ ）を基本とし、計測量として加速度を用いる。水平動 2 成分のみを使用し、上下動は使用しない。
- 地震動全体を周波数領域でフィルター処理して算出。対象とする地震波の周期は、0.1 秒～1 秒とする。
- 周期 1 秒より短周期の波（0.1～1 秒の波）については、計測震度が加速度と速度の中間的なものとなるように、周期の影響を考慮。
- 周期 1 秒より長周期の波については、ローカットフィルターでカットする。
- 瞬間的に大きな加速度となった場合の影響を除去するため、継続時間を考慮。算出された震度が大きくとも、ある一定時間以下しかその加速度が観測されていない場合には、震度を 1 低減する。このため、算出される震度は整数部分しか意味を持たない。

旧計測震度の計算式は、次のとおり。

$$I=2\cdot\log(a) + 0.7 + \log(k\cdot t)$$

I ： 旧計測震度（四捨五入して整数値とする。ただし、右辺が 0.5 未満のときは $I=0$ 、5.5 以上のときは $I=6$ とする）

a ： 加速度（ $\text{gal} = \text{cm/秒/秒}$ ）（フィルター後の加速度）

t ： 周期（秒）（0.1～1 秒の範囲）

k ： 係数（検討委員会の報告では $k=3$ としていたが、その後の検討により、最終的には $k=1.5$ とした。）

【資料】昭和 63 年 2 月 震度観測検討委員会 報告より

現行の震度は人体感覚、被害状況等に基づき判断されていることから、地震動の強さを表わす客観的な量としては取り扱いに限界があり、そのままでは実的な利用に不都合な点も生じてきている。この点を踏まえ、地震動の強さに関連する物理学的要素を計測し、それに基づき計測震度（仮称）を求め、情報発表等を通じて緊急的な諸対策等に供するとともに、他方では、より高度な利用のために計測量そのものを提供し、防災対策等に資することも考慮すべきと考えられる。

【資料】昭和 63 年 2 月 震度観測検討委員会 報告より

将来、震度観測の主体を計測震度（仮称）に以降するとしても、当面は、現在の震度観測との並行観測が必要である。すなわち、現行の震度観測の補助として計測震度（仮称）の観測を行い、その間、計測化に伴う諸問題を解決しつつ、あわせて計測量の有効利用について推進を図るべきと考えられる。

(2) 第2回目の検討：震度問題検討会（平成7年3月～11月）

震度問題検討会検討結果最終報告（平成7年11月）報告を受けて、開始。現行の計測震度である。平成8年4月開始、震度5、6の分割は10月から開始。

計測震度

- 上下動を加えた3成分の加速度波形を用いる。
- 建物被害との相関を考慮し、震度算出に用いる地震動の周期の範囲を長周期へ広げる。
- 計測震度の値が連続量として扱えるよう、継続時間考慮の方法の改良。

計測震度の計算式は、次のとおり。

$$I=2\cdot\log(a) + 0.94$$

I: 計測震度

a: 加速度 (gal = cm/秒/秒) (フィルター後及び継続時間考慮後の加速度)

震度階級

- 震度5までについては、算出された値を四捨五入した整数値が、震度の値と一致するように作られている。これらは変更しない。
- 震度7を事後の調査によるものではなく、計測震度6.5以上を観測したものとする。
- 旧方式の震度5及び6については、対応する現象の幅が大きいため、適当な計測震度の値によって震度階級を分割することが、防災上有効であり、階級を分割。
- 震度は、計測震度により計測するものであるが、従来の震度に関する経験等を参考にして「気象庁震度階級関連解説表」を作成
ただし、構造物の耐震性の向上などで実状と合わなくなった場合には、内容を変更するものとした。

【資料】平成7年7月 震度問題検討会 中間報告より

兵庫県南部地震で現地調査の結果、震度7の揺れがあったとされる範囲(実際には、この範囲内では震度6以下と震度7の地点が混在していると考えられる)で観測された強震加速度波形から計測震度を算出すると、6.5前後の値となる。

以上のことから、震度7を計測震度6.5以上と定義すれば、対応する現象が現在の震度7の説明文の内容とほぼ一致すると考えられる。また、このように定義することにより、計測震度を四捨五入した値が震度を表すという関係を、保つことができる。

【資料】平成7年11月 震度問題検討会 最終報告より

震度5及び6については対応する現象の幅が大きいため、適当な計測震度の値によって震度階級を分割することが、防災上有効であると考えられる。この場合、計測震度のどの値で分割するかが問題となるが、実際のところある計測震度の値を境として、発生する被害の様相が急激に変化することは考えられない。

それは、

(1)地震動の強さも、それに対応して発生する被害の様相も、連続的に変化すると考えられること。

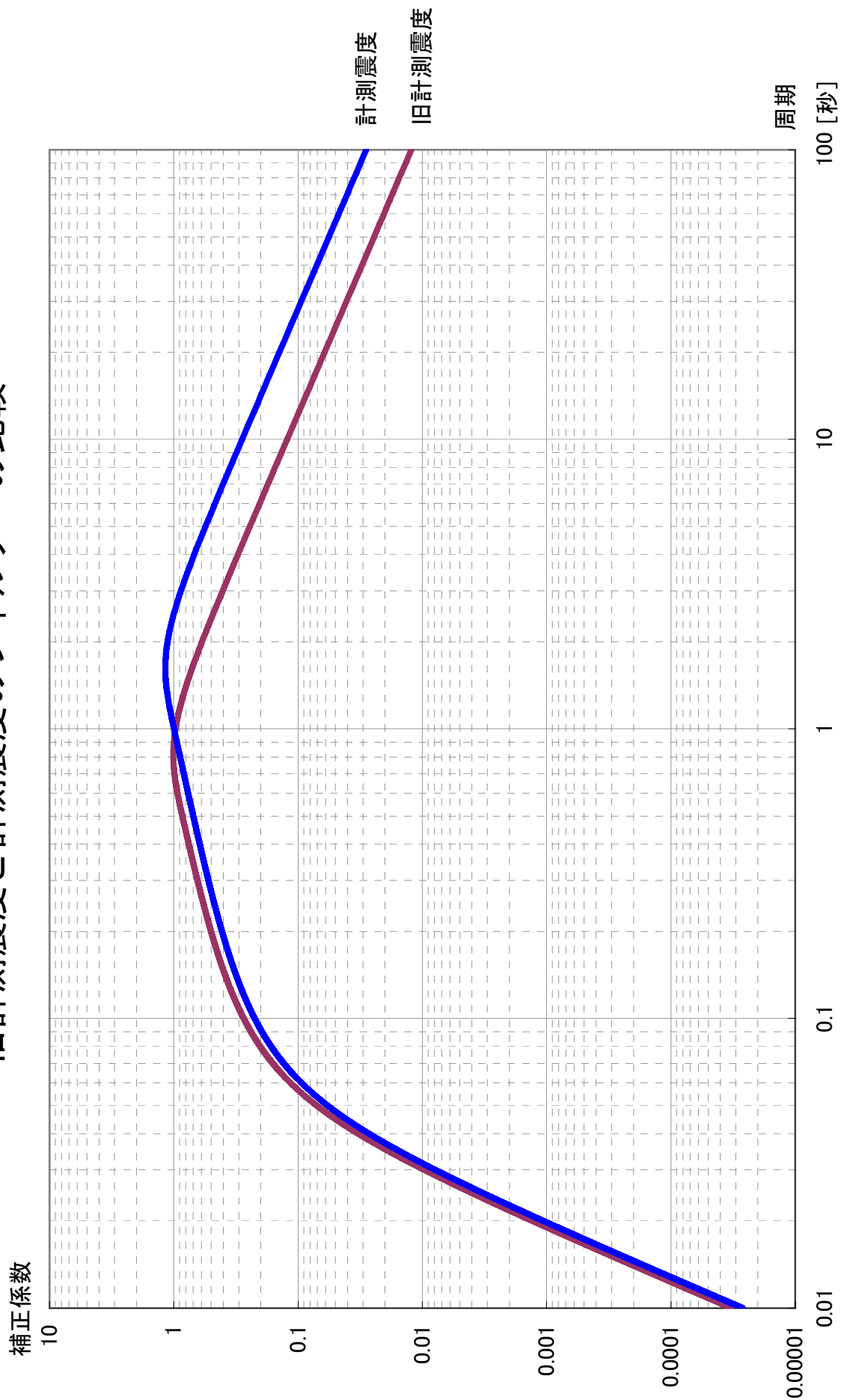
(2)ある震度に対応して発生する被害には、ある程度の幅があること。

による。したがって、どの値で分割するかは厳密に決定されるものではなく、分割してできたそれぞれの震度階級間で、全体として被害の様相が異なっていれば十分である。

このことを考慮すると、震度5、震度6はともに等分割、すなわち、計測震度5.0で震度5を分割し、同様に計測震度6.0で震度6を分割することが自然であると考えられる。

旧計測震度と計測震度のフィルターの総合特性の比較は次ページのとおり。

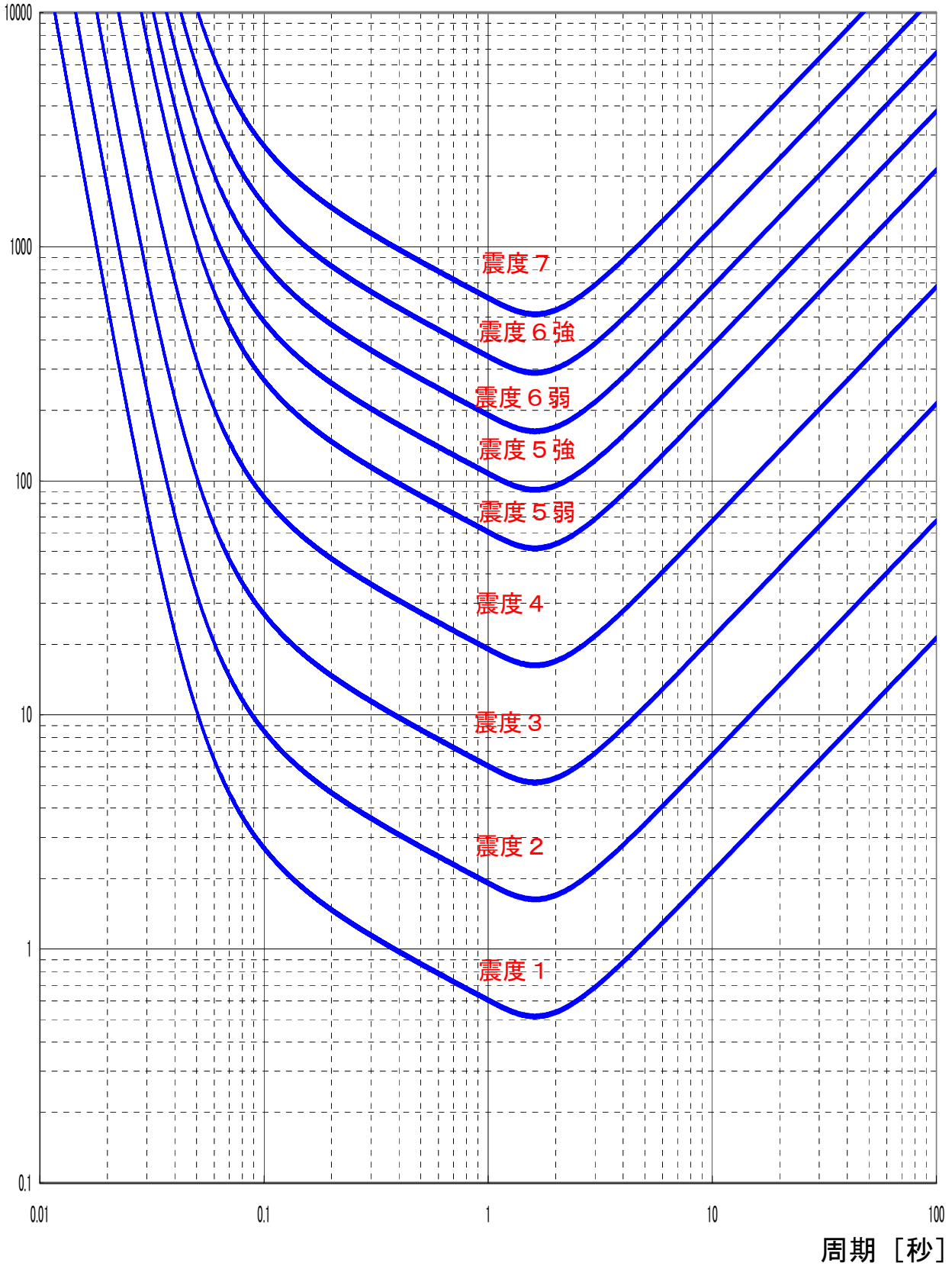
旧計測震度と計測震度のフィルターの比較



加速度

[cm/秒/秒]

計測震度と加速度



周期および加速度と震度（理論値）の関係
均一な周期の振動が数秒間継続した場合

Ⅱ 資料集

資料目次

1. 気象審議会・答申第 19 号（平成 6 年 10 月 6 日）
「今後の地震・津波情報の高度化のあり方について」（抜粋）
2. 震度の計測化に関する検討
第 1 回（昭和 60 年～63 年）
震度観測検討委員会報告、解説資料（昭和 63 年 2 月）

第 2 回（平成 7 年）
震度問題検討会検討結果中間報告（平成 7 年 7 月 5 日）
震度問題検討会検討結果最終報告（平成 7 年 11 月 29 日）

今後の地震・津波情報の高度化のあり方について

【序、第1章及び第2章のみ抜粋】

序

我が国は、環太平洋地震帯に位置する世界有数の地震国であり、過去幾度となく地震・津波災害を被ってきている。このような災害の防止・軽減を図ることは、我が国の防災対策上重要な課題となっている。このため、気象庁においては、国、地方公共団体等防災関係機関が行う緊急対策の支援のための防災情報として地震・津波情報の充実を図ってきている。

しかしながら、「平成5年(1993年)北海道南西沖地震」では津波による甚大な災害を被り、津波予報の迅速・的確な発表・伝達が一層重要な課題となった。このことに対処するため、気象庁では「津波地震早期検知網」及び「緊急情報衛星同報システム」の整備が行われ、近海の地震に対し従来7～8分を要していた津波予報の発表が3分程度に短縮されることとなった。この津波予報発表の迅速化による防災上の効果は非常に大きいものと期待されているが、津波予報を含めた地震・津波情報が防災関係機関はもとより、広く国民一般にさらに有効に活用されるためには、今後、情報内容等の一層の充実が図られることが重要である。

一方、防災関係機関においては、自衛措置も含め各地域の詳細な状況の把握のため、近年の電子機器等の技術的進展を背景として、計測震度計や防災情報システム等の導入が進められている。これらのシステムは、気象庁の発表する情報とあわせて活用されることにより、さらに効果を発揮することが期待される。したがって、今後、気象庁は防災関係機関との連携・協力の強化を一層進める必要がある。

地震・津波発生時の情報は、適切な内容・タイミングで提供されることにより多大の防災効果を発揮するものである。したがって、以上のような背景も踏まえ、今後、社会的混乱を招くことなく国民に受け入れられ、高度情報化社会に適合した新しい地震・津波情報が提供されるよう、本答申においては、震度情報や津波予報の高度化等の課題を中心として今後の地震・津波情報提供の方策について提言する。

第1章 地震・津波情報の発表に関する気象庁の責務及び防災関係機関との連携・協力の強化

1.1 地震・津波災害と情報

地震・津波災害は、局地的な範囲から広域にわたるものまで様々であり、また、地盤・地形等の自然条件や地域開発等の社会的条件等により各地域で災害の程度が大きく異なる。このような地震・津波災害を防止・軽減するためには、国、地方公共団体等防災関係機関がそれぞれの役割に応じ、平常時から各地域の災害特性を把握するとともに、地震発生時には地震・津波に関する情報に基づき迅速・的確な防災対策を講ずることが重要となる。

この防災対策の実施にあたっては、迅速に初動体制を確保することが重要である。そのためには速やかに地震・津波情報を伝達することが課題であり、今後、各機関においてオンライン及び衛星等高度な情報伝達システムを一層活用することが重要となる。

1.2 地震・津波情報の発表に関する気象庁の責務

地震・津波災害から国民の生命・財産を守るべく、気象庁は、防災関係機関の地震・津波対策を支援すること等を役割として、震源要素、震度、津波予報等の地震・津波情報を広く一般に発表している。

さらに最近では、防災関係機関が、その目的に応じて地震・津波の観測等を行い、各機関・地域に適した地震・津波対策の推進を図ってきている。気象庁のみならず、これら機関の地震・津波対策への取組が進むにつれて、地震・津波発生時には、多くの観測成果等が得られる状況となってきた。

しかし、防災情報として国民一般に広く提供される地震・津波情報については、情報の混乱を防止することが重要であり、その発表は気象庁が責任を持って行うべきである。また、気象庁は防災関係機関の理解と協力を得て、情報内容の充実に一層努めることが必要である。

1.3 防災関係機関との連携・協力の強化

地域防災の観点からは、地方公共団体等が各地域の災害特性を事前に把握した上、地震発生時には、気象庁の地震・津波情報に加え、各機関個別に必要な各地域の情報を収集し、適切な防災対策を執ることが望まれる。このことに対処するため、計測震度計等の観測機器や防災情報処理システム等の導入並びに災害予測図(ハザードマップ)の作成等による地域災害特性の把握のための対策が、各機関の状況に応じて進められている。

この各地域に応じた地震・津波対策の強化のため、気象庁は全国の地震・津波の監視及び情報提供を行うとともに、地域防災対策のための技術指導・協力を積極的に行うことが必要である。また、気象庁及び各機関の観測成果を相互に活用することは防災上有効であることにかんがみ、気象庁は防災関係機関との連携を強化し、そのあり方について検討することが必要である。

第2章 今後の震度情報の提供

2.1 地震発生直後の防災機関等の初動対応のための震度情報

2.1.1 震度情報の利活用状況

地震災害を防止・軽減するためには、地震発生直後から迅速・的確に被災地の状況を把握し対策を実施することが重要である。このため、気象庁は、地震発生後、速やかに地震の震源及び規模(マグニチュード)を推定し、津波予報をいち早く発表するとともに、各地の震度を発表している。

『震度情報の部外の利用状況及び地震・津波情報等に関する調査』(平成4年1月～2月、防災関係機関804機関に対し気象庁地震火山部が実施)によれば、震度を「職員待機に利用する」(315機関、39.2%)、「職員参集に利用する」(362機関、45.0%)などとなっている。すなわち、これらの機関は震度を最も有効な初動対応のための情報の一つとして活用しているほか、災害応急対策の基準等被害推定のためのデータとしても活用している。また、震度は住民が地震の状況を知るための情報としても広く利用されている。

このように、震度は被害発生推定の基準となることから、地震時の①初動対応用情報、②災害応急対策用情報、③状況を確認するための情報としての役割を有している。

また、地震時の一層迅速な初動対応を確保するため、津波予報発表前の事前情報としてさらに迅速な震度の発表が強く要望されてきている。

2.1.2 震度観測・情報伝達体制の整備状況

従来、震度の観測については、気象官署において気象庁職員が体感により実施していた。また、これらの震度を情報として発表する役目を担う全国6か所(札幌、仙台、東京、大阪、福岡、沖縄)の津波予報中枢では気象官署からの震度通報があつて初めてそれぞれの地点の震度が把握されるのが実情であつた。その結果、震源要素、マグニチュードとあわせて各地の震度が情報として発表されるのは、地震発生から10分程度以降となっていた。

平成2年度以降、気象庁では震度を客観的かつ迅速に観測するため、計測震度計の導入を進め、また、全国各地の震度を迅速に収集できる体制も整備してきた。

さらに、平成5年度、新たに「津波地震早期検知網」が整備され、日本近海で発生する地震に対する津波予報発表を地震発生後3分程度に短縮することが可能となった。この検知網の整備に伴い、地震動を全国均一に観測する能力が整い、今後、その有効な活用を図ることが望まれている。

上記の震度の情報伝達手段としては、従来のオンラインデータ伝送に加え、衛星の活用も可能となっており、情報伝達を迅速化する環境も整備されてきている。

2.1.3 防災情報としての震度情報提供のあり方

2.1.1で述べたとおり、震度情報は初動対応に有効な情報である。震度情報が、今後、一層有効に防災情報として活用されるためには、地震の状況を即座に把握・理解できる簡潔な情報とすることが重要であることを考慮し、以下の方策を速やかに実施する必要がある。

I) 初動対応が必要となる強い揺れを感じた場合には、少なくとも津波予報前に発表すること。

この場合、国、地方公共団体、報道機関等における緊急の初動立ち上がりの基準等から判断すれば、原則とし

て震度3以上が観測された場合に発表すること。

Ⅱ) 震度の観測点が多数となるような大地震時においても、迅速かつ適切に伝達及びテレビ、ラジオで放送できる情報とすること。

したがって、発表する震度については、次の条件に沿うことが適当である。

初動対応のために発表される震度については、各地点を羅列するのではなく、一定の地域内で観測された震度を地域名とともに発表すること。なお、この地域分けについては都道府県内の地震の概要が把握できること基本として、都道府県の実情に応じていくつかに地域分けすること。

震度は、計測震度計が設置してある地盤や環境によって異なることから、ある地域内の平均的震度とするか、最大の震度とするかが問題となる。防災の立場からすれば、最大震度をもって、その地域の震度として発表することが適当である。

今後、気象庁は早急に上記の内容を決定のうえ、国民並びに防災関係機関に十分周知する必要がある。

なお、防災関係機関は、震度情報を応急・復旧対策にも活用しており、気象庁は各地点の震度情報を提供できるよう努める必要がある。

2.2 今後高密度化する震度情報提供のあり方

2.2.1 震度情報発表における気象庁の役割

すでに述べたとおり、気象庁は全国の震度情報をより充実させた内容として発表することが可能となっている。

一方、地方公共団体等においては、地震発生時、地域内における避難指示、職員参集を行うとともに被害状況の把握に基づき救援、災害復旧等各種の対策を実施している。各機関は、地域内のより詳細な状況を迅速に把握し防災対策を有効に実施するため、自ら計測震度計観測システム、防災情報システム等の導入を進めている。

これらのデータはいずれも被害の推定及び効果的防災活動の実施等に重要であるが、気象庁は、国として地方公共団体等が地域内において実施する緊急対策等支援することを役割として、広域的な震度情報を提供することが適当である。

2.2.2 緊急時における震度情報の混乱の防止

2.2.1 のとおり、気象庁から発表される震度情報及び地方公共団体等における震度観測成果はそれぞれの割に応じて活用されている。この震度は地盤・設置条件等の影響を受けるため、気象庁の観測と地方公共団体等の観測による震度の値が異なることが起こり得る。したがって、地震発生直後に気象庁をはじめ各機関の震度が相互の関連のないままに発表され、異なる震度の情報が各報道機関から放送された場合には、情報を受け取る住民にとって混乱をもたらす可能性がある。このような混乱を防止するためには、国民一般に広く発表される震度は、気象庁が発表する必要がある。

なお、震度情報が適切に活用されるためには、地盤・設置条件等により震度が異なる点も含めその内容にいてふだんから十分周知する必要がある。

2.2.3 震度情報の相互の有効活用

地方公共団体等が保有する特定地域の震度情報と気象庁の広域的震度情報を総合的に把握することは、地震直後から実施される応急対策等に有効であることから、これらの震度情報を各機関で相互に有効活用できる体制を構築するため、気象庁はこれらの震度情報の交換及び提供のあり方について検討することが必要である。

2.2.4 震度観測の技術水準の確保

震度が防災対策に混乱なく活用されるためには、震度観測は観測機器、設置条件等に関する一定の観測基準に基づくことが重要であり、気象庁は、防災関係機関が進めている計測震度計の観測及びその成果の活用方法に関する技術指導・協力を行う必要がある。

また、情報の混乱を防ぐため、今後、震度は気象庁の技術基準に基づく計測震度計により観測されたものに限ることが望ましい。

2.3 防災情報としての震度階のあり方

2.3.1 現行震度階の限界

今後、震度は地震発生直後の防災関係機関の初動対応のための防災情報として一層重要な役割を果たすことになる。したがって、震度の内容が的確な防災活動に直結していることが必要である。

しかし、現行の震度階の説明内容に含まれる障子、墓石、煙突、石垣あるいは石どうろうは、現在の都市の生活環境においてはほとんど見られなくなっている。また、説明に示されている対象物(例えば煙突)でも近年では耐震への配慮がなされているなど、現行震度階の説明文が作成された時とは事物等の地震動に対する挙動が異なってきている。

さらに、現行の震度階の説明文は、都市を中心としたライフラインの発達、建築物の耐震化や高層化、造成地の拡大等生活環境が大きく変化していることに対応した内容となっておらず、防災対応のための情報としては不十分となっている。

2.3.2 防災情報としての震度階の改善

現行の震度階の解説は、人間が震度を決定する場合の判断基準としての位置付けが強いが、震度が防災情報としての役割を最大限に発揮するためには、このような社会的変化のもとで、震度と被害等とを的確に対応させることが必要である。具体的には、各震度階に現代の建築物、事物の挙動による表現を対応させるなど、その説明を充実させることが必要である。

また、震度4以上の説明は、被害に対応した内容となっているが、特に震度5以上の説明については、実際に出現する被害状況の幅が大き過ぎるため、適切な防災対応には十分な内容となっていないと考えられる。

最近、導入された気象庁仕様の計測震度計による震度は、加速度と周期の計測量から算出されるものであり、震度が客観的に観測されるという特徴をいかし、震度階を細分化することも可能となっている。

この震度階は長い歴史の中で多くの分野に活用されてきたものである。したがって各分野の専門家による十分な検討のうえで、防災活動のための情報としてより有効に利活用されるよう現行の震度階を改善する必要がある。

震度観測検討委員会報告

気象庁の震度観測は約 100 年間にわたって続けられ、一般に広く受け入れられており、また、その成果は地震学、地震工学、防災等の広い分野で活用されている。震度の有用性は今後も変わらず、津波を含めた地震防災対策等において重要な情報と考えられる。

今後、気象庁が下記の点に配慮し、高度情報化社会の要請に対応できるよう震度の観測体制を近代化し、より高度な利用に応えられるよう改善を図ることを期待する。

現行の震度は人体感覚、被害状況等に基づき判断されていることから、地震動の強さを表わす客観的な量としては取り扱いに限界があり、そのままでは実際的な利用に不都合な点も生じてきている。この点を踏まえ、地震動の強さに関連する物理学的要素を計測し、それに基づき計測震度（仮称）を求め、情報発表等を通じて緊急的な諸対策等に供するとともに、他方では、より高度な利用のために計測量そのものを提供し、防災対策等に資することも考慮すべきと考えられる。

(1) 震度の計測化を図るにあたっては、次の諸点に配慮すべきと考えられる。

- ① 各方面で活用され、国民に長い間慣れ親しまれてきた震度との連続性を維持することは重要である。したがって、計測震度（仮称）は従来の体感によるものとほぼ対応することが望ましく、また、従来の気象庁震度階級と同様の階級を用いることが必要と考えられる。
- ② しかしながら、人間の感覚と完全に一致するような計器を開発することは現実には困難であることから、地震動の主要な要素を計測し、ある許容範囲内で現在の震度に相当するもの（計測震度（仮称））を客観的にとらえる方法を開発すべきと考えられる。
- ③ 地震情報等における震度の有用性は、その速報性にあるが、震度 6、7 の判定は特に被害状況の判断が重要な要素となっており、即断することは一般に困難である。したがって、震度 6、7 の速報上の取り扱いについては別途考慮する必要がある。
- ④ 計測震度（仮称）を算出するための計測量については、基本的に次の点に留意する必要がある。
 - 1) 物理的に意味があり、また、一般に理解しやすい量であること。
 - 2) 計測量の処理方法はできるだけ簡単なものとする。

上記の基本を踏まえつつ、各種データを検討の結果、計測震度（仮称）を以下のとおり定義する。

- ・ 基本的な計測量としては加速度を用いる。
- ・ 震度と加速度の関係は、対象とする地震波の周期を一定の範囲とし次式に示す

ものとする。これは河角による震度と加速度の関係式において地震動の人体等に対する影響を考慮し、短周期側では震度を小さく長周期側では大きくするような補正を行ったものに相当する。

$$I = 2 \cdot \log(a) + 0.7 + \log(k \cdot t)$$

I (0～6) : 計測震度 (仮称) (4 捨 5 入して整数値とする。但し、
右辺が 0.5 未満のときは $I = 0$ 、5.5 以上のときは $I = 6$ とする)

a : 加速度 (gal = cm/sec²)

t : 周期 (sec) (暫定的に 0.1～1 秒の範囲)

k : 係数 (暫定的に $k = 3$)

また、継続時間的要素についても考慮するものとする。

なお、計測震度 (仮称) 6 において、被害や地変の状況が特に著しいと認められたときには 7 とする。

(2) 今後、計測震度 (仮称) 観測を実現するためには次の諸点に配慮すべきと考えられる。

- ① 我が国の震度観測点は、昭和 30 年代に比べて大幅に減少し、各地に震度観測の空白部分が生じている。また、震度は観測点の地盤や構造物の条件により異なるので、或る地点の観測値で広い地域を代表することはできない。したがって、震度の計測化を図る場合には、震度の利用価値が十分に発揮されるよう、気象台、測候所を含めより多くの地点において観測が必要と考えられる。
- ② 震度観測の計測化やより多くの場所での観測を早期に実現するためには、必要最小限の要素の観測と迅速な通報が可能な、比較的安価で取り扱いの容易な計器の導入を考慮する必要がある。また、計測震度 (仮称) 算出の基となる計測量の取得、活用ができることが望ましい。
- ③ 将来、震度観測の主体を計測震度 (仮称) に移行するとしても、当面は、現在の震度観測との並行観測が必要である。すなわち、現行の震度観測の補助として計測震度 (仮称) の観測を行い、その間、計測化に伴う諸問題を解決しつつ、あわせて計測量の有効利用について推進を図るべきと考えられる。

また、震度を計測化した場合でも、その観測条件により値が異なることについて十分な理解を得られるよう、解説、PR を行っていくことが必要である。

解説資料 目次

はじめに

§ 1 震度観測の経緯と現状

- (1) 震度観測のはじまり
- (2) 震度観測点の変遷
- (3) 観測条件の変化

§ 2 震度の役割

- (1) 震度と地震学
- (2) 震度と防災
- (3) 震度と歴史地震学
- (4) 震度と地震工学

§ 3 震度観測のあり方

- (1) 現行震度の問題点
- (2) 震度の計測化
- (3) 震度と計算量
- (4) 今後の震度観測

おわりに

はじめに

地震時に気象庁から直ちに発表される震度は、広く国民が地震の状況を把握するために欠かせない情報となっているほか、多くの防災機関等において緊急的な措置等に利用されている。

近年、社会の地震に対する関心が高まるにつれ震度に対する関心も強まり、気象庁が発表する震度について社会的に多くの議論がなされるようになった。

このような状況にかんがみ、本委員会では、地震時に各地の地震の揺れの程度を客観的に迅速、的確に把握する方法についての検討を行った。本報告は、委員会の検討結果をとりまとめたものであり、気象庁が震度観測の近代化について具体的な方策を図る際の指針となることを目指したものである。

§ 1 震度観測の経緯と現状

(1) 震度観測のはじまり

我が国の震度観測は 1872 年(明治 5 年)、御雇教師フルベッキ(Verbeck)、クニッピング(Knippling)らが地震計による観測を始めたころにさかのぼるが、全国的な地震調査は、1884 年(明治 17 年)、当時の内務省地理局が全十八条からなる『地震報告心得』に基づき、全国の郡役所約 600 カ所から地震の状況を収集したことに始まる。当時は、地震計による観測がその緒についたばかりであり、地震現象の把握は震動の強弱、方向、性質(緩急等)などの体感や被害調査等により行われていた。

上記『心得』の第五条には「地震ノ強弱ヲ測ルハ微、弱、強、烈ノ四種ニ區別ス、微ハ僅カニ地震アルヲ覺エシモノ、弱ハ震動ヲ覺ユルモ戸外ニ避ルニ足ラザル者、強ハ往々物品ノ倒伏液体ノ溢出等アリ人々戸外ニ走り避ル者、烈ハ屋宇ヲキ損若クハ倒伏シ或ハ地面ノ変化ヲ起ス者ナリ」とあり、体感や器物の挙動等により揺れの程度が表現されている。

以後、何度かその表現が変わり、福井地震(1948 年)後は震度 7 が加わるなど、変遷はあったものの約 100 年間にわたる震度観測の基本的な考え方は、現在でも生かされ観測が行われている(第 1 表)。

(2) 震度観測点の変遷

前述のとおり、震度観測は約 600 の観測点で始まった。1904 年(明治 37 年)当時、気象官署や民間への委託をあわせ 1,437 の観測所から震度データが収集されたとの報告があり、昭和 30 年代においてもほぼ同数の観測点が維持されていた(第 1 図)。このような震度データは、各地のきめ細かな地震動の状況を推定するための重要な資料となっている。1958 年(昭和 33 年)からは、順次上記観測所の整理が行われ、気象観測についてはアメダス(地域気象観測網)へと移行したが、地震観測の委託は 1969 年(昭和 44 年)から廃止された。現在は、158 カ所の気象官署において震度観測が行われている。

(3) 観測条件の変化

特に近年、気象庁(气象台、測候所)においても庁舎の建て替えや合同庁舎への入居などが進み、観測環境が急激に変化する気象官署が増加しつつある。

観測点の地盤条件や建物構造(木造建物、鉄筋造ビル等)が異なる場合、地震の揺れの程度^(注)(以下、「地震動の強さ」という)、すなわちそれに対応した震度も異なることが考えられる。したがって、今後、観測環境に変化があった場合には十分な解説、広報が必要である。また、震度データを資料として取り扱う場合には以上のことに十分注意を払わなければならない。

(注) 震度は、地震動の強弱、緩急等の性質などを総合的に評価、判定するもので「地震の揺れの程度」という表現が適切と思われるが、本報告書では簡便のため「地震動の強さ」という表現を用いた。

§ 2 震度の役割

(1) 震度と地震学

『地震報告心得』の第十六条に「一地方ニ於テ地震甚ダ微ナルモ之ヲ登録スルヲ要ス 何トナレバ是レ地方大震ノ余波ナルモ未ダ知ルベカラズシテ是ニ因テ各地ノ報告ヲ蒐集シ其強弱遠近ヲ考ヘテ正ニソノ中心ハ何地ニシテ何里方ヘ波及セシヲ知ルヲ得ベケレバナリ」とある。地震計による観測が不十分であった時代には、各地の地震動の強さから地震の震源等の要素を推定し、地震活動に関する客観的な記録を残そうと努めたからにはほかならない。

また、異常震域や震度分布の調査研究による日本列島及び周辺域の地下構造の推定、高周波地震、低周波地震を引き起こす地震の震源過程の研究への利用など、震度資料が地震学の発展に果たした役割は大きい。

その後、地震計の整備が進むにつれ、震度は震源要素等を推定する手段としての価値は薄れつつあるが、上記のような地震学的利用のみならず、社会や産業が発展するに従い防災的、工学的見地からも各分野に利用されるようになっていく。特に、その速報性や地震動の強さを簡便に表現している点で、その利用価値はますます高くなっている。

(2) 震度と防災

地震発生時、震度は直ちに気象庁から地震情報等により発表されている。この震度情報は、単に地震に関する状況を知るためだけではなく、多くの防災機関等において要員の配置や施設の点検等の緊急的諸措置を講じる際の基準として利用されている。また、海底で規模の大きな地震が起こった場合には津波の恐れがあることから、気象庁では各気象官署の震度等を、津波予報の作業を開始する基準の一つとして用いている。一方、沿岸部の自治体等においては、強い地震を感じた場合に津波注意警報が発表される以前に独自の警戒等を開始する所も多い。このように、震度は津波対策を含め地震防災上欠くことのできない情報となっている。

このほか、アンケート等により得られた地震動の強さ（震度）と人間の行動との関連を調査し、地震時における避難等防災対策へ活用しようという研究も行われている。

(3) 震度と歴史地震学

震度観測は明治時代から始まったものではあるが、それ以前の地震（歴史地震）についても、古文書等に残されている地震時の揺れの状況や被害程度から各地の震度を推定することが可能であり、各地域の過去の地震活動やその地域が受けた地震動の履歴が精力的に調査され、地震予知や地震工学の分野に活用されている。震度は過去と現在の地震学及び他の学問との間を繋ぐ役目を果たしているといえることができる。

(4) 震度と地震工学

地震動の強弱という概念の中には、被害の発生も含まれているため、地震工学的見地から震度と物理量との対応を求める試みが何人かの研究者により行われている。これは地震計のない時代あるいは地域における地震動の加速度や速度を推定し、震度の地震工学等への活用を図ろうとする試みである。

一方、ごく近接した地域であっても表層地盤の種類、性状やその層厚により地表における地震動の強さは大きく異なることはよく知られている。しかし、すべての地盤に地震計が高密度に設置されているわけではない。このため、広範囲かつ稠密な震度のアンケートを行い、地震動の強さの分布を求めるという調査がしばしば行われている。このような調査は、地質、地盤の性状を地域的に細分化し、地震動の影響等を調べる一種のマイクロゾーニングであり、震度の利点を積極的に活用した例である。

§ 3 震度観測のあり方

(1) 現行震度の問題点

前述のとおり、震度は多くの分野で活用されているが、利点もあり問題点もあると思われるので以下に整理を行った。

利点としては

- ① 瞬時に周囲の状況を総合的に判断し結果を出すことができる。
- ② 地震計の有無にかかわらず、時、所を選ばず観測を行なうことができる。
- ③ 判断基準が簡便なため理解しやすく、だれでも震度の判定がある程度は可能である。

などが考えられる。

一方、問題点としては次のようなことが指摘される。

- ① 地震動の強さは地盤の影響を強く受けるため、気象庁(气象台、測候所)の発表する震度が必ずしも地域の代表値である保障はない。
- ② また、各構造物(高層ビル、木造建物等)により揺れの程度は異なるため、同一地域、同一地盤上であっても構造物の種類とその位置により震度に相違が生じることは避けられない。
- ③ 震度の観測は、標準的な周波数帯域の地震動を想定した解説文によっているため、極く短周期の急激な地震動や、長周期の緩慢な地震動には必ずしも対応できない。
- ④ 震度が体感による観測である限り、観測者の主観から個人差が生じることは避けられない。なお、気象庁から発表される震度と住民の感じる震度に相違が生じた場合、観測者の個人差が原因であるとの指摘がされるが、上記①及び②も震度に差異を生ずる本質的な問題点であることに留意しなければならない。
- ⑤ 体感による現行震度の観測方法では、人間のいない所(無人)で観測をすることは不可能である。

- ⑥ 現行の震度解説文には、現代の生活環境や建築様式とややそぐわない部分も生じてきている。

以上のとおり、現行の震度観測にはいくつかの問題点があるほか、有感地震の発生状況、震度分布の地域的特性を十分に把握することについての社会の要請が強いことを考慮し、今後は高度情報化社会に対応できるよう震度の観測体制を近代化し、より高度な利用に応えられるよう改善することが望まれる。

(2) 震度の計測化

現行震度は、地震動の強さを表わす量としては取り扱いに限界があり、そのままでは実際の利用に不都合な点も生じてきている。この点を踏まえ、地震動の強さに関連する物理学的要素を計測し、それに基づき計測震度（仮称）を求め、情報発表等を通じ緊急的な諸対策に供するとともに、他方ではより高度な利用のために計測量そのものを提供し、防災対策等に資することも考慮すべきと考えられる。

この計測化が実現すれば、個人差の解消により震度の普遍性を増大させるほか、地域的によりきめ細かな震度観測も可能となり、震度の利用価値は飛躍的に向上するものと思われる。

震度の計測化を図るにあたっては、次の諸点に配慮すべきと考えられる。

- ① 各方面で活用され、国民に長い間慣れ親しまれてきた震度との連続性を維持することは、計測震度（仮称）の普及の上でも、また、地震資料の取り扱いの上でも重要である。したがって、計測震度（仮称）は従来の体感によるものとほぼ対応することが望ましく、これまでの気象庁震度階級と同様の階級を用いることが必要である。
- ② しかしながら、人間の感覚と完全に一致するような計器を開発することは現実には困難であることから、地震動の主要な要素を計測し、ある許容範囲内で現在の震度に相当するもの（計測震度（仮称））を客観的にとらえる方法を開発すべきと考えられる。
- ③ 地震情報等における震度の有用性は、その速報性にあるが、震度6、7の判定は特に被害状況の判断が重要な要素となっており、即断することは一般に困難である。したがって、震度6、7の速報上の取り扱いについては別途考慮する必要がある。
- ④ 計測震度（仮称）を算出するための計測量については、基本的に次の点に留意する必要がある。
 - 1) 物理的に意味があり、また、一般に理解しやすい量であること。
 - 2) 計測量の処理方法はできるだけ簡単なものとする。

(3) 震度と計算量

震度と計算量との対応については、今までもいくつかの調査研究がされている。代表的かつ一般にもよく知られているものとして、河角（1943）による震度と加速度との関係式がある（第2図（a））。

$$I = 2 \cdot \log(a) + 0.7$$

I (0~6) : 気象庁震度 (4 捨 5 入して整数とする。但し右辺が 0.5 未満のときは $I = 0$ 、5.5 以上のときは $I = 6$)

a : 最大加速度 ($\text{gal} = \text{cm}/\text{sec}^2$)

この式は、現在でも加速度を震度に変換する簡便な式として利用されており、通常はその関係を満足するが、第 3 図に示すように関係が成り立たない場合もある。

これは周期等の条件を全く無視し、最大加速度のみから震度の換算を行っていることによるところが大きい。例えば、第 4 図のような地震波形を比べた場合、最大加速度は同一であっても人間や器物に与える影響が異なることはよく知られている。

環境工学分野の研究によれば、短周期の振動になるほど人間の感覚量は低下するといわれていることから、ごく短周期の地震動では震度を小さくする補正が必要と考えられる。

一方、周期の長い場合には、速度や変位振幅がかなり大きくなり、同一加速度ではあっても揺れの程度としては強く感じられると思われる。このような場合は、震度を大きくする補正が必要と考えられる。

すでに指摘したように、地盤、構造物の相違により地震動の強さは異なることから、震度と加速度とを比較する場合には同一地点におけるデータを用いる必要がある。従来、同一場所、同一条件下において、直接、震度と加速度とを比較した観測例が少ないため十分な調査を行うことが困難であったが、本委員会発足後、いくつかのデータを収集することができ、また、関係機関より関連データの提供を受けることもできたので計測化の基本を踏まえつつ上記について具体的検討を行った。

その結果、計測震度 (仮称) の基本的計測量として、周期を考慮した加速度値を採用することが望ましいと考えられる。

周期による震度の補正 (割り引き、割り増し) を模式的の示すと第 2 図 (b) のとおりとなる。実際は、このようなクラス分けを行うと、周期による補正がステップ状になることから現実的ではない。したがって、第 2 図 (c) のとおり周期による補正量は一様に変化するものとした。

これらを整理し具体的に表現すると以下のとおりである。

- ・ 基本的な計測量としては加速度 (a) を用いる。
- ・ 対象とする地震波の周期は、一定の範囲 ($t_1 \sim t_2$) とする。ここで、暫定的に $t_1 = 0.1 \text{sec}$ 、 $t_2 = 1 \text{sec}$ とする。
- ・ 暫定的に周期 $t_1 \sim t_2$ の間の幾何平均的な中央値 t_0 ($= 0.32 \text{sec}$) 近傍において河角式と一致させる。
- ・ 短周期側 t_1 では、河角式により加速度から換算される震度値にマイナスの補正を行う。
- ・ 長周期側 t_2 では、河角式により加速度から換算される震度値にプラスの補正を行う。

・上記 2 項の結果を 4 捨 5 入し、整数とする。

河角式に対応する補正式は以下のとおりとなる。

(補正式) $I = 2 \cdot \log(a) + 0.7 + \log(k \cdot t)$

I : 計測震度 (仮称) (但し、右边が 0.5 未満のときは $I=0$ 、5.5 以上のときは $I=6$ とする)

a : 加速度 ($\text{gal} = \text{cm}/\text{sec}^2$)

t : 周期 (sec)

k : 係数 (暫定的に $k=3$)

また、継続時間的要素についても考慮するものとする

なお、計測震度 (仮称) 6 において、被害や地変の状況が特に著しいと認められたときには 7 とする。また、震度 0 及び 1 についても、今後、データの蓄積を待って検討を加える必要がある。

(4) 今後の震度観測

今後、計測震度 (仮称) 観測を実現する場合には次の諸点に留意すべきと考えられる。

- ① 我が国の震度観測点は、昭和 30 年代に比べて大幅に減少し、各地に震度観測の空白部分が生じていることから、各地域における有感地震の統計が不十分となり、長期的な地震活動の把握等に影響が出ている。また、これまでも指摘したように、観測点の地盤や構造物の条件により震度は異なるので、或る地点の観測値で広い地域を代表することはできない。震度分布の地域的特性を把握しておくことは 1985 年のメキシコ地震の例が示すように、防災対策上からも極めて重要である。したがって、震度の計測化を図る場合には、震度観測の利用価値を十分に発揮できるよう、気象台、測候所を含め、より多くの地点における観測が必要である。
- ② 震度観測の計測化や、より多くの場所での観測を早期に実現するためには、必要最小限の要素の観測と迅速な通報が可能な、比較的安価で取り扱いの容易な計器の導入を考慮する必要がある。また、計測震度 (仮称) 算出の基となる計測量を取得、活用できることが望ましい。
- ③ 将来、震度観測の主体を計測震度 (仮称) に移行するとしても、当面は、現在の震度観測との並行観測が必要である。すなわち、現行の震度観測の補助として計測震度 (仮称) の観測を行い、その間、計測化に伴う諸問題を解決しつつ、あわせて計測量も公表し、例えば気温、風速などの量と同様に慣れ親しまれるように努める必要がある。そのうえで、その有効利用について推進を図るべきと考えられる。

また、震度を計測化した場合でも、観測条件により値が変わることについて十分な理解を得られるよう、解説、PR を行っていくことが必要である。

- ④ 第 1 表のとおり、震度の解説文は何度かの変遷を経ているが、1978 年 (昭和 53 年) に参考事項が加えられたこと以外、震度の解説文は 1949 年 (昭

和 24 年) 当時と同内容となっている。

その表現には、例えば「戸障子」など現代の社会生活にややそぐわなくなっている点もあるので、解説文について、別途、検討を行うことが望ましい。

おわりに

地震動の強さを客観的かつ広範囲に観測することは地震学、地震工学の基礎である。特に、これを迅速に把握することは防災上、不可欠である。

約 3 年にわたる震度観測検討委員会での検討を経て、百年の歴史を持つ我が国の震度観測との連続性を考慮した新しい地震動の強さを計測する方法の見通しを得ることができた。この結果を踏まえ、地震動の強さを客観的に把握できる観測網が構築され、その成果が、地震防災、津波防災、地震学、地震工学等の強化、発展に寄与することを願ってやまない。

なお、建築研究所強震観測検討委員会及び東京工業大学総合理工学研究科地震工学講座より関連データの提供をいただいたことに対し謝意を表します。

第 1 表 震度観測の変遷

1884～1897 明治 17～30 年 「地震報告心得」第 5 条 による。	1898～1907 明治 31～40 年 「震度が分化されたが無 定義、過渡時代」
	0. 微震（感覚ナシ）
微震, Slight 僅ニ地震アルヲ覚ヘシ者	1. 微震
弱震, Weak 震動ヲ覚ユルモ戸外ニ避ルニ足ラザ ルモノ	2. 弱震（震度弱キ方）
	3. 弱震
強震, Strong 往々物品ノ倒伏液体ノ溢出等アリ人 々戸外ニ走り避ル者	4. 強震（震度弱キ方）
烈震, Violent 屋宇ヲ毀損若クハ倒伏シ或ハ地面ノ 変化ヲ起ス者 (備考) 明治 24 年版「地震報告」 震度分布図では烈震の上に劇震 Very Violent あり, ただし定義は ない。	5. 強震
	6. 烈震

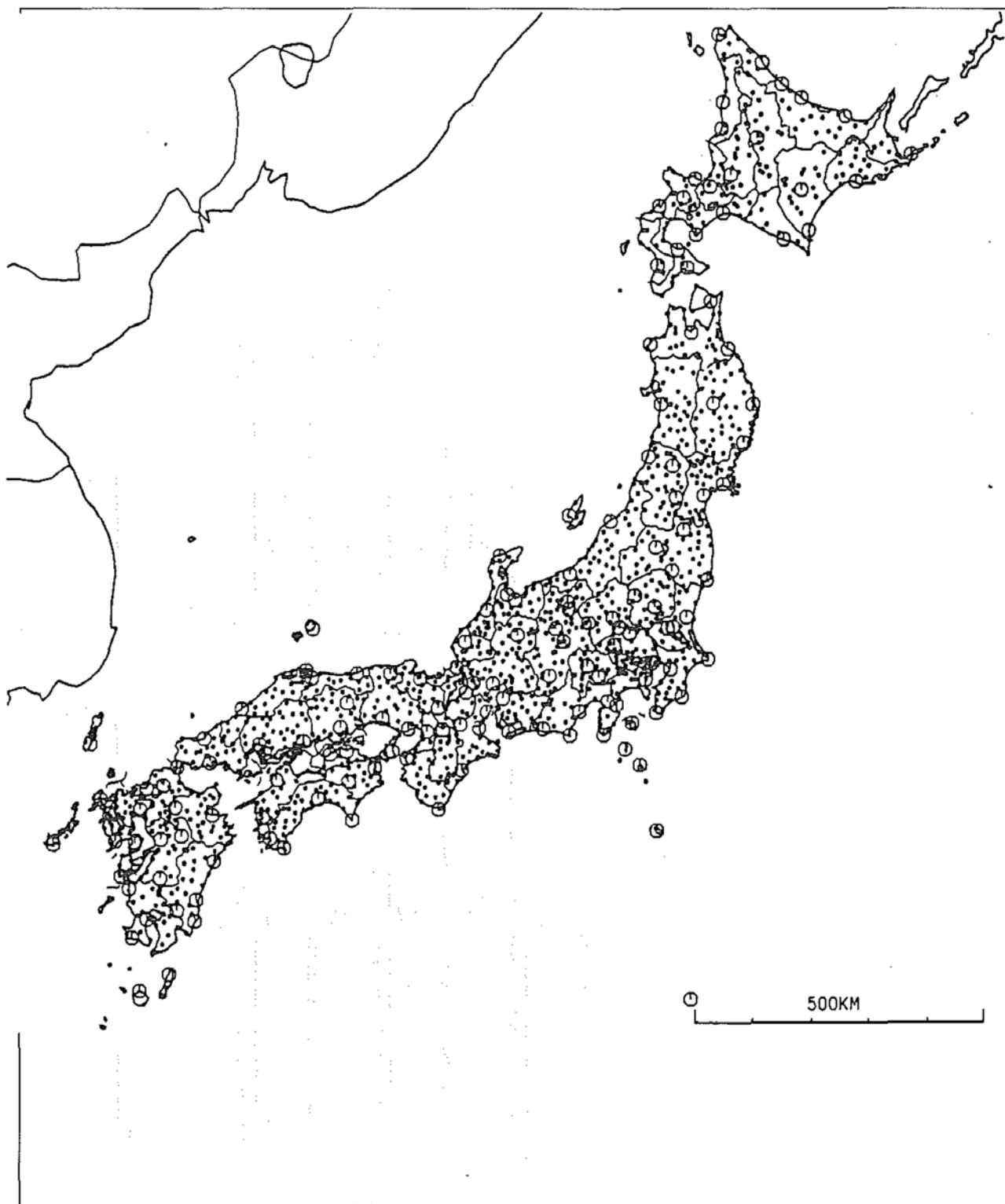
(*) 本表は、三浦武亜(1964): 気象庁震度の変遷, 測候時報第 31 巻第 6 号,
134-138 の「気象庁震度階の変遷概況」に一部に手を加えたものである。

第 1 表 (続き)

1908～1935 明治41年～昭和10年 「中央气象台年報，地震 ノ部」(明治41年)による。	1936～1948 昭和11年～23年 「地震観測法」(昭和11 年発行)による。
0. 無感覚地震 地震計ニノミ感シタル地震	無感：地震動を人身に感知出来ないもの，例えば戸障子等が動く音が聞え，あるいは電燈等の垂下物の動揺が目撃されても震動を直接身体に感じなければ有感とは云はない。
1. 微震 静止セル人若シクハ地震ニ注意深キ人ノ感シタル極メテ輕微ナル地震ナリ	I. 微震： 静止している人や特に地震に注意深い人にのみ感じた程度の地震
2. 弱震(震度弱キ方) 一般人ニ感セシ程度ノ地震ニシテ僅カニ戸障子ノ動く音ヲ聞ク程度ノモノナリ	II. 輕震： 一般の人に感ずる程度のもので戸障子の僅かに動く位の地震〔從來弱震(弱キ方)とよばれてゐたもの〕
3. 弱震 家屋動揺戸障子鳴リ振子時計止リ垂下物動揺，液体ノ動揺等ヲ目撃セシ程度ノモノナリ	III. 弱震： 家屋が動き戸障子鳴動し電燈の様な吊下物や器内の水面の動くのが判る程度の地震
4. 強震(震度弱キ方) 家屋烈しく動揺シ座リ悪キ器物ノ倒伏液体ノ溢出等ヲ目撃シタルモノ或ハ之レニ相当スルモノナリ	IV. 中震： 家屋の動揺が烈しく座りの悪い器物は倒れ，器内の水は溢れ出る程度の地震〔從來強震(弱キ方)と呼ばれてゐたもの〕
5. 強震 壁ニ亀裂石碑石燈籠ノ顛倒煙突ノ破損等ヲ目撃シタルモノ又ハ之ニ相当スルモノナリ	V. 強震： 壁に割目が入り墓石，石燈籠が倒れたり煙突や土蔵も破損する程度の地震
6. 烈震 屋宇ヲ倒シ山嶽ヲ崩壊シ地割レヲ生ジ断層ヲ生ズル等地盤ニ大變動ヲ生シタルモノナリ	VI. 烈震： 家屋が倒壊し山崩れが起り地割れを生ずる程度の地震

第 1 表 (続 き)

1949 ~ 昭和 24 年 ~ 「地震観測法」(昭和 27 年発行) による。	1978 ~ 昭和 53 年 参 考 事 項
0 : 無感 (No Feeling) 人体に感じないで地震計に記録される程度。	吊り下げ物のわずかにゆれるのが目視されたりカタカタと音がきこえても、体にゆれを感じなければ無感である。
I : 微震 (Slight) 静心している人や特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震	静かにしている場合にゆれをわずかに感じ、その時間も長くない。立っていても感じない場合が多い。
II : 軽震 (Weak) 大ぜいの人に感ずる程度のもので戸障子がわずかに動くのがわかる程度の地震	吊り下げ物の動くのがわかり、立っていてもゆれをわずかに感じるが、動いている場合にはほとんど感じない。眠っていても目をさますことがある。
III : 弱震 (Rather Strong) 家屋がゆれ、戸障子がガタガタと鳴動し、電燈のようなつり下げ物は相当にゆれ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震	ちょっと驚くほどに感じ、眠っている人も目をさますが、戸外に飛び出すまでもないし、恐怖感はない。戸外にいる人もかなりの人に感じるが、歩いている場合感じない人もいる。
IV : 中震 (Strong) 家屋の動揺が激しく、すわりの悪い花びんなどは倒れ、器内の水はあふれ出る。また歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震	眠っている人は飛び起き、恐怖感を覚える。電柱・立木などのゆれるのがわかる。一般の家屋の瓦がずれるのがあっても、まだ被害らしいものはでない。軽い目まいを覚える。
V : 強震 (Very Strong) 壁に割目はいり、墓石、石どうろが倒れたり、煙突、石垣などが破損する程度の地震	立っていることはかなりむずかしい。一般家屋に軽微な被害が出はじめる。軟弱な地盤では割れたりくずれたりする。すわりの悪い家具は倒れる。
VI : 烈震 (Disastrous) 家屋の倒壊が 30 % 以下で山くずれが起き、地割れを生じ、多くの人々は立っていることができない程度の地震	歩行はむづかしく、はわないと動けない。
VII : 激震 (Very Disastrous) 家屋の倒壊が 30 % 以上におよび山くずれ、地割れ、断層などを生ずる	



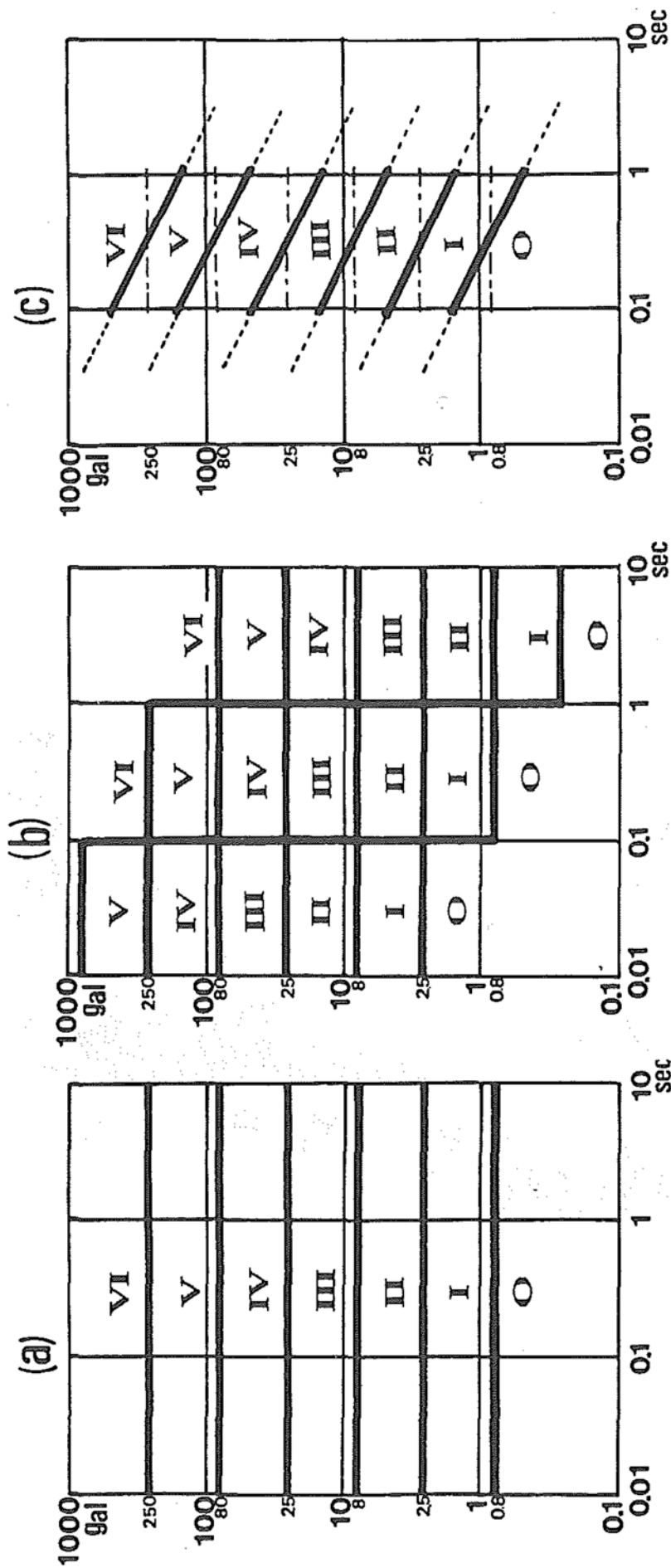
第1図 現在及び昭和34年(1959)当時の震度観測地点

○印:現在、震度観測を行っている気象官署(昭和34年当時もほぼ同様の地点が気象官署として震度観測を行っている)。

●印:昭和34年当時の震度観測地点。

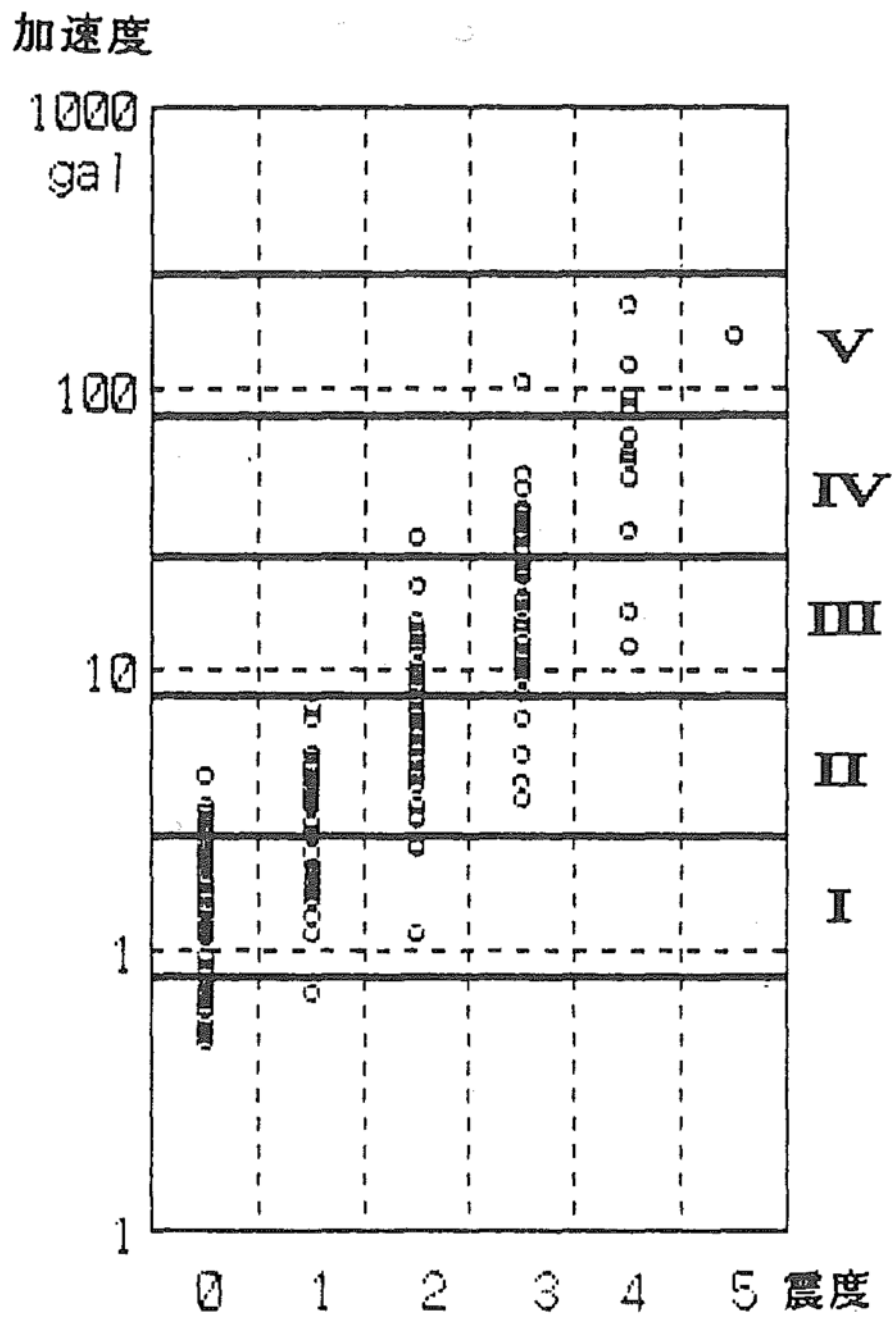
(図の都合等により沖縄、南西諸島を除いた)

昭和34年当時、気象官署を含む観測所には甲、乙、丙、丁の種別があり、いずれか又はそれを組み合わせた気象観測を行っていたが、このうち甲種及び丙種の観測所では、気象観測のほか地震観測を行うこととなっていた。

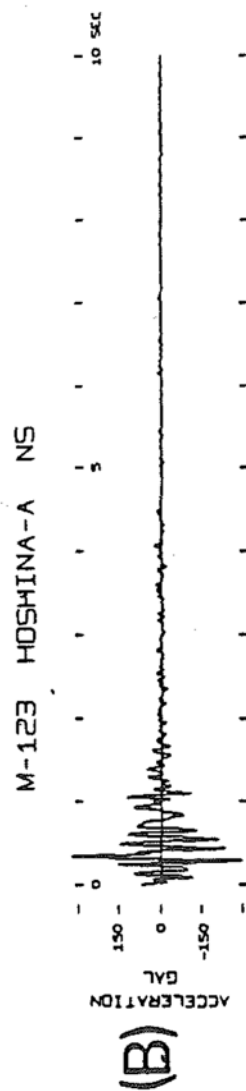
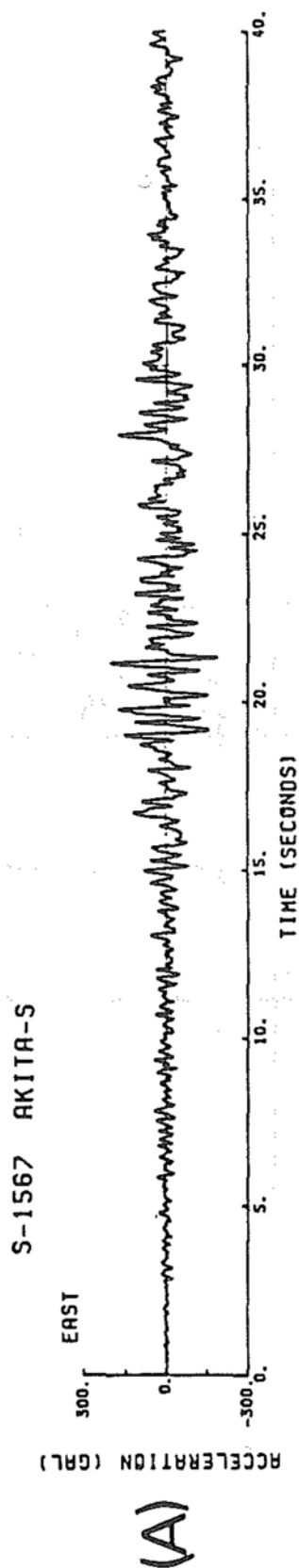


第 2 図

- (a) 河角式による震度と加速度との関係。太実線は、各震度の境界（縦軸上に付した 0.8、2.5、……・250）を示す。この場合、特に地震波の周期による制限はされていない。
- (b) 周期による震度の補正（短周期側では震度を割り引き、長周期側では震度を割り増す）の模式図。
- (c) 周期により震度の補正量を一樣に変化させた場合の模式図。一点鎖線は河角式に対応。



第 3 図 水戸地方気象台、気象庁本庁等において観測した加速度記録から求めた最大加速度(水平 2 成分のうちの最大)と震度との関係。太実線は、河角式による各震度の境界。



第4図 加速度記録例

(A) 「昭和58年(1983年)日本海中部地震」(1983.5.26、M:7.7)の秋田港における加速度記録(最大値:205gal、秋田地方気象台の震度は5)。(昭和58年(1983年)日本海中部地震の港湾地域の港湾観測、港湾技術研究資料、No.458より)

(B) 松代群発地震時の長野市保科における加速度記録(昭和41年(1966年)6月20日、09h30m、M:4.9、最大値:323gal、地震観測所(松代)の震度は4)。

(東京大学地震研究所強震計観測センター(1976年):松代群発地震地域における強震記録のデジタル・データ、強震観測資料第1号より)

震度観測検討委員会委員構成表

昭和 63 年 2 月現在

	氏 名	所 属
会長	宇津 徳治	東京大学地震研究所教授
委員	浅田 敏	東海大学開発技術研究所教授
〃	小口 雄康	法政大学工学部教授
〃	土田 肇	運輸省港湾技術研究所次長
〃	渡部 丹	東京都立大学工学部教授

震度問題検討会検討結果中間報告

1 はじめに

気象庁では地震発生後直ちに各地の震度を発表しているが、この震度情報は、多くの防災関係機関が初動対応、災害応急対策等を実施する際に利用するなど、地震災害の軽減を図る上で極めて重要な情報となっている。また、震度情報は、広く国民が地震の状況を把握するためにも利用されている。

従来震度観測は、気象官署の担当官が体感または周囲の状況から震度を判定するという方法で行われていたが、より客観的かつ迅速に震度を観測するため、昭和63年2月の震度観測検討委員会(昭和60年3月気象庁地震火山部に発足)の報告に基づき、平成2年度より順次震度計を用いた機械観測への移行を進めてきている。

しかしながら、気象審議会第19号答申「今後の地震津波情報の高度化のあり方について」(平成6年10月6日)において、現行の気象庁震度階級には次のような問題点があることが指摘された。

- (1) 現行の震度階級の説明文は、都市を中心としたライフラインの発達、建築物の耐震化や高層化、造成地の拡大等生活環境が大きく変化していることに対応した内容でないため、防災対応のための情報としては不十分である。
- (2) 特に震度5以上の説明については、実際に出現する被害状況の幅が大き過ぎるため、適切な防災対応には十分な内容ではない。

また、現行の震度7の判定方法は、被害の詳細な調査を必要とするため判定までに相当の時間を要するが、このような方法は、災害応急対策等に利用するための防災情報としては適当な方法とはいえない。このことは、平成7年1月に発生した兵庫県南部地震の経験から強く認識されることとなった。

以上の問題点を踏まえ、当検討会では、

- (1) 震度7の判定方法の見直し
- (2) 震度5以上についての震度階級の見直し
- (3) 震度階級説明文の見直し

について検討を行ってきたが、その検討結果について報告する。

2 震度について

現在、気象庁の震度観測は、震度6までについては震度計で計測された値を、震度7については、被害状況の調査結果を用いて行っている。しかし、震度情報が、防災機関の初動対応等に利用されており、その速報性が地震防災上重要な意味を持っていることを考えると、震度7を含め、すべての震度観測を計測化し、速報することが適切であると考えられる。

以上の考えに基づき、震度についての考え方を次のように整理する。

- (1) 震度は、「地震動の強さの程度」を数値化したものであると定義する。
- (2) 数値化するための式(震度の算出式)としては、算出された値が、揺れの結果として現れる現象の変化を概ね合理的に表現していると考えられる現行の算出式を使用する。但し、

- イ) 建物被害との相関を考慮して、震度算出に用いる地震動の周期の範囲を従来より長周期側へ広げる。
- ロ) 「地震動の強さの程度」は、地震動の継続時間にも関係していることから、現在の震度算出方法では、震度5及び6について、加速度振幅がそれぞれの震度に対応するある値以上となっている時間の合計が一定時間未満の場合には、震度を1下げるという方法を用いている。しかし、このような方法では震度を連続量として扱うことができないため、算出される震度の値が連続量となるような方法に改める。

の2点について、計算方法を改める必要がある。

- (3) 以上のように震度を定義することにより、震度は階級でなく、数値化された連続量として扱うことができる。

震度をこのように定義する一方、震度情報が地震防災情報として有効に活用されるためには、このように定義された震度と、地震の揺れの結果として生じる現象との関係を可能な限り明確にする必要がある。このため、震度を一定の範囲で括り、その範囲の震度について発生する現象を説明するという方法を採用することとする。これは、新たに震度階級を定義することにほかならないが、以下の点で従来の考え方とは異なっている。

- (1) 従来は、説明文の内容が震度階級の定義であったのに対し、この方法では震度計で計測される値を用いて震度階級を定義している。したがって、震度階級の定義を変えることなく、社会生活の変化に対応して、説明文の内容を改めることが可能である。
- (2) 「地震動の強さの程度」が同じであっても、建物の種類(高層建築物、木造建物等)、耐力、固有周期等によって、実際に発生する被害は異なってくる。これは、ある震度が観測された際に発生する現象は、一定のものではなくある程度の幅があることを意味する。したがって、説明文に記載される内容は、あくまである震度が観測された際に、一般的に発生する現象であると理解することが必要である。

以下本報告書においては、従来の「震度」と区別するため、先に定義した「地震動の強さの程度を数値化したもの(具体的には震度計により算出された値)」については、「計測震度」と表すこととする。

また、計測によらず、体感、被害調査等によって推定される震度については、今後計測震度と区別するため、別途適当な名称を用いる必要がある。

3 新しい震度階級について

以上のような考え方にに基づき、計測震度の値を用いることにより、新たに震度階級を以下のように定義する(図1)。

- (1) 震度0から震度5までの定義

現行の震度階級は、被害の様相の変化を概ね適切に表現していると考えられる。また、現行の震度算出式は、震度5までについては、算出された値を四捨五入した整数値が、震度の値と一致するように作られている。これらについては、下記(3)で述べる問題点を除けば、特に変更する必要性は認められないので、これまでの関係の通り、計測震度の値を四捨五入した整数値が震度の値となるよう、震度0から震度5までを定義する。

(2) 震度 6 及び 7 の定義

現在、震度 6 の上限となる計測震度の値は決まっていない。これについて、次の事例を参考として検討する。

- イ) 震度計により震度 6 が観測された例は過去 4 例あるが(表1)、いずれも計測震度は 6.5 未満であり、また、観測された気象官署周辺の被害は、震度 6 またはそれ以下と考えるのが妥当である。
- ロ) 兵庫県南部地震で現地調査の結果、震度 7 の揺れがあったとされる範囲(実際には、この範囲内では震度 6 以下と震度 7 の地点が混在していると考えられる)で観測された強震加速度波形から計測震度を算出すると、6.5 前後の値となる(図2)。

以上のことから、震度 7 を計測震度 6.5 以上と定義すれば、対応する現象が現在の震度 7 の説明文の内容とほぼ一致すると考えられる。また、このように定義することにより、計測震度を四捨五入した値が震度を表すという関係を、保つことができる。

(3) 震度 5 及び 6 の分割

上記(1)及び(2)によって、震度 0 から 7 までを定義した上で、改めて震度階級を概観すると、震度 5 及び 6 については対応する現象の幅が大きい。このため、適当な計測震度の値で震度階級を分割することにより、対応する地震被害をある程度分離することができれば、防災上有効であると考えられる。これについては、引き続き検討を行う。

4 今後の検討について

新しい震度階級は、従来の震度階級とほぼ対応して作られてはいるが、震度階級の定義が変更されたため、説明文の内容も従来とは異なる可能性がある。また、従来この説明文は、震度を即時に判定する必要性から比較的簡単な内容であったが、防災上有効なものとするため、今後は発生する現象が把握できるような内容とする必要がある。

以上のような点を踏まえ、震度 5 及び 6 の分割、並びに震度階級説明文の適正化について、今後検討を続けていく。

(謝辞)

計測震度を算出するため、大阪ガス、関西地震観測研究協議会、港湾技術研究所の観測記録を使用させて頂きました。関係者の方々のご協力に感謝します。

現行震度階級と新震度階級

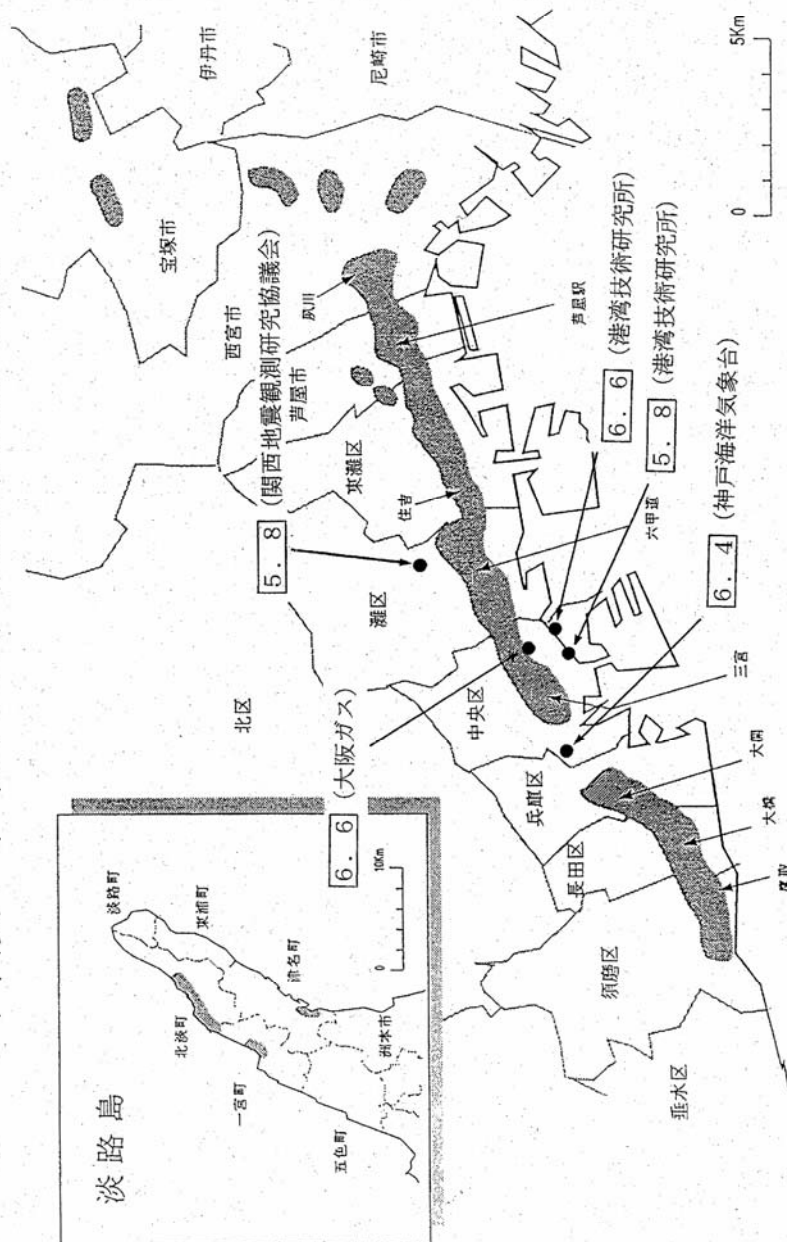
現行震度階級	計測震度	新震度階級
震度 7	6. 5	震度 7
震度 6		震度 6
震度 5	5. 5	震度 5
震度 4	4. 5	震度 4
震度 3	3. 5	震度 3
震度 2	2. 5	震度 2
震度 1	1. 5	震度 1
震度 0	0. 5	震度 0

表 1

震度 6 を観測した地震における算出された震度と被害状況

地震名	観測点	震度	加速度及び周期		震度算出値 (暫定値)	被害状況
			最大値	周期		
釧路沖地震 (1993年)	釧路	6	921.2cm/sec ²	0.37sec	6.4	地割れや崖崩れが多数発生。崖崩れにより家屋が損壊。アスファルト道路に大きな亀裂。液状化により港湾施設に被害。
北海道 東方沖地震 (1994年)	釧路	6	457.2cm/sec ²	0.37sec	5.7	被害状況から判断すると、釧路市内の大部分の地域で震度 5、一部地域で震度 6 ないし震度 4。
三陸 はるか沖地震 (1994年)	八戸	6	604.1cm/sec ²	0.25sec	5.6	鉄筋建物の柱が破損し、鉄筋が折れ曲るなどの被害が発生。ライフライン特に水道施設の被害が著しい。
兵庫県南部地震 (1995年)	神戸海洋 気象台	6	818cm/sec ²	0.7sec	6.4	気象台付近は倒壊率5%未満。

「平成7年(1995年)兵庫県南部地震」



震度問題検討会検討結果最終報告

1 はじめに

気象庁では地震発生後直ちに各地の震度を発表しているが、この震度情報は、多くの防災関係機関が初動対応、災害応急対策等に利用するなど、地震災害の軽減を図る上で極めて重要な情報となっている。また、震度情報は、広く国民が地震の状況を把握するためにも利用されている。

従来震度観測は、気象官署の担当官が体感と周囲の状況から震度を判定するという方法で行われていたが、より客観的かつ迅速に震度を観測するため、昭和63年2月の震度観測検討委員会(昭和60年3月気象庁地震火山部に発足)の報告に基づき、平成3年から順次震度計を用いた機械観測への移行を進めてきている。

しかしながら、気象審議会第19号答申「今後の地震津波情報の高度化のあり方について」(平成6年10月6日)及び平成7年1月の兵庫県南部地震の経験により、現行の気象庁震度階級には次のような問題点があることが指摘されている。

- (1) 現行の震度階級の説明文は、都市を中心としたライフラインの発達、建築物の耐震化や高層化、造成地の拡大等生活環境が大きく変化していることに対応した内容でないため、防災対応のための情報としては不十分である。
- (2) 特に震度5以上の説明については、実際に出現する被害状況の幅が大き過ぎるため、適切な防災対応には十分な内容ではない。
- (3) 現行の震度7の判定方法は、被害の詳細な調査を必要とし、判定までに相当の時間を要するため、災害応急対策等に利用するための防災情報としては、適当な判定方法とは言い難い。

当検討会は、このような問題点を踏まえ、気象庁震度階級の見直しについて検討を行い、震度7の判定方法等については、平成7年7月5日に検討結果の中間報告を行った。その後、更に検討を重ねた結果、気象庁震度階級の見直しについて結論を得たので、ここに最終的な検討結果を報告する。

2 震度について

当検討会は中間報告において、震度情報が、防災機関の初動対応等に利用されており、その速報性が地震防災上重要な意味を持っていることを考慮し、

- (1) 震度を「地震動の強さの程度を数値化したもの」と定義し、震度計により計測される連続量であるとする。但し、従来の「震度」及び以下に記す震度階級としての「震度」と区別するためこの計測値を「計測震度」と表す。
- (2) 震度の各階級は、計測震度の値で定義する。
- (3) 上記の考え方にに基づき、計測震度6.5以上を震度7と定義する。また、震度6以下についても計測震度の小数点第一位を四捨五入した整数値として定義する。

ことを報告した。計測震度は、地震動の加速度、周期、継続時間から計算されるもので、その計算アルゴリズムは別添資料「計測震度の算出方法」のとおりである。

3 震度階級の分割について

中間報告で指摘したとおり、震度5及び6については対応する現象の幅が大きいため、適当な計測震度の値によって震度階級を分割することが、防災上有効であると考えられる。この場合、計測震度のどの値で分割するかが問題となるが、実際のところある計測震度の値を境として、発生する被害の様相が急激に変化することは考えられない。それは、

- (1) 地震動の強さも、それに対応して発生する被害の様相も、連続的に変化すると考えられること。
- (2) ある震度に対応して発生する被害には、ある程度の幅があること。

による。したがって、どの値で分割するかは厳密に決定されるものではなく、分割してできたそれぞれの震度階級間で、全体として被害の様相が異なっていれば十分である。

このことを考慮すると、震度5、震度6はともに等分割、すなわち、計測震度5.0で震度5を分割し、同様に計測震度6.0で震度6を分割することが自然であると考えられる。分割された震度階級の名称については、震度5または震度6を分割してできた震度階級であることが、即座に理解できるよう表1のような名称が望ましいと考えられる。

兵庫県南都地震程度の地震であっても、実際に震度7の揺れが生じる地域はそれ程広くないため、震度計によって震度7が観測されない可能性がある。このような問題に対処するため、当面は、震度6(強)が観測された際には震度7の地域が存在する可能性があることを留意して、緊急の防災対策等を実施する必要がある。また、将来的には、震度計が設置されていない地域の震度を推定する手法の導入を検討する必要がある。

また、同様に震度7についても計測震度7.0で分割すること、更に、計測震度7.5以上は震度8とすることが考えられるが、①震度7は最大級の被害をもたらすものであると認識されており、防災対応も最大級の措置がとられるため、震度7以上を分割しても現状では防災上意味がないこと、②計測震度7.0以上を観測した例がなく、実際上どのような被害が発生するか不明確なことから、現在のところでは、震度7以上の分割は考えないこととする。

なお、現行の震度階級表にある各階級の名称(微震、軽震、弱震等)は不要と考えられるので、新しい震度階級からは除くことが適当である。

4 解説表について

震度情報が、災害応急対策等の防災対策を実施する上で有効な情報となるためには、ある震度が観測された際に、実際にどのような現象、被害が発生するかをあらかじめ示しておく必要がある。このため、震度計の整備が始まった平成3年以降の被害地震について、観測された計測震度とその付近の地震被害とを対照させることによって、また、従来の震度に関する経験等を参考にして、別添の「気象庁震度階級関連解説表」を作成した。しかし、この作成にあたっては以下のような困難な点がある。

- (1) 同じ地震動であっても、対象物の性質—例えば、建物の種類、耐震性能、固有周期

等一が異なれば、発生する現象は異なる。また、発生する被害の程度は、本来地震動全体の性質で決まるものであり、複雑な地震動の強さを、計測震度という一つの数値で表現することには無理な面がある。このため、同じ震度であっても対象物の性質や地震動の性質によって発生する現象が異なることがある。

- (2) 震度計が整備されてから間が無く、また、平成5年までは震度計の数も少なかったため、特に震度が大きい場合の被害事例は不十分である。

このため、この「気象庁震度階級関連解説表」を使用するにあたっては、

- (1) 各震度に対応して発生する現象は、同じではなく、ある程度の幅があることから、各震度階級の解説文が記述する内容は、ある震度が観測された際に通常発生する現象を示したものであり、これより大きな被害が発生したり、逆に小さな被害にとどまる可能性があること。
- (2) 解説表は、主として平成5年釧路沖地震以降の最近の被害地震の事例を参考に作成しているが、少数の事例であるため、今後、事例の蓄積に応じ、内容を再検討する必要があること。また、建築物の耐震性の向上等に応じて、内容を変更すべきものであること。

に特に留意する必要がある。

なお、土木構造物の被害、地盤の液状化についても検討を行ったが、以下の理由により解説表に掲載しないこととした。

- ・震度は元来、体感や建築物の被害に基づいて作られたものであり、土木構造物の被害との対応は必ずしも良いものではないため、同じ震度であっても現れる現象の幅が大きい。また、これらの被害と計測震度との関係を示す事例が少ないため、震度と対応させることは現状では困難である。
- ・地盤の液状化については、震度より地盤の性質で左右される面が大きいため、震度と対応させることは困難である。

震度はあくまで計測震度から定めるものであり、「気象庁震度階級関連解説表」に記述される内容は、その震度が観測された際に一般的に発生する現象を示したものである。これは、説明文で記述される事象が震度の定義であった従来の「気象庁震度階級」とは、震度と説明文の関係が反対になっている。この点を明確にするため、「気象庁震度階級」ではなく、「気象庁震度階級関連解説表」という名称を用いることとした。

また、種々の目的のため体感や被害調査などから揺れの強さを推定することは、今後実施されるものと考えられるが、これらは、計測震度から決まる震度とは異なるものであることから別途適当な名称を用いる必要がある。

謝辞

本報告書の作成に当たり、以下の方々から貴重なデータやご意見を頂きました。関係者各位のご協力に感謝し、厚くお礼申し上げます。(なお、大変恐縮ですが、敬称は省略させて頂きました。)

浅田 秀子	有限会社 日本語コスモス
宇佐美龍夫	東京大学名誉教授
大西 一嘉	神戸大学工学部助手
鏡味 洋史	北海道大学工学部教授
垣見 俊弘	財団法人 原子力発電技術機構特別顧問
片山 恒雄	東京大学生産技術研究所教授
勝又 護	元気象庁気象研究所地震火山研究部長
上之菌隆志	建設省建築研究所第四研究部施工技術研究室長
亀田 弘行	京都大学防災研究所教授
川上 英二	埼玉大学工学部教授
小谷 俊介	東京大学工学部教授
坂本 功	東京大学工学部教授
高田 至郎	神戸大学工学部教授
津村建四朗	山形大学理学部教授
中川 康一	大阪市立大学理学部教授
中瀬 明男	株式会社 日建設計特別顧問
能島 暢呂	広島工業大学工学部講師
村上 雅也	千葉大学工学部教授
山崎 文雄	東京大学生産技術研究所助教授

運輸省港湾技術研究所
日本電信電話株式会社
応用地質株式会社
大阪ガス株式会社
関西地震観測研究協議会
関西電力株式会社
電気事業連合会
東京都水道局
社団法人 日本ガス協会
財団法人 日本建築防災協会

表 1

計測震度	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
震度階級	0	1	2	3	4	5 (弱)	5 (強)	6 (弱)	6 (強)
									7

計測震度の算出方法

1 経緯

震度観測のあり方について検討するため、昭和60年3月、気象庁に発足した震度観測検討委員会は、昭和63年2月にとりまとめられた検討結果報告において、震度観測を計測化する場合の算出式を提案している。それは、河角による震度と最大加速度の関係式

$$I = 2 \cdot \log a_m + 0.7 \quad (1)$$

に、体感による震度とより一致するよう周期の影響を考慮した項を加えた式

$$I = 2 \cdot \log a_m + 0.7 + \log(k \cdot t) \quad (2)$$

で、更に継続時間的要素についても考慮するとしている。ここで、

I : 震度(四捨五入にして整数値とする、また、この式を用いるのは震度6
までで、震度7の判定は被害状況の調査による)

a_m : 最大加速度($\text{gal} = \text{cm/sec}^2$)

t : 周期(sec) ($0.1 \leq t \leq 1.0$ の範囲に限る)

k : 係数

である。

しかし、実際にこの式を適用して震度を計算する際には、周期の決定に任意性が残るため、単純に最大加速度とその周期を式(2)に代入するのではなく、次項に述べるように、地震動全体を周波数領域でフィルター処理する方法を採用した。

また、継続時間的要素の考慮として、加速度が250gal及び80gal以上である時間の積算をそれぞれ τ_1 、 τ_2 とし、

a) 式(2)に基づいて算出された震度が6であって、 $\tau_1 < 0.5\text{sec}$ の場合は震度を5

b) 同様に、算出された震度が5であって、 $\tau_2 < 0.5\text{sec}$ の場合は震度を4

とした。

当検討会では、このような従来の算出方法を以下のように修正することを提案し、算出された値を従来の震度と区別するため「計測震度」と呼ぶこととしている。

① 建物被害との相関を考慮して、震度算出に用いる地震動の周期の範囲を長周期側へ広げる。

② 計測震度の値が連続量として扱えるよう、継続時間考慮の方法を改める。

③ 従来は、各成分毎に震度を算出していたが、これをベクトル量として扱うこととする。

次項において、この修正を含めた新しい計測震度の算出方法について述べる。

2 計測震度の算出方法

計測震度は、加速度計(0.1Hz～50Hzで平坦特性)のデジタル記録3成分(水平動2成分、上下動1成分)を用いて算出する。算出処理は次の手順で行う。

① フーリエ変換

各成分の加速度記録をフーリエ変換し、スペクトルを計算する。

② フィルター処理

①で計算されたスペクトルに、次の3種類のフィルターを掛ける。

ア) 式(2)の周期に関係した項に対応するフィルター $(k/f)^{1/2}$

k : 式(2)のkに同じ

f : 周波数

イ) ハイカットフィルター

$$(1 + 0.694X^2 + 0.241X^4 + 0.0557X^6 + 0.009664X^8 + 0.00134X^{10} + 0.000155X^{12})^{-1/2}$$

$$X = f / f_c \quad (f_c=10\text{Hz})$$

ウ) ローカットフィルター $(1 - \exp(-(f/f_0)^3))^{1/2}$

f_0 : 震度算出に用いる周波数の下限(パラメータ)

フィルターの総合特性を図1に示す。

③ 逆フーリエ変換

②の処理をしたスペクトルを逆フーリエ変換し、フィルター処理された加速度波形を求める。

④ ベクトル合成

①～③の処理を各成分毎に行い、フィルター処理された各成分の加速度波形をベクトルの的に合成する。

⑤ 継続時間を考慮した振幅の決定

④で求めたベクトル波について、その絶対値があるレベルa以上である時間の合計を $\tau(a)$ とする(図2)。ベクトル波の絶対値の最大値を a_m とすると、定義から明らかなように

$$\tau(a_1) > \tau(a_2) \quad (0 \leq a_1 < a_2 \leq a_m)$$

$$\tau(a) = 0 \quad (a_m < a)$$

となる(図3)。この τ を継続時間と呼ぶこととする。この時、逆に適当なパラメータ τ_0 について、ちょうど $\tau(a_0) = \tau_0$ となる値 a_0 を求める。

⑥ 計測震度の算出

フィルター処理によって、式(2)の周期に関係した項については考慮済みであるので、

⑤で求めた a_0 を、式(1)の a_m に代入し、計測震度(I)を求める。

⑦ パラメータ

計測震度計算でパラメータとしている量は、 k, f_0, τ_0 の3つである。このうち、 f_0, τ_0 は計測震度と体感や建物被害との相関がなるべく高くなるよう、また、 k は従来の算出方法による震度の値と平均的に一致するよう、暫定的に以下のように決める。

$$k = 1.75$$

$$f_0 = 0.5(\text{Hz})$$

$$\tau_0 = 0.3(\text{sec})$$

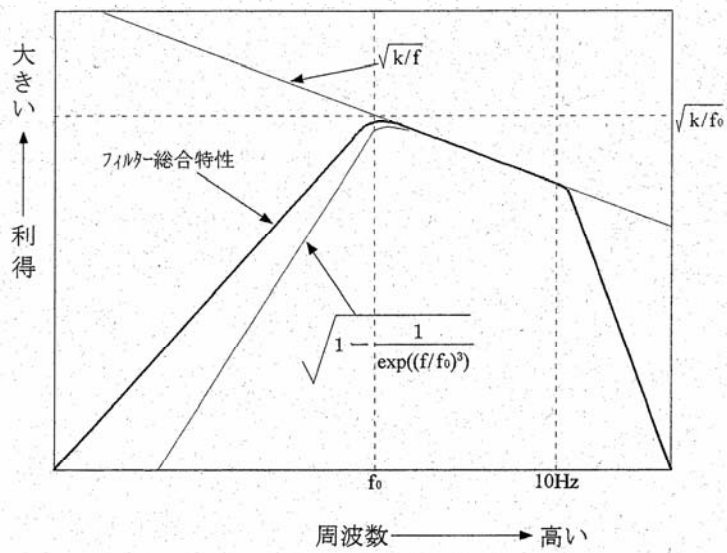


図1 フィルターの総合特性（両対数スケール）

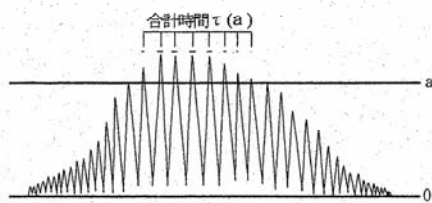


図2 継続時間の算出方法

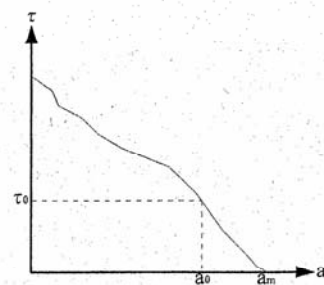


図3 継続時間 τ と敷居値 a の関係

