

論文の内容の要旨

論文題目 A Revision of Magnitude Determination Methods
for Regional Earthquakes In and Around Japan
(日本およびその周辺で発生する地震のマグニチュード
決定法の見直し)

氏 名 勝間田 明男

気象庁の地震カタログは日本およびその周辺の地域を対象とした代表的な地震カタログである。気象庁カタログのマグニチュード (M_{JMA}) は、地震活動・強震動予測等の研究に用いられてきている。しかし、その M_{JMA} に関して問題点が指摘されてきた。本研究においては、モーメントマグニチュード M_w が一般化した現時点において、地域観測網から得られる最大振幅に基づくマグニチュード (以下 M と略す) 決定法を見直し、これまで指摘されてきた問題点の解決を図る。

浅い地震 (深さ 60km 以浅) の変位振幅 M は坪井 (1954) により定義された。坪井 (1954) は、気象庁の固有周期 5~6 秒の変位型地震計により観測された最大振幅から、Gutenberg and Richter (1949) の M に平均的に一致する M を算出する式を提案した。勝又 (以下 KM と略す) (1964) は、深さ 60km をこえる地震について、同振幅データを用いて Gutenberg and Richter (1954) の $M(m_B)$ に平均的に一致する M 決定法を定義した。これらの方法により決定された M が、 M_{JMA} として公表されている。

変位振幅 M には、次のような問題点が指摘されている。

- 深さ 60km における坪井式と KM 式のくいちがい。
- 深い地震における M_{JMA} と M_w の偏差。
- 観測網更新 (1994) における不連続。
- 震央距離 100km 未満における KM 式の未定義。

M_{JMA} を Dziewonski *et al.* (1981) による CMT 解から計算される M_w と比較した結果、60km 以浅の地震に対しては、 M_{JMA} 5~7 の範囲において M_{JMA} と M_w の平均的な差は 0.1 以内であった。 M_{JMA} と M_w の間には M_{JMA} 5~7 の範囲において大きな M 依存性は認められない。これは対数変位振幅の係数として用いられている 1.0 という値が、 M_w と震源から比較的近傍で観測された変位振幅の関係を表す上で妥当であることを示している。

それに対し、深い地震については $\overline{M_{JMA} - M_w}$ は深さとともに増加し、深さ 600km 付近では約 0.4 となる。これは、 M_{JMA} 5~7 の深い地震において m_B が系統的に M_w よりも大きいことを示唆している。

1994 年には、地震観測網の更新が行われ、それまで気象庁において約 100 年にわたり継続されてきた場所から地震観測点の移動がなされた。この観測網更新に伴い、 $\overline{M_{JMA} - M_w}$ にして $-0.1 \sim -0.2$ の変化が認められる。

問題点を解決するために、Dziewonski *et al.* (1981) による CMT 解から計算した M_w に基づいて、変位振幅の減衰関数を求めた。この減衰関数により、あらゆる深さにおいて連続で、平均的に M_w からの差が 0.1 以内となる従来型の M が計算可能となった。長期の地震活動を検討する上では、長期間にわたり一様なカタログを提供できることから従来型の M が有用であるが、本研究で提案した方法を用いることにより、長期にわたり深い地震を含めて M_w と比較可能な地震カタログを提示可能となる。

得られた減衰関数において、震央距離約 500km 以上では深さ 200km の地震の地震波よりも深さ 400km の地震の地震波の減衰が小さい。これは勝又 (1964) も指摘していることである。低減衰 ($Q_S = 1500$) の沈み込むプレートとそれを取り囲む高減衰 ($Q_S = 100$) の上部マントルという不均質非弾性構造を仮定して非弾性による減衰の効果をみつめた結果、深さ 200km と 400km の地震の地震波減衰の関係がほぼ再現された。得られた減衰関数は、日本列島周辺の沈み込み帯特有の非弾性構造の影響を強く反映したものである。

周期 5~6 秒の変位型地震計では、周期数秒の脈動のために、 $M < 5$ の地震の振幅を必ずしも観測可能とは限らない。そのため、多くの地震観測網においては短周期速度型地震計 ($T_0 = 1s$) を使用して、規模の小さな地震の観測を行っている。気象庁では、短周期速度型地震計により観測された最大速度振幅に基づく M も決定しているが、速度振幅 M について次のような問題が指摘されている。

- 対数速度振幅の係数の変位振幅 M に対する不適合。
- 深さ 60km より深い地震に対する M の未定義。

これまでの速度振幅 M においては、対数速度振幅の係数として 1.0 を用いている。この速度振幅 M と変位振幅 M を合わせて、 M -度数分布図を作った場合には、

変位振幅 M と速度振幅 M の切り替わる $M:4 \sim 5$ の範囲において、グラフの折れ曲がりが見られる。これは、1.0 という係数が対数速度振幅と変位 M を関連づけるには、不適當であることを示している。変位振幅と速度振幅の直接の比較からも、1.0 という係数が不適當であることが示された。本研究では、渡辺 (1971) により坪井の M に対して得られた $1/0.85$ という係数を採用した。最終的に、この渡辺 (1971) による係数は、速度振幅と M_w の関係を表す上でも、よい近似であることが示された。この係数により小規模な地震にまで、Gutenberg-Richter の式のも値の適正な評価が可能となった。

規模の小さな深発地震の M を地域観測網からえられるデータに基づいて適正に評価する方法がこれまでなかった。小さな深発地震の規模を評価する方法としては、グローバル観測網のデータに基づく m_b があるが、比較対象がないために、その評価は十分にはなされていない。規模の小さな深発地震の M を決定することは、上部マントル深部でのプレート内部の力学的状態を把握する上でも重要である。

速度振幅の減衰関数推定においても、速度振幅と同様に M_w に基づいた。しかし、現在公表されている地震モーメントカタログには、 $M < 5$ 、深さ約 600km までの範囲の地震モーメントを十分な数だけ含んでいるものはない。そこで、本研究において、小規模な深発地震を含む地震のモーメントの推定を行った。

日本列島周辺においては太平洋プレートが沈み込み、その深さは 600km 以深にまで及んでいる。深発地震からの地震波は、プレート内部の低減衰とその周辺の上部マントルの高減衰の影響を非常に強く受け、周期 1 秒の地震波においてその経路によって 1 桁以上の振幅の違いを生ずる。地震の規模を推定する上ではその 3 次元不均質構造を考慮する必要がある。地震モーメントを推定するための理論波形を計算する際には、プレートによる非弾性 3 次元不均質構造をモデル化した。推定した M_w に基づき、速度振幅の減衰関数を求めた。振幅の減衰関数を、震源深さと震央距離の関数とした場合には、それからの残差と海溝軸と観測点との距離との間に、明確な依存性が認められ、その差は深発地震では 0.5 を越える場合もある。海溝軸と観測点間の距離もパラメータとして含ませた補正を採用した。

地震波の振幅と地震モーメントの関係に関しては、これまでは主として周波数領域において議論されてきた。本研究においては、時間領域振幅と相似則に関する検討を行った。対数速度振幅と M_w の間の係数は、経験的に $1/0.85$ に近い値であることが示されたが、Aki (1967) による ω^2 モデル等の相似則から予測されるその値は 2.0 である。この値は、相似的なスペクトルモデルを仮定する限り同様である。

観測された地震波のスペクトル構造が相似則に従うとすると、観測された係数の値は説明できない。規模に応じて、地震波のスペクトルの形が非相似的に変わることが仮定すると、経験的に得られた係数の値を説明できた。しかし、震源の

みにその原因を求めるとすると、極端なパラメータを仮定する必要がある。また、経路の影響がとり除かれるように規模の異なる地震の観測波形のスペクトル比をとると、 ω^2 モデルからの大きな偏差はみられない。観測された地震波形を経験的グリーン関数として用いて、経路の影響について検討した結果、経路の影響によりこのような経験値が得られることが示された。強震動予測のためにこれまで提案されてきた式の M_w と対数速度震幅の係数は 1.2~2 程度に分布していたが、経路の影響をどの程度受けたかの違いにより、これらの違いが説明される。

本研究で得られた結果を用いることにより、現行の M_{JMA} の様々な問題点の解決がなされ、深い地震を含めた長期の地震活動の評価が可能となった。本研究において提案された方法は、気象庁の地震カタログの M として採用されることとなっている。