

気象庁とUSGSの震源要素の地域的比較及び松代の走時残差*

涌井 仙一郎**

The Relation Between Epicenter Parameters in and near Japan
Determined by JMA and USGS and Travel Time Residuals at
Matsushiro

Sen-ichiro Wakui
(Seismological Observatory, J.M.A.)

The regional difference between epicentral parameters determined by the Japan Meteorological Agency (J.M.A.) and the U.S. Geological Survey (USGS), and travel time residuals of P and S waves at Matsushiro for earthquakes occurring in and near Japan with $MJ \geq 4.5$ during 1978~80 have been investigated. For earthquakes in and along the coast of Japan, J.M.A.'s epicenters systematically have east or southeastward biases compared with those of USGS.

For earthquakes near the Izu-Bonin-Mariana Islands arc, the greater the distance from the land along the Japan Trench, the larger is the significant eastward bias of the J.M.A.'s epicenters. Concerning the origin times a critical difference exists for shallow earthquakes; on an average the J.M.A.'s are 1 second earlier for all data. It seems that the J-B's travel time table is not valid for shallow earthquakes in and near Japan.

There is a large difference between MJ and MB for earthquakes along the Japan Trench MB are greater off the eastern coast of Hokkaido, while MJ are greater off Sanriku. We found the relationship between MSz and MJ is $MSz = 1.02MJ - 0.24$

Travel time residuals of P wave at Matsushiro for earthquakes in inland Japan are within 1 second on an average. Travel times are earlier by 3 to 5 seconds for some earthquakes off the eastern coast of Hokkaido and off Urakawa.

§1 はしがき

日本およびその周辺に発生する地震について、気象庁(JMA)の地域的観測網とUSGSおよびISCのグローバルな観測網によって震源要素の比較は市川(1978, 1979), MAKI(1982)等により、地域による系統的な偏りが指摘されている。気象庁では1978年より千島列島南部および北海道東方沖の地震に対する走時表(東北・関東地方の観測点に使用)を用いており、又、新しい走時表(MAKI, 1982)や地域的走時表(市川, 1979)が検討されている。

最近、気象庁の地震観測精度は格段と向上し、観測点の分布と検知能力あるいは基準走時表などを考えると信頼度は向上している。特殊走時表が使用された

1978年以後、気象庁の震源要素とUSGSの震央位置、Origin Time、震源の深さ、マグニチュードとの相違、さらに日本列島の中央部に位置する松代のP、S波の走時残差を地域別に調べた。

§2 JMAとUSGSの震源要素の比較

1978~1980年の期間、日本およびその周辺に発生した $MJ \geq 4.5$ の地震を対象にJMAのBulletinとUSGSのBulletinの527個の震源について比較した。なお、グローバルなデータにもとづいたUSGSとISCの震源要素は、多少の相違はあるが系統的な差異は認められていない(市川, 1969)。USGSの標準走時表はJeffreys-Bullen(1940)、気象庁は市川・望月(1971)と市川(1978)の表が用いられている。

(1) 震央位置

上記期間中、日本周辺に発生した地震の震央位置の

* Received May 10, 1984.

** 地震観測所

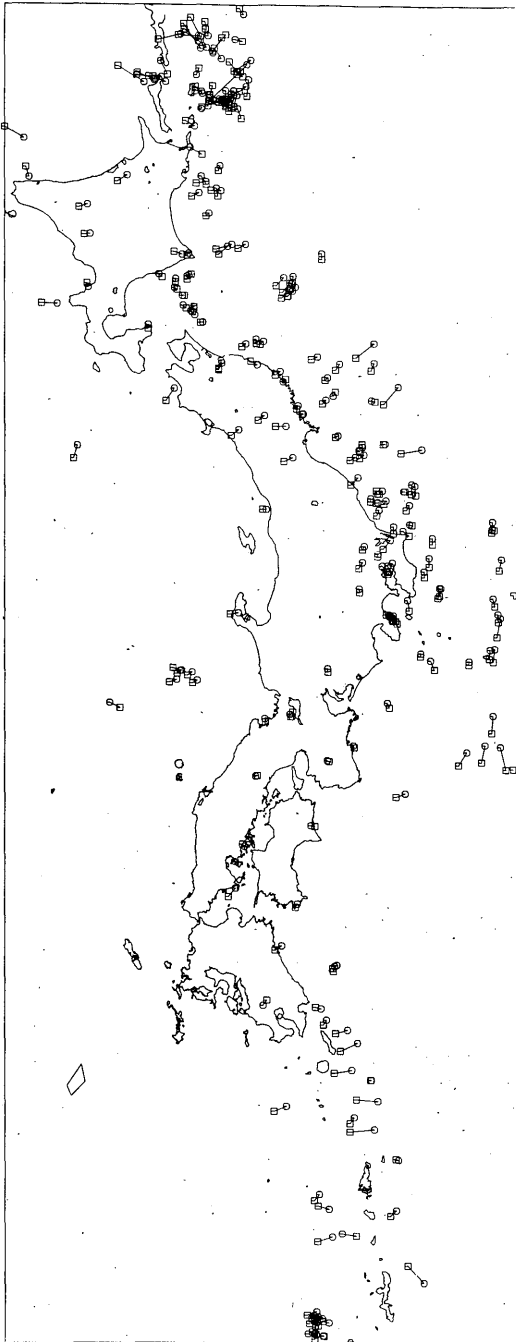


Fig.1 Geographic distributions of epicenters in and near the Japanese Islands determined by JMA and USGS. Squares and hexagons indicate epicenters determined by JMA and USGS, respectively.

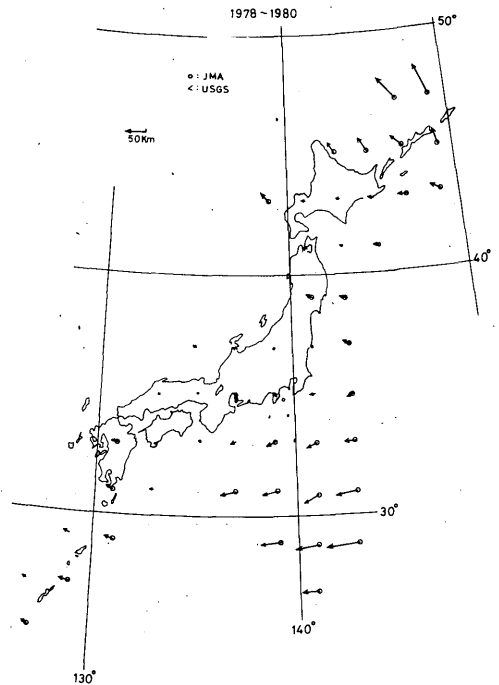


Fig.2 Regional variations of averaged differences between epicenters given by JMA and USGS. Open circles and arrows show epicenters given by JMA and distance and direction of averaged differences.

相対的相違を気象庁は○印、USGSは□印でFig.1に示した。又、緯度、経度2°のメッシュに区分けし、その地域の平均震央位置の偏りをFig.2に示した。JMAの震央位置を○印に示し、矢印の指す方向にUSGSの震央位置があり、その長さは両者間の距離を表わしている。

この結果より日本列島の内陸部およびその沿岸沿いの震央位置について、JMAの震央はUSGSのそれよりわずかながら東～南東方向に系統的な偏りを示している。USGSの震央は内陸の方へ引きずられる傾向がみられる。北海道東方沖の地震、特に146～150°E、42～46°Nの範囲では1978年以前は震央位置の相違が大きく、JMAの震央は南方～南西方向に偏っていた。市川の新走時プログラムが143°以東の地震に使用されてからは、ずれの距離は20～30kmと少なくなった。しかし、オホーツク海南部で発生する地震は50～60kmと大きな相違を示し、JMAの震央は南方～南東方向に偏っている。

伊豆・マリアナ島孤の海溝沿いは、陸より遠方にな

るにしたがって両者の距離は大きくなり、JMAの震央は東方に偏る。なかには距離が約 50 km 以上になる地域もあり、系統的な地域性を示している。東海沖海底地震計の資料を加えた震源決定では南東方向に震央が移動し、深さも増す傾向にある(浜田, 1983)。この結果 USGS との震央差はなお拡大することになる。

琉球海溝沿いの南西諸島の地震は東~南東方向に約 15~20 km の相違がみられる。市川(1969)は、日本列島沿岸の複雑な構造に発生する地震についてはその構造の地域的な影響の少ない遠方の資料で求めた USGS の方が信頼性が高いと示唆している。

(2) Origin Time

JMA と USGS とで決定された Origin Time の差を JMA の震源の深さに対して示したのが、Fig.3 である。全

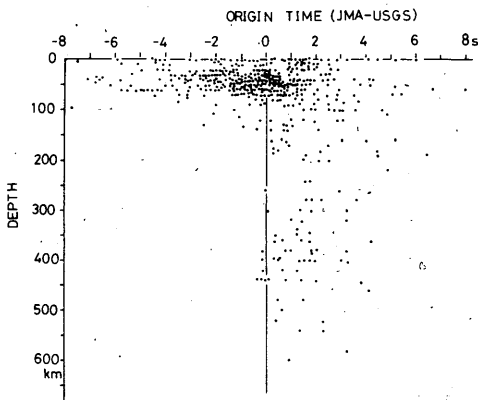


Fig.3 Comparison between origin-times given by JMA and USGS as a function of JMA's depth.

地域において 100 km 以浅の地震は両者の差に大きなバラツキがあり、JMA の Origin Time は平均して約 1.5 秒速い傾向となる。しかし、震源が深くなるに従って、Origin Time の相違は小さくなっている。

ここで、前項と同様に緯度、経度 2°メッシュに分け、JMA の Origin Time から USGS の Origin Time を引いた値を Fig.4 に示した。日本の内陸部について Origin Time の相違は少なく、一部地域を除き JMA の方が正側、すなわち USGS より遅い分布である。大平洋岸の海溝沿い及び中国・四国地方から南西諸島西方沖にかけては負側地域、すなわち、JMA の方が USGS より Origin Time の速い傾向がみられる。図中の点線は等零秒線で、これと地震の等深線が同じ傾向にある。

特にオホーツク海南部の地震において JMA の方が

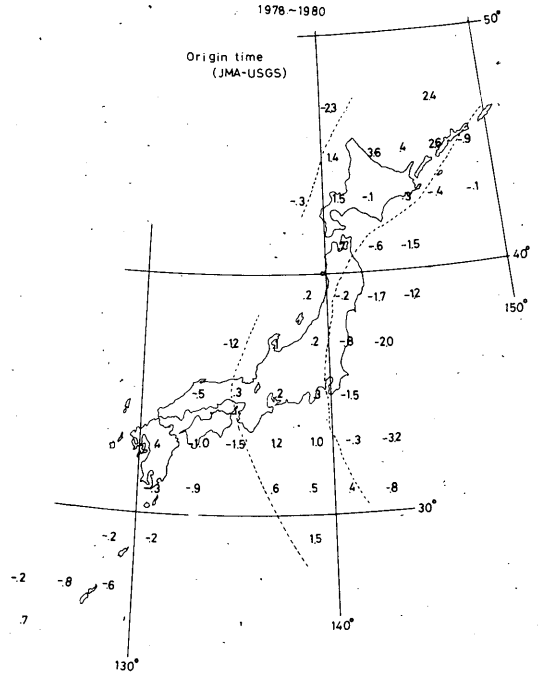


Fig.4 Regional variations of averaged discrepancies between origin-times determined by JMA and USGS.

約 2.5 秒も遅くなっている。又、震央位置の相違の大きい北海道東方沖は若干速い傾向にある。

(3) 震源の深さ

JMA と USGS との震源の深さの比較を Fig.5 に示す。震源の深さ 200 km 程度までについて両者の差のバ

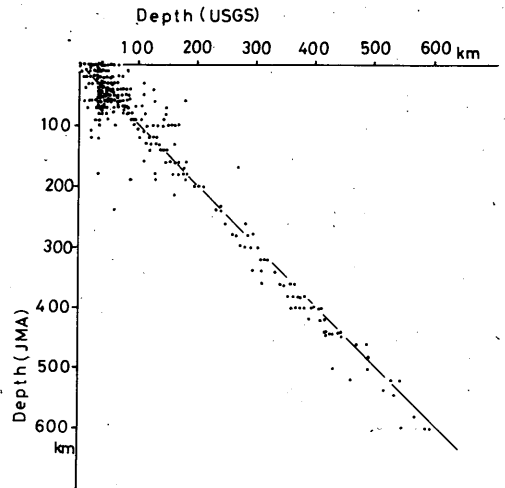


Fig.5 Comparison of focal depths given by JMA and USGS.

ラツキは大きく、大きいところで約100 kmの違いがみられる。

次に北緯30~40°の範囲で、震央位置の相違の大きい東経140°以東の東北東方沖から関東東方沖に至る区域と、相違の小さい140°以西の中部・西南日本とに大別し、JMAの震源の深さに対するそれらの区域における平均震源の深さの差（前者を黒丸印、後者を白丸印で示す）とその標準偏差を縦線でFig. 6に示した。

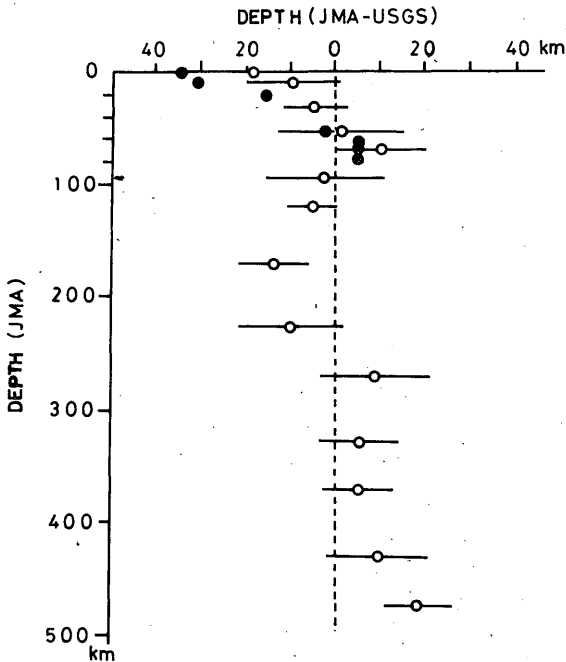


Fig.6 Averaged differences of focal depths given by JMA and USGS; horizontal straight lines show standard deviation.

140°以西の中部・西南日本地域はUSGSと比較し、深さの差の平均が約10 km以内で震源決定誤差内にあり、極く浅い地震は若干JMAの方が浅くなる。震源の深さ約100~250 kmの範囲において若干JMAの震源の方が浅くそれ以深の地震は逆にUSGSの方が浅くなる傾向にある。

140°以東の東北東方沖から関東東方沖の地域については、震源の深さ50 km以浅の地震はJMAの方が浅く求まってくる。震源の深さ0 kmの地震はUSGSでは約35 kmも深くなるが、深さ50~90 kmの地震では良く一致している。浅い地震に対して地域的地殻構造を考慮したJMAの標準走時とJ-Bの走時との違いによるもので、J-Bの走時が当該地域に不適当であ

ることを示唆している。しかし、300 km以深ではJMAの方が約10 km程深く求まる傾向にある。

(4) P波の速度分布モデル

J-Bおよび市川・望月(I-M)のP波速度分布モデルの dA/dT を震央距離2,000 kmまで選点直交多項式最小二乗近似により走時の平滑化した結果をFig. 7に示した。両モデルの深さ別走時の概略を比較

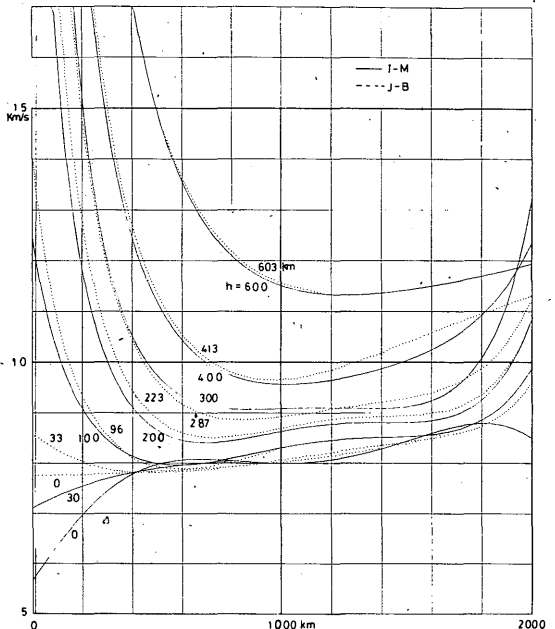


Fig.7 Comparison of apparent velocities of the P wave arrivals for the 7 focal depth J-B's and I-M's arrival time table. The curves of each line indicates its focal depth. Solid and broken lines show I-M's and J-B's arrival time table, respectively.

すると200 km以深の走時は震央距離1,400 kmまでほぼ等しいが、それ以速では多少異なっている。深さ0 kmの走時の場合、震央距離300 kmまでI-MモデルはJ-Bモデルより速度がかなり遅く、それ以速ではJ-Bモデルと同じ分布をしている。又、震央距離100 kmにおいてJ-Bモデルは約7.8 km/s、I-Mでは約6.4 km/sとなり、JBの方が約20%も速くなっている。さらに、深さ30 kmの走時についても震央距離100 kmで、それぞれ約8.2 km/sと約7.3 km/sが与えられている。この様に深さ100 km以浅の地震の走時は日本島弧の地殻ならびに上部マンツルの複雑な構造を考慮したI-Mモデルが適していると考えられ

る。

(5) MJ と MB の比較

1970~76 年間に日本付近に発生した浅い地震でしかも MJ (JMA) と MB (USGS) が共に求まり、MJ と MB の等しい範囲 (勝又ら, 1977) の地震を対象に MJ と MB の差を求め、その差が ± 0.3 以上ある地震 214 個についての分布を Fig.8 に示した。(MJ-MB)

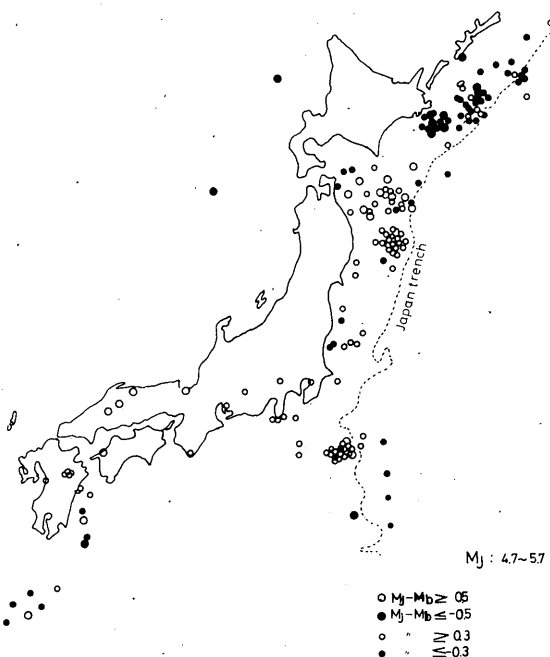


Fig.8 Regional variations of difference of MJ and MB for shallow earthquakes. MJ and MB are magnitudes which are obtained by formula defined by JMA and USGS.

が正値の地震を白丸印 (すなわち MJ が大きい地震) に、逆に負値を黒丸印で表わした。内陸部の地震で、MJ が MB より 0.3 以上大きい地震は中国地方及び中部地方南部と九州中央の一部にあるのみで、しかも MB が 0.3 以上大きくなる地域はなく、一般に MJ と MB は良く一致している。日本海溝沿いに MJ と MB の差の大きい地震があり、北海道東方沖の地震の MB が大きく、逆に八丈島近海および三陸沖の地震は MJ の大きい傾向にある。

MJ の方の大きい地震は高周波成分の乏しい長周期地震と呼ばれ、三陸沖と小笠原諸島付近の地震は長周期地震と考えられる。北海道東方沖の地震は短周期成分が卓越している。地震の発震機構ならびに地震波の

減衰が地域的に相違のあることを示している。

(ii) MJ と MS の比較

USGS は 1975 年 5 月よりレーリ波の上下動成分のみから表面波マグニチュード (MSz) を決定している。1982 年 6 月までの MSz と MJ とが求められた 286 個の地震について、MJ 毎に平均した MS とその標準偏差を Fig.9 に示した。

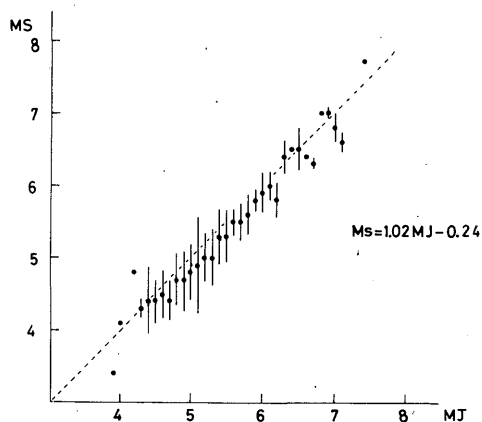


Fig.9 Comparison between MJ and MS. Solid circles and vertical straight lines show average MS and standard deviation. Dashed line indicates MJ=MS.

MJ ≥ 6.5 の地震数は少ないが、MS との関係は次の様になる。

$$MS_z = 1.0 MJ - 0.24 \quad (4.2 \leq MJ \leq 6.7)$$

これは水平動 2 成分を合成して求めた MS と MJ の関係 (Noguchi, 1979) とはほぼ同じ傾向である。MSz が 6.0 以下において、MJ は小さめに、それ以上では MJ とほぼ等しい関係にある。

§ 3 松代の P, S 波の走時残差

(1) P 波走時残差

1978 ~ 80 年に発生した 552 個の地震資料を用い、松代の P 波観測値から JMA の理論走時を引いた走時残差 (O-C) を緯度、経度 1° のメッシュに区切り、その地域毎の平均走時残差を求め、その分布を Fig.10 に示した。松代の観測値が遅い地域を丸印、速い地域を三角印で示し、残差の大きさを区別した。

内陸部においては ± 1 秒以内で標準走時に良く一致している。しかし、北海道東方沖と浦河沖の一部地域は走時残差の大きい地域で P 波観測値は約 4 秒も速い傾向にある、それ以外の地域では内陸部と同じく松代

1979 ~ 1980

P Wave

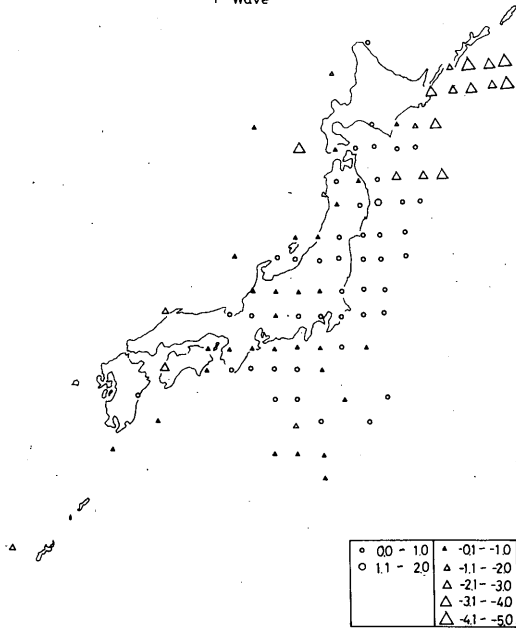


Fig.10 Regional variations in Pwave travel time residuals at Matsushiro. Open (positive) circles and triangles (negative) represent late and early arrivals compared with I-M's time table.

の走時残差は小さい。

さらに、三陸沖から茨城県沖にかけての浅い地震の地域は平均1秒程遅く観測される。前述の震央位置の相違の大きい北海道東方沖、浦河沖の地震は極端に走時の速い系統的な相違があり、この地域は地震波速度の大きい、かつ減衰の小さい high V, high Q Zoneに相当することから、島孤特有の上部マントルの異常構造によって定性的に説明されている。

一方の震央位置の偏よりの大きかった伊豆・マリアナ島孤付近の走時残差は比較的小さく、JMAの震源に松代の走時が良く一致することから、震央位置の偏よりはUSGSの震源決定に地域の特殊性を考慮していないことに起因すると考えられる。

(2) S波の走時残差

P波と同様に1°毎の地域に分け、その走時残差をFig. 11に示した。S波の明瞭な地域とS波の検出しにくい地域があり；日本の中央部で発生する地震のS波の走時残差は小さい。しかし、北海道東方沖地震のS波は速く観測され、逆に福島県沖の地震は約4秒程遅く観測される。又、伊豆・小笠原島孤付近の地震で

1979 ~ 1980

S Wave

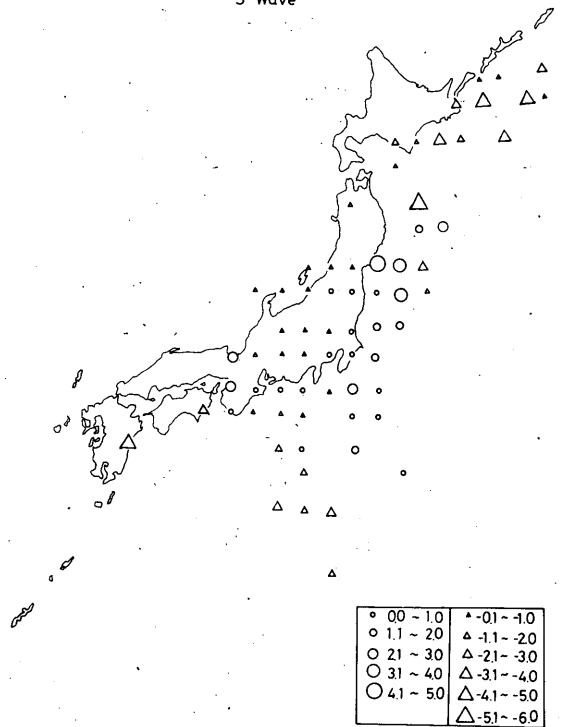


Fig.11 Regional variations in Swave travel time residuals at Matsushiro. Open (positive) circles and triangles (negative) represent late and early arrivals compared with I-M's time table.

は約2秒程速い。一般に内陸部の地震を松代で観測するとS波が明瞭であるが、三陸沖、福島沖付近のS波は不明瞭である。又、中国地方に発生する地震にS₁, S₂波が観測され、約数秒～十数秒S波を読み違えることがある。P波とS波の走時残差はほぼ同傾向にあると考えられる。

§4. まとめ

JMAとUSGSの震源要素の相違は日本付近の地殻および上部マントル構造の複雑さ、震源決定に使用した資料の地理的分布と基準走時表に関係するものである。特殊走時表を使用した1978年以後の地震を対象にJMAとUSGSの震源要素の地理的相違を調べた結果を要約すると次のようになる。

①日本列島内陸部で両者間の震央位置に殆んど相違はなく、これを除く海域にJMAの震源はUSGSより

東~南東方向に系統的な偏りを示す。オホーツク海南部および伊豆、マリアナ島孤付近の地震は陸より遠方になる程、震央位置の相違が大きくなる。

②両者間のOrigin timeについて浅い地震に大きな相違があり、平均1秒程JMAの方が速い。深い地震は逆に約1秒程遅くなる。地域の分布は内陸部で、JMAがやや遅い傾向にあり、日本海溝沿いはJMAの方に速い傾向を表わしている。

③日本付近の浅い地震についてJ-Bの走時表は不適当である。深い地震はJMAの方が約10km程USGSより深く求まる傾向にある。

④J-BとI-MとのP波速度分布モデルを比較すると深さ0kmの走時で、震央距離100kmにおける速度差はJ-Bの方が20%もI-Mより速い。深さ300km以上の走時は殆んど同じ速度である。

⑤日本海溝沿いにMJとMBの差の大きい地域があり、北海道東方沖の地震のMBは大きく、逆に三陸沖の地震のMJは大きい。又、MS_zとMJにはMS_z = 1.02 MJ - 0.24の関係が得られた。

⑥日本列島内陸部で松代のP波走時残差は±1秒以内で良く一致するが、特に北海道東方沖及び浦河沖の一部の地震は3~5秒程速い。

震央位置の偏りの大きい地震は観測点補正を加えるか、地域別走時表を用いれば系統的な震央のずれをかなり小さくすることが出来る。しかし、広域にわたる地域差の補正は相当複雑であろう。

謝 辞

本調査に当って当所の竹山一郎所長、山岸登主任研究官および高山寛美研究官諸氏に絶大な御指導を賜った。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 浜田信生(1983):東海沖海底地震計の観測結果,地震2, **36**, 449-462.
- 市川政治・望月英志(1971):近地地震用走時表について,気象研究所研究報告, **22**, 229-290.
- 市川政治(1978a):気象庁新地震観測網の震源決定能力,験震時報, **42**, 55-60.
- 市川政治(1978b):気象庁における震源要素新計算法と走時表,験震時報, **43**, 11-19.
- 市川政治(1978c):震源の深さの信頼度について,験震時報, **45**, 29-35.
- 市川政治(1979):三陸沖の震源分布,験震時報, **43**, 59-65.
- 勝又護・柏原静雄(1977):気象庁のマグニチュードについて,地震2, **30**, 511-513.
- 勝又護(1970):日本列島およびその周辺におけるサイスミンテとそれに関連する諸問題,験震時報, **35**, 1-68.
- MAKI, T (1982): Effects of observational conditions on Hypocenter Location of Intermediate Depth Earthquakes in Central Japan, Bull. Earthq. Res. Inst., **57**, 49-82.
- MAKI, T (1983): Extended Travel-Time Tables for the JMA Standard Model of the crust and Upper Mantle Structure beneath the Japanese Islands, Bull. Earthq. Res. Inst., **58**, 311-383.
- 野口伸一・阿部勝征(1977):地震の発生機構とMS-mb関係,地震2, **30**, 487-507.