

チーチー

特集：台湾集集地震（1999年9月21日）

台湾集集地震の強震動と被害/台湾集集地震による被害と地表地震断層における変位



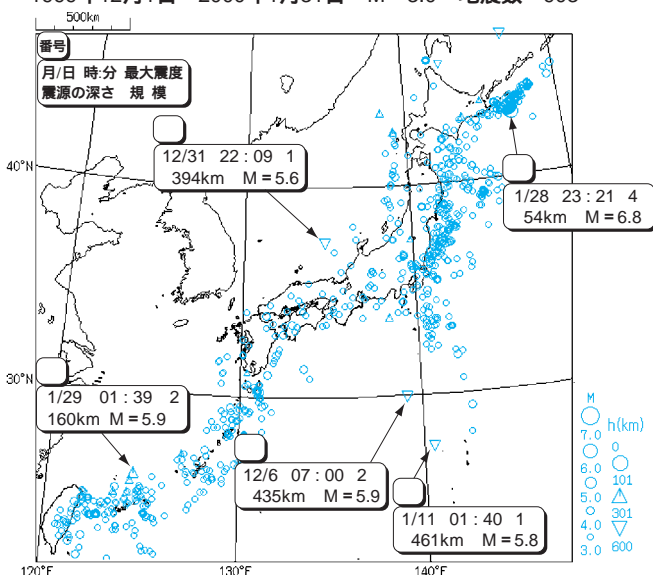
地表地震断層の北端に位置する石岡ダム被害。集集地震の発生にともなって、河床に約8mの段差が生じ、ダムは完全に決壊した。河井正氏（電力中央研究所）撮影・提供。

12月～1月のおもな地震活動

1999年12月～2000年1月にかけて観測されたマグチュード(M)3.0以上の地震回数は903回でした。このうち、M5.0以上の地震回数は8回でした。また、震度4を観測した地震が3回発生しました。

鳥島近海
深発地震（深さ435km）で関東地方から東北地方で有感となりました（最大震度2）。

1999年12月1日～2000年1月31日 M 3.0 地震数=903



日本海中部
深発地震（深さ394km）で福島県及び茨城県で震度1を観測しました。

この地震のように深発地震の場合、震央から離れた場所でも有感になる地域（異常震域）が現れることがあります。

鳥島近海
深発地震（深さ461km）で東京都小笠原村（父島）で震度1を観測しました。

根室半島南東沖
北海道で震度4を観測したほか、東日本のほぼ全域で有感となりました。この地震により、負傷者2名（1月31日現在、自治省消防庁調べ）の被害がありました。

東シナ海
沖縄県先島諸島で震度2を観測しました。

世界の地震

M7.0以上あるいは死者50人以上の被害を伴った地震は以下のとおりです（発生日は日本時間、MはUSGSによる）。

- ・12月12日
ルソン島（M7.1 死者5名 1月3日現在）
- ・1月9日
ルソン島（M7.1）

（気象庁、文責：緒方）

図の見方は「なみふる」No.2 p.8をご覧ください。

1999年台湾集集地震（9月21日） の強震動と被害

はじめに

1999年9月21日、現地時間午前1時47分の深夜に、台湾のほぼ中央に位置する南投県集集镇を震源とした大地震が発生しました。震源地の地名をとって「台湾集集地震」と名づけられたこの地震では、死者2000人、負傷者8000人を超え、また学校や道路などに大規模な断層が出現したことで注目を集めました。各国の研究機関によって発表された集集地震のマグニチュードは7.5から7.7という大きさを、1995年兵庫県南部地震を上回り、約1ヶ月前の8月17日に発生したトルコ・コジャエリ地震と肩と並べる規模でした。

地震発生メカニズム

台湾島は、日本の九州よりやや小さな島ですが、中央部には標高3000m以上の山々が南北に連なっています。台湾は、太平洋側のフィリピン海プレートと大陸側のユーラシアプレートという2枚のプレートの境界に位置しており、これらの山脈は台湾島が東西からのプレートの圧縮力を受けることによりできあがったものです。また台湾では山脈と平行に、力を加えられた傷痕ともいえる断層帯が何本も確認できます。これらの断層では過去にも1935年と1941年にM7.1、1964年にM7.0といった大地震がたびたび発生し、大きな被害をもたらしてきました。図1に台湾の主な活断層の分布と過去の被害地震の震央位置を示します。この

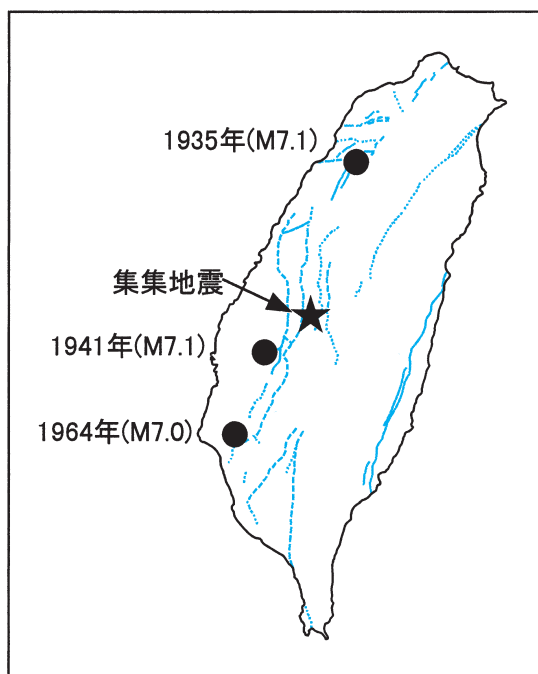


図1 台湾の活断層の分布と過去に発生した大地震の震央位置。

ような地学的環境は、我が国と非常によく似たものであるといえます。

今回の集集地震は、こうした直下型地震を引き起こす内陸活断層のうちの一つである車籠埔断層に沿って発生しました。地震の断層面自体は水平からおおよそ30度の角度をなしており、上盤側がのし上がるように動く「低角逆断層」タイプと呼ばれる発生メカニズムです。なお、トルコ・コジャエリ地震と兵庫県南部地震はいずれも断層面が垂直に近く、断層をはさんで向こう側の地面がこちら側に対して水平右方向にずれる「右横ずれ」タイプの地震に分類されます。

世界各地で観測された集集地震の地震波形記録から求められた震源断層面上のすべり分布を図2に示します。同図によると、破壊開始点から北に約30kmの地点にすべり量の大きな領域が見られます。断層面のすべり量は最大で約6mとなっています。

なお、現地での精密な余震観測（「なみふる」17号5頁に関連記事）の結果によると、集集地震の後に発生した余震の震源が1枚の平面ではなく、角度の異なる2枚の平面上に分布している様子が報告されています。余震の震源は、一般に本震の断層面上に分布することから、集集地震の震源断層は折れ曲がった2枚の断層面から成り立っている可能性が指摘されています。

強震動の特徴と主な被害

日本の気象庁にあたる台湾の中央気象局（CWB）によって発表された集集地震の震度分布を図3に示します。震源が位置する南投県とその北部にあたる台中市で震度6を記録しています。台湾の震度階級は日本とほぼ同じですが、震度7という階級が設定されていません。したがって、震度6と発表された地域でも場所によっては日本の震度7にあたる可能性があります。

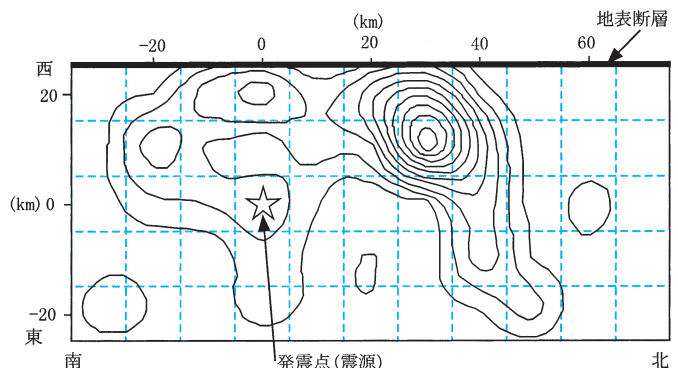


図2 集集地震の断層すべり分布。Yagi and Kikuchi (1999) に加筆。

台湾では、CWBによって全土に600点以上の強震観測点が設置されています。この点数は、例えば日本の防災科学技術研究所が展開しているKNETという強震観測網（約1000点）と比べると、観測点密度としては上回っています。

集集地震において地表変位を生じた車籠埔断層でも、断層に沿っていくつかの強震観測点が設置されています。これらの観測点のうち、北部の地表地震断層にごく近い2地点と、断層からやや離れた上盤側の2地点の速度波形記録を、地表地震断層の位置とともに図4に示します。これらの波形記録は、もともと加速度記録であったものを時間軸上で積分して速度波形に直したものです。図4によると、断層北部に位置する石岡（TCU068）や台中市東部（TCU052）では非常に長周期の単純な地震波形となっています。一方、断層の上盤側の埔里（TCU074）や日月潭（TCU084）では、より短周期の波形記録が得られています。特に日月潭での記録は、加速度振幅の最大値が重力加速度である1Gを超えるという、大変に大きなものでした。

このような、場所による地震波形の違いは、震源断層との位置関係や観測点直下の地盤構造など、さまざまな要因が複雑に影響しています。これらの要因を一つ一つ解きほぐしていくことにより、大地震によってもたらされる強震動の特性を明らかにしようというのが強震動研究の主な目的です。今回の集集地震でも、発生直後から多くの研究者が現地へ赴き、臨時余震観測や地下構造調査などが精力的におこなわれました。これらの研究によって得られた知見は、耐震設計や地震防災システムの構築に大きく貢献することが期待されています。

一方、地震被害そのものの詳細な調査と分析も強震動研究と同様に重要です。集集地震では、強震動による被害に加えて、地表の断層変位による建物の被害や

大規模な土砂災害が報告されています。また、震央に近い中寮変電所や付近の送電鉄塔が被害を受けたことにより、震源から遠く離れた中心都市台北や、半導体の生産で有名な新竹科学工業区への電力供給に支障が生じるなど、ライフライン被害でも注目を集めました。これらの現象は、同じく内陸直下型地震の発生が避けられない我が国でも予測や対策をおこなっていく必要があることを示唆しています。

おわりに

本稿は1月12日に強震動委員会主催でおこなわれた「1999.9.21 台湾集集地震：強震動に関する勉強会」での議論を参考にさせていただきました。記して感謝申し上げます。なお、勉強会に関する詳しい報告は後日の日本地震学会ニュースレターに掲載される予定です。（電力中央研究所 芝 良昭）

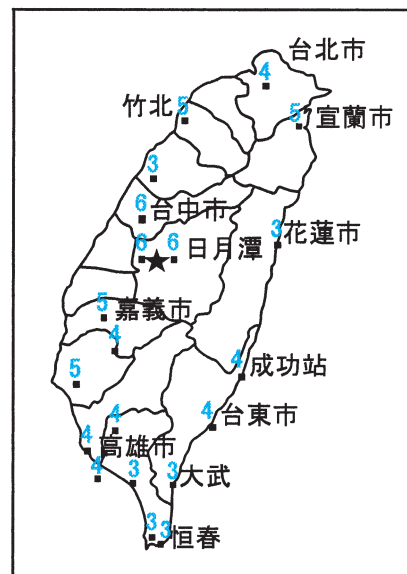


図3 集集地震における各地の震度。は震央位置を示す。台湾中央気象局（CWB）による発表。

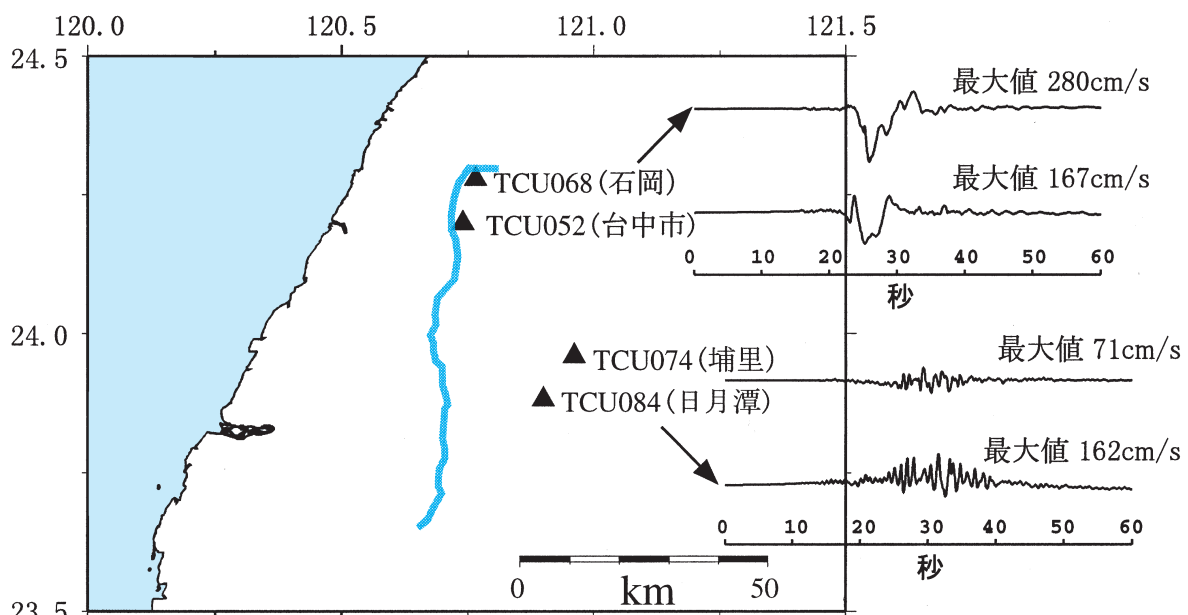


図4 震源域で得られた強震記録の例。縦軸は速度振幅で、単位はcm/秒。図中の太線は地表地震断層を示す。

1999年集集地震による被害と 地表地震断層における変位

1. 被害分布

私が地質調査所活断層研究室の杉山雄一氏、苅谷愛彦氏とともに台湾へ地震断層調査に行ったのは、台湾中部で1999年9月21日に集集地震（ M_w 7.7、 M_L 7.2）が発生してから約1ヶ月が過ぎた10月中旬でした。調査に入るにあたり、まず私たちは台湾の經濟部中央地質調査所副所長である黄教授を訪ね、台北市にある台湾大学へ向かいました。地震発生直後、日本で報道を見ていたときには、台北市でも揺れがひどく、被害も大きかったという印象を受けていましたが、空港から台北市内まで車で約1時間移動する間、これといって被害を受けたような建物は見られませんでした。もちろん地震発生から1ヶ月が経っていたことでもあります。集集地震による被害は台北市周辺ではそれほど大きくなかったように感じられました。その日は台湾大学で、台湾の研究者の方々が集めた情報を提供していただき、翌日被災地にほど近い台中市へと移動しました。しかしそこでも、復旧されたのか、もともとそれほどひどくなかったのかわかりませんが、建物の被害はとくに見当たりませんでした。被害があった建物をみると、マスコミが報道していたように、構造上の問題があったり（写真1）かつて湿地であったようなもともと地盤が弱いところに建てられていたようです。

そのような被害の様子を見ながら、私は1995年兵庫県南部地震の後に淡路島の野島地震断層の調査に行った時のことを思い出しました。地震発生直後は神戸からアプローチが不可能であったため、徳島まで飛行機で行き、そこから車で現地まで移動したの

ですが、淡路島に入っても一宮付近に至るまではほとんど被害らしい被害は見当たらず、「いったいどこで地震が起こったのであろうか？」と不思議な思いをしました。

実際には、集集地震の震央が新第三紀の軟岩で構成されている山地内に位置しているため、震央付近で大規模な地すべりが発生し、多くの人や建物が被害にありました。また、震央から約20km西方には山麓線に沿って地表地震断層が現れ、周辺の集落に大きな被害を与えていました。特に今回の地震断層では、幅数mから10数mにわたって断層の上盤側が撓むような変位地形（撓曲崖、写真2）が断層線に沿って地表に現れており、その上にあった建物は地盤の変形によって著しく破壊されていました。そのような事実を目の当たりにし、地震の被害は震央あるいは地表地震断層から数km離れると大きく減少される、そのような思いを台湾でも強く感じました。

2. 地震断層による地表変形

今回の地震に伴って台中市東方に現れた地震断層は、長さ約80kmに及び、その位置は従来から活断層として知られていた車籠埔断層とほぼ一致します。私たちが現地に入るまでに、既に日本からも何人もの地震研究者やマスコミ関係者が現地を訪れており、地震断層に関する多くの情報を日本でも聞いていましたが、報道などを通じて得られる情報を聞き、疑問に思うことがいくつかありました。その一つは、地震断層が大きな横ずれ変位を伴っているとの情報についてです。台湾周辺におけるプレートの動きや台湾の地質構



写真1 台中市内で被害に遭った高層ビル。崩れてむき出しになった部分を見るとコンクリートの中には缶が埋められているのがわかる。すぐ近くにこのように大きく壊れたビルは見当たらなかった。



写真2 地震断層南部、濁水溪の南に現れた撓曲崖。この地点では茶畑や畑だが、もしこの上に建物があれば地震による揺れだけでなく、地表の変形により建物はほぼ確実に破壊する。ここでの撓曲崖の高さは約4m。

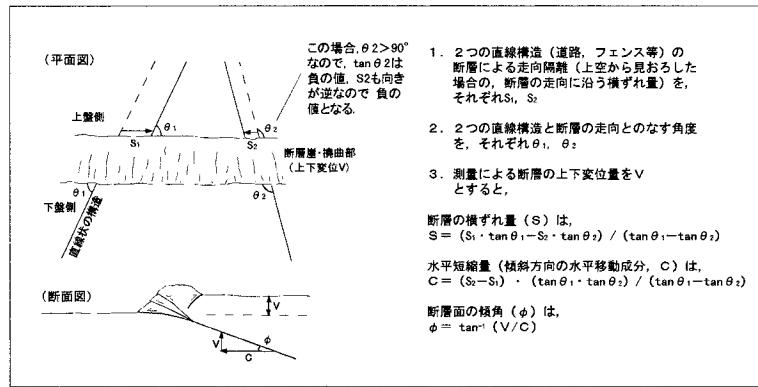


図 1 断層上における短縮運動によって生じる見かけ上の横ずれ現象と私たちが用いた測量データから真の変位を求める方法。

造を考えると、今回、地震断層が生じた場所では、ほとんど純粋な逆断層運動が想定されるのですが、垂直変位量と同程度、あるいはそれを上回るような横ずれ断層が現れたと報じられました。特に、「今回の地震断層の北部では、変位量が10m近くに及ぶ左横ずれ断層が現れた」と聞いたときには非常に不思議な思いがしました。私は地震発生当初から報じられていたこの東西走向の地震断層は、西方へ乗り上げた上盤の北縁での動きの現れであり、ここでは右ずれ変位が生じるのではと考えていたので、ここで左横ずれ変位が現れたことには首を傾げました。「一体、この地震断層はどのように動いたのか」という疑問を解くためには、断層線上に現れた「見かけのずれ」ではなく、実際に上盤と下盤との間に起こった「真の動き」を計測する必要があります。図1の模式図で示すように、逆断層運動においては短縮方向への動きが大きいため、見かけ上の横ずれ変位が断層崖上に生じます。しかも横ずれの方向は、変位の基準となる指標の方向と断層による地盤の動きの方向との関係により右ずれになったり、左ずれになったりという全く見かけ上の動きです。私たちは1地点において、断層と斜めに交わる2つの指標を計測することにより、地震断層を挟んだ両側での相対的な動きを計測しました（図1）。測量自体は簡単に行うことができたのですが、上記のような測量が可能な地点を探すのに結構手間取り、現地に滞在した5日間では12地点のデータを得るのが精一杯でした。各地で得られた測量結果を地震断層上にプロットしてみると、下盤側に対する上盤側の動きの方向が、北部の東西走向部分の北落ちの崖では北、石岡 - 草屯間（中部）の西落ちの崖では北西、草屯以南（南部）では西～南西をそれぞれ向くことがわかりました（図2）。

3. 集集地震における上盤の動き

私たちが得たデータは、地表での地震断層の動きが、北部・中部・南部でそれぞれ方向が異なることを示しています。地表地震断層が複雑なトレースをしているにもかかわらず、ある1地点においては上盤の変位の

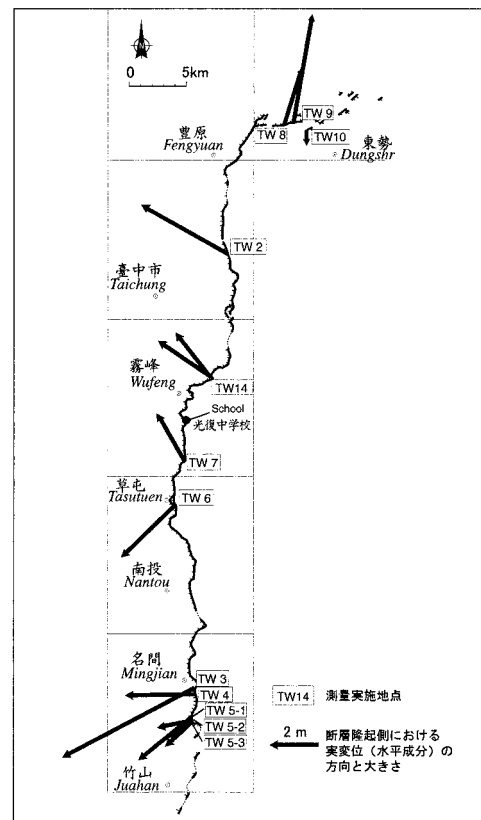


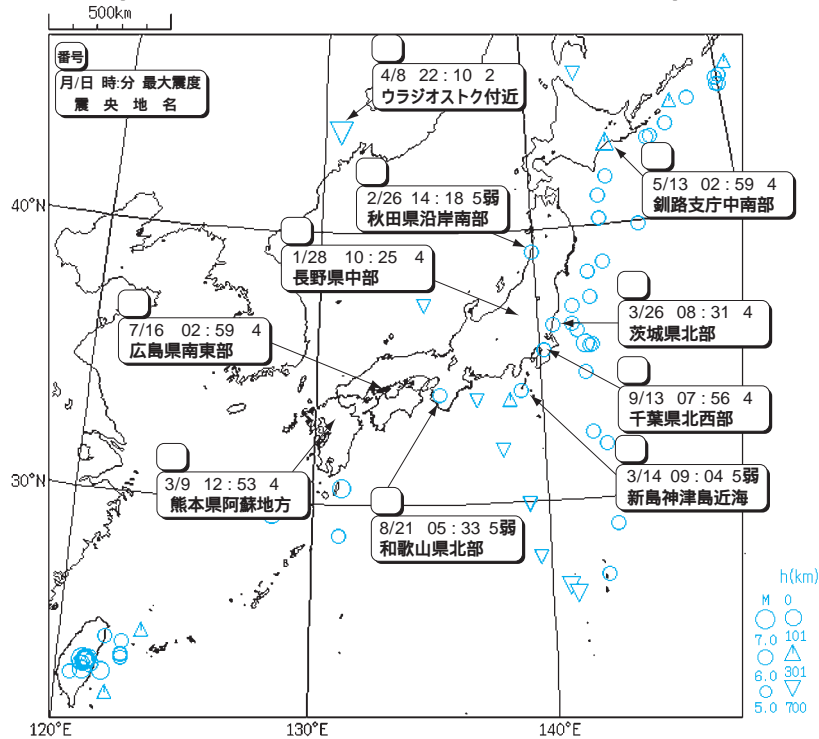
図 2 下盤に対する上盤の動きの方向とその大きさの分布。

方向は断層の走向に影響されていないので、少なくとも、私たちが得たデータは狭い範囲だけでの局所的な動きを表しているとは思えません。上盤の動きが北から南へと徐々に変化していくのか、それともそれぞれ異なった活動特性を持つ複数の断層に分けられるのかを明らかにするためには、より密にデータを取っていく必要があります。また、GPS（人工衛星を利用した位置測定システム）のデータは全体的に上盤側の北西北北西への動きを示しています。私たちが取った断層線を挟んだある地点での相対的な動きとGPSが示すデータとの関係と比較することにより、それぞれの断層の動き、特に北部で地震断層が複雑に地表に現れているところでどのような動きがあったのかを明らかにできるのではないかと考えています。

(地質調査所地震地質部活断層研究室 吾妻 崇)

1999年の主な地震活動

1999年1月1日～12月31日 M 5.0 地震数 = 69
 (図中の はM5.0未満のため震央表示シンボルなし)



1. 日本付近の地震

【概況】 1999年に、日本国内で被害の発生した地震は8回でした。また、M7.0以上の大地震の発生は1回でした。なお、顕著な群発地震活動はありませんでした。

(1) 最も規模の大きかった地震（最大地震）

4月8日22時10分のウラジオストク付近の地震がM7.2で最大でした。なお、9月21日2時47分に台湾付近で、Mは7.7（国内最大震度2、世界の地震の参照）の地震がありました。

(2) 最も震度の強かった地震

震度5弱を観測した地震が3回ありました。（被害は自治省消防庁調べ）

2月26日14時18分、秋田県沿岸南部（M5.1、最大震度5弱）

住家一部破損217棟など（7月7日現在）

8月14日9時4分、新島神津島近海（M4.7、最大震度5弱）

道路被害1箇所など（同日13時47分のM3.8、最大震度4の地震の被害を含む、9月17日現在）

8月21日5時33分、和歌山県北部（M5.4、最大震度5弱）被害なし。

(3) M7.0以上、あるいは、被害地震（被害は自治省消防庁調べ）

1月28日10時25分、長野県中部（M4.7、最大震度4）

住家一部破損5棟など（5月14日現在）

3月9日12時53分、熊本県阿蘇地方（M4.5、最大震度4）

ブロック塀倒壊1箇所など（3月9日現在）

3月26日8時31分、茨城県北部（M4.9、最大震度4）

軽傷者1名など（3月26日現在）

4月8日22時10分、ウラジオストク付近（M7.2、最大震度2）

震源の深さが598kmの深発地震。被害はなし。

5月13日2時59分、釧路支庁中南部（M6.4、最大震度4）

軽傷者2人など（7月7日現在）

7月16日2時59分、広島県南東部（M4.4、最大震度4）

重傷者1人（9月1日現在）

9月13日7時56分、千葉県北西部（M5.0、最大震度4）

軽傷者2人（10月25日現在）



2. 世界の地震（日本付近の地震を除く）

震源などは米国地質調査所（USGS）発表の震源速報（QED）に基づき、Mは表面波マグニチュード（Ms）発生時刻は日本時間。

【概況】 M7.0以上の地震が12回、死者50人以上の被害地震が7回ありました。

- (1) 最も規模の大きかった地震（最大地震）
- ・ 8月17日09時01分 トルコ（M7.7）
 - ・ 9月21日02時47分 台湾付近（M7.7）
- (2) M7.0以上、あるいは、被害の大きかった主な（死者50人以上）地震

なお、被害は と 以外はUSGSによる（2000年1月3日現在）

1月26日03時19分、コロンビア（M5.7、死者1185人以上）。[なみふるNo.14](#)に関連記事。

2月7日06時47分、サンタクル - ズ諸島（M7.3、人的被害なし）

2月11日23時08分、アフガニスタン（M5.8、死者70人）

3月29日04時05分、中国・インド国境付近（M6.6、死者100人以上）

4月5日20時08分、ニュ - ブリテン島（M7.0、人的被害なし）

5月16日09時51分、ニュ - ブリテン島（M7.0、人的被害なし）

8月17日09時01分、トルコ（M7.7、死者17,118人以上、トルコ政府危機管理センターによる、12月7日現在）。トルコ北西部を中心に建物の倒壊等により多数の死者・行方不明者・罹災者が出ました。[なみふるNo.17](#)に関連記事。

9月7日20時56分、ギリシャ（M5.8、死者143人）

9月21日02時47分、台湾付近（M7.7、死者2400人以上）。建物の倒壊等により多数の死

者・行方不明者・罹災者が出ました。[なみふるNo.17](#)および本号に関連記事。

10月1日01時31分、メキシコ南部（M7.5、死者33人）

10月16日18時46分、カリフォルニア南部（M7.4、負傷者4人）

11月13日01時57分、トルコ（M7.5、死者807人、トルコ政府危機管理センターによる、12月7日現在）。

11月17日12時27分、ニュ - ブリテン島（M7.0、人的被害なし）

11月19日22時56分、ニュ - ブリテン島（M7.0、人的被害なし）

11月26日22時21分、パヌアツ（M7.3、死者行方不明10人以上）

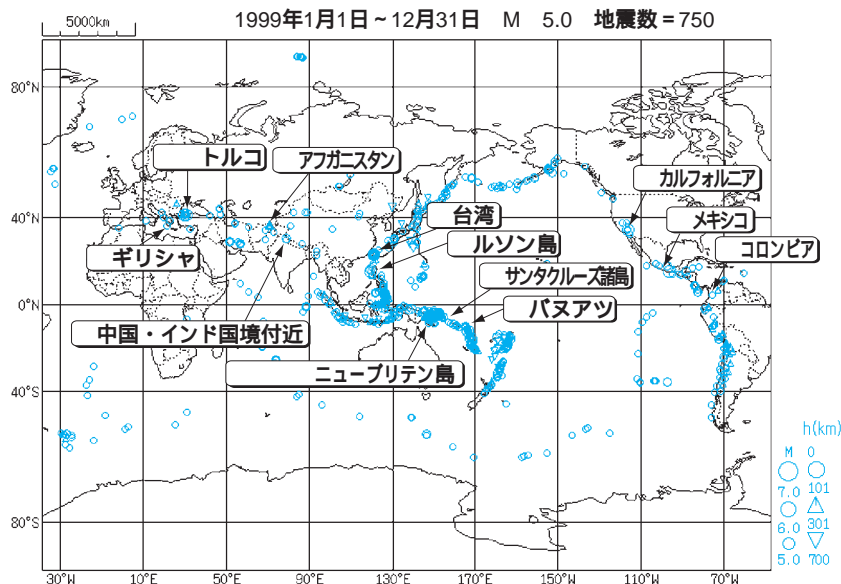
12月12日03時03分、ルソン島（M7.1、死者5人）

（気象庁、文責：緒方）



トルコ・コジャエリ地震（8月17日）による被害（イズミット市）。アパート群の敷地を地表地震断層（白線で表示）が走り、1棟を除いてパンケーキ状に壊れている。地表地震断層を境に建物の倒れる方向が逆になっていることに注目。

（京都大学防災研究所 大志万直人氏撮影）



《地震観測の2000年問題》

「地震観測の2000年問題」といっても、地震計そのものが2000年になると動かなくなる、という話ではありません。現在、多くの地震観測システムではコンピュータでデータの時刻管理を行っています。また、日本国内では、国立大学、気象庁、科学技術庁などによって地震観測網が運営されていますが、それらのデータはインターネット技術を用いてほぼリアルタイムで相互に交換されるようになりつつあります。すなわち、地震観測の現場も、日付や時刻の処理、他機関とのネットワーク接続の問題、といった「コンピュータの2000年問題」と無縁ではいられませんでした。

大晦日の夜は多くの機関で担当者がシステムを監視していました。それぞれの立場で自分のシステムの対策は終わったと信じていたことでしょうか。私は、気象庁とのデータ相互交換の監視画面とGPS時計の画面を見ていました。やがてGPS時計の表示が2000:01:01:00:00:00に変わり、こちらは正しく処理ができたことがわかりました。が、データ交換の監視画面が、潮が引くように送信データ量が減って行くことを示しており愕然となりました。調査の結果、各大学が共同で外注して作成し、2000年対応を業者任せにせざるを得なかった部分に問題点があることが判明しました。外注ソフトウエアのため、復旧作業も人任せにする以外に手がなく、虚しく時間が経過していきました。時間が経つにつれ多少は冷静になり、他機関データをチェックする余裕が出てきました。すると、午前0時の段階では受信できていた気象庁データもいつの間にかデータ量が半減していますし、科学技術庁のデータも0時以降受信できていないことがわかりました。

結局、関係機関のデータ伝送がほぼ復活したのは1日のお昼近くになってからでした。この間に大きな地震が発生しなかったのは幸いです。トラブルは解消したものの、諸々の後始末のために各機関の担当者にとっては大変なお正月だったようです。

(京都大学防災研究所附属地震予知研究センター
大見士朗)

広報紙「なみふる」配布のご案内

現在、広報紙「なみふる」は省庁・地方自治体・マスコミ・博物館・学校等に進呈しています。個人配布をご希望の方は、氏名、住所、電話番号を明記の上、郵送料600円(1年6回分)を郵便振替で振替口座00120-0-11918「日本地震学会」にお振り込み下さい(通信欄に「広報紙希望」とご記入下さい)。なお、広報紙「なみふる」は日本地震学会ホームページ(<http://www.soc.nacsis.ac.jp/ssj/>)でもご覧になれます。

日本地震学会広報紙「なみふる」 第18号 2000年3月1日発行
発行者 日本地震学会/東京都文京区本郷6-26-12 東京RSビル8F (〒113-0033)
電話 03-5803-9570 FAX 03-5803-9577 (執務日:月~金)
編集者 広報委員会/
小泉尚嗣(委員長)、河原 純(編集長)、飯高 隆、井出 哲、片尾 浩、桑原央治、芝 良昭、武村雅之、
中川和之、橋本徹夫
E-mail zisin-koho@ml.asahi-net.or.jp
印刷 創文印刷工業(株)

本紙に掲載された記事等の著作権は日本地震学会に帰属します。

さっそく始まる、活発な議論
=なみふるメーリングリスト=

地震学会広報委員会が主催するメーリングリスト「nfml」が、1月に再開しました。2月4日現在、124人の参加者があり、スタート10日足らずで21人の方が自己紹介を兼ねて発言されています。

さっそく、活断層による地震の被害について、地表に現れる地表地震断層のずれによる被害と、地中の断層のずれによる強震動被害に関して、台湾の集集地震でずれの被害が目立ったことだけに目を奪われず、揺れの被害のほうが大きいかを踏まえた対策が必要との指摘や、今後の研究の方向性などの議論が行われています。また、なかなか耐震補強が進まない実態をどうしたらよいかなどの課題の投げかけもありました。

現在の参加者は、大学や国立研究所、企業の研究者が最も多く、メディア関係者、教育関係者、気象庁や自治体などの防災関係者などの方となっています。今後の参加者も、非公開ホームページで過去の発言を読むことが出来ます。nfmlの申し込みは、ホームページ(<http://www.mmjp.or.jp/zisin-nfml/>)にある規約・申し合わせ事項を了解していただき、その末尾にある参加者のプロフィールに記入して世話人ml(nfml-sewa@ml.asahi-net.or.jp)にメールを送ってください。お待ちしております。(世話人 中川和之)

お知らせ

2000年度分の郵送料は3月31日までに

「なみふる」を個人配布で読まれている方は、2000年度分の郵送料600円(年6回分)を2000年3月31日までに日本地震学会宛てに郵便振替でお振り込みください(振替口座は以下の「なみふる」配布のご案内)をご参照ください。通信欄には必ず「2000年度広報紙希望」とご記入ください。3月31日を過ぎてご入金されますと、「なみふる」2000年度分の発送が遅れる場合があります。ご注意ください。なお、「なみふる」2000年度分は、2000年5月1日発行の第19号(次号)からとなります。