

大規模地震による被害電カインフラ 復旧支援に関するプロジェクト研究

ファイナルレポート

平成 21 年 2 月

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

委託先
東電設計株式会社
社団法人都市防災研究所

産 業
J R
09-015

目 次

第1章	序 論	1-1
1.1	当該調査の背景	1-1
1.2	調査の目的	1-1
1.3	調査対象地域	1-2
1.4	調査の範囲	1-2
1.5	調査団員及び調査スケジュール	1-3
第2章	大規模地震発生に関する分析	2-1
2.1	過去の大規模地震の発生メカニズムと被害概要	2-1
2.1.1	トルコ（1999年、コジャエリ地震）	2-1
2.1.2	インドネシア（2004年、スマトラ沖地震）	2-5
2.1.3	中国（2008年、四川省汶川地震）	2-8
2.1.4	中国（1999年、台湾・集集地震）	2-14
2.1.5	日本（1995年、兵庫県南部地震）	2-21
2.1.6	日本（2004年、新潟県中越地震）	2-29
2.1.7	日本（2007年、新潟県中越沖地震）	2-35
2.2	過去の大規模地震における電力設備被害及び復旧状況	2-41
2.2.1	トルコ（1995年、コジャエリ地震）	2-41
2.2.2	インドネシア（2004年、スマトラ沖地震）	2-41
2.2.3	中国（2008年、汶川大地震）	2-41
2.2.4	日本（1995年、兵庫県南部地震）	2-42
2.2.5	日本（2004年、新潟県中越地震）	2-43
2.2.6	日本（2007年、新潟県中越沖地震）	2-44
2.2.7	中国（1995年、台湾・集集地震）	2-45
第3章	調査対象国の電力事情	3-1
3.1	トルコ共和国	3-1
3.1.1	一般的事情	3-1
3.1.2	電気事業体制	3-1
3.1.3	電源・系統構成	3-2
3.1.4	電力需給	3-4
3.1.5	電源・系統開発計画	3-4
3.2	インドネシア共和国	3-5
3.2.1	一般的事情	3-5
3.2.2	電気事業体制	3-5

3.2.3	電源・系統構成.....	3-6
3.2.4	電力需給.....	3-8
3.2.5	電源・系統開発計画.....	3-9
3.3	中華人民共和国.....	3-10
3.3.1	一般的事情.....	3-10
3.3.2	電気事業体制.....	3-10
3.3.3	電源・系統構成.....	3-11
3.3.4	電力需給.....	3-12
3.3.5	電源・系統開発計画.....	3-13
3.3.6	華中電網.....	3-14
3.3.7	四川省電力.....	3-16
第4章	調査対象国の防災体制・計画.....	4-1
4.1	トルコ国の防災体制・計画.....	4-1
4.1.1	防災体制.....	4-1
4.1.2	防災計画.....	4-2
4.2	インドネシア国の防災体制・計画.....	4-3
4.2.1	防災体制.....	4-3
4.3	中国の防災体制・計画.....	4-5
4.3.1	防災体制.....	4-5
4.3.2	防災計画.....	4-6
4.3.3	国家電網の緊急管理体制.....	4-7
4.4	日本の防災体制・計画.....	4-7
4.4.1	災害対策関係法律.....	4-7
4.4.2	防災体制.....	4-10
4.4.3	防災計画.....	4-10
4.4.4	震災(地震)対策の現状.....	4-13
4.4.5	電気事業者の防災対策・計画.....	4-15
4.5	各国の設備設計基準.....	4-20
4.5.1	火力発電所.....	4-20
4.5.2	変電所.....	4-24
4.5.3	送電線.....	4-25
第5章	被災経験からの課題・教訓.....	5-1
5.1	地震防災対策上からの課題・教訓.....	5-1
5.2	被害状況からの課題・教訓.....	5-1
5.2.1	火力発電設備.....	5-1
5.2.2	水力発電設備.....	5-2
5.2.3	送電設備.....	5-3

5.2.4	変電設備	5-3
5.2.5	配電設備	5-4
5.3	復旧計画および復旧体制上からの課題・教訓	5-5
5.4	設計基準面からの課題・教訓	5-6
5.5	系統運用面からの課題・教訓	5-7
5.5.1	四川地震の電力設備被害	5-7
5.5.2	負荷変化状況	5-9
5.5.3	系統復旧状況	5-10
5.5.4	課題・教訓	5-10
第6章 大地震発生が予想される地域の特定・分析		6-1
6.1	トルコ国の大地震発生が予想される地域の特定・分析	6-1
6.2	インドネシア国の大地震発生が予想される地域の特定・分析	6-3
6.3	中国の大地震発生が予想される地域の特定・分析	6-6
第7章 電力設備の防災対策の基本方針		7-1
7.1	防災基本方針	7-1
7.2	震災前の防災対策	7-1
7.3	震災時の対策（被災時の影響軽減）	7-3
7.3.1	設備計画面の対策（N-1基準）	7-3
7.3.2	系統構成面の対策	7-4
7.3.3	24時間常駐の体制	7-5
7.4	震災後の復旧対策（被害設備の早期復旧）	7-5
7.5	震災リスク管理の現状	7-6
7.5.1	リスク管理の枠組み	7-6
7.5.2	リスクの定量化	7-9
7.5.3	自然災害保険と代替的リスク移転	7-11
7.6	震災リスク管理計画	7-20
7.6.1	事業継続計画（BCP）	7-20
7.6.2	BCPと防災計画	7-21
7.6.3	BCP策定に向けての具体的なアクション	7-23
第8章 電力設備の震災支援の可能性検討		8-1
8.1	電力セクターへの防災、震災支援(案)提案	8-1
8.1.1	震災前の支援(案)	8-1
8.1.2	震災時の緊急支援(案)	8-2
8.1.3	震災後の支援(案)	8-2
8.2	支援可能性チェックリスト	8-3
8.3	国内リソース(ソフト・ハード)活用の留意点	8-3

第9章 結 論	9-1
9.1 結論	9-1

参考文献	文献-1
------------	------

添付資料

1 地震による被害状況	添付-1
2 地震による電気設備被害状況 トルコ・コジャエリ地震	添付-2
3 地震による電気設備被害状況 中国四川省汶川地震	添付-3
4 地震による電気設備被害状況 兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）	添付-7
5 地震による電気設備被害状況 新潟県中越地震	添付-9
6 地震による電気設備被害状況 新潟県中越沖地震	添付-10
7 地震による電気設備被害状況 中国 台湾・集集地震	添付-12
8 中国現地調査結果	添付-14
9 建築基準法の耐震基準と設計地震力の変遷	添付-17
10 屋外タンクに関する消防法の改定	添付-19
11 道路橋示方書Ⅴ耐震設計編の改定	添付-21
12 港湾の施設の技術上の基準・同解説の改定	添付-23

略 語

ADRC	Asian Disaster Reduction Center (アジア防災センター)
AEL	Annual Expected Loss (年期待損失)
BAKORNAS PB	Badan Koordinasi Nasional Penanganan Bencana (インドネシア国家災害管理調整局)
BCP	Business Continuity Plan (事業継続計画)
BNPB	Badan Nasional Penanggulangan Bencana (インドネシア国家防災庁)
CARMA	Carbon Monitoring for Action
EPDK	Enerji Piyasasi Duzenleme Kurumu (エネルギー市場規制庁)
ESRI	Environmental Systems Research Institute, Inc.,
EUAS	Turkiye Elektrik Ticaret ve Taahhut A.S (トルコ電力取引契約会社)
EW	East West (東西)
GDP	Gross Domestic Products
GNP	Gross Natinal Products
ISO	International Standardization Organization)
JETRO	The Japan External Trade Organization (日本貿易振興機構)
Mj	日本気象庁マグニチュード
Mw	モーメントマグニチュード
NDRCC	National Disaster Reduction Center of China (中国・国家防災センター)
NS	North South(南北)
ODA	Official Development Assistance (政府開発援助)
PML	Probable Maximum Loss (予想最大損失)
PT. PLN	インドネシア国有電力会社
TEAS	Turkiye Elektrik Uretim Iletim A.S (トルコ発電電会社)
TEDAS	Turkiye Elektrik Dagitim A.S (トルコ配電会社)
TEIAS	Turkiye Elektrik Iletim A.S (トルコ送電会社)
TEK	Turkiye Elektrik Kurumu (トルコ電力庁)
TETAS	Turkiye Elektrik Uretim A.S (トルコ発電会社)
USGS	United States Geological Survey
UTC	Universal Time, Coordinated (協定世界時)

付 表 一 覧

表番号	表 題
表 1.5.1	調査団員
表 1.5.2	業務スケジュール
表 2.1.1	各国の被害額（暫定）と GDP との比較
表 2.1.2	復旧再建計画の対象区域内の被害
表 2.1.3	被害状況一覧
表 2.1.4	兵庫県南部地震における被害の概要
表 2.1.5	本震(10/23 17:56)の震度 震度6弱以上を観測した地点
表 2.1.6	新潟県中越沖地震（本震）の震度
表 2.1.7	新潟県中越沖地震における被害の概要
表 2.2.1	阪神・淡路地震被害と復旧状況
表 2.2.2	中越地震被害と復旧状況
表 2.2.3	新潟中越沖地震の被害状況と復旧状況
表 2.2.4	集集地震の被害と復旧状況
表 3.1.1	トルコの一般的事情
表 3.1.2	電源構成
表 3.1.3	電圧別送電線
表 3.1.4	変電設備
表 3.1.5	電力需給状況
表 3.1.6	最大負荷及び電力需要予測
表 3.1.7	年度別電源開発計画
表 3.2.1	インドネシアの一般的事情
表 3.2.2	電源構成
表 3.2.3	電圧別送電線
表 3.2.4	変電設備
表 3.2.5	電力需給状況
表 3.2.6	最大負荷及び販売電力量予測
表 3.2.7	年度別電源開発計画
表 3.3.1	中国の一般的事情
表 3.3.2	電源構成
表 3.3.3	電網の供給エリア
表 3.3.4	電圧別送電線
表 3.3.5	変電設備
表 3.3.6	電力需給状況

表 3.3.7	2005-2010 年度の最大負荷及び電力消費量予測
表 3.3.8	2006-2010 年間の年度別電源開発計画
表 3.3.9	発電設備容量(連系電圧 6kV 以上)と最大電力 (2008 年)
表 3.3.10	発電電力量(連系電圧 6kV 以上) (2008 年)
表 3.3.11	500kV 設備規模 (2008 年)
表 3.3.12	発電設備容量(連系電圧 6kV 以上)と最大電力 (2008 年)
表 3.3.13	発電電力量(連系電圧 6kV 以上) (2008 年)
表 4.4.1	緊急時の防災情報発表のための地震及び震度観測網
表 4.4.2	地震・地殻活動の詳細な把握、調査研究のための基盤的観測網
表 4.4.3	設備別の復旧順位
表 4.4.4	設備毎の耐震設計等の予防措置
表 5.5.1	電圧・設備別の被害数
表 5.5.2	四川省電力の基幹系統の復旧状況
表 6.2.1	インドネシアにおける近年の大災害
表 7.2.1	電気設備の耐震性確保の基本的考え方
表 7.5.1	企業におけるリスクの負担と移転
表 7.5.2	「南関東の地震リスクの証券化」で用いられた元本没収率
表 7.6.1	BCP 促進に係る動向
表 8.2.1	支援可能チェックリスト

付 図 一 覧

図番号	表 題
図 2.1.1	1999 年コジャエリ地震の地震断層
図 2.1.2	トルコにおける主要断層
図 2.1.3	トルコ周辺地域のプレート運動
図 2.1.4	北アナトリア断層と 20 世紀の地震
図 2.1.5	トルコの地震危険度マップ
図 2.1.6	アンダマン海付近の海底地形と陸地標高
図 2.1.7	USGS による 2004 年スマトラ島西沖大地震の本震（星印）と余震 （2005 年 1 月 29 日まで（35 日間））の分布
図 2.1.8	シミュレーションにより推定された津波到着時間の等時線（時間毎）
図 2.1.9	津波被害を受けた主な海岸部
図 2.1.10	龍門山断層帯及び地震後地表に現れた断層の跡（赤い線）
図 2.1.11	汶川地震の震央から 200km 範囲内 1933 年以降の歴史地震分布図
図 2.1.12	震度分布図
図 2.1.13	推定断層面の地上での投影
図 2.1.14	水平加速度分布図（左:EW 成分、右:NS 成分）
図 2.1.15	発電所の分布
図 2.1.16	集集地震の震源位置
図 2.1.17	集集地震のメカニズム解
図 2.1.18	台湾付近のプレート境界
図 2.1.19	台湾の構造断面図
図 2.1.20	野島断層
図 2.1.21	兵庫県南部地震のメカニズム解
図 2.1.22	兵庫県南部地震の震度分布
図 2.1.23	兵庫県南部地震における震度 7 の地域の分布
図 2.1.24	電力復旧状況
図 2.1.25	メカニズム解
図 2.1.26	断層の食い違い分布（東大地震研 EIC レポートによる）
図 2.1.27	余震分布（本震後 24 時間）
図 2.1.28	地殻構造推定断面図
図 2.1.29	広域震度分布（本震）
図 2.1.30	気象庁推計震度分布（本震）
図 2.1.31	メカニズム解（防災科研 F-NET, 逆断層のメカニズムを示す）
図 2.1.32	インバージョン解析に用いた 2 つの断層面
図 2.1.33	推定されたすべり分布の地表投影
図 2.1.34	気象庁資料による余震活動

- 図 2.1.35 気象庁資料による震度分布
- 図 2.1.36 気象庁資料による推定震度分布

- 図 3.1.1 電気事業体制
- 図 3.1.2 主要送電系統
- 図 3.2.1 電気事業体制
- 図 3.2.2 ジャワ島 500kV 基幹系統
- 図 3.2.3 スマトラ島基幹電力系統
- 図 3.3.1 中国の電気事業体制
- 図 3.3.2 華中電網会社の供給エリア
- 図 3.3.3 華中電網 500kV 系統図 (2007 年現在)
- 図 3.3.4 発電業務の企業別割合
- 図 3.3.5 四川省基幹電力系統

- 図 4.1.1 トルコの震災地域の震災対策管理体制 (モデル)
- 図 4.2.1 国家行政体制における国家防災庁の組織構成図
- 図 4.3.1 中国国家減災委員会構成図
- 図 4.4.1 中央防災会議の構成・役割
- 図 4.4.2 防災計画の構成と体系

- 図 5.5.1 地震後の送電線運転状況
- 図 5.5.2 地震前後の四川電網系統の負荷変化

- 図 6.1.1 1900-1998 年におけるトルコとその近傍の震央分布
- 図 6.1.2 マルマラ地域の歴史地震分布
- 図 6.1.3 マルマラ地域の地震の震源メカニズム
- 図 6.1.4 マルマラ地域の 1976-1995 年の地震の震央分布
- 図 6.2.1 インドネシアにおける震度 5 以上の地震発生数 (年単位)
- 図 6.2.2 インドネシア周辺における過去発生した地震の規模と深さ
- 図 6.2.3 インドネシア周辺における地震発生に伴う陸上の移動加速度
- 図 6.3.1 プレート構造
- 図 6.3.2 M5.0 以上の歴史地震の分布
- 図 6.3.3 中国の地震帯分布図
- 図 6.3.4 耐震設計基準である地震ハザードマップ

- 図 7.2.1 平常時実施事項
- 図 7.3.1 1 単位の設備事故の例

- 図 7.3.2 系統構成面の対策（東京電力の例）
- 図 7.5.1 リスク管理のプロセス
- 図 7.5.2 リスク処理手段の分類
- 図 7.5.3 企業を取り巻くリスク
- 図 7.5.4 リスクカーブと損失の定義
- 図 7.5.5 日本で最初の自然災害リスクの証券化に関する記事
- 図 7.5.6 「南関東の地震リスクの証券化」で用いられたグリッド
- 図 7.6.1 企業のBCPへの取り組み
- 図 7.6.2 BCPで目指すこと
- 図 7.6.3 BCPと防災計画
- 図 7.6.4 BCP導入の理由付け
- 図 7.6.5 BCP策定に対する防災計画の活用
- 図 7.6.6 BCMの構築

第1章 序 論

1.1 当該調査の背景

近年、電力需要は開発途上国を中心に増加の一途をたどっており、電源（原子力、水力、火力、新エネルギーを含む）開発及び送配電網の拡張についても、この需要増加に対応するべく、急ピッチで進められている。また広域電力融通や電力プール制度を構築することにより、不足しがちな予備力をカバーする試みが進展し、その結果、電力系統の高度化・複雑化が進むことになった。

上記電力系統の高度化・複雑化により、系統全体としての経済効果が上昇する一方で、系統の運用、特に事故時における他系統への波及防止および速やかな送電開始等、「系統全体を見据えた上での安定的な電力供給」の重要性が認識され始めた。特に2008年5月の中国四川省大地震（マグニチュード7.9）による四川省内の電力系統及び発電施設への被害は、四川省のみならず中国国内の電力供給に大きな影響を与えた。また日本国内においても、2007年7月に新潟県中越沖地震が発生し、柏崎刈羽原子力発電所が大きな被害を受けて運転が停止し、現在も点検・復旧作業が続けられている。

これまでの機構の電力セクターへの協力は、旺盛な電力需要に対し、如何に電源開発や送配電網拡充、系統運用により対応していくか、といった点が中心であり、上記のような大規模地震によって引き起こされる電力の供給支障、それによる経済活動や生活への影響についてはほとんど考慮されていなかった。

本調査では、上記を背景に、災害、特に大規模地震発生時の経済活動や生活の基盤となる電力設備の効果的な復旧を行うための支援の可能性について、特に被害が想定される火力発電所及び送電系統について検討するものである。

1.2 調査の目的

上記調査の背景を基に調査を実施する。調査の目的は、貴機構の本案件業務指示書に記載されている下記の業務を指定スケジュールに従って行うことにある。

- ① 地震によりもたらされる主要な現象（振動、地すべり、津波等）とこれら現象による電力設備被害実態実績をまとめる。
- ② 大規模地震発生時の電力セクターにおける課題を分析する。
- ③ 火力発電・送電系統について、以下の2点につき支援・協力の可能性について検討する。
 - ・大規模地震災害を念頭においた設備被害リスク及び電力供給の速やかな復旧のための手法を検討する。
 - ・大規模地震被害設備（火力発電・送電系統）の復旧支援・協力の可能性について検討する。

1.3 調査対象地域

貴機構の業務指示書に記載の通り、大規模地震発生頻度の高いトルコ、インドネシア、中国、日本等を中心とする。ただし、事例調査としての現地調査は2008年5月12日に発生した中国・四川省大地震(汶川地震)地域とする。

1.4 調査の範囲

本件調査は、調査対象地域のこれまでに電力インフラに被害を及ぼした大規模地震事例を対象として下記調査段階に区分して実施する。

(1) 第1次国内作業

(a) 大規模地震発生に関する分析

- ①地震発生メカニズムと被害予想の分析
- ②過去の大規模地震とそれに伴う電力設備被害の抽出・分析
- ③電力供給の復旧段階の分析（例：ディーゼル電源等の持ち込みによるライフライン関連施設への電力緊急供給、送電網の点検修復、他系統からの電力融通、発電施設の点検・修復、本格復旧等）

(b) 調査対象国における電力セクターの現状レビュー

- ①電気事業経営（政策・体制）
- ②電源・系統構成
- ③電力需給
- ④電源・系統開発計画
- ⑤設備計画・設計基準（火力発電・送変電設備）
- ⑥復旧計画・体制等

(2) 現地調査

(a) 震災時の課題調査

2008年5月12日に発生した中国四川省大地震を事例として、現地関係者のインタビューや火力発電・送電設備等の視察を行い、電力設備の震災復旧における下記課題を抽出・分析する。

- ・復旧計画・体制
- ・設備計画・設計基準
- ・電源
- ・系統運用

(3) 第2次国内作業

(a) 震災時の課題分析

上記現地調査を事例として抽出した課題を参照に、調査対象国の震災時の電力設備の震災復旧における課題として比較分析する。

(b) 震災支援の可能性の検討と具体的な復旧支援（案）の提案

上記(1)～(3)の作業で整理した震災時の課題を基に、下記事項を整理・提案する。

- ・ 機構の震災・電力関連協力実績のレビュー
- ・ 復旧支援可能性チェックリストの作成
- ・ 国内リソースを踏まえた復旧支援策（案）の提案

1.5 調査団員及び調査スケジュール

(1) 調査団員

調査団員を表 1.5.1 に示す。

表 1.5.1 調査団員

担 当	氏 名	所 属
総括/電力供給復旧計画	出水 倬	東電設計(株)
系統計画/系統運用	木下 信行	〃
火力発電設備	小島 明	〃
送電設備	梶山 泰幸	〃
地震/防災 (1)	池田 誠	(社)都市防災研究所
地震/防災 (2)	小鹿 健平	東電設計(株)
被害リスク分析	福島 誠一郎	〃

(2) 業務スケジュール

業務スケジュールを表 1.5.2 に示す。

表 1.5.2 業務スケジュール

調査段階	主な業務内容	業務期間	成果品提出
1. 第1次国内作業	1) 資料収集・整理・分析 2) 大規模地震発生に関する分析 3) 電力セクターのレビュー 4) 震災時の課題・教訓分析	平成 21 年 1 月 7 日 ～2 月 7 日	1) インセプション レポート 2) インテリム レポート
2. 現地調査	1) 四川省大地震被害調査	平成 21 年 2 月 8 日 ～2 月 14 日	
3. 第2次国内作業	1) 震災支援の可能性検討 2) 具体的震災支援(案)の提案	平成 21 年 2 月 16 日 ～2 月 28 日	1) ドラフトファイナルレポート 2) ファイナルレポート

第2章 大規模地震発生に関する分析

2.1 過去の大規模地震の発生メカニズムと被害概要

2.1.1 トルコ（1999年、コジャエリ地震）

(1) 地震概要

1999年8月17日午前3時2分（現地時間、UTC+2）、トルコ国コジャエリ県を中心としてマグニチュードMw（モーメントマグニチュード）7.4（米国地質調査所（USGS:United States Geological Survey））が発生した。震央はマルマラ海が東に入り込んだイズミット湾、震源断層は、イズミット湾から東方に総延長約150kmにも及んだ。震源は浅く、地表面に地震断層が現れた。

トルコ周辺のテクトニクスは複雑（図2.1.1～3）で、ユーラシアプレート、黒海プレート、アラビアプレートなどに囲まれたアナトリアプレートが、アラビアプレートの北進により西に押しやられており、これにより東西約1,200kmにおよぶ北アナトリア断層では、年平均移動速度約 24 ± 4 mmもの右横ずれが生じている。北アナトリア断層に沿って、1939年エルジンジャン地震（M7.9、死者約33,000人）をはじめとしてM7以上の地震が6回発生し、西に向かって断層破壊領域が進行しつつあった。こうした地震活動履歴から、1967年以降空白域となっている断層西部のイズミット湾周辺が危険と指摘されていた（図2.1.4）。

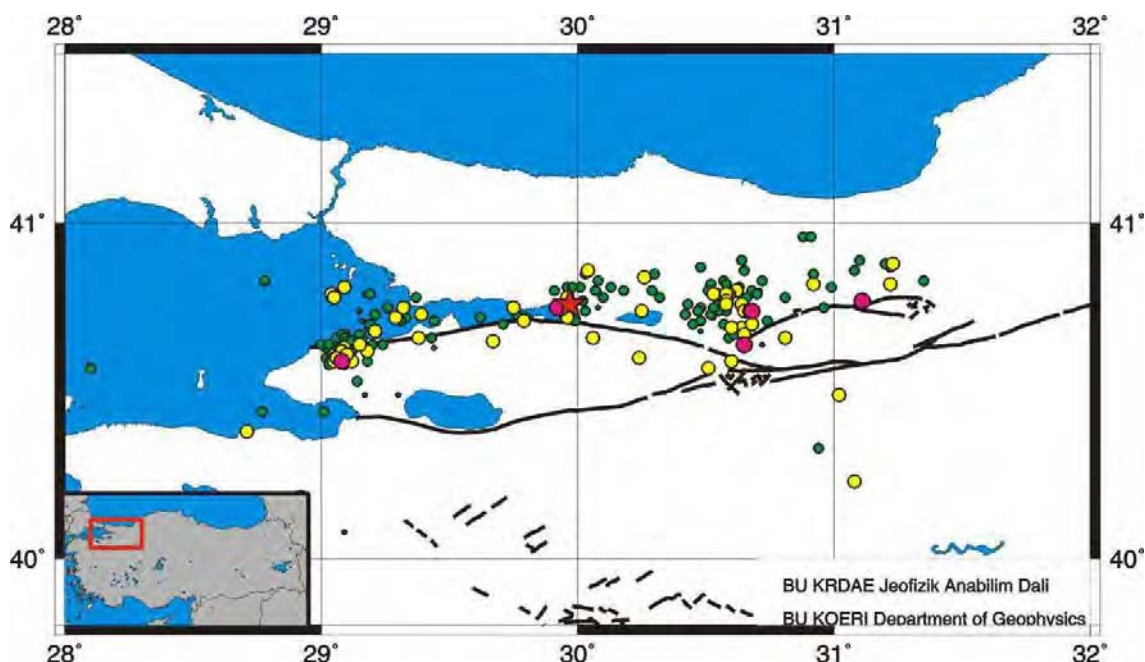


図 2.1.1 1999年コジャエリ地震の地震断層

（出典：<http://193.140.203.16/geophy/IZMIT/depreme.html>）

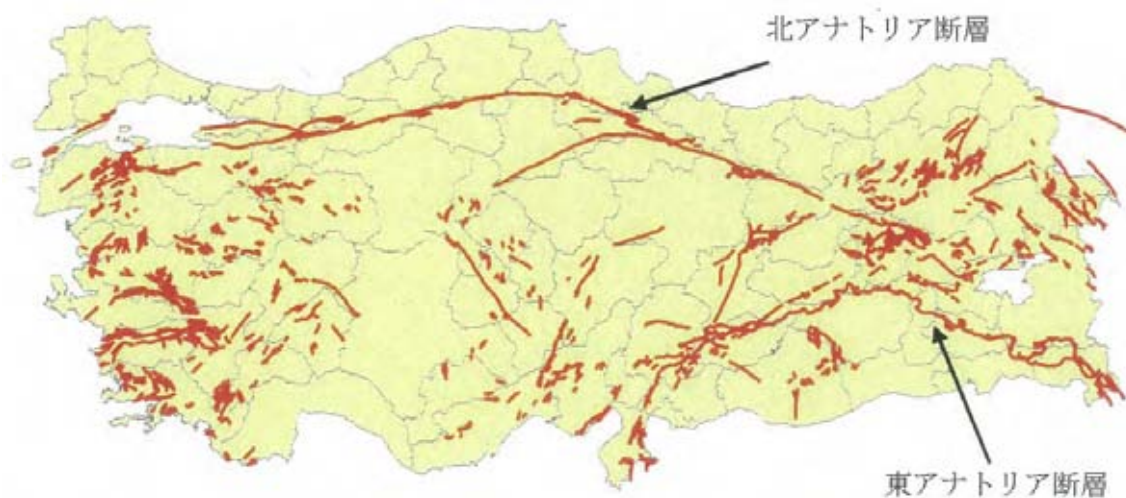


図 2.1.2 トルコにおける主要断層

(出典 : http://www.nliro.or.jp/disclosure/q_kenkyu/No12_2.pdf)

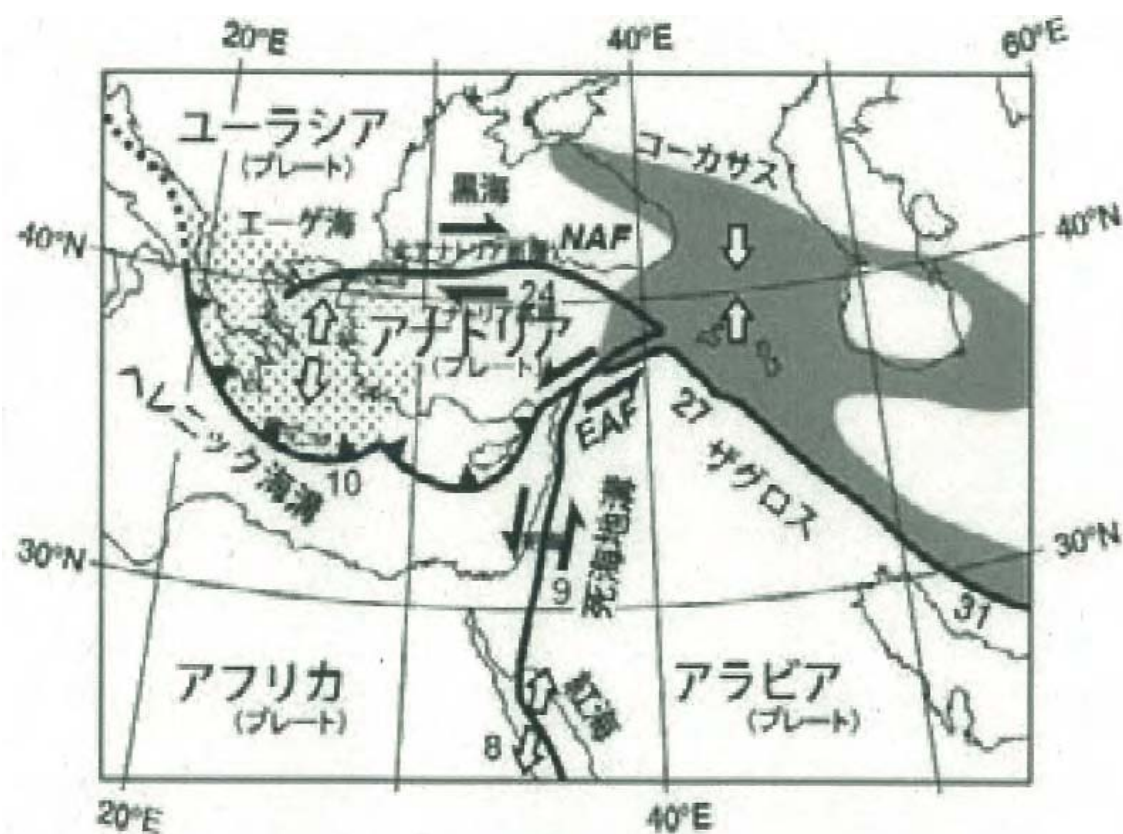


図 2.1.3 トルコ周辺地域のプレート運動

(出典 : http://www.nliro.or.jp/disclosure/q_kenkyu/No12_2.pdf)

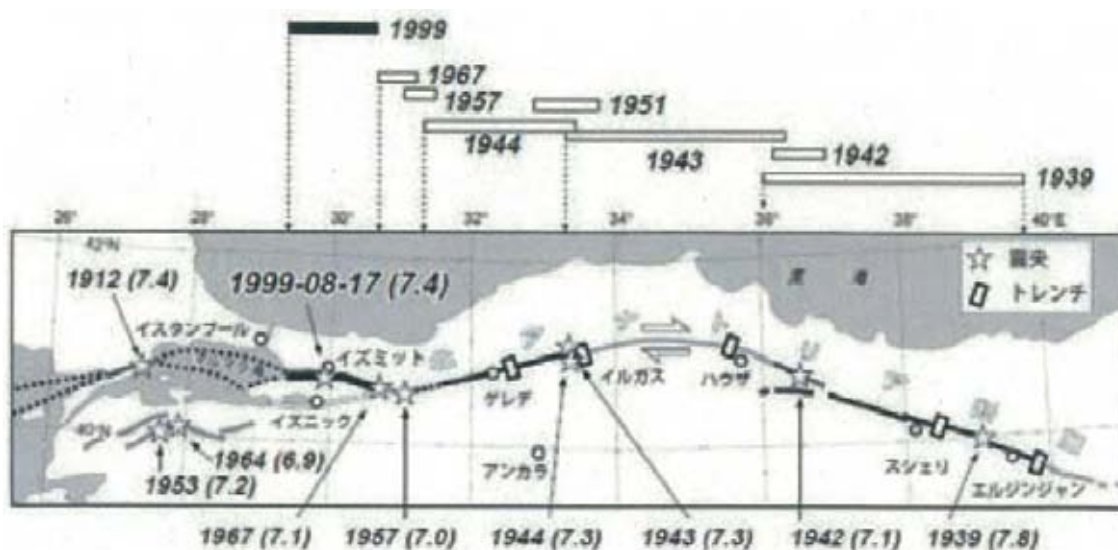


図 2.1.4 北アナトリア断層と 20 世紀の地震

(出典 : http://www.nliro.or.jp/disclosure/q_kenkyu/No12_2.pdf)

(2)被害概要

トルコ共和国の人口は約 6300 万人で、被災地であるマルマラ地方は人口ではシェア 23% であるが、GNP シェアは 35%にのぼり、特にイズミット湾沿岸地域は、トルコ産業経済の屋台骨を支える地域といわれている。トルコ政府危機管理センターにより公表された被害統計は、死者 17,181 名、負傷者 43,953 名、全半壊家屋 133,683 戸、全半壊事業所等 20,828 戸である。国土計画庁によると、直接被害の被害総額はトルコ政府推定で 85~130 億 US ドル、世界銀行推定で 30~65 億 US ドルとなっている。被害総額を仮に 1 兆円とすれば、兵庫県南部地震の 10%程度となるが、トルコの GNP が 2046 億 US ドルであることから被害総額の対 GNP 比は約 5%にも及び、経済的インパクトの大きさが伺える。

耐震設計の面では、50 年 10%超過確率(再現期間 475 年)の期待最大加速度に基づいて、設計荷重の基準値を決める地域ゾーニングが行われ、トルコ全土が地震危険度に応じて Zone I~V の 5 段階に分類されている(図 2.1.5)。コジャエリ地震の被災地周辺の期待最大加速度は 0.5G 前後と推定されており、最も危険度の高い Zone I に属している。1975 年改訂の建築基準では、Zone I の設計用せん断力係数(ベースシア係数)は 0.10 であった。1997 年の改訂で 0.40 にかさあげされたが、ほとんどの被災建物は旧基準に基づいて設計されたものと考えられる。

建築物と比較すると公共土木施設の被害は比較的軽微であったといえるが、その被害の多くが断層変位によりもたらされたことがクローズアップされた。アリフィエでは、イスタンブール~アンカラ間を結ぶ高速道路(Trans-European Motorway; TEM)のオーバーパ

ス（4 スパン橋長約 30m の単純 PC 橋）が、断層変位により桁の南側が落下した。右横ずれ断層の変位量を 4m とした場合、橋軸方向の変位は 1.37m、橋軸直角方向の変位は 3.76m となり、桁かかり長（橋台側 60cm、橋脚側 45cm）をはるかに上回っている。また鉄道施設に関しては、アダパザルの南東アキアズにあるテペタルラ駅の 150m 北の地点で、約 2.5m の右ずれ断層変位により盛土およびレールの蛇行が発生した。不通の間は蛇行部分をはさんで部分運転していたが、この被害箇所は 3 日後には復旧している。なお、これらの被災箇所周辺では、水道管の破断も確認されている。



図 2.1.5 トルコの地震危険度マップ

(出典 : http://www.nliro.or.jp/disclosure/q_kenkyu/No12_2.pdf)

(3) 電力施設被害と影響

トルコ国電力公社 (TEAS) が供給する電気に関しては、水力、火力などの発電施設の被害は全くなく、一部トルコ配電公社 (TEDAS) の変電所や送電線に被害が生じたが、被災地域では地震直後に停電となったが全般的に電気の復旧は早かった。当日中には地域の応急送電体制が整えられたが、市中の建物倒壊地区などでは配電の復旧に時間を要するものもあった。市中では応急仮設的なテントでの避難生活者が多く、地震直後に既存の建物での電力使用は殆どなかったと考えられるが、救援救護活動、復旧活動などに停電が支障を及ぼした面もあった。

2.1.2 インドネシア(2004年、スマトラ沖地震)

(1)地震概要

2004年12月26日(日)朝7時58分(現地時間:インドネシア西部標準時。UTC+7)頃、インドネシアのスマトラ島西方沖でマグニチュード9.0(米国地質調査所(USGS: United States Geological Survey)による推定)の巨大地震が発生した。震源の位置は北緯3.307度、東経95.947度、深さ約10kmと推定されている。この地域は、インド-オーストラリアプレートがユーラシアプレートの下に沈み込んでいる地域で、今回の地震は典型的なプレート境界型地震である。ユーラシアプレート側が跳ね上がる逆断層型であったと考えられている。図2.1.6に震源付近の海底地形と陸地標高を示す。

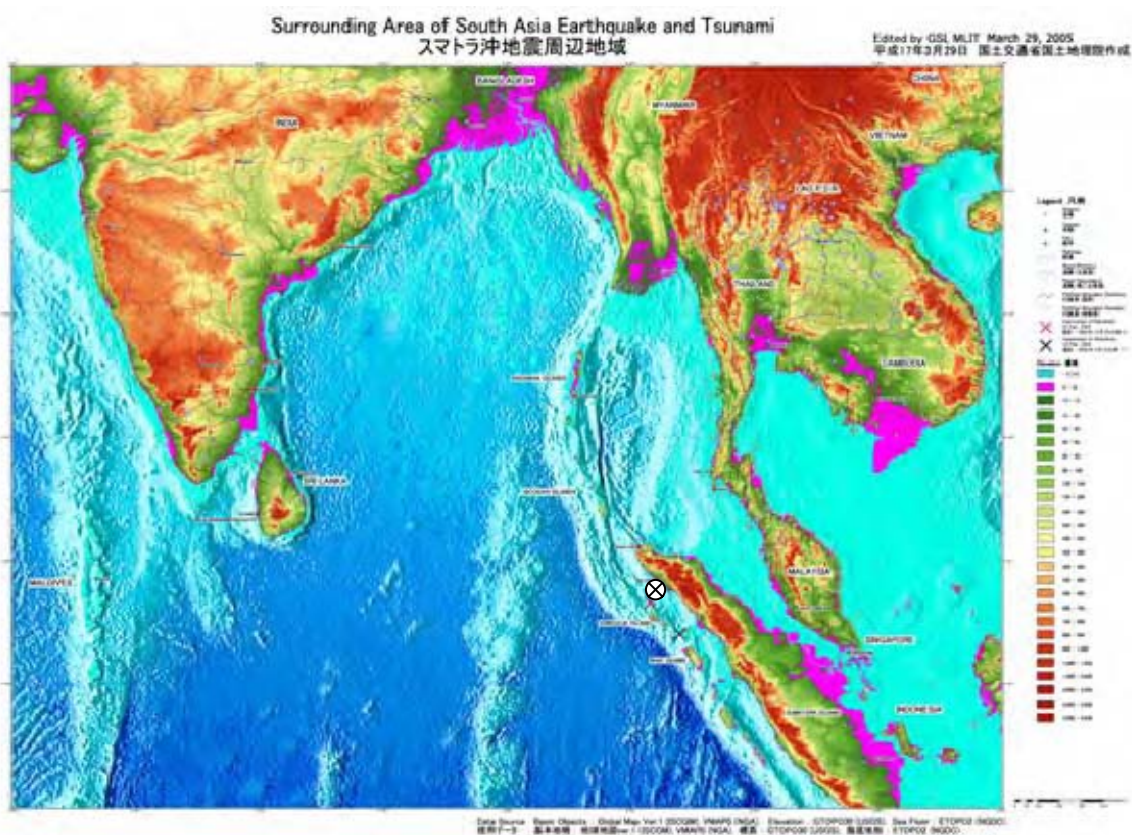


図 2.1.6 アンダマン海付近の海底地形と陸地標高
「⊗」は2004年12月26日の地震(M9.0)の震央
(出典:国土地理院)

USGSの観測によれば、2004年12月26日の地震の余震は本震の位置から北側にアンダマン・ニコバル諸島に沿って細長く分布している(図2.1.7参照)。地震は物理的には点ではなく、広がりを持った断層面に沿う破壊現象であるが、津波はこの長さ南北1000km以上に及ぶ巨大な断層面付近の海域で励起され、主に東西にエネルギーが伝播した(図2.1.8参照)。

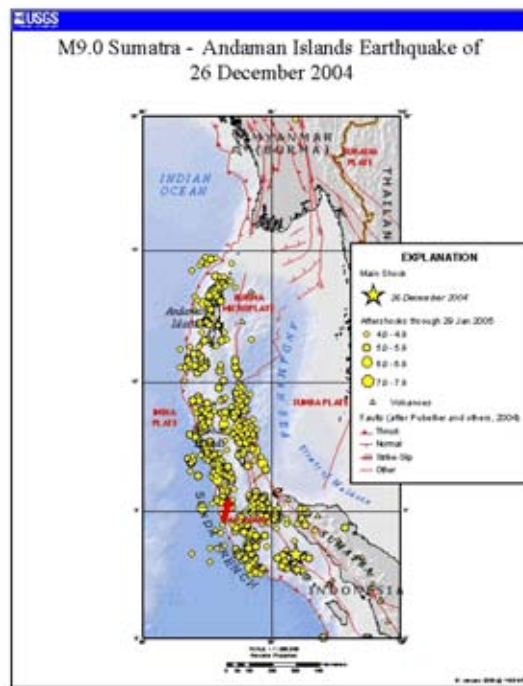


図 2.1.7 USGS による 2004 年スマトラ島西沖大地震の本震（星印）と余震（2005 年 1 月 29 日まで（35 日間））の分布
（出典：米国地質調査所）

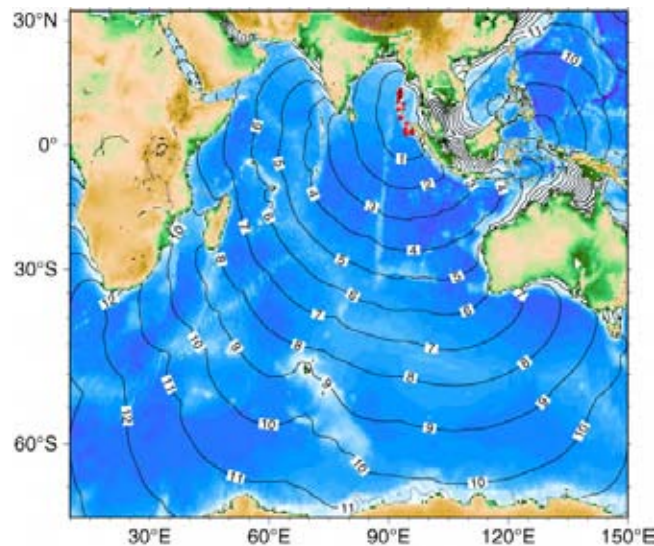


図 2.1.8 シミュレーションにより推定された津波到着時間の等時線（1 時間毎）
（津波は浅い海域では遅く、深い海域では早く伝わる）
（出典：産業技術総合研究所活断層研究センター）

インドネシア以外の国では地震動による直接的な被害は報告されていない（震源断層直上のアンダマン・ニコバル諸島（インド領）でも地震による強い揺れはあったのではない

かと思われるが、詳しい報告はない)。地震動は震源域から離れるにつれ幾何級数的に減衰し、多くの国では、地震による地面の揺れを沿岸住民が感じないまま津波が海岸を襲った。

津波被害を受けた海岸線は主な部分だけでも 15,000km 以上に達する(図 2.1.9 参照)。震源近くのスマトラ島沿岸では最大で高さ 40m 以上の津波の痕跡が観測されている。タイでも津波の最大高さは局所的には 10m 以上に達した。スリランカ、インド、マレーシア、ミャンマーでも 2~6 メートルの津波が観測された。バングラデシュ、モルディブ、ソマリア、ケニア、タンザニア、セーシェル、マダガスカル等でも 1~3 メートルの津波が観測された(津波高さは暫定)。全ての被災地で津波は一度だけではなく数回繰り返した。

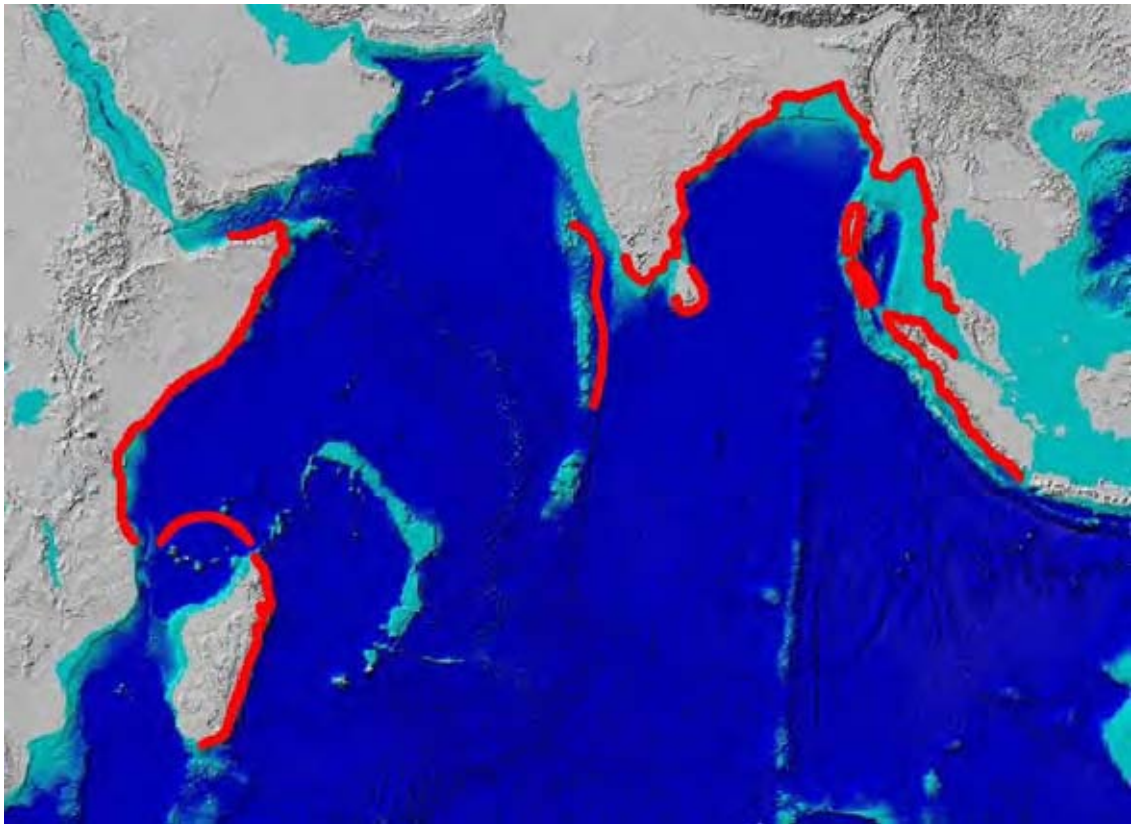


図 2.1.9 津波被害を受けた主な海岸部

(津波による被害を受けた主な海岸部の位置を太線で示した)

(出典：ESRI 社作成のデータを元に ADRC が再編集)

2004 年インド洋大津波は被災範囲が十数ヶ国にもわたる広域災害であり、交通網や通信網も寸断され、もともと政情不安定な地域もあり、被害状況の把握には当初から大きな困難がともなった。今回の地震・津波による死者・行方不明者総数は 28 万人以上と推定されている。

被災した国々は開発途上国が多く、単純に経済被害額だけを見た場合にはその国にとっての影響を評価しにくい。そこで、アジア防災センターは 2004 年スマトラ島西沖大地震・

インド洋大津波による主な被災国の被害額（暫定）とその GDP とを比較し、経済被害の国家に与える影響を見積もった（表 2.1.1 参照）。その結果、モルディブの被害額はインドネシア、スリランカ、インドに比べ少なく、タイと同程度であるが、GDP 比で見るとダメージの大きさが突出していることが明らかになった。

表 2.1.1 各国の被害額（暫定）と GDP との比較

国名	被害額 (億 US\$)	GDP (2002 年) (億 US\$)	被害額/GDP (%)
モルディブ	4.10	6.26	65.47
スリランカ	10.00	165.67	6.04
インドネシア	45.05	1729.11	2.61
タイ	4.52	1269.05	0.32
インド	15.00	5101.77	0.29

(出典: CRED EM-DAT, World Bank World Development Indicators)

2.1.3 中国(2008年、四川省汶川地震)

(1)地震概要

2008年5月12日14時28分(現地時間、UTC+8)、中国四川省阿壩チベット族チャン族自治州汶川県(北緯31度1分5秒、東経103度36分5秒)を震央とするマグニチュードMs8.0(中国地震局)、Mw7.9(USGS)、震源深さ14kmの地震を発生した。中国地震信息网(<http://www.csi.ac.cn/sichuan/index080512.htm>)によると、この地震は、四川盆地の北西端にあって北東から南西の方向に走る衝上断層(断層面が水平に近い逆断層)が動いた結果とし、龍門山脈の下を走る龍門山断層帯(ロンメンシャン断層帯)と呼ばれる断層の一部が破壊して起こったものとみられている。破壊断層は200km以上に達し、断層の水平変位と鉛直変位は共に最大約5mであると推定されている。龍門山断層帯及び地震後地表に現れた断層(赤い線)を図2.1.10に示す。

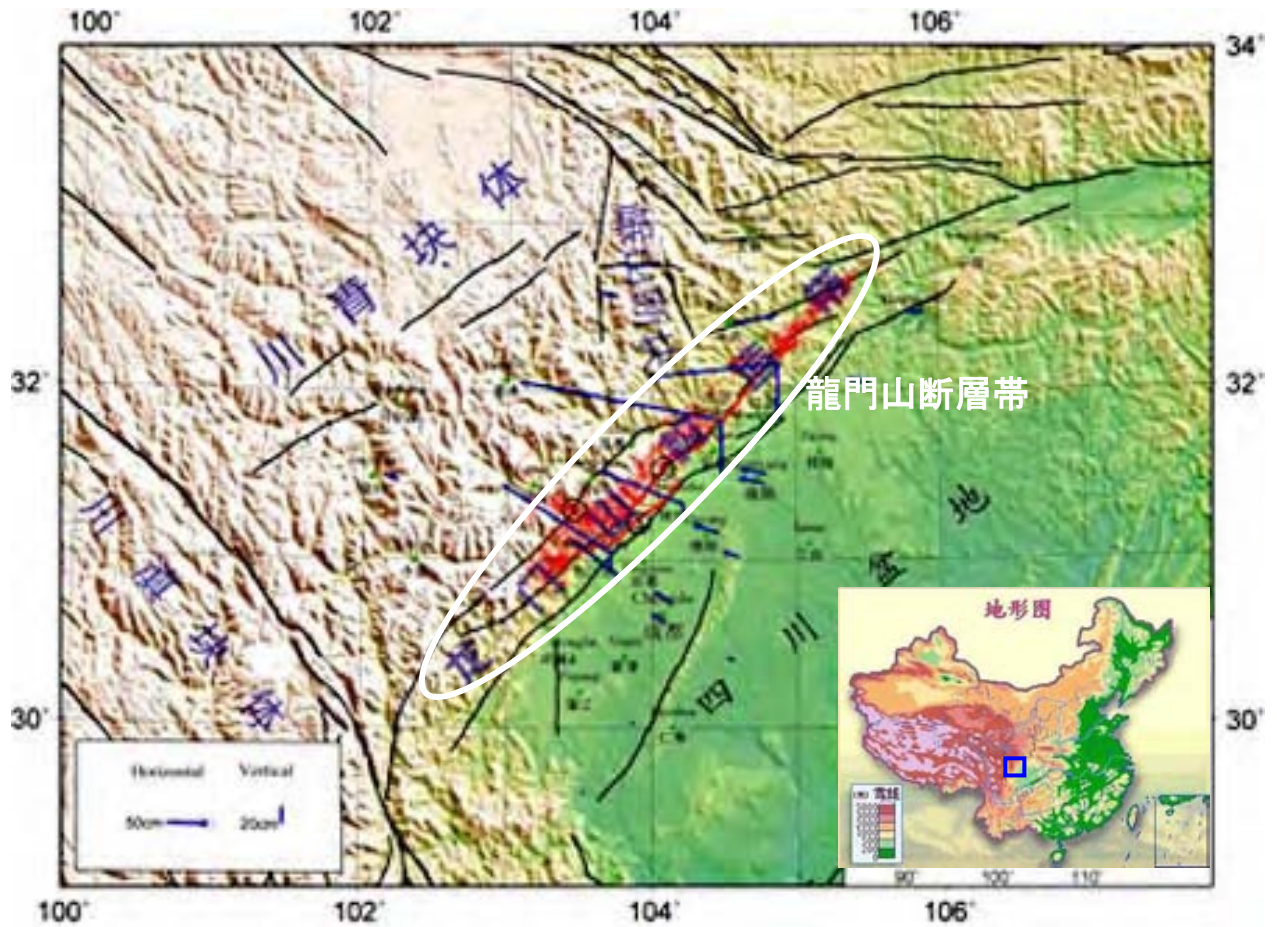


図 2.1.10 龍門山断層帯及び地震後地表に現れた断層の跡(赤い線)

地震が発生したこの付近は、標高 5000m 級の山が連なるチベット高原から標高 500m 前後の四川盆地へと急激に標高が低くなる地帯である。この付近で活発な地質活動（隆起、沈降、地震といった大地の動きの総称）がこのような急な地形が形成された要因であり、この地震の要因でもある。今回の震央から 200km 範囲内で歴史上マグニチュード 7 以上の地震が 8 回発生し、最大震度は X(中国の震度は、改正メルカリ震度 (MMI) であり、I から XII までの 12 階級により構成されている) であった。1933 年以降の歴史地震を図 2.1.11 に示す。但し、龍門山断層帯の変形速度が小さく、平均年間 3~4mm と言われ、マグニチュード 8 クラスの地震の再現周期は 3000~5000 年以上と推定されている。

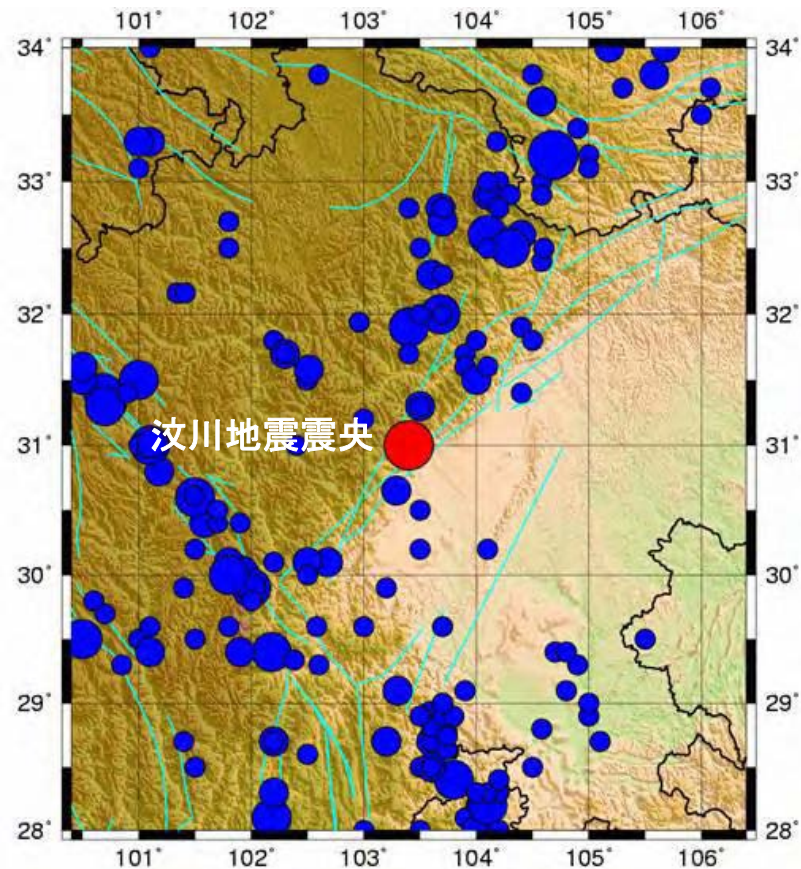


図 2.1.11 汶川地震の震央から 200km 範囲内 1933 年以降の歴史地震分布図

(2)被害概要

中国地震局が発表した汶川地震の震度分布図を図2.1.12に示す。最大震度はXIである。中国の震度は、改正メルカリ震度(MMI)であり、IからXIIまでの12階級により構成されている。日本の気象庁震度とMMIとは簡単な対応関係がないが、気象庁震度が7で最大であると考え、汶川地震の最大震度XIは気象庁震度の6強あたりであるとも考えられる。大きな被害をもたらした範囲は13万平方キロメートルに及ぶ、総人口は約2000万人、地域総生産は2400億元(約3兆円)である。

中国国務院が2008年9月19日に公表した「汶川地震災後復旧再建全体計画」により、2008年8月25日時点での地震による死者は69,226人、負傷者は374,643人に上り、17,923人がなおも行方不明となっている。また、11月21日の四川省副知事による発表では生徒の死亡者数を19,065人とし、これは9万人弱とされる死者、行方不明者全体の2割を越えている。地震により避難した人は約1,514万人、被災者は累計で4,616万人であった。なお、上記計画の意見募集ドラフトでは、計画の対象である51の県(市、区)の被害が表2.1.2に示したようなデータがまとめられている。

汶川8.0級地震烈度分布图

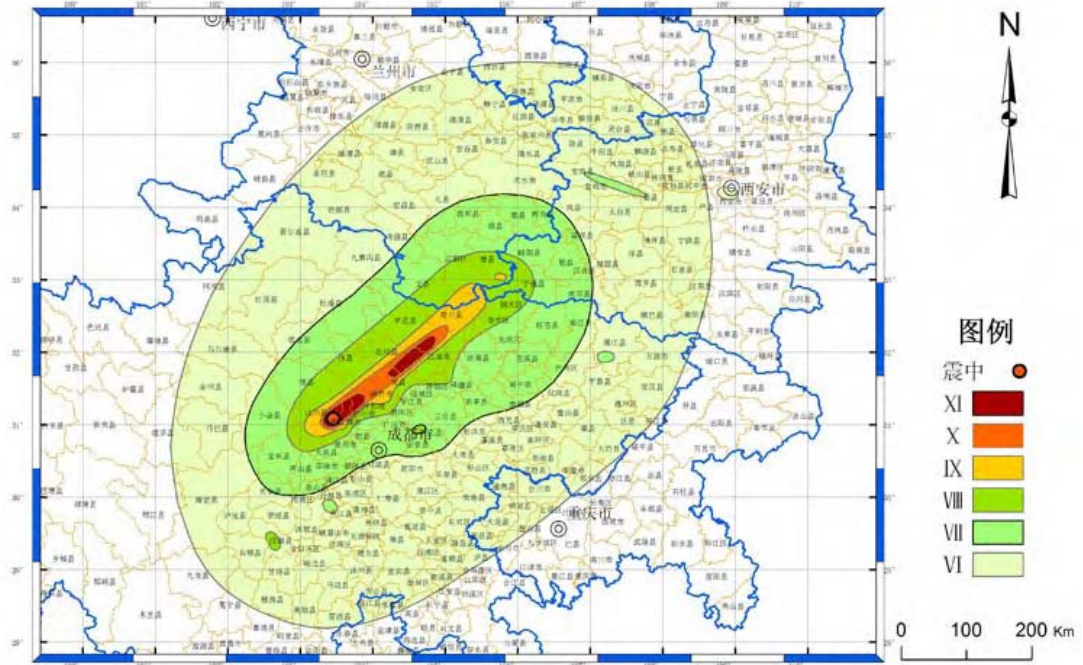


図 2.1.12 震度分布図

表 2.1.2 復旧再建計画の対象区域内的の被害

項目	単位	被害	
直接経済損失	億元	8,437.7	
工業直接経済損失	億元	961.8	
農業直接経済損失	億元	404.2	
道路被害	km	34,125	
貯水池被害	箇所	1,263	
送変電設備被害	送電線	km	61,524
	35kV 以上変電所	箇所	250
学校被害	箇所	7,444	
医療施設被害	箇所	11,028	
農村住宅被害	倒壊	万 m ²	10,709.6
	大壊	万 m ²	9,432.2
都市住宅被害	倒壊	万 m ²	1,887.9
	大壊	万 m ²	5,836.2

中国地震局の地震動観測結果によると、震央から 22km 地点での最大水平加速度は

957.7cm/s²に達し、断層から0.74kmしか離れていない観測点の最大水平加速度は824.1cm/s/sである。推定断層面と加速度の分布をそれぞれ図2.1.13と図2.1.14に示す。それらの図と震度分布図(図2.1.12)を比べてみると、被害の大きい地域(震度IX、X、XI)の範囲と、加速度の分布と断層面とほぼ重なり、すなわち、断層面上では被害が大きく、断層に離れるにつれ、地震動、被害共に急激に減衰したと見られる。

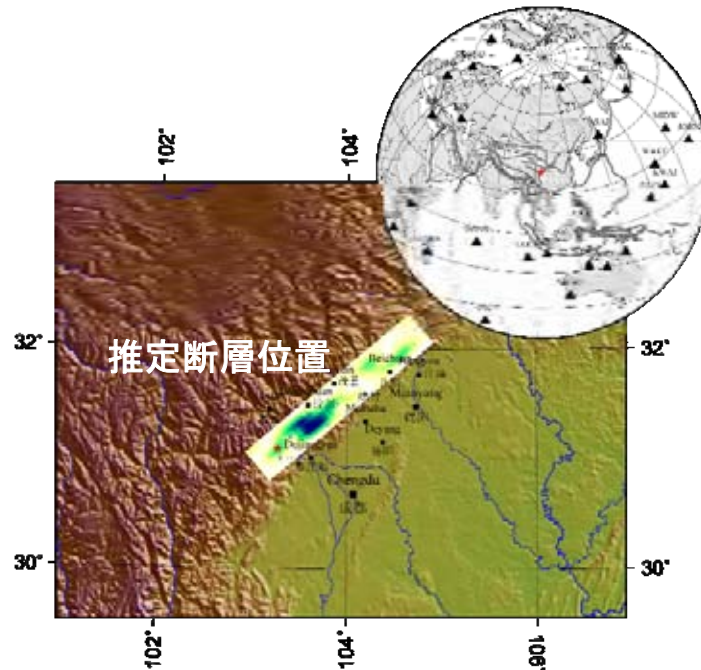


図 2.1.13 推定断層面の地上での投影

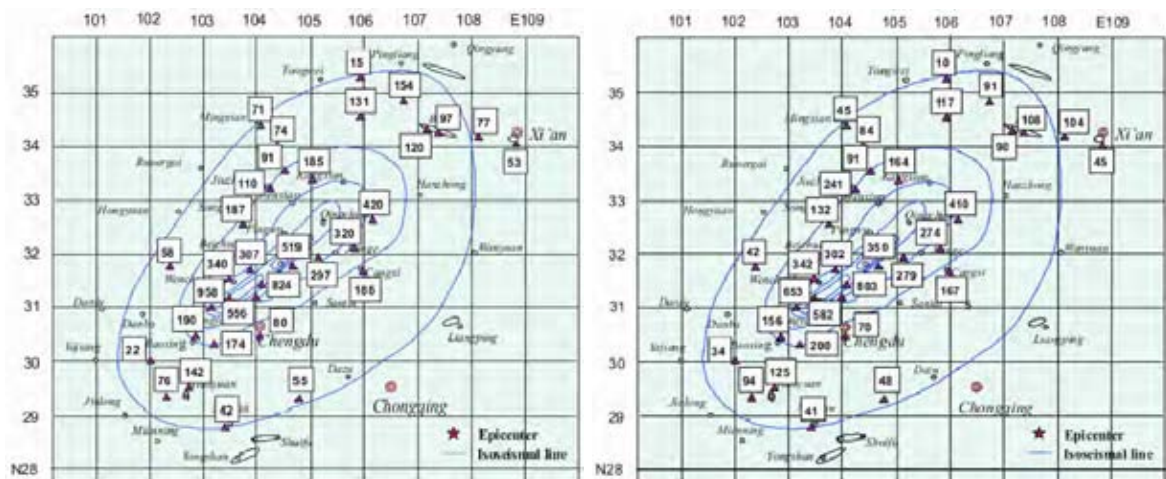


図 2.1.14 水平加速度分布図 (左:EW成分、右:NS成分)

CARMA (Carbon Monitoring for Action) Web (<http://carma.org>) により、中国は現在 2,162 個の発電所があり、年間発電能力は 3 兆 2600 億 kWh、そのうち化石燃料による割合は 82.51%、水力は 14.51%、原子力は 2.02%、その他再生可能エネルギーは 0.12%である。図 2.1.15 に示すように、今回の地震の影響範囲には、数多くの発電所が存在する。

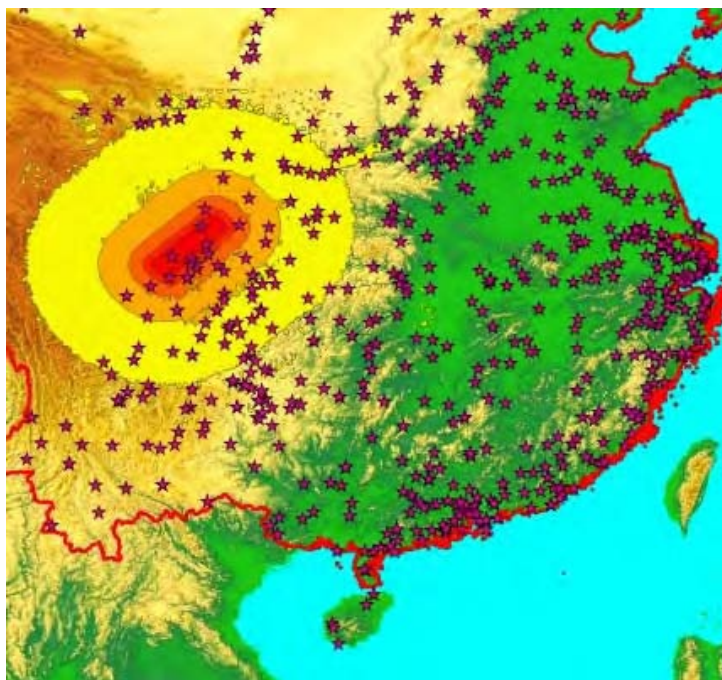


図 2.1.15 発電所の分布

汶川 8.0 級地震工程震害概覧(地震工学と工学振動、Vo1. 28、増刊)によると、高震度区域では、多くの発電所と変電所の建物が倒壊、あるいは大破し、特に小規模な発電所は倒壊、あるいは土砂崩れにより埋められたケースが多い。その他の区域では、倒壊は少ないものの、壁の亀裂や建物全体の傾斜、基礎沈下などの被害が多く見られる。送電鉄塔の被害は地盤の被害や土砂崩れによるものが多く、500kV 変圧器 7 基、220kV 変圧器 25 基、110kV 変圧器 84 基が被害を受けた。また、いくつかの水力発電所は山崩れにより埋められたり、貯水池が壊れたり等の被害をした。

この地震による被害の特徴として、強い地震動により、多くの建築物、土木構造物が被害を受けた一方、山岳地帯で発生した地震で、山崩れ、土石流、ダム湖などが多く現れ、それにより二次災害や交通寸断で救援、復旧が遅れたことが挙げられる。

2.1.4 中国（1999年、台湾・集集地震）

(1) 地震概要

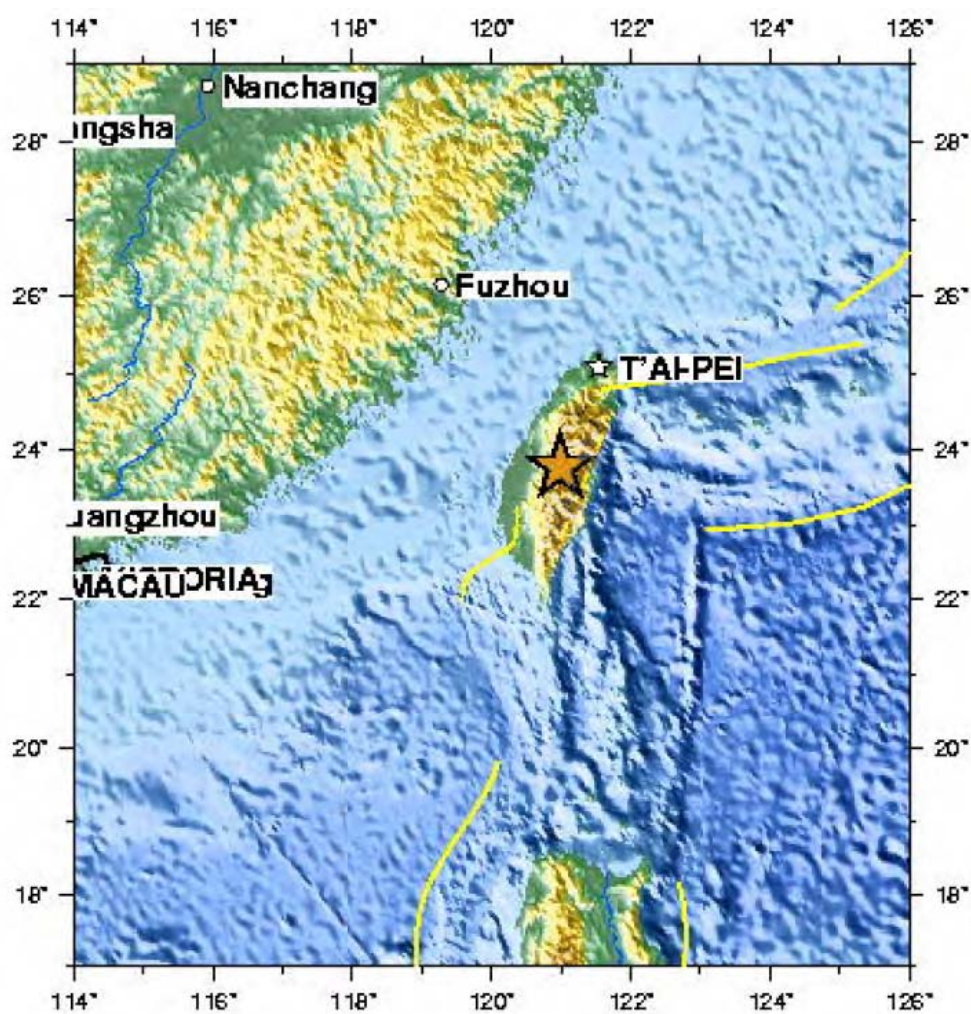
1999年9月21日1時47分（現地時間、UTC+8）、台湾中部の南投県集集镇（北緯23度8分5秒東経120度8分2秒）を震源として、マグニチュードM7.6（USGS、台湾中央気象局はM7.3）の地震が発生した。震源の位置は北緯28度8分5秒、東経120度8分2秒、深さ19kmである。

台湾はもともと、現在フィリピン西部にあるマニラ海溝の一部であった。マニラ海溝は数千万年前には現在よりも東にあり、フィリピン海プレートの下にユーラシアプレートの薄い部分が沈み込んでいた。沈み込みによってフィリピン海プレートと海溝は次第に西に移動し、約400万年前ごろに北端部分が中国大陸の厚い地殻にぶつかり始めた。これによって、浅瀬の大陸棚であった所に付加体が付いて隆起し、次第に台湾島ができたと考えられている。

現在、2つのプレートの境界面は、台湾を東に行くほど深くなっている。台湾西部では、地殻がユーラシアプレートに張り付いているため、実質的には台湾東部の台東地溝が2つのプレートの境界であり、最も活動が活発である。しかし、台湾西部のプレート境界面にも圧縮力がかかるため、これを解消しようとする断層が地表にまで伸び、時々地震を起こしている。集集地震はこの地表にまで伸びた断層で起きたものである。

断層の名前はチェルンブ断層（Chelungpu）で、今回の地震でずれた方向（北西）は、2つのプレートの移動方向とほぼ同じ（5°違い）であった。これは、この断層が2つのプレートの境界のずれる運動を忠実に再現していることを意味する。つまり、今回の地震は2つのプレートの境界で起きたプレート境界型地震の性質が強い。しかし、断層型地震の性質も多少帯びており、純粹にどれかに分類できるものではないと考えられる。地下部分でプレート境界型地震、地表付近では断層型地震の性質が強い。

図2.1.16に震央位置を、図2.1.17に集集地震のメカニズム解をそれぞれ示す。また、図2.1.18に、台湾付近のプレート境界を示す。台湾は基本的には、南シナ海がフィリピン海プレートの下に沈み込んで、マニラ海溝-ルソン弧を形成している場所とおなじである。ただし400万年前ころからルソン弧が中国大陸の縁に衝突を始めたため、大陸の大陸棚-斜面の堆積物がかき集められて瓦を積み重ねたような付加体構造（図2.1.19）をつくり、中央山脈が隆起している。地震が起きた場所は、付加体からなる西部山麓帯が、堆積物からなる平野と接するところである。



TAIWAN

1999 09 20 17:47:18 UTC 23.77N 120.98E Depth: 33.0 km, Magnitude: 7.7

USGS National Earthquake Information Center

図 2.1.16 集集地震の震源位置

(出典 :

http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Taiwan_M7.6_earthquake_1999_map.jpg)

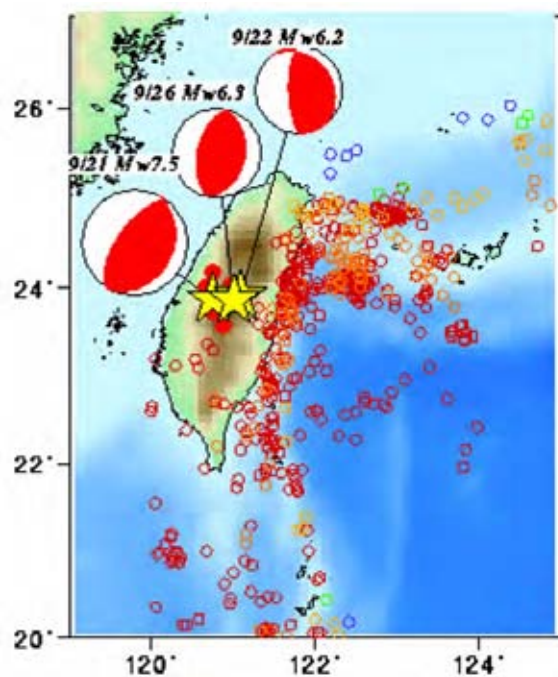


図 2.1.17 集集地震のメカニズム解

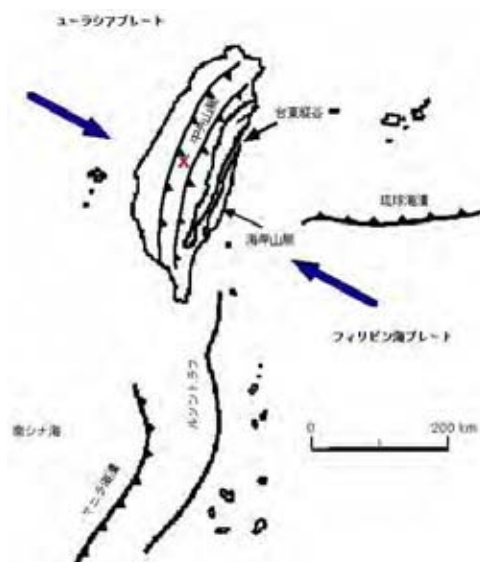


図 2.1.18 台湾付近のプレート境界

(出典 : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/seno/taiwan.html>)

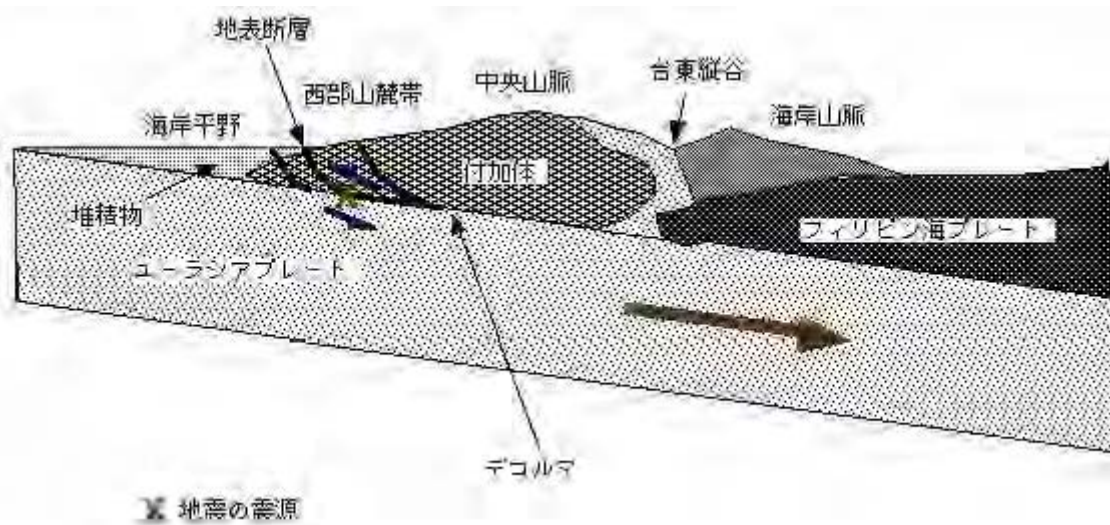


図 2.1.19 台湾の構造断面図

(出典 : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/seno/taiwan.html>)

(2) 被害概要

地震による被害は、震源に近い南投縣、台中縣を中心に、死者 2,321 名、負傷者 8,739 名、全壊 27,153 棟、半壊 25,238 棟にのぼった (10 月 11 日 10:00 現在)。この地震により、建築物を始め、ライフライン施設、交通施設、土木構造物などに深刻な被害が生じた。特に、地震断層の東側 (いわゆる断層の上盤) に位置する山間部の被害は甚大で、至るところで発生した土砂崩れは交通を寸断し、点在する集落 (東勢、埔里、集集、中寮など) は激震により壊滅的な被害を受けた。

一方で、断層の西側 (いわゆる断層の下盤) に位置する台中市などの都市部は、一部の高層建築物に被害が見られたものの東側ほどの被害は受けなかった。このように、地震断層の東西で被害の様相が異なるのが、この地震の大きな特徴である。

もう一つの大きな特徴は、地表に出現した地震断層の直上で被害が大きいことである。この被害は、断層によって地盤が変形をきたした領域に限られており、その領域は断層に沿ってたかだか幅数 10m 程度である。この領域から外れば断層直近でもほとんど被害は見られない。これは、地表に出現した地震断層付近では、地震動がそれほど強くなかったことを意味している。

液状化現象による被害は、震源が山間部に位置していたこともあり、あまり報告されていないが、港湾や河川堤防付近など盛土・埋土を施した地点の一部で発生している。

台湾内政部発表の被害一覧を表 2.1.3 に示す。

表 2.1.3 被害状況一覧

地名	死者	負傷者	全壊	半壊
台北市	71	317	3	24
台北縣	39	145	1	2
宜蘭縣	—	7	5	—
桃園縣	3	84	9	2
新竹市	2	4	5	—
新竹縣	—	4	2	1
苗栗縣	6	196	136	221
台中市	113	1,112	496	516
台中縣	1,124	3,606	6,532	4,602
南投縣	857	2,436	19,320	19,281
彰化縣	24	388	30	2
雲林縣	79	423	573	553
嘉義市	—	11	1	—
嘉義縣	2	5	40	33
台南市	—	—	—	—
台南縣	1	1	—	1
合計	2,321	8,739	27,153	25,238

(10月11日10:00現在、台湾内政部発表)

(a) 南投懸集集 (チーチー)

集集は台湾大地震(集集地震)の名前のついた町である。集集は台湾中部での最大河川である濁水溪の右岸に広がる氾濫平野上に位置し、市街地はやや高い自然堤防上に細長く分布している。また、市街地の北側(自然堤防の背後)には後背低地が形成されている。旧市街地は鉄道より北側にある。

集集での震度は6以上で、旧市街地では5~6割程度の建物が全壊した。旧市街地での倒壊建物の多くはレンガ造りの比較的古い建物であった。鉄筋コンクリート造の低層建物もかなりの割合で大破した。

集集警察署の建物も外形は保っているが、中壁の至る所に亀裂が入っており、危険建物となっている。後背低地には建物あまり建っていないが、最近建てられた寺院や学校の校舎が倒壊または大破した。集集鎮公司(集集市役所)の庁舎は被害がほとんどなく、復旧の拠点として十分機能した。

(b) 南投懸埔里 (プーリー) と日月潭 (ヌーユエタン)

埔里は眉溪の中流部にある盆地の町で、2本の河川が町の西部で合流している。市街地は広く平坦な砂礫段丘上にある。日月潭は台湾でも有数の観光地で、山地に囲まれた美しい湖である。湖の周囲にはあまり平坦地はないが、切土盛土により平坦地を造り、そこにホテル、商店、食堂などが並んでいる。湖尻には重力式のダムがあり、水路が北西側の水眉溪に流下している。

埔里での震度は6以上で、旧市街地では5~6割程度の建物が全壊した。中心市街地での建物の倒壊率は40~50%にもなる。被害はレンガ造りの古い建物や低層のビルに多い。

市街地の中心部には埔里鎮公司（埔里市役所）、警察署など中枢施設が集まっているが、それらの多くが全壊した。日月潭では古いホテル（閉館中）が大破しているほか、観光施設にいろいろな被害が出た。

(c) 南投懸中寮（チュンリャオ）

中寮は平林溪の中流部にある河岸段丘上の町である。周囲は山地に囲まれていて、河岸段丘の幅が広いいため、盆地のようにも見える。平林溪の河床には新第三紀の堆積岩類や礫が見られ、段丘堆積物は厚さ5～6 mの礫層である。中寮市街地は500m四方程度の広さで、商業の町である。町並みは、東西方向の2本の通り沿いに古い建物が連なっており、中層建物が散在している。

建物被害は市街地中心部に多く、6～7割程度の建物が倒壊した。地震で最も集中的に被害を受けた町である。レンガ造りの古い建物やRC造の比較的新しい中層建物が多く倒壊または大破した。中寮郷農會（中寮地区の農協）ビルも大きな被害を受けた。

(d) 台中懸大里（ターリー）

大里は大里溪の扇状地から氾濫平野に移り変わるあたりにある。市街地はほとんど平坦で、小河川が分流し緩く蛇行している。大里は大里郷の中心地であるが、ほとんど台中市の市街地と連坦している。高層住宅の建築ラッシュで市内の各地に豪華な高層住宅が建ち並んでいる。商店、事業所なども多い。大里の中心市街地は、車籠埔断層の西、3 km付近にある。

建物の被害はそれほど多くはない。レンガ造りの古い建物の被害が多い。一戸建て住宅や商店は解体・撤去作業の最中で、各所で軍や警察などによって通行規制が行われている。特徴的な建物被害は中高層の金巴黎（キンパリ）ビルである。一棟が完全に倒れ、もう一棟も大きく傾いている。このビルでは26名が死亡した。

(e) 台中懸豊原（フォンユワン）

豊原は台湾中部の大甲溪の扇状地に発達した街である。東から西に向かって緩く傾斜した扇状地である。市街地中心部から東に1 kmあたりに車籠埔断層があり、その東は山地となっている。河床堆積物や地震断層で生じた露頭から、豊原の地盤は砂礫層であると推定される。

市街地全体では建物の被害はそれほど多くはなかった。しかし、豊原市南部の500m四方の狭い範囲にスポット的に被害が集中し、そこでの全半壊建物の割合は2～3割程度であった。数棟の鉄筋コンクリート建物は下部が完全に潰れ、多くの死者が出た。被害は鉄筋コンクリートの低層ビルの被害が多いが、23階建ての高層マンションビル（豊原尊龍ビル）も1階から上層階に向かって連続したせん断亀裂が生じ、危険建物と診断された。地盤条件に大きな違いがないことから、このスポット的な被害集中域は、ビル建築上の問題が大きいと思われる。

(f) 台中懸東勢（トンシー）

東勢は、大甲溪の中流部にある河岸段丘上の町である。東勢の市街地は西側を大甲溪に、東側を沙蓮溪にはさまれている。市街地は3段の段丘上にある。段丘堆積物は砂礫層で、厚さが5 m程度である。段丘堆積物の下は第三紀層の堆積岩類で、建物の基礎地盤としては良好である。高位段丘上が旧市街地（本街）で、狭い道路沿いに住宅、商店、事業所などが密集している。東勢は今回の地震で最も集中的に被害を受けた町の一つである。建物被害は東勢市街地全体では2～3割であるが、旧市街地（本街）では5～6割程度の建物が倒壊した。死者はこの小さな町だけで350人近くであった。多くの鉄筋コンクリート造中層建物が倒壊または大破していた。また、レンガ造りの住宅の倒壊も目立った。

(3) 地震断層と構造物被害

集集地震により地表に現れた地震断層（ほぼ車籠埔断層に一致）は、中～南部でほぼ南北走向であるが、北部では北東または東西走向となる。断層トレースは、ほぼ山地と平野部の境界を走り、全体に凹凸の多い平面形状を示す。これは震源断層が極めて低角な逆断層のためである。今回の断層活動は、基本的に既存の地質断層「車籠埔断層」の再活動と言える。しかし、北部の大甲溪に沿った東西方向の断層帯は地質図（25万分の1）に記載されていなかったもので、新たに活動した部分と言える。

現地で観察される断層形態は、低断層崖、撓曲が多い。断層の鉛直変位量は概ね2～3mであるが、北部では5 m超、10m近いとされている。撓曲はしばしば幅広い断層変形帯（主に上盤側）を伴っており、その幅は数m～50m余にも及ぶ。断層トレースは単一とは限らず、分岐したり、平行な断層線の集合であったりする。

(a) ダム

台中懸石岡郷「石岡ダム」は、大甲溪に建設されたコンクリート重力式の上水用ダムである。ダムは約7mにもおよぶ断層変位により、右岸側放流ゲートの2径間が完全に破壊し、アバット部と隣接ゲートにひび割れ変形被害があった。このダムを破壊した地震断層は、今回活動した車籠埔断層の北端にあたり、従来の方向とは異なるため、新しい枝分かれして出現したものである。

(b) 橋梁

地震断層により、いくつかの橋梁が落橋した。主なものは、大甲溪の豊橋、烏溪の烏溪橋、頭溪の一江橋などであった。

(c) その他

その他の土木構造物被害として、地震断層が多くの河川を横断して出現したため堤防も多くの被害を受けた。とくに、大里郷の草湖溪や霧峰郷の乾溪では、約2 m前後上流側が上昇したが、いずれもただちに修復された。

地震断層によって、断層直上の建物も著しい被害を受けた。その多くは、断層面のせん

断による直接破壊よりも垂直・水平変位による変形破壊であった。建物被害は地震断層の上盤側で顕著で、変形帯の幅は通常で20～30m、大きい所では100mにも達した。

また、断層直上の建物は、変形以外に振動による被災形態がほとんど見られないことから、地上での断層そのものの変位速度は比較的ゆっくりしていたものと思われる。

(4) 地震による斜面崩壊

地震による斜面崩壊は、集中して発生している場所は特種な地形・地質条件の所であるが、それ以外の一般斜面でも各所で発生した。現地調査した範囲内で集集地震にともなう崩壊の特徴を整理すると次のようになる。

- ① 斜面崩壊は、震度6の範囲内（南投懸と台中懸）で多発している。
- ② 全山が崩落した九十九峰（九九峰）は、この一帯だけに分布する更新世のルーズな（低固結）礫層からなり、山稜や尾根部の急傾斜部の礫が震動によりいっせいに崩落したものである。崩落した礫は、斜面の直下に堆積している。
- ③ 段丘崖の肩部からの崩落も随所で見ることが出来た。これも急傾斜とルーズな段丘礫層に起因している。
- ④ 一般斜面の岩盤崩壊も散在するが、その大部分は尾根部や凸形斜面で、かつ急傾斜部で発生している。
- ⑤ 道路のり面や盛土の崩壊は、集集から日月潭を中心とする山岳部で多発しているが、小規模なものが多い。
- ⑥ 地震断層にともなう崩壊も断層が山麓を通るために小規模なものが、多発している。大きなものでは台中の東の大平地すべりがあげられるが、そのメカニズムは不明である。

(5) 電力被害

電力施設が被害を受けたことによる台湾北部に与えた影響も見逃せない。台湾は北部に人口、工業地域が集中し電力消費量が多いが、中寮の変電所をはじめとする北部へ電力を供給する送電施設が被害を受けたため、北部の各地で停電が発生した。半導体産業で有名な新竹科学工業区では地震動による施設への直接被害は微少であったものの、停電を原因とした生産活動の停止による経済損失が大きかった。

2.1.5 日本（1995年、兵庫県南部地震）

(1) 地震概要

1995年1月17日午前5時46分（現地時間、UTC+9）、兵庫県津名郡北淡町（現・淡路市）を震源としてマグニチュードMj（気象庁マグニチュード）7.3の地震が発生した。震源は浅く、地表面に地震断層が現れた。都市直下を震源とする日本で初めての大地震で、震度7の激震を記録した初めての地震である。兵庫県南部を中心に大きな被害を出し、死者数

は日本の戦後最多となった。この地震による被害の名称として、「阪神・淡路大震災」「阪神大震災」などがある。

(a)メカニズムと構造

余震の分布などから、兵庫県南部地震を起こした断層は「六甲-淡路断層帯」と呼ばれる断層帯であることが分かった。六甲-淡路断層帯の内この地震で動いたのは、淡路島北側の江井崎から伊丹市中心部付近まで、南西から北東に伸びる約50km、深さ約18km～5kmの断層面であった。この断層面の南西の端から始まった断層のずれは、数秒の間に断層全体に広がって大きな揺れを引き起こしたと推定されている。

断層面の真上に当たる帯状の地域を概観すると、淡路島北部では、地下の六甲-淡路断層帯のずれが地上にまで明瞭に現れ、野島断層のずれが地表にあらわれた。一方、本州の神戸市南部では地面の亀裂が見られた程度で、明瞭な断層面は地表には現れなかったものの、地下には断層が伸びており、「震災の帯」と呼ばれる細長い帯状の地域に被害が集中し、その地域の揺れが特に大きかったことを示している。

野島断層の位置を図2.1.20に、震源のメカニズム解を図2.1.21にそれぞれ示す。震源は横ずれ断層型で、断層の走行は北東から南西、右横ずれである。東西方向の圧縮力と南北方向の張力が、断層運動の原因となっている。

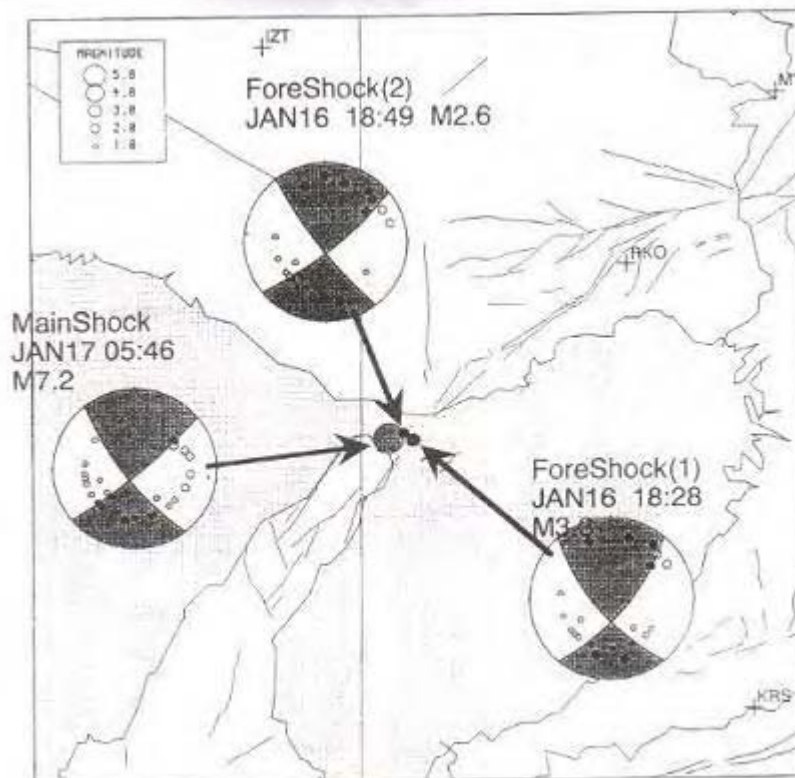


図 2.1.21 兵庫県南部地震のメカニズム解

(出典 : <http://www.sci.himeji-tech.ac.jp/life/geology/lecture.files/res4b.html>)

(2) 被害概要

本震による広域震度分布を図 2.1.22 に示す。また、震度 7 の地区の分布を図 2.1.23 に示す。

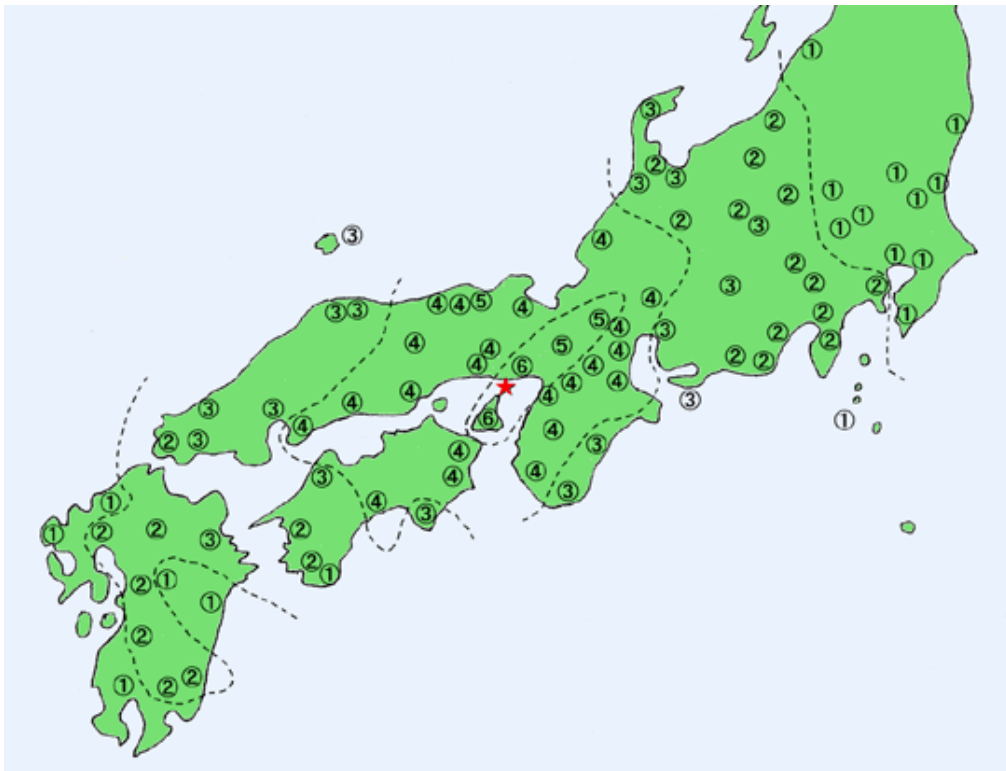
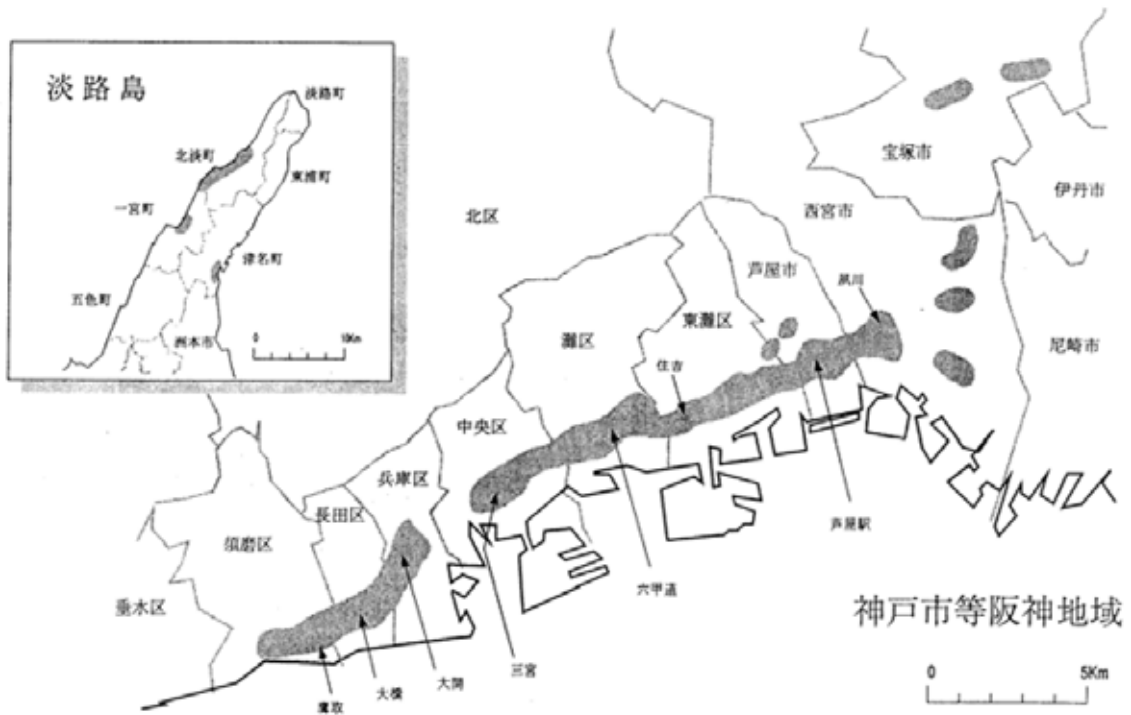


図 2.1.22 兵庫県南部地震の震度分布

(出典 : <http://www.kobe-c.ed.jp/shizen/strata/quake/trans/index.html#0201>)



2.1.23 兵庫県南部地震における震度7の地域の分布

(出典 : <http://jishin.ocn.ne.jp/pdf/higai-24.pdf>)

被害の概要を表 2.1.4 にまとめる。

表 2.1.4 兵庫県南部地震における被害の概要

項目	概要
死者	6,433 名 兵庫県内 6,402 名 (99.5%)・兵庫県外 32 名 (0.5%) ※県内県外の比率から見て県内の負傷者数は混乱のなか、正確には数えることができなかったと推定される
行方不明者	3 名
負傷者	43,792 名 重傷者：県内 10,494 名 (98.2%)・県外 189 名 (1.8%) 軽傷者：県内 29,598 名 (89.4%)・県外 3,511 名 (10.6%)
避難人数	30 万名以上
住家被害	全壊 104,906 棟 半壊 144,274 棟 全半壊合計約 25 万棟 (約 46 万世帯) 一部損壊 390,506 棟
火災被害	住家全焼 6,148 棟、全焼損 (非住家・住家共) 合計 7,483 棟、 罹災世帯 9,017 世帯
その他被害	道路 10,069 箇所、橋梁 320 箇所、河川 430 箇所、崖崩れ 378 箇所 被害総額：10 兆円規模

(a) 建物被害

都心部にある神戸市役所は、第2庁舎の6階部分が潰れている。当時、須磨区にあったラジオ関西の本社も被災し、敷地内の仮設スタジオに移転したのち1996年6月に現在のハーバーランドへと移転した。

また、神戸新聞本社が置かれていた三宮の神戸新聞会館も同じく被害に遭って本社を西区の制作センター（印刷工場）に仮移転するとともに編集業務はダイヤニッセイビル（ハーバーランド）で仮構築し、1996年7月に神戸情報文化ビルへと正式に移転する。ただし、新本社への移転は震災以前からの既定方針で、同ビルも建設中だった。

建築基準法が厳しくなった1982年以降に建築されたビルには被害が少なかった。超高層ビルにおいては被害は殆どなかった。老朽化したビル・一階が駐車場のビル・マンションの物件では被害も多かったものの、幸いにも死者は少なかった。一部の鉄筋コンクリートのマンションでは、火災が発生していたが当然ながら、隣戸に延焼することはなかった。三宮駅北側の三宮日本生命ビルの5階も崩壊した。また、傾いた状態でいた柏井ビルが、翌朝の余震によって完全にフラワーロードに横倒しになったが死者は出なかった。

長田区にある神戸市立西市民病院も中層階が圧壊して入院中の患者が閉じ込められる状態になった。そのため患者一名が死亡した。また、多くの病院に多大な数の負傷者が搬送

されて病院は軽度の入院患者については当日中に早期退院、または、地方に転院させるなどして病床をできるだけ確保しているが全く充足できずにロビーや待合室にソファーや布団を敷き詰めて病室とするなどの緊急処置をとっている。それでも、十分に対応しきれていなかった。また、医師の数も不足し、治療を待っている間に息絶えた人もいた。

(b) 木造老朽建物

死者の80%相当、約5000人は木造家屋が倒壊し、家屋の下敷きになって即死した。特に一階で就寝中に圧死した人が多かった。また2階建て木造住宅の場合、屋根瓦と2階の重みで、1階の柱が折れてつぶれるケースが多かった。2階の場合は、生存のスペースが残りやすい。建物が倒壊しても生存のスペースがある場合は、死者は少なかった。老朽木造建造家屋がなければ、死者は1/10になっていたと言われる。

(c) 建造物・交通

阪神高速道路神戸線の倒壊は、震災の甚大な被害を象徴するものとして世界中の新聞の一面に大きく掲載された。1989年のロマ・プリータ地震（サンフランシスコ）、1994年のノースリッジ地震（ロサンゼルス）など、世界では倒壊した高速道路の例があったが、当時、日本の高速道路・高架道路は安全であると一部で誤解があった。実際には危険を察知して建築基準法が改正されていた。海外での高速道路の倒壊も縦揺れに弱い構造であったため、それらを教訓として生かされていなかったことが大きな被害へといたったことになる。「倒壊した高速道路が、倒壊する寸前に波打っていた」という目撃談話が報道番組において報じられている。前述の神戸市東灘区深江地区においての高速道路の倒壊は、手抜き工事が原因しているとみられている例でもある。山陽新幹線においても橋脚の倒壊と倒壊箇所の調査から手抜き工事の痕跡が見つかっている。

高速道路においては、橋脚と道路面の接合部分が地震によって破壊されたことも確認された。そのため、「柱の上にただ乗っかっている板」のような状態になり、耐震性はほぼゼロになったと考えられる。

一方、地下の神戸高速鉄道東西線の大開駅が崩壊したために、その上の国道28号において陥没が発生した。直後の交通規制などが迅速に行われずに国道43号・国道2号・山手幹線などの神戸方面に至る主要幹線道路において大規模な渋滞が発生した。また高速道路と同様、当時「地下鉄道は地震に強い」という風潮があったが、大開駅周辺は軟弱地盤かつ開削工法であったために、震動に揺さぶられて中間柱が崩壊したと考えられている。

被災地区を運行する鉄道路線のうち、最も南を走行する阪神電気鉄道本線は主に、東灘区から灘区における高架構造である区間に大きな被害を受けている。御影駅西方の留置線の車輛が横転して大きく損壊した。石屋川車庫も崩壊して地震の発生が早朝であったために前夜から留置されていた多数の車輛が崩壊に巻き込まれて損傷した。これは、この高架構造の区間が高度経済成長期の1967年に竣工した物件であり、耐震構造が十分ではなかったことが原因の一つとして指摘されている。また、この区間においては、数箇所におよんで道路をまたぐ鉄橋が落下して南北にいたる道路が遮断された。その後、日本各地の橋梁

において落下を防止するための補強工事が行われる契機ともなっている。

収益源である神戸港も被害を受けて多くの埠頭の使用が不可能となった。また、神戸市中央区のポートアイランドや東灘区の六甲アイランド、芦屋市の芦屋浜、尼崎市の築地地区など埋め立て地を中心に地面が軟弱化する液状化現象が見られた。このために、海からの支援なども難しい状態となってしまった。

当時、建設中であった明石海峡大橋は、地震による直接的な被害は無かったものの、全長が1m伸びるという事態が発生した。

(3) 電力被害と影響

電力の被害は、関西電力神戸支店管内を中心に姫路、京都等にまで及んだ。地震発生直後から約100万戸が停電となったが、その半数は次の日までに復旧した。完全復旧は6日後の1月23日午後3時であった。停電の復旧状況を図2.1.24に示す。

電力設備の被害の内、火力発電所は10基（被害額350億円）、変電所は48箇所、送電線関係は38箇所（被害額550億円）、配電線は446回線（被害額960億円）であると報告されている。

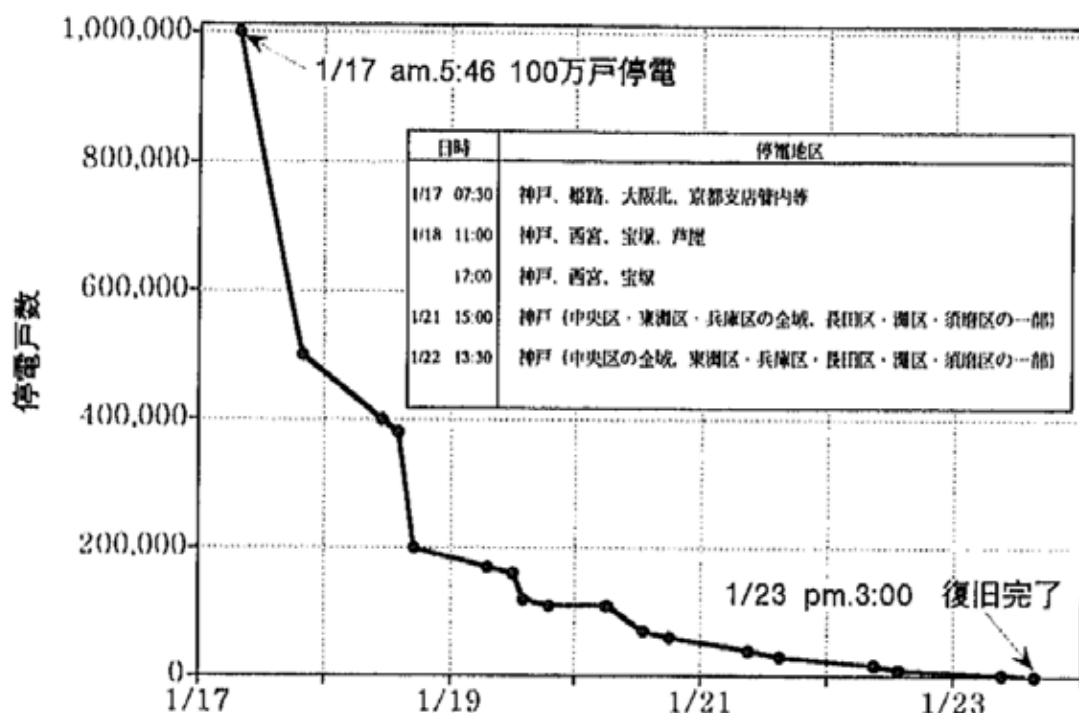


図 2.1.24 電力復旧状況

2.1.6 日本（2004年、新潟県中越地震）

(1) 地震概要

2004年10月23日17時56分（現地時間、UTC+9）、新潟県中越地方を中心としてマグニチュードMj（気象庁マグニチュード）6.8の地震が発生した。震源深さ13kmの直下型地震である。

この地震は、新潟県中越地方に存在する断層が原因となって発生した、北西・南東圧縮の逆断層型の地震である。

余震が多発しているが、これらは震源が浅いため、余震といえども震源付近では震度5以上の強い揺れが何度も観測されている。

2004年10月24日、政府の地震調査委員会は臨時会において、この地震の原因が長岡平野西縁断層帯の活動によるものではないという見解を示した。同日、地震予知連絡会会長は、地震の原因は新潟県六日町（現南魚沼市）などを縦断する六日町断層が活動したためではないかとの見解を示した。10月26日、名古屋大学と東洋大学の合同調査チームが新潟県広神村（現魚沼市）にある小平尾断層上の地表で、今回の地震の地震断層と考えられる地表変形を確認した。

以上の事実より、この地震を引き起こしたのは、新潟県六日町などを縦断する六日町断層か、新潟県広神村にある小平尾断層、あるいは別の未知の断層ではないかと言われている。なお、六日町断層と小平尾断層は地下で一連の断層であると考えられている。産業技術総合研究所 地質調査総合センターによる資料によっても確認することが出来る。

しかし、10月27日に発生した震度6弱の余震は、これらの断層は動いておらず、本震の震源断層と共役な関係にある断層の活動によるものであることが、国土地理院の解析によって明らかになっている。

(a) メカニズムと構造

防災科学技術研究所によるメカニズム解を図2.1.25に示す。震源が逆断層であることを同図は示している。断層の走向方向は北東-南西であり、それと直交する北西-南東方向に圧縮軸がある。引張軸は水平面に対して上下方向である。防災科学技術研究所以外の各研究機関（東京大学、米国地質調査所、ハーバード大学等）のいずれもが、ほぼ同様のメカニズム解を求めている。

節面（圧縮と引張の境界面）は2枚あり、そのうち一方が断層面である。どちらが断層面であるかは余震分布等の情報によって判断されることが多いが、本震については西傾斜の断層と考えられている。

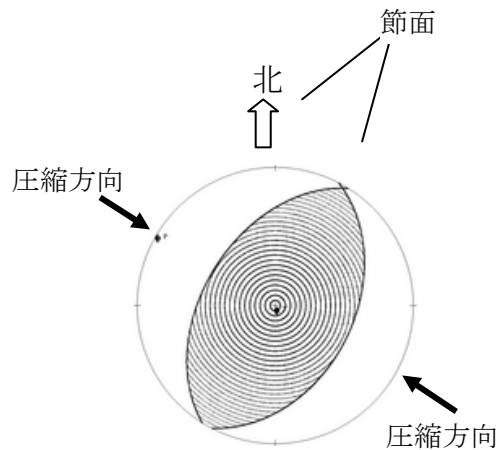


図 2.1.25 メカニズム解（防災科研 F-NET に加筆，逆断層のメカニズムを示す）

（出典： <http://www.fnet.bosai.go.jp/freesia/index-j.html>）

(b) 断層破壊過程

一般に震源断層での破壊は断層面全体に一樣ではなく、不均質性が存在することが知られている。図 2.1.26 は東大地震研・山中氏による遠地の地震波（実体波）から求められた断層免状での食い違い量分布を示している。震源断層の最大食い違い量は 1.2m、破壊は深さ約 8km のところから破壊を始め、浅い方向に向かったため、揺れが大きくなったと考えられている。

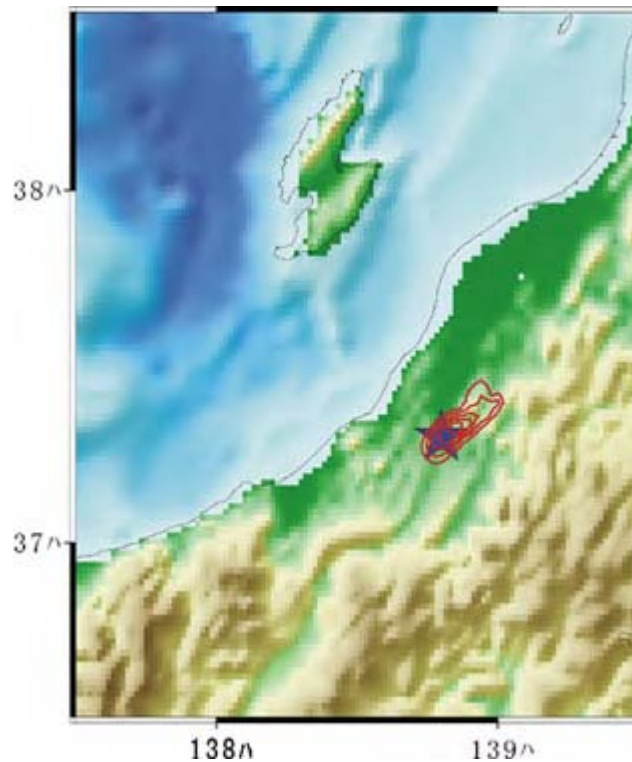


図 2.1.26 断層の食い違い分布（東大地震研 EIC レポートによる）

（出典： http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2004/EIC154.html）

(c) 余震域・震源域

およそ1日以内の余震は震源域の範囲を表すとされる。本震直後から24時間の余震分布を図2.1.27に示す。余震域の長軸は長さが25km程度であり、北東-南西方向である。この方向はメカニズム解に整合している。余震域の断面図を見ると、北西下りの傾斜が見られる。本震のメカニズム解の2つの節面の内、北西下りのものが断層に相当すると考えられる。ただし、断面図において余震が広がっているが、これについては複数の断層面の存在が指摘されている。

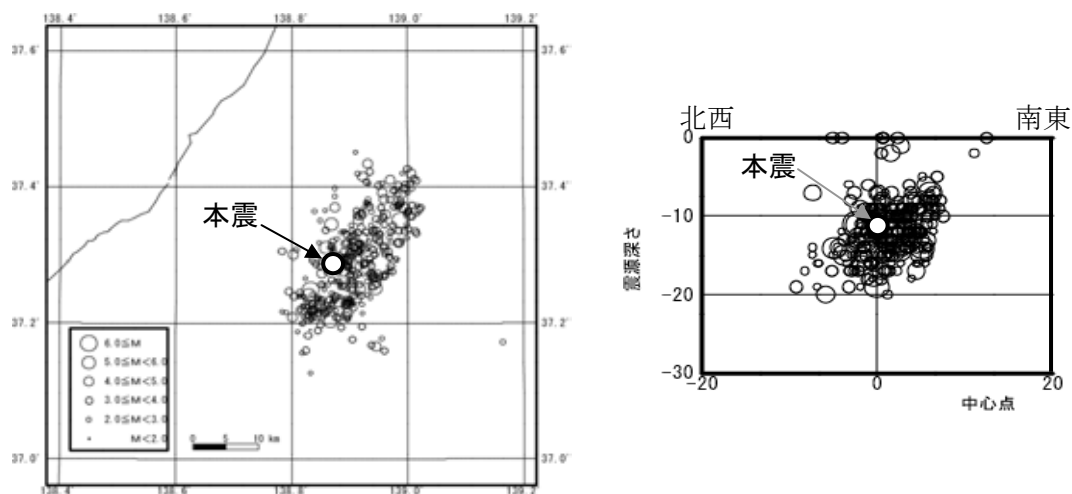


図 2.1.27 余震分布（本震後 24 時間）

(d) 複数の震源断層及び地表地震断層

今回の地震は余震活動が活発であるが、大きな余震は別の断層が動いたと考えられている。図2.1.28は、11月4日に開催された地震予知連絡会において報告された資料の地殻構造の推定図である。気象庁など他機関からも本連絡会において余震の震源再決定により複数のクラスターの存在が報告されている。

読売新聞の記事(11/5)の本連絡会に関し、23日の本震(M6.8)と同日の最大余震(M6.5)とではそれぞれ別の断層が動き、27日の余震(M6.1)ではさらに別の断層(共役断層)がずれたと見られるとの見解を報道している。また、地震研究所平田直教授による談話を紹介している。「平田教授:大きな地震がおきると、震源となった断層の周辺で小さな断層がいくつも割れて余震を起こすが、今回は他に動いた断層が大きかった。この地域の複雑な地下構造が影響している。」

地表地震断層については、現在、調査が行われていると考えられるが、現在までに名古屋大学や産業総合研究所活断層センターによれば、小平尾(おびろう)断層や六日町盆地西縁断層沿いにおいて地形変位の存在が報告されている。

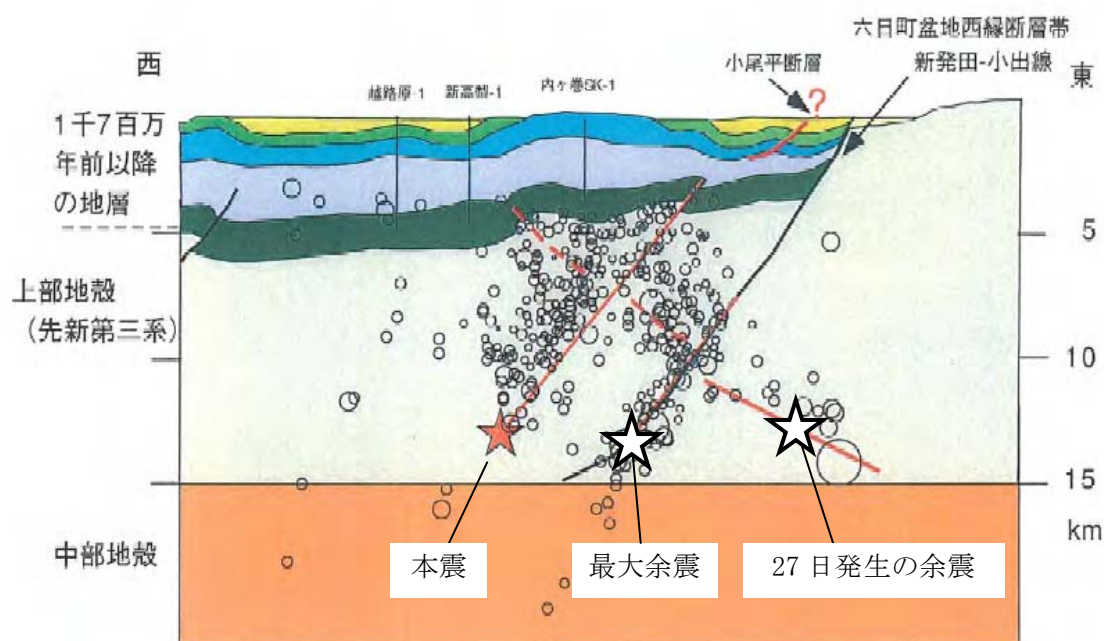


図 2.1.28 地殻構造推定断面図

(出典：http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/JIS/160/image160/014.pdf に加筆。東京大学により地震予知連絡会に報告された資料に最大余震・27日の余震のおおよその位置関係を加筆。この位置関係は読売新聞 11/5 記事に基づく。赤星印は本震、赤い線は余震を含めた推定震源断層。)

(2) 被害概要

本震(10/23 17:56)による震度 6 弱以上を観測した地点を表 2.1.5 に示す。また、気象庁データに基づき作図した広域震度分布を図 2.1.29 に示す。この気象庁による推計震度分布を図 2.1.30 に示す。広域的には、震度 4 が群馬県から埼玉県に延びている特徴が見られる(後述)。川口町では震度 7 が観測された。計測震度計により震度 7 が観測されたのははじめてである。

表 2.1.5 本震(10/23 17:56)の震度 震度 6 弱以上を観測した地点

震度	地 点
7	川口町
6 強	小国町・山古志村・小千谷市
6 弱	刈羽村・中里村・川西町・入広瀬村・守門村・広神村・堀之内町・三島町・越路町・栃尾市・十日町市・長岡市

小千谷市などでは阪神・淡路大震災以来災害に備えた街づくりを進めていた事などが、被害を抑えた要因だといわれている。

一方、山崩れや土砂崩れなどで鉄道・道路がいたるところで分断された。2004 年は、7 月 13 日に新潟県地方で大規模な水害が起こり（平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨）、また夏から秋にかけて台風が過去最多の 10 個上陸するという、例年にない多雨に見舞われた年であった。このため、元々地滑りの発生しやすい地形であったところに、降雨によって地盤が緩み、それが地震が発生した際に多くの土砂崩れを引き起こしたものと思われる。

地震発生当時、幸いにも水位が低かったために被害は発生しなかったが、信濃川の堤防の一部にも亀裂が生じた。

電気・ガス・水道・電話・携帯電話・インターネットなどのライフラインが破壊されたほか、新潟県への電話が集中したため、交換機が輻輳し、発信規制がかけられた。また、山間部へ続く通信ケーブルや、その迂回路も破壊され、外部からの情報にも孤立する自治体が出た。特に阪神・淡路大震災以降、災害に強いと思われてきた携帯電話については、震源地周辺では中継局の設備損壊や停電などがあり、中継局の機能維持のために非常用として蓄電されていた予備のバッテリーも、通話の集中によって 1 日余りで使い果たされてしまうなどしたために、中継局そのものの機能が停止し、通話不能となるなど、広範囲で使用不能となった。このことは今後の災害対策に対する影響があると思われる。

鉄道は、上越新幹線で「とき 325 号」が脱線（上越新幹線脱線事故を参照）したほか、線路や橋脚が破壊され、それに加えてトンネルの路盤が盛り上がる等の被害が発生した。国内の新幹線の営業運転中の脱線事故は開業以来初めてである。また在来線も上越線・信越本線・飯山線・只見線・越後線も路盤の崩壊など甚大な被害を受けた。また 27 日午前に発生した余震の際には、JR 長岡駅大手口の外壁が崩壊する可能性があるとして一時閉鎖された（その後安全が確認され、同日夕刻から営業を再開。尚、一部で「駅舎が崩壊する」と誤認報道がなされた）。影響は震源地周辺だけではなく、長野新幹線や首都圏の私鉄各線・地下鉄なども運転を休止、あるいは、遅れが発生した。また、首都圏の JR 各路線で使用する電力の半分は被災地周辺の水力発電所で賄われており、小千谷市や川西町にまたがる JR 東日本の保有する信濃川発電所（出力 44 万 9,000kW）に大きな被害が発生したため、発電できない状態に陥った。

道路は、北陸自動車道や関越自動車道などの高速道路、国道 17 号や国道 8 号などの多くの一般国道、多くの県道や生活道路も亀裂や陥没、土砂崩れ・崖崩れによって寸断された。このため山間部の集落の一部は全ての通信・輸送手段を失って孤立。とりわけ古志郡山古志村（現長岡市山古志地区）は村域に通じる全ての道路が寸断されたため、ほぼ全村民が村内に取り残され、自衛隊のヘリコプターにより長岡市・小千谷市などへ避難させる作業が行われた。また山古志村や小千谷市では、数ヶ所で発生した土砂崩れによって河道閉塞が発生し、複数の集落で大規模な浸水の被害が出ており、下流域では土石流が発生する危険性があるため、ポンプによる排水や、河道付近の民家を撤去するなどの措置が取られた。

農業も被害を受けた。川口町や小千谷市では、地震の影響で水田が液状化現象を起したり、棚田が崩壊するなどの被害も見られた。これにより、翌年の米の収穫に大きく影響し

た。

(3) 電力被害と影響

柏崎刈羽原子力発電所、福島第一・第二原子力発電所（東京電力）、女川原子力発電所（東北電力）を含めた発電所への被害は無かった。

2.1.7 日本（2007年、新潟県中越沖地震）

(1) 地震概要

2007年7月16日午前10時13分（現地時間、UTC+9）、新潟県上中越沖を震央として、マグニチュードMj（気象庁マグニチュード）6.8の地震が発生した。中越地方では2004年（平成16年）の新潟県中越地震以来のマグニチュード6以上および震度5弱以上を観測した地震となった。

(a) メカニズム解

地震のメカニズムは地盤が北西－南東方向に圧縮され、上下にずれる逆断層型である。平成16年の新潟中越地震とほぼ同じ仕組みで、地震の規模もまったく同じだった。能登半島地震も同様の仕組みで起きており、日本海側で起きる直下型の典型的なケースといえる。日本列島は強固な大陸側のプレート（岩板）の上に乗っているが、太平洋側のプレートが西へゆっくり移動してぶつかるため、常に東西方向に押され圧縮されている。今回の地震は、この圧縮による地盤のひずみが限界に達し、陸側のプレート内部の弱い場所が壊れて発生した。防災科学技術研究所によるメカニズム解を図2.1.31に示す。震源が逆断層であることを同図は示している。

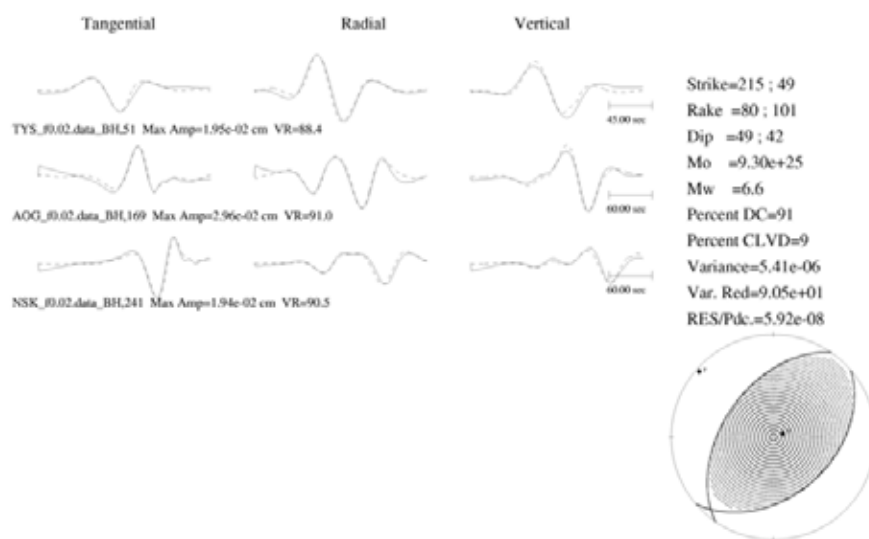


図 2.1.31 メカニズム解（防災科研 F-NET，逆断層のメカニズムを示す）

(b) 断層破壊過程

断層面として、図 2.1.32 に示すような 2 つのモデルが設定されている。

【モデルA：北西傾斜断層面】 インバージョンの最適解の断層面全体での地震モーメント M_0 は $1.42 \times 10^{19} \text{Nm}$ ($M_w=6.7$) であった。破壊開始点よりも南西側（柏崎市側）で破壊開始点より深い部分にすべりの大きい領域がある。このアスペリティは、観測波形に 2 個または 3 個見られるパルスのうち後の方に寄与したとみられる。

【モデルB：南東傾斜断層面】 インバージョンの最適解の断層面全体での地震モーメント M_0 は $1.62 \times 10^{19} \text{Nm}$ ($M_w=6.7$) であった。破壊開始点よりも南西側（柏崎市側）で破壊開始点の深さから浅い側にかけてすべりの大きい領域がある。

南東傾斜及び北西傾斜のどちらの断層面を仮定した場合でも、破壊開始点付近に小さなすべりがあり、その南西十数 km のところに最大のすべり（モデルA、Bでそれぞれ約 2.2m、2.5m）が推定された。2 通りのインバージョンにより再構成した合成波形・残差結果には明白な優劣の差は得られなかった。

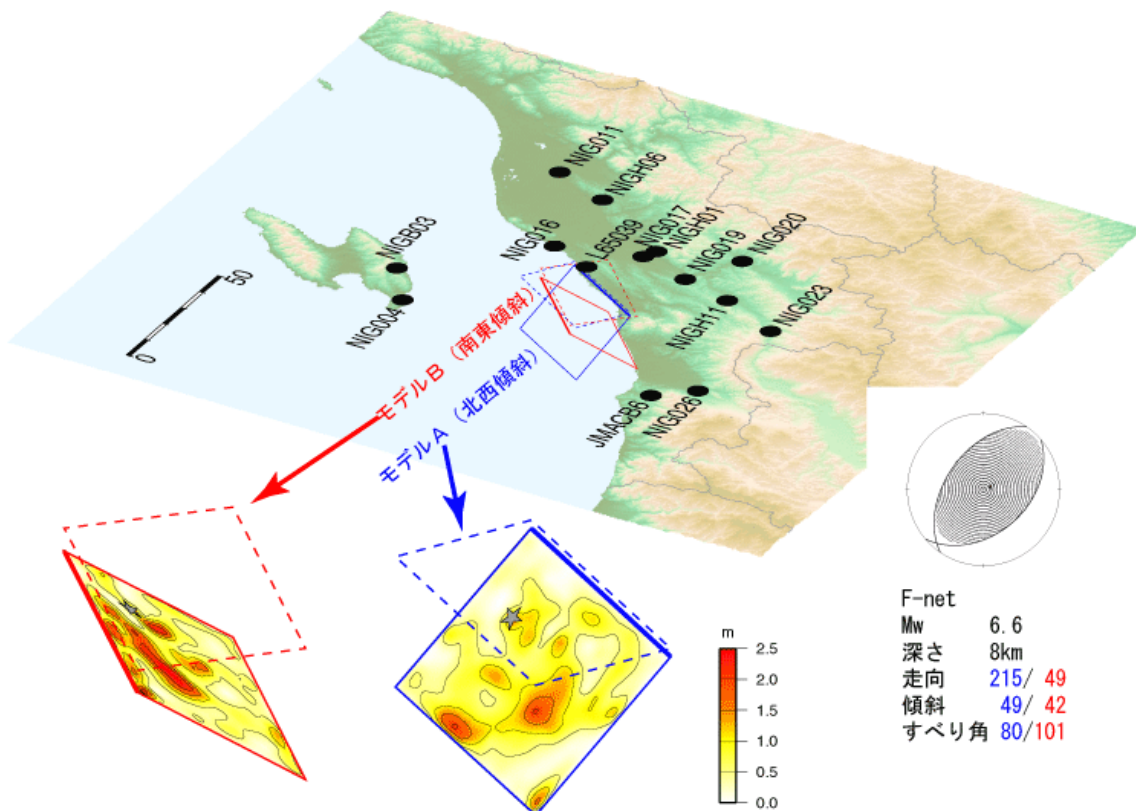


図 2.1.32 インバージョン解析に用いた 2 つの断層面

(出典：<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/chuetsuoki20070716/inversion/>)

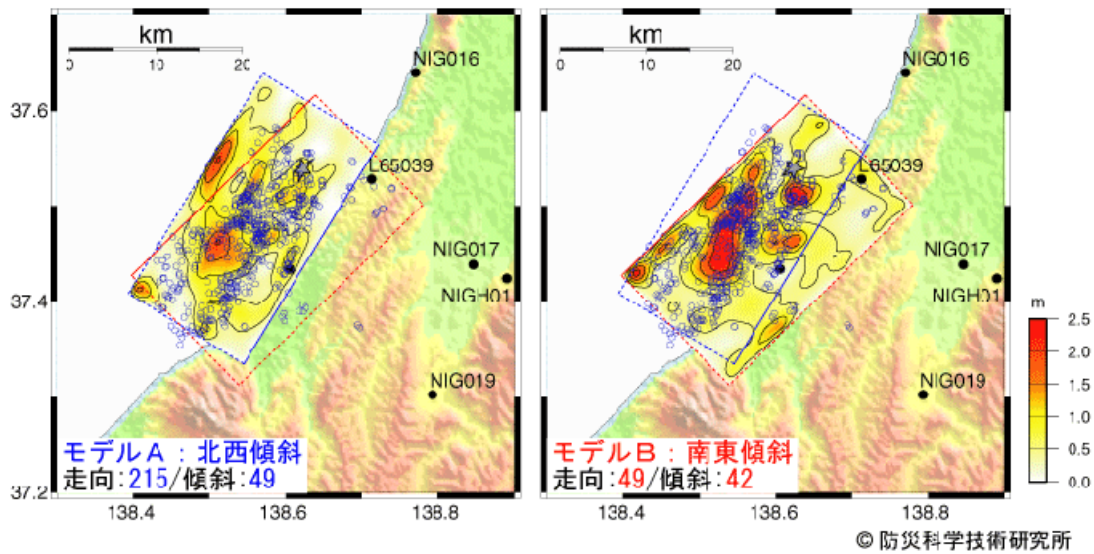


図 2.1.33 推定されたすべり分布の地表投影

(出典 : <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/chuetsuoki20070716/inversion/>)

(c) 余震活動

余震活動に関する気象庁の発表資料を図 2.1.34 に示す。気象庁によれば、平成 19 年 7 月 25 日 8 時現在までに発生した最大余震は、平成 19 年 7 月 16 日 15 時 37 分頃の地震(M5.8)であり、この地震により、長岡市小島谷および出雲崎町米田は震度 6 弱が観測されている。また、平成 19 年 7 月 25 日 8 時まで発生した余震の回数は、震度 6 弱が 1 回、震度 4 が 5 回、震度 3 が 10 回、震度 2 が 45 回、震度 1 が 65 回の計 126 回であった。

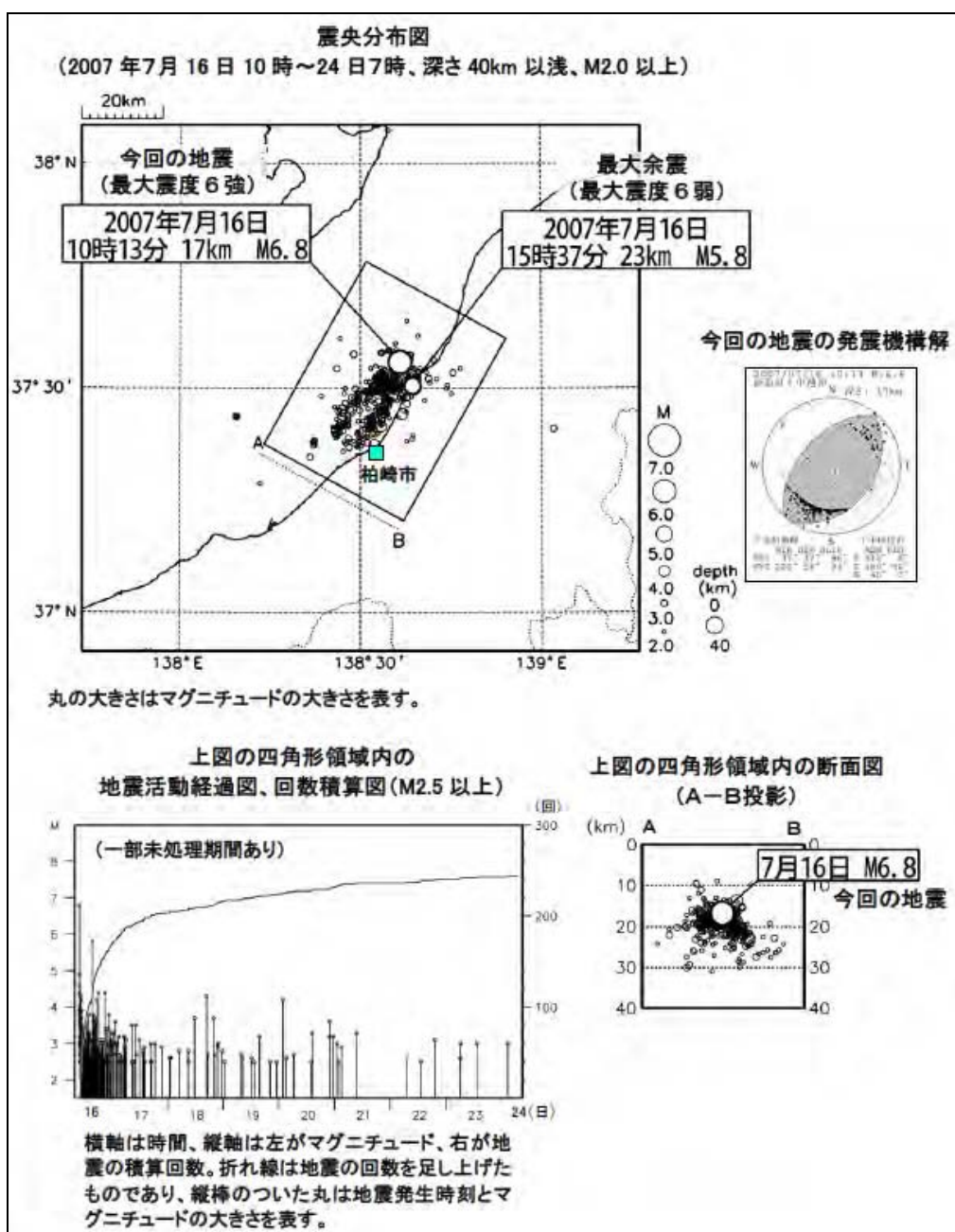


図 2. 1. 34 気象庁資料による余震活動

(出典 : http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-oki/yoshin_bunpu.pdf)

(2)被害概要

本震において震度6弱以上を観測した地点を表2.1.6に示す。また、各地の震度分布を図2.1.35、図2.1.36に示す。

表 2.1.6 新潟県中越沖地震（本震）の震度

震度	地 点
6 強	長岡市小国町法坂 柏崎市中央町，柏崎市西山町池浦 刈羽村割町新田 長野県飯綱町芋川
6 弱	上越市柿崎区柿崎，上越市吉川区原之町，上越市三和区井ノ口 長岡市中之島，長岡市上岩井，長岡市山古志竹沢 柏崎市高柳町岡野町 小千谷市土川 出雲崎町米田，出雲崎町川西

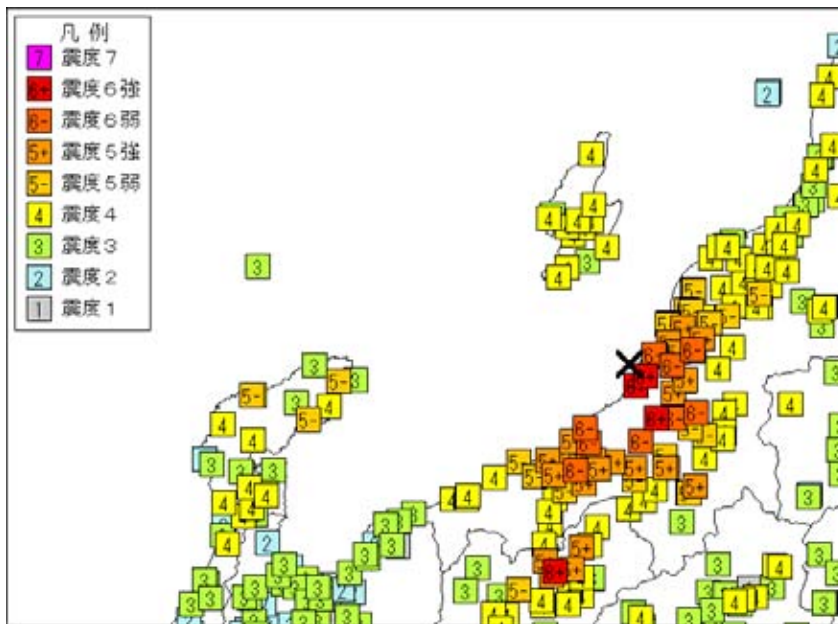


図 2.1.35 気象庁資料による震度分布

(出典:http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-oki/EVENT1/INTZ.PNG)

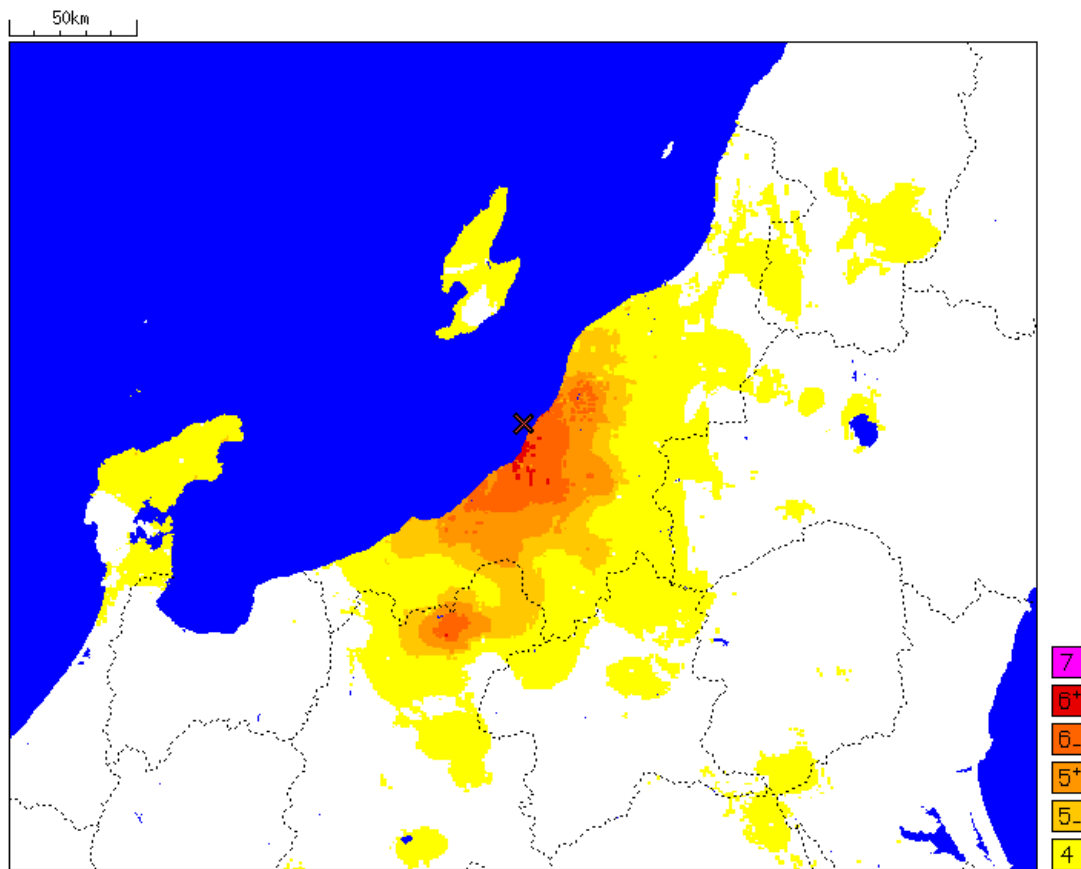


図 2.1.36 気象庁資料による推定震度分布

(出典 : http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-oki/EVENT1/SUIKEI.PNG)

被害の概要を表 2.1.7 にまとめる。

表 2.1.7 新潟県中越沖地震における被害の概要

項目	概要
死者	15 名 (新潟県)
負傷者	2,345 名 新潟県 : 2,315 名、長野県 : 29 名、富山県 : 1 名
住家被害	全壊 1,319 棟 (新潟県) 大規模半壊 857 棟 (新潟県) 半壊 4,764 棟 (新潟県) 一部損壊 34,977 棟 新潟県 : 34,659 棟、長野県 : 318 棟 非住家被害 31,041 棟 (新潟県)

柏崎市で約4万2600戸が断水になるなど、新潟、長野両県で計6万戸以上が断水した。柏崎市、上越市、刈羽村、長岡市、三条市、燕市、加茂市、新潟市などで地震発生時に3万5344戸が停電。長野市北部などで地震直後の10時14分に約2万1200戸が停電。

17日12時00分段階の集計で、全壊342棟、半壊99棟、一部破損465棟の住家被害があった。長野県飯綱町では、町内の三水庁舎付近で道路が隆起し、水道管が破裂した。さらに海を隔てた石川県珠洲市も震度5弱を計測、見付島の岩肌も一部崩落が確認された。

(3) 電力被害と影響

16日10時25分頃、東京電力柏崎刈羽原子力発電所3号機変圧器から火災が発生した。12時10分頃に鎮火し、これに伴う放射能漏れは当初は確認されなかった。この火災がマスコミに伝わった数分後にはNHK新潟放送局の災害現場を撮る為に飛ばしていたヘリコプターが火災現場の空撮を行った。この3号機の火災現場には職員ら4人が駆けつけたものの、現場近くにあった消火用配管が壊れていた。このため職員らによる消火活動は行われなかった。また、地震の影響で地元消防署との専用電話は使用できず（対応の「緊急時対策室」が損傷し入れなかった）、消防隊の到着が遅れたために出火より2時間近く経ってようやく鎮火した。

その後の調査で、少量の放射性物質の漏れが確認された。漏れた量は自然に存在する放射性物質に比較しても少量で、環境に影響はないレベルであった。しかし周辺施設の耐震基準、震災時の火災発生に対する対応などにおいて改善が必要であることが認識された。

2.2 過去の大規模地震における電力設備被害及び復旧状況

過去の大規模地震における電力設備被害及び復旧状況の詳細は添付資料1～8に示すが各地震による被害状況の概要は次のとおりである。

2.2.1 トルコ（1995年、コジャエリ地震）

- (1) 火力・水力設備：被害なし
- (2) 送電設備：154kV及び380kV送電線に被害なし
- (3) 変電設備：基幹変電所の開閉機器、変圧器が被害

2.2.2 インドネシア（2004年、スマトラ沖地震）

スマトラ沖地震に関する電力設備の被害については 諸調査を行ったが不明であった。

2.2.3 中国（2008年、汶川大地震）

- (1) 火力発電所：4発電所が被害（311.9万kWの発電ユニットが停止）
- (2) 水力発電所：23発電所で被害（405.85万kWの発電ユニットが停止）

(3) 変電所

- 500kV : 18 箇所の内 1 箇所が稼働停止
- 220kV : 94 箇所の内 13 箇所が稼働停止
- 110kV : 351 箇所の内 66 箇所が稼働停止
- 35kV : 351 箇所の内 91 箇所が稼働停止

(4) 送電線

- 500kV : 41 回線の内 4 回線が稼働停止
- 220kV : 337 回線の内 46 回線が稼働停止
- 110kV : 796 回線の内 118 回線が稼働停止
- 35kV : 603 回線の内 106 回線が稼働停止

(5) 配電線

- 10kV 配電線(都市部) : 5,473 回線の内 795 回線が稼働停止
- 10kV 配電線(農村部) : 5,876 回線の内 1,700 回線が稼働停止

上記被害の内、変電設備が甚大な被害を被った。

2.2.4 日本（1995年、兵庫県南部地震）

- (1) 火力発電所 : 22 発電所中、11 発電所で軽微な被害（電力供給に支障無し）
- (2) 変電所 : 861 変電所中、50 変電所が被害
- (3) 架空送電線 : 1,065 回線の内、23 回線で被害
- (4) 地中送電線 : 1,217 回線の内、102 回線で被害
- (5) 配電線 : 12,109 回線の内、649 回線で被害
- (6) 通信線 : 4,048 回線の内、76 回線で被害

架空送電設備の被害は関西電力管内の設備で鉄塔、電線、がいし等に被害が生じた。被害状況と復旧状況は表 2.2.1 のとおりである。なお被害率は震度 5 以上の被害にあった地域にある送電設備に対する比率で表した。

(a) 鉄塔

いずれも地震に伴う地震力によって直接被害を受けたものではなく地震に伴う地盤の隆起、陥没、斜面崩壊、崖崩れ、地割れ等の地盤変状に伴って鉄塔基礎が不同変位し、鉄塔部材に損傷を与えた結果、被害を受けたものである。なお被害率は 0.2% と非常に小さなものであった。

表 2.2.1 阪神・淡路地震被害と復旧状況

被害状況	数	仮復旧	本復旧
鉄塔倒壊	1 基	仮鉄柱を建設して送電線を復旧	新規に建替を行った。旧鉄塔の下部構造が基礎の不同変位に対し非常に弱い旧骨組構造であったため最近の構造形式として建替した。
鉄塔傾斜	10 基	仮支線により倒壊防止を図りかつ部材の変形箇所を補強	新規に建替を行った。
鉄塔部材損傷 (部材変形)	9 基	変形部材を補強して十分強度を有するものとした	同左

(出典：電気設備防災対策検討会 報告資料)

(b)電線

電線の被害は断線が3径間(被害率は0.09%)に生じたもので地震に伴う電線の動揺により電線の把持部のクランプボルトの締付不良で電線が滑り損傷したものが1径間と電線動揺に伴って相間短絡(ショート)して溶断したものが2径間で、いずれも張替えを行って復旧した。

(c)がいし

がいしは通常の電線を支持しているボールソケット型あるいはクレビス型のような可撓性のあるがいしは、地震の振動に対して被害を受けないが、ジャンパー線を支持している長幹がいしは地震力に対して可撓性が無いので若干弱い。今回はこの長幹支持がいしが39基(被害率0.4%)被害を受けた。このがいしはジャンパー線の風による振れを防止する役目であるので被害を受けたが送電線が停止する事はなく、全て新規に取替を行って復旧した。なおこれら鉄塔、電線、がいしの被害に伴う第三者被害は発生していない。

2.2.5 日本(2004年、新潟中越地震)

- (1) 火力・原子力発電所：被害無し
- (2) 水力発電所：東北電力の3発電所で軽微な被害、JR東日本の1発電所で大きな被害
- (3) 変電所：23変電所で53件の被害
- (4) 架空送電線：東北電力の37回線で、357件の被害

架空送電設備の被害は東北電力(株)と東京電力(株)の2社に及んでおり他の地震時と同様に地震の震動により直接鉄塔が折損を受けたのではなく地震に伴う地盤の隆起、陥没、斜面崩壊や崖崩れ、地割れ等の影響により基礎が不同変位し、鉄塔に被害を与えた。他に多数の鉄塔敷地内地盤の亀裂が生じた。被害状況と復旧状況を表2.2.2に示す。

- (5) 配電線：支持物4,775基、電線3,579ヶ所で被害

表 2.2.2 中越地震被害と復旧状況

電力会社	状況	基数・件数	仮復旧状況	本復旧状況
東京電力	鉄塔部材変形	1 基	いずれも地震による地盤の隆起、陥没、地割れ等に伴うもので直接地震に伴う震動によるものではない。 傾斜鉄塔、部材変形鉄塔等には仮支線を取付け補強。	倒壊、傾斜したものは新規建替。 部材変形は補強。
	鉄塔基礎部法面崩落	4 基		
	鉄塔敷地内地盤亀裂	56 件		
東北電力	鉄塔倒壊	1 基		
	鉄塔傾斜	12 基		
	鉄塔部材変形	29 基		
	鉄塔敷地内地盤亀裂	315 件		

(出典：インターネット 論文 9.4 電力)

2.2.6 日本（2007年、新潟県中越沖地震）

- (1) 原子力発電所：原子炉、発電設備に甚大な被害が無いが、付帯設備に被害を受け、その補修と原子炉、発電設備の詳細点検・審査に長期間を要している。
- (2) 火力発電所：被害なし
- (3) 変電所：停電の主要因になる被害無し
- (4) 送電線：停電の主要因になる被害無し
- (5) 配電線：支持物 2,783 基、電線 4,821 条、柱上変圧器 3,212 台、計器用変成器 578 台に被害
- (6) 送電設備の被害・復旧状況

架空送電設備の被害は 2004 年の新潟県中越地震と同様、東北電力と東京電力の 2 社に及んでおり他の地震時と同様に鉄塔は地震の振動力によって被害を受けたのではなく、地震に伴う地盤の隆起、陥没、斜面崩壊や崖崩れ、地割れ等の影響により基礎が不同変位し、鉄塔に被害を与えたものの他、地震により電線が動揺した事によるがいし、相間スペーサーの破壊や電線のジャンパー線の変形が生じた。また鉄塔敷地内の地盤亀裂も生じた。

表 2.2.3 に新潟中越沖地震での被害状況と復旧状況を示す。

表 2.2.3 新潟中越沖地震の被害状況と復旧状況

電力会社	被害状況	数	仮復旧	本復旧
東北電力	鉄塔部材変形	11 基	公表されたものは見当たらなかったが、部材補強を行ったと考えられる。	
	がいし折損(スパーサー折損含む)	3 組	がいし類の取替え	同左
	鉄塔敷地の地盤亀裂	8 基	亀裂箇所に土盛したと考えられる。	同左
東京電力	鉄塔部材、ボルト改修	ボルト 10 箇所 部材 4 箇所	測定地震波で解析を行い過大応力が生じたと考えられる。部材、ボルトを改修した	同左
	ジャンパー線の変形	44 基	改修(取替)	同左
	がいしの破損	18 基	改修(取替)	同左

(出典：インターネット 大規模地震における復旧対応…東北電力
新潟中越沖地震に伴う送電設備の健全性確認結果…東京電力)

2.2.7 中国（1995年、台湾・集集地震）

- (1) 火力発電所：被害なし、但し付帯開閉所が被害
- (2) 水力発電所：ダム、発電所に被害なし、但し付帯開閉所が被害
- (3) 変電所：345kV 変電所・開閉所 2 ヶ所、161kV 変電所・開閉所 2 ヶ所で被害
- (4) 架空送電線：387 基の鉄塔が被害
- (5) 配電線：支持物 2,108 基、電線 2,381 ヶ所、柱上変圧器 871 台、ケーブル 4,421m、
地中機器 103 台が被害

(6) 送電設備の被害概要

送電設備の被害概要は次のとおりである。

(a) 鉄塔

詳細な報告書は収集出来なかったが日本での従来からの鉄塔の地震被害から推測すると、地震力により直接鉄塔が被害を受けたものではなく、地震に伴う地盤の斜面崩壊、崖崩れ、隆起、陥没、地割れ等により鉄塔の基礎が不同変位し、基礎部コンクリートに異常な割れやクラックが生じたり、鉄塔脚部の部材が変形したりさらに多くの部材が大きく変形すると鉄塔が傾斜し、最悪のものは倒壊に至るものである。鉄塔の被害は表 2.2.4 のとおりであるが復旧については台湾電力がどのように判断されたか定かでないが、倒壊、傾斜したものは建替、多少の部材変形は補強されたものと推察される。

表 2.2.4 集集地震の被害と復旧状況

被害状況	数	復旧状況
鉄塔倒壊	13 基	前記のとおり、復旧方法についての情報は得られていない。
鉄塔傾斜	29 基	
部材変形	67 基	
基礎部の異常	281 基	

(出典：台湾地震被害調査報告書（電力設備関係）…東京電力)

(b)電線

電線断線は3径間で生じており断線原因は明らかになっていないが、鉄塔の傾斜、倒壊に伴って張力増加し断線したか、相間短絡のショート熱等で断線したものと推察される。

(c)がいし

がいし破損は3基の鉄塔で生じているが原因については定かでない。