

第3章 地震・津波の特徴

3.1 地震諸元

USGSによるチリ地震の諸元は、以下の通りである³⁻¹⁾。

- ・ 発震時：2010年2月27日03時34分12秒（現地時間）、06時34分12秒(UTC)、15時34分12秒（JST）
- ・ マグニチュード：8.8（Mw）
- ・ 震央：南緯 36.122° ,西経 72.898°^{#3}
- ・ 深さ：22 km^{#3}

3.2 地震データ解析結果

3.2.1 マグニチュード

遠地で観測されるP波の高周波震動継続時間と最大変位振幅から地震のマグニチュードを計算する方法³⁻²⁾をチリ地震に適用した。解析には全地球的に設置された観測点の複数のデータを使用した。図3.1は高周波震動継続時間の測定例である。測定された高周波震動継続時間の中央値は138.6秒であり、震源時間は2分程度であったと推定される。高周波震動継続時間と最大変位振幅から求めたマグニチュードは8.6であった。USGSが発表した8.8より小さめであるが、0.2程度の差は手法の精度の範囲内であり、整合的である。

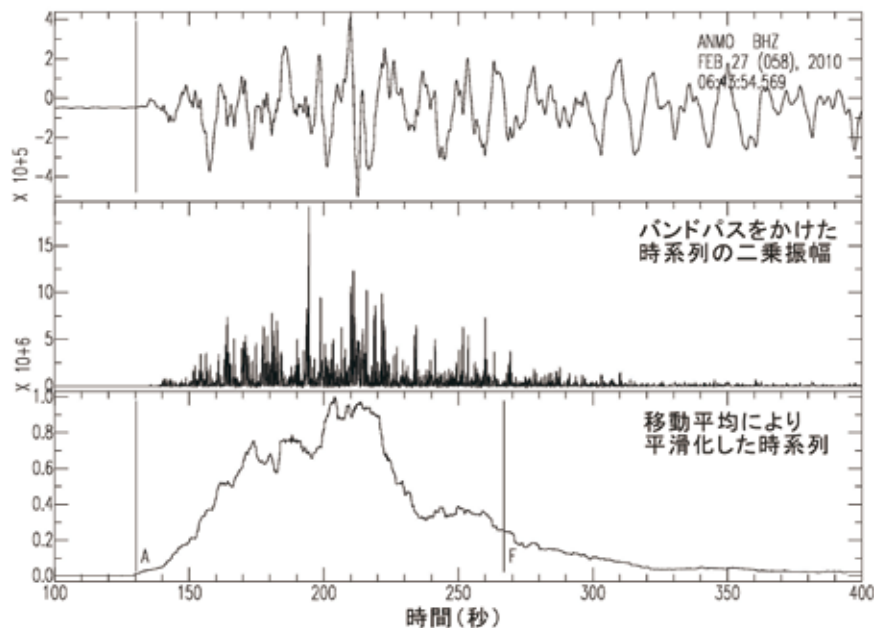


図 3.1 高周波震動継続時間の測定例

上段は、米国アルバカーキに設置された地震観測点の速度記録。震源からの距離は約 8600km である。中段は、2-4Hz のハイバンドパスフィルターを掛けた時系列の二乗振幅。
下段は、中段の波形の移動平均で、「A」が地震の到着時刻、「F」が高周波震動の終わりを表している。

#3 地震発生直後、USGS から震央位置：南緯 35.9°、西経 72.7°、深さ：35 km とする地震の速報値が出され、一般にはそれらの情報がよく参照されているが、本稿では参考サイト³⁻¹⁾において USGS が公表している修正値を採用した。ただし、本報告執筆時点では、最終確定値とはなっていない。

3.2.2 余震分布・断層面・最大余震

本震の断層面とその大きさ及び本震・最大余震の震源と断層面の位置関係を調べるために、本震と2月27日12時00分までの余震、及び3月11日最大余震2個とそれらの当日の余震の震源を、改良連携震源決定法^{3-3), 3-4), 3-5)}により再決定した結果を図3.2に示す。

震源分布から、本震の断層面は北北東-南南西走向、東南東に低角傾斜の節面であると推定される。従って、この地震は南米プレートとその下に沈みこむナスカプレートの境界で発生した、いわゆるプレート境界の低角逆断層地震である。地震の破壊は断層面のほぼ中央で開始し、北北東と南南西の両方向にそれぞれ300 km程度伝播した。断層面の長さはおよそ500-600 km程度である。

3月11日に本震断層面の北東端付近で発生した最大余震(Mw6.9とMw6.7)は共に正断層型地震であり、本震断層面上ではなく、本震断層面よりも浅部で発生した。本震断層の滑りにより、本震断層最深部の直上では、引っ張り応力が発生するために、最大余震の位置は、地震メカニズムと調和的である。

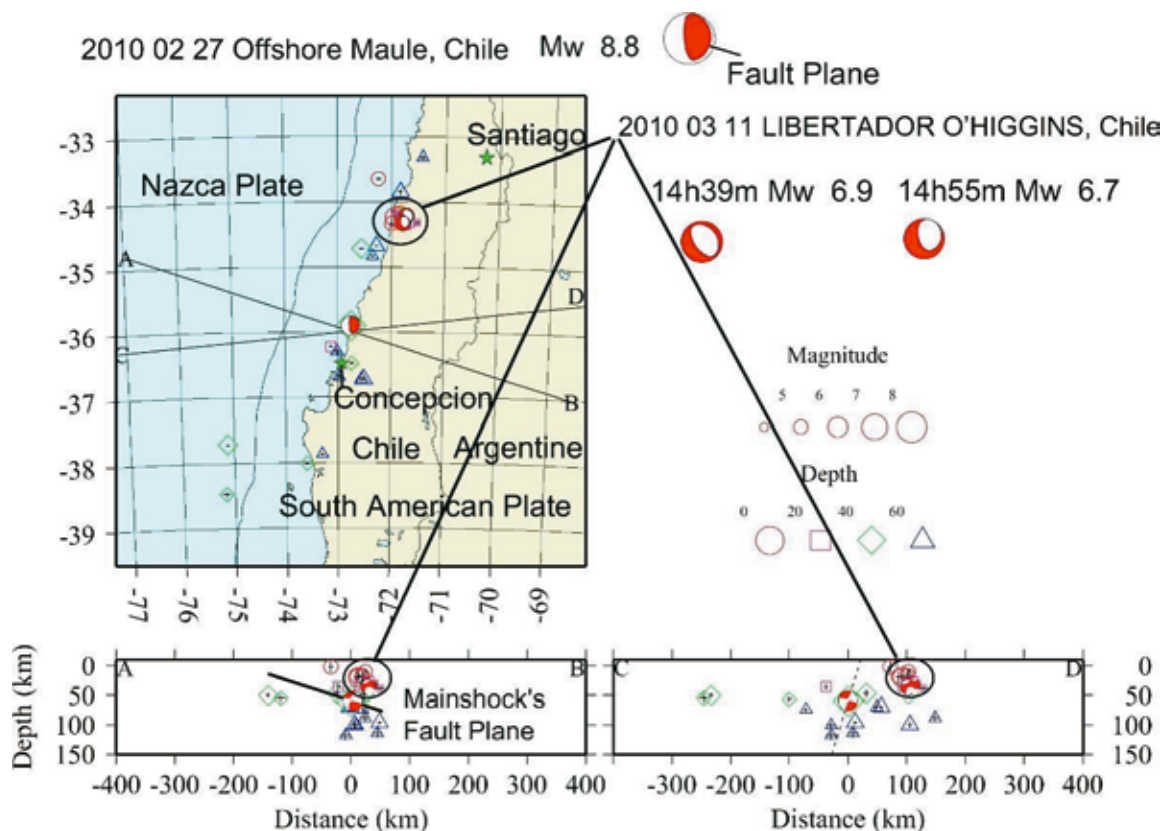


図 3.2 改良連携震源決定法により再決定した震源分布図

地震メカニズムはグローバルCMT解。

震央分布図と、グローバルCMT解の2節面に垂直な線A-Bと線C-Dに投影した深さ断面図。

断面図に示す太い実線は断層面に対応する節面。破線は断層面に対応しない節面。

3.2.3 震源過程

グリーン関数の誤差成分を考慮した波形インバージョン法³⁻⁶⁾を用いて震源過程を推定した。解析には、国際デジタル地震観測網 (Federation of Digital Seismographic Networks, FDSN)、グローバル地震観測網 (Global Seismological Network, GSN) の波形データを用いた。

解析結果を図3.3に示す。震源時間は2分程度であり、3.2.1に示した遠地P波の高周波震動継続時間と整合的である。モーメントマグニチュードは8.8で、USGSの値と一致している。震央から北側で大きな滑りが認められ、南側の滑り量は小さいようである。最大滑り量は8m程度である。

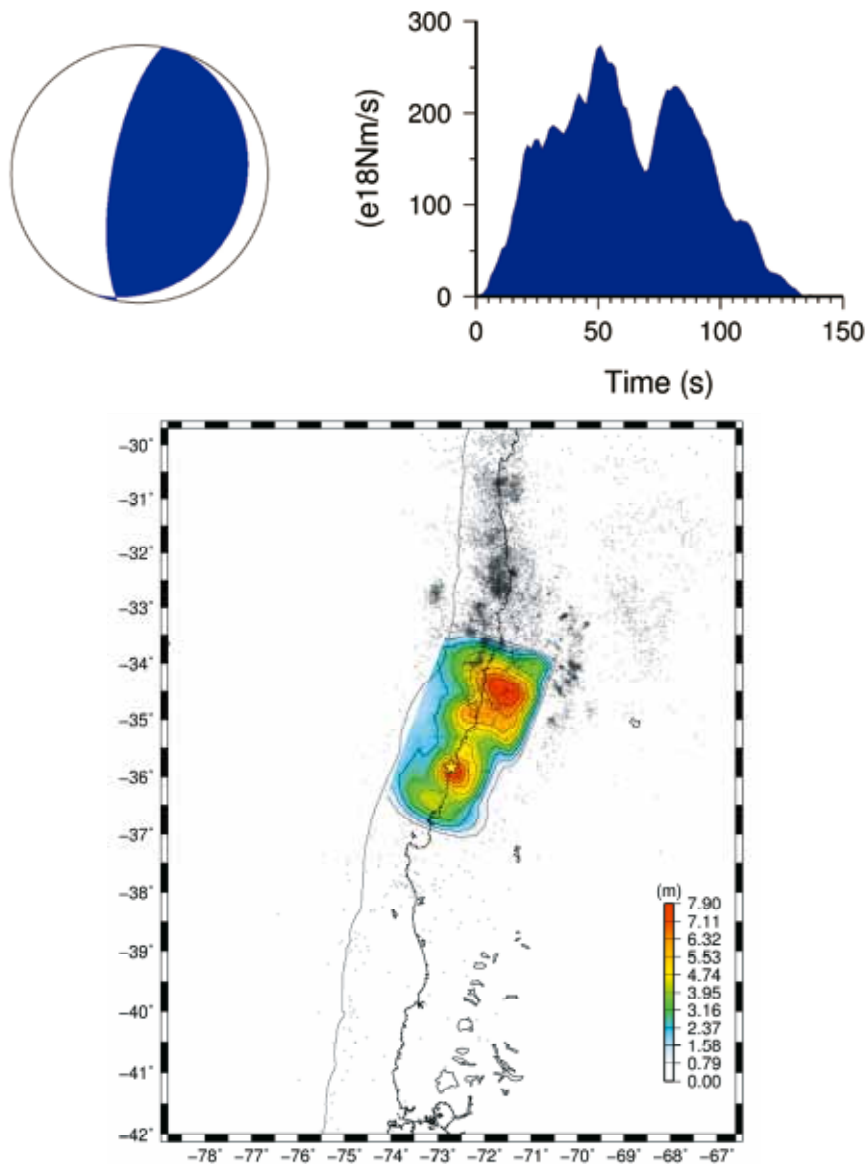


図 3.3 チリ地震の震源過程解析の結果

上段の左図、上段の右図はそれぞれ震源メカニズムと震源時間関数。
下段の図は地図に投影したすべり量分布。

3.3 津波

今回の地震による津波で、気象庁は2月28日9時33分（日本時間）に青森県太平洋沿岸から岩手県、宮城県に大津波警報、その他の太平洋沿岸各地に津波警報、北海道日本海沿岸南部・オホーツク海・瀬戸内海沿岸（一部津波警報）・九州北西部沿岸に津波注意報を発令した。

震源域のタルカワノの検潮所で2.3m、震源北部のバルパライソで1.3mの津波が観測された。日本沿岸で観測された津波は、概ね数十cmから1m前後で、多くの観測点で第1波より後続波の振幅の方が大きい傾向を示している。岩手県北部の久慈、高知県中部の須崎では、津波の第1波から約3~4時間後に約1.2mの最大波が観測された（図3.4）。

津波シミュレーションでは、USGSのWphaseインバージョン解析モーメントテンソル解³⁻⁷⁾を参照し、断層モデルを設定した（図3.5）。断層の長さと幅を400km×100kmとし、断層面上の平均すべり量を10m、断層上端の深さを4kmと仮定した。この断層モデルによる海底地形の静的変位³⁻¹⁰⁾を計算し、津波の初期条件とした。津波伝播を計算するため、線形長波の式を差分法で数値的に解いた³⁻¹¹⁾。使用した海底地形データは、GEBCO³⁻¹²⁾（大洋水深総図）の1分グリッドデータを計算格子間隔の2分で再サンプリングしたデータである。津波シミュレーションによる最大

波高分布、及び検潮所³⁻¹³⁾や DART³⁻¹⁴⁾ (深海底に設置された津波計) における波形の比較を図 3.6 に示す。波形の一致具合は良好で、地震学的解析から推定される低角逆断層モデルで、観測された津波を概ね説明できている。

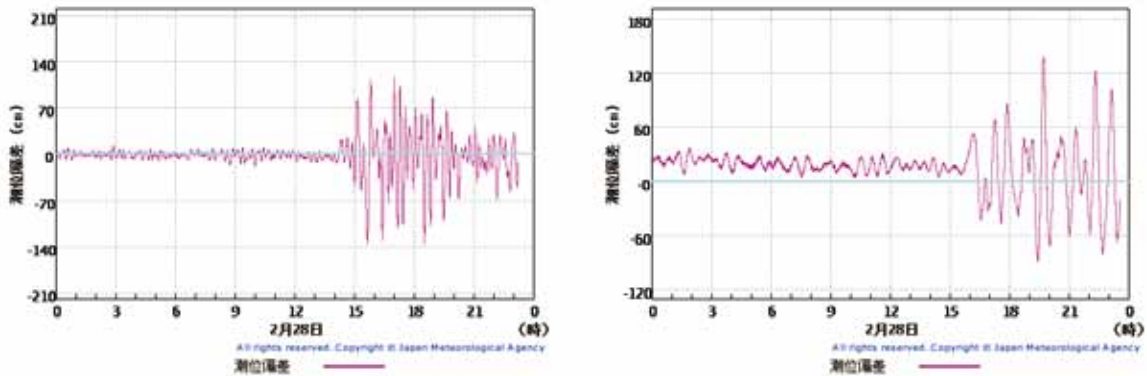


図 3.4 検潮所での津波波形記録

左：久慈[港湾局]、右：須崎[港湾局] (気象庁の HP³⁻⁸⁾より)。

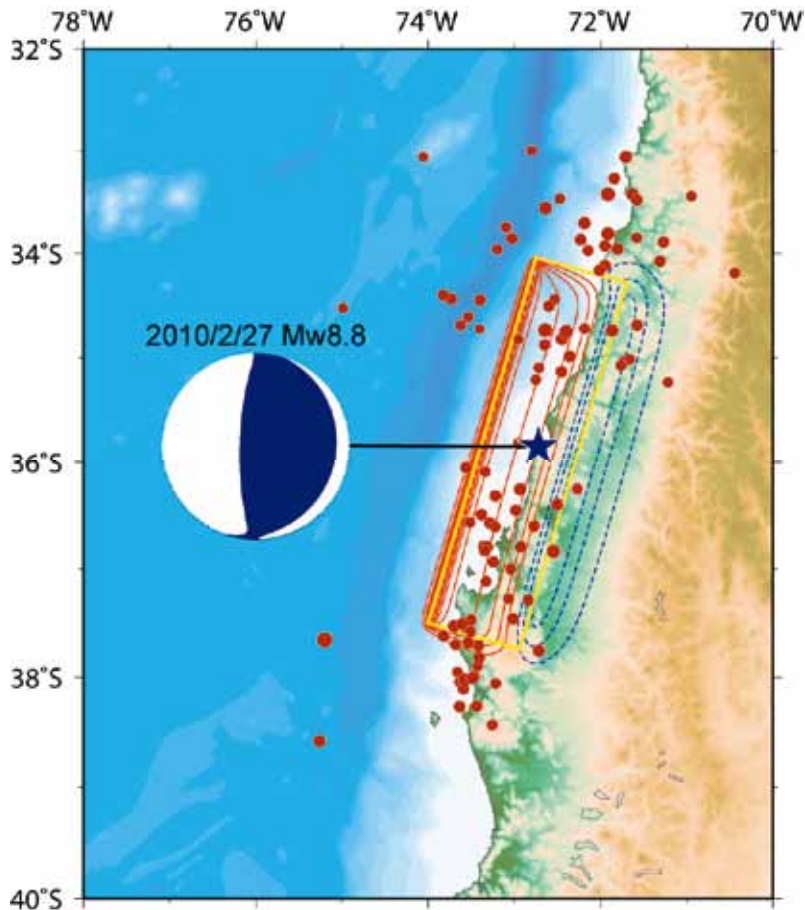


図 3.5 設定した断層モデル

等高線の間隔は 0.5m。赤線が隆起、青線が沈降を示す。赤丸は、本震後約 1 日間に発生した余震を示す (USGS³⁻⁹⁾より)。

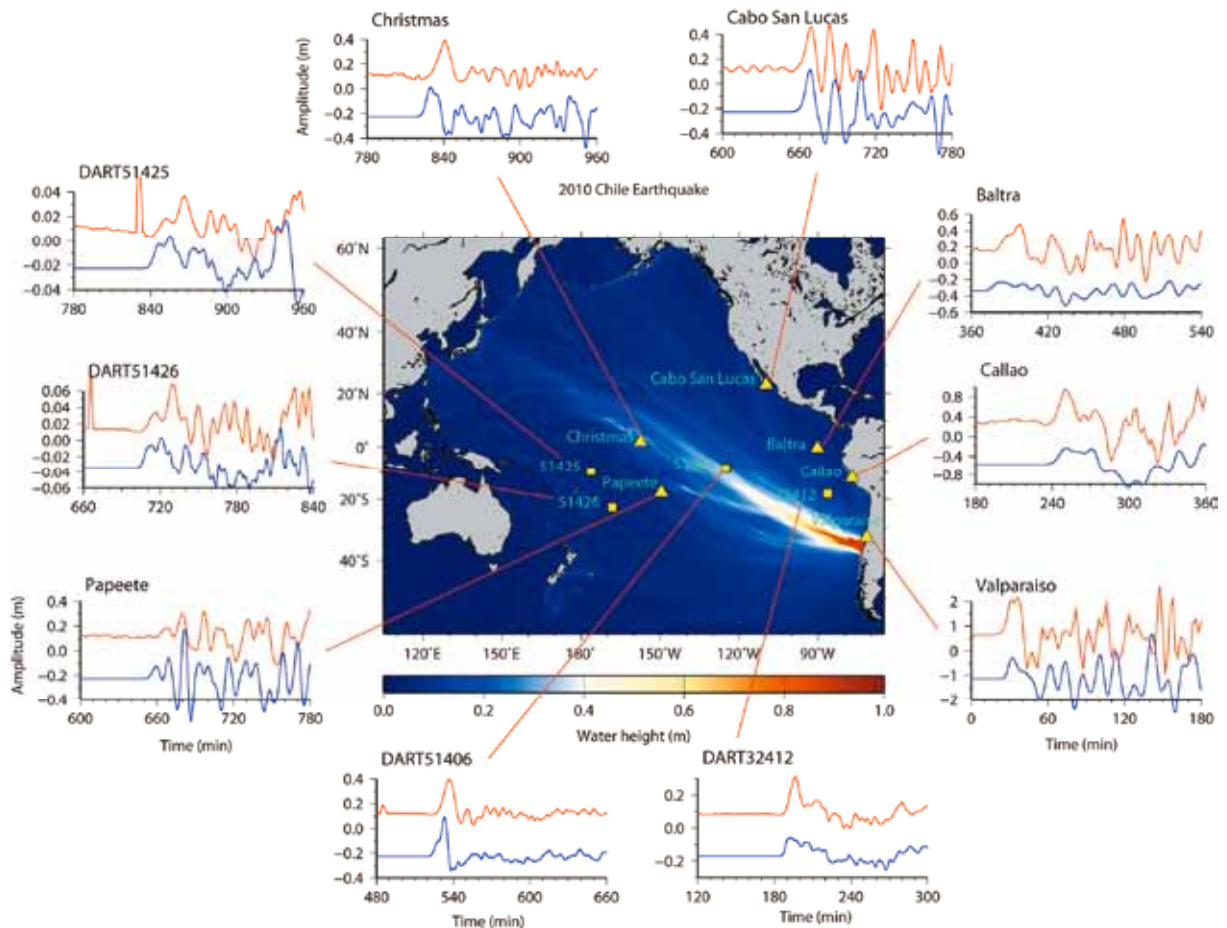


図 3.6 計算された津波の最大波高分布と波形の比較
赤線が観測津波波形、青線が理論波形。

3.4 チリに被害を生じた過去の地震・津波

建築研究所国際地震工学センターが公開している地震カタログ「世界の被害地震の表」^{3-15),3-16),3-17)}から、「津波のあった地震」、「国名で検索する：チリ」の条件で検索すると、1562 年 10 月 28 日の地震 (M8) 以降、70 地震が登録されている (重複や不確かないくつかの地震を除いた)。

その内、死者 100 人以上の地震を表 3.1 に示した (1994 年以降は死者ありの条件で検索した)。死者数 1000 人以上の地震は、1960 年の巨大地震 (M9.5) を含めて、6 つある。1960 年の地震については、チリでの被害と日本での被害を分けて記している。

表 3.1 「世界の被害地震の表」^{3-15), 3-16), 3-17)}から抽出したチリに被害を生じた過去の地震

| 年 | 月 | 日 | 時間 | 緯度 | 経度 | 深さ (km) | M | 死者 | 負傷者 |
|------|----|----|-------|--------|--------|---------|-----|-------|-------|
| 1562 | 10 | 28 | 1000U | -38.7 | -73.15 | - | 8 | many | - |
| 1575 | 12 | 16 | 1830U | -39.8 | -73.2 | - | 8.5 | 1500 | - |
| 1604 | 11 | 24 | 1830U | -17.9 | -70.9 | - | 8.4 | many | some |
| 1647 | 5 | 14 | 0230U | -33.4 | -70.6 | - | 8.5 | 2000 | - |
| 1657 | 3 | 15 | 2330U | -36.83 | -73.03 | - | 8 | many | - |
| 1822 | 11 | 20 | 0230U | -33.1 | -71.6 | - | 8.5 | many | - |
| 1835 | 2 | 20 | 2230U | -33.5 | -79 | - | - | many | - |
| 1868 | 8 | 13 | 2045U | -18.5 | -71 | - | 8.5 | 25000 | - |
| 1877 | 5 | 10 | 0216U | -19.6 | -70.2 | - | 8.3 | many | some |
| 1906 | 8 | 17 | 0040U | -33 | -72 | 25 | 8.4 | 3760 | - |
| 1922 | 11 | 11 | 0432U | -28.5 | -70 | 25 | 8.5 | 1000 | - |
| 1928 | 12 | 1 | 0406U | -35 | -72 | 25 | 8 | 225 | - |
| 1960 | 5 | 22 | 1911U | -39.5 | -74.5 | - | 9 | 5700 | great |
| 1960 | 5 | 23 | 0411L | -38.17 | -72.57 | 0 | 9.5 | 142 | 872 |
| 1985 | 3 | 3 | 2247U | -33.14 | -71.87 | 33 | 7.8 | 177 | 2575 |
| 1995 | 7 | 30 | 0511U | -23.34 | -70.29 | 46 | 7.3 | 3 | 59 |
| 2001 | 6 | 23 | 2033U | -16.26 | -73.64 | 33 | 8.2 | 139 | 2687 |
| 2007 | 4 | 21 | 1753U | -45.24 | -72.65 | 37 | 6.3 | 10 | - |
| 2007 | 11 | 14 | 1540U | -22.25 | -69.89 | 40 | 7.4 | 2 | 65 |

検索条件は、「津波のあった地震」、「国名で検索する：チリ」、「死者 100 人以上」、1994 年以降は「死者あり」。死者数、負傷者数にある some、many、great の目安はそれぞれ 10、50、3000 人である。

参考文献・参考サイト：

- 3-1 USGS Global Earthquake Search :
http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic_global.php
- 3-2 Hara, T., Measurement of duration of high-frequency energy radiation and its application to determination of magnitudes of large shallow earthquakes, *Earth Planets Space*, 59, 227–231, 2007.
- 3-3 Hurukawa, N., 1995, Quick aftershock relocation of the 1994 Shikotan earthquake and its fault planes, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 3159-3162.
- 3-4 古川信雄、井元政二郎、1990、関東地方におけるフィリピン海・太平洋プレートの地下境界の微細構造、*地震*、43, 413-429.
- 3-5 Hurukawa, N. and M. Imoto, 1992, Subducting oceanic crusts of the Philippine Sea and Pacific plates and weak-zone-normal compression in the Kanto district, Japan, *Geophys. J. Int.*, 109, 639-652.
- 3-6 Yagi, Y. and Y. Fukahata, 2008. Importance of covariance components in inversion analyses of densely sampled observed data: an application to waveform data inversion for seismic source processes, *Geophys. J. Int.*, 175, 215-221, doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03884.x.
- 3-7 USGS WPhase Moment Solution :
http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/neic_tfan_wmt.php
- 3-8 気象庁潮位観測情報：<http://www.jma.go.jp/jp/choi/>

- 3-9 USGS : <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/>
- 3-10 Okada, Y., 1985, Surface Deformation Due to Shear and Tensile Faults in a Half-Space, Bull. Seismol. Soc. Am., 75, 1135-1154.
- 3-11 Satake, K., 1995, Linear and Nonlinear Computations of the 1992 Nicaragua Earthquake Tsunami, Pure and Appl. Geophys., 144, 455-470.
- 3-12 General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO): <http://www.gebco.net/>
- 3-13 West Coast/Alaska Tsunami Warning Center (WCATWC), Offshore Maule, Chile Tsunami of 27 February 2010: http://wcatwc.arh.noaa.gov/previous.events/Chile_02-27-10/Tsunami-02-27-10.htm
- 3-14 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART): <http://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/>
- 3-15 宇津徳治、1990、世界の被害地震の表（古代から 1989 年まで）、宇津徳治、東京、243 p.
- 3-16 Utsu, T., 2002, A list of deadly earthquakes in the World: 1500-2000, in International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology Part A, edited by Lee, W.K., Kanamori, H., Jennings, P.C., and Kisslinger, C., pp. 691-717, Academic Press, San Diego
- 3-17 宇津徳治、2004、世界の被害地震の表（古代から 2002 年まで）、宇津徳治先生を偲ぶ会、東京、電子ファイル最終版、改定・更新版 : <http://iisee.kenken.go.jp/utsu/index.html>