



幌延深地層研究計画における地震研究

—地震観測データおよびそれらの解析結果（2003～2012年度）—

The Earthquake Research in Horonobe Underground Research Laboratory Project

-Seismic Data and Their Analysis Results (2003～2012 FY)-

落合 彰二 浅森 浩一 常盤 哲也 野原 壯
松岡 稔幸

Shoji OCHIAI, Koichi ASAMORI, Tetsuya TOKIWA, Tsuyoshi NOHARA
and Toshiyuki MATSUOKA

地層処分研究開発部門
幌延深地層研究ユニット

Horonobe Underground Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate

March 2014

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2014

幌延深地層研究計画における地震研究
- 地震観測データおよびそれらの解析結果（2003～2012年度） -

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門
幌延深地層研究ユニット
落合 彰二^{*}，浅森 浩一⁺，常盤 哲也，野原 壯，松岡 稔幸

(2014年1月9日受理)

幌延地域を事例とした地震観測網の整備と約9年間の観測を通じて、多雪寒冷な環境下に対するピットを用いた地震計設置の有効性などの観測技術を確認した。比較的軟弱な地盤における観測点の性能は、バックグラウンドノイズと地震を識別できる加速度が1mGal程度であった。

解析技術については、観測データが震源決定に有効な範囲を確認した。また、**Multiplet-clustering**法と**Double-Difference**法(DD法)を適用することにより、震源決定精度を高めるための解析条件を確認した。これらの解析法は震源が集中するときに適用性が高いと推定された。DD法は震源に近い観測点を含む多数のデータを用いた結果、解析結果の信頼性が向上した。メカニズム解を求めた結果、東西圧縮の逆断層型が認められた。これは想定されている広域応力場や地質構造と調和した。

幌延深地層研究センター（駐在）：〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進 432-2

+ 東濃地科学センター

※ 技術開発協力員

The Earthquake Research in Horonobe Underground Research Laboratory Project
- Seismic Data and Their Analysis Results (2003~2012 FY) -

Shoji OCHIAI[※], Koichi ASAMORI⁺, Tetsuya TOKIWA, Tsuyoshi NOHARA
and Toshiyuki MATSUOKA

Horonobe Underground Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Horonobe-cho, Teshio-gun, Hokkaido
(Received January 9, 2014)

Through the earthquake observation of about 9 years and the development of seismic network as a case study of Horonobe, we confirmed the observation techniques, such as the effectiveness of the seismograph installation using the pit for a snowy cold environment. The performance of the observation points in a relatively soft ground is about 1mGal acceleration that can distinguish earthquake from background noise.

For analysis technology, we confirmed the valid range of observational data for hypocenter determination. Also, the analysis conditions for improving the hypocenter accuracy by applying the Double-Difference Method (DD method) and Multiplet-clustering method were confirmed. It is estimated that applicability of these methods is high in the condition that the hypocenters concentrated. The reliability of DD method has been improved by using many data including the observation points near the hypocenter. Analyzed focal mechanisms showed reverse fault of east-west compression. This is consistent with the geological structure and the regional stress field.

Keywords: Earthquake, Seismic Data, Observation Technology, Analysis Technology, Focal Mechanism, Horonobe

+ Tono Geoscience Center

※ Collaborating Engineer

目次

1 はじめに	1
2 地震観測技術	2
2.1 観測計画の立案と観測網整備	2
2.1.1 観測点の配置	2
2.1.2 地震計の種類	6
2.1.3 地震計の設置	8
2.2 観測点の性能	10
2.3 観測方法と観測装置および施設のメンテナンス	11
2.4 観測データ一覧	12
3 解析技術	13
3.1 解析対象範囲の選定方法	13
3.2 震源決定解析	24
3.2.1 Multiplet-clustering 法	24
3.2.2 Double-Difference 法	43
4 観測期間における地震活動の特徴	45
4.1 震源分布	45
4.2 地震のメカニズム解	46
5 まとめ	59
謝辞	59
参考文献	60
付録 地下施設の深度 250m調査坑道で観測した地震データ例	62

Contents

1 Introduction	1
2 Observation technology of earthquake	2
2.1 Observation plan observation network	2
2.1.1 Observation point	2
2.1.2 Specification of seismograph	6
2.1.3 Installation of seismograph	8
2.2 Performance of the observation point	10
2.3 Observation method maintenance of equipment and observation facilities	11
2.4 Observation data list	12
3 Analysis technology	13
3.1 Selection of the analysis scope	13
3.2 Hypocenter determination analysis	24
3.2.1 Multiplet-clustering method	24
3.2.2 Double-Difference method	43
4 Feature of the activities of the earthquake in observation period	45
4.1 Hypocenter distribution	45
4.2 Focal mechanisms solution of earthquakes	46
5 Summary	59
Acknowledgment	59
References	60
Appendix Examples of seismic data that has been observed in the 250m Gallery of underground facility	62

図表リスト

表 2.1.1-1 観測点の座標	3
表 2.1.2-1 地震計の仕様	7
表 2.4-1 観測を行った期間および観測データの仕様	12
表 3.1-1 震源距離と地震波を検出できた観測記録数	13
表 3.1-2 震源距離と P 波初動の目視判別	15
表 3.1-3 震源距離と JAEA 検測値の有無および震源計算誤差	19
表 3.2.1-1 MC 法手順の概要と震源位置精度に関する解析条件	26
表 4.2-1 メカニズム解に用いた初動データ	48
表 4.2-2 メカニズム解に用いた他機関の観測点の位置	55
表 4.2-3 上幌延観測点付近で発生した地震のメカニズム解	56
図 2.1.1-1 観測点の位置図	2
図 2.1.1-2 観測網付近の地質図	3
図 2.1.1-3 上幌延観測点の柱状図および弾性波速度	4
図 2.1.1-4 北進観測点の柱状図および弾性波速度	5
図 2.1.2-1 地震計の構成	6
図 2.1.3-1 各観測点における地震計の設置状況	9
図 2.2-1 各観測点における Peterson の振幅分解能特性	10
図 3.1-1 DD 法の震源計算誤差	14
図 3.1-2 気象庁一元化震源に対する DD 法の震源計算誤差の増減	14
図 3.2.1-1 MC 法の各手順における解析データの例	28
図 3.2.1-2 MC 法の各手順における震源分布図	33
図 3.2.2-1 DD 法による震源分布と気象庁一元化震源の比較	43
図 4.1-1 北海道北部の震源分布図	45
図 4.2-1 震源分布およびメカニズム解の P 軸の方位と Plunge の分布	57
図 4.2-2 メカニズム解の P 軸と T 軸の方位および Plunge の頻度	57
図 4.2-3 JAEA 観測点の有無による観測点の分布と震源球の比較	58

This is a blank page.

1 はじめに

一般に、日本列島とその周辺で発生する地震は、プレート間地震、プレート内地震、内陸の浅い地震の3つに分類できる。プレート間地震は規模が比較的大きいが、プレート境界が陸に近づいている伊豆半島周辺地域を除き、震源距離が海岸から数十～数百 km 程度離れた海域で発生する。内陸の浅い地震の多くは、プレートの相対運動に伴う地殻応力に関連した断層活動に対応して起こると考えられている。内陸の浅い地震の震源は、陸域の地下 20km 以浅にあることが多い。これらの地震の規模は、発生の原因となる活断層やプレート境界面の大きさに応じて、同じような規模で繰り返し起こっている¹⁾²⁾³⁾。日本列島とその周辺で発生する地下深部と地表部との地震動の違いをみると、地形による増幅効果はあるものの、各地震の地表部の最大加速度に比べて、概して地下深部では 1/2 から 1/4 になる¹⁾。将来の最大地震動に関する調査技術や、地震活動による地下数百 m 程度の岩盤の破断・破碎作用による影響に関する調査技術は、原子力発電所の耐震評価に係わる調査・評価技術についての検討や具体的な調査がなされており、それらの成果が活用できると考えられる⁴⁾⁵⁾。釜石鉱山における長期観測の結果から、地震動による地下深部への力学的な影響は、地表付近と比較して小さく、また、観測結果と解析結果がほぼ一致することから、将来想定される最大地震動に対する岩盤挙動も推測可能と考えられる¹⁾。

地層処分に関する長期安定性研究としての地震研究においては、地震動による地下水流動への影響の検討は、主な課題である。釜石鉱山における調査結果によれば、地震前後の地下水流動や水質の変化は、季節変化などの経時変化に比べて小さい¹⁾。しかし、釜石鉱山は結晶質岩地域であり、調査期間は 10 年に満たないため、堆積岩地域における長期間の連続観測データの蓄積が必要である。一方、東北太平洋沖地震の際、いわき市で温泉水の湧出が生じたことなどを踏まえると、千年から数万年程度の時間スケールにおける地震活動による最大規模の影響を推定するためには、当該地域で想定される最大規模の地震の検討が必要といえる。その際、プレート境界地震により誘発される内陸の浅い地震の分布とそれによる影響を、地下水の主な移行経路となる断層などの水理地質構造も踏まえて推定するための技術開発は、今後の主な研究課題である。

本報告書における地震研究の目的は、上述した今後の主な研究課題のうち、内陸の浅い地震の分布に関する観測・解析技術の開発である。本報告では、地震の観測技術の開発として、多雪寒冷および比較的軟弱な地盤環境下における幌延地域を事例とした観測計画の立案と観測網整備、各観測点の性能、観測装置および施設のメンテナンス、長期観測を通じて蓄積した地震観測データを報告する。解析技術については、解析対象範囲の選定方法として、微小な地震の震源決定に観測データが有効な範囲の検討、震源決定解析として相対位置精度の向上に着目した **Multiplet-clustering** 法⁶⁾⁷⁾⁸⁾、および **Double-Difference** 法⁹⁾ の検討結果を報告する。

その他、研究の基礎情報として、観測期間（2003～2012 年度）における地震活動の特徴について触れる。

2 地震観測技術

2.1 観測計画の立案と観測網整備

2.1.1 観測点の配置

観測計画の立案に際し、他機関の観測点は、図 2.1.1-1 の位置図に示した 3 点の Hi-net¹⁰⁾ 観測点（豊富、幌延、天塩）が幌延町付近に設置されていた。主な観測対象である幌延町付近の地下浅部で発生する微小な地震について、震源決定の精度を向上させるためには、観測点をさらに密な配置とする必要がある。そのため、観測点の配置は、他機関の観測点の隙間を埋めるように計画した。また、配置計画においては、図 2.1.1-2 の地質図にみられるような、ほぼ南北方向の地質構造と主要な断層を挟んで観測点を配置することにも留意した。さらに、詳細な設置場所の選定条件は、湿地のような極端に軟弱な地盤を避けることとした。これらの検討に基づき、図 2.1.1-1 に示すように、Hi-net 観測点で形成される三角形のほぼ中央に上幌延観測点を配置し、さらに 3 つの観測点（北進、北星園、中間寒）を配置することにより、観測点間の距離が約 10km の観測網を構築した。また、深度方向については、多雪寒冷な環境に対応するため、各観測点で地表から深度 1~1.5m に地震センサーを設置した。さらに、上幌延観測点のみ、ノイズレベルが小さい地下のボーリング孔内（深度約 138m）にも地震センサーを設置した。配置した観測点の座標を表 2.1.1-1 に示す。また、各観測点の柱状図および弾性波速度を図 2.1.1-3~4 に示す。なお、北星園観測点および中間寒観測点についての柱状図は無いが、図 2.1.1-2 の地質図のように、それらの地点には沖積層が分布しており、その地盤は軟弱なことが推定される。

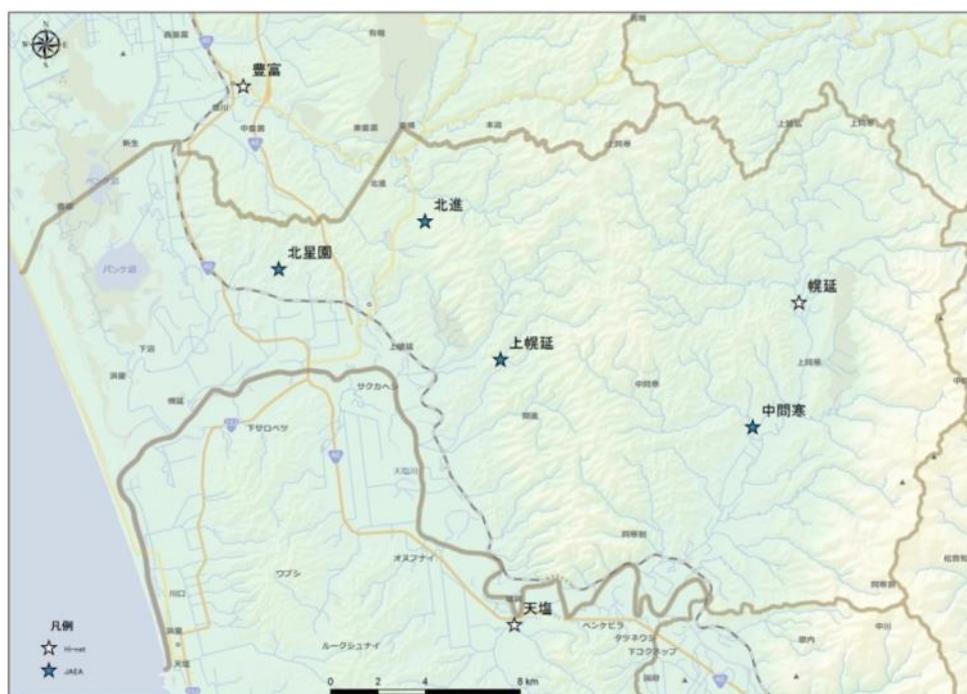
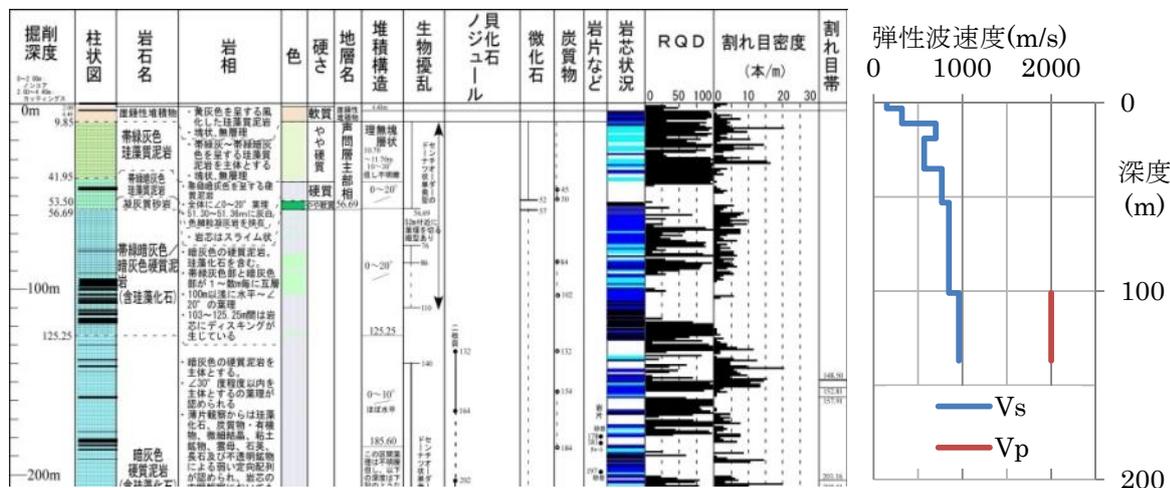


図 2.1.1-1 観測点の位置図

(地図データは ESRI ジャパン(株)製の ArcGIS データセレクション 2012 による)

地質の概要			
深度(m)	地層名	岩石名	年代
0.00~9.85	崖錐性堆積層	崖錐性堆積物	第四紀
9.85~41.38	声問層	主に泥岩	新第三紀
41.38~137.00	稚内層	主に泥岩	
以深は省略			

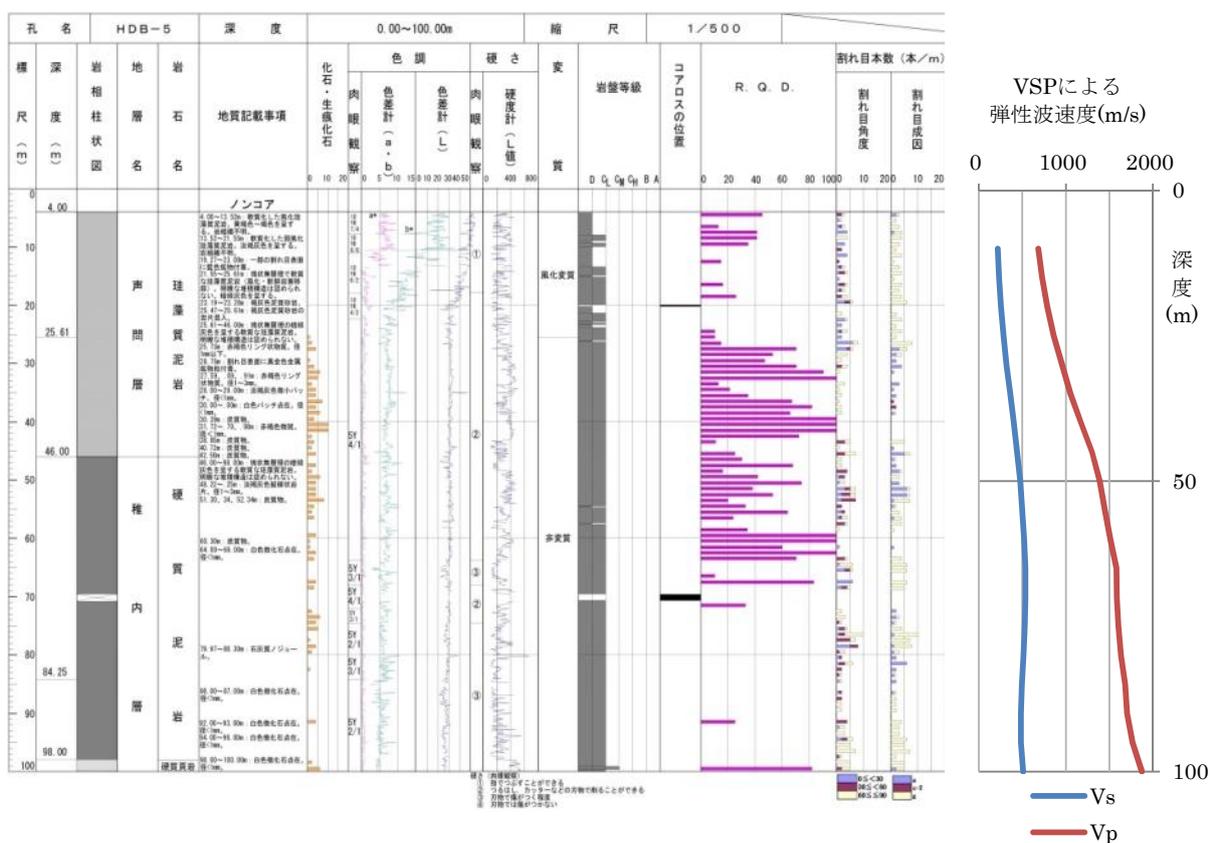
深度(m)	弾性波速度(m/s)	
	Vs	Vp
0~3	150	結果なし
3~11	320	
11~19	700	
19~35	570	
35~53	770	
53~101	850	
101~137	960	2000



- * 柱状図は地震観測点から数 10m 離れた HDB-2 孔¹²⁾ を引用
北緯 44°59'48.37515", 東経 141°55'10.38299", 孔口標高 42.529m (世界測地系)
- * 弾性波速度は地震計埋設孔でのダウンホール PS 検層¹³⁾ を修正
北緯 44°59'46.77725", 東経 141°55'11.75740", 孔口標高 42.225m (世界測地系)

図 2.1.1-3 上幌延観測点の柱状図および弾性波速度

地質の概要			
深度(m)	地層名	岩石名	年代
0.00~4.00	—	—	—
4.00~99.95	声間層	主に泥岩	新第三紀
99.95~100.00	稚内層	主に泥岩	
以深は省略			



* 柱状図と弾性波速度は地震観測点から約 10m 離れた HDB-5 孔¹⁴⁾ を引用
 北緯 45°02'57.75068", 東経 141°52'47.09453", 孔口標高 78.768m (世界測地系)

図 2.1.1-4 北進観測点の柱状図および弾性波速度

2.1.2 地震計の種類

地質環境の長期安定性に関する研究として、地下浅部で発生する微小な地震の震源決定精度を向上させる必要があるが、地震観測点の性能は地震計の性能だけでなく設置条件にもよる。地震計のセンサーの種類は、一般的な加速度センサーを選定した。地震計の構成を図 2.1.2-1、地震計の仕様を表 2.1.2-1 に示す。

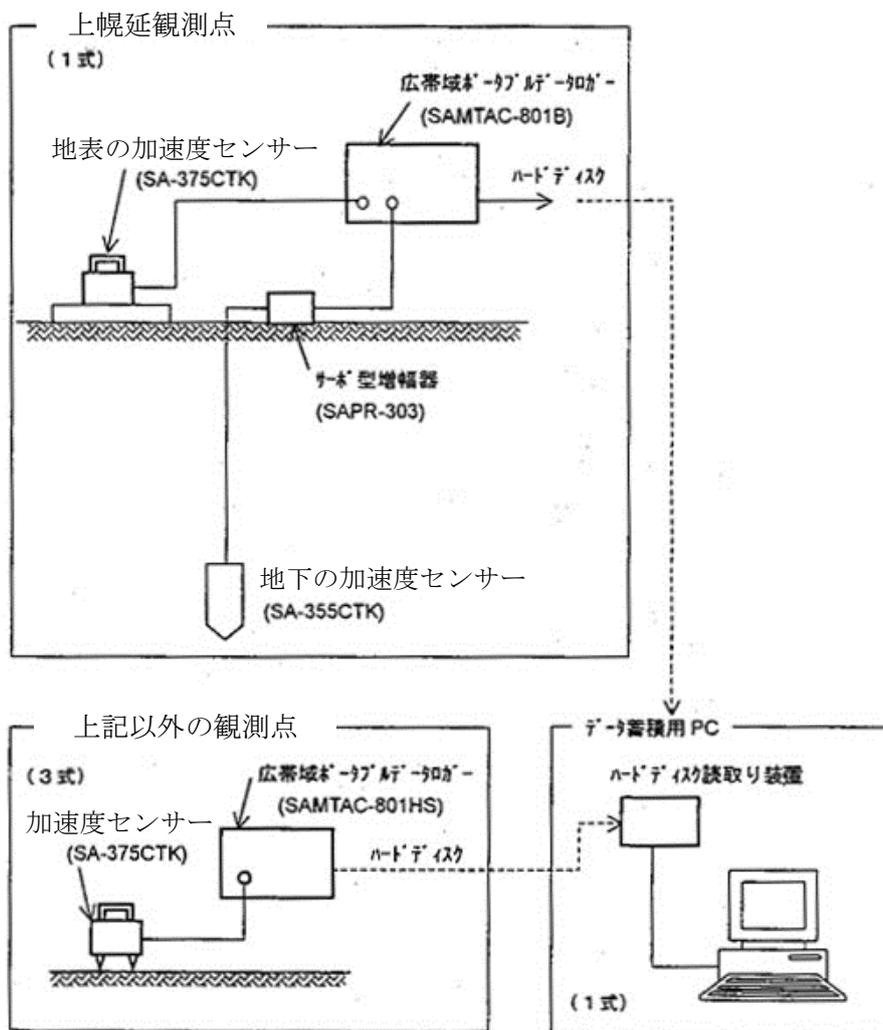


図 2.1.2-1 地震計の構成

表 2.1.2-1 地震計の仕様(1/3)

加速度センサー		
型式	SA-355CTK	SA-375CTK
製造	株式会社 東京測振	
用途	地下埋設用	地表設置用
方式	サーボ型	
成分	水平×2成分, 上下×1成分	
測定範囲	±2048Gal	
周波数特性	0.1~100Hz	
感度	15 μ A/Gal	
検定コイル感度	15 μ A/Gal	
帯域内感度差	-3db 以内	
位相差	±15度以内(0.1~100Hz),	
	±5度以内(0.3~30Hz)	
減衰定数	100以上	
固有振動数	5Hz	
感度の温度係数	5×10 ⁻⁴ /°C	
設置誤差角度	5度以内	
ケース耐水圧	30気圧	—
増幅器	SAPR-303 (外付)	SAPR-303 (内蔵)
最大埋設深さ	300m	—
外形寸法	φ80×489mm	φ179×H176mm

表 2.1.2-1 地震計の仕様(2/3)

サーボ増幅器	
形式	SAPR-303
製造	株式会社 東京測振
入力成分数	3ch
測定範囲	±2048Gal
出力	±10.24V
出力感度	5mV/Gal
使用条件温度	-20~70°C
電源	±15V

表 2.1.2-1 地震計の仕様(3/3)

広域帯ポータブルデータロガー	
形式	SAMTAC-801SH および SAMTAC-801B
製造	株式会社 東京測振
記録成分数	6ch
Full Scale	±10.24V, ±1.024V, ±0.1024V, ±0.01024V
AD 変換器	24bit (Dynamic Range 130dB)
Sampling	50, 100, 200, 400, 500Hz
記録媒体	2.5 インチハードディスク
Trigger 機能	連続, Time-window, Trigger
時計	内部時間誤差±1ppm、GPS Synchronization
消費電力	3～16W
内部 Battery	Lithium-ion Battery(8Ah)
動作温度	-20℃～55℃
外形寸法・重量	SAMTAC-801SH : 380×266×304mm, 約 6kg
	SAMTAC-801B : 330×249×212mm, 5.5kg

2.1.3 地震計の設置

図 2.1.3-1 は、各観測点における地震計の設置状況を示したものである。この図に示すように、上幌延観測点においては、地表と地下に地震センサーを設置した¹³⁾。ここで、地下の地震センサーは、ノイズが小さい環境として岩盤中にボーリング孔を設け、深度約 138m に設置した。一方、その他の観測点においては、地表に地震センサーを設置した。その設置方法は、深度 1m～1.5m 程度のピットを地盤に埋設し、その中に地震センサーを設置する方法とした。ここで、ピットを用いた地震センサーの設置には、以下の効果を期待した。それらは、①寒冷による機器への影響を避けること、②地盤と地震センサーのカップリングを確実にすること、③地震センサーの傾斜などの設置状況の経年変化を少なくすること、である。なお、地表の地盤は比較的軟弱であり、そのような場所で観測される記録のノイズは比較的大きいことが予想されるが、多数の観測点を比較的容易に設置できる利点がある。各観測点における柱状図および弾性波速度は、前述の図 2.1.1-3～6 に示した。

地震計のうちデータ収録装置は、多雪寒冷の影響を避けるため観測小屋に収納した。また、電源については、商用電源のない上幌延観測点では太陽電池パネルを用いた独立電源システムとし、その他の観測点では商用電源を使用した。

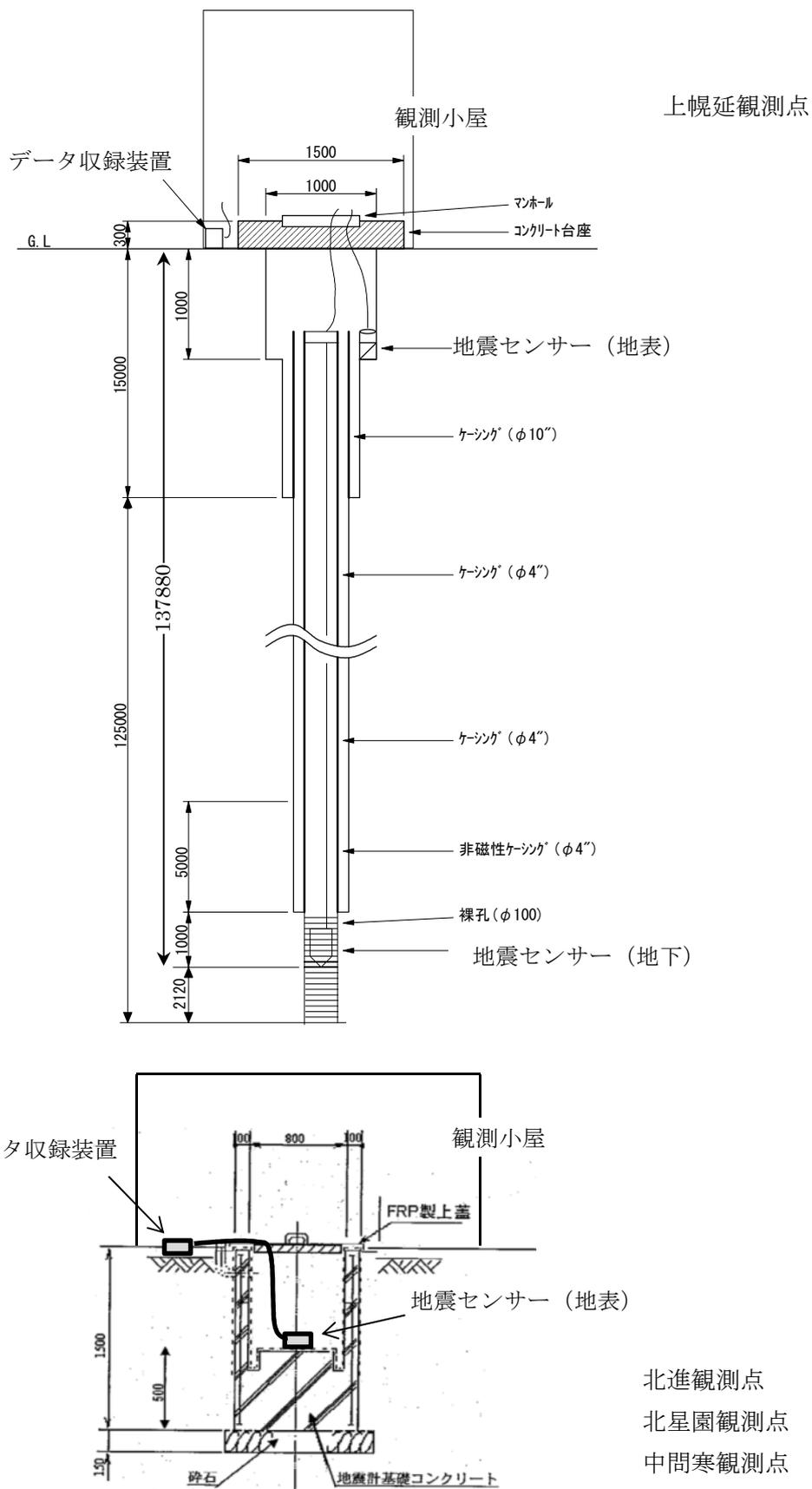


図 2.1.3-1 各観測点における地震計の設置状況

2.2 観測点の性能

各観測点の地震検出能力を確認するため、無地震時の観測記録、いわゆるバックグラウンドノイズ（以下ノイズとする）について検討した。ノイズは設置した地震計によるものだけでなく、観測点の環境にもよる。ここでの検討は、ノイズの検討に広く用いられている「Petersonの振幅分解能特性」¹⁵⁾（以下、振幅分解能特性とする）によった。Petersonは世界の主な広帯域地震計記録のノイズについて振幅分解能特性を求め、その上限と下限をHigh Noise Model(HNM)とLow Noise Model(LNM)で示している。

図 2.2-1 に各観測点における振幅分解能特性を LNM や HNM と一緒に示した。対象となる観測点の振幅分解能特性が LNM と HNM との間の範囲内であれば、その観測点のノイズは世界の主な広帯域地震計記録と同等といえる。各観測点について、この比較を行った結果、図 2.2-1 に示すように、その範囲内にある周波数域は、上幌延および北進観測点において約 0.2Hz 以上、北星園および中間寒観測点で約 2Hz 以上である。ここで、全ての観測点において、この範囲条件を満たすのは 2Hz 以上の周波数域である。また、この周波数域は、微小な地震が有する主要な周波数域（通常数 Hz から数 10Hz 程度）とほぼ同じである。したがって、各観測点で観測された記録は、微小な地震の解析に用いるデータとして、世界の主な広帯域地震計記録と概ね同等といえる。ここで、ノイズの加速度のオーダーを 2Hz 以上の周波数域について比較すると、そのオーダーは上幌延および北進観測点において $10^{-7} \sim 10^{-6} \text{ m/sec}^2$ 、北星園および中間寒観測点において $10^{-6} \sim 10^{-5} \text{ m/sec}^2$ であり、後者のほうが大きい。さらに、それらの設置地盤を比較すると、前者が主に固結した地盤、もしくはそれらに変質した地盤であるのに対し、後者は主に沖積層が分布し、未固結層や風化層が厚い地盤である。したがって、本研究の観測点のノイズは、未固結層や風化層が厚く分布する場所で大きいといえる。また、ノイズの振幅よりも小さな地震の検出は困難であることから、地震検出能力（ノイズとの識別が可能な地震の加速度）をノイズの加速度のオーダーの上限と同等程度と推定すると、地震検出能力は上幌延観測点（地下）において最もよく $10^{-6} \text{ m/sec}^2 = 0.1 \text{ mGal}$ 程度、北星園観測点および中間寒観測点で最も悪く 1 mGal 程度である。

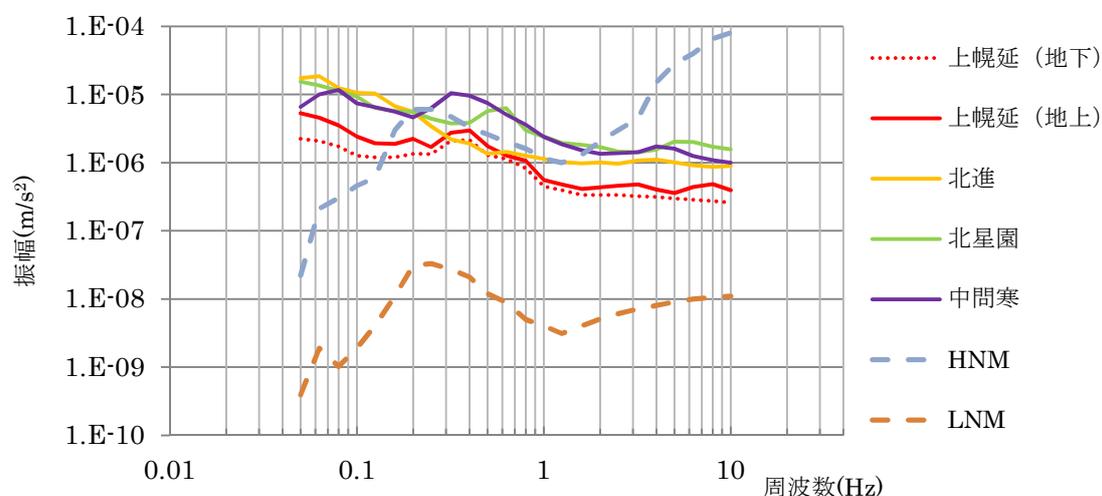


図 2.2-1 各観測点における Peterson の振幅分解能特性

2.3 観測方法と観測装置および施設のメンテナンス

観測方法は、観測対象がノイズレベル程度の地震動を含む微小な地震であるため、連続観測とした。データは記録媒体（HD）に連続記録し、1年に数回の頻度でデータの回収とHDの交換を行った。なお、HD交換時には一時的に欠測が生じる。

観測装置と施設のメンテナンスとしては、データ回収の際にそれらの点検を行い、必要に応じて装置の修理等を行った。以下、メンテナンスの概要について記述する。

【センサー】地下に設置したセンサーについては、水平動成分の極性を結線変更により数回変更した。観測期間の末期では、上下動成分にノイズが時々混入するようになり、記録装置とあわせた経年劣化が考えられる。地表に設置したセンサーについては、測定記録に商用電源の50Hzのノイズが混入したため、接地によるノイズ低減対策を行ったが、上幌延観測点以外では観測期間の末期には効果が認められず、記録装置とあわせた経年劣化が推定される。寒冷対策としてピット内に地震計センサーを設置する効果については、冬季も機器が正常に作動することを確認した。なお、上幌延観測点に設置した温度計によると、外気温が -20°C 程度のとき、ピット内の気温は -10°C 程度であった。

【増幅器・記録装置】観測期間の前半には欠測が少なかったが、後半の2009年以降は欠測期間が25回程度生じた。その原因として、停電時に記録装置の内蔵バッテリーの動作時間超過による電源低下、および電源低下に伴うHD等への悪影響による劣化が考えられた。対策として、無停電電源の増設、および交換用HDの事前動作確認を行った結果、欠測期間は減少した。外的要因に伴う故障としては、北星園観測点で落雷等が原因と考えられる記録装置の故障が生じたため以降の観測を停止した。観測データの時刻同期については、停電等がきっかけとなる不良が生じたため、対策として装置の設定において同期間隔を短くすることにより、不良は無くなった。

【ピット】観測期間中、観測上問題となる破損や傾きなどの経年変化はなかった。また、設置時にピットに防水材の塗布を施した効果もあり、内部への地下水の浸透は認められなかった。

【商用電源のない上幌延観測点における太陽電池パネルを用いた独立電源システム】夏季に問題はなかったが、冬季は電源システムのバッテリーの劣化と日照時間の短縮で電圧低下が生じた。対策として、冬季前にバッテリーの劣化の確認と早めのバッテリー交換を行い効果があった。

【装置の寒冷対策】前述のとおり、冬季に特有の装置の不具合は、電源システムに関するものがあつたが、対策により改善された。また、寒冷対策としてピット内に地震センサーを設置する効果についても、冬季に機器が正常に作動することを確認した。例えば、電源の寒冷対策を施した後の2012年は、寒冷な時期である2月に月間を通して欠測が無く、観測データにも異常がなかった。この月間の気温は、気象庁による気象統計情報^{注1)}がある最寄りの地点「豊富」において、日平均で -8.8°C 、最低で -27.1 であった。

【積雪時の観測点までのアクセス】一部の観測点については、道路が除雪されないため雪上車を利用した。

注1) 気象庁による気象統計情報は下記によつた。

URL:http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_a1.php?prec_no=11&block_no=1054&year=2012&month=02&day=&view=p1

2.4 観測データ一覧

観測を行った期間および観測データの仕様について表 2.4-1 に示す。

表 2.4-1 観測を行った期間および観測データの仕様

観測点名		上幌延	北進	北星園	中間寒
連続観測期間 (一部欠測あり)	開始	2002/12/20	2003/9/26	2003/9/22	2004/3/1
	終了	2013/7/3	2012/11/5	2011/1/25	2011/12/14
地震センサーの 深度	1～3ch	GL-1.0m	GL-1.5m		
	4～5ch	GL-137.88m	—		
加速度の プラス方向	1ch	真南から時計回りに25度	真南		
	2ch	真西から時計回りに25度	真西		
	3ch	鉛直下向き			
	4ch	真南 ^{*1}	—		
	5ch	真西 ^{*2}	—		
	6ch	鉛直下向き	—		
サンプリング周波数 (期間)	200Hz (下記以外)	・ 200Hz (全期間)			
	500Hz (2005/ 6/14～ 2005/ 6/20)				
プリアンプ感度 最大レンジ (期間)	0dB 2000Gal (2002/12/20～ 2004/ 6/10)	0dB 2000Gal (2003/ 9/26～ 2004/ 6/10)	0dB 2000Gal (2003/ 9/22～ 2004/ 6/14)	0dB 2000Gal (2004/ 3/ 1～ 2004/ 6/14)	
	40dB 20Gal (2004/ 6/10～ 2013/ 7/ 3)	40dB 20Gal (2004/ 6/10～ 2012/11/ 5)	40dB 20Gal (2004/ 6/14～ 2011/ 1/25)	40dB 20Gal (2004/ 6/14～ 2011/12/14)	
1ファイルのデータ長	6分				
データフォーマット	広域帯ポータブルデータロガーSAMTAC-801による				

*1、*2：極性を結線変更により数回変更した。

3 解析技術

3.1 解析対象範囲の選定方法

解析対象範囲の選定方法について、微小な地震の震源決定に観測データが有効な範囲を検討した。検討のため、いくつかの基準を設定した。解析対象とする地震の基準は、微小な地震を含む標準的な震源リストである気象庁一元化震源^{注2)}に記載された地震とした。また、震源決定に観測データが有効である範囲は、各観測点において地震波の検出が可能な震源距離とした。さらに、地震波の検出の基準は、P波初動が目視判別できることとした。検討対象は、範囲を観測網の周辺に限定するために、JAEAの4観測点までの震源距離の平均が30km以下の地震とした。また、期間は、2009年10月1日～2010年9月30日までの1年間とした。

その結果、表3.1-2に示すように、対象となった地震は、すべて微小あるいは極微小な地震^{注3)}であり、その総数は141(4観測点の全てで欠測のものを除く)、観測記録数は515である。また、表3.1-2に、震源リストと震源距離、およびP波初動の判別結果を示した。これらを整理すると、表3.1-1に示すような、震源距離と地震波を検出できた観測記録数の関係が得られた。これらの結果から、解析対象範囲の選定方法の一例として、たとえば、微小な地震を含む気象庁一元化震源の地震を基準とするとき、その全てを検出できる震源距離を観測点から9km程度とすることができる。なお、この範囲は観測網の計画の際に目安とした約10kmの観測点間隔と概ね一致する。

表 3.1-1 震源距離と地震波を検出できた観測記録数

観測点までの 震源距離(km)	観測記録数	地震波を検出できた 観測記録数と割合	
		記録数	割合
9以下	22	22	100%
10以下	29	28	97%
20以下	166	136	82%
30以下	429	316	74%

前述の解析対象範囲と震源計算誤差の関係を確認するため、震源距離と震源計算誤差との関係を検討した。なお、ここでの震源は、気象庁一元化震源を Double-Difference 法^{注4)}(以下、DD

注2) 気象庁は文部科学省と協力して、気象庁、(独)防災科学技術研究所、大学等関係機関から提供される地震観測データを一元的に収集し、整理・分析している。このようにして、暫定的に決定された震源情報が公開されており、「気象庁一元化震源」とよばれている。

注3) 一般的には、微小地震(M3未満でM1以上)、極微小地震(M1未満)、と分類される。

注4) DD法とは震源決定法の一つで、詳細は3.2.2に後述する。その適用により震源決定の精度向上を期待した。

法とする) で再決定したものである。

震源距離と震源計算誤差の詳細は、表 3.1-3 に示した。また、これらの関係図を図 3.1-1 に示した。ここで、震源決定において、一般に最も決定しにくい成分である深度成分に着目して図 3.1-1 をみると、震源距離の平均が 15km 程度までは、深度誤差が約 2km 以下に安定し、震源距離の平均が 15km 程度以上では、深度誤差とそのバラツキが大きくなる傾向が認められる。しかし、震源距離の平均が 15km であっても、解析上の問題で震源を再決定できないもの(表 3.1-3 に示す DD 法の震源が空欄のもの)があった。

このように、震源距離と震源計算誤差との間には、わずかな関係が認められるに留まった。したがって、震源計算誤差を考慮して解析対象範囲を選定する際には、他の条件を検討する必要性が考えられる。他の条件としては、例えば、震源と観測網の位置関係や観測点の分布、検測値の精度などがあげられる。なお、図 3.1-2 は、気象庁一元化震源と DD 法との震源計算誤差の増減を示したものである。その増減は、震源距離の平均が 15km 程度までは、比較的まとまっているが、全体的には概ね 0km から ±2km 程度にばらついており、この 2 つの解析法による震源計算誤差の間には、明瞭な関係は認められない。

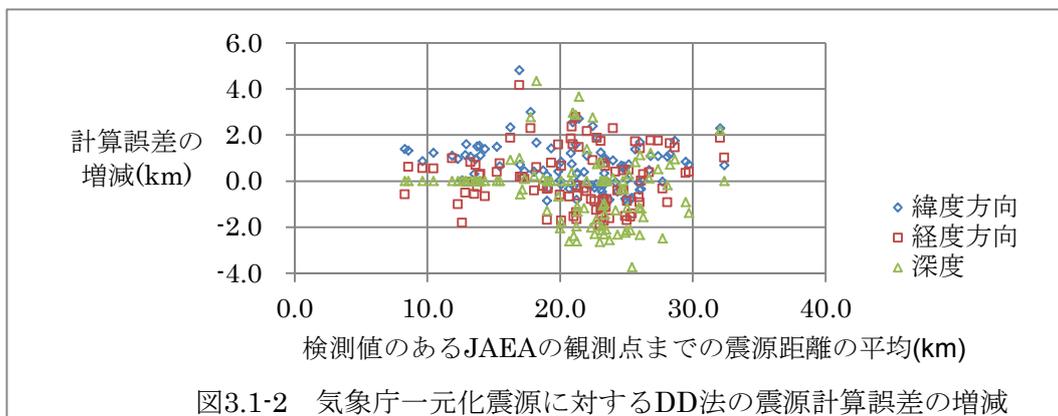
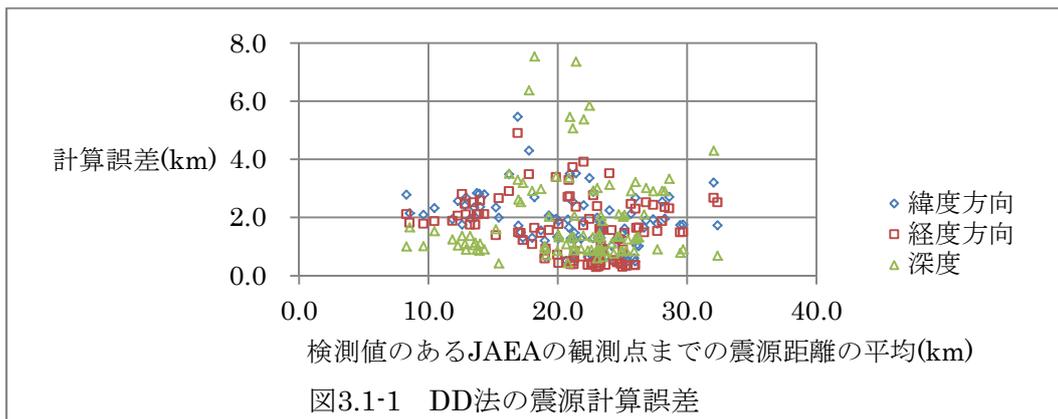


表 3.1-2 震源距離と P 波初動の目視判別(1/4)

番号	発震時刻	気象庁一元化震源					JAEA観測点までの震源距離 (km)					JAEA観測点における P波初動の目視判別 可能: 1 不可: 0				
		震源			マグニチュード	上幌延観測点	北進観測点	北星園観測点	中間寒観測点	各観測点までの平均	上幌延観測点	北進観測点	北星園観測点	中間寒観測点	目視判別できた観測点数	
		緯度 (度)	経度 (度)	深さ (km)												
1	2009-10-02 12:54:56.14	45.053	141.753	0.0	-	15	10	4	25	13.6	1	1	1	0	3	
2	2009-10-02 20:00:42.21	44.861	142.180	8.5	-0.2	27	33	36	18	28.4	1	0	0	1	2	
3	2009-10-14 03:11:11.98	44.998	142.256	9.9	0.4	28	32	37	19	29.1	1	0	0	1	2	
4	2009-10-14 05:39:50.98	44.846	141.925	13.8	1.2	22	27	27	22	24.2	1	1	1	1	4	
5	2009-10-14 19:10:18.87	44.846	141.939	16.6	1.3	24	28	29	23	26.0	1	1	1	1	4	
6	2009-10-15 06:44:07.94	45.014	141.642	0.0	1.2	22	19	13	33	21.7	1	0	1	0	2	
7	2009-10-17 03:35:46.52	44.934	142.095	0.0	-	15	21	26	5	16.9	1	0	0	1	2	
8	2009-10-17 09:24:05.45	45.203	141.846	0.0	1.0	24	17	19	31	22.7	1	1	0	1	3	
9	2009-10-19 23:24:57.90	45.154	141.834	6.5	0.8	20	14	15	28	19.1	1	1	1	1	4	
10	2009-10-26 20:33:45.88	44.947	141.984	0.0	0.4	7	14	17	6	11.2	1	0	0	1	2	
11	2009-10-27 22:38:15.56	45.029	141.630	0.0	1.2	23	20	13	34	22.6	1	1	1	1	4	
12	2009-10-27 22:59:09.77	45.036	141.634	0.0	1.3	23	19	13	34	22.4	1	1	1	1	4	
13	2009-10-29 19:47:04.96	45.181	141.894	10.8	0.8	23	18	21	29	22.8	1	0	1	0	2	
14	2009-10-29 19:47:49.27	45.175	141.894	9.9	0.9	22	17	20	28	21.8	1	0	1	0	2	
15	2009-11-04 19:32:39.81	45.008	141.861	0.0	0.9	5	5	5	16	7.7	1	1	1	1	4	
16	2009-11-05 23:23:51.22	45.098	141.618	13.0	0.9	29	25	21	39	28.6	1	1	1	0	3	
17	2009-11-06 04:03:05.43	44.856	141.944	14.1	0.8	21	26	27	21	23.7	1	0	0	1	2	
18	2009-11-07 17:52:51.63	45.049	142.003	21.8	0.8	23	24	27	24	24.5	1	0	0	1	2	
19	2009-11-10 08:18:38.59	44.855	141.816	20.4	0.7	27	30	28	30	29.0	1	1	0	1	3	
20	2009-11-13 00:38:45.90	44.798	142.007	10.7	0.1	25	32	32	22	27.9	0	0	0	0	0	
21	2009-11-14 00:48:22.75	45.084	141.859	0.0	0.6	11	4	7	20	10.6	1	1	1	1	4	
22	2009-11-14 02:43:49.18	44.943	142.058	0.0	0.4	12	18	23	3	14.1	1	1	1	1	4	
23	2009-11-14 05:11:14.45	45.031	141.988	16.4	0.7	18	19	22	18	19.2	1	0	0	1	2	
24	2009-11-15 17:42:54.06	44.886	141.950	20.7	0.9	24	28	29	24	26.3	1	1	0	1	3	
25	2009-11-17 20:20:25.17	44.967	142.075	15.0	-	20	23	27	15	21.3	0	0	0	1	1	
26	2009-11-18 04:45:19.92	44.901	142.094	13.9	0.6	22	27	31	16	24.1	1	1	0	1	3	
27	2009-11-18 18:59:52.19	44.853	141.936	17.9	-	24	29	29	24	26.3	1	1	0	1	3	
28	2009-11-23 21:36:37.33	45.051	141.919	14.0	-	15	14	17	20	16.5	欠測	1	1	1	3	
29	2009-11-25 07:39:46.19	44.894	142.004	18.3	1.8	23	27	29	20	24.7	欠測	1	1	1	3	
30	2009-11-25 13:11:10.69	44.904	141.989	17.8	1.4	21	25	27	20	23.4	欠測	1	0	1	2	
31	2009-11-25 16:13:11.37	44.883	141.973	18.2	1.0	22	27	28	22	24.8	欠測	1	0	1	2	
32	2009-11-27 00:29:51.27	44.891	142.000	18.1	2.0	22	27	29	21	24.6	欠測	1	1	1	3	
33	2009-11-27 01:40:30.51	44.901	141.949	17.0	0.3	20	24	25	20	22.5	欠測	0	0	0	0	
34	2009-11-27 03:19:29.61	44.898	141.939	18.9	0.4	22	26	26	22	24.1	欠測	0	0	1	1	
35	2009-11-27 04:58:28.33	44.892	141.972	18.5	0.4	22	26	28	21	24.4	欠測	0	0	1	1	
36	2009-11-29 22:27:11.24	44.881	141.962	15.9	0.9	21	25	26	20	23.1	欠測	0	0	1	1	
37	2009-12-03 21:04:00.41	44.906	141.845	0.0	0.5	12	16	14	18	15.0	欠測	1	0	1	2	

表 3.1-2 震源距離と P 波初動の目視判別(2/4)

番号	発震時刻	気象庁一元化震源					JAEA観測点までの震源距離 (km)					JAEA観測点における P波初動の目視判別 可能: 1 不可: 0				
		震源			マグニチュード	上幌延観測点	北進観測点	北星園観測点	中間寒観測点	各観測点までの平均	上幌延観測点	北進観測点	北星園観測点	中間寒観測点	目視判別できた観測点数	
		緯度 (度)	経度 (度)	深さ (km)												
38	2009-12-10 22:53:55.86	44.979	141.786	0.0	0.1	11	11	6	21	12.1	欠測	1	1	1	3	
39	2009-12-21 00:15:55.21	44.847	141.903	13.6	-	21	26	26	23	24.1	欠測	0	0	1	1	
40	2009-12-21 01:54:13.79	44.845	141.907	14.1	0.7	22	27	26	23	24.5	欠測	1	1	1	3	
41	2009-12-22 18:32:44.48	44.899	142.138	5.1	1.1	21	27	31	11	22.5	欠測	1	1	1	3	
42	2009-12-26 20:33:49.73	44.808	142.121	9.3	0.8	28	34	37	21	29.9	欠測	0	0	1	1	
43	2010-01-02 22:16:19.90	45.117	142.194	0.0	0.7	25	26	32	20	25.9	欠測	1	0	1	2	
44	2010-01-04 16:00:51.02	45.171	141.835	0.0	0.6	21	14	16	28	19.6	欠測	1	1	0	2	
45	2010-01-04 21:50:36.47	45.065	141.662	0.0	-	22	17	12	33	20.8	欠測	1	1	1	3	
46	2010-01-05 16:01:46.10	44.950	142.234	11.2	0.5	28	32	37	18	28.7	欠測	0	0	0	0	
47	2010-01-17 15:19:33.11	44.896	142.133	8.3	0.5	22	28	31	13	23.5	欠測	1	1	1	3	
48	2010-02-04 16:34:35.31	44.948	141.822	12.9	1.1	16	18	16	22	18.0	欠測	1	1	1	3	
49	2010-02-06 12:11:22.15	44.949	141.788	0.0	0.8	12	13	9	21	13.8	欠測	1	1	1	3	
50	2010-02-06 12:39:18.63	44.952	141.818	10.4	1.2	14	16	14	21	16.2	欠測	1	1	1	3	
51	2010-02-06 12:56:06.12	44.955	141.773	0.0	0.8	12	13	9	22	14.2	欠測	0	1	1	2	
52	2010-02-06 12:56:46.74	44.958	141.809	10.5	2.1	14	16	13	22	16.3	欠測	1	1	1	3	
53	2010-02-06 13:01:20.70	44.952	141.781	0.0	-	12	13	9	22	14.0	欠測	0	0	0	0	
54	2010-02-06 13:04:40.82	44.962	141.752	0.0	1.0	14	14	9	24	15.1	欠測	1	1	1	3	
55	2010-02-06 13:10:40.15	44.959	141.750	0.0	1.3	14	14	9	24	15.3	欠測	1	1	1	3	
56	2010-02-07 09:30:51.82	44.951	141.731	0.0	0.9	16	16	11	26	17.0	欠測	1	1	1	3	
57	2010-02-08 04:33:45.67	44.991	142.080	16.6	0.3	21	24	28	17	22.4	欠測	1	1	1	3	
58	2010-02-08 22:40:52.37	44.948	141.758	0.0	-	14	15	10	23	15.5	欠測	0	1	0	1	
59	2010-02-11 05:43:06.19	45.056	141.591	6.0	1.1	27	24	18	38	26.7	欠測	1	1	1	3	
60	2010-02-19 02:56:09.95	44.973	141.811	10.7	0.5	14	15	13	22	15.8	1	1	1	1	4	
61	2010-02-19 20:23:22.50	44.931	142.236	11.8	0.5	29	33	38	19	29.7	1	0	1	0	2	
62	2010-02-19 22:29:50.62	44.837	142.112	0.0	0.4	23	30	33	15	25.3	1	1	1	1	4	
63	2010-02-20 20:10:09.60	45.137	141.632	13.4	-	31	26	22	40	29.7	0	0	1	0	1	
64	2010-02-21 17:42:45.30	44.841	142.103	0.0	-0.3	23	29	32	15	24.6	1	0	0	1	2	
65	2010-02-21 20:10:56.78	44.950	142.048	24.6	-	27	30	33	25	28.6	0	0	0	0	0	
66	2010-02-21 20:19:51.75	44.950	142.042	25.5	0.0	28	31	33	26	29.2	1	0	0	1	2	
67	2010-02-21 21:34:42.32	44.963	141.585	0.0	-	27	25	19	37	26.9	1	0	1	1	3	
68	2010-02-22 04:29:19.36	44.923	142.078	21.5	0.8	26	30	33	22	27.8	1	1	1	1	4	
69	2010-02-22 06:41:09.88	44.932	142.038	25.8	1.0	28	31	34	26	29.9	1	1	1	1	4	
70	2010-02-22 19:05:06.45	45.039	141.668	0.0	0.8	20	17	11	31	19.7	1	1	1	1	4	
71	2010-02-23 01:24:36.49	45.018	141.617	0.0	1.1	24	21	15	35	23.6	1	0	1	0	2	
72	2010-02-25 19:36:34.53	44.972	141.957	26.1	0.4	26	28	30	27	27.8	1	0	1	1	3	
73	2010-02-25 19:36:46.16	44.969	141.955	27.1	0.9	27	29	30	28	28.8	1	1	1	1	4	
74	2010-02-26 00:09:21.65	45.155	141.890	18.7	2.1	26	22	24	31	25.7	1	1	1	1	4	

表 3.1-2 震源距離と P 波初動の目視判別(3/4)

番号	発震時刻	気象庁一元化震源					JAEA観測点までの震源距離 (km)					JAEA観測点における P波初動の目視判別 可能: 1 不可: 0				
		震源			マグニチュード	上幌延観測点	北進観測点	北星園観測点	中間寒観測点	各観測点までの平均	上幌延観測点	北進観測点	北星園観測点	中間寒観測点	目視判別できた観測点数	
		緯度 (度)	経度 (度)	深さ (km)												
75	2010-02-26 00:29:39.60	45.139	141.892	13.2	0.4	21	16	19	26	20.7	1	1	1	0	3	
76	2010-03-09 15:00:58.54	44.866	142.137	0.0	-0.3	22	29	32	13	24.2	1	0	0	1	2	
77	2010-03-27 21:44:52.93	44.998	142.262	10.4	0.7	29	32	38	20	29.7	1	1	1	1	4	
78	2010-03-27 21:45:28.95	44.993	142.219	16.1	-	29	32	37	21	29.5	0	0	0	0	0	
79	2010-03-31 06:55:04.74	44.892	141.733	20.8	1.2	28	29	27	34	29.5	欠測	1	1	1	3	
80	2010-04-06 00:36:33.81	44.871	142.131	16.0	0.7	27	32	35	20	28.7	欠測	0	0	1	1	
81	2010-04-07 23:50:43.48	44.871	142.187	0.0	-0.9	25	31	35	15	26.8	欠測	0	1	0	1	
82	2010-04-09 22:09:48.31	45.163	141.933	0.0	1.3	19	13	18	24	18.3	欠測	0	1	0	1	
83	2010-04-27 22:55:48.60	44.874	142.179	0.0	1.3	25	31	35	14	26.1	1	1	1	1	4	
84	2010-04-27 22:59:10.30	44.858	142.150	0.0	-0.3	24	30	34	15	25.5	0	0	0	0	0	
85	2010-05-06 18:24:14.54	44.852	141.917	17.0	1.2	23	28	28	24	25.7	1	0	0	0	1	
86	2010-05-09 22:54:14.73	44.995	142.055	23.9	0.3	26	28	31	24	27.5	1	0	0	1	2	
87	2010-05-10 18:44:10.69	44.978	142.235	11.9	1.1	28	31	37	19	28.6	0	0	1	1	2	
88	2010-05-12 21:05:47.91	44.900	141.743	0.0	0.7	18	20	15	26	19.6	1	1	1	1	4	
89	2010-05-14 01:41:46.90	45.219	141.826	0.0	0.2	26	19	21	33	24.8	1	0	1	0	2	
90	2010-05-17 04:57:33.28	45.016	141.713	10.0	1.3	19	17	12	29	19.4	1	1	1	1	4	
91	2010-05-17 06:36:30.86	45.006	141.686	0.0	1.0	18	16	10	29	18.3	1	0	1	0	2	
92	2010-05-17 19:50:26.91	45.005	141.714	0.0	0.7	16	14	7	27	16.2	1	1	1	0	3	
93	2010-05-17 21:03:44.53	44.891	142.014	19.9	0.9	24	29	30	22	26.3	1	1	1	1	4	
94	2010-05-17 21:06:21.18	44.873	141.938	24.3	-	28	32	32	28	29.8	0	0	0	0	0	
95	2010-05-20 16:36:20.34	44.941	142.105	7.4	1.1	18	23	27	9	19.0	1	1	1	1	4	
96	2010-05-20 16:36:45.00	44.949	142.101	10.0	0.6	18	23	27	11	19.8	1	1	0	1	3	
97	2010-05-21 23:53:31.11	44.872	141.927	16.1	0.2	21	26	26	22	23.7	1	0	0	1	2	
98	2010-05-23 14:40:18.06	44.946	142.077	0.0	0.5	14	19	24	3	15.0	1	1	1	1	4	
99	2010-05-28 19:42:03.04	44.937	142.253	9.7	0.3	29	33	38	19	29.9	1	0	0	1	2	
100	2010-06-01 03:39:47.17	45.166	141.837	0.0	1.3	20	13	15	28	19.1	1	1	1	1	4	
101	2010-06-05 17:21:25.21	45.238	141.802	9.4	1.4	30	24	25	37	28.9	1	1	1	0	3	
102	2010-06-07 04:59:01.47	45.238	141.800	7.2	0.9	29	23	24	37	28.2	1	1	1	1	4	
103	2010-06-07 12:27:26.57	44.949	141.858	20.1	-	21	23	23	25	23.1	1	1	0	1	3	
104	2010-06-07 20:44:13.50	45.228	141.794	0.0	0.1	28	21	22	35	26.4	1	1	1	0	3	
105	2010-06-08 07:54:51.50	45.029	141.623	0.0	0.7	24	20	14	35	23.2	1	1	1	1	4	
106	2010-06-09 08:06:54.38	44.922	142.155	15.0	0.6	25	30	34	18	26.7	0	0	0	0	0	
107	2010-06-09 16:58:07.54	44.987	141.871	16.4	1.0	17	18	18	22	18.6	1	1	1	1	4	
108	2010-06-11 23:34:39.27	45.138	141.824	17.9	0.3	25	21	22	32	24.7	1	1	1	1	4	
109	2010-06-16 22:30:05.52	45.013	142.109	15.2	0.5	21	24	29	17	22.6	1	1	1	1	4	
110	2010-06-16 22:44:00.62	45.015	142.129	12.2	0.5	21	23	29	14	21.8	1	1	0	1	3	
111	2010-06-17 00:30:40.12	44.856	141.970	11.9	0.1	20	26	26	19	22.6	1	0	0	0	1	

表 3.1-2 震源距離と P 波初動の目視判別(4/4)

番号	発震時刻	気象庁一元化震源				JAEA観測点までの震源距離 (km)					JAEA観測点における P波初動の目視判別 可能: 1 不可: 0				目視判別できた観測点数
		震源			マグニチュード	上幌延観測点	北進観測点	北星園観測点	中間寒観測点	各観測点までの平均	上幌延観測点	北進観測点	北星園観測点	中間寒観測点	
		緯度 (度)	経度 (度)	深さ (km)											
112	2010-06-18 13:18:55.97	45.052	141.833	0.0	0.5	9	4	3	20	9.0	1	1	1	0	3
113	2010-06-18 22:58:40.48	45.045	141.991	24.2	0.3	25	26	28	26	26.4	1	1	0	1	3
114	2010-06-19 00:09:02.16	44.840	141.761	0.0	-0.2	21	25	22	27	23.8	1	0	0	0	1
115	2010-06-19 00:09:45.24	45.064	141.979	26.2	0.0	28	27	30	29	28.4	1	1	0	1	3
116	2010-06-20 01:09:52.31	44.999	142.248	8.2	-0.4	27	31	36	18	28.0	1	0	0	0	1
117	2010-06-20 03:37:35.40	45.056	141.939	0.0	0.0	7	5	11	13	9.0	1	1	1	1	4
118	2010-06-23 23:11:11.30	45.040	141.646	0.0	-	22	18	12	33	21.5	1	1	1	0	3
119	2010-06-28 20:16:00.66	44.963	142.247	7.5	0.5	27	31	37	17	28.1	0	0	0	1	1
120	2010-06-30 00:21:33.42	45.181	141.654	0.0	0.5	29	23	20	39	28.0	1	1	1	0	3
121	2010-07-08 00:57:13.13	44.971	141.948	0.0	0.4	4	10	13	8	8.9	1	1	1	欠測	3
122	2010-07-14 21:31:04.41	45.167	141.844	0.0	-0.4	20	13	15	27	19.0	0	0	0	欠測	0
123	2010-07-20 16:54:09.20	44.982	142.219	9.7	0.2	26	29	35	16	26.5	0	0	0	欠測	0
124	2010-07-25 09:31:05.33	44.864	141.992	0.0	0.4	16	22	24	13	18.7	1	0	0	1	2
125	2010-07-31 02:28:47.81	44.860	141.970	21.1	-	26	31	31	25	28.4	1	0	0	0	1
126	2010-08-03 13:56:06.55	45.130	142.066	14.5	1.2	24	22	28	23	24.2	1	1	1	1	4
127	2010-08-03 15:58:11.16	45.126	142.061	10.3	0.9	21	20	25	20	21.5	1	1	0	0	2
128	2010-08-08 15:38:10.68	45.011	141.631	0.0	0.9	23	20	14	34	22.5	1	1	1	0	3
129	2010-08-12 03:16:39.11	44.980	142.244	10.7	0.7	28	32	37	18	28.7	1	1	欠測	1	3
130	2010-08-12 03:18:38.65	44.981	142.221	13.9	-0.2	28	31	36	19	28.6	0	0	0	0	0
131	2010-08-15 03:32:48.39	45.195	141.856	0.0	-	23	16	19	30	21.8	0	0	0	0	0
132	2010-08-18 04:15:07.16	44.878	141.989	22.1	0.3	26	30	32	25	28.3	1	0	0	1	2
133	2010-08-18 22:41:01.94	44.849	141.919	17.2	0.1	24	28	28	24	26.1	1	1	欠測	1	3
134	2010-08-22 02:35:52.31	44.912	142.040	0.0	0.7	13	20	23	6	15.7	1	1	欠測	1	3
135	2010-08-22 07:51:41.44	44.880	141.983	22.4	0.8	26	30	31	25	28.3	1	0	欠測	1	2
136	2010-08-24 06:53:25.75	44.990	142.053	17.3	0.7	20	23	27	17	21.8	1	1	1	1	4
137	2010-08-26 01:12:22.66	44.837	141.767	11.6	1.1	24	28	25	29	26.5	1	1	0	1	3
138	2010-08-26 01:13:32.73	44.845	141.766	8.8	0.6	22	26	23	28	24.8	1	1	1	1	4
139	2010-09-04 05:00:53.54	44.909	141.954	16.9	0.5	20	24	25	20	22.0	1	1	0	1	3
140	2010-09-21 19:50:43.47	44.941	141.826	10.1	1.1	14	16	14	21	16.3	1	欠測	欠測	欠測	1
141	2010-09-23 22:23:52.96	44.871	141.965	19.4	1.2	24	28	29	23	26.3	1	欠測	欠測	欠測	1

表 3.1-3 震源距離と JAEA 検測値の有無および震源計算誤差(2/5)

番号 (表 3.1-2 と同じ)	気象庁一元化震源										JAEA検測値の有無										Double-Difference法(DD法) *空欄は震源決定ができなかつたもの																	
	計算誤差			マグニ チュー ド	JAEA観測点までの震源距離 (km)					各観 測点 まで の平 均					有:1 無:0					震源					一元化震源との 誤差増減(km)					検測値のあるJAEA観測点ま での震源距離(km)								
	緯度 方向 (km)	経度 方向 (km)	深度 (km)		上幌 延観 測点	北進 観測 点	北星 園観 測点	中間 寒観 測点	各観 測点 の平 均	上幌 延観 測点	北進 観測 点	北星 園観 測点	中間 寒観 測点	検測 値の ある 観測 点数	緯度 (度)	経度 (度)	深さ (km)	緯度 方向	経度 方向	深度	緯度 方向	経度 方向	深度	緯度 方向	経度 方向	深度	緯度 方向	経度 方向	深度	緯度 方向	経度 方向	深度	緯度 方向	経度 方向	深度	緯度 方向	経度 方向	深度
30	1.0	1.3	2.3	1.4	21	25	27	20	23.4	欠測	1	0	1	2	44.898	141.964	18.2	1.3	0.5	1.3	0.3	-0.9	-1.0	-	25.6	-	21.0	23.3										
31	1.4	1.7	3	1.0	22	27	28	22	24.8	欠測	1	0	1	2	44.899	141.968	17.5	1.3	0.4	1.3	-0.1	-1.3	-1.7	-	25.1	-	20.3	22.7										
32	0.6	0.9	1.7	2.0	22	27	29	21	24.6	欠測	1	1	1	3	44.895	141.970	18.0	1.3	0.5	1.3	0.7	-0.4	-0.4	-	25.8	27.1	20.9	24.6										
33	1.9	2.7	-	0.3	20	24	25	20	22.5	欠測	0	0	0	0	44.902	141.977	15.2	1.3	0.5	1.4	-0.7	-2.2	-	-	-	-	-	-	-									
34	1.8	2.9	4.5	0.4	22	26	26	22	24.1	欠測	0	0	1	1																								
35	1.4	2.2	3.1	0.4	22	26	28	21	24.4	欠測	0	0	1	1	44.900	141.967	17.2	1.3	0.4	1.3	-0.1	-1.7	-1.8	-	-	-	20.1	20.1										
36	1.4	1.9	3.3	0.9	21	25	26	20	23.1	欠測	0	0	1	1	44.895	141.964	18.2	1.3	0.5	1.3	-0.1	-1.4	-2.0	-	-	-	21.2	21.2										
37	1.1	1.7	-	0.5	12	16	14	18	15.0	欠測	1	0	1	2																								
38	1.1	1.3	-	0.1	11	11	6	21	12.1	欠測	1	1	1	3	44.987	141.831	1.4	2.3	1.9	1.5	1.2	0.5	-	-	8.0	5.6	17.7	10.5										
39	1.5	2.0	3.4	-	21	26	26	23	24.1	欠測	0	0	1	1	44.859	141.905	16.6	0.6	0.4	0.8	-0.8	-1.6	-2.6	-	-	-	23.7	23.7										
40	1.4	1.9	3.1	0.7	22	27	26	23	24.5	欠測	1	1	1	3	44.862	141.915	15.5	0.7	0.4	0.9	-0.8	-1.5	-2.2	-	26.1	26.1	22.5	24.9										
41	0.8	0.9	3.7	1.1	21	27	31	11	22.5	欠測	1	1	1	3	44.904	142.078	9.5	3.5	2.4	7.4	2.7	1.5	3.7	-	24.4	27.7	12.1	21.4										
42	1.7	1.4	4	0.8	28	34	37	21	29.9	欠測	0	0	1	1																								
43	0.6	0.7	-	0.7	25	26	32	20	25.9	欠測	1	0	1	2																								
44	0.9	1.0	-	0.6	21	14	16	28	19.6	欠測	1	1	0	2	45.174	141.834	1.2	2.4	1.4	1.6	1.5	0.4	-	-	14.4	16.1	-	15.2										
45	1.1	1.1	-	-	22	17	12	33	20.8	欠測	1	1	1	3	45.041	141.662	0.6	1.9	1.8	1.4	0.8	0.7	-	-	17.2	11.1	31.9	20.1										
46	0.8	0.9	1.8	0.5	28	32	37	18	28.7	欠測	0	0	0	0	44.943	142.243	9.4	3.5	2.9	4.0	2.7	2.0	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
47	1.0	1.1	3.1	0.5	22	28	31	13	23.5	欠測	1	1	1	3	44.906	142.065	12.6	3.4	2.0	5.9	2.4	0.9	2.8	-	24.9	28.0	14.4	22.4										
48	1.1	1.7	2.9	1.1	16	18	16	22	18.0	欠測	1	1	1	3	44.951	141.808	12.5	1.6	1.5	3.0	0.5	-0.2	0.1	-	17.5	15.4	23.2	18.7										
49	1.3	1.9	-	0.8	12	13	9	21	13.8	欠測	1	1	1	3	44.958	141.789	1.4	2.8	2.1	0.9	1.5	0.3	-	-	12.5	8.3	21.0	13.9										
50	0.9	1.5	2.7	1.2	14	16	14	21	16.2	欠測	1	1	1	3	44.953	141.800	11.2	1.3	1.1	2.9	0.4	-0.4	0.2	-	16.8	14.3	23.1	18.0										
51	1.4	2.8	-	0.8	12	13	9	22	14.2	欠測	0	1	1	2	44.960	141.792	0.6	2.8	2.1	0.9	1.4	-0.7	-	-	8.0	20.7	14.3											
52	0.9	1.1	3.1	2.1	14	16	13	22	16.3	欠測	1	1	1	3	44.955	141.811	10.9	1.3	1.2	3.2	0.4	0.1	0.1	-	16.0	13.8	22.1	17.3										
53	2.4	5.1	-	-	12	13	9	22	14.0	欠測	0	0	0	0																								
54	1.4	2.4	-	1.0	14	14	9	24	15.1	欠測	1	1	1	3	44.961	141.789	1.0	2.8	2.1	0.9	1.5	-0.3	-	-	12.2	8.0	21.0	13.7										
55	1.1	2.2	-	1.3	14	14	9	24	15.3	欠測	1	1	1	3	44.960	141.810	0.3	2.7	2.1	0.9	1.6	0.0	-	-	11.4	8.1	19.3	12.9										
56	1.6	3.1	-	0.9	16	16	11	26	17.0	欠測	1	1	1	3	44.963	141.822	0.5	2.6	2.1	1.0	1.0	-1.0	-	-	10.7	7.9	18.3	12.3										
57	0.9	1.0	2.1	0.3	21	24	28	17	22.4	欠測	1	1	1	3	44.974	142.062	15.8	1.3	0.7	0.9	0.4	-0.3	-1.2	-	22.9	26.7	15.8	21.8										
58	1.4	2.7	-	-	14	15	10	23	15.5	欠測	0	1	0	1	44.958	141.799	1.3	2.8	2.1	1.0	1.4	-0.6	-	-	8.3	6.3	-	8.3										

表 3.1-3 震源距離と JAEA 検測値の有無および震源計算誤差(4/5)

番号 (表 3.1-2 と同じ)	気象庁一元化震源				JAEA検測値の有無										Double-Difference法(DD法) *空欄は震源決定ができなかつたもの													
	計算誤差		マグニ チュー ド	JAEA観測点までの震源距離 (km)	有: 1 無: 0					震源					一元化震源との 誤差増減(km)					検測値のあるJAEA観測点ま での震源距離(km)								
	緯度 方向 (km)	経度 方向 (km)			深度 (km)	上幌 延観 測点	北進 観測 点	北星 園観 測点	中間 寒観 測点	検測 値の ある 観測 点数	緯度 (度)	経度 (度)	深さ (km)	緯度 方向	経度 方向	深度	緯度 方向	経度 方向	深度	緯度 方向	経度 方向	深度	上幌 延観 測点	北進 観測 点	北星 園観 測点	中間 寒観 測点	平均	
88	1.1	1.6	-	0.7	18	20	15	26	19.6	1	1	1	1	4														
89	0.8	0.9	-	0.2	26	19	21	33	24.8	1	0	1	0	2	45.219	141.824	1.3	1.8	1.6	0.9	1.0	0.7	-	25.9	-	20.9	-	23.4
90	1.3	2.4	3.6	1.3	19	17	12	29	19.4	1	1	1	1	4														
91	1.3	2.3	-	1.0	18	16	10	29	18.3	1	0	1	0	2	44.980	141.696	1.2	2.4	2.6	1.1	1.1	0.3	-	17.8	-	10.2	-	14.0
92	2.0	3.1	-	0.7	16	14	7	27	16.2	1	1	1	0	3	44.983	141.711	0.4	2.3	2.5	1.1	0.3	-0.6	-	16.5	15.2	8.9	-	13.5
93	1.2	1.3	2.5	0.9	24	29	30	22	26.3	1	1	1	1	4	44.898	142.011	16.5	1.2	0.5	1.5	-0.1	-0.8	-1.1	21.0	25.7	27.7	18.6	23.2
94	0.3	0.5	0.4		28	32	32	28	29.8	0	0	0	0	0														
95	0.9	0.9	3	1.1	18	23	27	9	19.0	1	1	1	1	4	44.926	142.052	13.5	1.7	3.3	3.4	0.7	2.4	0.4	18.8	23.6	26.7	14.3	20.9
96	1.5	1.8	4.1	0.6	18	23	27	11	19.8	1	0	1	0	3	44.933	142.030	15.9	2.0	3.4	3.4	0.4	1.6	-0.7	19.4	23.6	-	16.5	19.9
97	1.5	2.1	3.5	0.2	21	26	26	22	23.7	1	0	0	1	2	44.871	141.927	15.7	0.7	0.4	0.9	-0.8	-1.7	-2.6	20.9	-	-	21.5	21.2
98	1.1	1.1	-	0.5	14	19	24	3	15.0	1	1	1	1	4	44.949	142.054	1.7	2.0	1.8	1.1	0.9	0.7	-	11.9	17.8	22.0	2.8	13.6
99	1.0	0.9	2.2	0.3	29	33	38	19	29.9	1	0	0	1	2	44.933	142.238	9.4	2.9	2.8	2.9	1.9	1.9	0.7	27.7	-	-	17.8	22.7
100	0.7	0.8	-	1.3	20	13	15	28	19.1	1	1	1	1	4	45.167	141.834	1.5	2.1	1.6	2.0	1.4	0.8	-	20.2	13.7	15.3	28.0	19.3
101	1.0	0.9	2.1	1.4	30	24	25	37	28.9	1	1	1	0	3	45.236	141.797	9.3	2.7	2.3	3.2	1.7	1.4	1.1	29.8	23.6	24.6	-	26.0
102	1.0	0.9	2.4	0.9	29	23	24	37	28.2	1	1	1	1	4	45.237	141.797	8.6	2.7	2.3	3.3	1.7	1.5	0.9	29.7	23.4	24.4	37.0	28.6
103	0.9	1.2	1.5		21	23	23	25	23.1	1	1	0	1	3														
104	0.9	0.8	-	0.1	28	21	22	35	26.4	1	1	1	0	3	45.228	141.810	1.1	1.9	1.6	1.1	1.0	0.8	-	27.2	20.6	21.9	-	23.2
105	2.0	2.2	-	0.7	24	20	14	35	23.2	1	1	1	1	4	45.044	141.641	1.5	1.9	1.7	1.4	-0.1	-0.4	-	22.6	18.9	12.8	33.6	22.0
106	0.4	0.9	0.9	0.6	25	30	34	18	26.7	0	0	0	0	0	44.915	142.194	11.0	5.7	6.7	7.7	5.2	5.7	6.8	-	-	-	-	-
107	1.3	1.3	2.9	1.0	17	18	18	22	18.6	1	1	1	1	4	44.983	141.875	14.7	1.5	1.5	2.5	0.2	0.2	-0.4	15.1	16.3	16.7	20.4	17.1
108	1.4	1.2	2.6	0.3	25	21	22	32	24.7	1	1	1	1	4														
109	0.9	0.8	2.1	0.5	21	24	29	17	22.6	1	1	1	1	4	44.996	142.090	14.6	1.2	0.6	1.0	0.3	-0.2	-1.1	19.8	22.8	27.3	15.1	21.3
110	1.0	0.9	2.3	0.5	21	23	29	14	21.8	1	1	0	1	3	44.996	142.095	14.0	1.2	0.6	1.0	0.2	-0.3	-1.3	19.6	22.7	-	14.6	19.0
111	1.1	1.5	3.4	0.1	20	26	26	19	22.6	1	0	0	0	1	44.858	141.969	14.2	1.5	0.8	2.1	0.3	-0.6	-1.3	21.3	-	-	-	21.3
112	1.1	1.5	-	0.5	9	4	3	20	9.0	1	1	1	0	3														
113	1.0	1.4	2.9	0.3	25	26	28	26	26.4	1	1	0	1	3	45.064	141.993	24.3	1.0	1.7	1.3	0.0	0.3	-1.6	26.0	25.9	-	26.9	26.3
114	1.9	3.7	-	-0.2	21	25	22	27	23.8	1	0	0	0	1														
115	1.4	1.6	2.5	0.0	28	27	30	29	28.4	1	1	0	1	3	45.053	141.967	24.6	1.0	1.6	1.3	-0.3	0.0	-1.2	25.6	25.5	-	27.1	26.1
116	0.9	0.7	2.4	-0.4	27	31	36	18	28.0	1	0	0	0	1	44.985	142.229	12.4	1.9	2.4	2.9	1.1	1.8	0.5	27.4	-	-	-	27.4

3.2 震源決定解析

3.2.1 Multiplet-clustaring 法

震源決定解析として、Multiplet-clustaring 法（以下、MC 法とする）を本研究の観測データに適用した。MC 法は、同一の断層面あるいは断層系を想定して波形が相互に類似した微小地震群を対象としたもので、相対的な位置精度の向上に有効とされている。また、解析法の比較、および MC 法の解析に使用するデータを得るため、一般的に広く用いられている震源解析プログラム HYPOMH¹⁶⁾ による震源決定解析も行った。ここでは、解析手順と適用された解析条件、および解析に使用したデータ、ならびに解析結果を整理することにより、震源位置の精度に関する解析条件を抽出する。また、MC 法の適用性について検討する。

解析は、対象とする観測期間を増すとともに、解析条件を改善しながら延べ 4 回行った。初回についての詳細は既報されている¹⁷⁾。表 3.2.1-1 に示すように、これらの解析では、11 段階の主要な解析手順を経て最終の解析結果を決定している。表 3.2.1-1 には、それらの各手順で適用した解析条件も示した。ここで、震源位置の精度に影響する解析条件を抽出すると、表 3.2.1-1 に示すように、それらは各手順にあり、また多数であった。また、前述の MC 法の各手順において、段階的に使用された、あるいは得られたデータの例を図 3.2.1-1 に示す。これらの解析データは、各手順で適用した解析条件による段階的な結果であり、結果の検証対象となるが、今回はそれらの検証は行っていない。ここで、それらの各手順で段階的に得られた震源分布を図 3.2.1-2 に図示する。これらのうち、同図(2/10) 気象庁一元化震源、(3/10) HYPOMH、(10/10) MC 法による、3 つの震源分布は、同じ地震グループの震源をプロットしたものである。この 3 つを比較すると、MC 法には、図 3.2.1-2(5/10)と(7/10)に示すようなマスターイベント（相対的位置の基準とする震源）の周辺に震源が集まる傾向が認められた。このことから、解析対象を震源が集中する狭い範囲とした場合は、MC 法の適用によって、震源位置を高精度に再決定できる可能性があると推定する。一方、例えば、前述の 3 つの震源分布図において赤色で表示した震源は、MC 法ではそれらが同一のグループとして 10km 程度の範囲に集中しているが、ほかの 2 つの手法では 30km 以上離れて分布する。つまり、いくつかの震源では、解析法の違いによって同じ地震の震源位置が数 10km も異なっている。この解析法の違いによる震源位置の大きな差は、気象庁一元化震源の震源計算誤差が数 km 程度であること（たとえば前述の表 3.1-3）と比較しても、かなり大きく、不自然な現象である。ここで、MC 法の精度について、各 Multiplet グループ内における RMS の平均値（たとえば図 3.2.1-1(5/5)）を指標として、震源間の位置関係の決定精度を評価した報告¹¹⁾があるが、前述のような現象は RMS が基準値内で生じたものである。したがって、震源位置の精度については、震源位置の精度に影響する複数の解析条件を総合して評価する必要性が考えられる。また、解析精度に関する事項として、3 年程度の短い期間に発生した地震を解析対象とした MC 法では、Multiplet として識別されるイベントの数が非常に少なく、データ不足に起因す

る震源決定結果の確からしさに劣る面が指摘されている¹¹⁾。**Multiplet**とは波形が相互に類似した微小地震群である。この指摘について、**Multiplet**の個数に着目すると、2004年度の解析¹⁷⁾では約2年間の観測データで**Multiplet**は7個であったが、2007年度の解析では観測期間が増し、図3.2.1-2(2/10)に示すように約4年間の観測データで56個に増加した。これはデータ量の増加に伴い**Multiplet**が細分化および厳密化されたことを示唆する。したがってデータ量の増加は、震源決定結果の確からしさに寄与することが推定される。

表 3.2.1-1 MC 法手順の概要と震源位置精度に関する解析条件(1/2)

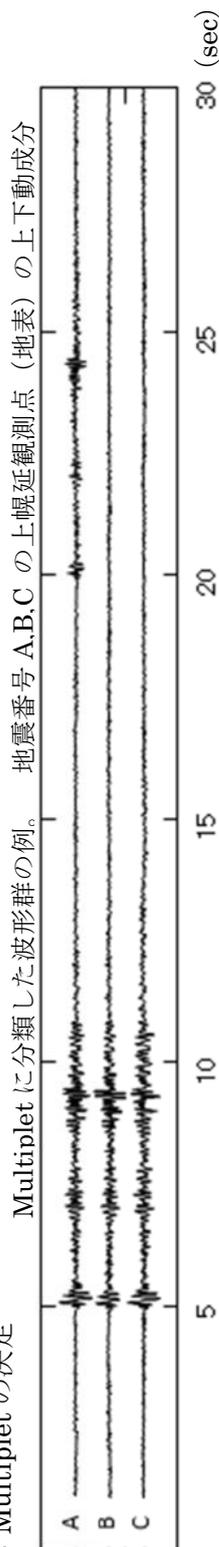
2004年度の解析 (解析対象期間：2002/12/20～2004/9/30)	2005年度の解析 (解析対象期間：2002/12/20～2005/9/30)	2006年度の解析 (解析対象期間：2005/10/1～2006/9/30)	2007年度の解析 (解析対象期間：2003/9/1～2007/9/30)	各手順における 震源位置精度に関する解析条件
<p>① 波形のドリフト補正。 ・波形の7次多項式の回帰曲線で求めたドリフト成分を原波形から除去する。</p>				
<p>② 波形の周波数の平滑化。 ・観測波形のスペクトルにハニング・フィルタを10回かけることにより、波形の周波数を平滑化する。</p>				
<p>③ 波形のフィルター処理。 ・30Hz以上の周波数成分を0とするローパスフィルター。</p>				
<p>④ 解析対象とする地震の決定 ・気象庁一元化震源のうち、研究対象地域付近のもの。 ・2点以上のJAEA観測点で観測されたもの。 ・P波とS波が目視で読み取れるもの。</p>				
<p>⑤ 目視によるP波とS波の初動時刻の決定。</p>				
<p>⑥ コヒーレンス関数を用いた類似波形の分類¹⁸⁾。 ・全イベントの組合せのコヒーレンスを計算。 ・コヒーレンスが全ての組合せで0.68を超えるグループを類似波形として分類。 ・計算条件 時間窓：P波初動時刻の2sec前から10.24sec 周波数分解能：0.05Hz 周波数帯域：5-10Hz（周波数軸上で平均）</p>				
<p>⑦ 目視によるMultipletの決定。 ・⑥をデータとする。 ・コヒーレンスは0.9以上が望ましい。 ・コヒーレンスが低くてもS-P時間が似ているものは、同一のMultipletに分類。</p>				

表 3.2.1-1 MC 法手順の概要と震源位置精度に関する解析条件(2/2)

2004年度の解析 (解析対象期間：2002/12/20～2004/9/30)	2005年度の解析 (解析対象期間：2002/12/20～2005/9/30)	2006年度の解析 (解析対象期間：2005/10/1～2006/9/30)	2007年度の解析 (解析対象期間：2003/9/1～2007/9/30)	各手順における 震源位置精度に関する解析条件
<p>⑧ クロススペクトル解析によるディレイの計算⁶⁾。</p> <ul style="list-style-type: none"> • Multiplet内の上幌延観測点においてすべてのイベント間、上幌延以外の観測点では1以上のイベント間のP波とS波についてディレイを計算。 • 解析成分：南北方向の水平動 • 時間窓：初動時刻の0.2s前から1.28sec。 • 周波数分解能：0.078Hz • 周波数：5-15Hz (10回アサンブル平均)¹⁹⁾ • 1地震についての解析観測点数：4 <p>JAEA観測点を優先的に使う。</p> <p>1地震において4観測地点以上のデータが必要。観測点数が4点、8、11点で解析した任意サンブルで比較した震源位置の差は2km程度。</p>	<p>⑨ クロススペクトル解析によるディレイの計算。</p> <p>下記が2004年度と異なる。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 解析条件 • 解析成分：上下動 • 時間窓：初動時刻の0.2s前から2.56sec。 • 周波数分解能：0.039Hz 	<p>⑩ クロススペクトル解析によるディレイの計算。</p> <p>下記が2005年度と異なる。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1地震についての解析観測点数：4以上 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiplet内のイベント数 • クロススペクトルの解析条件 	
<p>④ hypomhによる震源の決定。</p> <ul style="list-style-type: none"> • ⑤を入力データ、速度構造を水平構造²⁰⁾とする。 				<ul style="list-style-type: none"> • 入力データの量と精度 • 解析観測点と震源の位置関係 • 速度構造。
<p>⑩ マスタライイベント法⁸⁾による震源の決定。</p> <ul style="list-style-type: none"> • ⑧⑨を入力データとする。 • マスタライイベントは気象庁一元化震源とhypomh解析結果の対応が良いものとする。 • マスタライイベントの震源位置はhypomh解析結果とする。 • 速度構造は⑧と同じ。 • 震源の最適解の決定は修正Marquat法により残差の総和が最小となるもの。 • 各残差は各観測点についての観測走時と理論走時から求める。 • 理論走時はマスタライイベントの震源とスレイブイベントの仮想震源から計算したディレイ。 				<ul style="list-style-type: none"> • マスタライイベント選定と震源精度 • 解析観測点と震源の位置関係 • 速度構造
<p>⑪ なし</p>		<p>⑪ Clustering解析によるMultiplet間の相対位置の推定。</p> <ul style="list-style-type: none"> • Multipletから代表イベント波形を選択。 • 代表イベント間の類似度では同一Multipletに分類されない。 • 代表イベント間のディレイをクロススペクトル解析で計算。 • 震源位置再決定のための、マスタライイベントを選択。 • Multipletの震源位置は⑩結果。 • 代表イベントの再決定震源を基準にMultiplet内の震源を移動。 		<ul style="list-style-type: none"> • 代表イベント選定と震源精度 • Clusteringの分類基準 • クロススペクトル解析条件 • マスタライイベント選定と震源精度 • 解析観測点と震源の位置関係 • 速度構造

- ①②③⑥ 波形処理および類似波形の分類： 下記⑦の波形群に集約
- ④ 解析対象とする地震の決定： 図 3.2.1-2(1/10)(2/10)を参照
- ⑤ 初動時刻の決定： 図 3.2.1-1(2/5)、⑨の入力データの例を参照

⑦ 目視による Multiplet の決定



⑧ クロススペクトル解析による
 デイレイの計算結果

地震番号	観測点	デイレイ(s)		コヒーレンス	
		P波	S波	P波	S波
B	上幌延(地表)	-0.0793	0.0841	0.9717	0.9551
	上幌延(地下)	0.0193	0.0526	0.9773	0.9960
	北進	0.0192	0.1623	0.9916	0.9954
	北星園	-0.2088	0.0048	0.9557	0.9688
A	Hi-net幌延	-0.0798	0.0120	0.9267	0.9643
	上幌延(地表)	-0.1386	0.0883	0.9951	0.9478
	上幌延(地下)	-0.0228	-0.0080	0.9793	0.9990
	北進	0.1834	0.0841	0.9736	0.9959
C	北星園	-0.1452	-0.0027	0.9607	0.9957
	Hi-net幌延	0.0071	0.0902	0.9137	0.9251
	上幌延(地表)	0.1662	0.0043	0.9727	0.9965
	上幌延(地下)	-0.0520	0.0550	0.9723	0.9956
B	北進	0.1645	0.0373	0.9790	0.9988
	北星園	-0.2587	-0.0076	0.9484	0.9691
	Hi-net幌延	0.0873	0.0794	0.9312	0.9022

図 3.2.1-1 MC 法の各手順における解析データの例(1/5)

⑨ hypomh による震源の決定

入力データの例

観測点	相名	気象庁一元化震源の発震時刻を基準とした初動到達時間(s)		
		地震A	地震B	地震C
上幌延(地表)	P波	5.06	4.67	4.55
	S波	8.64	8.09	8.03
上幌延(地下)	P波	4.94	4.47	4.46
	S波	8.54	8.12	8.01
北進	P波	4.61	4.11	3.89
	S波	7.87	7.34	7.24
北星園	P波	5.14	4.82	4.30
	S波	8.62	8.15	8.10
HI-net幌延	P波	6.18	5.54	7.39
	S波	9.74	9.24	9.11

速度構造

深度	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
0 - 2 km	2.83	1.62
2 - 10 km	5.32	3.04
10 - 20 km	6.32	3.61
20 km 以深	6.69	3.82

hypomh による震源決定結果

地震番号	緯度方向				経度方向				深度方向									
	震源位置(度)		計算誤差(km)		震源位置(度)		計算誤差(km)		震源位置(km)		計算誤差(km)							
	一元化震源	hypomh	差	一元化震源	hypomh	差	一元化震源	hypomh	差	一元化震源	hypomh	差						
A	45.095	45.090	0.005	1.5	1.4	0.1	141.836	141.848	-0.012	2.0	0.6	1.4	27.4	25.0	2.4	2.6	0.8	1.8
B	45.101	45.115	-0.014	1.4	1.3	0.1	141.847	141.876	-0.029	1.9	0.6	1.4	28.1	23.5	4.6	2.5	0.9	1.6
C	45.099	45.124	-0.025	1.3	0.6	0.8	141.837	141.808	0.029	1.9	0.3	1.5	28.0	18.0	10.0	2.5	0.5	2.0

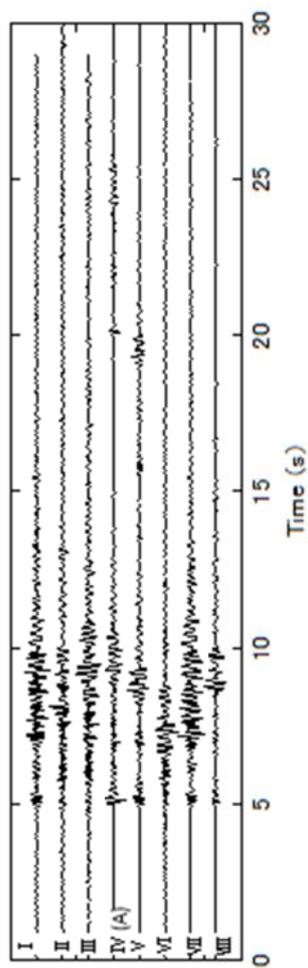
図 3.2.1-1 MC 法の各手順における解析データの例(2/5)

⑩ マスターイベント法による震源の決定

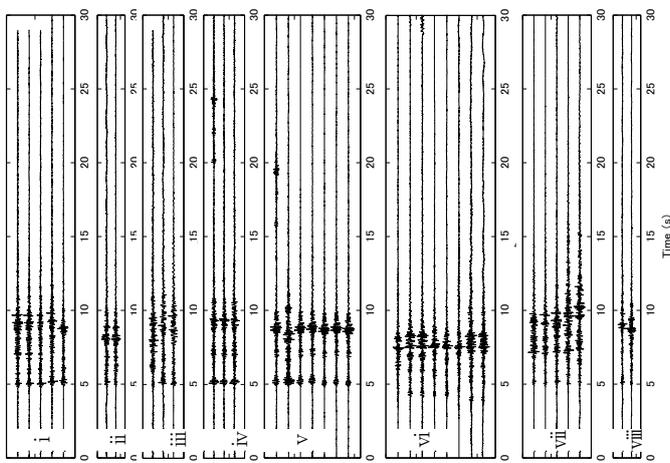
マスターイベント法による Multiplet の震源決定結果と hypomh との比較

地震番号	マスターイベントの選択	緯度(度)		経度(度)		深度(km)		マスターイベント法による震源計算の残差 RMS(s)
		hypomh	マスターイベント法	hypomh	マスターイベント法	hypomh	マスターイベント法	
A	マスターイベント	45.090	141.848	0	25.0	0	0	0
B	スレイブイベント	45.115	141.876	0.030	141.834	0.042	23.5	-1.3
C	スレイブイベント	45.124	141.808	0.094	141.819	-0.011	18.0	-8.2

⑪ Clustering 解析による Multiplet 間の相対位置の推定 (1/3)



右の各 Multiplet から選択した代表イベント波形



Clustering 対象とした Multiplet の波形群

図 3.2.1-1 MC 法の各手順における解析データの例(3/5)

① Clustering 解析による Multiplet 間の相対位置の推定 (2/3)

地震名	観測点	デレイ(s)		コヒーレンス	
		P波	S波	P波	S波
II	上横延(地表)	-0.1051	0.0420	0.94	0.95
	上横延(地下)	-0.1496	-0.0111	0.89	0.92
	上横延(地表)	0.0257	0.0268	0.94	0.95
III	上横延(地表)	0.0196	-0.0208	0.97	0.89
	北波	0.0157	-0.1047	0.91	0.94
	北星圏	0.0843	-0.0137	0.87	0.88
IV	上横延(地表)	-0.0741	0.1505	0.96	0.90
	上横延(地下)	-0.0762	-0.0383	0.94	0.94
	北波	0.0844	0.0893	0.90	0.95
V	上横延(地表)	0.1120	-0.0254	0.86	0.93
	上横延(地下)	-0.1389	0.1788	0.98	0.95
	上横延(地下)	0.0005	0.2010	0.95	0.77
VI	上横延(地表)	0.0815	-0.0868	0.84	0.95
	上横延(地下)	0.0189	0.0938	0.96	0.97
	上横延(地下)	0.0959	-0.0372	0.93	0.94
VII	上横延(地表)	0.0577	-0.1847	0.86	0.91
	上横延(地下)	-0.0179	-0.1510	0.96	0.94
	上横延(地下)	0.0206	0.0722	0.98	0.92
VIII	北波	-0.0295	-0.0745	0.93	0.96
	上横延(地表)	-0.1091	-0.0241	0.97	0.98
	上横延(地下)	-0.2031	-0.0891	0.97	0.89
III	北星圏	-0.1298	0.1394	0.87	0.95
	上横延(地表)	0.0219	-0.1157	0.93	0.97
	上横延(地下)	0.0842	0.0143	0.90	0.86
IV	中間帯	-0.0631	0.0010	0.94	0.97
	上横延(地表)	-0.0939	0.1083	0.90	0.89
	上横延(地下)	0.0243	0.0000	0.89	0.95
V	Hi-net横延	0.1549	0.1027	0.76	0.82
	上横延(地表)	-0.1542	0.1033	0.94	0.95
	上横延(地下)	0.0800	0.2668	0.89	0.84
VI	Hi-net天温	-0.0657	-0.0047	0.80	0.96
	Hi-net横延	0.0517	-0.1645	0.82	0.76
	上横延(地表)	0.1091	0.0520	0.92	0.95
VII	上横延(地下)	0.1352	-0.0472	0.87	0.97
	Hi-net横延	0.2213	0.0177	0.74	0.93
	Hi-net天温	-0.0791	-0.2367	0.76	0.80
VIII	上横延(地表)	0.0381	-0.1932	0.89	0.96
	上横延(地下)	-0.0491	-0.0434	0.90	0.95
	Hi-net天温	0.0846	-0.0571	0.77	0.79
I	上横延(地表)	-0.0037	-0.2154	0.93	0.97
	上横延(地下)	0.1030	-0.0732	0.88	0.90
	Hi-net横延	0.2167	0.0800	0.76	0.88

地震名	観測点	デレイ(s)		コヒーレンス	
		P波	S波	P波	S波
IV	上横延(地表)	-0.0727	-0.0536	0.90	0.88
	上横延(地下)	-0.1356	0.1206	0.94	0.88
	北波	-0.0555	0.1872	0.91	0.95
V	上横延(地表)	-0.0748	0.0170	0.95	0.89
	上横延(地下)	-0.1594	0.2526	0.95	0.93
	上横延(地下)	-0.2409	0.2165	0.93	0.80
VI	北星圏	0.0124	-0.1891	0.94	0.88
	上横延(地表)	0.0252	0.0673	0.91	0.93
	上横延(地下)	0.1310	0.0171	0.95	0.91
VII	北星圏	-0.0115	0.1082	0.96	0.87
	上横延(地表)	0.1475	-0.0776	0.90	0.93
	上横延(地下)	0.1284	0.1301	0.96	0.89
VIII	北波	-0.0412	-0.2135	0.95	0.94
	上横延(地表)	0.0080	-0.0097	0.94	0.96
	上横延(地下)	0.0469	-0.1432	0.94	0.86
V	北星圏	0.0302	0.0094	0.93	0.92
	上横延(地表)	-0.0961	0.0287	0.94	0.90
	上横延(地下)	-0.1045	0.2457	0.94	0.82
VI	北星圏	0.0721	-0.0387	0.95	0.96
	Hi-net横延	0.0414	-0.1093	0.70	0.77
	上横延(地表)	-0.0227	0.0594	0.93	0.91
VII	上横延(地下)	0.1114	-0.0472	0.92	0.97
	北星圏	0.0114	0.0920	0.96	0.93
	Hi-net横延	-0.0592	-0.1034	0.73	0.85
VIII	上横延(地表)	-0.0469	-0.1854	0.95	0.88
	上横延(地下)	0.0429	-0.0434	0.94	0.95
	北波	0.0550	-0.0417	0.97	0.98
VI	上横延(地表)	0.0805	-0.1184	0.97	0.91
	上横延(地下)	0.1380	-0.0506	0.96	0.90
	北星圏	0.1049	-0.0074	0.94	0.96
VII	Hi-net横延	-0.0377	-0.0252	0.71	0.82
	上横延(地表)	0.0371	-0.0848	0.95	0.87
	上横延(地下)	0.2113	-0.0892	0.91	0.83
VIII	北星圏	0.0345	0.3307	0.94	0.92
	Hi-net横延	0.1097	0.1385	0.76	0.88
	Hi-net天温	-0.1014	-0.0049	0.87	0.92
V	上横延(地表)	0.1644	-0.1808	0.95	0.94
	上横延(地下)	0.0320	-0.2123	0.95	0.82
	Hi-net天温	0.0043	0.1479	0.81	0.95
VIII	上横延(地表)	0.0248	-0.2031	0.98	0.95
	上横延(地下)	0.1359	-0.2684	0.94	0.76
	北星圏	0.0178	0.2472	0.95	0.97
	Hi-net横延	0.0509	0.1999	0.78	0.84

クロススペクトル解析により求められた、比較的類似している代表イベント波形間のデレイとコヒーレンス

図 3.2.1-1 MC 法の各手順における解析データの例(4/5)

① Clustaring 解析による Multiplet 間の相対位置の推定 (3/3)

マスターイベント法による Clustaring グループ内の Multiplet 代表地震間の震源決定結果、および Multiplet の代表に合わせて震源を移動した結果の例 (震源の移動は Multiplet のうち iv についてのみ記載)

Multiplet 番号	地震番号	マスターイベント または スレイフイベント の選択		緯度(度)				経度(度)				深度(km)				マスターイベント法による震源計算の残差 RMS(s)			
		Multiplet	Clustaring	Hypomh	マスターイベント法		Multipletの代表に合わせて移動	hypomhとの差		Hypomh	マスターイベント法		Multipletの代表に合わせて移動	hypomhとの差		Multiplet Clustaring	Multiplet Clustaring		
					Multiplet	Clustaring		Multiplet	Clustaring		Multiplet	Clustaring		Multiplet	Clustaring			Multiplet	Clustaring
i	I	マスター	マスター	45.048	45.048	-	0	0.000	141.810	141.810	-	0	0.000	26.6	26.6	-	0	0	
	ii	マスター	スレイフ	44.997	45.036	-	0	-0.039	142.033	141.769	-	0	0.264	0.0	24.5	-	0	-24.5	0
iii	III	マスター	スレイフ	44.950	45.057	-	0	-0.107	141.910	141.826	-	0	0.084	32.0	27.1	-	0	4.9	0
	iv	マスター	スレイフ	45.090	45.068	-	0	0.022	141.848	141.854	-	0	-0.006	25.0	26.5	-	0	-1.5	0
v	IV(A)	スレイフ	-	45.115	45.085	-	45.064	0.030	141.876	141.834	-	141.841	0.042	23.5	24.8	-	26.3	-1.3	0
	B	スレイフ	-	45.124	45.030	-	45.008	0.094	141.808	141.819	-	141.826	-0.011	18.0	26.2	-	27.7	-8.2	-9.7
vi	V	マスター	スレイフ	44.886	45.047	-	0	-0.162	142.009	141.846	-	0	0.163	23.6	26.8	-	0	-3.2	0
	VI	マスター	スレイフ	44.813	45.097	-	0	-0.284	141.958	141.830	-	0	0.128	16.9	25.9	-	0	-9.0	0
vii	VII	マスター	スレイフ	45.049	45.061	-	0	-0.012	141.782	141.815	-	0	-0.034	27.6	26.4	-	0	1.2	0
	VIII	マスター	スレイフ	45.098	45.023	-	0	0.075	141.853	141.823	-	0	0.030	16.1	26.5	-	0	-10.4	0

図 3.2.1-1 MC 法の各手順における解析データの例(5/5)

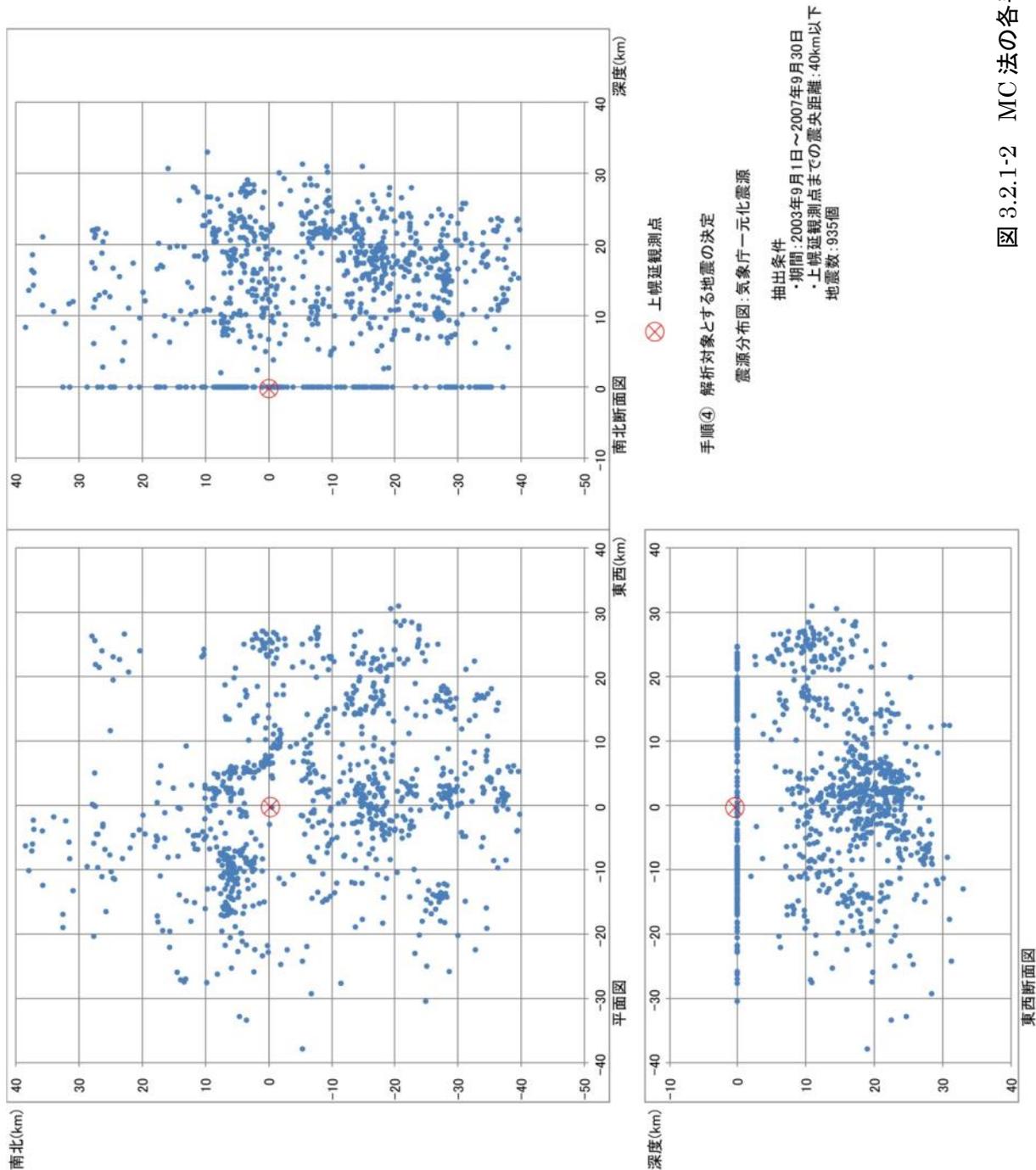


図 3.2.1-2 MC 法の各手順における震源分布図 (1/10)

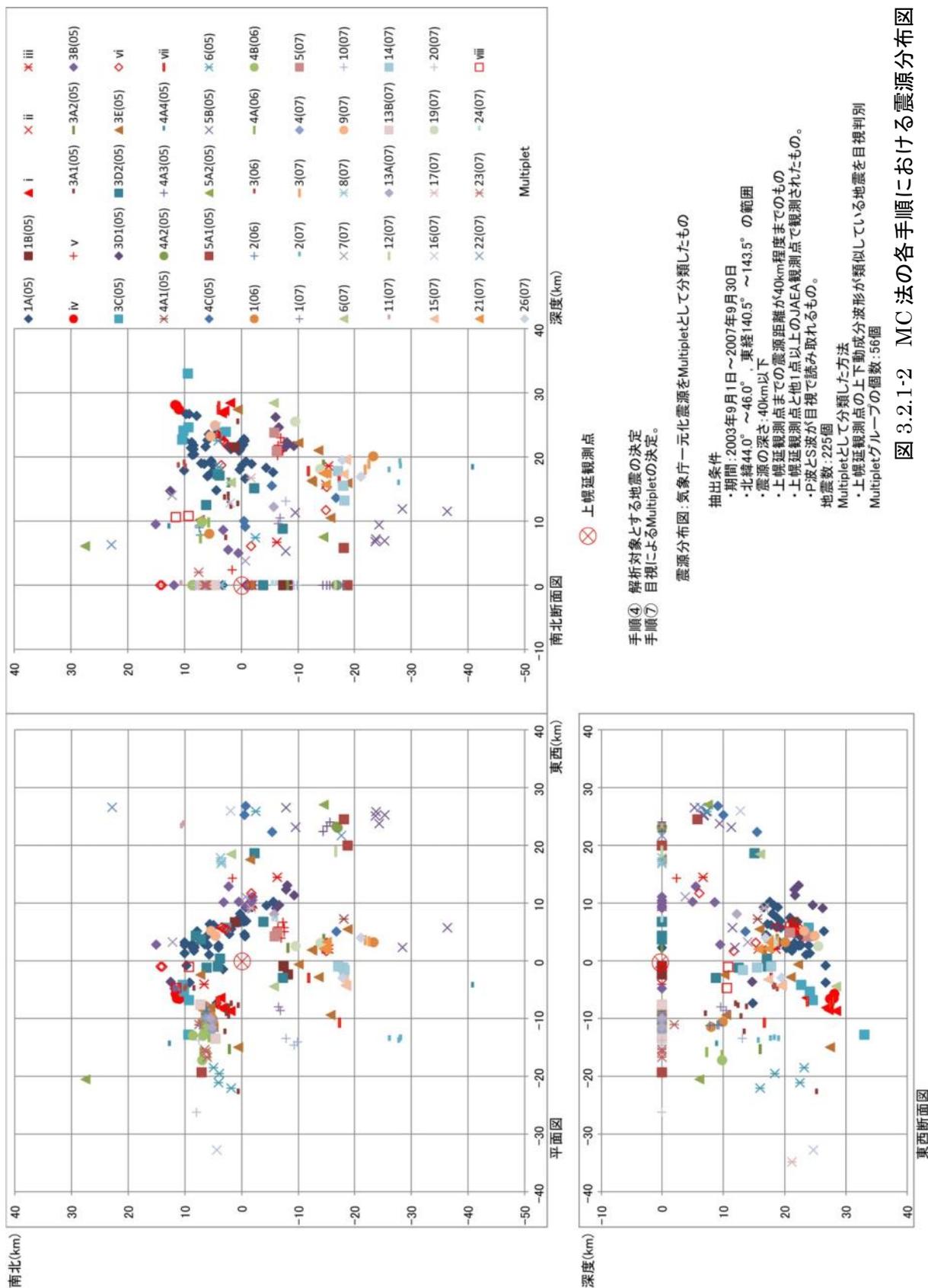


図 3.2.1-2 MC 法の各手順における震源分布図 (2/10)

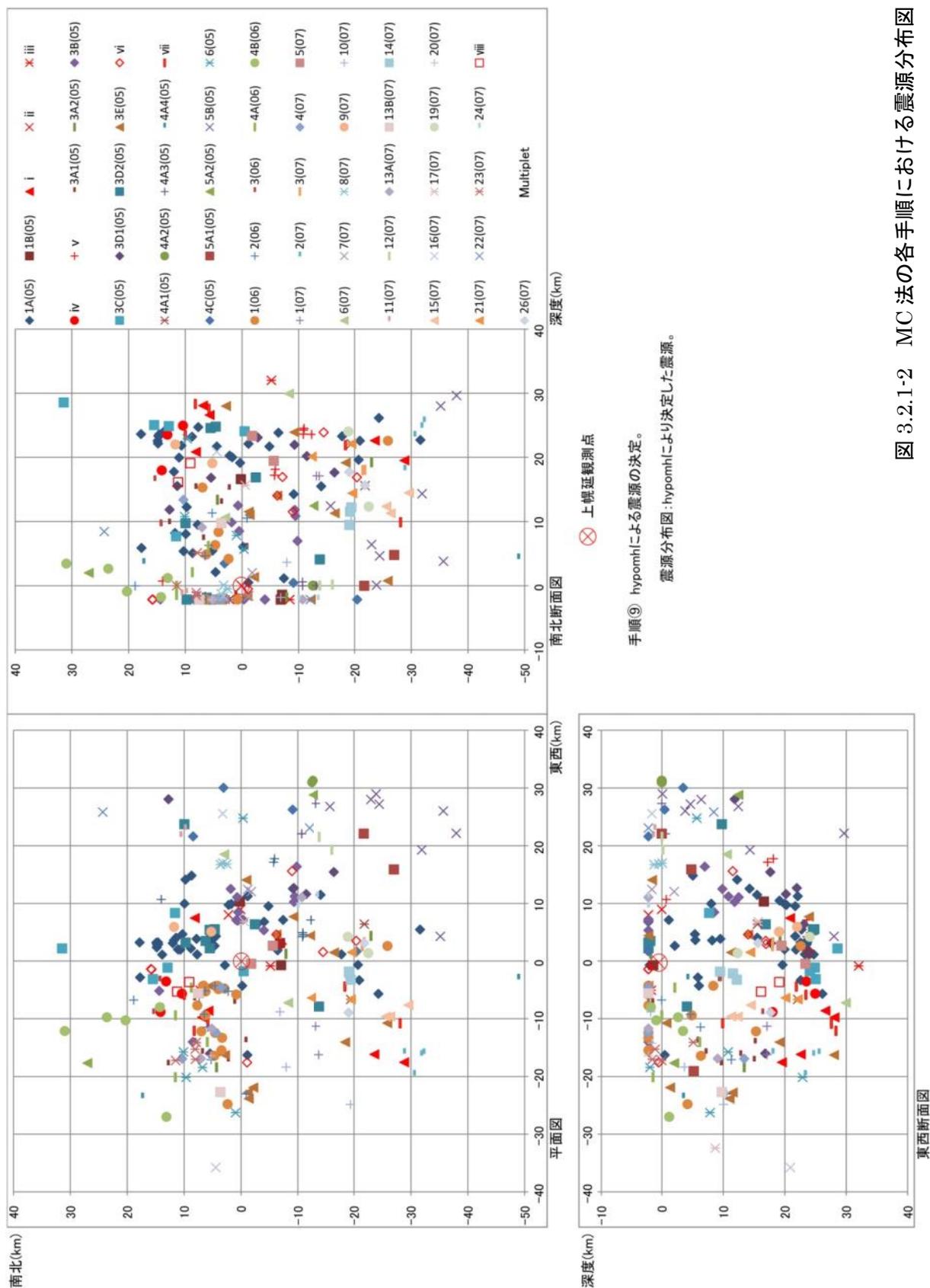
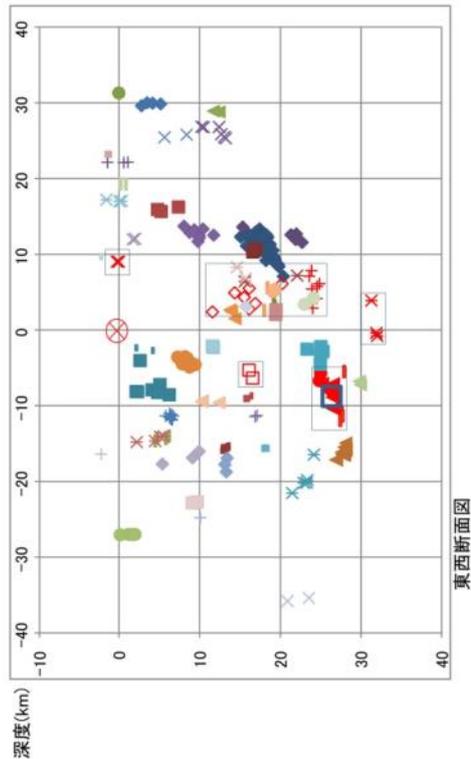
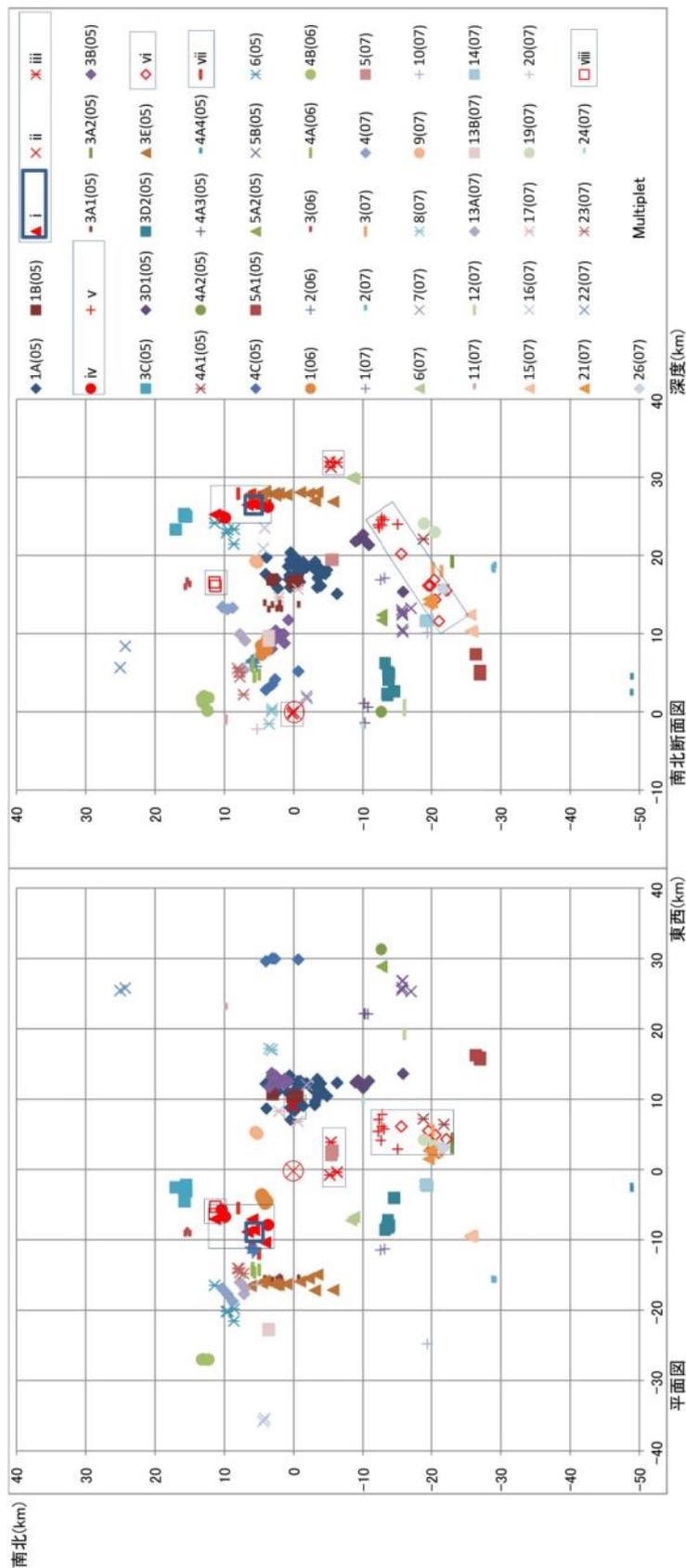


図 3.2.1-2 MC 法の各手順における震源分布図 (3/10)



手順⑩ マスターイベント法による震源の決定。
震源分布図: Multipletの震源の決定結果、およびClusteringグループに分類されたMultiplet(口囲み i ~ viii)の例。

方法

- ・クロスベクトル解析によるディレイ、hypomhiによる震源を入力データとする。
- ・速度構造は水平構造。
- ・震源の最適解の決定は修正Marquadt法により残差の総和が最小となるもの。
- ・各残差は各観測点についての観測走時と理論走時から求める。
- ・観測走時はマスターイベントとスレイブイベントのディレイ。
- ・理論走時はマスターイベントの震源とスレイブイベントの仮想震源から計算したディレイ。
- ・例としたClusteringグループはMultiplet(i ~ viii)、マスターイベントは i に属する。

図 3.2.1-2 MC 法の各手順における震源分布図 (6/10)

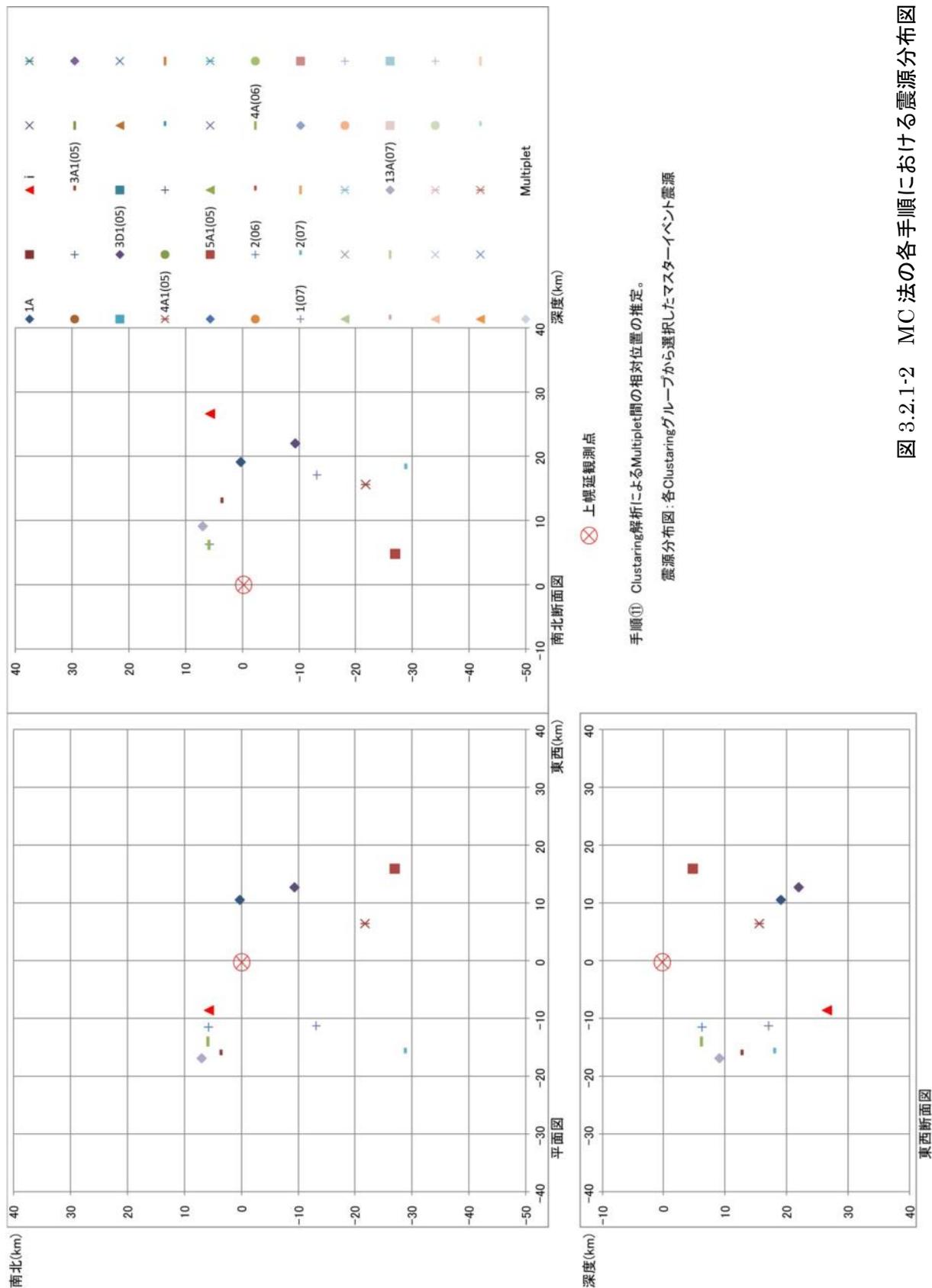


図 3.2.1-2 MC 法の各手順における震源分布図 (7/10)

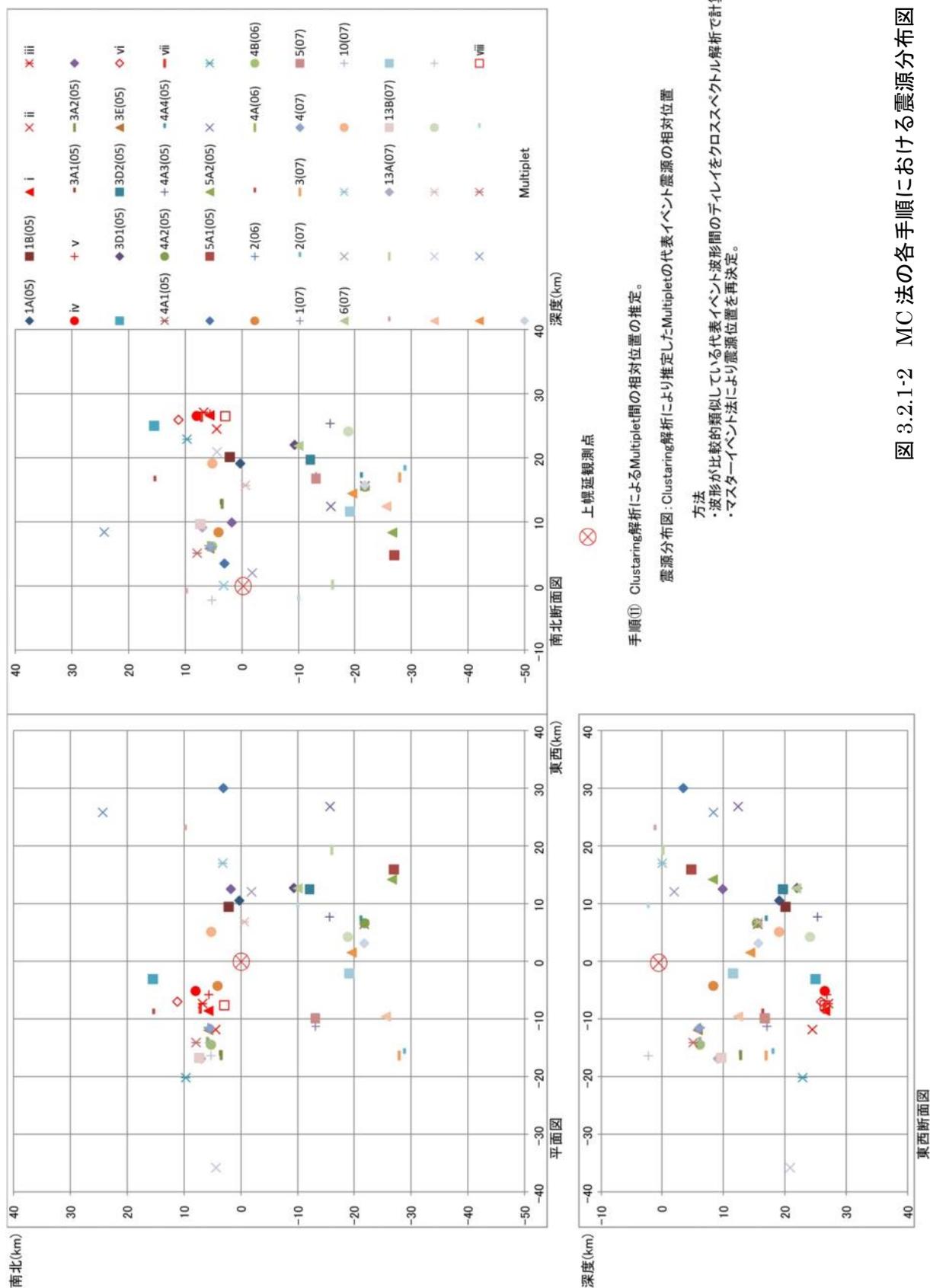


図 3.2.1-2 MC 法の各手順における震源分布図 (8/10)

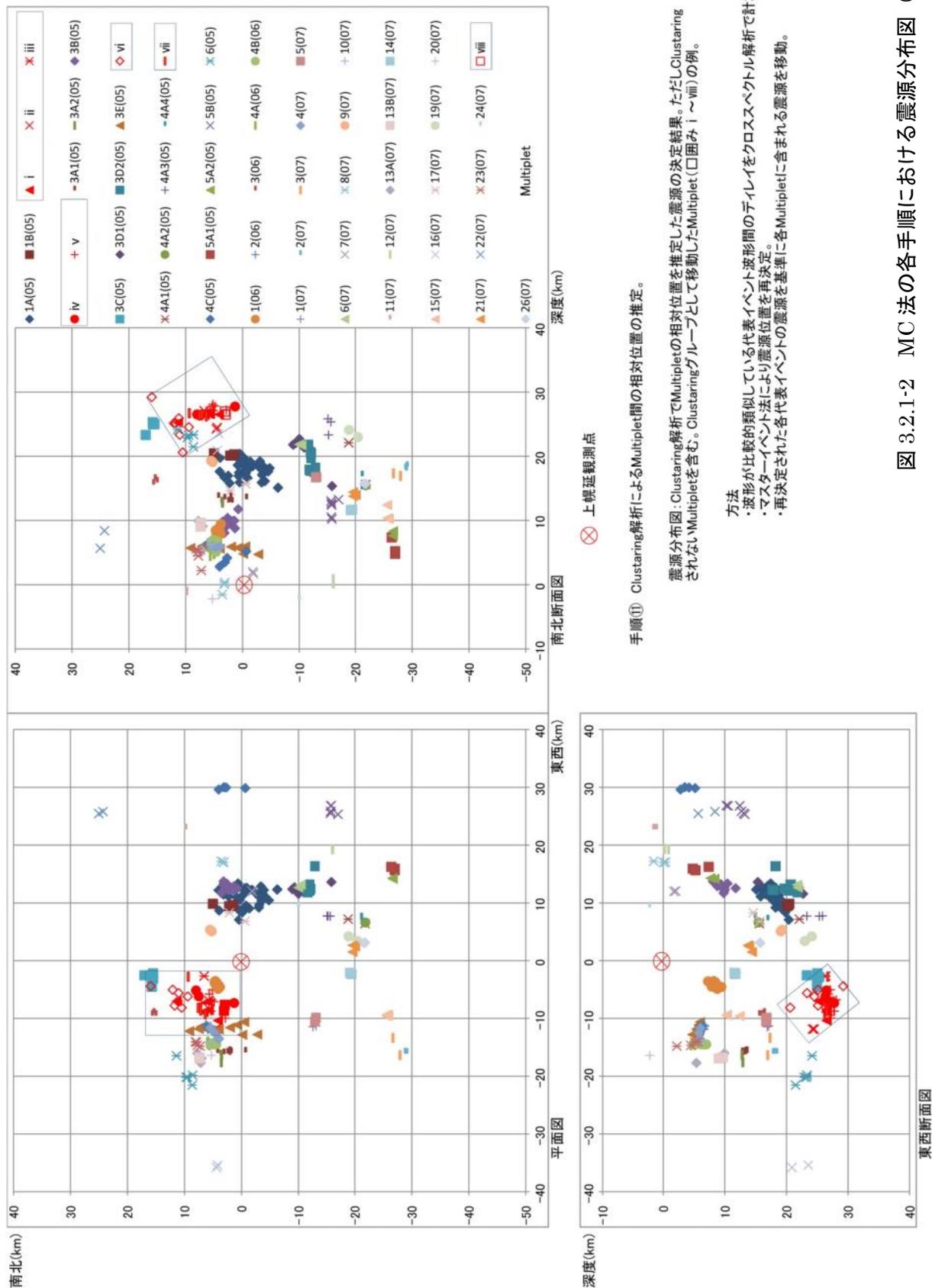


図 3.2.1-2 MC 法の各手順における震源分布図 (10/10)

3.2.2 Double-Difference 法

DD 法は、MC 法と同様に震源の相対的な位置の精度向上に有効な解析法とされている。ここでの DD 法の適用では、前述の相対的な位置の精度向上に加えて、総合的な精度向上にも留意した。そのため、初期値震源には、標準的な震源として気象庁一元化震源を用いた。また、多数の観測点の検測値を解析に用いることにより、特定の検測値に含まれる誤差が解析結果に与える影響を抑える効果、および観測点配置に偏りを生じさせない効果を期待した。さらに、震源の深度を決定するうえで重要な、震源直上付近の観測点として、JAEA の観測点の検測値を解析データに加えた。なお、対象地震は、観測網のほぼ中央に位置する上幌延観測点から 30km 程度までの範囲内で発生したものであり、前述の「3.1 解析対象範囲の選定方法」において、震源計算誤差を検討した地震と同じである。

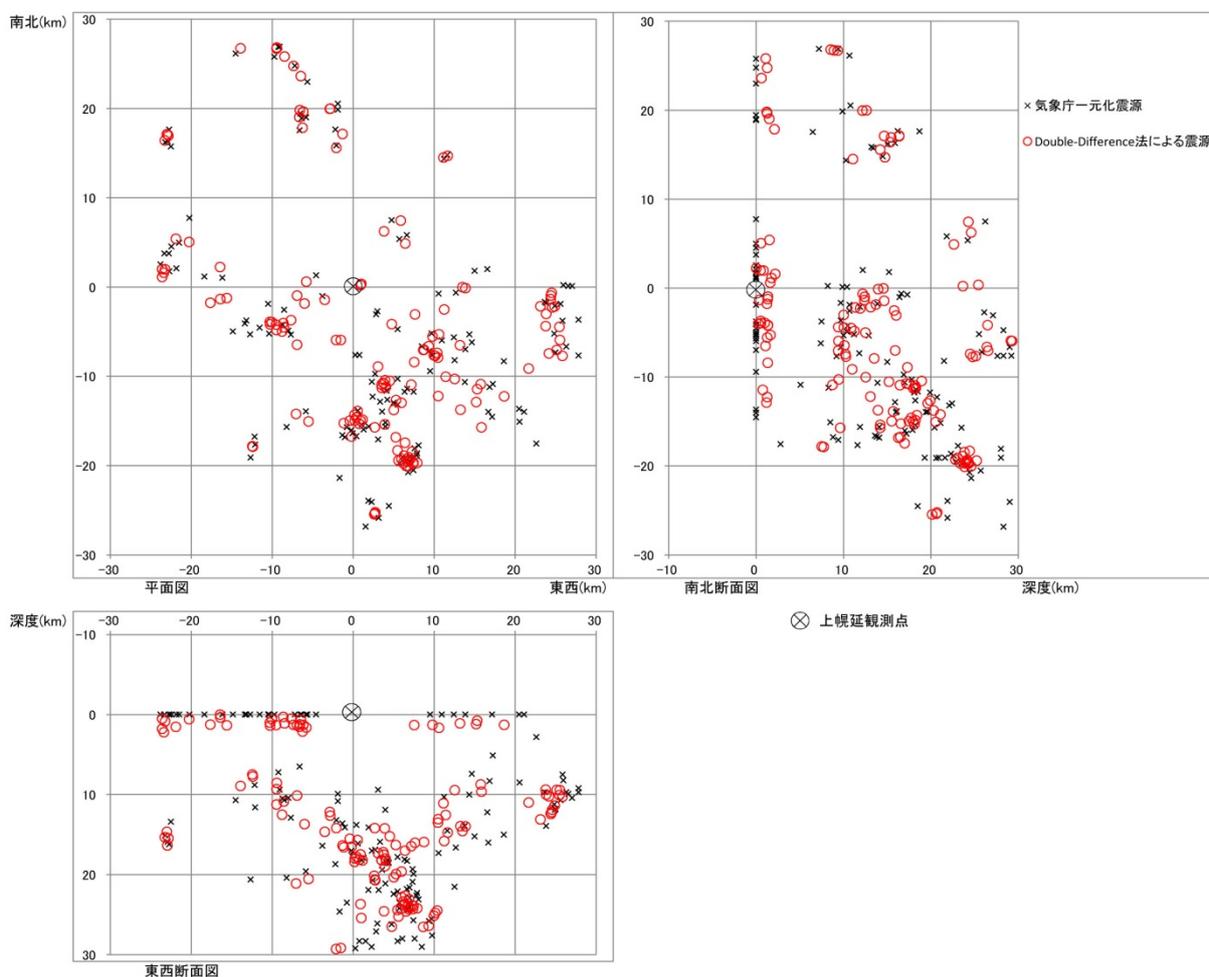


図 3.2.2-1 DD 法による震源分布と気象庁一元化震源の比較

DD 法を適用した結果、図 3.2.2-1 に示すような震源分布が得られた。また、図 3.2.2-1 には、気象庁一元化震源の分布もあわせて示した。これらの 2 つの震源分布は類似しており、また、DD 法による震源分布には、震源の集中するものが多く認められる。したがって、この DD 法の適用では、安定した位置精度を保ちながら、相対的な位置補正がなされていると推定される。ただし、

解析精度については、前述の MC 法と同様の検討が必要と思われる。また、深度 1km 程度に再決定された震源については、北海道北西部では堆積層が厚く（数 km）堆積し、その中では地震が起きにくいと考えられていることと矛盾している。この原因としては、初期値震源の深度が考えられる。つまり、初期値震源として用いた気象庁一元化震源には、解析上の問題から震源深さを 0km に固定しているものがある影響である。このような浅い震源の問題を解決するためには、これらの地震発生域のさらに西側に観測点を設置する、または **Depth phase** と呼ばれる後続波を観測して震源決定精度（特に震源深さ）を向上させることなどが考えられる。

4 観測期間における地震活動の特徴

4.1 震源分布

本研究の観測期間における北海道北部の震源分布を図 4.1-1 に示した。震源データには、一般的なものとして気象庁一元化震源を用いた。なお、地表に震源があるのは、解析上、地表に震源を固定しているためである。震源分布については、これまでに以下の特徴①②が報告されており、図 4.1-1 に示すように本研究の観測期間においても、同様の特徴が確認された。

① 1980 年代以降、北海道内における地震観測網の充実や臨時地震観測等によるデータの増加により、北海道北部地域では微小地震 ($M < 3$) が多く発生していることが明らかになってきた。これらの地震活動は神居古潭帯を含む日本海側で顕著であり、オホーツク海側の地震活動度はきわめて低い。北海道の北西部を南北に縦断する幅約 50km の地震帯が認められ、深さ 15~30km 付近に数多くの地震が発生している^{11) 20) 21)}。

② 幌延町の付近では、幌延町東部の周辺や、幌延町西部の天塩平野で地震が多く発生している。また、深さ 15~30 km 付近で地震が多く発生している²²⁾。

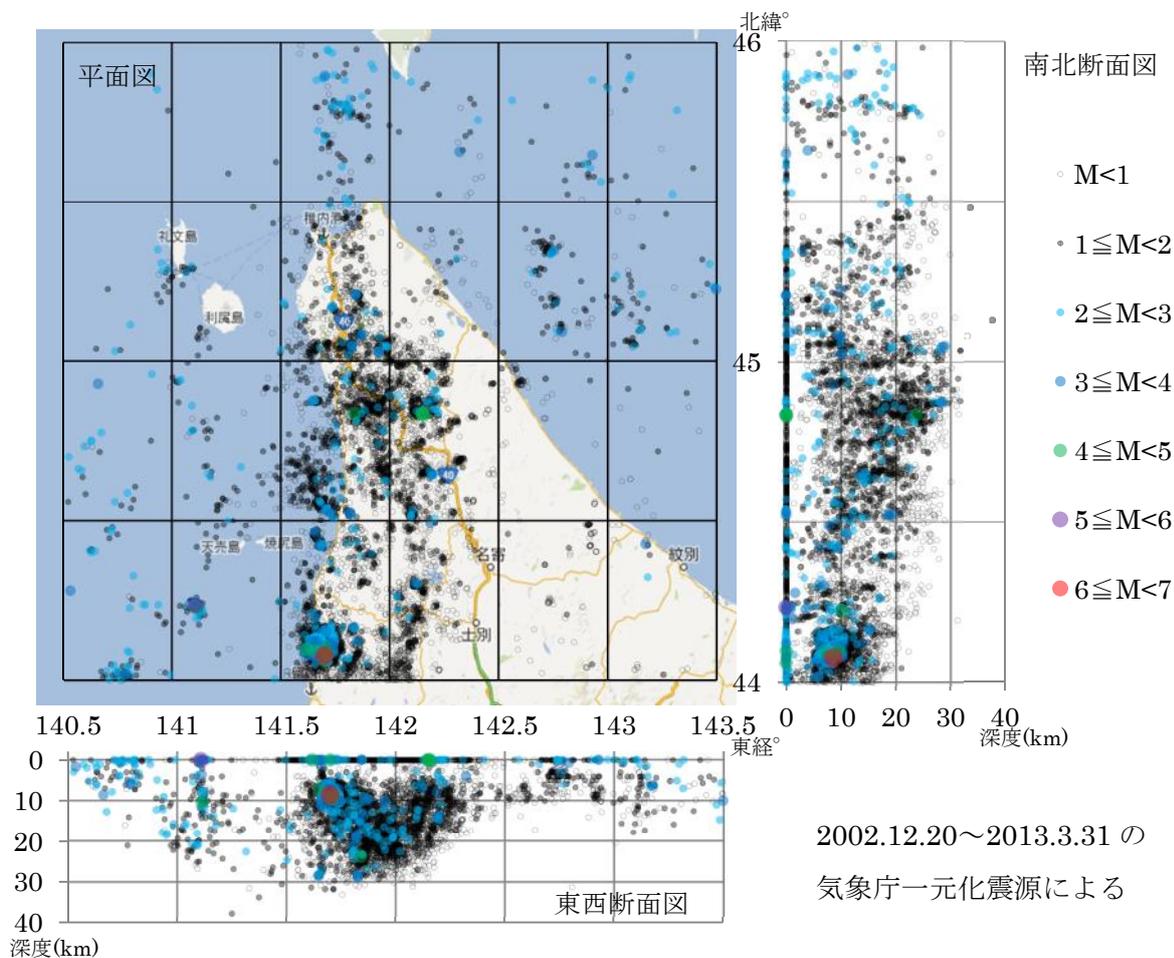


図 4.1-1 北海道北部の震源分布図

4.2 地震のメカニズム解

本研究の観測期間における地震活動の特徴の1つとして、メカニズム解をもとめた。メカニズム解は、地震を起こした断層の状態とその断層に働いていた応力の状態を表すものである。解析対象とする地震は、気象庁一元化震源から選択した。その震源位置の選定条件は、JAEAの観測点のデータが、メカニズム解の精度に大きく関与すると考えられる範囲とした。具体的には、観測網のほぼ中央に位置する上幌延観測点を基準とし、その観測点からの震央距離が10km以下、震源の深さが30kmより浅い地震を対象とした。地震規模の選定条件は、多くの観測点で初動が読み取れると予想されるM2以上とした。その結果、解析の対象となった地震は10個である。解析データには、(独)防災科学技術研究所によるイベント波形データ^{注5)}とJAEAの観測点のデータを使用した。対象期間は、2003年9月1日～2013年3月31日である。解析ツールには、初動の読み取り、および初動メカニズム解とそれに伴う震源位置再決定について、ソフトウェアSMDA2²³⁾ ^{注6)}を用いた。解析精度の向上を図るため、初動読み取りについて、波形が明瞭なもの、および震源に近い観測点のものを高精度なものとして、精度を3ランクに分類し、それぞれの初動に個別の重要度を与えた。その結果による、初動時刻、P波初動極性、初動精度を表4.2-1に示した。また、メカニズム解の解析に用いた他機関の観測点の位置を表4.2-2に示した。解析に用いる速度構造には、北海道北部地域の観測結果に基づく水平構造²⁰⁾を適用した。

解析により得られたメカニズム解と地震のタイプの分類を表4.2-3に示す。地震のタイプの分類はFlohlich²⁴⁾により行った。この分類では、メカニズム解のP軸(主圧力軸)のPlunge(軸と水平面とがなす角度)が90°～60°のものをNormal(正断層)、T軸(主張力軸)のPlungeが90°～50°のものをThrust(逆断層)、B軸(中立軸)のPlungeが90°～60°のものをStrike Slip(横ずれ断層)、これら以外のものをOdd(中間型)としている。分類の結果は表4.2-3に示すように、全体で10個のメカニズム解のうち、Thrustが最も多く8個、Oddが2個であり、NormalとStrike Slipは0個である。また、Oddに分類されたものは、Strike Slipに近い。このように、地震のタイプにThrustが多い特徴は、逆断層と解釈される地質構造が幌延地域にあること¹¹⁾と調和する。また、図4.2-1に、再決定の前後の震源分布、およびP軸の方位とPlungeの分布を震源球(下半球投影)とともに示した。さらに、図4.2-2には、P軸とT軸の方位およびPlungeの頻度を示した。図4.2-1および図4.2-2をみると、P軸の方位は270°程度(概ね西方向)が多く、そのPlungeは水平に近い傾向が認められる。この傾向は、幌延地域において想定されている現在の広域的な応力場が東西圧縮であること¹¹⁾と調和する。

ここで、いくつかの考察を付け加えておく。まず、解析に用いた観測点数やJAEAの観測点の

注5) (独)防災科学技術研究所がHi-net¹⁰⁾に加え大学や気象庁等より流通された連続波形データを蓄積すると共に地震波形データを切出しWEBで公開している。

注6) (独)防災科学技術研究所が強震観測網K-NET¹⁰⁾およびKiK-net¹⁰⁾で公開している強震記録を表示、解析するためのソフトウェア。

データがメカニズム解に与える影響を考察する。表 4.2-3 に、1 地震あたりの初動読み取り観測点数を示した。それらは JAEA の観測点数も含め 17～37 点であり、そのうち JAEA の観測点数（2～4 点）が占める割合は 10%程度である。なお、表 4.2-3 では、JAEA の観測点のデータの有無の違いを、①無、②有、として、①②で表示した。また、表 4.2-3 をみると、この違いによるメカニズム解の差は全般に小さい。このように、20～30 点程度の観測点数がある場合、10%程度の観測点数の変化はメカニズム解に大きな影響を与えていない。しかし、表 4.2-3 に示す地震番号 6 では、メカニズム解の解析に用いた観測点数が 30 以上と多いが、JAEA の観測点のデータを解析に追加することにより、地震のタイプが Normal から Thrust に変わるような、大きなメカニズム解の違いが生じた。この原因としては、図 4.2-3 に示すように、地震番号 6 では震源の西側に観測点が少なく観測点配置に偏りがあったこと、および JAEA の観測点が震源の最も近くにあったため、その観測データが解に大きく影響したことが考えられる。これらを踏まえると、メカニズム解の解析を行うにあたっては、観測点数に対する考慮だけでなく、解析対象地域に対する観測点の配置を考慮する必要がある。

つぎに、今回求めたメカニズム解の確からしさについて考察する。この考察は、既往のメカニズム解との比較によった。既往のメカニズム解は、確度があるものとして公開されている M3～M4 程度の 2 個の CMT 解^{注7)}である。比較の結果、既往の解と今回の解は、表 4.2-3 に示すように震源球が似ている。したがって、今回のこの 2 つのメカニズム解は、概ね確からしいと考えられる。なお、この比較による節面の走向・傾斜・すべり角の差は最大で 20° 程度である。また、ほかのメカニズム解も、解析には上記と同程度の観測点数と観測点配置を用いていることから、すくなくとも大区分としての地震のタイプは、概ね確からしいと推定される。ただし、図 4.2-3 の地震番号 6 のように、解析に用いた観測点の配置の差異により、解が大きく異なるものについては、さらに検討が必要である。

メカニズム解の利用については、メカニズム解は震源が分布する地域の広域的な応力場を反映するものと考えられており、幌延地域を震源とする地震のメカニズム解を蓄積することにより、応力場の変化に関する情報を得られる可能性がある。

注 7) (独) 防災科学技術研究所の F-net¹⁰⁾ による広帯域地震波形を用いた CMT 解。

表 4.2-1 メカニズム解に用いた初動データ(1/7)

*観測点コードに対応する他機関の観測点は表 4.2-2 に示す。

地震 番号	観測点名 あるいは コード	記録開始時刻	初動時刻 記録開始から (s)		P波初動 上下動成分 Up/Down	初動精度 a:良 b:中位 c:悪	
			P波	S波		P波	S波
1	N.WNNH	2004/4/11 11:03:27	26.21	34.19	U	c	c
1	N.SFNH	2004/4/11 11:03:27	24.35	30.69	D	b	c
1	WAKKA3	2004/4/11 11:03:27	23.30	28.99	U	b	c
1	HU.RBS	2004/4/11 11:03:27	27.06		D	b	
1	N.WNWH	2004/4/11 11:03:27	23.09	28.73	D	a	b
1	N.WNEH	2004/4/11 11:03:27	21.75	26.02	U	a	c
1	N.SFSH	2004/4/11 11:03:27	23.62	29.76	D	b	c
1	RISHIR	2004/4/11 11:03:27	24.06		D	a	
1	N.TYTH	2004/4/11 11:03:27	20.42	24.07	U	a	b
1	N.HTBH	2004/4/11 11:03:27	24.74	31.82	D	c	c
1	中間寒	2004/4/11 11:01:36	132.68	137.39	D	a	c
1	N.HNBH	2004/4/11 11:03:27	21.51		D	a	
1	北星園	2004/4/11 11:01:14	153.16	156.96	U	a	b
1	SOYAES	2004/4/11 11:03:27	26.53		D	c	
1	N.NTBH	2004/4/11 11:03:27	23.30		D	b	
1	N.TSOH	2004/4/11 11:03:27	21.48	25.91	D	a	b
1	N.UNNH	2004/4/11 11:03:27	25.83		D	c	
1	HU.TNK	2004/4/11 11:03:27	23.44	29.32	D	b	c
1	N.ONPH	2004/4/11 11:03:27	24.59		D	c	
1	N.NAWH	2004/4/11 11:03:27	25.14		D	b	
1	N.EBTH	2004/4/11 11:03:27	25.05	32.01	U	c	c
1	N.BFWH	2004/4/11 11:03:27	28.68		D	c	
1	SHOSAN	2004/4/11 11:03:27	28.60		U	c	
1	N.OREH	2004/4/11 11:03:27	33.42	46.75	U	c	c
2	N.WNNH	2004/5/5 22:09:35	26.54	34.81	U	c	c
2	N.SFNH	2004/5/5 22:09:35	23.67	28.78	U	b	b
2	N.WNWH	2004/5/5 22:09:35	24.39	30.36	D	b	c
2	N.WNEH	2004/5/5 22:09:35	21.68	25.69	D	c	c
2	N.SFSH	2004/5/5 22:09:35	22.53	27.64	D	b	b
2	RISHIR	2004/5/5 22:09:35	26.04		D	b	
2	N.TYTH	2004/5/5 22:09:35	20.96	24.69	U	b	c
2	N.HTBH	2004/5/5 22:09:35	23.69	29.31	D	c	c
2	北星園	2004/5/5 22:06:02	233.67	237.51	U	a	b
2	N.HNBH	2004/5/5 22:09:35	20.14	23.26	D	a	c
2	中間寒	2004/5/5 22:08:04	121.50	125.16	D	b	c
2	SOYAES	2004/5/5 22:09:35	25.60	32.45	D	b	b
2	N.NTBH	2004/5/5 22:09:35	22.15	27.41	D	a	b
2	N.TSOH	2004/5/5 22:09:35	21.39	25.71	U	a	b
2	N.UNNH	2004/5/5 22:09:35	25.01	31.14	D	b	c
2	HU.TNK	2004/5/5 22:09:35	23.15	28.21	D	a	c
2	N.ONPH	2004/5/5 22:09:35	24.04	30.30	D	b	c
2	N.NAWH	2004/5/5 22:09:35	25.35		U	c	

表 4.2-1 メカニズム解に用いた初動データ(2/7)

*観測点コードに対応する他機関の観測点は表 4.2-2 に示す。

地震 番号	観測点名 あるいは コード	記録開始時刻	初動時刻 記録開始から (s)		P波初動 上下動成分 Up/Down	初動精度 a:良 b:中位 c:悪	
			P波	S波		P波	S波
2	N.BFEH	2004/5/5 22:09:35	29.05	39.26	D	c	c
2	N.SWEH	2004/5/5 22:09:35	33.70	46.67	D	c	c
2	HU.TOI	2004/5/5 22:09:35	32.45	43.82	U	c	c
3	N.SFNH	2004/5/9 14:53:54	23.67	29.22	U	b	b
3	WAKKA3	2004/5/9 14:53:54	23.32	28.67	D	b	b
3	HU.RBS	2004/5/9 14:53:54	29.01		D	c	
3	N.WNWH	2004/5/9 14:53:54	24.39	30.88	D	b	b
3	N.WNEH	2004/5/9 14:53:54	21.69	25.71	D	a	b
3	N.SFSH	2004/5/9 14:53:54	22.50	27.61	D	b	b
3	RISHIR	2004/5/9 14:53:54	26.02	34.08	D	b	c
3	N.TYTH	2004/5/9 14:53:54	20.94	24.72	U	a	b
3	N.HTBH	2004/5/9 14:53:54	23.47	29.28	D	c	c
3	中間寒	2004/5/9 14:49:54	260.45	264.06	D	c	c
3	N.HNBH	2004/5/9 14:53:54	20.11	23.27	D	a	b
3	北星園	2004/5/9 14:48:34	340.63	344.51	U	a	b
3	SOYAES	2004/5/9 14:53:54	25.54	32.45	D	b	b
3	N.NTBH	2004/5/9 14:53:54	22.11	26.99	D	a	b
3	N.TSOH	2004/5/9 14:53:54	21.35	25.58	U	a	b
3	N.UNNH	2004/5/9 14:53:54	24.96	31.26	D	b	c
3	HU.TNK	2004/5/9 14:53:54	23.11	28.56	D	c	c
3	N.ONPH	2004/5/9 14:53:54	23.97	30.22	D	b	b
3	N.UNSH	2004/5/9 14:53:54	27.08	35.11	D	c	c
3	N.NAWH	2004/5/9 14:53:54	25.22		D	b	
3	N.BFEH	2004/5/9 14:53:54	29.08		D	c	
3	N.OUMH	2004/5/9 14:53:54	31.78	43.22	D	c	c
3	N.BFWH	2004/5/9 14:53:54	29.08		D	c	
3	YAGISH	2004/5/9 14:53:54	29.61	38.84	U	c	c
3	HU.TUR	2004/5/9 14:53:54	30.59	41.25	U	c	c
3	SHOSAN	2004/5/9 14:53:54	29.54	39.78	U	c	c
3	N.OPEH	2004/5/9 14:53:54	37.09	52.48	D	c	c
3	N.OREH	2004/5/9 14:53:54	34.47		D	c	
4	N.WNNH	2004/5/9 19:18:07	27.25	35.45	U	c	c
4	N.SFNH	2004/5/9 19:18:07	24.38	29.86	U	c	b
4	WAKKA3	2004/5/9 19:18:07	24.07	29.56	D	b	b
4	HU.RBS	2004/5/9 19:18:07	29.75		D	b	
4	N.WNWH	2004/5/9 19:18:07	25.11	31.71	D	b	b
4	N.WNEH	2004/5/9 19:18:07	22.40	26.36	U	a	b
4	N.SFSH	2004/5/9 19:18:07	23.24	28.32	D	a	b
4	RISHIR	2004/5/9 19:18:07	26.78	34.79	D	c	c
4	N.TYTH	2004/5/9 19:18:07	21.70	25.44	U	a	b
4	N.HTBH	2004/5/9 19:18:07	24.36	30.01	D	c	b
4	北星園	2004/5/9 19:12:34	354.40	358.23	U	a	b

表 4.2-1 メカニズム解に用いた初動データ(3/7)

*観測点コードに対応する他機関の観測点は表 4.2-2 に示す。

地震 番号	観測点名 あるいは コード	記録開始時刻	初動時刻 記録開始から (s)		P波初動 上下動成分 Up/Down	初動精度 a:良 b:中位 c:悪	
			P波	S波		P波	S波
4	N.HNBH	2004/5/9 19:18:07	20.87	24.02	D	a	b
4	中間寒	2004/5/9 19:13:54	274.21	277.89	D	a	b
4	SOYAES	2004/5/9 19:18:07	26.31	33.16	D	b	b
4	N.NTBH	2004/5/9 19:18:07	22.88	27.95	D	a	b
4	N.TSOH	2004/5/9 19:18:07	22.16	26.49	U	a	b
4	N.UNNH	2004/5/9 19:18:07	25.74	32.32	D	b	b
4	HU.TNK	2004/5/9 19:18:07	23.89	29.32	D	b	b
4	N.ONPH	2004/5/9 19:18:07	24.78	31.09	D	b	b
4	N.UNSH	2004/5/9 19:18:07	27.88	35.85	D	c	c
4	N.NAWH	2004/5/9 19:18:07	26.00		D	b	
4	N.EBTH	2004/5/9 19:18:07	26.63	33.91	U	c	c
4	N.BFEH	2004/5/9 19:18:07	29.85	39.92	D	b	c
4	N.OUMH	2004/5/9 19:18:07	32.59		D	c	
4	N.BFWH	2004/5/9 19:18:07	29.77		D	c	
4	HU.TUR	2004/5/9 19:18:07	31.21	41.94	D	c	c
4	SHOSAN	2004/5/9 19:18:07	30.28	40.42	U	c	c
4	N.SWEH	2004/5/9 19:18:07	34.45	47.36	D	b	b
4	N.SWWH	2004/5/9 19:18:07	33.85		D	b	
4	HU.TOI	2004/5/9 19:18:07	33.12	44.82	D	c	c
5	N.WNNH	2006/5/30 4:17:20	114.32	121.62	D	c	b
5	N.SFNH	2006/5/30 4:17:20	111.84	117.28	D	b	b
5	WAKKA3	2006/5/30 4:17:20	111.26	116.19	D	a	b
5	HU.RBS	2006/5/30 4:17:20	116.93	125.82	D	c	c
5	N.WNWH	2006/5/30 4:17:20	112.14	117.88	D	a	b
5	N.WNEH	2006/5/30 4:17:20	109.71	113.37	D	a	b
5	N.SFSH	2006/5/30 4:17:20	110.97	116.13	D	c	c
5	RISHIR	2006/5/30 4:17:20	114.01	121.58	D	a	c
5	N.TYTH	2006/5/30 4:17:20	109.19		D	a	
5	N.HTBH	2006/5/30 4:17:20	112.22	118.49	D	a	c
5	北進	2006/5/30 4:17:43	85.47	88.44	U	a	c
5	北星園	2006/5/30 4:13:16	353.21	357.10	U	a	b
5	N.HNBH	2006/5/30 4:17:20	109.19	112.65	U	a	b
5	SOYAES	2006/5/30 4:17:20	114.42	122.01	D	c	c
5	N.NTBH	2006/5/30 4:17:20	111.20	116.67	D	a	b
5	N.TSOH	2006/5/30 4:17:20	110.46	115.00	U	a	c
5	N.UNNH	2006/5/30 4:17:20	113.94		D	a	
5	HU.TNK	2006/5/30 4:17:20	112.17	118.10	D	a	c
5	N.ONPH	2006/5/30 4:17:20	113.06	119.74	D	a	c
5	N.UNSH	2006/5/30 4:17:20	116.02		D	c	
5	N.NAWH	2006/5/30 4:17:20	114.20	122.36	D	c	c
5	N.EBTH	2006/5/30 4:17:20	114.71	122.28	U	c	c
5	N.BFNH	2006/5/30 4:17:20	115.97		D	c	

表 4.2-1 メカニズム解に用いた初動データ(4/7)

*観測点コードに対応する他機関の観測点は表 4.2-2 に示す。

地震 番号	観測点名 あるいは コード	記録開始時刻	初動時刻 記録開始から (s)		P波初動 上下動成分 Up/Down	初動精度 a:良 b:中位 c:悪	
			P波	S波		P波	S波
5	N.BFEH	2006/5/30 4:17:20	117.92		D	c	
5	N.OUMH	2006/5/30 4:17:20	120.75		D	c	
5	N.BFWH	2006/5/30 4:17:20	117.66		D	c	
5	SHOSAN	2006/5/30 4:17:20	118.28	128.77	U	c	c
5	N.OPEH	2006/5/30 4:17:20	125.71	141.34	D	c	c
5	N.SWEH	2006/5/30 4:17:20	122.27	135.78	D	c	c
5	N.SWWH	2006/5/30 4:17:20	121.83		D	c	
5	HU.TOI	2006/5/30 4:17:20	121.06		U	c	
5	N.OREH	2006/5/30 4:17:20	123.22		U	c	
5	N.ORWH	2006/5/30 4:17:20	124.58		U	c	
6	N.WNNH	2008/10/4 16:23:59	27.86		D	c	
6	N.SFNH	2008/10/4 16:23:59	25.03	31.01	D	b	c
6	WAKKA3	2008/10/4 16:23:59	24.40	30.37	D	c	c
6	N.WNWH	2008/10/4 16:23:59	25.42	32.00	D	c	c
6	N.SFSH	2008/10/4 16:23:59	23.78		D	b	
6	RISHIR	2008/10/4 16:23:59	27.02	34.84	D	c	c
6	N.TYTH	2008/10/4 16:23:59	21.10	24.69	U	a	c
6	N.HTBH	2008/10/4 16:23:59	24.92	31.15	D	b	c
6	北進	2008/10/4 16:19:10	308.46	310.57	U	a	c
6	北星園	2008/10/4 16:19:28	291.32	294.47	U	a	c
6	N.HNBH	2008/10/4 16:23:59	20.73	23.89	D	a	c
6	上幌延	2008/10/4 16:22:50	88.37	90.43	U	a	c
6	中間寒	2008/10/4 16:23:15	64.84	68.39	D	a	c
6	SOYAES	2008/10/4 16:23:59	27.00	34.68	D	c	c
6	N.NTBH	2008/10/4 16:23:59	22.93	28.24	D	a	c
6	N.TSOH	2008/10/4 16:23:59	21.31	25.10	U	a	b
6	N.UNNH	2008/10/4 16:23:59	26.34	33.93	U	c	c
6	HU.TNK	2008/10/4 16:23:59	23.68	29.54	U	b	c
6	N.ONPH	2008/10/4 16:23:59	25.06		U	c	
6	N.UNSH	2008/10/4 16:23:59	28.46		U	c	
6	N.NAWH	2008/10/4 16:23:59	26.15	33.52	U	c	c
6	N.EBTH	2008/10/4 16:23:59	26.44	33.91	U	c	c
6	N.BFNH	2008/10/4 16:23:59	27.87		U	c	
6	N.BFEH	2008/10/4 16:23:59	30.17		U	c	
6	N.OUMH	2008/10/4 16:23:59	33.20		U	c	
6	N.BFWH	2008/10/4 16:23:59	29.78		U	c	
6	N.NYRH	2008/10/4 16:23:59	30.97		U	c	
6	SHOSAN	2008/10/4 16:23:59	30.42	40.58	U	b	c
6	N.OPEH	2008/10/4 16:23:59	38.67	54.31	U	c	c
6	HU.MSR	2008/10/4 16:23:59	31.96		U	c	
6	N.SWEH	2008/10/4 16:23:59	34.70	48.33	U	c	c
6	N.SWWH	2008/10/4 16:23:59	34.24		U	c	

表 4.2-1 メカニズム解に用いた初動データ(5/7)

*観測点コードに対応する他機関の観測点は表 4.2-2 に示す。

地震 番号	観測点名 あるいは コード	記録開始時刻	初動時刻 記録開始から (s)		P波初動 上下動成分 Up/Down	初動精度 a:良 b:中位 c:悪	
			P波	S波		P波	S波
6	N.HONH	2008/10/4 16:23:59	32.68		U	c	
6	N.HOCH	2008/10/4 16:23:59	34.61	50.23	U	c	c
6	N.OREH	2008/10/4 16:23:59	35.42	49.06	U	c	c
6	N.ORWH	2008/10/4 16:23:59	36.95		U	c	
6	N.WSMH	2008/10/4 16:23:59	36.57		U	c	
7	N.SFNH	2008/10/4 16:24:37	24.77	30.65	D	a	c
7	WAKKA3	2008/10/4 16:24:37	24.09	29.93	D	c	c
7	RISHIR	2008/10/4 16:24:37	26.48		D	c	
7	N.TYTH	2008/10/4 16:24:37	20.81	24.36	U	b	c
7	北進	2008/10/4 16:19:10	346.14	348.28	U	a	c
7	北星園	2008/10/4 16:19:28	328.99	332.11	U	a	c
7	N.HNBH	2008/10/4 16:24:37	20.42	23.63	D	c	c
7	上幌延	2008/10/4 16:22:50	126.00	128.02	U	a	c
7	中間寒	2008/10/4 16:23:15	102.48	105.96	D	a	c
7	SOYAES	2008/10/4 16:24:37	26.63	34.13	D	c	c
7	N.NTBH	2008/10/4 16:24:37	22.74	27.52	D	a	c
7	N.TSOH	2008/10/4 16:24:37	21.06	24.66	D	c	c
7	HU.TNK	2008/10/4 16:24:37	23.39	28.93	U	c	c
7	N.NAWH	2008/10/4 16:24:37	25.84	33.36	U	a	c
7	SHOSAN	2008/10/4 16:24:37	30.11		U	c	
7	HU.MSR	2008/10/4 16:24:37	31.58		U	c	
7	N.SWEH	2008/10/4 16:24:37	34.69		U	c	
8	N.WNNH	2009/9/11 14:01:23	28.04	35.90	D	c	c
8	N.SFNH	2009/9/11 14:01:23	25.69	31.48	D	b	c
8	WAKKA3	2009/9/11 14:01:23	24.51	29.67	D	c	c
8	N.WNEH	2009/9/11 14:01:23	22.60	26.35	D	a	c
8	N.SFSH	2009/9/11 14:01:23	25.10	30.57	D	b	c
8	RISHIR	2009/9/11 14:01:23	27.14	34.68	D	c	c
8	N.TYTH	2009/9/11 14:01:23	21.05	23.59	U	a	b
8	N.HTBH	2009/9/11 14:01:23	26.71	33.54	D	b	c
8	北進	2009/9/11 13:59:51	112.54	114.64	U	a	c
8	北星園	2009/9/11 13:59:40	126.21	130.68	D	a	b
8	N.HNBH	2009/9/11 14:01:23	22.88	27.09	D	a	c
8	中間寒	2009/9/11 13:59:35	126.21	130.69	D	b	b
8	SOYAES	2009/9/11 14:01:23	28.90	37.77	D	b	c
8	N.TSOH	2009/9/11 14:01:23	23.69	28.55	U	b	c
8	N.UNNH	2009/9/11 14:01:23	28.68	36.49	U	c	c
8	HU.TNK	2009/9/11 14:01:23	26.18	32.91	U	b	b
8	N.ONPH	2009/9/11 14:01:23	27.51	35.23	U	b	c
8	N.UNSH	2009/9/11 14:01:23	30.70		U	c	
8	N.NAWH	2009/9/11 14:01:23	28.44	36.89	U	c	c
8	N.EBTH	2009/9/11 14:01:23	28.52	36.54	U	c	c

表 4.2-1 メカニズム解に用いた初動データ(6/7)

*観測点コードに対応する他機関の観測点は表 4.2-2 に示す。

地震 番号	観測点名 あるいは コード	記録開始時刻	初動時刻 記録開始から (s)		P波初動 上下動成分 Up/Down	初動精度 a:良 b:中位 c:悪	
			P波	S波		P波	S波
8	N.BFNH	2009/9/11 14:01:23	30.49		U	c	
8	N.BFEH	2009/9/11 14:01:23	32.54		U	c	
8	N.OUMH	2009/9/11 14:01:23	35.34		U	c	
8	N.BFWH	2009/9/11 14:01:23	32.12	44.72	U	c	c
8	SHOSAN	2009/9/11 14:01:23	32.35	42.94	U	c	c
8	HU.MSR	2009/9/11 14:01:23	33.97		U	c	
8	N.SWWH	2009/9/11 14:01:23	36.56		U	c	
8	N.HONH	2009/9/11 14:01:23	34.69	49.53	U	c	c
8	HU.TOI	2009/9/11 14:01:23	35.16	47.51	D	c	c
9	N.SFNH	2009/9/11 14:08:18	25.27	31.03	D	b	c
9	WAKKA3	2009/9/11 14:08:18	24.06	29.24	D	b	c
9	HU.RBS	2009/9/11 14:08:18	29.58	38.56	D	c	c
9	N.WNWH	2009/9/11 14:08:18	24.57	30.29	D	c	c
9	N.WNEH	2009/9/11 14:08:18	22.17	25.73	D	b	b
9	N.SFSH	2009/9/11 14:08:18	24.66	30.01	D	b	c
9	RISHIR	2009/9/11 14:08:18	26.65	34.19	D	b	b
9	N.TYTH	2009/9/11 14:08:18	20.56	23.09	U	a	b
9	N.HTBH	2009/9/11 14:08:18	26.29	32.44	D	b	c
9	北進	2009/9/11 14:05:51	167.07	169.19	D	a	c
9	北星園	2009/9/11 14:04:49	229.56	232.34	U	a	b
9	N.HNBH	2009/9/11 14:08:18	22.44	26.42	D	b	c
9	中間寒	2009/9/11 14:05:40	180.79	185.31	D	b	c
9	SOYAES	2009/9/11 14:08:18	28.53	36.87	D	c	c
9	N.NTBH	2009/9/11 14:08:18	24.69	30.73	D	b	c
9	N.TSOH	2009/9/11 14:08:18	23.23	27.89	U	b	c
9	N.UNNH	2009/9/11 14:08:18	27.85	35.89	D	c	c
9	HU.TNK	2009/9/11 14:08:18	25.71	32.46	U	c	c
9	N.ONPH	2009/9/11 14:08:18	27.05	34.61	U	c	c
9	N.UNSH	2009/9/11 14:08:18	30.10		D	c	
9	N.NAWH	2009/9/11 14:08:18	27.98	36.36	U	c	c
9	N.BFNH	2009/9/11 14:08:18	29.71		U	c	
9	N.BFEH	2009/9/11 14:08:18	31.99		U	c	
9	N.OUMH	2009/9/11 14:08:18	34.90	47.90	U	c	c
9	N.BFWH	2009/9/11 14:08:18	31.62		U	c	
9	N.NYRH	2009/9/11 14:08:18	32.69		U	c	
9	YAGISH	2009/9/11 14:08:18	31.03	41.17	D	c	c
9	N.OPWH	2009/9/11 14:08:18	37.86		U	c	
9	HU.TUR	2009/9/11 14:08:18	32.09	42.85	D	c	c
9	SHOSAN	2009/9/11 14:08:18	31.88	42.51	D	c	c
9	HU.MSR	2009/9/11 14:08:18	33.27		U	c	
9	N.SWEH	2009/9/11 14:08:18	36.46	50.75	U	c	c
9	N.SWWH	2009/9/11 14:08:18	35.82		U	c	

表 4.2-1 メカニズム解に用いた初動データ(7/7)

*観測点コードに対応する他機関の観測点は表 4.2-2 に示す。

地震 番号	観測点名 あるいは コード	記録開始時刻	初動時刻 記録開始から (s)		P波初動 上下動成分 Up/Down	初動精度 a:良 b:中位 c:悪	
			P波	S波		P波	S波
9	N.HONH	2009/9/11 14:08:18	34.20	48.35	U	c	c
9	HU.TOI	2009/9/11 14:08:18	34.64	46.61	D	c	c
9	N.HOCH	2009/9/11 14:08:18	36.33	50.93	U	c	c
9	N.OREH	2009/9/11 14:08:18	36.84	51.57	U	c	c
10	N.SFNH	2011/9/10 14:32:30	24.82	30.70	U	b	b
10	WAKKA3	2011/9/10 14:32:30	24.22	29.85	D	c	c
10	N.WNWH	2011/9/10 14:32:30	25.38		D	c	
10	N.WNEH	2011/9/10 14:32:30	22.29	26.51	U	c	c
10	N.SFSH	2011/9/10 14:32:30	23.58	28.91	D	b	c
10	N.TYTH	2011/9/10 14:32:30	21.12	24.36	D	b	c
10	N.HTBH	2011/9/10 14:32:30	24.76	30.83	D	a	c
10	北進	2011/9/10 14:29:57	172.52	174.58	U	a	c
10	N.HNBH	2011/9/10 14:32:30	20.75	23.88	D	b	c
10	上幌延	2011/9/10 14:31:30	79.67	81.79	U	a	c
10	中間寒	2011/9/10 14:29:03	227.95	231.45	D	b	c
10	N.NTBH	2011/9/10 14:32:30	23.03	28.46	D	c	c
10	N.TSOH	2011/9/10 14:32:30	21.82		U	c	
10	N.UNNH	2011/9/10 14:32:30	26.54	33.97	U	c	c
10	HU.TNK	2011/9/10 14:32:30	24.15	29.94	D	c	c
10	N.NAWH	2011/9/10 14:32:30	26.47	34.16	U	b	c
10	N.BFWH	2011/9/10 14:32:30	30.11		U	c	
10	HU.TUR	2011/9/10 14:32:30	31.51		D	c	
10	SHOSAN	2011/9/10 14:32:30	30.83	40.97	U	c	c

表 4.2-2 メカニズム解に用いた他機関の観測点の位置

観測点 コード	観測点の 緯度°	観測点の 経度°	観測点の 標高 (m)	備考
N.WNNH	45.4883	141.885	-159	Wakkanai-N
HU.RBN	45.4556	140.969	35	Rebun
N.SFNH	45.3346	142.1185	-82	Sarufutsu-N
WAKKA3	45.3183	141.8937	60	Wakkanaikeihoku
HU.RBS	45.2778	141.0346	25	Rebun-S
N.WNWH	45.2531	141.6334	-131	Wakkanai-W
N.WNEH	45.2303	141.8806	-175	Wakkanai-E
N.SFSH	45.2163	142.2254	-97	Sarufutsu-S
RISHIR	45.14	141.3073	27	Rishirito
N.TYTH	45.1019	141.7834	-122	Toyotomi
N.HTBH	45.1001	142.4307	-145	Hamatonbetsu
N.HNBH	45.0167	142.0795	-72	Horonobe
SOYAES	44.9612	142.5803	10	Soyaesashi
N.NTBH	44.9387	142.2247	-62	Nakatonbetsu
N.TSOH	44.8948	141.9251	-99	Teshio
N.UNNH	44.857	142.4868	-82	Utanobori-N
HU.TNK	44.778	142.0793	60	Teshionakagawa
N.ONPH	44.7745	142.2542	-37	Otoineppu
N.UNSH	44.7433	142.6039	-29	Utanobori-S
N.NAWH	44.6617	142.0528	-41	Nakagawa
N.EBTH	44.6359	141.8187	-191	Enbetsu
N.BFNH	44.5973	142.3036	-52	Bifuka-N
N.BFEH	44.5509	142.5736	170	Bifuka-E
N.OUMH	44.5276	142.8444	3	Oumu
N.BFWH	44.4732	142.2725	-2	Bifuka-W
N.NYRH	44.4376	142.4056	-18	Nayoro
YAGISH	44.4292	141.4227	35	Yagishirito
N.OPWH	44.4234	143.0264	-77	Okoppe-W
HU.TUR	44.4162	141.3146	20	Teuri
SHOSAN	44.402	141.8492	110	Shosanbetsu
N.OPEH	44.3843	143.2407	-72	Okoppe-E
HU.MSR	44.3668	142.2687	295	Moshiri
N.SWEH	44.3207	142.7656	98	Shimokawa-E
N.SWWH	44.2921	142.6303	-142	Shimokawa-W
N.HONH	44.2803	142.1594	159	Horokanai-N
HU.TOI	44.2247	141.6789	35	Tomamae
HU.RUS	44.1067	145.2436	70	Rausu
N.OREH	44.0974	141.9621	0	Obira-E
N.ORWH	44.0254	141.7876	-86	Obira-W
N.WSMH	43.9754	142.2834	89	Wassamu
データは前述のイベント波形データ ^{注5)} による				

表 4.2-3 上幌延観測点付近で発生した地震のメカニズム解

地震 番号	気象庁一元化震源 マグニ チュード		気象庁一元化震源 あるいは再決定震源 北緯° 東経° 深さ (km)	解析データ	P軸			T軸			B軸			節面1			節面2			震源球(下半球投影)		地震のタイプ	初動跡 み取り観 測点数				
	発震時刻	発震時刻			方位°	Plunge°	方位°	Plunge°	方位°	Plunge°	方位°			Plunge°	すべり 角°	すべり 角°	解析データ ①										
1	2004-04-11 11:03:43.17	2.3	45.034 141.828 27.9	一元化震源	41.52	34.36	47.04	74.00	48.00	170.00	170.73	82.59	42.44														22
				①Web公開波形	295.11	22.45	41.52	34.36	47.04	74.00	48.00	170.00	170.73	82.59	42.44												
2	2004-05-05 22:09:52.11	2.0	45.029 141.816 26.6	② ①+JAEA	290.95	16.93	29.98	27.27	57.12	69.00	58.00	172.00	32.25														24
				一元化震源	290.95	16.93	29.98	27.27	57.12	69.00	58.00	172.00	32.25														
3	2004-05-09 14:54:11.11	2.6	45.050 141.986 19.2	①Web公開波形	288.76	32.82	34.82	37.97	76.00	38.00	178.00	52.02															19
				② ①+JAEA	290.79	29.42	39.27	29.42	46.00	75.00	46.00	180.00	345.00	90.00	316.00												
4	2004-05-09 19:18:24.85	2.2	45.045 141.990 19.1	一元化震源	22.72	51.94	44.20	37.16	74.00	40.00	160.00	77.30	51.74														25
				①Web公開波形	290.27	21.74	50.96	52.01	29.45	61.00	35.00	149.00	177.21	72.82	59.03												
5	2006-05-30 04:19:05.35	2.3	45.048 141.976 18.2	② ①+JAEA	298.62	19.06	54.85	51.99	31.47	88.00	38.00	148.00	56.47														30
				一元化震源	298.62	19.06	54.85	51.99	31.47	88.00	38.00	148.00	184.22	70.96	56.47												
6	2008-10-04 16:24:17.39	3.5	45.077 141.951 22.6	①Web公開波形	120.24	11.62	3.67	65.31	21.47	48.00	60.00	115.00	53.80														33
				② ①+JAEA	120.24	11.62	3.67	65.31	21.47	48.00	60.00	115.00	185.00	38.29	53.80												
7	2008-10-04 16:24:55.13	3.5	45.074 141.946 20.8	一元化震源	3.07	29.87	63.23	26.57	49.00	48.00	127.00	56.24															37
				①Web公開波形	120.24	11.62	3.67	65.31	21.47	48.00	60.00	115.00	185.00	38.29	53.80												
8	2009-09-11 14:01:42.54	3.4	45.028 141.952 10.2	①Web公開波形	69.68	188.25	15.89	12.33	88.00	62.00	256.00	295.97	31.05	294.47													26
				② ①+JAEA	265.96	10.88	159.30	56.17	31.58	201.00	63.00	126.00	323.00	43.88	40.92												
9	2009-09-11 14:08:37.02	3.7	45.027 141.950 10.1	一元化震源	4.70	117.06	82.27	6.12	160.00	50.00	98.00	80.58															35
				①Web公開波形	238.19	12.40	125.52	60.30	26.52	298.00	40.00	46.00	169.58	62.46	120.24												
10	2011-09-10 14:32:48.38	2.2	45.084 141.876 9.7	①Web公開波形	5.76	124.11	49.93	33.40	288.00	39.00	29.00	72.24	125.31														38
				② ①+JAEA	262.77	32.14	111.46	54.39	13.69	313.00	18.00	40.00	184.41	78.54	103.98												
10	2011-09-10 14:32:48.38	2.2	45.080 141.866 9.9	一元化震源	2.96	351.06	78.34	11.27	146.00	49.00	75.00	348.22	106.58														17
				①Web公開波形	279.88	27.21	138.68	56.58	17.88	333.00	24.00	41.00	204.55	74.52	108.57												

B軸のPlunge (δ_B)はP軸およびT軸のPlunge (δ_P および δ_T)より、 $\sin^2 \delta_B = \sin^2 \delta_P + \sin^2 \delta_T$ の関係から求めた。

既往のCMT解は防災科学技術研究所F-net Project による

URL <http://www.fnet.bosai.go.jp/event/tdmt/2009/20090911050000/update1/index-j.html>

URL <http://www.fnet.bosai.go.jp/event/tdmt/2009/20090911050700/update1/index-j.html>

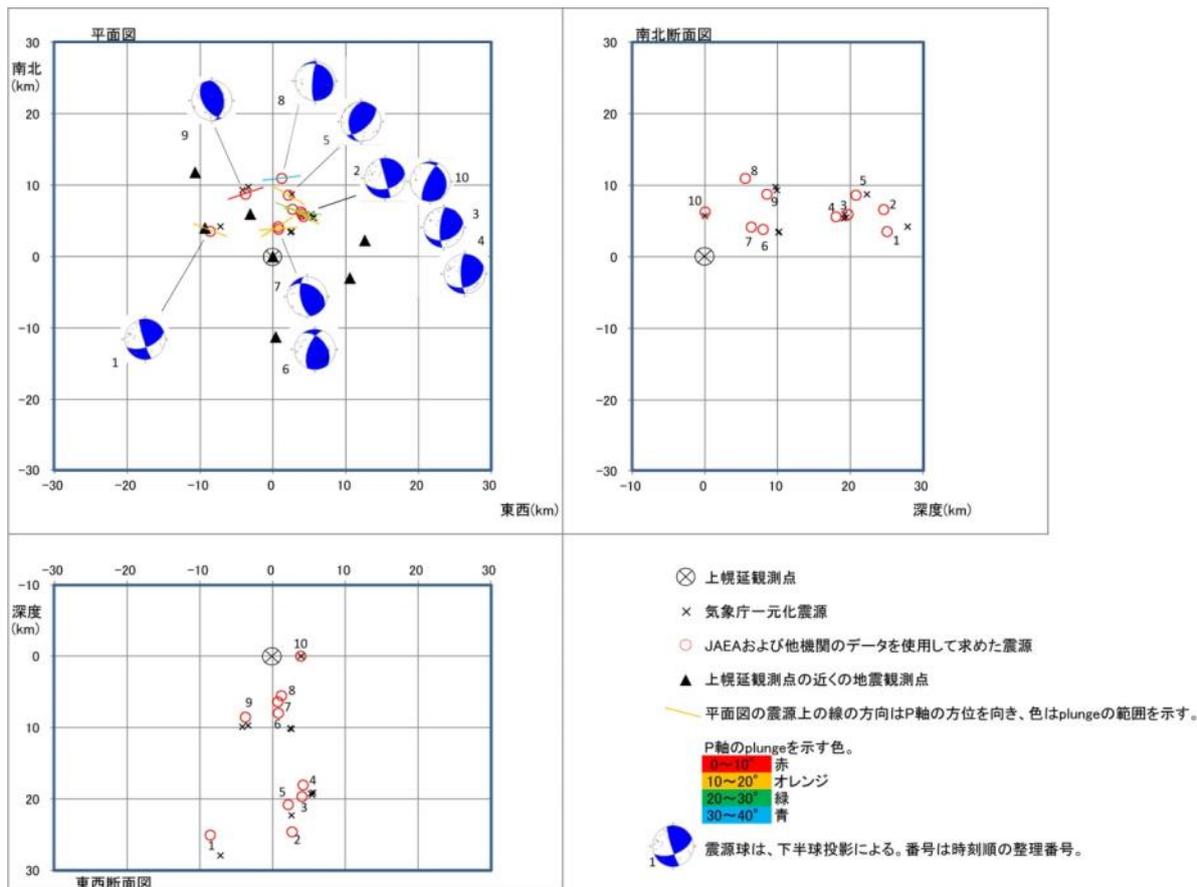


図 4.2-1 震源分布およびメカニズム解の P 軸の方位と Plunge の分布

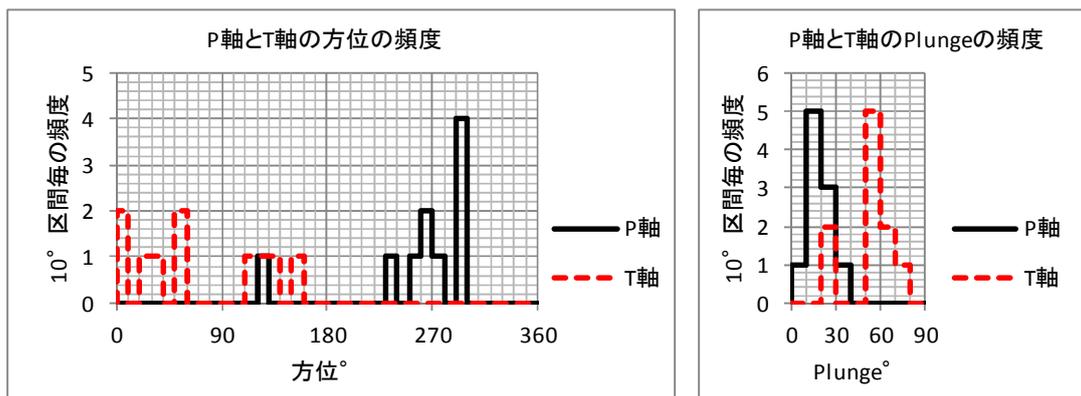


図 4.2-2 メカニズム解の P 軸と T 軸の方位および Plunge の頻度

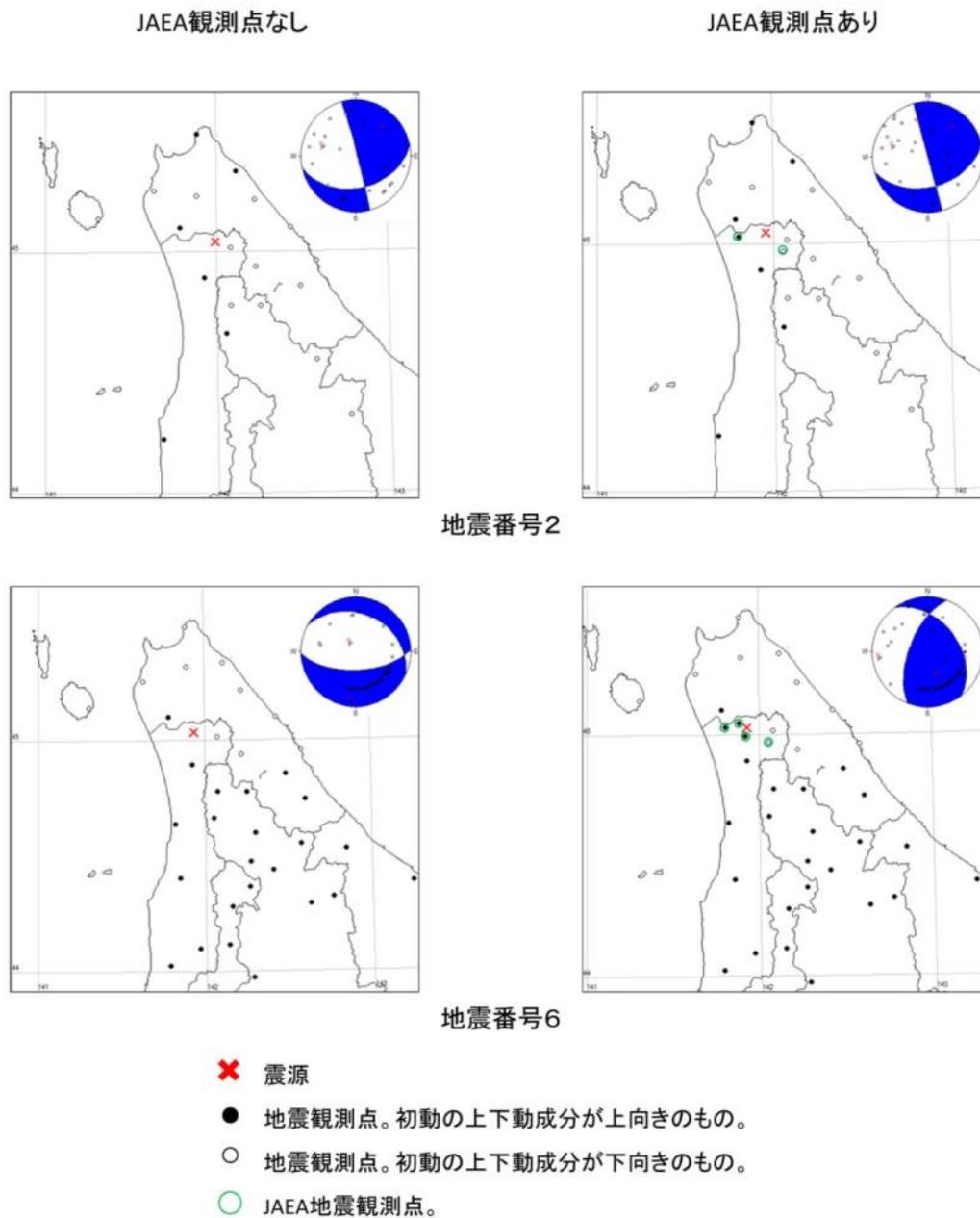


図 4.2-3 JAEA 観測点の有無による観測点の分布と震源球の比較

5 まとめ

地震活動と地質環境の長期安定性との関連性を検討するためには、地震の観測技術と解析技術が必要である。本研究は、それらの技術について幌延地域における事例研究を行ったものである。

その結果、地下浅部の微小な地震を観測対象とする観測計画立案と観測網整備を経て、多雪寒冷および比較的軟弱な地盤環境下における観測データを約 9 年間にわたり蓄積した。また、観測設備のメンテナンス方法を取得した。観測技術については、観測点の性能を検討した結果、各観測点の観測データは対象とする地震の震源解析に必要な水準を有しており、地震を検出できる加速度が 1mGal 程度であることを確認した。また、震源解析に有効な範囲選定の一例として、微小な地震を含む気象庁一元化震源の全ての地震を検出できる範囲を、観測点から約 9km に選定した。なお、この範囲は配置した観測点の間隔と同程度であった。これらを評価すると観測計画および観測データは妥当であったといえる。一方、解析技術については、本研究の観測データを用いた高精度な震源決定解析の試みに、MC 法を適用することにより、MC 法には解析条件が多数あることを確認した。また、MC 法は解析対象を震源が集中する範囲とした場合に、適用性が高いことを推定した。さらに、DD 法の適用により、解析範囲が観測網付近のとき、結果の信頼性を向上させる条件の一例を示した。ただし、深度 1km 程度に再決定された震源については、北海道北西部では堆積層が厚く（数 km）堆積し、このような場所では地震が起きにくいと考えられていることと矛盾していた。観測期間中の地震活動については、震源分布の特徴の概要を把握することができた。また、この期間中のいくつかの地震について解析したメカニズム解の特徴は、周辺地域の広域応力場や地質構造と調和することを確認した。なお、本研究で解析したメカニズム解のうち、解析に用いた観測点の配置の差異により、解が大きく異なるものについては、さらに検討が必要である。

本研究の結果から得られた課題として、本研究で決定した震源の精度と解析条件の関係を検討すること、および深度数 km 程度の浅い震源の深度を高精度に決定すること、並びにメカニズム解により応力場の変化を検討することがあげられる。

謝辞

本研究には、気象庁・文部科学省が協力してデータを処理した気象庁一元化情報を使用させていただいた。地震波形を提供されている機関は、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、独立行政法人防災科学技術研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、国土地理院、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市、独立行政法人海洋研究開発機構及び気象庁である。また、独立行政法人防災科学技術研究所の Hi-net、KiK-net、F-net のデータとソフトウェア SMDA2 を使用させていただいた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 増田 純男, 梅木 博之, 清水 和彦, 宮原 要, 内藤 守正, 岩佐 健吾: わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性; 地層処分研究開発第2次取りまとめ, 分冊1, わが国の地質環境, JNC TN1400 99-021, 1999.
- 2) 萩原尊礼編: 日本列島の地震—地震工学と 地震地体構造—, 鹿島出版会, 1991.
- 3) 松田時彦: 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 2, 1975.
- 4) 地層処分施設の耐震性評価, NUMO-TR-10-13, 2011, p.63.
- 5) 地層処分事業の技術開発計画-概要調査段階および精密調査段階に向けた技術開発, NUMO-TR-13-02, 2013, p.63.
- 6) H. Moriya, K. Nagano and H. Niitsuma: Precise source location of AE doublets by spectral matrix analysis of triaxial hodogram, Geophysics, 59,1,1994, pp.36-45.
- 7) H.Moriya,K.Nakazato,K.F.Evans, H.Niitsuma, R.H.Jones and R.Baria: Evaluation of the Soultz HDR system by precise mapping techniques of induced microseismic event, Trans.Geothermal Resources Council 25, 2001, pp.178-180.
- 8) H. Moriya, H. Niitsuma and R. Baria: Multiplet-clustering analysis reveals structural details within the seismic cloud at the Soultz geothermal field, France Bull. Seismic. Soci. Am., 93, 2003, pp.1606-1620.
- 9) Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth: A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward fault, Bull. Seismol.Soc. Am., 90, 2000, pp.1352-1368.
- 10) Y.Okada, K.Kasahara, S.Hori, K.Obara, S.Sekiguchi, H.Fujiwara, and A.Yamamoto, Recent progress of seismic observation networks in Japan -Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net-, Earth, Planets and Space, 56, 2004.
- 11) 太田 久仁雄, 阿部 寛信, 山口 雄大, 國丸 貴紀, 石井 英一, 操上 広志, 戸村 豪治, 柴野 一則, 濱 克宏, 松井 裕哉, 新里 忠史, 高橋 一晴, 丹生屋 純夫, 大原 英史, 浅森 浩一, 森岡 宏之, 舟木 泰智, 茂田 直孝, 福島 龍朗: 幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階 (第1段階) 研究成果報告書分冊「深地層の科学的研究」, JAEA-Research 2007-044, 2007, p.162.
- 12) 山本 卓也, 下茂 道人: 幌延深地層研究センターにおける試錐調査(HDB-2孔), JNC TJ1400 2002-011, 2002.
- 13) 帰山 弘一: 地震観測機器の設置, JNC TJ5410 2005-007, 2002.
- 14) 山本 卓也, 下茂 道人, 藤原 靖, 服部 弘通, 名合 牧人, 田所 照夫, 久慈 雅栄: 幌延深地層研究計画における試錐調査(HDB-5孔), JNC TJ5420 2004-005, 2003.
- 15) Peterson, J.: Observation and modeling of seismic background noise, U.S.G.S. Open-file report, 1993, pp.93-322.

- 16) Hirata, N. and M. Matsu'ura: Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 47, 1987, pp.50-61.
- 17) 堀田 光: 幌延町周辺地域を対象とした地震観測データの解析, JNC TJ5410 2005-004, 2005.
- 18) 日野 幹雄: スペクトル解析, 朝倉書店, 1977.
- 19) 宇津 徳治: 地震学.2 版, 共立全書, 1988.
- 20) 田村 慎, 笠原 稔, 森谷 武男: 臨時地震観測による北海道北部地域の微小地震活動と地殻構造, 地震第 2 輯, vol.55, No.2, 2003, pp.337-350.
- 21) 石川有三: 日本海東縁の地震活動から見た歪み集中帯, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス (大竹政和, 平朝彦, 太田陽子 編), 東京大学出版会, 2002), pp.151-165.
- 22) 濱 克宏: 幌延深地層研究計画 平成 16 年度調査研究成果報告, JNC TN5400 2005-001, 2005.
- 23) 木下 繁夫: 近地地震の記録; 防災科学技術研究資料, 第 240 号, 2003.
- 24) Flohlich, C.: Triangle diagrams: ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 75,48, 1992, pp.193-198.

付録

地下施設の深度 250m調査坑道で観測した地震データ例

(1) 観測の目的と活用した知見

地下施設の深度 250m調査坑道において、地下施設の耐震安全性評価に係わる調査技術開発を主な目的として強震計による観測を行っている。地下施設における強震計の設置にあたり、これまで長期安定性の研究で蓄積した観測技術の知見を活用し、以下の設置方法の検討、設置後の確認を行った。

- ①設置方法の検討としてノイズ低減のため健岩部を選定、坑道掘削影響範囲や坑道構造の影響を避けるためにボーリング孔内に設置。
- ②地震計設置結果と観測装置設定についての確認として、別の地震計を近傍に置いた同時観測により各観測成分の方向、極性、増幅感度を比較および確認。

(2) 地下施設および近傍の地表における地震データ例

地下施設における強震計による観測は、2011年7月から開始された。そこで観測されたデータ例として、気象庁による震度が幌延町宮園町で1以上の地震について、最大加速度をA-1に示す。また、比較のため、地下施設の近傍における地表の観測点（HDB-3孔敷地）、ならびに最寄りの地表と地下の同時観測点として（独）防災科学技術研究所のKiK-net¹⁰の観測点「豊富」で観測されたデータも示した。観測点（HDB-3孔敷地）は、地下施設の強震計から水平距離で約150m離れた地表に強震計を設置している。A-1に示すように、地下研究施設の深度250mで観測した地震の最大加速度の多くは、地下施設の近傍における地表の最大加速度の1/2~1/3程度であり、既往の結果¹⁾と整合している。また、当該強震計と観測点（HDB-3孔敷地）において同時に観測された地震については、地震波形をA-2に示す。

(3) 地下施設における地震波形のパワースペクトルの一例

地下施設における地震波形の周波数特性としてパワースペクトル（波形を周波数毎の成分波に分解した時の各成分波のパワーを表したもの）の一例をA-3に示す。サンプルとした地震は、A-1のうち最大の加速度が観測されたNo.45である。解析データは、地震動が比較的大きな振幅で継続している初動後の約20秒間、および無地震時として初動前の約20秒間とした。また、比較のため、近傍の地表の観測点（HDB-3孔敷地）におけるパワースペクトルも示す。ここで、A-3に示したパワースペクトルの特徴をいくつかあげる。それらのピークは無地震時で不明瞭ながら0.3~0.7Hz程度、地震時で4~5Hz程度であり、地表と地下で大きな差異は認められない。また、地震時と無地震時との間に共通して卓越する周波数は、地表および地下ともに認められない。さらに、地震時に地表より地下のパワースペクトルが顕著に小さい範囲は、0.3~10Hz程度である。

A-1 幌延町宮園町で震度1以上の地震の地表および地下における最大加速度

整理番号	気象庁のデータ (*1)						地下施設					KiK-net 豊富 (*4)		
	発震時刻	震源		深さ (km)	マグニチュード	震源地	幌延町宮園町の震度計	幌延町宮園町の震度	豊富町西6条の震度	3成分中の最大加速度 (Gal)		3成分中の最大加速度 (Gal)		地表 / 地下
		北緯	東経							地表 HDB-3 (*2)	地下 250m 坑道 (*3)	地表	地下 -135m	
No.1	2003/2/19 14:01:41	44° 7.1'N	141° 50.8'E	222	5.9	留萌地方中北部	旧 1	-	-	-	-	3.4	0.6	6
No.2	2003/7/27 15:25:34	46° 49.1'N	139° 8.8'E	487	7.1	日本海北部	旧 2	-	-	-	-	3.0	1.6	2
No.3	2003/9/26 4:50:07	41° 46.7'N	144° 4.7'E	45	8	十勝沖	旧 3	-	-	-	-	11	9.4	1
No.4	2003/9/26 6:08:02	41° 42.5'N	143° 41.4'E	21	7.1	十勝沖	旧 1	-	-	-	-	2.2	1.0	2
No.5	2004/5/5 22:09:52	45° 2.9'N	141° 59.1'E	19	2	宗谷地方北部	旧 1	-	-	-	-	-	-	-
No.6	2004/5/9 14:54:11	45° 2.7'N	141° 59.4'E	19	2.6	宗谷地方北部	旧 2	-	-	-	-	3.2	0.6	6
No.7	2004/5/9 19:18:25	45° 2.7'N	141° 59.2'E	19	2.2	宗谷地方北部	旧 1	-	-	-	-	-	-	-
No.8	2004/11/29 3:32:14	42° 56.7'N	145° 16.5'E	48	7.1	釧路沖	旧 1	-	-	-	-	1.8	1.1	2
No.9	2004/12/6 23:15:12	42° 50.8'N	145° 20.5'E	46	6.9	釧路沖	旧 1	-	-	-	-	1.5	0.9	2
No.10	2004/12/14 14:56:10	44° 4.6'N	141° 41.9'E	9	6.1	留萌地方南部	旧 2	-	-	-	-	11	1.8	6
No.11	2005/3/18 9:38:28	44° 14.0'N	141° 6.5'E	0	5	北海道西方沖	旧 1	-	-	-	-	1.7	0.4	4
No.12	2006/7/14 17:17:11	44° 55.9'N	141° 48.5'E	11	2.6	留萌地方中北部	旧 1	-	-	-	-	-	-	-
No.13	2006/8/18 0:20:34	46° 43.5'N	141° 51.4'E	48	5.9	サハリン西方沖	旧 3	-	-	-	-	13	1.6	8
No.14	2006/8/18 7:40:01	46° 40.5'N	141° 52.6'E	27	4.9	サハリン南部付近	旧 1	-	-	-	-	-	-	-
No.15	2007/1/9 5:12:04	44° 16.9'N	144° 4.0'E	9	4.7	網走沖	旧 1	-	-	-	-	-	-	-
No.16	2007/7/1 23:07:50	46° 7.6'N	142° 15.7'E	10	4.3	サハリン南部付近	旧 1	-	-	-	-	-	-	-
No.17	2007/8/2 11:37:34	47° 13.3'N	141° 43.4'E	0	6.4	サハリン西方沖	旧 1	2	-	-	-	2.3	0.5	5
No.18	2007/8/2 14:22:15	46° 58.4'N	141° 41.3'E	27	5.9	サハリン西方沖	旧 1	2	-	-	-	3.3	0.5	7
No.19	2007/8/2 17:06:27	46° 53.5'N	141° 42.8'E	16	5.3	サハリン西方沖	旧 1	1	-	-	-	-	-	-
No.20	2007/8/2 19:37:25	46° 55.6'N	141° 42.3'E	4	5.6	サハリン西方沖	旧 1	2	-	-	-	2.9	0.3	10
No.21	2007/8/14 13:13:30	47° 8.8'N	141° 47.9'E	18	5.8	サハリン西方沖	旧 1	1	-	-	-	2.4	0.3	9
No.22	2007/11/21 12:17:13	44° 38.8'N	142° 11.6'E	14	3.6	上川地方北部	旧 1	-	-	-	-	1.1	0.2	5
No.23	2008/10/4 16:24:17	45° 1.6'N	141° 57.1'E	10	3.5	宗谷地方北部	旧 4	1	-	-	-	4.7	1.0	5
No.24	2008/12/27 17:36:10	45° 12.5'N	141° 50.9'E	0	2.7	宗谷地方北部	旧 1	1	-	-	-	2.1	0.4	5
No.25	2008/12/28 15:21:39	45° 12.4'N	141° 50.6'E	0	3.6	宗谷地方北部	旧 2	2	-	-	-	13	1.8	7
No.26	2009/2/6 14:38:23	45° 12.5'N	141° 50.6'E	0	3	宗谷地方北部	旧 1	-	-	-	-	5.1	1.1	5
No.27	2009/9/11 14:01:42	45° 5.0'N	141° 52.5'E	10	3.4	宗谷地方北部	旧 2	3	-	-	-	42	12	4
No.28	2009/9/11 14:05:13	45° 5.1'N	141° 52.4'E	10	2.4	宗谷地方北部	旧 1	1	-	-	-	-	-	-
No.29	2009/9/11 14:08:37	45° 4.7'N	141° 51.9'E	10	3.7	宗谷地方北部	旧 3	3	-	-	-	54	17	3
No.30	2010/12/19 9:23:35	45° 3.6'N	141° 50.1'E	0	1.7	宗谷地方北部	旧 1	-	-	-	-	-	-	-
No.31	2011/3/11 14:46:18	38° 6.2'N	142° 51.6'E	24	9	三陸沖	旧 2	2	-	-	-	3.6	3.2	1
No.32	2011/3/11 15:25:44	37° 54.8'N	144° 45.0'E	11	7.5	三陸沖	旧 1	-	-	-	-	-	-	-
No.33	2011/8/12 7:26:55	44° 52.3'N	141° 38.7'E	28	3.9	北海道北西沖	2	2	-	4.0	-	-	-	-
No.34	2011/8/16 3:25:50	44° 52.2'N	141° 38.7'E	28	2.6	北海道北西沖	1	-	-	0.8	-	-	-	-
No.35	2011/9/10 14:32:48	45° 2.8'N	141° 58.1'E	0	2.2	宗谷地方北部	1	-	-	2.6	-	-	-	-
No.36	2012/7/15 23:08:06	44° 49.8'N	142° 9.4'E	0	4.2	上川地方北部	2	-	3.4	0.9	4	2.2	0.5	4
No.37	2012/7/16 6:49:47	44° 50.1'N	142° 8.9'E	0	4.3	上川地方北部	2	2	4.8	1.5	3	3.3	0.6	6
No.38	2012/7/18 4:39:35	44° 49.9'N	142° 8.8'E	0	4.1	上川地方北部	2	-	4.0	1.3	3	4.4	0.8	6
No.39	2012/7/18 4:50:19	44° 50.1'N	142° 9.0'E	0	4.1	上川地方北部	2	-	3.0	1.2	3	5.2	0.9	6
No.40	2012/8/14 11:59:36	49° 11.0'N	145° 52.9'E	654	7.3	オホーツク海南部	2	-	-	1.2	-	4.0	0.9	4
No.41	2012/10/5 21:36:08	45° 1.9'N	141° 56.7'E	12	2.3	宗谷地方北部	2	-	4.0	2.4	2	0.6	0.2	4
No.42	2012/10/7 8:39:45	45° 10.1'N	141° 44.2'E	7	3.4	宗谷地方北部	2	2	5.5	1.7	3	25	6.0	4
No.43	2012/11/10 11:26:40	45° 2.9'N	141° 49.7'E	28	3	宗谷地方北部	1	1	2.6	1.4	2	-	-	-
No.44	2012/12/17 15:30:29	45° 3.0'N	141° 49.5'E	29	3.7	宗谷地方北部	2	2	13	6.0	2	31	7.3	4
No.45	2013/1/3 20:14:15	44° 50.0'N	141° 50.4'E	24	4.8	留萌地方中北部	2	2	17	6.6	3	10	2.5	4

データ整理期間は上幌延観測点で観測を開始した2002/12/20から2013/3/31まで。

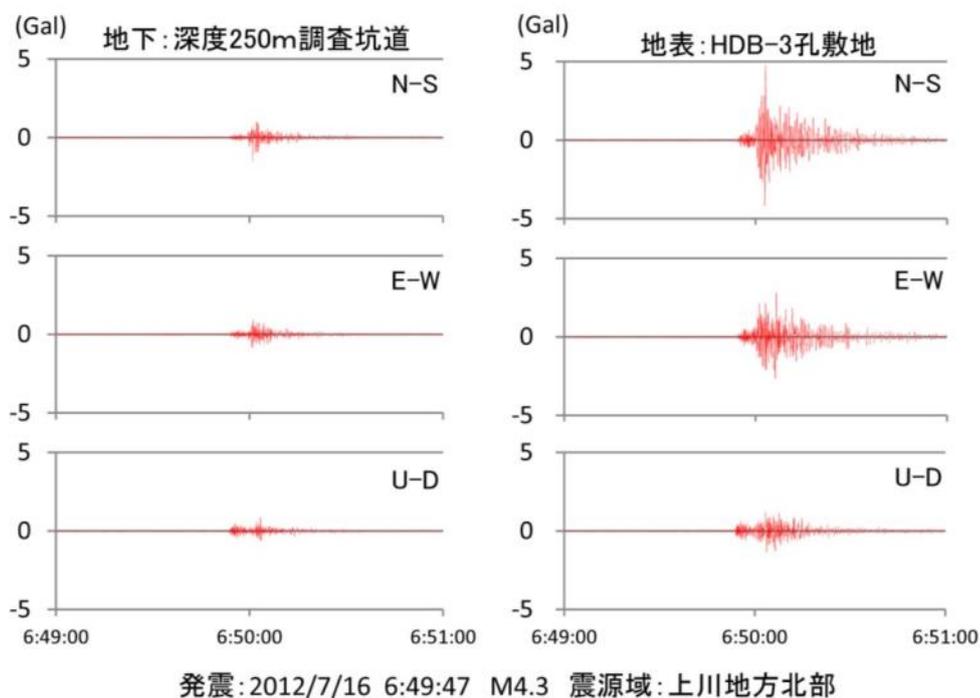
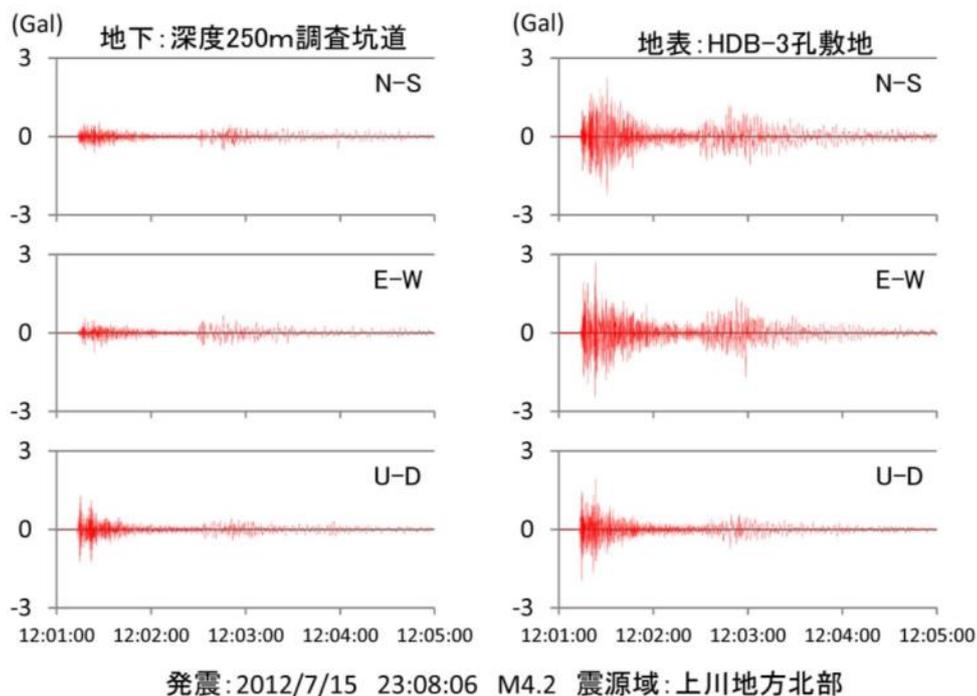
*1 気象庁のデータは気象庁HP:震度データベース検索による。
(URL http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_db/shindo_index.html)

*2 期間観測: 2011年10月~2013年1月。
地震計位置: 北緯45.0445° 東経141.8577° 標高58.2m。

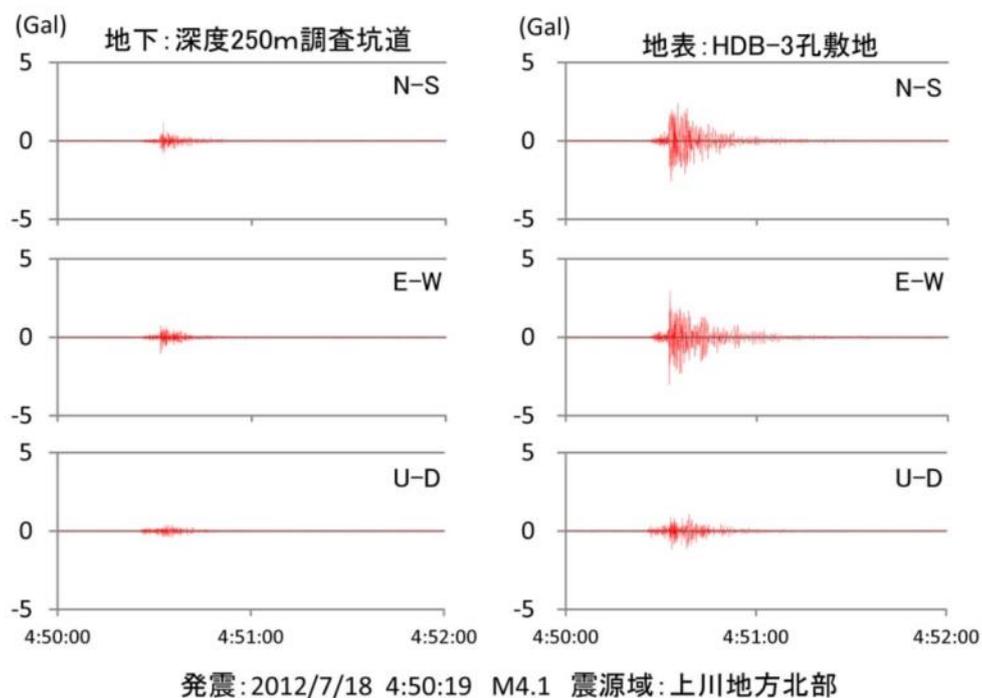
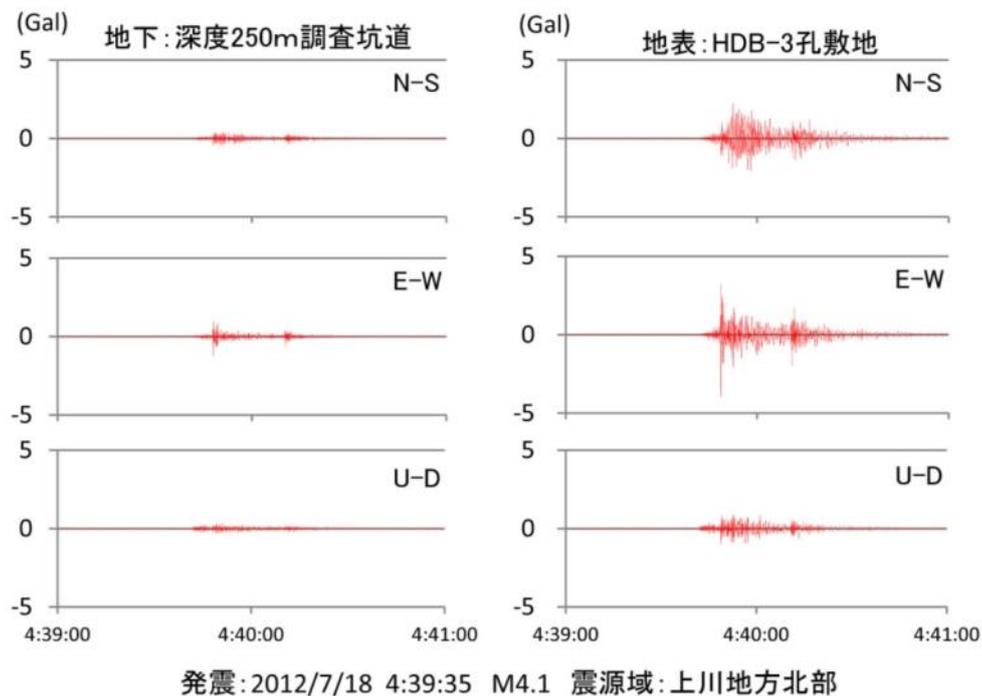
*3 2011年7月から観測開始。

*4 独立行政法人防災科学技術研究所のKiK-netのデータを使用させていただいた。
地震計位置: 北緯45.1019° 東経 141.7834° 標高15m および 深度136m。
(URL <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/db/index.html?all>)

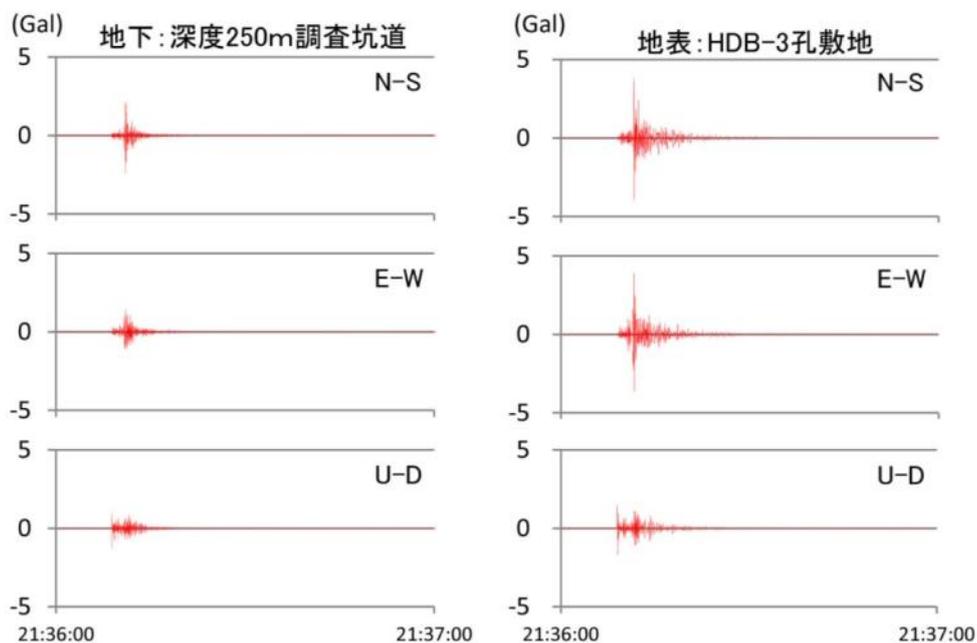
最小	2	最小	1
最大	4	最大	10
平均	3	平均	5
標準偏差	1	標準偏差	2



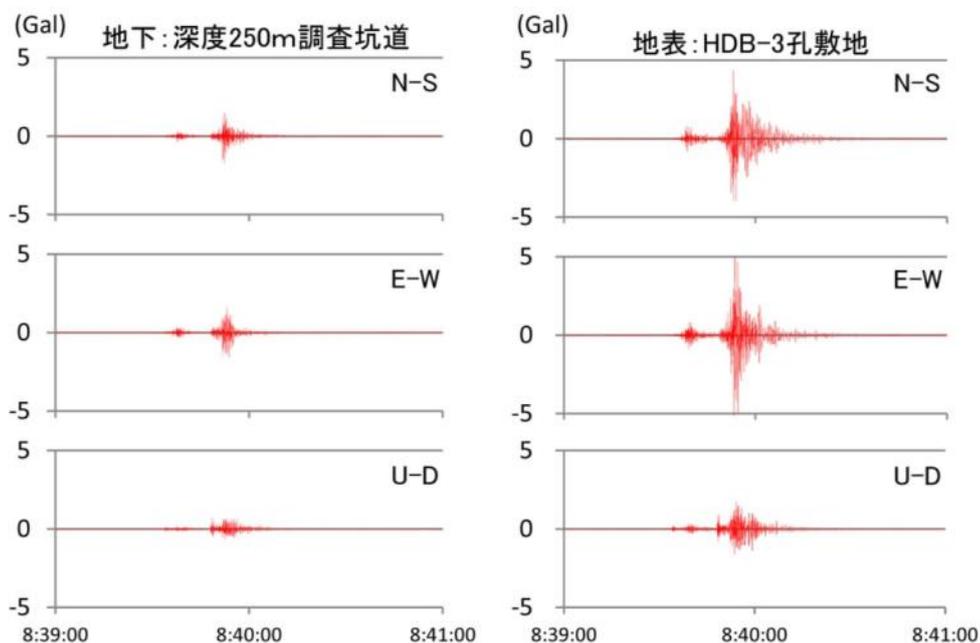
A-2 地下施設と地表における地震波形(1/5)



A-2 地下施設と地表における地震波形(2/5)

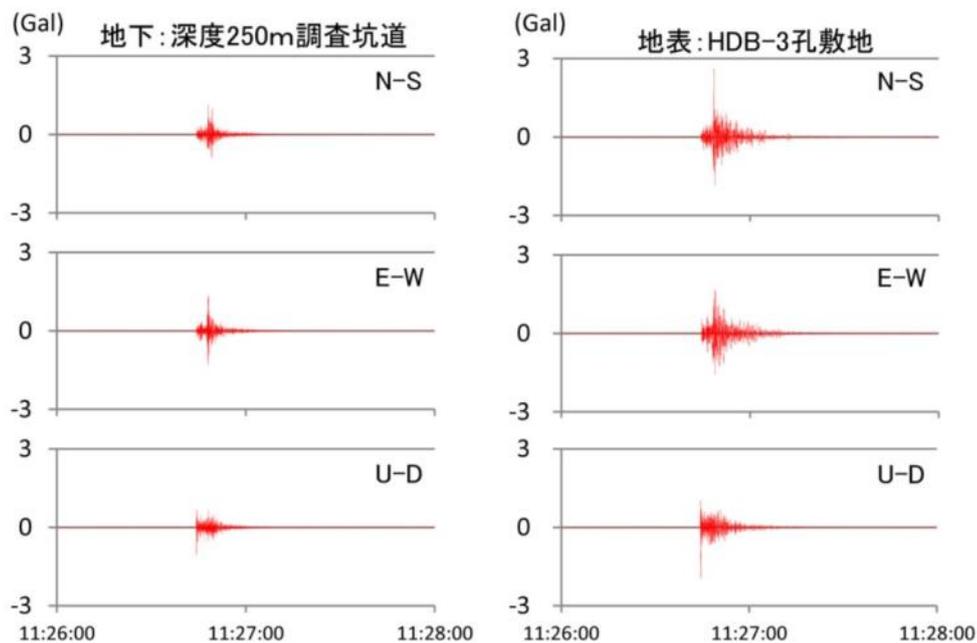


発震:2012/10/5 21:36:08 M2.3 震源域:宗谷地方北部

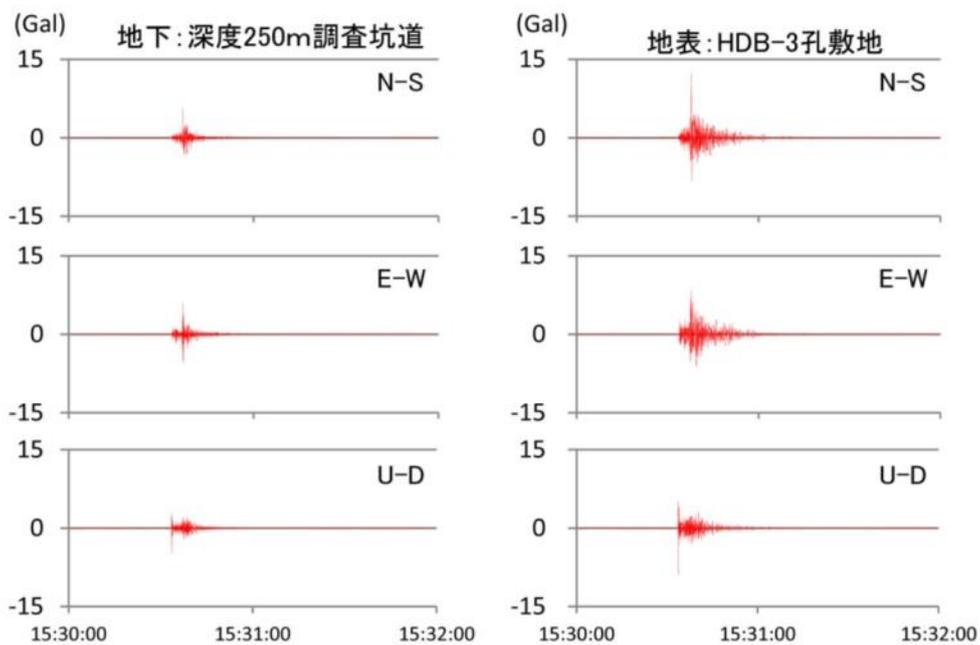


発震:2012/10/7 8:39:45 M3.4 震源域:宗谷地方北部

A-2 地下施設と地表における地震波形(3/5)

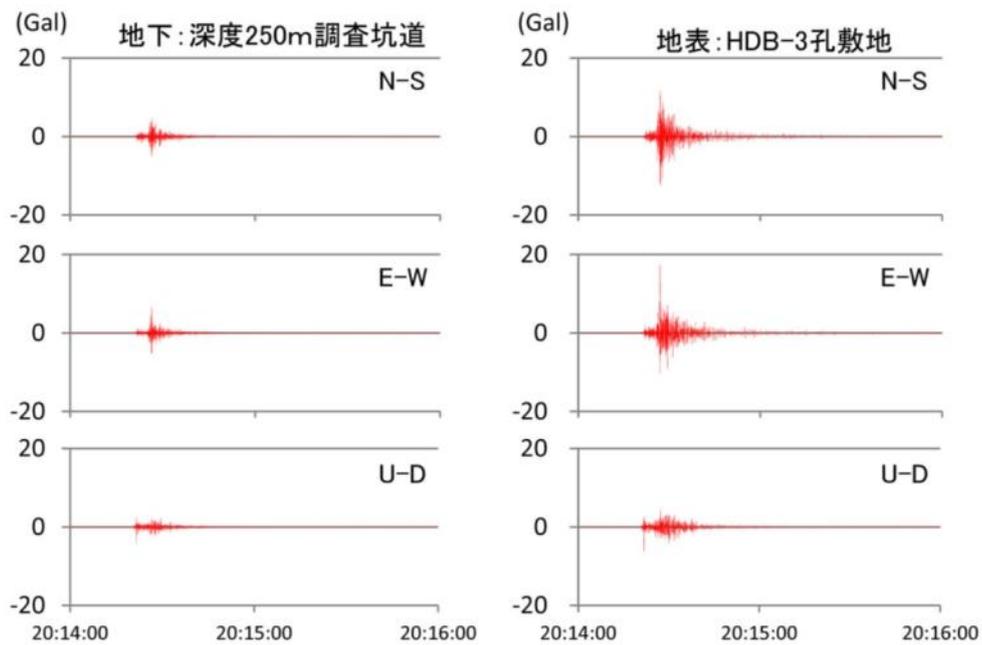


発震:2012/11/10 11:26:40 M3.0 震源域:宗谷地方北部



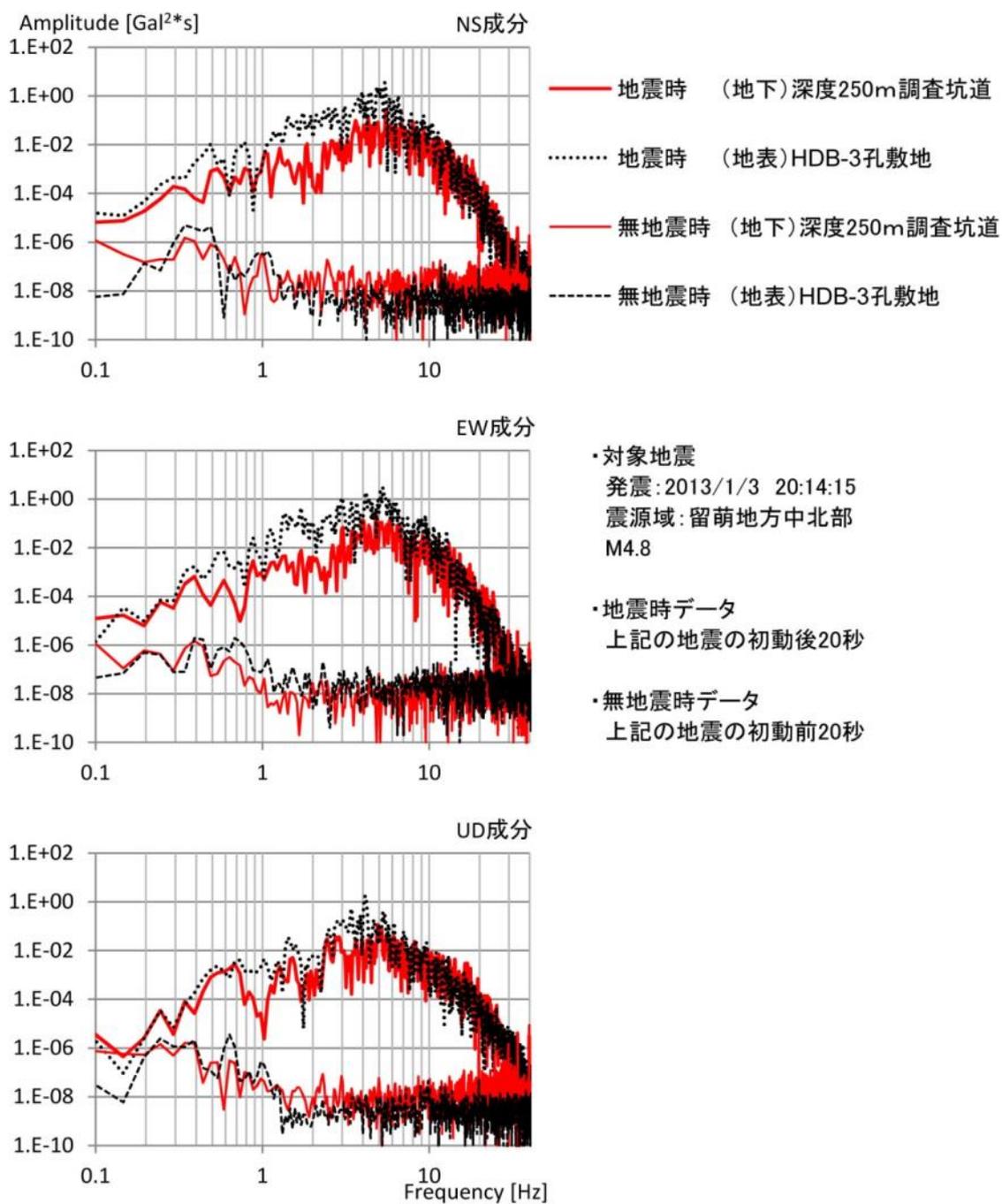
発震:2012/12/17 15:30:29 M3.7 震源域:宗谷地方北部

A-2 地下施設と地表における地震波形(4/5)



発震:2013/1/3 20:14:15 M4.8 震源域:留萌地方中北部

A-2 地下施設と地表における地震波形(5/5)



A-3 地下施設とその近傍の観測点における地震のパワースペクトル

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照射度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の間には換算係数がある。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	ジュール毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ = kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ³ s ⁻¹ mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベール	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

