

3.2.1.3. アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

「アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
北海道大学大学院 理学研究院	准教授	高波鐵夫	takanami@mail.sci.hokudai.ac.jp
	助教	村井芳夫	murai@mail.sci.hokudai.ac.jp
	助教	勝俣 啓	kkatsu@mail.sci.hokudai.ac.jp
	教授	笠原 稔	mkasa@mail.sci.hokudai.ac.jp

(c) 業務の目的

- 1) 日本海溝・千島海溝周辺を対象として実施する長期海底地震観測に参加してデータ処理を分担する。
- 2) アスペリティ周辺の地震活動の特性を把握するため、震源域でのアスペリティ、アスペリティ右辺のプレート上面付近およびプレート内部での地震活動度の時空間分布を把握する。
- 3) 定量的な把握をすすめるため、Wiemer and Wyss (1994)¹⁾が提案した、地震の震源情報（発震時、震源位置、マグニチュード）を用いて算出する地震活動度の時間変化の強度を表すパラメータ Z 値をマッピングした可視化図（ZMAP）等を作成する。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画(過去年は、実施業務の要約)

1) 平成16年度

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、三陸沖北部に長期観測型海底地震計による観測網を構築し、海底地震観測を実施した。また、観測データ処理のための整備を行った。陸域地震観測網データの取得のための処理システムの構築とアプリケーション・ソフトのインストール、および想定アスペリティ周辺の陸域地震観測網データを用いて ZMAP 等の解析法を会得した。

2) 平成17年度

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、根室沖の領域に長期観測型海底地震計による観測網を構築し、海底地震観測を実施した。三陸沖北部での長期海底地震観測データと陸域データとの併合処理を行った。想定アスペリティ周辺を注目した、ZMAP 等を用いた地震活動の時空間変化を把握した。

3) 平成18年度

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、三陸沖北部から十勝沖にかけての領域に長期観測型海底地震計による観測網を構築し、海底地震観測を実施する。根室沖での長期海底地震観測データと陸域データとの併合処理を行う。想定アスペリティ周辺を注目した、ZMAP等を用いた地震活動の時空間変化を把握する。

4) 平成19年度

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、福島県沖から房総沖にかけての領域に長期観測型海底地震計による観測網を構築し、海底地震観測を実施する。三陸沖北部から十勝沖にかけての長期海底地震観測データと陸域データとの併合処理を行う。想定アスペリティ周辺を注目した、ZMAP等を用いた地震活動の時空間変化を把握する。

5) 平成20年度

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、三陸沖中部から福島県沖にかけて長期観測型海底地震計による観測網を構築し、海底地震観測を実施する。最終年度にあたるために年度内に全ての海底地震計を回収する。福島県沖から房総沖、三陸沖中部から福島県沖にかけての長期海底地震観測データと陸域データとの併合処理を行う。想定アスペリティ周辺を注目した、ZMAP等を用いた地震活動の時空間変化を把握する。日本海溝・千島海溝沿いのほぼ全域について、地震活動の時空間変化の総まとめを行う。

(e) 平成18年度業務目的

日本海溝・千島海溝沿いの根室沖海域を対象として実施する長期海底地震観測に参加してデータ処理を分担する。三陸沖北部から十勝沖の海域を対象として実施する長期海底地震観測に参加してデータ処理を分担する。さらにそれらの海域に想定されているアスペリティの周辺の地震活動の特性を把握するため、それらの海域でのプレート上面付近、およびプレート内部での地震活動度の時空間分布を把握する。定量的な把握をすすめるため、地震の震源情報（発震時、震源位置、マグニチュード）を用いて算出する地震活動度の時間変化の強度を表すパラメータZ値をマッピングした可視化図（ZMAP）等を作成する。

(2) 平成18年度の成果

(a) 業務の要約

1) 長期観測型海底地震観測

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、三陸沖北部から十勝沖の海域に長期観測型海底地震計による観測網を構築し、海底地震観測を実施した。

2) 長期観測型海底地震観測記録の検測

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、根室沖での長期海底地震観測データの検測を行った。

3) ZMAP 等の解析手法の適用

三陸沖北部、および根室沖における想定アスペリティ周辺の地震活動の時空間変化を調査するために、ZMAP 等の解析法を気象庁一元化震源カタログに適用した。

4) 長期観測型海底地震計記録からのマグニチュードの検討

長期観測型海底地震計記録からマグニチュードを求めるための手法を検討した。用いたデータは、平成 17 年度に検測した三陸沖北部の長期観測型海底地震観測網の地震の波形データである。

5) 地震のクラスター分布の図化

気象庁一元化地震カタログを用いて、時空間的に連続して発生した地震のクラスター強度分布を作成した。

6) クラスター地震間の波形類似性の検討

クラスター地震間の地震波形に関する相互相関係数を求め、それらの波形類似性を調査した。

(b) 業務の実施方法

1) 長期観測型海底地震観測

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、根室沖に構築した観測網の長期観測型海底地震計 30 台を平成 18 年 9 月に回収した。また東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、三陸沖北部から十勝沖に 42 台の長期観測型海底地震計による観測網を構築し、海底地震観測を実施するために、東京大学地震研究所にて長期観測型海底地震計の組み立てを行った。さらに組み立てられた長期観測型海底地震計 42 台は、平成 18 年 10 月と平成 18 年 11 月の 2 回にわたって三陸沖北部から十勝沖の計画観測地点に投入し、新規観測網を構築した。

2) 長期観測型海底地震観測記録の検測

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、平成 17 年 12 月に 18 台、平成 18 年 1 月に 12 台を根室沖に設置し、平成 18 年 9 月にそのすべての 30 台を回収した長期海底地震観測波形データを分担して、観測網周辺海域の気象庁一元化カタログ以外の地震 1697 個の P 波と S 波の到着時刻、最大振幅、信号の継続時間等を検測した。

3) ZMAP 等の解析手法の適用

調査海域での気象庁地震カタログには、三陸沖北部においては、1995年1月1日から2006年10月31日までに決定されたM3以上の深さ100km以浅の地震2114個があり、根室沖においては、2004年11月29日浜中沖(釧路沖)地震(M7.1)以前の、1995年11月1日から2004年10月31日までに決定されたM2以上の深さ100km以浅の地震13468個がある。その地震の殆どは、根室半島東方沖地震の余震であり、次の地震が想定されている1973年根室半島沖地震の震源域では、最近の地震活動は低く、当調査の地震マグニチュードの下限をM2とした。またこの1994年根室半島東方沖地震の震源域周辺に限定した海域での最近のZ値の変化についても調査した。ZMAP法を適用するに当たり、あらかじめ余震や群発地震を取り除くためのデクラスター処理を行った。デクラスター処理後の地震数は、三陸沖北部においては1537個、根室沖においては10387個となり、また緯度方向0.1度×経度方向0.1度の格子間隔の各格子点から100個の地震を選び、積算度数分布曲線を作成し、LTA関数を用いて地震活動度を表わすZ値を計算した。このZ値を地図上に図化し、ZMAPを作成した。なお一元化の開始は、1997年10月であるが、M2以上の地震については1995年1月以降であってもその検知能力に影響はないことを確認している。

4) 長期観測型海底地震計記録からのマグニチュードの検討

平成16年度三陸沖北部(青森県沖)に設置し、平成17年10月に回収した18台の長期海底地震観測波形データのマグニチュード決定法について検討を行った。その際、各地点での長期観測型海底地震計に記録された地震波の信号継続時間、およびその最大振幅と気象庁一元化地震カタログのマグニチュードと対応関係を調査した。

5) 地震のクラスター分布の図化

最近1年間の気象庁一元化地震カタログ(2005.11.1~2006.10.31)を用いて、三陸沖北部(青森県沖~日高沖)と根室半島沖に発生した、深さ100km以浅のすべての地震の時空間分布からクラスター強度を計算し、その結果を地図上にプロットした。

6) クラスター地震間の波形類似性の検討

2003年十勝沖地震直前に頻発したクラスター地震の波形類似性を見積もるために、その傍の海底地震計に記録された相異なるクラスター地震間の相互相関係数を求め、固有地震活動の特性を調べた。

(c) 業務の成果

1) 長期観測型海底地震観測

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、根室沖に設置した30台の長期観測型海底地震計を平成18年9月に回収した。また、また東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、三陸沖北部から十勝沖に平成

18年10月と平成18年11月の2回にわたって根室沖の計画観測点42地点に投入し、新規観測網を構築した。

2) 長期観測型海底地震観測記録の検測

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、平成17年12月と平成18年1月に根室沖に設置し、平成18年9月に回収した長期観測型海底地震計に記録された地震の中から、平成18年2月から平成18年5月までの期間中に、観測網内およびその近傍周辺に起こったと思われる（各観測点からS-P時間15秒以下の）地震を抽出した。なかで気象庁一元化地震カタログにある地震については、東京大学地震研究所が波形記録の検測を担当したので、ここではそれ以外の全ての地震1697個を検測した。検測項目は、P波とS波の到着時刻、最大振幅、信号の継続時間等である。さらに検測した地震の震源計算を試みた(図1)。そのうち震源計算精度が比較的良好と思われる地震（緯度、経度方向の誤差が1km以下、深さの精度が5km以下）を抽出したのが図2に示した。この抽出した地震カタログと東京大学地震研究所が併合処理した震源(気象庁一元化地震カタログにある地震)とを重ねて図示した(図3)。

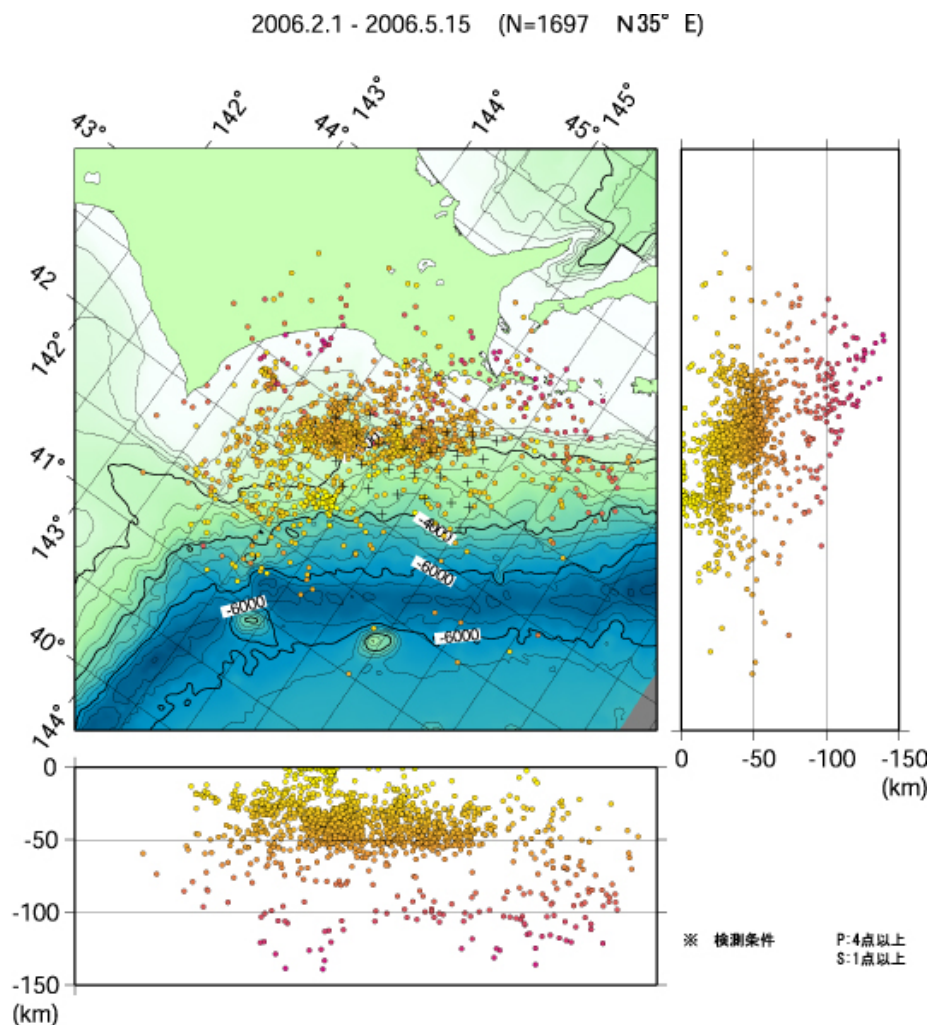


図 1 根室沖の長期観測型海底地震計に記録された地震の震源分布(北大が分担検測した気象庁一化地震カタログ以外の全地震)

期間：平成 18 年 2 月 1 日～平成 18 年 5 月 15 日、地震数：1697 (各海底地震計から P-S 時間がおおよそ 15 秒以下の地震) 左上図：震央分布 (千島海溝軸が水平になるように北 35 度東に地図を回転) 左下図：震源分布 (千島海溝軸に平行な垂直断面図に投影) 右上図：震源分布 (千島海溝に直交する垂直断面図に投影) 震央：丸印、OBS 設置点：+ 印。

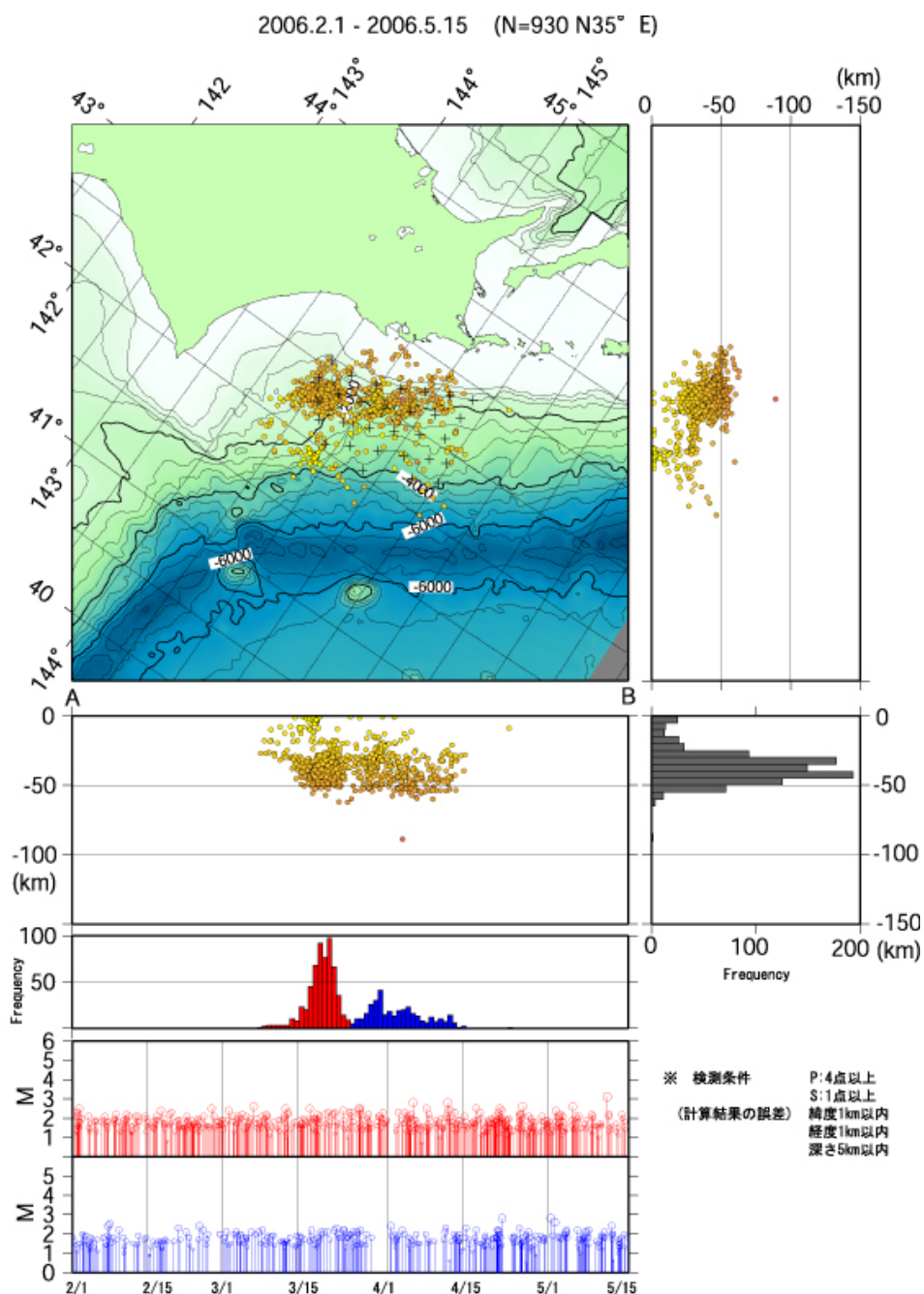


図2 図1に図示された地震のうち、震源計算誤差が、緯度方向と経度方向ともに1km以下、かつ深さ方向で5km以下の地震の震源分布、および地震発生の時空間分布

期間：平成18年2月1日～平成18年5月15日、地震数：1697（各海底地震計からP-S時間がおよそ15秒以下の地震）
 左上：震央分布（千島海溝軸が水平になるように北35度東に地図を回転）
 左2段目：震源分布（千島海溝軸に平行な垂直断面図に投影）
 左3段目：千島海溝軸に平行な垂直断面図に投影した震源の頻度分布
 左4段目：左3段目の頻度分布の赤グループの地震の規模と発生時間関係
 左5段目：左3段目の頻度分布の青グループの地震の規模と発生時間関係
 右上：震源分布（千島海溝に直交する垂直断面図に投影）
 右下：震源の深さ頻度分布、震央：丸印、OBS設置点：+印。

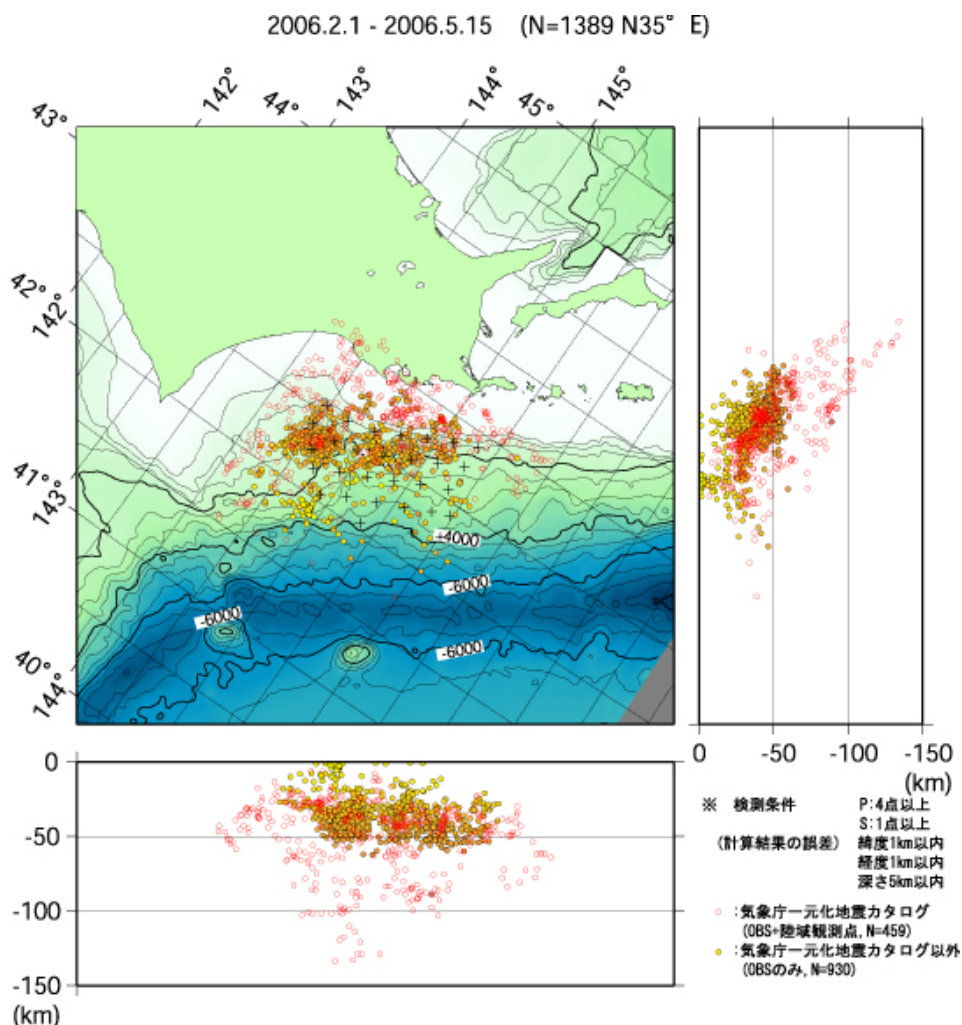


図 3 気象庁一元化地震カタログの地震（海底地震計データと陸域観測点データとの併合処理、赤丸）とそれ以外の地震（図 2 に図示した地震）との重ね合わせ
左上：震央分布、左下：千島海溝軸に平行な垂直断面図に投影した震源分布、右：千島海溝軸に直行する垂直断面に投影した震源分布。

3) ZMAP 等の解析手法の適用

平成 18 年度に長期海底地震観測が実施された根室沖、および平成 17 年度に実施された三陸沖北部から十勝沖の 2 つの海域に注目し、地震活動の時空間分布調査法の 1 つである ZMAP 法を気象庁一元化震源カタログに適用し、これらの海域に想定されているアスペリティ、およびその周辺海域での地震活動の特性を調べた。用いた地震は、三陸沖北部においては、1995 年 1 月 1 日から 2006 年 10 月 31 日までに決定された M3 以上、かつ深さ 100km 以浅の 1537 個の地震であり、根室沖においては、1995 年 11 月 1 日から 2004 年 11 月 29 日の釧路沖地震(M7.1)の直前の 2004 年 10 月 30 日までに決定された M2 以上、かつ深さ 100km 以浅の 10387 個の地震(ほとんどが根室半島当方沖の地震)である。これらの震源データに ZMAP

法を適用するに当たり、あらかじめ余震や群発地震を取り除くためのデクラスタ
ー処理を行った。解析では、緯度方向 0.1 度×経度方向 0.1 度の格子間隔の各格
子点から 100 個の地震を選び、積算度数分布曲線を作成し、4 年間の時間ウイン
ドウ内での LTA 関数を用いて地震活動度を表わす Z 値を 28 日間毎シフト（た
だし地震活動が低調な根室沖では 14 日間毎の時間シフト）させながら計算した。
この Z 値を地図上に図化し、ZMAP を作成した。その結果、依然として三陸北部周
辺の海域では比較的顕著な地震活動の静穏化が確認できたので、便宜上深さ 0km
～50km に求めた 652 個の地震データと 50km～100km に求めた 885 個の地震デ
ータからそれぞれの積算頻度分布曲線(図 4、図 5)と Z 値の時間変化を求めた。
さらに比較的地震が多い根室半島東方沖についても M3 以上の地震活動の時間変
化について、ZMAP 法を適用した(図 6)。その結果、根室半島沖での Z 値の最大値
は 3 前後で特に顕著な静穏化は認められなかった(図 7)。同様に根室半島東方沖
での地震活動においても大きな静穏化は確認できなかった(図 8)。

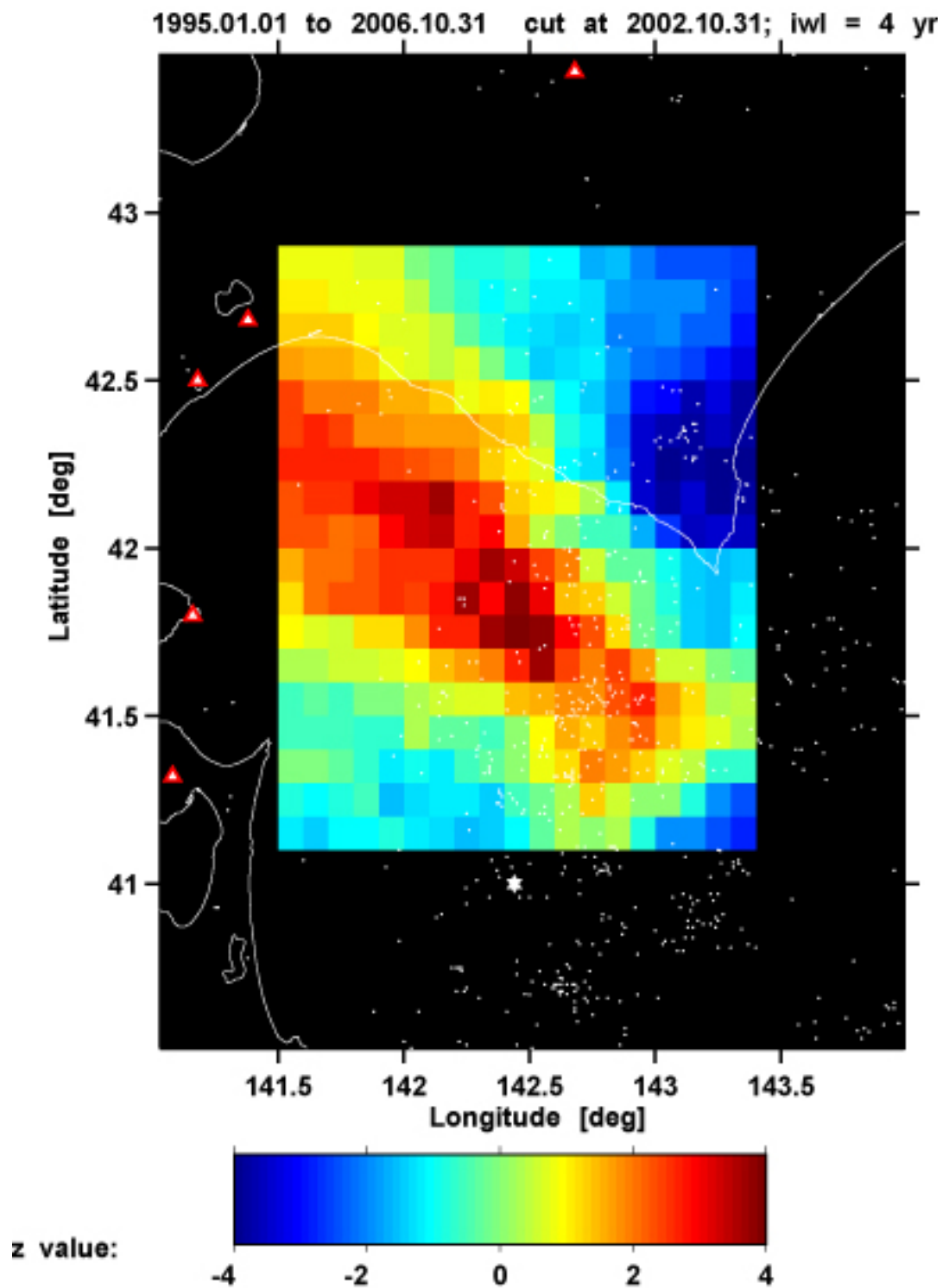


図4 三陸沖北部でのZMAP(深さ範囲:0km~50km)

2002年10月31日(スライス時間28日間)のZMAP、データ:気象庁一元化震源カタログ、期間:1995年1月1日~2006年10月31日、地震マグニチュード:3以上、
 :火山。白星マーク:最大地震の震央(2001年8月14日、M6.4)。

3.2.1.3. アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

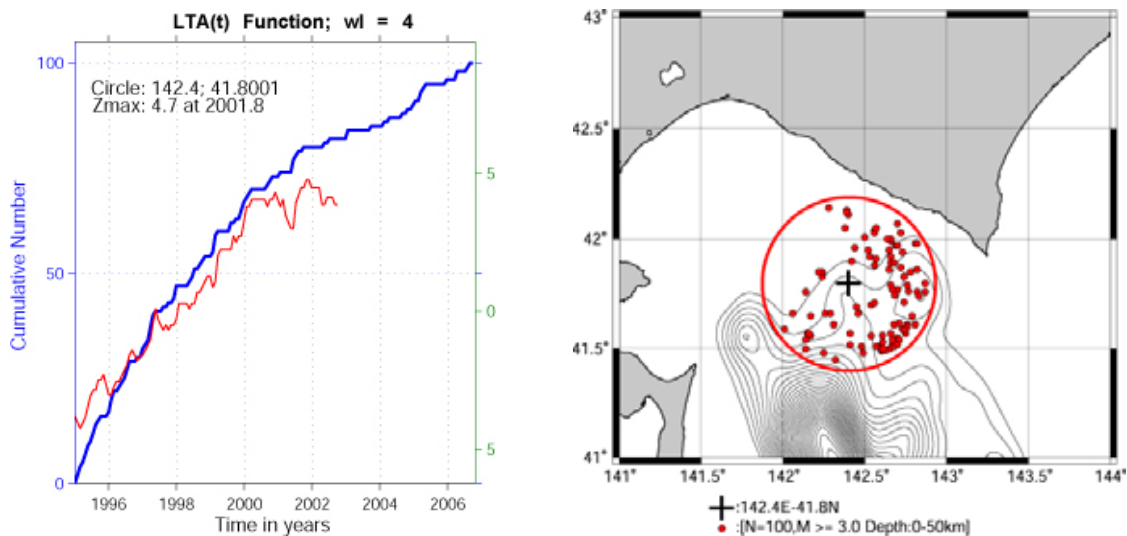


図5 図4で最大Z値を示したグリッド点から100個の地震の積算頻度と震央分布
 左：100個の地震の積算頻度（青線）とZ値の時間変化（赤線）、最大Z値：4.7、
 右：100個の地震の震央分布、細線コンター：アスペリティ分布。

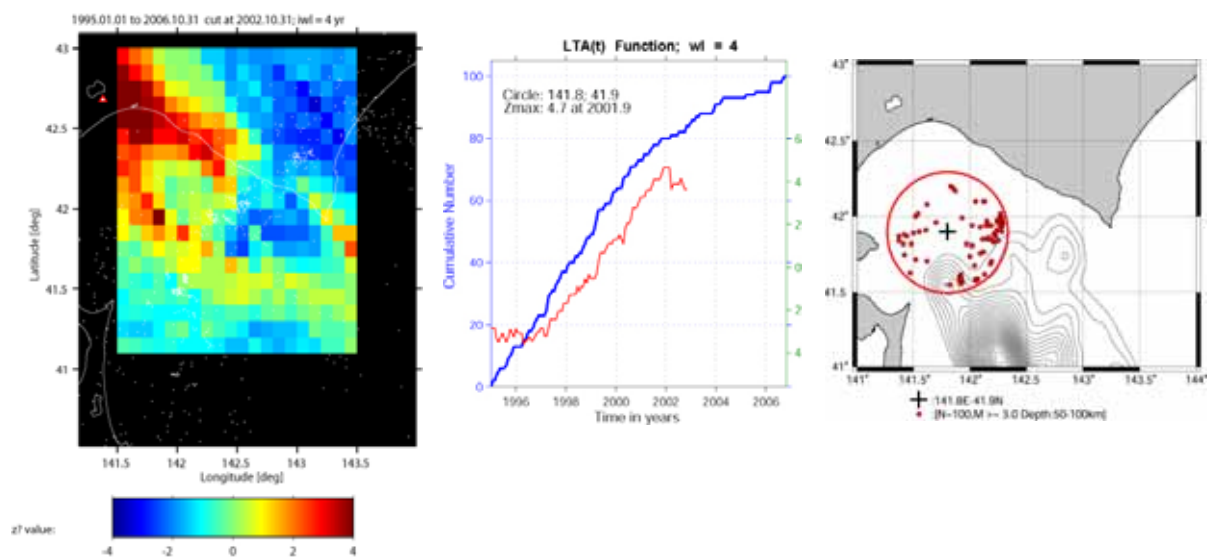


図6 三陸沖北部でのZMAP（深さ範囲：50km～100km）
 左：2002年10月31日（スライス時間28日間）のZMAP、データ：気象庁一元化震源カタログ、期間：1995年1月1日～2006年10月31日、地震マグニチュード：3以上、
 ：火山、中：100個の地震の積算頻度（青線）とZ値の時間変化（赤線）、
 最大Z値：4.7、右：100個の地震の震央分布、細線コンター：アスペリティ分布。

3.2.1.3. アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

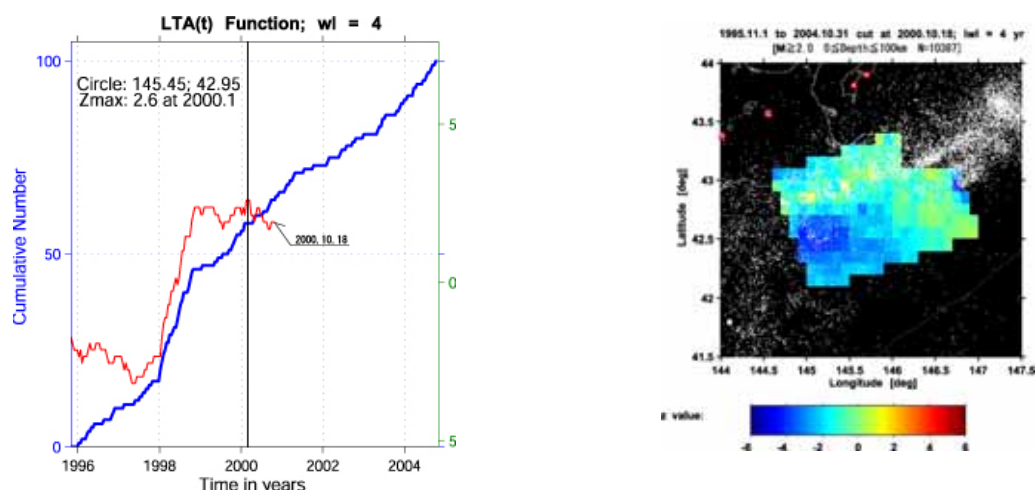


図7 根室沖での ZMAP (深さ範囲 : 0km ~ 100km)

右 : 2000 年 10 月 18 日の ZMAP (スライス時間 : 28 日間)、左 : 最大 Z 値 (= 2.6) を示したグリッド点 (東経 145.45 度、北緯 42.95 度) から時間順に地震 100 個の積算頻度分布と Z 値の時間変化、データ : 気象庁一元化震源カタログ、期間 : 1995 年 11 月 1 日 ~ 2004 年 10 月 31 日 (11 月 29 日浜中沖地震 M7.1 の前月)、地震マグニチュード : 2 以上、 : 火山。

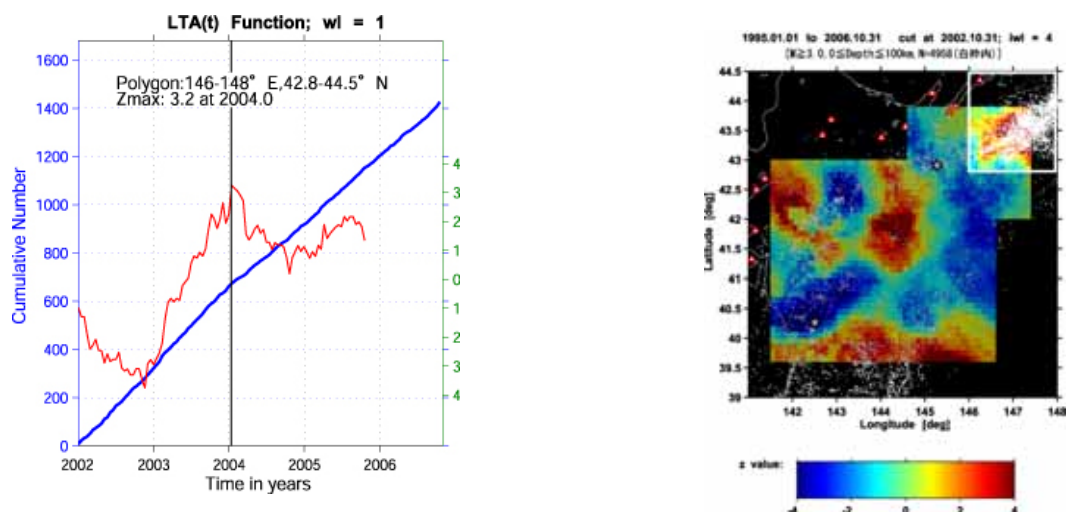


図8 根室半島東方沖での Z 値変化

期間 : 1995 年 1 月 1 日 ~ 2006 年 10 月 31 日、深さ範囲 : 0km ~ 100km、右図右上の白枠内 (調査領域、東経 146.0 度 ~ 148.0 度、北緯 42.8 度 ~ 44.54 度)、左 : 調査領域内での地震の積算頻度曲線 (青線) と Z 値曲線 (赤線)、2004 年 1 月 1 日で最大 Z 値 (3.2、スライス時間、14 日間)、データ : 気象庁一元化震源カタログ、地震マグニチュード : 3 以上、白点 : 地震の震央、 : 火山。

4) 長期観測型海底地震計記録からのマグニチュードの検討

地震のマグニチュードを求めるには、地震の信号継続時間と最大振幅からもとめる方法がある。ここでは平成 16 年度三陸沖北部(青森県沖)に設置し、平成 17 年 10 月に回収した 18 台のうち、記録状態が良好であった 17 台の長期海底地震観測波形データのマグニチュードについて吟味を行った。はじめに、各地点での長期観測型海底地震計に記録された地震波の信号継続時間、およびその最大振幅と気象庁一元化地震カタログのマグニチュードとの対応関係を調査した。また最大振幅には各観測点から震源までの距離による影響や観測点直下の堆積層の厚さなど各観測点固有の地下構造による影響も考えられ、次いでこれらの影響についても調査した。これらの調査の結果、信号の継続時間から求めたマグニチュードに比べ、最大振幅から求めたマグニチュードの方がより気象庁マグニチュードとの関係が線形に近く、よい相関関係にあることが明らかになった(図 9)。また最大振幅は、一般に再生時の周波数バンドにも依存していると考えられ、便宜上、4 種類の周波数バンド(2Hz - 4Hz、4Hz - 8Hz、8Hz - 16Hz、16Hz - 32Hz)のバンドパスフィルターを通過させた上下動地震波信号について、P 波のはじまりから 2 秒以内、または S 波のはじまりから 4 秒以内のいずれかの最大振幅をその地震の最大振幅と決め、それぞれの観測点で検出した結果を気象庁一元化カタログの地震のマグニチュードと対応させ、それぞれの周波数バンド毎の対応関係を調べた(例えば、図 10、図 11)。その結果、それらの対応関係に、2Hz - 4Hz と 4Hz - 8Hz の周波数バンドの違いはほとんど認められないが、それ以上の周波数バンドでは対応関係(相関関係)が悪くなる。一方 2Hz 以下の低い周波数バンドでは、周波数の低下と共に S/N 比が低くなり、WIN システムによる最大振幅の自動読み取りでは正確な検出が難しい。これら両サイドの周波数帯域では、人の目による P 波、S 波の到着時刻の検出も大変困難になっている。これらの周波数依存性を考慮した後、可能な限り広い周波数帯域内で出来るだけ正確な最大振幅が検出できるバンドパスフィルターの帯域として、ここでは 1Hz から 12Hz と定め、そのバンドパスフィルターを通した地震波の最大振幅を自動的に検出した。このようにして検出された各海底地震計地点での各地震波の最大振幅(A_v)とその震源までの震源距離(r)とを気象庁一元化地震カタログのマグニチュードとを対比させ、最小二乗法的に求めた各点でのマグニチュード算出式を求めた(例えば、観測点 LS09 の場合は図 12)。この経験式に基づいて計算されたマグニチュードの平均値を、その地震のマグニチュード(MOBS)とした(図 13)。このマグニチュードに基づく規模別頻度分布からは、当海域での b-値が 0.7 とやや小さな値を示した。ちなみに前述の ZMAP の調査によれば、地震活動の静穏域として指摘した海域に相当する。また同一地震グループに対して、一元化地震カタログによるマグニチュード、かつ陸地観測点地震波(マグニチュード補正值なし)と海底地震計の波形(マグニチュード補正值あり)との併合処理によるマグニチュードに基づく規模別頻度分布もそれぞれ求めた。その併合処理によるマグニチュードの規模別頻度分布からは、M1.2 以上は前述の海底地震計データのみの分布とほぼ同じであるが、それ以下のマグニチュードについては検知能力による捕捉地震数の違いが見られ

た。ちなみに海底地震計のみの地震カタログの下限マグニチュードは M0.6 であり、それ以上の地震についてはほぼすべて捕捉していたのが明らかになった（図 14）。また図 14 で示されるように、気象庁一元化カタログのみの規模別頻度分布（×）は、前の 2 つの分布に比較して相対的に大きな地震ほど多く、かつ上に凸という分布になっていた。

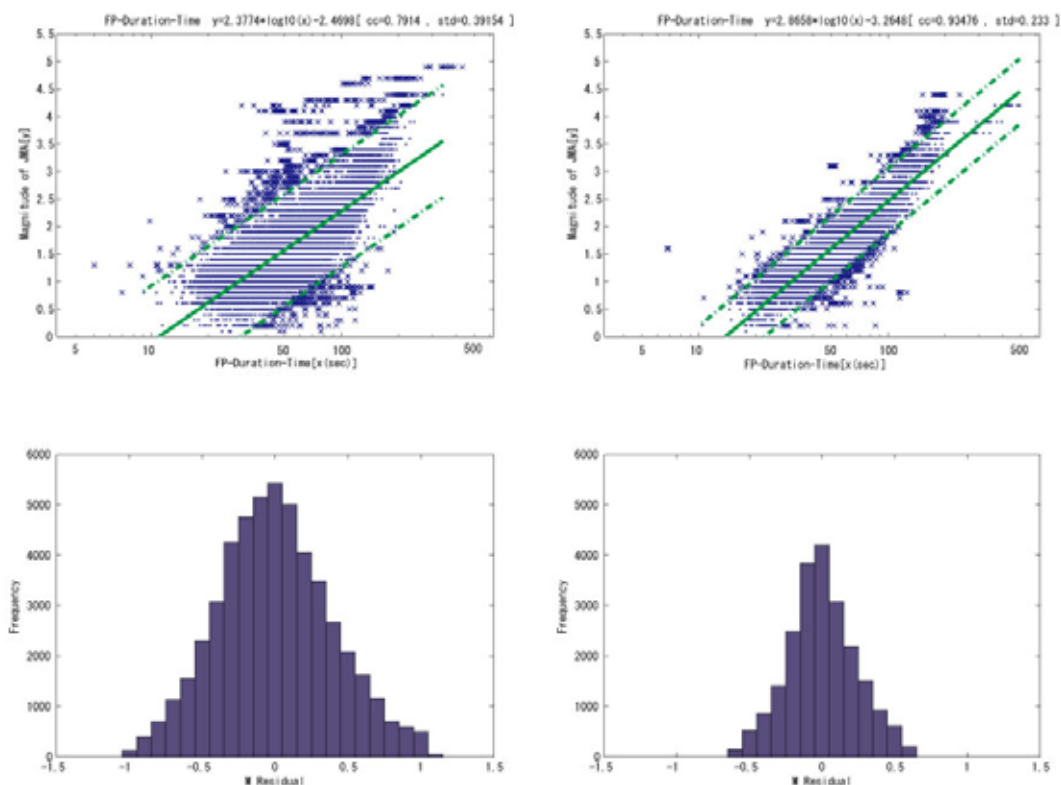


図 9 三陸沖北部に設置した長期観測型海底地震計に記録された地震の信号継続時間と気象庁一元化カタログのマグニチュードとの関係

左上：複数の検測者による結果（相関係数 = 0.79、標準偏差 $y = 0.39$ ）、左下：左上の分布のなかで、 $\pm 2 y$ 以内のデータの直線からの差の頻度分布、右上：気象庁一元化カタログのマグニチュードを参考にしながら、振動の継続時間を再検測した結果（相関係数 = 0.93、標準偏差 $y = 0.23$ ）、右下：右上の分布のなかで、 $\pm 2 y$ 以内のデータの直線からの差の頻度分布。

3.2.1.3. アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

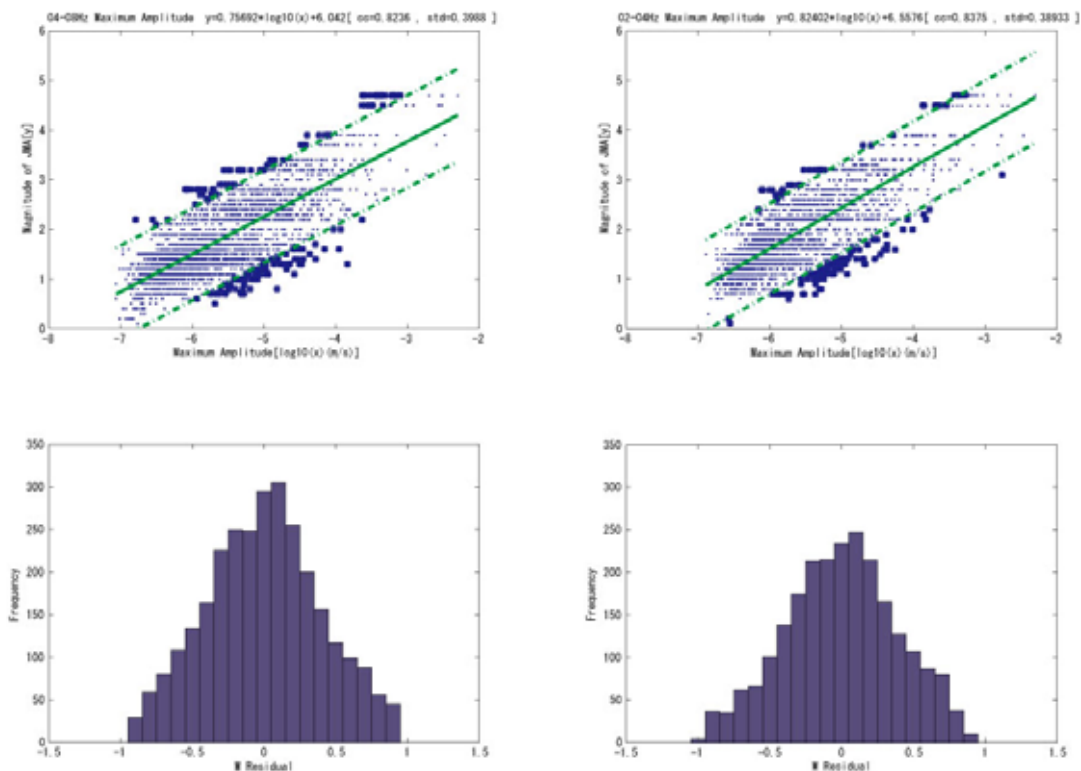


図 10 三陸沖北部に設置された長期観測型海底地震計に記録された地震の最大振幅と気象庁一元化カタログのマグニチュードとの関係

左上：バンドパスフィルタ 2Hz - 4Hz をかけた地震波形の最大振幅と気象庁マグニチュードとの関係（相関係数 = 0.83、標準偏差 $y = 0.39$ ）左下：左上の分布のなかで、 $\pm 2 y$ 以内のデータの直線からの差の頻度分布、右上：バンドパスフィルタ 4Hz - 8Hz をかけた地震波形の最大振幅と気象庁マグニチュードとの関係（相関係数 = 0.82、標準偏差 $y = 0.39$ ）右下：右上の分布のなかで、 $\pm 2 y$ 以内のデータの直線からの差の頻度分布。

3.2.1.3. アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

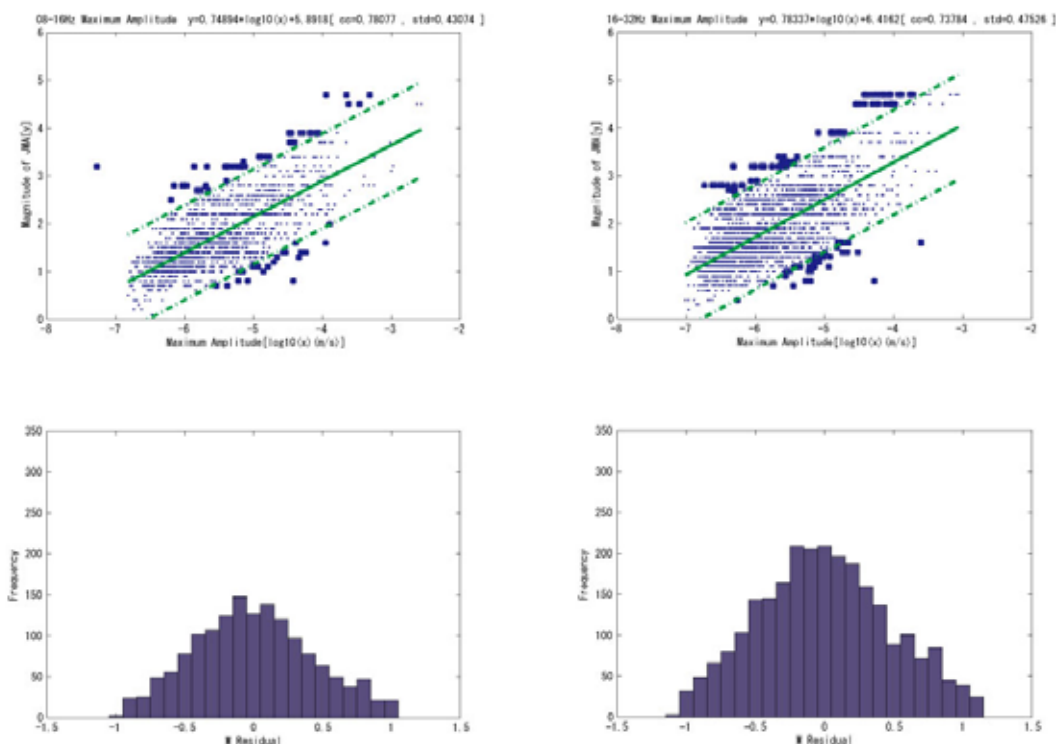


図 11 三陸沖北部に設置された長期観測型海底地震計に記録された地震の最大振幅と気象庁一元化カタログのマグニチュードとの関係

左上：バンドパスフィルター8Hz - 16Hz をかけた地震波形の最大振幅と気象庁マグニチュードとの関係（相関係数 = 0.78、標準偏差 $y = 0.43$ ）、左下：左上の分布のなかで、 $\pm 2 y$ 以内のデータの直線からの差の頻度分布、右上：バンドパスフィルター16Hz - 32Hz をかけた地震波形の最大振幅と気象庁マグニチュードとの関係（相関係数 = 0.74、標準偏差 $y = 0.48$ ）、右下：右上の分布のなかで、 $\pm 2 y$ 以内のデータの直線からの差の頻度分布。

3.2.1.3. アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

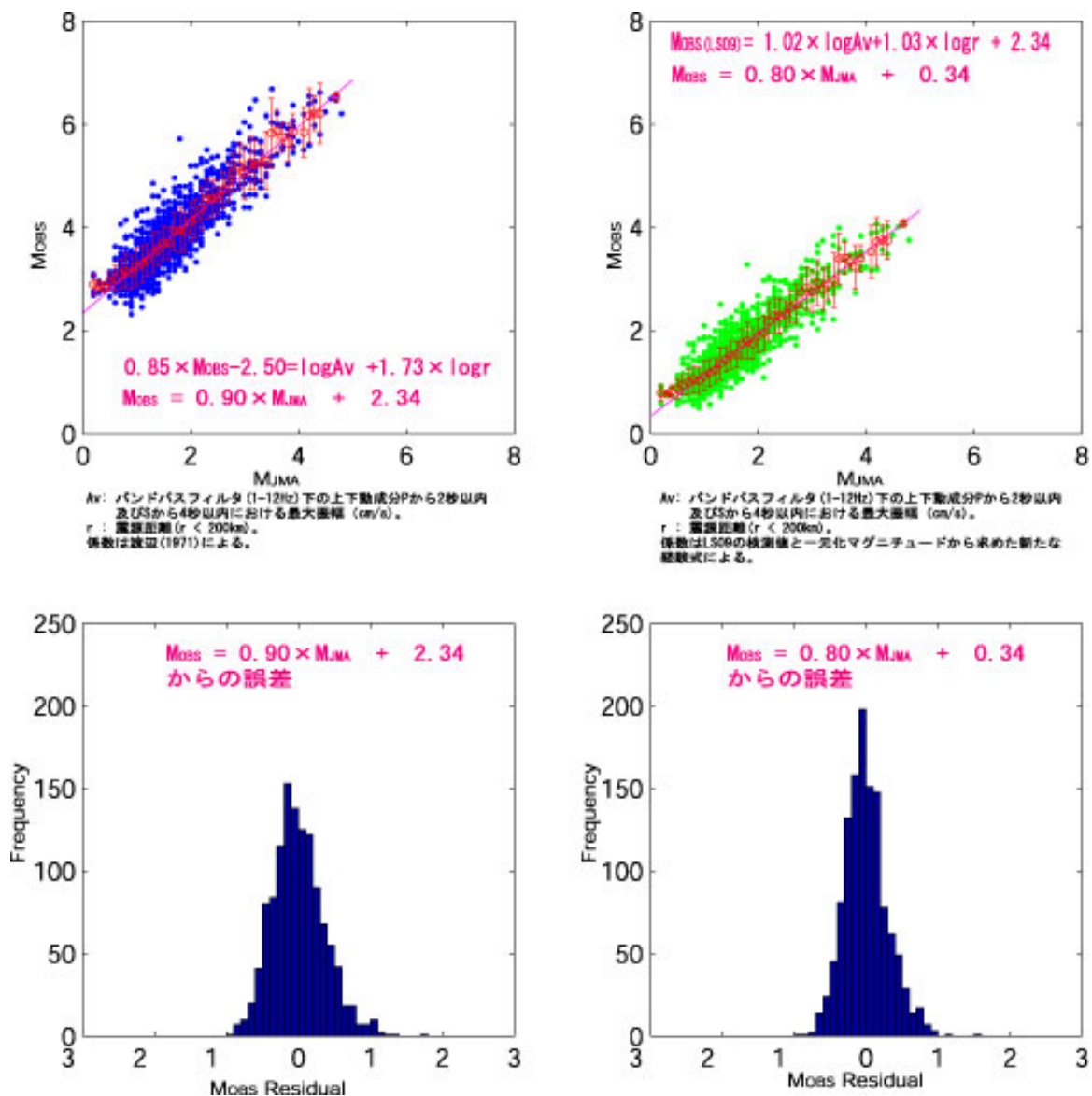


図 12 気象庁マグニチュード (MJMA) と海底地震計マグニチュード (MOBS) との対応 (例 ; 観測点 LS09 の場合)

右上 : 観測点 LS09 に記録された各地震の $\log(\text{最大振幅 } A_v, \text{cm/sec})$ と $\log(\text{震源距離 } r, \text{km})$ とを最小二乗法的に各 MJMA と対応つけた経験式 ($\text{MOBS} = 1.02 \log(r) + \log(A_v) + 2.34$) によって計算された MOBS と MJMA との関係、右下 : 右上の MOBS と MJMA との経験式からの残差分布、左上 : WIN 処理プログラムに用いられている、最大振幅、震源距離とマグニチュードとの関係式 (渡辺、1971) を用いて計算された MOBS と MJMA との関係、左下 : 左上の MOBS と MJMA との関係式からの残差分布。

3.2.1.3. アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

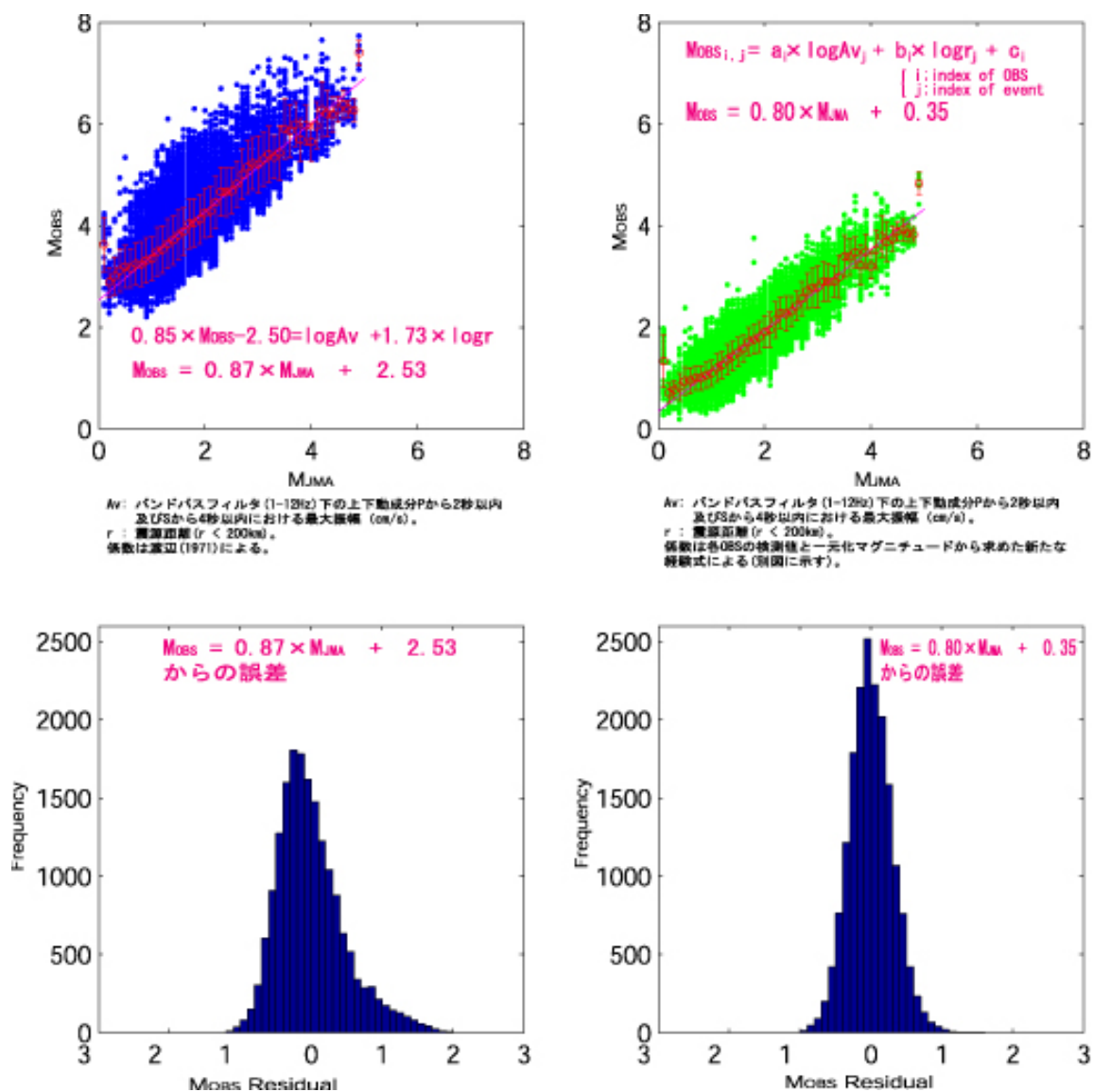
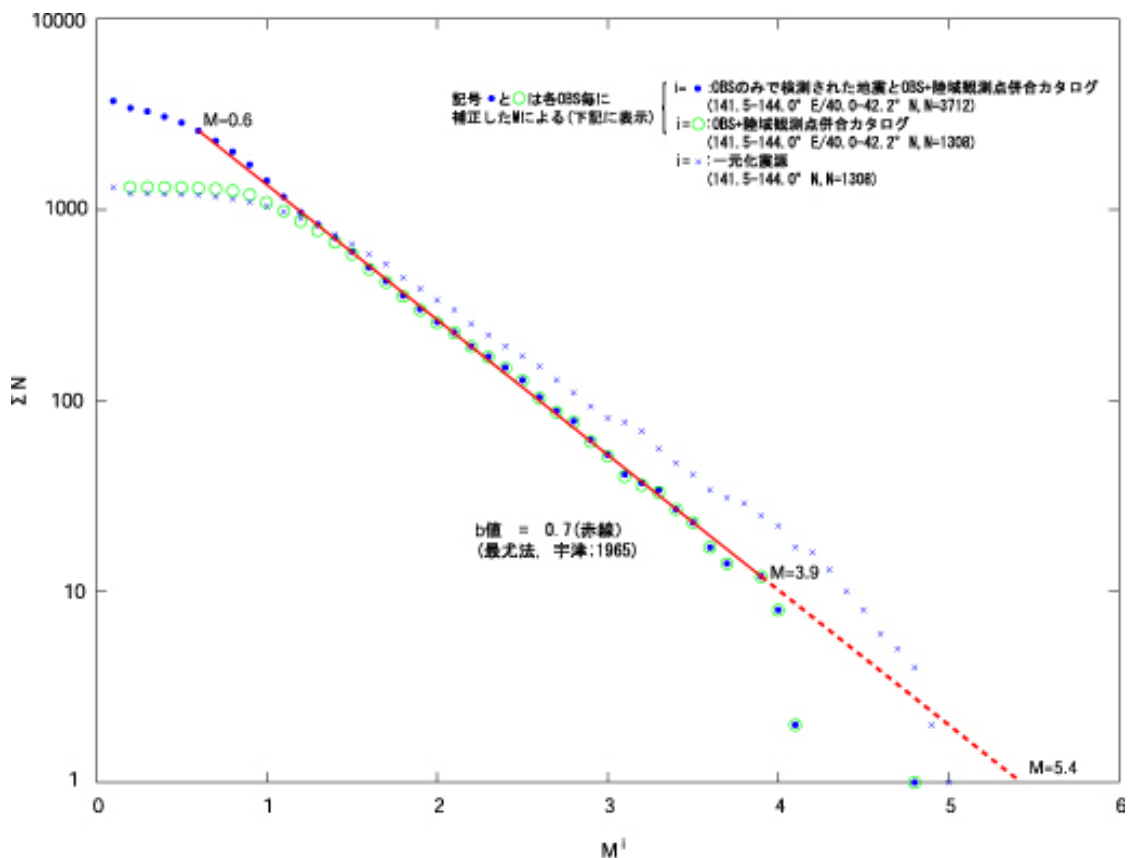


図 13 気象庁マグニチュード (MJMA) と海底地震計マグニチュード (MOBS) との対応 (全観測点 (LS02 - LS18))

右上：各観測点ごと MOBS を求める $\log(\text{最大振幅 } A_v, \text{ cm/sec})$ と $\log(\text{震源距離 } r, \text{ km})$ との経験式によって計算された MOBS と MJMA との関係 (全観測点)、右下：右上の MOBS と MJMA との関係式からの残差分布、左上：WIN 処理プログラムに用いられている、最大振幅、震源距離とマグニチュードとの関係式 (渡辺、1971) を用いて計算された MOBS と MJMA との関係 (全観測点)、左下：左上の MOBS と MJMA との関係式からの残差分布。

3.2.1.3. アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究



OBS	Mと距離 (r [km])と最大振幅 (Av [cm/s])との関係式
LS02	$1.00 * \log(Av) + 1.20 * \log(r) + 1.97$
LS03	$1.02 * \log(Av) + 1.23 * \log(r) + 1.82$
LS04	$1.05 * \log(Av) + 1.44 * \log(r) + 1.08$
LS05	$1.07 * \log(Av) + 1.36 * \log(r) + 1.69$
LS06	$1.08 * \log(Av) + 1.20 * \log(r) + 2.08$
LS07	$1.02 * \log(Av) + 1.03 * \log(r) + 2.14$
LS08	$1.02 * \log(Av) + 1.02 * \log(r) + 1.31$
LS09	$1.02 * \log(Av) + 1.03 * \log(r) + 2.34$
LS10	$1.07 * \log(Av) + 1.35 * \log(r) + 1.98$
LS11	$1.04 * \log(Av) + 1.22 * \log(r) + 2.08$
LS12	$1.04 * \log(Av) + 1.38 * \log(r) + 1.67$
LS13	$0.97 * \log(Av) + 1.06 * \log(r) + 1.90$
LS14	$1.06 * \log(Av) + 1.37 * \log(r) + 1.84$
LS15	$1.12 * \log(Av) + 1.53 * \log(r) + 1.73$
LS16	$1.04 * \log(Av) + 1.21 * \log(r) + 2.06$
LS17	$1.11 * \log(Av) + 1.68 * \log(r) + 1.39$
LS18	$1.11 * \log(Av) + 1.57 * \log(r) + 1.42$

図 14 三陸沖北部での地震の積算頻度分布と G-R 式の b - 値

地震カタログ: 海底地震計データのみ (●)、気象庁一元化地震カタログのみ (×)、
海底地震計データと気象庁一元化地震カタログの併合処理 (○)

下の表は、各海底地震計設置点での地震波信号 (周波数帯域: 1Hz ~ 12Hz の最大振幅と震源距離からマグニチュード (MOBS) を算出する経験式。

5) 地震のクラスター分布の図化

平成 18 年度では、2005 年 11 月 1 日から 2006 年 10 月 31 日までの最近 1 年間に発生した地震の時空間分布から、その発生の時空間的クラスターの度合い（クラスター強度）について、調べた。便宜上、以下の式にしたがってクラスター強度を 0~1.5 の指標に分類し、その違いをカラー表示で表示した（図 15、図 16）。白色がクラスター強度の最も大きい領域で、一方寒色ほどクラスター強度がゼロに近くなる領域を表す。

ここで用いたクラスター強度は、以下の定義に従って求めた。

前後の地震の時間間隔、 t (hour)としたとき、時間のクラスター強度を C_r とすると、

$$\begin{aligned} C_r &= 1 \quad \text{for } 0 < t < 1, \\ &= 2 - t \quad \text{for } 1 < t < 2, \\ &= 0 \quad \text{for } 2 < t. \end{aligned}$$

また前後の地震の距離間隔、 d (km)としたとき、空間のクラスター強度を C_d とすると、

$$\begin{aligned} C_d &= 1 \quad \text{for } 0 < d < 5, \\ &= 1.25 - d/20 \quad \text{for } 5 < d < 25, \\ &= 0 \quad \text{for } 25 < d. \end{aligned}$$

したがって時空間クラスター強度 N を、 $N = C_r \times C_d$ として定義し、地図上にプロットする。実際のカラー表示に際しては、緯度方向 0.05 度×経度方向 0.05 度に分けた小領域内にある地震 L 個について上述の定義式に従って各地震の N を求め、その積算値 N を各小領域でのクラスター強度とした。さらに各領域の積算値 N を地図上で平滑化した後、上述のカラーパレットにしたがってカラー表示した。ただし積算値 N が 1.5 を超える場合は、1.5 に固定した。

以上の定義に従って地図上に図化した図 15 からは、先述の三陸沖北部の ZMAP から地震活動の静穏化が指摘された、北緯 41.8 度、東経 142.5 度を中心とした海域の周辺で微小クラスター地震が多く発生しているのが理解できる。またそこは 1968 年十勝沖地震のアスペリティ分布の北側周辺海域でもある。一方図 16 の根室半島沖では、1973 年根室半島沖地震の震源域周辺でクラスター地震が多く発生しているのが明らかになった。ちなみに平成 17 年度の 2004 年浜中沖（釧路沖）地震直前（M7.1）の調査では、その本震時のアスペリティ分布の最南端で最も大きなクラスター強度が現われていた。したがって高いクラスター強度は、大地震のアスペリティ周辺海域に現れやすいとも解釈できる。大地震発生との関連性で、その活動が今後どのように推移していくのか、注目すべきと思われる。

3.2.1.3. アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

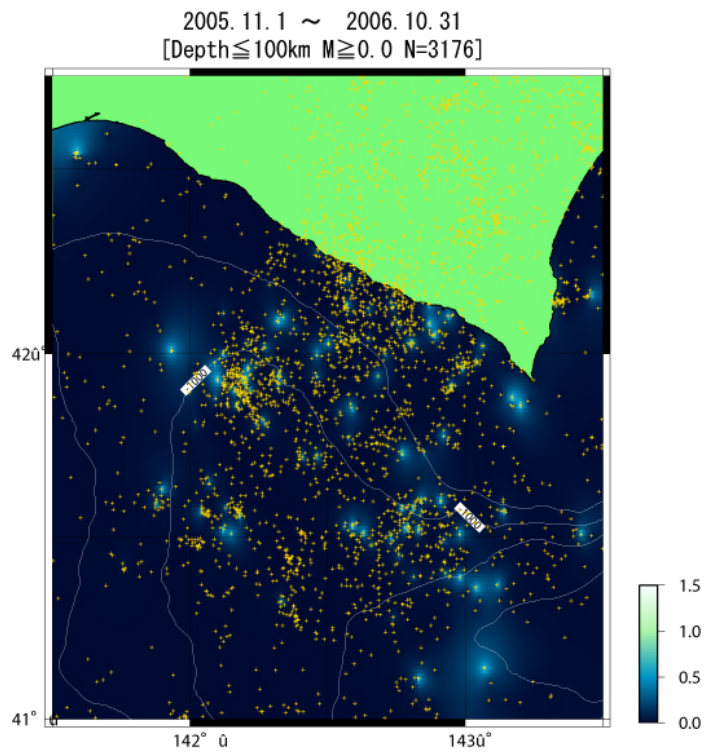


図 15 三陸沖北部における最近 1 年間の微小クラスター地震

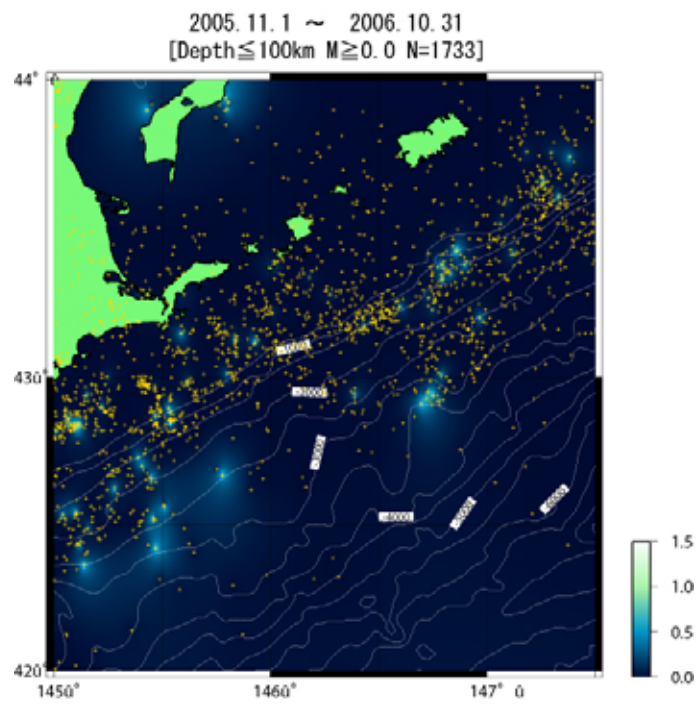


図 16 根室半島沖における最近 1 年間の微小クラスター地震

6) クラスタ地震間の波形類似性の検討

前述の通り、微小なクラスタ地震は大地震のアスペリティ分布周辺に現れやすいという特徴が示唆されたが、ここではさらにこれらのクラスタ地震間の時系列的関係についても調査を試みた。この調査は、アスペリティ周辺の応力状態に大きな変化がなければ、そこで起きる地震の発生機構もほぼ不変であり、それらの波形間の相関関係は高いであろうという目論見で行った。この調査方法として、あるクラスタ地震群に注目し、それぞれの地震波形間の相互相関係数、および波形の重ね合わせによる全波形の類似性を調べるというダブルチェック法をとった。この手法に先立って、生の地震波形から常時生じているバックグラウンドの雑微動を取り除く信号除去法を適用した(高波・雨宮 3, 2006)。これによって真に近い地震波形が抽出され、この種の調査結果の信頼性がより高くなると期待される。ここでの調査対象としたクラスタ地震は 2003 年十勝沖地震直前に確認された微小地震群(その地震の波形例、図 17)である(高波・他 4, 2005)。波形の重ね合わせは、最大振幅を規格化(1.0)し、互いの波形の山谷がもっとも良く対応したと判断できるまで波形を時間シフトさせた。このようにして最終的に求めた波形の重ね合わせの 1 例を図 18 に示した。図 19 は重ね合わせ波形間の相互相関係数を表にしたものである。なかで比較的短期間に続発した地震群(162~170、216~226、313~319)は、それらの波形間の相関係数も大きく(大きな に相当)互いに波形全体で高いフィットネスを表した。

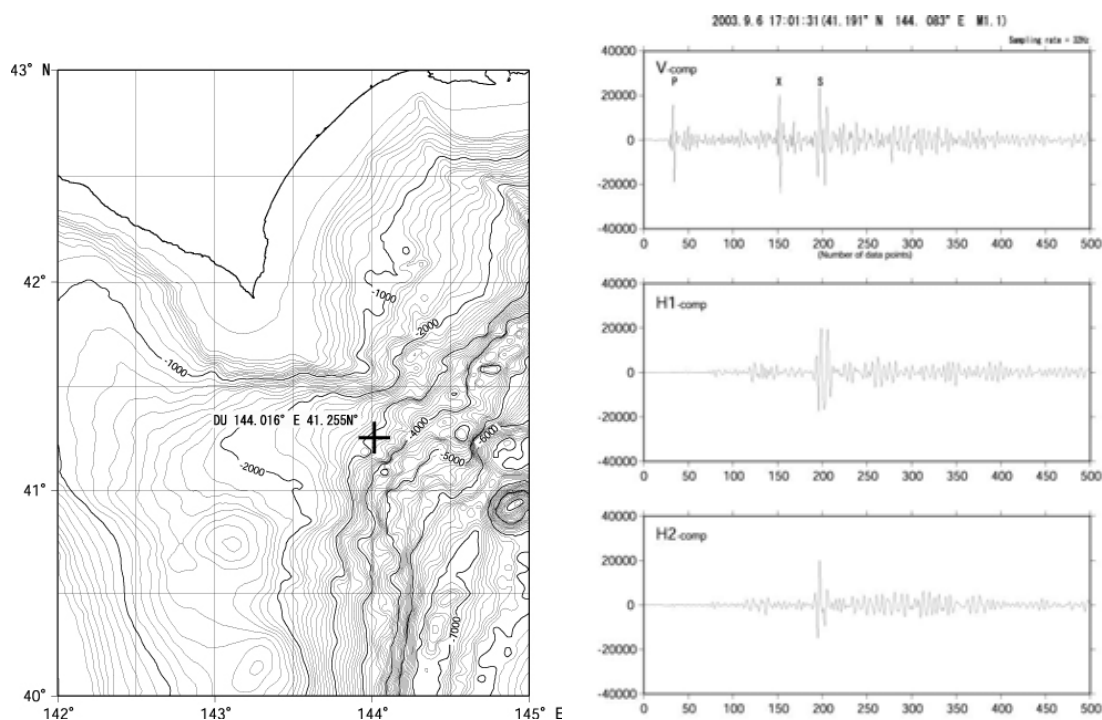


図 17 クラスタ地震近傍の海底地震計設置点と記録されたクラスタ地震例

左：海底地震計の設置点(+) 右：バックグラウンド信号除去処理後の 3 成分クラスタ地震波形(M1.1、地震番号 217)、サンプリング周波数 32Hz、横軸 データ点数。P 波と S 波の間に現れている X 相は海面からの反射波。

3.2.1.3. アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

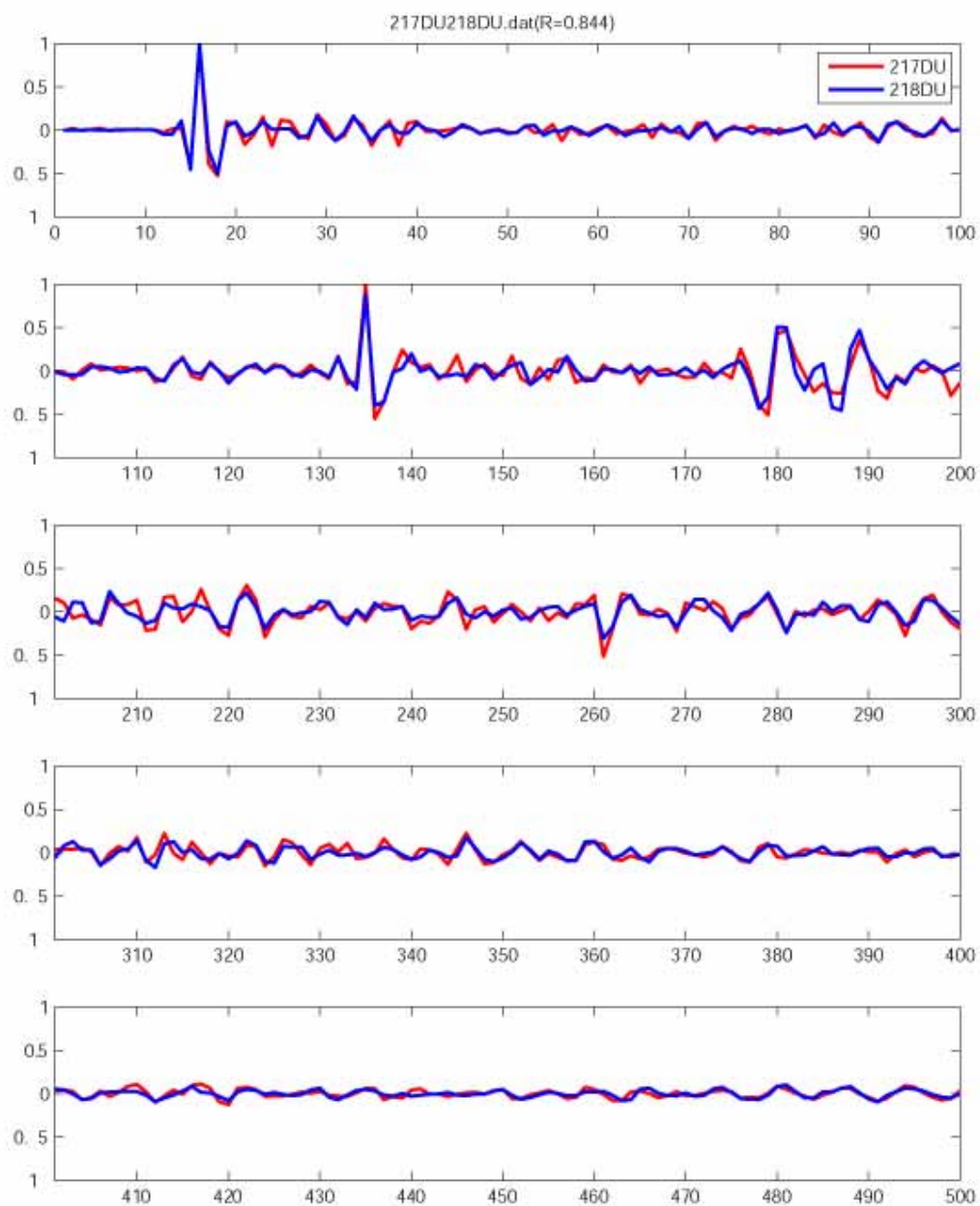


図 18 地震番号 217 と 218 との波形重ね合わせ例

地震 217 (オリジンタイム 2003 年 9 月 6 日 17 時 1 分、震央 東経 144.08 度、北緯 41.19 度、M1.1、深さ 20km)、地震 218 (オリジンタイム 2003 年 9 月 6 日 17 時 2 分、震央 東経 144.01 度、北緯 41.26 度、M?、深さ?km)、2 つの地震間の相互相関係数 $R = 0.8$ 。

3.2.1.3. アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

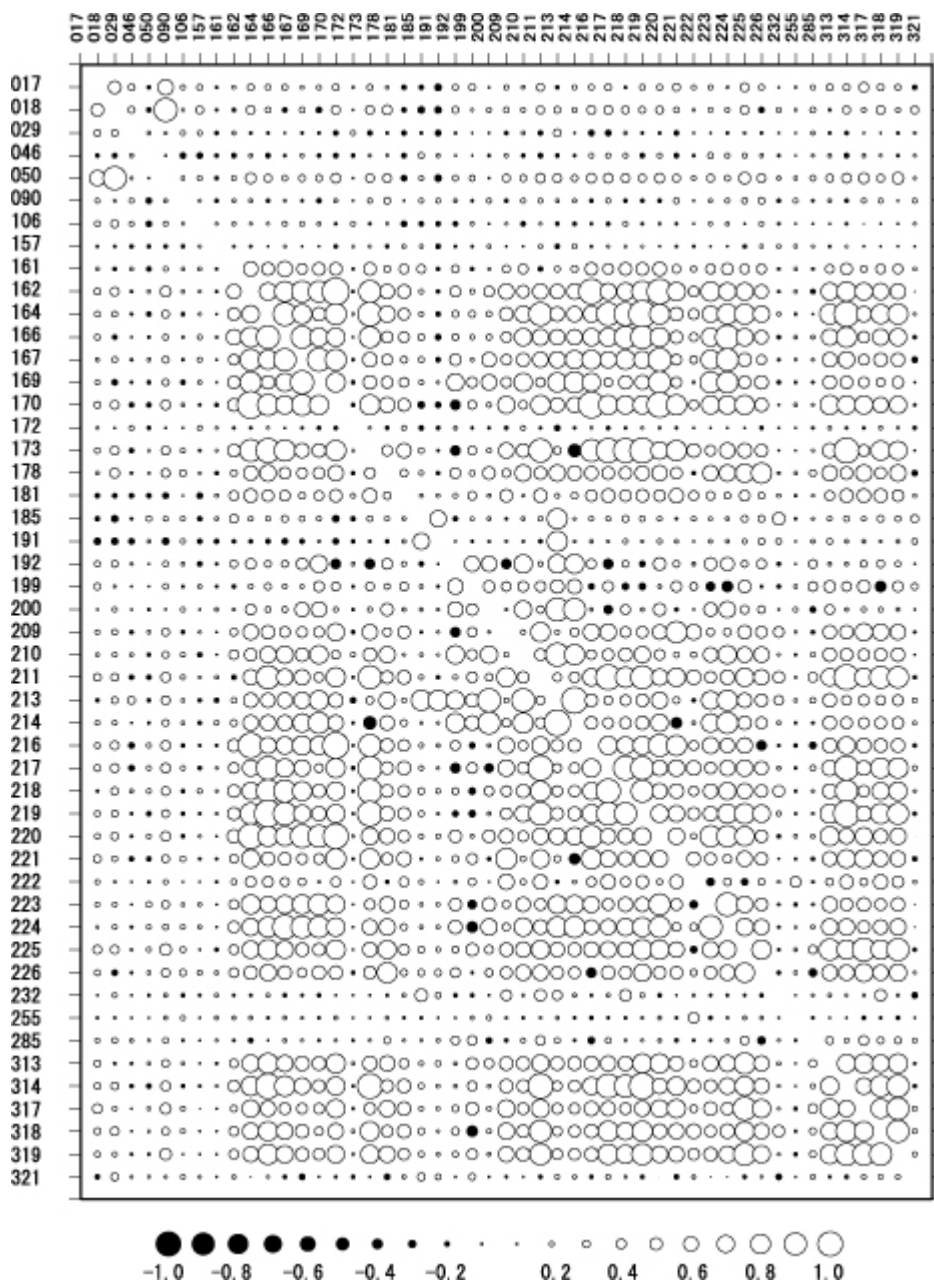


図 19 海底地震計に記録されたクラスター地震の波形間の相互相関係数
 枠外の数値：地震の発生順の地震番号。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 18 年度実施を予定した業務は、

- 1) 長期観測型海底地震観測
- 2) 長期観測型海底地震観測記録の検測
- 3) ZMAP 等の解析手法の適用
- 4) 長期観測型海底地震計記録からのマグニチュードの検討
- 5) 地震のクラスター分布の図化
- 6) クラスター地震間の波形類似性

等である。すべて滞りなく実施することができた。なお本調査研究の結論、および今後の課題としては、以下の概要としてまとめることができる。

1) 長期観測型海底地震観測

平成 18 年度では、東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、根室沖に構築した観測網の長期観測型海底地震計 30 台を平成 18 年 9 月に回収できた。また東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、東京大学地震研究所で組み立てた長期観測型海底地震計 42 台を、平成 18 年 10 月と平成 18 年 11 月の 2 回にわたって三陸沖北部(三陸沖北部から十勝沖)の計画観測地点に投入し、新規観測網を構築した。

2) 長期観測型海底地震観測記録の検測

東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、平成 17 年 12 月に 18 台、平成 18 年 1 月に 12 台とを根室沖に設置し、平成 18 年 9 月に回収した長期海底地震観測波形データを分担して、観測網周辺海域の気象庁一元化カタログ以外の地震 1697 個の P 波と S 波の到着時刻、最大振幅、信号の継続時間等を検測した。これらの検測された地震について、海底地震観測網の検測データのみによる震源計算結果と、同じ観測期間の、気象庁一元化地震波形データとこの海底地震観測網の波形データとの併合処理による震源計算結果とを比較した結果、ともに水深 2000m より深い海域での地震活動は極めて低かったと言える。一方水深 2000m 付近では、深さ 30km~40km のプレート上面付近の地震活動が高く、とくに海底地震観測網によってその直下の地震を数多く観測できた。その地震活動域が、さらに釧路海底谷を境に東西に分断されているのが明示され、この海底谷と地震活動の不連続の一致から推して、そこが深部まで続くテクトニクス的不連続線であるのが暗示された。以上のように大地震のアスペリティ周辺での地震活動の詳細は、このような海底地震観測網を構築して初めて明らかになった。

3) ZMAP 等の解析手法の適用

平成 18 年度では、三陸沖北部、および根室沖での想定アスペリティ周辺の地震活動の特性を調べるために、平成 16 年度に導入した ZMAP 法を気象庁一元化震源カタログに適用した。この手法を運用するにあたり、大きな地震など特別の地震活動の影響を取り除くためにデクラスター処理等の前処理をおこない、できる

だけ時間的に均質な地震カタログを作成した。ところでこの手法の明らかな成果の1つとして、2003年十勝沖地震のアスペリティ周辺の地震活動特性の調査報告（北海道大学2）2005）がある。それによると1998年11月頃から2003年1月頃まで、2003年十勝沖地震のアスペリティ北隣接域で顕著な静穏化が見られた。平成17年度と同様に今回もこの手法を適用したところ、三陸沖北部においては、東経142.4、北緯41.8度を中心とした領域で2001年8月にZ値4.7の最大値を示し、そこを中心とした海域で静穏化が始まっているのが示唆された。この傾向は平成17年度の調査結果5)とほぼ同じである。当海域は、1982年十勝沖地震（M7.1）の震源域に隣接していることからその周辺海域での今後の地震活動の推移を注目すべきであろう。一方その海域の南に位置する長期観測型海底地震観測網内での特別な地震活動の変化は、今回のZMAP法の適用からは特別な地震活動の変化は見出されなかった。一方、根室沖での想定アスペリティ周辺の地震活動調査からは、それほど顕著なZ値ではなかった。この傾向は平成17年度と同じである。平成18年度ではさらに東部の根室半島東方沖の地震活動について調査した。その結果、地震活動は高いものの、根室沖と同じくZ値の時間変化は特に認められなかった。

4) 長期観測型海底地震計記録からのマグニチュードの検討

地震のマグニチュードを求めるに、平成16年度三陸沖北部に設置し、平成17年10月に回収した18台のうち、記録状態が良好であった17台の長期海底地震観測波形データのマグニチュードについて吟味を行った。これらの調査の結果、信号の継続時間から求めたマグニチュードに比べ、最大振幅から求めたマグニチュードの方がより気象庁マグニチュードとの関係が線形に近く、よい相関関係にあることが理解できた。また最大振幅のバンドパスフィルターによる影響については、各種のバンドパスフィルターを通過させ、それぞれの周波数バンド毎の対応関係を調べた。その結果、8Hz以上の周波数バンドでは気象庁マグニチュードとの対応関係（相関関係）が悪くなる。一方2Hz以下の低い周波数バンドでは、周波数の低下と共にS/N比が低くなり、WINシステムによる最大振幅の自動読み取りでは正確な検測が難しい。これら両サイドの周波数帯域では、人の目によるP波、S波の到着時刻の検測も大変困難になっている。以上の周波数依存性を考慮して、ここでは1Hzから12Hzの帯域のバンドパスフィルターを通した地震波の最大振幅を自動的に検測した。このようにして検測された各海底地震計地点での各地震波の最大振幅(A_v)とその震源までの震源距離(r)とを気象庁一元化地震カタログのマグニチュードとを対比させ、最小二乗法的に求めた各点でのマグニチュード算出式を求めた。この経験式に基づいて計算されたマグニチュードの平均値を、その地震のマグニチュード(MOBS)とした。このマグニチュードに基づく規模別頻度分布はM0.6からM3.9までほぼ直線関係となっていた。これから海底地震計のみの地震カタログの下限マグニチュードはM0.6であり、それ以上の地震についてはほぼすべて捕捉していたのが確認できた。この直線関係に宇津(1965)の最尤法でb-値を計算すると0.7とやや小さな値が求めた。一方気

象庁一元化カタログのみの規模別頻度分布は、相対的に大きな地震ほど多く、かつ上に凸の分布を示し、小さな地震ほど捕捉率が悪いのが確認できた。この小さな b - 値を示した海域は、ZMAP で静穏化が確認された海域でもあり、今後の地震活動の推移が注目される。

5) 地震のクラスター分布の図化

既述のクラスター強度の定義に従って地図上に図化した結果、三陸沖北部の ZMAP から地震活動の静穏化が指摘された、北緯 41.8 度、東経 142.5 度を中心とした海域の周辺で微小クラスター地震が多く発生しているのが確認された。一方根室半島沖では、1973 年根室半島沖地震の震源域周辺でクラスター地震が多く発生していたのが確認された。高いクラスター強度は、大地震のアスペリティ周辺海域に現れやすく、一方普段の地震活動が低調である想定大地震のアスペリティではクラスター強度が低いという地震活動の特性の違いが確認された。今後、大地震発生との関連性で、そのクラスター強度がどのように推移していくのか、注目される。

6) クラスター地震間の波形類似性

ここでは、あるクラスター地震群に注目し、それぞれの地震波形間の相互相関係数、および波形の重ね合わせによる全波形の類似性を調べるというダブルチェックの手法をとった。さらに常時生じているバックグラウンドの雑微動を取り除く信号除去法を適用したため、解析に用いた地震波形は S/N 比が高く、この調査結果の信頼性はより高くなっている。調査対象としたクラスター地震は 2003 年十勝沖地震直前に確認された微小地震群である。最終的に求めた波形の重ね合わせのフィットの良さのチェック、重ね合わせ波形間の相互相関係数の計算から、比較的短期間に続発した微小クラスター地震ほど波形間の相関係数は大きく、互いに波形のフィットネスが高いことが確認された。想定大地震周辺に見られた微小クラスター地震は小さなアスペリティでの続発地震であると考え、そこに加わる応力にも大きな変化がなければ、起きる地震の起き方も概略一定となり、特定の観測点でのそれらの波形間の相関関係はきわめて高い、ということが予想される。今回の微小クラスター地震間の時系列解析によってこれが支持されたと言える。

(e) 引用文献

- 1) Wiemer, S., and M. Wyss, Seismic quiescence before the Lander (M=7.5) and Big Bear (M=6.5) earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 84, 900-916, 1994.
- 2) 北海道大学、アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究、科学技術振興費、主要 5 分野の研究開発委託事業、東南海・南海地震等海溝型地震に関する調査研究(当南海・南海地震)(日本海溝・千島海溝周辺の海溝型地震)、平成 16 年度成果報告書、文部省・東京大学地震研究所・東北大学理学研究科・防災科学技術研究所・海洋研究開発研究機構, 214 - 227、2005 .

- 3) 高波鐵夫・雨宮晋一郎、大地震直前の微小クラスター相似地震の抽出、日本地震学会講演予稿集(200年度秋季大会)、D056、146、2006
- 4) 高波鐵夫・村井芳夫・町田祐弥・齊藤市輔・牧野由美・勝俣 啓・山口照寛、西野実、海底地震観測が明示した2003年十勝沖地震直前の顕著な現象、地震、57、291 - 3003、2005 .
- 5) 北海道大学、アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究、科学技術振興費、主要5分野の研究開発委託事業、東南海・南海地震等海溝型地震に関する調査研究(当南海・南海地震)(日本海溝・千島海溝周辺の海溝型地震)、平成17年度成果報告書、文部省・東京大学地震研究所・東北大学理学研究科・防災科学技術研究所・海洋研究開発研究機構、219 - 236、2006 .

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

現在はまだ無し。

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし。

2) ソフトウェア開発

なし。

3) 仕様・標準等の策定

なし。

(3) 平成19年度業務計画案

(a) 業務計画

- 1) 観測点配置に関する調整
- 2) 海底地震計の設置・回収
- 3) データ処理システムの整備
- 4) 陸域観測網による地震データの収集および解析システムの整備
- 5) 海・陸データ処理の分担
- 6) データ解析

(b) 実施方法

1) 観測点配置に関する調整

東京大学、東北大学とともに当該海域における地震活動状況および陸上に既設の地震観測網の配置を考慮して研究遂行上最適な観測点配置について検討し、観測実施にあたり関係各機関・団体等との調整を行う。

2) 海底地震計の設置・回収

東京大学、東北大学とともに三陸沖北部から十勝沖の海域に展開した長期観測

型海底地震計を回収する。また、長期観測型海底地震計による観測網を福島県沖から房総沖にかけての海域に展開する。

3) データ処理システムの整備

データ処理システムを増強し、既存の海陸観測データおよび三陸沖北部から十勝沖の海底地震観測で得られたデータが円滑に統合されるよう調整・整備を行う。

4) 陸域観測網による地震データの収集および解析システムの整備

既設の陸域観測網のデータの収集を実施するほか、解析システムを整備してZMAP等による地震活動調査のための準備を行う。

5) 海・陸データ処理の分担

東京大学、東北大学とともに三陸沖北部から十勝沖のより正確な地震活動の把握をすすめるため、海・陸の地震データの処理を分担する。

6) データ解析

アスペリティ周辺の地震活動の特性を把握するため、震源域でのアスペリティ、アスペリティ周辺のプレート上面付近およびプレート内部での地震活動度の時空間的分布を把握する。定量的な把握をすすめるため、地震の震源情報(発震時、震源位置、マグニチュード)を用いて算出する地震活動度の時間変化の強度を表すパラメータZ値をマッピングした可視化図(ZMAP)等を作成する。

(c) 目標とする成果

日本海溝・千島海溝周辺を対象として実施する長期海底地震観測に参加してデータ処理を分担する。アスペリティ周辺の地震活動の特性を把握するため、震源域でのアスペリティ、アスペリティ周辺のプレート上面付近およびプレート内部での地震活動度の時空間的分布を把握する。定量的な把握をすすめるため、地震の震源情報(発震時、震源位置、マグニチュード)を用いて算出する地震活動度の時間変化の強度を表すパラメータZ値をマッピングした可視化図(ZMAP)等を作成する。さらに長期観測型海底地震計記録からのマグニチュードの検討、微小地震のクラスター分布の図化、およびそれらのクラスター地震間の波形類似性の調査などを実施する。