

北海道とその周辺における最近の地震活動 2018年1月1日～2023年5月31日

高波 鐵夫^{1), 2)}

Recent Seismic Activity in and around Hokkaido, Japan
January 1, 2018 - May 31, 2023

Tetsuo Takanami^{1), 2)}

2023年6月30日受付
2023年9月21日受理

- 1) 北海道総合地質学研究中心
Hokkaido Research Center of Geology (HRCG)
2) カーネギー研究所・地球惑星研究室
Earth and Planets Laboratory/Carnegie Inst. for Science

Corresponding author: takanami69@gmail.com

Keywords: recent seismic activity, synchronous seismic activity,
WCMT analysis, geographic distribution of NIED CMT solutions

要旨

2018年9月6日に、北海道胆振地方中東部で発生した逆断層型地震の胆振東部地震 (M6.7) が発生し、震源域にある厚真町で震度7を観測した。その内陸被害地震からすでに5年が経過したが、その長期に亘る北海道とその周辺の地震活動の調査報告は少ない。その期間に発生した地震の時空間分布と発震機構を調査することによって、現在巨大津波地震が想定されている千島孤南西端や青森県東方沖のほか、根室はるか沖の千島海溝付近、知床半島沖、北海道北部、日高山脈南部、択捉島付近などで顕著な地震が発生していたのが知れた。それらの統合的考察から、海溝沿いとスラブ深部との地震活動の因果関係や、十勝沖～根室沖の非DC解と青森県東方沖の純粋なDC解との発震機構の地域差が示唆された。

はじめに

2018年9月6日に、北海道胆振地方中東部の厚真町とむかわ町の境界付近で、逆断層型地震の胆振東部地震 (M6.7) が発生し、北海道で初となる震度7を厚真町で観測した。その被害地震からすでに5年が経過し、その余震活動は次第に衰えつつあるが、依然として北海道とその周辺では地震が活発に発生している (高波, 2020; 2022)。

Fig.1 に、地震観測網が整備された1997年10月1日から現在の2023年5月31日までに、北海道とその周辺で発生した、深さ200 km以浅、M4.0以上の地震の震央分布を示した。この図から、2003年9月26日十勝沖地震 M8.0 が発生した千島・日本海溝沿い、日本海東縁地震帯、オホーツク海、サハリン海峡などの海域のほか、1968年9月6日の胆振東部地震 M6.7 が発生した

胆振地方中東部、北海道北西部浅発地震帯、火山フロント、北海道下に沈み込んだ深発地震帯 (スラブ)、千島海溝外側のアウトターイズなど広範な地域で地震が多く発生したのが知れる。地震に伴って発生した地震波エネルギーの積算分布を図示した Fig. 2 からは、2003年十勝沖地震 M8.0 の地震の規模が際立って大きかったのが理解できる。多方、震度7を観測した2018年胆振東部地震は、その十勝地震の余勢もなくなった静穏期に発生したのが知れる。

しかし、それらの震源域での地震が少なくなった現在も、千島海溝と日本海溝の会合部や十勝沖などで続発した M6 程度の地震、北海道下に沈み込んだスラブ内の地震、北海道北部の中川町周辺の震度5強の内陸被害地震など、いろいろ場所で地震が活発に発生している。

一方、根室沖～釧路・十勝境界領域やえりも岬南方沖

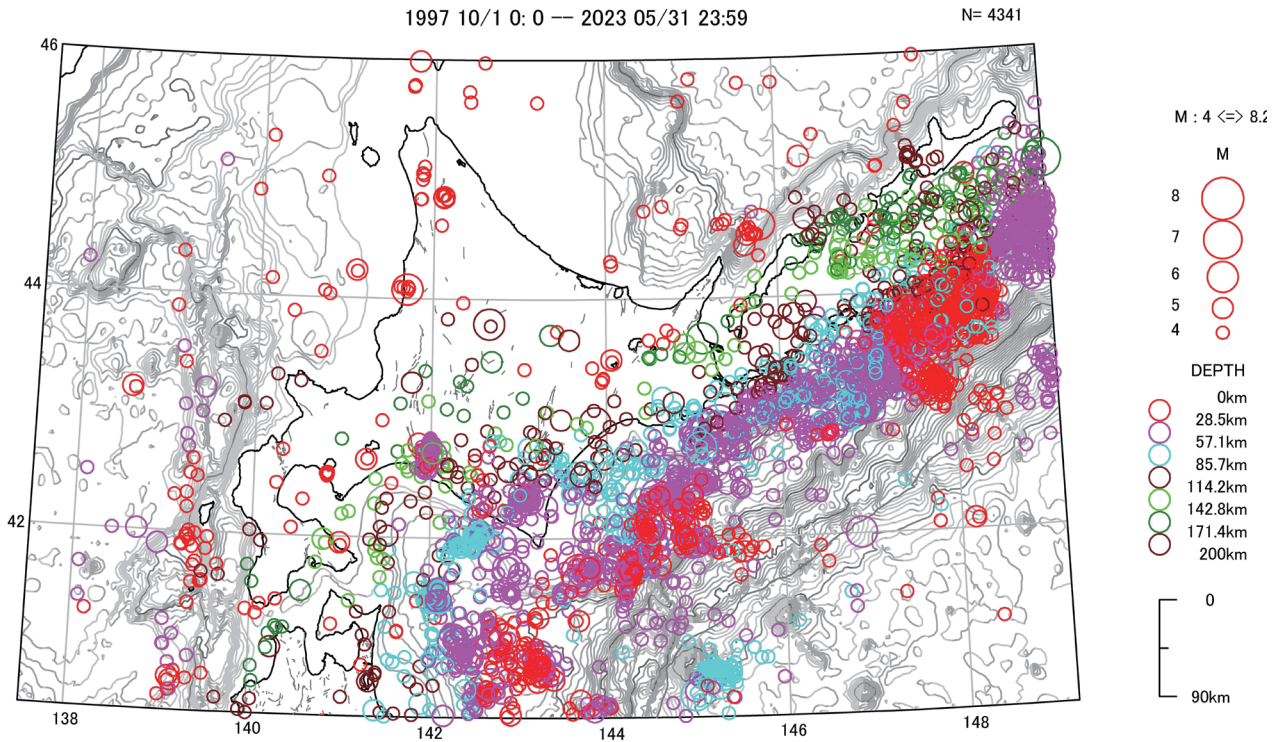


Fig.1. Epicentral map of earthquakes over M4 occurred in and around Hokkaido, Japan.

Period: October 1, 1997 - May 31, 2023. Depth: 0 - 200 km. As shown in the explanation on the right, the size of the circles corresponds to the magnitude of the earthquake, and the different colors indicate the depth classification. Thick solid lines on the seafloor are drawn every 2000 m depth.

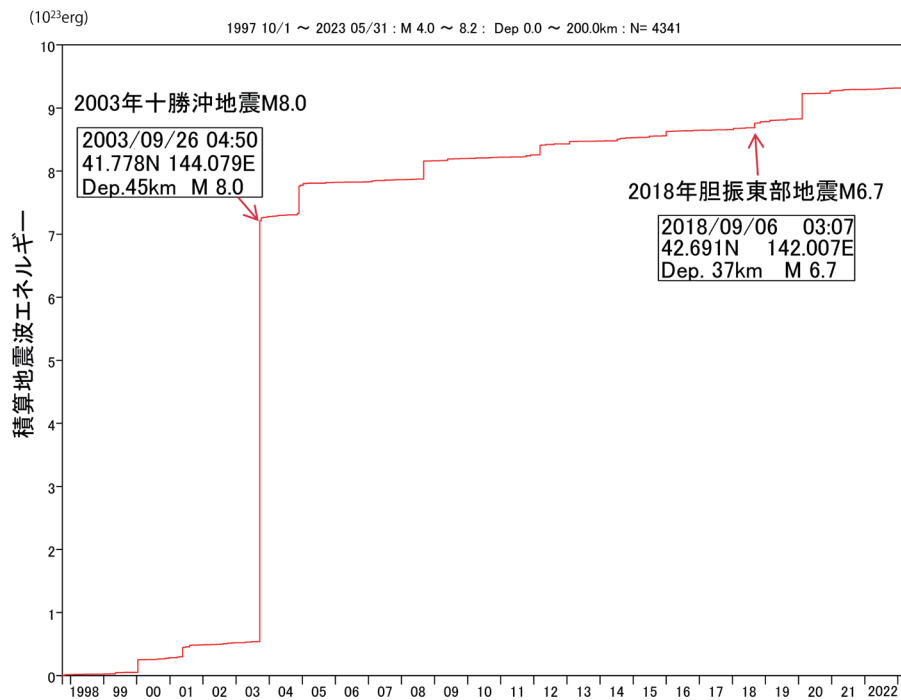


Fig.2. Cumulative distribution of seismic wave energy released by the earthquake plotted in Figure 1.

Source parameters for two big damaging earthquakes (2003 Tokachi-oki earthquake and 2018 Iぶり-tobu earthquake) are indicated by balloons.

に、地震活動の低い地震空白域が存在している。とくに1894年以來、M8を超える大きな地震が発生していない根室海域では地震発生ポテンシャルが高くなっていると

考えられている。

地震調査研究推進本部・地震調査委員会(2017)は、当海域の海溝型地震について、プレート間巨大地震が、

今後30年以内に発生する確率は70%程度、今後50年以内の発生確率は、90%程度以上、規模はM7.8～8.5程度と推定した。さらに、2003年十勝沖地震は境界領域(十勝沖から根室沖)を破壊しなかったことから、次の根室沖のプレート間巨大地震の際、この領域まで破壊され、1952年の十勝沖地震のような規模になる可能性を指摘した。また津波堆積物の解析から、境界領域を越えて複数の領域が連動することにより、平均発生間隔が約340～380年の超巨大地震(Mw8.8程度)になる可能性も無視できないと警告している。

ここでは、北海道とその周辺で発生した地震の時空間分布から最近の地震活動を紹介する。

地震概況

この章では、気象庁命名の「震央地名・震度観測点名」に沿って、2018年1月1日～2023年5月31日に北海道内で震度3以上を観測した地震を分類し、個々の地震の発生時、深さ、規模をリストアップした(Table 1 - Table 6)。ここで「震度」に注目したのは、内陸の浅い地震は、Mが小さくても大きな揺れを観測し、局所的な被害を被る場合があるからである。

また、北海道内で発生する地震は、過去の複雑なテクトニクスを反映しているのが散見される。東北地方の地震活動パターンが北方に延長していると考えられている、渡島半島の地殻内地震の深さは、ほぼ15km以浅であるのはよく知られている。さらに、北海道北部から空知地方に南北に伸びた北海道西縁地震帯も浅い地震活動が顕著である(例えば、高波鐵夫, 2018)。一方、北海道の背骨をなす日高山脈周辺の地震はより深部で発生している。2018年9月6日胆振東部地震の本震の深さは37kmと深く、その震源域では15km以浅の地震は皆無である。このような多様な地震分布と地震波速度構造との関係については、すでに高波(2010)によるレビューがある。

ここでは、最近北海道とその周辺で発生した地震に注視し、上述の地域ごとで観測した震度3以上の地震の震源パラメータを以下に列挙する。さらに各「震央地名」で観測した震度3以上の地震数を1ヶ月毎にカウントして、Table 1-6に示した。これによって、北海道とその周辺で発生した地震のうち、道内のいずれかで震度3以上の揺れを感じた地震の震央分布がより容易に理解できよう。震度から見た、最も地震活動が高かった年も胆振東部地震が発生した2018年であった。

1. 胆振地方中東部

2018年9月6日に深さ37kmでM6.7の「平成30

年北海道胆振東部地震」が発生し、厚真町で最大震度7を観測し、北海道の広い範囲で被害を被った。気象庁ホームページ及び札幌管区気象台ホームページによれば、それ以降から9月30日までに、震度1以上の地震が276回(最大震度5弱が1回、最大震度4が16回、最大震度3が33回、最大震度2が75回、最大震度1が151回)が示すように、北海道では観測史上最大の地震となった。10月から12月までの期間には、震度1以上を観測する地震は35回(そのうち、最大震度5弱が1回、最大震度4が4回、最大震度3が2回、最大震度2が6回、最大震度1が22回)など余震が発生した。

そこで、ここでは同月に震度3以上の地震を続けて観測した場合、それらの発生年月日、深さ、M(マグニチュード)を一括りにしてリストアップした。

本震が発生した翌月の2018年10月には、10月1日深さ35kmM4.7、10月5日深さ31kmM5.2、10月6日深さ35kmM4.1、10月8日深さ32kmM4.3、10月9日深さ32kmM4.3、10月12日深さ23kmM4.6、10月18日33kmM4.1、11月14日深さ32kmM4.7、12月9日深さ29kmM4.0、そして12月21日深さ32kmM3.5など震度3以上の地震が多く観測された。2019年では、2月21日深33kmM5.8、2月23日深さ30kmM3.9、5月31日深さ36kmM4.1、7月30日深さ28kmM4.2、12月16日深さ31kmM4.4が示すように余震が減り、2020年では2月12日深さ41kmM4.2の地震が1回だけとなった。2020年3以降は震度3以上の余震は全く観測されていない。なお、2021年1月27日に発生した深さ128kmM5.4の地震は、胆振東部地震の震源域直下にあるスラブ内地震であり、胆振東部地震の余勢が収まってから発生した。

2. 宗谷海峡

2022年7月2日深さ324kmM5.9の深発地震が発生した。

3. 宗谷地方北部

2019年12月12日深さ7kmM4.2、2022年6月20日深さ10kmM4.4、8月4日深さ7kmM4.1、8月4日深さ8kmM3.5などの地震が発生した。

4. 留萌地方中北部

2018年6月20日深さ11kmM4.1の地震が発生した。

5. 上川地方北部

2019年10月15日深さM3.3、2021年2月6日深さ2kmM3.9、2022年8月11日深さ2kmM5.2、8月11日深さ5kmM5.4、8月11日深さ6kmM3.9、8月11日深さ6kmM4.6、8月11日深さ7kmM3.3、8月12日深さ2kmM4.4、8月16日深さ0km、2023年1月

Table 1. 震度3以上の地震(2018年)

| 震央地名(2018年) | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 択捉島南東沖 | | | | | | | | | | | | |
| 国後島付近 | | | | | | | | | | 1 | 1 | |
| 北海道東方沖 | | | | | | | | | | | | |
| 根室半島東方沖 | | | | 2 | | | | | | | | |
| 根室半島南東沖 | | | | 1 | | | | | 1 | | | |
| 網走地方 | | | | | | | | | | | | |
| 釧路沖 | | | | | 1 | | | | | | | |
| 釧路地方中南部 | | | | | | | | | | | | |
| 十勝地方中部 | | | | | | | | | | | | |
| 十勝地方南部 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 十勝沖 | | | | | | | | | | | | |
| 浦河沖 | 1 | | | | | | | | | | | |
| 日高地方東部 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 日高地方中部 | | | | | | | | | | | | |
| 日高地方西部 | | | | | | | | | 1 | | | |
| 内浦湾 | | | | | 1 | | | | | | | |
| 胆振地方中東部 | | | | | | | | | 51 | 7 | 1 | 2 |
| 青森県東方沖 | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | 1 | |
| 留萌地方中北部 | | | | | | 1 | | | | | | |
| 渡島地方北部 | | | | | | | | | | | | |
| 空知地方中部 | | | | | | | | | | | | |
| 宗谷海峡 | | | | | | | | | | | | |
| 宗谷地方北部 | | | | | | | | | | | | |
| 上川地方北部 | | | | | | | | | | | | |
| 後志地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方北部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| サハリン西方沖 | | | | | | | | | | | | |

Table 2. 震度3以上の地震(2019年)

| 震央地名(2019年) | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 択捉島南東沖 | | | | | | | | | | | | |
| 国後島付近 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 北海道東方沖 | | | | 1 | 1 | | | | | | | |
| 根室半島東方沖 | | | | | | | | | | | | |
| 根室半島南東沖 | | | | 1 | | | | | | | | |
| 網走地方 | | | | | 2 | | | | | | | |
| 釧路沖 | | | | | | | | | | | | |
| 釧路地方中南部 | | | | | | | | | | | | |
| 十勝地方中部 | | | | | | 1 | | | | | | |
| 十勝地方南部 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 十勝沖 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 浦河沖 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 日高地方東部 | | | | | | | | | | | | |
| 日高地方中部 | | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| 日高地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| 内浦湾 | 1 | | | | | 1 | | | | | | |
| 胆振地方中東部 | 1 | | | | | | | | | | | |
| 青森県東方沖 | | 1 | | | | | | 1 | | | 2 | |
| 留萌地方中北部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方北部 | | | | | | | | | 1 | | | |
| 空知地方中部 | | | | | | | | | | | | |
| 宗谷海峡 | | | | | | | | | | | | |
| 宗谷地方北部 | | | | | | | | | | | | |
| 上川地方北部 | | | | | | | | | 1 | | | |
| 後志地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方北部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| サハリン西方沖 | | | | | | | | | | | | |

Table 3. 震度3以上の地震(2020年)

| 震央地名(2019年) | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 択捉島南東沖 | | | | | | | | | | | | |
| 国後島付近 | | | | | | | | | | | | |
| 北海道東方沖 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 根室半島東方沖 | | | | | | | | | | | | |
| 根室半島南東沖 | | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | 1 |
| 網走地方 | | | | | | | | | | | | |
| 釧路沖 | | | | 1 | | | | | | | 1 | |
| 釧路地方中南部 | | | | | | | | | | | | |
| 十勝地方中部 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 十勝地方南部 | | | | 1 | | | | | | | | |
| 十勝沖 | | | | | | | | | | | | |
| 浦河沖 | | | | | | | | | | | | |
| 日高地方東部 | | | | | | | | | | | | |
| 日高地方中部 | | | | | | | | | | | | |
| 日高地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| 内浦湾 | | | | | | | | | | | | |
| 胆振地方中東部 | | 2 | | | 1 | | 1 | | | | | 1 |
| 青森県東方沖 | | | | | | | | 1 | 1 | | | 1 |
| 留萌地方中北部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方北部 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 空知地方中部 | | | | | | | | | | | | |
| 宗谷海峡 | | | | | | | | | | | | |
| 宗谷地方北部 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 上川地方北部 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 後志地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方北部 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 渡島地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| サハリン西方沖 | | | | | | | | | | | | |

Table 4. 震度3以上の地震(2021年)

| 震央地名(2021年) | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 択捉島南東沖 | | | | | | | | | | | | |
| 国後島付近 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 北海道東方沖 | | | | 1 | 1 | | | | | | | |
| 根室半島東方沖 | | | | | | | | | | | | |
| 根室半島南東沖 | | | | 1 | | | | | | | | |
| 網走地方 | | | | | 2 | | | | | | | |
| 釧路沖 | | | | | | | | | | | | |
| 釧路地方中南部 | | | | | | | | | | | | |
| 十勝地方中部 | | | | | | 1 | | | | | | |
| 十勝地方南部 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 十勝沖 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 浦河沖 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 日高地方東部 | | | | | | | | | | | | |
| 日高地方中部 | | | | | | | 1 | | | | | 1 |
| 日高地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| 内浦湾 | | 1 | | | | 1 | | | | | | |
| 胆振地方中東部 | | 1 | | | | | | | | | | |
| 青森県東方沖 | | | 1 | | | | | 1 | | | 2 | |
| 留萌地方中北部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方北部 | | | | | | | | | | | | |
| 空知地方中部 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 宗谷海峡 | | | | | | | | | | | | |
| 宗谷地方北部 | | | | | | | | | | | | |
| 上川地方北部 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 後志地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方北部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| サハリン西方沖 | | | | | | | | | | | | |

17日深さ0 kmM4.5などの地震が発生した。

6. 空知地方中部

2021年5月10日深さ5 kmM3.3の地震が発生した。

7. 網走地方

2021年4月5日深さ0 kmM3.5, 4月5日深さ0 kmM3.0, 2022年9月27日深さ12 kmM3.4などの地震が発生した。

8. 択捉島南東沖

2020年2月13日深さ155 kmM7.2などの地震が発生した。

9. 国後島付近

2018年10月26日深さ20 kmM5.5, 11月5日深さ20 kmM6.3, 2021年12月21日深さ96 kmM5.0などの地震が発生した。

10. 北海道東方沖

2019年11月23日深さ34 kmM5.4, 2021年2月

Table 5. 震度3以上の地震(2022年)

| 震央地名(2022年) | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 択捉島南東沖 | | | | | | | | | | | | |
| 国後島付近 | | | | | | | | | | | | |
| 北海道東方沖 | | | | | | | | 1 | | | 1 | |
| 根室半島東方沖 | | | | | | | | | | | | |
| 根室半島南東沖 | | | | | | | | | | | | |
| 網走地方 | | | | | | | | | 1 | | | |
| 釧路沖 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 釧路地方中南部 | | | | | | | | | | | | |
| 十勝地方中部 | | | | | | | | | | | | |
| 十勝地方南部 | | | | | | | | | 1 | | | |
| 十勝沖 | | 1 | | 1 | | | | | | 1 | | |
| 浦河沖 | | 1 | | | | 1 | | | | | | |
| 日高地方東部 | | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | |
| 日高地方中部 | | | | | | | | | | | | |
| 日高地方西部 | | | | | | 1 | | | | | | |
| 内浦湾 | | | | | | | | | | | | |
| 胆振地方中東部 | | | | | | | | | | | | |
| 青森県東方沖 | | | | | 1 | | | | 1 | | | |
| 留萌地方中北部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方北部 | | | | | | | | | | | | |
| 空知地方中部 | | | | | | | | | | | | |
| 宗谷海峡 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 宗谷地方北部 | | | | | | 1 | | 3 | | | | |
| 上川地方北部 | | | | | | | | 7 | | | | |
| 後志地方西部 | | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| 渡島地方北部 | | | | | | | | | | | | |
| 渡島地方西部 | | | | | | | | | | | | |
| サハリン西方沖 | | | | | | | | | | | | |

Table 6. 震度3以上の地震(2023年)

| 震央地名(2023年) | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 |
|-------------|----|----|----|----|----|
| 択捉島南東沖 | | | | | |
| 国後島付近 | | | | | |
| 北海道東方沖 | | | | | |
| 根室半島東方沖 | | | | | |
| 根室半島南東沖 | | | | | |
| 網走地方 | | | | | |
| 釧路沖 | | 1 | 1 | | |
| 釧路地方中南部 | | | | | |
| 十勝地方中部 | | 1 | | | |
| 十勝地方南部 | | | | | |
| 十勝沖 | | | | | |
| 浦河沖 | | | | | |
| 日高地方東部 | | | 1 | | 1 |
| 日高地方中部 | | | | | |
| 日高地方西部 | | | | | |
| 内浦湾 | | | | | |
| 胆振地方中東部 | | | | | |
| 青森県東方沖 | | | 1 | | 1 |
| 留萌地方中北部 | | 1 | | | |
| 渡島地方北部 | | | | | |
| 空知地方中部 | | | | | |
| 宗谷海峡 | | | | | |
| 宗谷地方北部 | | | | | |
| 上川地方北部 | 1 | | | | |
| 後志地方西部 | | | | | |
| 渡島地方北部 | | | | | |

20日深さ68 kmM5.0, 3月3日深さ0 kmM5.9, 2022年8月7日深さ0 kmM6.0, 11月6日深さ52 kmM5.4などの地震が発生した。

11. 根室半島南東沖

2018年4月14日深さ53 kmM5.4, 4月24日深さ87 kmM5.4, 9月9日深さ46 kmM4.4, 2019年3月2日深さ51 kmM6.2, 5月5日に深さ52 kmM5.3, 7月4日深さ49 kmM4.3, 2020年1月12日深さ48 kmM4.8, 1月28日深さ96 kmM5.5, 9月2日深さ44 kmM4.8, 2021年2月22日深さ50 kmM4.3などの地震が発生した。

12. 釧路沖

2018年5月18日深さ47 kmM5.8, 2019年4月15日深さ43 kmM5.1, 11月28日深さ49 kmM4.7, 2020年1月15日深さ91 kmM4.8, 5月12日深さ46 kmM4.3, 5月13日深さ75 kmM4.0, 12月16日深さ66 kmM5.0, 2022年11月20日深さ57 kmM4.8, 2023年2月25日深さ63 kmM6.0, 3月7日深さ20 kmM5.0などの地震が発生した。

13. 釧路地方中南部

2020年2月20日深さ5 kmM4.6の地震が発生した。

14. 釧路地方北部

2019年4月25日深さ2 kmM2.3の地震が発生した。

15. 十勝沖

2019年3月28日深さ78 kmM4.6, 2020年5月31日深さ94 kmM5.6, 2021年5月16日深さ8 kmM6.1,

2022年2月13日深さ61 kmM4.6, 4月24日深さ25 kmM5.4, 10月10日深さ42 kmM4.8などの地震が発生した。

16. 十勝地方北部

2018年5月30日深さ0 kmM2.9の地震が発生した。

17. 十勝地方中部

2019年7月14日深さ107 kmM4.0, 2021年5月3日深さ79 kmM4.2, 2023年2月20日深さ118 kmM4.9などの地震が発生した。

18. 十勝地方南部

2018年12月30日深さ51 kmM5.3, 2019年4月28日深さ102 kmM5.6, 2020年9月1日深さ50 kmM3.6, 2021年10月10日深さ51 kmM4.7, 2022年9月24日深さ106 kmM4.2などの地震が発生した。

19. 浦河沖

2018年1月14日深さ41 kmM4.7, 2020年3月28日深さ70 kmM5.0, 2021年5月29日深さ63 kmM4.9, 2022年2月17日深さ57 kmM5.0, 6月10日67 km深さM4.9などの地震が発生した。

20. 青森県東方沖

2018年1月24日深さ34 kmM6.3, 7月2日深さ64 kmM4.9, 9月11日深さ47 kmM5.0, 11月28日深さ11 kmM5.7, 2019年8月29日に深さ21 kmM6.1, 9月7日深さ64 kmM5.0, 12月19日深さ50 kmM5.5, 2020年4月24日深さ65 kmM5.2, 11月6日深さ17 kmM5.7, 12月21日深さ43 kmM6.5, 2021年2月

26日深さ 65 kmM4.5, 7月26日深さ 52 kmM5.2, 10月18日深さ 61 kmM4.6, 10月19日深さ 38kmM5.4, 2022年5月23日深さ 24 kmM5.6, 2022年9月13日深さ 54 kmM5.1, 2023年3月28日深さ 28 kmM6.2, 5月6日深さ 56 kmM5.7などの地震が発生した。

21. 日高地方東部

2018年7月16日深さ M4.9, 2022年3月27日深さ 60 kmM5.1, 5月22日深さ 43kmM4.7, 7月5日深さ 53 kmM4.9, 2023年3月11日深さ 4 kmM4.8, 5月11日深さ 55 kmM5.5などの地震が発生した。

22. 日高地方中部

2021年5月14日深さ 20kmM4.6, 2021年12月21日深さ 39 kmM4.8などの地震が発生した。

23. 日高地方西部

2018年9月30日深さ 37 kmM4.9, 2022年6月1日深さ 102 kmM4.3の地震が発生した。

24. 内浦湾

2018年5月5日深さ 12 kmM3.1, 2021年1月27日深さ 8 kmM2.7, 4月16日深さ 18 kmM4.4などの地震が発生した。

25. 後志地方西部

2022年11月24日深さ 9 kmM3.1, 12月15日深さ 13 kmM4.3などの地震が発生した。

26. 渡島地方北部

2019年12月22日深さ 10 kmM4.2の地震が発生した。

27. 渡島地方西部

2023年4月28日深さ 8 kmM2.9の地震が発生した。

28. オホーツク海南部

2018年11月2日深さ 487 kmM6.1の深発地震が発生した。

29. サハリン西方沖

2020年12月1日深さ 619 kmM6.7の深発地震が発生した。

以上のリストから、最近の約4年半において、北海道とその周辺のいずれかで、震度3以上の地震の総数が175となった。

主たる地震活動

前章では、震度3以上を観測した地震について、震央地名・震度観測点名ごとに地震の発生時・深さ・規模をリストアップした。

ここでは、M5以上の地震の時空間分布に基づいて、北海道とその周辺の主たる地震活動を紹介します。

1. 地震の震央分布図

2018年1月1日から2023年5月31日の期間、北海道とその周辺で発生したM5以上の地震の震央分布をFig.3の丸印で示す。さらにM6.0以上の大きな地震の震源パラメータは吹き出しに記載した。

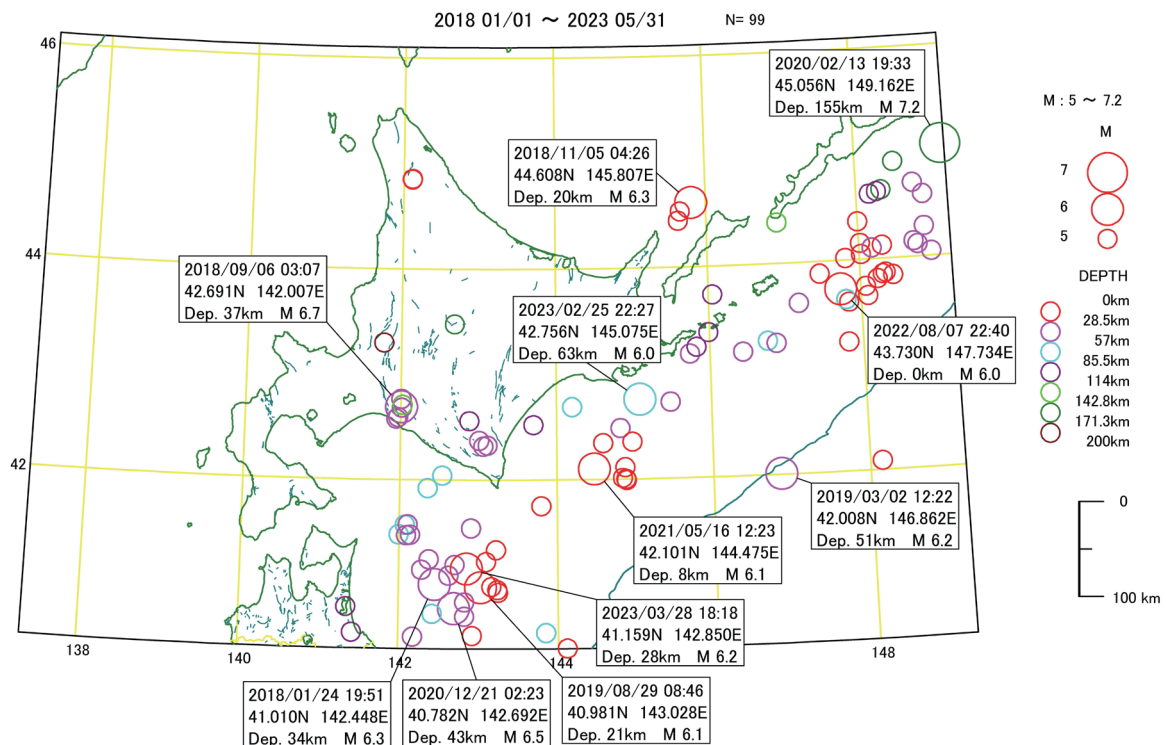


Fig.3. Epicentral map of earthquakes over M5 occurred in and around Hokkaido, Japan.

Period: January 1, 2018 ~ May 31, 2023. Source parameters for earthquakes over M6 are indicated by balloons. Other explanations are the same as in Fig. 1.

この図からは、北海道の地震観測史上最も大きな震度7を観測した胆振地方中東部のほか、青森県東方沖、浦河沖、釧路沖、北海道東方沖の太平洋沿岸で比較的高い地震活動が知れる。これらの海域での地震は、北海道下に沈み込む太平洋プレートの運動と直接関係したものであり、巨大地震の想定震源域内にある。また根室半島東方沖と網走沖南部の海溝直下ではたいへん稀な、M6を超える地震が発生した。前者は、2018年胆振東部地震発生の2カ月後の2018年11月5日に発生した地震が、知床半島先端沖で発生した深さ20 kmM6.3の地震であり、後者は、2019年3月2日に根室半島沖の海溝直下付近で発生した深さ51 kmM6.2の地震である。さらにこの地震から4年後の2023年2月25日には、この震源から太平洋プレートの運動方向に約160 km離れた場所で、深さ63 kmM6.0の地震が発生した。これらの地震は共にスラブ上部の地震である。

ここで、地震の規模に対応した地震断層の大きさを、長さとの比が2:1程度の長方形でイメージすると、マグニチュード(M)6クラスの地震では、長さ10-15

km程度、M7クラスでは30-50 km程度が大体の目安になる。

以上の主たる地震は、全て海域で発生した地震であった。内陸では、M6を超える地震は2018年北海道胆振東部地震だけである。

しかし、前章で紹介したように、北海道北部では、2022年8月11日の深さ2 kmM5.2と、8月11日の深さ5 kmM5.4の地震の前後で、多くの浅発地震が発生し、大きな危害を被った。また十勝地方南部の日高山脈南部では、2018年12月30日の深さ50.6 kmM5.3、2019年4月28日の深さ101.7 kmM5.6、2022年3月27日に深さ53.1 kmM5.1、2023年5月11日の深さ54.9 kmM5.5などの顕著な地震が続発した。さらに択捉島付近では、M7を超えた深発地震のほか、M5を超えた深発地震が国後島付近、根室地方中部、十勝沖、日高地方北部、空知地方南部、青森県東部などのスラブ内で発生した。

以上から推して、現在の北海道とその周辺の地震活動は、比較的活発な状態にあると言えよう。

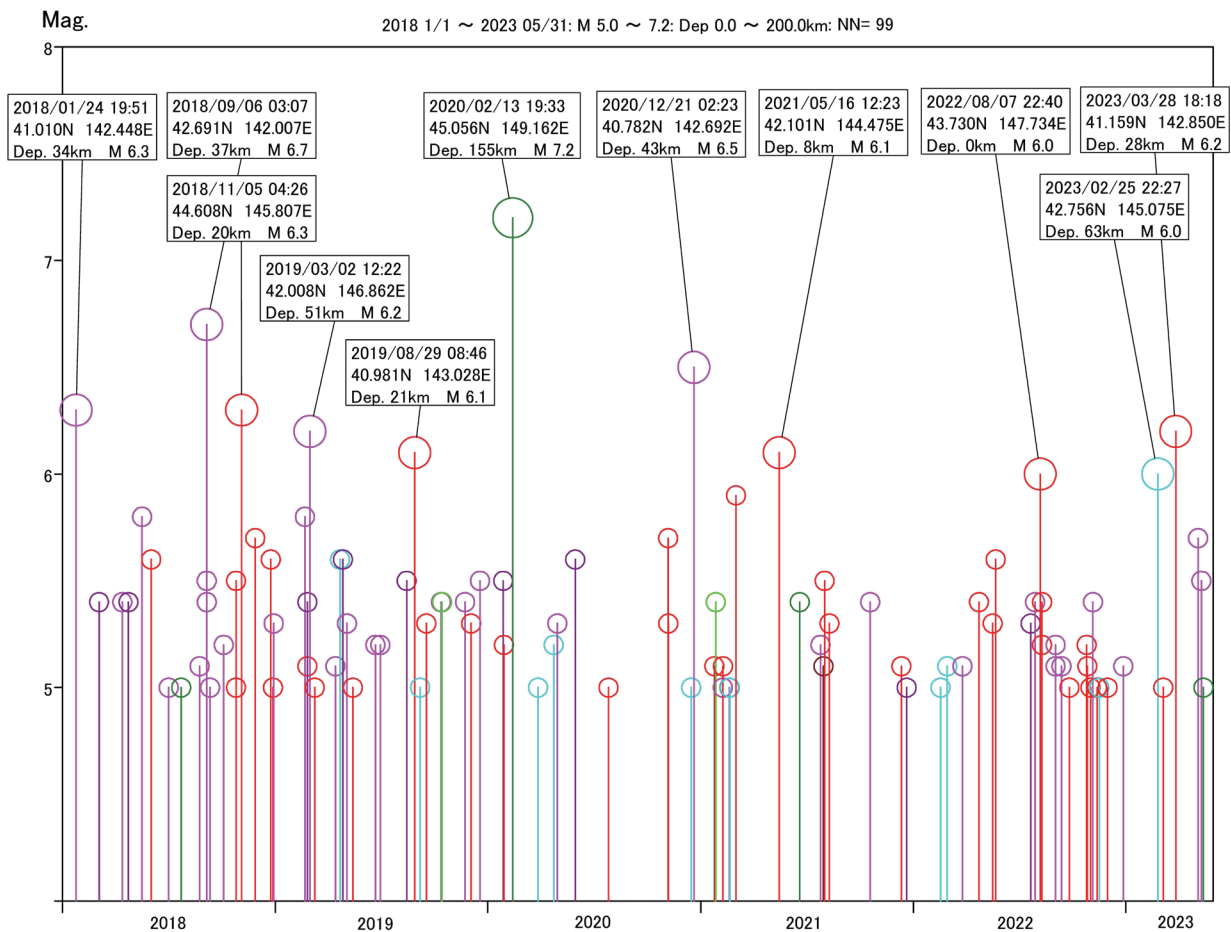


Fig.4. M-T diagram showing the time (T) and magnitude (M) of the earthquakes plotted in Figure 3 simultaneously. The circles and colors in the figure are the same as those in Figure 3. The source parameters of earthquakes over M6.0 are indicated in the balloons.

しかし、以前から根室半島南東沖から十勝沖の海溝沿いは、地震の少ない空白域が存在し、強いプレート間カップリングを示唆した。これらの地震の時空間分布の特色については、以下で詳述する。

2. 地震の M-T 図

まず、Fig.3 に示された地震の M-T 図を Fig.4 に示す。M-T 図は、発生した地震の発生時間とマグニチュードを同時に表示したものである。図中の丸や色の違いは Fig.3 の説明と同じである。また M6.0 以上の地震の震源パラメータは吹き出しに記載してある。

この M-T 図から、2018 年～2019 年の前半期には M6 以上の地震が多く発生し、震度 7 を観測した 2018 年 9 月 6 日の胆振東部地震 M6.7 もその活動期で発生したのが知れる。この胆振東部地震の直後に (2 ヶ月後)、知床半島先端沖で深さ 20 km M6.3 の地震が発生した。この地震の震源は火山フロント近傍にあり、屢々 M4.0 程度の地震が発生していたが、今回の M6.0 を超える地震は、北海道における地震観測史上で初めてである。これらの 2 つの大きな地震がシンクロナイズしただけでなく、ともに海溝軸からほぼ 250 km の距離にある。さらに、その約 4 カ月後の 2019 年 3 月 2 日に、根室半島はるか沖の南千島海溝下で、深さ 51 km M6.2 の地震が発生した。つづいて、この地震から約 48.4 カ月後の 2023 年 2 月 25 日に、厚岸沖で深さ 63 km M6.0 の地震が発生した。

これらの活発な地震活動は、2020 年 2 月 13 日に択捉島沖で発生した深さ 155 km M7.2 の深発地震を境に、ほぼ休止状態となった。その大きな深発地震の前後で、2019 年 4 月 28 日から 2020 年 5 月 31 日の 399 日間に、4 つの M5 前後の深発地震 (深さ 93 km-103 km) が、ほぼ等間隔 (約 133 日) に根室半島から青森県下に連なる海洋プレートのスラブ内で続発した (Fig.5)。これらの深発地震の震源の深さが等しいこと、そして海溝軸から等距離 (約 250 km) にあった点を考慮すると、北海道下に沈み込んだスラブ内の応力状態が広範囲で同等であったことを暗示させた。それらの地震発生系列の時空間パターンを明示するために、Fig.5 ではマグニチュードの下限を M5.5 と 0.5 大きくし、図中 (a) に震央分布を、(b) に震源の深さ・時間分布を図示した。千島孤南西端の浅い地震とすでに沈み込んだスラブ内での深発地震とが相補的に活動し、北海道とその周辺の広範な地震学的関係性が示唆された。

つぎに、北海道とその周辺の地震が放出した地震波エネルギーの時間変化を紹介する。

3. 放出地震波エネルギー

2018 年 1 月 1 日から 2023 年 5 月 31 日の期間に発

生した M5 以上の地震の震央分布を Fig.6 に示し、M6 以上の震源パラメータは、今までと同様に吹き出しに記載した。地震に伴って放出された地震波エネルギーは、気象庁の地震マグニチュードから算出する経験式に基づいて計算されたものである。

すでに指摘されたことであるが、地震波エネルギーの放出分布からも知れるように、2018 年 1 月 24 日青森県東方沖、2018 年 9 月 6 日胆振地方中東部、2018 年 11 月 5 日知床半島沖、2019 年 3 月 2 日根室半島はるか東方沖の海溝付近、そして 2019 年 8 月 29 日青森県東方沖などで発生した地震などが当該地域の地震活動に大きく寄与していた。その後ほぼ 480 日間の静穏期を経て、2020 年 12 月 21 日の青森県東方沖で M6 クラスの地震が復活したが、その静穏期前期で、択捉島沖で 2020 年 2 月 13 日深さ 155 km M7.2 の深発地震が発生し、その前後で、ほぼ 100 km の深さで M5.5 程度の 4 つのスラブ内の地震活動がシンクロナイズしたのは既に述べた。

つぎにこれらの主たる地震の断層運動を決める発震機構について紹介する。

発震機構

ここでは、上記の主たる地震大きな地震の断層パターンを知るために、防災科学技術研究所 (NIED) の F-net サイトからセントロイド・モーメント・テンソル (CMT) 解を入手した。これらの発震機構解は観測された長周期表面波を最も良く説明できる地震の位置と時刻、規模 (モーメント・マグニチュード)、および発震機構を同時に決定する自動解析法により推定されたものである。さらに、2019 年 03 月 02 日の根室半島はるか東方沖の千島海溝直下地震 M6.2 については、P 波と S 波の間に生じる小さな長周期 W-phase (Kanamori, 1993) のインバージョン解析に基づく WCMT 解も計算して、NIED の CMT 解と比較した。WCMT 解は、まだあまり馴染まれていないが、長周期実体波の W-phase に基づいた推定のため、いちばん早く断層の動きや、ずれ方向、大きさなど多くの情報を同時に知ることができる。例えば、リアルタイムで使っていたなら 2011 年東日本大震災を起こした地震発生後、7 分で M9.1 と地震の大きさを計算できていたとの報告がある (金森博雄, 2013)。

1. CMT による発震機構解

まず、F-net の長周期表面波から推定したセントロイド・モーメント・テンソル (CMT) 解を Fig.7 の海底地形図上のビーチボールで示した。ビーチボールは、地震の際に発生したすべりのタイプ (横ずれ、正断層、逆断

層, またはその組み合わせ) を示す図記号である. また, 2次元の震源機構円は, 地震の発生場所である震源を囲む球の下半分に, 断層の向きとすべりを投影したものである. ビーチボールの有色部は震源の膨張域を, 白色部

が圧縮域を示している. CMT 解にはしばしば完全な四象限を示さず, 推定断層面と若干のずれが生じることがある (例えば, 川勝, 1991). Fig.7には純粋なダブル・カップル (DC) 成分以外の CLVD(Knopoff and Randall,

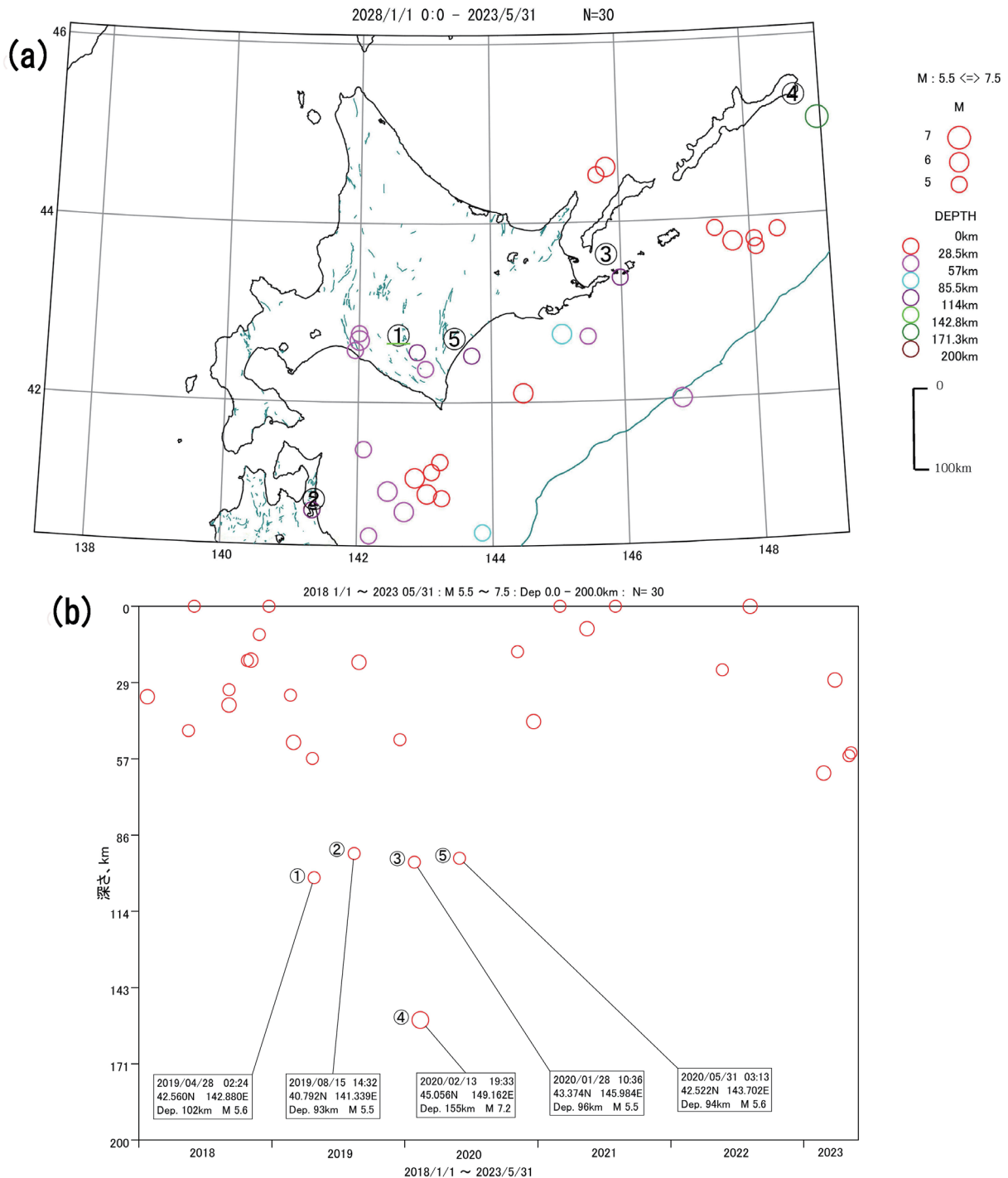


Fig.5. Four clustered deep earthquakes of about M5.5 that occurred at depths of about 100 km. (a) Epicentral map of earthquakes that occurred between January 2, 2018, and May 31, 2023. The numbers in the circles indicate the order of occurrence of the earthquakes in the deep slab; 1, 2, 4, and 5 earthquakes were very similar in depth and magnitude and occurred within a short period of time. 3 is an earthquake at a deeper depth off the coast of Etorofu Island. The difference in depth and magnitude is explained by the difference in size and color of the circles on the right side of the figure. (b) D-T diagram showing the time (T) and depth (D) of the earthquakes plotted on map in (a) simultaneously. The source parameters of earthquakes that are numbered are indicated in the balloons.

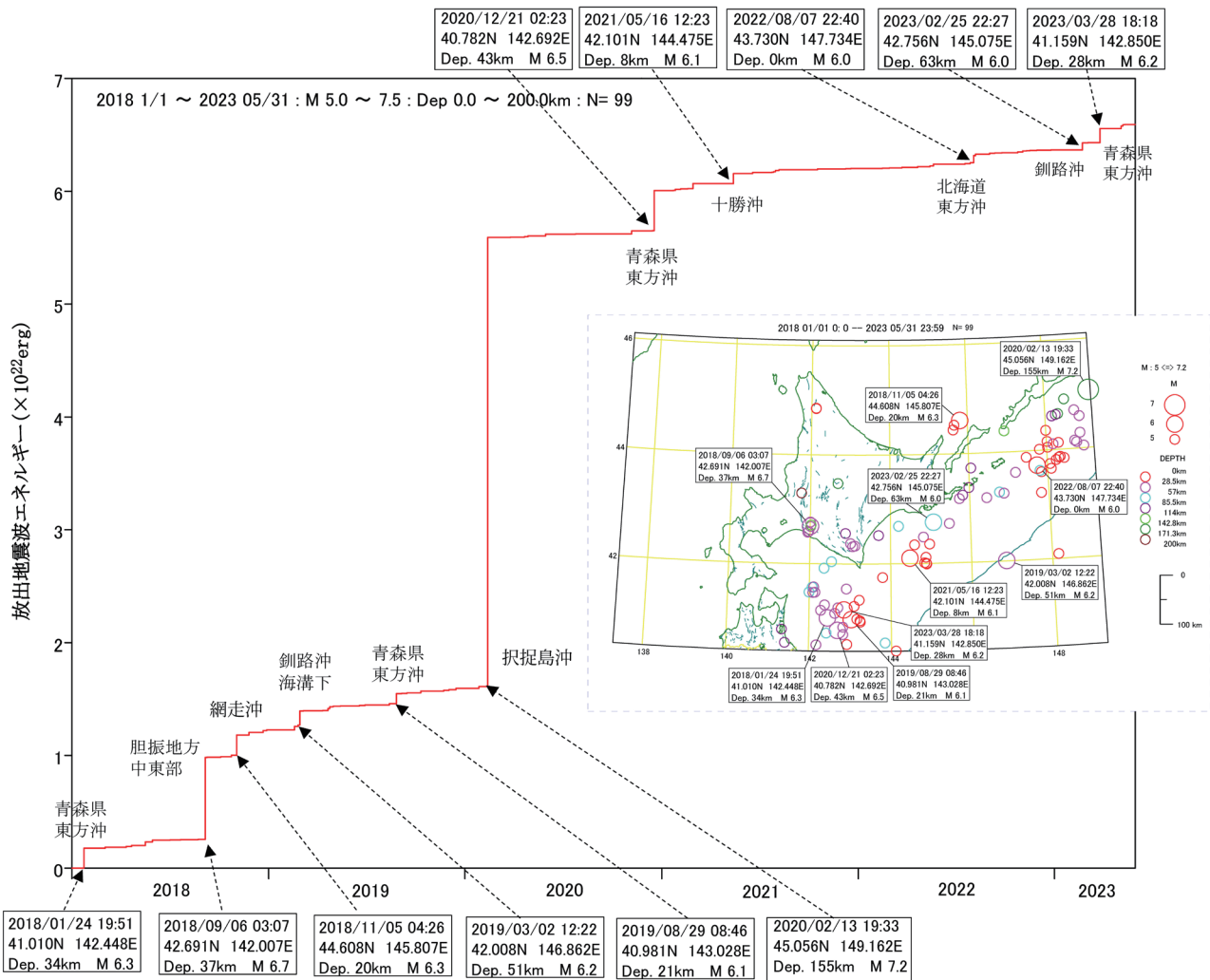


Fig.6. Cumulative distribution of seismic wave energy released by the earthquake plotted in Figure 3 (inserted epicentral map). Source parameters for 11 earthquakes over M6 are indicated by balloons.

1970) 成分を含んだ非 DC 解が混在している。とくに十勝～根室側の沖合では非 DC 成分が重合した CMT 解が多い。はるか沖合の海溝付近で沈み込んだ海洋プレートで発生した、2019 年 3 月 2 日の根室沖地震の発震機構解は非 DC の右横ずれ正断層を示した。また知床半島先端付近の浅い地震の発震機構解からも、CLVD が重合した非 DC の発震機構解を示した。一方、青森県東方沖の低角逆断層地震と択捉島沖の深発地震の発震機構解は純粋な DC 解を示した。以上から、近隣の地震と雖も、十勝沖～根室沖の千島孤南西端の地震発震機構と日本海溝側の青森県東方沖の地震発震機構の違いから、その地域的な差異が反映しているように見てとれる。しかし、長周期地震観測点の偏った配置などに影響されている可能性も否定できない。

2. W-phase による発震機構解

ここでは、W-phase の発震機構解のケース・スタディとして、2019 年 3 月 2 日根室半島はるか沖の海溝直下付近で発生した地震に適用した。W-phase は、防災科学

研究所 (NIED) の F-net と米国の IRIS 観測網に観測された長周期地震波形をダウンロードし、適当な前処理を行いながら抽出した。その抽出した W-phase に Kanamori and Rivera(2008) や Duputel, Rivera, Kanamori, and Hayes (2012) のインバージョン法に倣って、発震機構 (WCMT) 解を計算し、Fig.8 に示した。

この WCMT 解は、すでに F-net の表面波から計算された CMT 解とほぼ同様の、右横ずれ正断層を示す発震機構解を示した。

まとめ

北海道胆振地方中東部で、2018 年 9 月 6 日に M6.7 の胆振東部地震が発生し、すでに 5 年が経過した。その期間に亘る北海道とその周辺の地震活動を調査した。

現在、想定されている巨大津波地震の海域のほか、根室はるか沖の千島海溝直下、知床半島先端で M6 を超える浅い地震が発生した。さらに、北海道北部から空知地

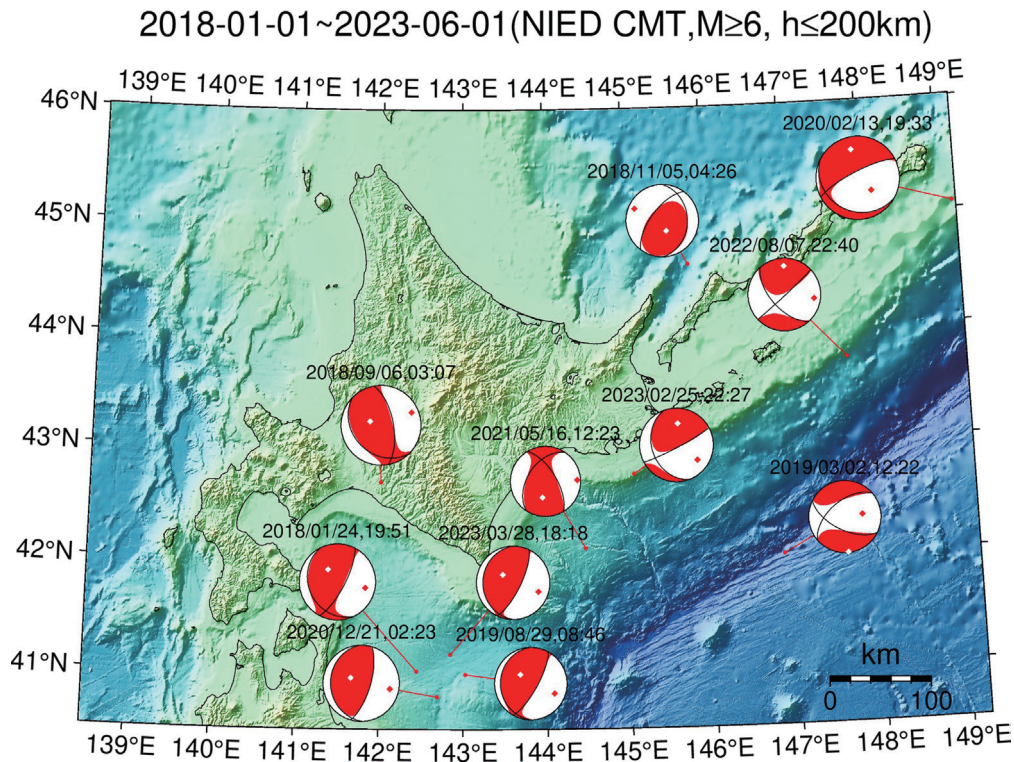


Fig.7. Map showing focal mechanisms for earthquakes over $M6$ and depth < 200 km in the CMT F-net catalog, 2018/01/01-2023/05/31. The earthquakes are shown in lower-hemisphere projection. The colored area of beach-ball corresponds to pushing and the white area to pulling forces. The two solid lines are the lower hemisphere projection of the best nodal planes.

Nemuro-oki_20190302_regional

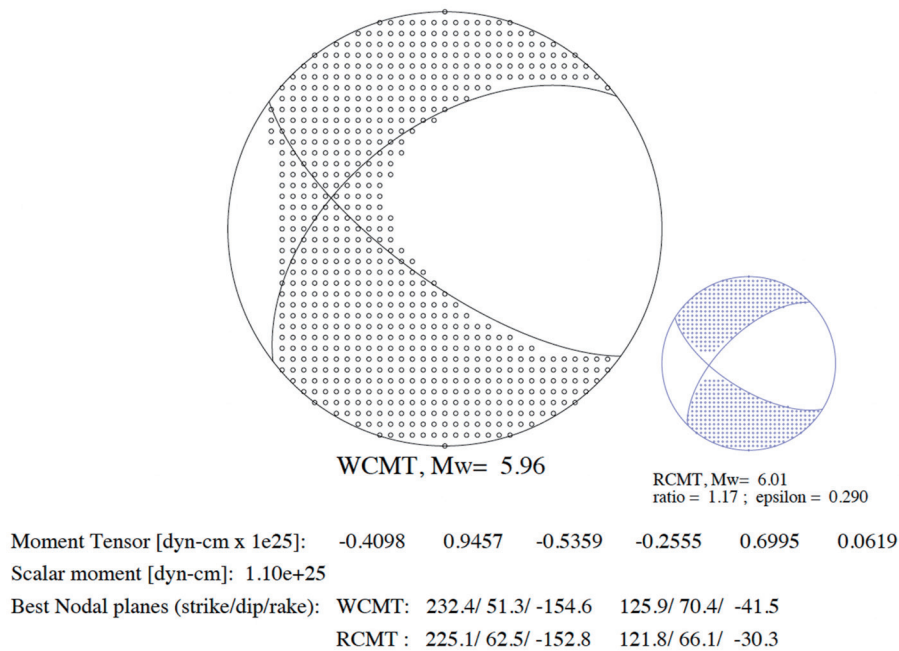


Fig.8. W-Phase inversion result for the 2019 Nemuro-oki earthquake obtained by the method of Kanamori and Rivera (2008) using waveforms of F-net and IRIS-net. The earthquakes are shown in lower-hemisphere projection. The dot pattern area of beach-ball corresponds to pushing and the white area to pulling forces. The two solid lines are the lower hemisphere projection of the best nodal planes. RCMT : a "reference" solution the Preliminary Determination of Epicenters, or PDE (NEIC, 1970; Sipkin and others, 2000) , ratio: Scalar moment (RCMT)/Scalar moment(WCMT), epsilon: Parameter measuring the difference between the two beach balls (RCMT and WCMT).

方に伸びた北海道西縁地震帯での浅発地震のほか，日高山脈周辺やスラブ内でのやや深発～深発地震が頻発したことから推して，最近の北海道とその周辺は，活発な地震活動期にあったと言える。

また，海溝沿いの地震活動とスラブ深部の地震活動とで相補的關係性が示唆された。地震の断層運動を表現した CMT 解の地理的分布に注目すると，青森県東方沖では純粋な DC 解が，十勝沖～根室沖の地震では非 DC が優勢であるのが示唆され，地震断層運動の地理的違いが示唆された。さらに根室半島はるか沖の海溝で沈み込む海洋プレート内で発生した比較的大きな地震の WCMT 解からは，非 CD 成分を重畳した右横ずれ正断層を示し，地震メカニズムの多様性が示唆された。

ところで，W-phase は表面波より早く伝播するために，表面波に基づく CMT 解よりも早く地震断層の大きさや運動が推定できる。早急にこの解析ツールが，地震の自動監視システムに組み込まれることが望まれる。

謝辞：本調査を行うにあたり，NIED の F-net と米国の IRSI-net の長周期地震波形を使用した。また，地震の情報については，気象庁の地震カタログを，長周期表面波の CMT 解については，NIED の F-net カタログを利用した。作図は，Seis-PC (石川・中村，1997) と The Generic Mapping Tools (Wessel, P. and W. H. F. Smith, 1998) に拠った。地震カタログの入手に際しては，気象研究所の露木貴裕氏，札幌管区気象台の家常昌洋氏と吉岡央晋氏から，W-phase による WCMT 計算に際しては，Caltec の金森博雄氏，Institut de Physique du Globe de Strasbourg の Luis Rivera 氏と Zacharie Duputel 氏，気象庁地震火山部の田中美穂氏等から，各種アプリの利用に際しては，研究仲間の伊藤 潔氏と稲谷栄紀氏から多大な支援を受けた。また，匿名者からのコメントは校正に大いに役立った。ここに記して深謝します。

引用文献

- Duputel, Z, L. Rivera, H. Kanamori, G. Hayes, 2012, W-phase fast source inversion for moderate to large earthquakes (1990 - 2010). *Geophysical Journal International*, **189-2**, 1125-1147. doi: 10.1111/j.1365-246X. 2012.05419.x
- 石川有三・中村浩二，1997，SEIS-PC for Windows95. 地球惑星科学関連学会 1997 年合同大会予稿集, P.78.
- Kanamori, H., 1993, W phase. *Geophys. Res. Lett.*, **20**(16), 1691-1694.
- Kanamori, H., and L. Rivera, 2008, Source inversion of W phase: speeding tsunami warning. *Geophysical Journal International*, **175**, 222-238, doi: 10.1111/j.1365-246X. 2012.05419.x
- 金森博雄，2013，巨大地震の科学と防災. 朝日選書 912, 215pp. ISBN978-4-02-263012-4.
- Knopoff, L. and M. J. Randall, 1970, The compensated linear-vector dipole: a possible mechanism for deep earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **75**, 4957-4963.
- 川勝 均，1991，地震の大きさと多様性 -Moment tensor inversion を中心として-, 地震 2, **58**, 265-277.
- Sipkin, S.A., Person, W.J., and Presgrave, B.W., 2000, Earthquake bulletins and catalogs at the USGS National Earthquake Information Center: *IRIS Newsletter*, **2000**, no. 1, 2-4.
- 高波鐵夫，2010，地震波速度構造，北海道の地殻構造，北海道地方，日本地方地質誌，第 8 巻，日本地質学会編，共立出版，374-383.
- 高波鐵夫，2019，最近の北海道における地震活動，地下からのサイン測ろうかい会報，No. 5, 46-49.
- 高波鐵夫，2020，北海道日高地方の内陸地震と南千島海溝沿いプレート間大地震との関連性. *JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SSS13-P05, Virtual Meeting*, 12-16 .
- 高波鐵夫，2022，最近の北海道およびその周辺の地震活動 (2018-2021)，日本地震学会 2022 年度秋季大会，S22-14.
- Wessel, P and W. H. F. Smith, 1998, New, improved version of Generic Mapping Tools released. *EOS Trans. Amer. Geophys. U.*, **79** (47), pp.579.

Abstract

On September 6, 2018, the Iburi Tobu earthquake (M6.7), a reverse fault earthquake, occurred in the central-eastern part of the Iburi region of Hokkaido, Japan, with an intensity of 7 observed in Atsuma Town, located in the source region. Five years have already passed since that inland damaging earthquake, but there have been few reports on seismic activity in and around Hokkaido over that long period of time. By investigating the space-time distribution and earthquake mechanism of the earthquakes occurred during that period, we learned that significant earthquakes occurred not only at the southwestern tip of the Kurile Islands and off the east coast of Aomori Prefecture, where a giant tsunami earthquake is currently assumed, but also near the Kurile Islands Trench far off Nemuro, off Shiretoko Peninsula, northern Hokkaido, southern Hidaka Mountains, and near the island of Etorofu. The integrated study suggests a causal relationship between seismic activity along the trench and the deep slab, and a regional difference in earthquake mechanism between the non-DC solution off Tokachi-oki to off Nemuro and the pure DC solution off the east coast of Aomori Prefecture.

