

## 日本地震及海啸预警服务能力提升

闫恩辉, 龙海云, 赵萍, 徐佳静, 李晓帆, 崔满丰

### Improvement of earthquake and tsunami early warning service capabilities in Japan

Yan Enhui, Long Haiyun, Zhao Ping, Xu Jiajing, Li Xiaofan, and Cui Manfeng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2024-041>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 日本地震预警业务规定和技术系统发展历程及最新进展

The development history and latest progress of Japan's earthquake early warning business regulations and technical systems  
地震科学进展. 2025, 55(1): 30-34

#### 日本地震灾害评估信息系统概述

Earthquake disaster assessment information system in Japan  
地震科学进展. 2020, 50(4): 28-33

#### 南中国海区域海啸预警中心地震监测系统

The earthquake monitoring system in the South China Sea Tsunami Advisory Center  
地震科学进展. 2022, 52(10): 473-481

#### 地震地形变观测系统的组成、发展及应用

The composition, development and application of crustal deformation observation system in earthquake monitoring and prediction  
地震科学进展. 2020, 50(10): 23-29

#### 可解释AI综述及其在地震科学领域中的应用展望

Review of explainable artificial intelligence and its application prospect in earthquake science  
地震科学进展. 2025, 55(1): 1-11

#### 基于甘肃积石山6.2级和日本能登7.6级地震前热红外现象的均线差值增强比法的异常提取能力分析

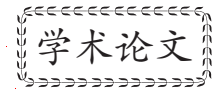
Anomaly extraction capability analysis based on the mean line difference enhancement ratio method for thermal infrared phenomena before the Jishishan  $M6.2$  earthquake in Gansu Province and Noto  $M7.6$  earthquake in Japan  
地震科学进展. 2024, 54(7): 440-449



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

闫恩辉, 龙海云, 赵萍, 等. 日本地震及海啸预警服务能力提升 [J]. 地震科学进展, 2025, 55(4): 237-242. doi:10.19987/j.dzcxjz.2024-041

Yan E H, Long H Y, Zhao P, et al. Improvement of earthquake and tsunami early warning service capabilities in Japan[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2025, 55(4): 237-242. doi:10.19987/j.dzcxjz.2024-041



## 日本地震及海啸预警服务能力提升

闫恩辉 龙海云\* 赵萍 徐佳静 李晓帆 崔满丰

(中国地震台网中心, 北京 100045)

**摘要** 近年来为提高防震减灾的智能化水平, 日本气象厅不断完善地震观测系统的功能和海啸的智能化预测水平, 并且努力提升地震和海啸预警服务能力。2022 年 12 月开始发布北海道及三陆地区后续地震预警信息, 2023 年 2 月开始发布长周期地震动等级的地震预警信息。本文旨在为中国的地震预警系统的研究与建设提供参考和借鉴。

**关键词** 地震活动等综合观测系统(EPOS); 地震海啸监测系统(ETOS); 人工智能; 日本

**中图分类号:** P315 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7780(2025)04-0237-06

**doi:** 10.19987/j.dzcxjz.2024-041

### Improvement of earthquake and tsunami early warning service capabilities in Japan

Yan Enhui, Long Haiyun, Zhao Ping, Xu Jiajing, Li Xiaofan, Cui Manfeng

(China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China)

**Abstract** In recent years, in order to improve the intelligent level of earthquake prevention and disaster reduction, the Japan Meteorological Agency has continuously improved the functions of the earthquake phenomena observation system (EPOS) and the intelligent prediction level of tsunami, and has made efforts to improve the earthquake and tsunami early warning service capabilities. In December 2022, it began to release follow-up earthquake early warning information in Hokkaido and Sanriku regions, and in February 2023, it began to release earthquake early warning information of long-term ground motion levels. This article aims to provide reference for the research and construction of earthquake early warning systems in China.

**Keywords** Earthquake Phenomena Observation System (EPOS); Earthquake and Tsunami Observation System (ETOS); AI; Japan

收稿日期: 2024-03-06; 采用日期: 2024-12-18。

基金项目: 中国地震局新发展阶段防震减灾战略研究防震减灾事业发展目标指标研究项目(ZLKT01-06)资助。

第一作者: 闫恩辉(1978-), 男, 高级工程师, 现主要从事地震信息化相关工作, 曾在日本工作 10 余年长期负责为日本气象厅提供地震灾害评估数据、应急救援软件系统的研制开发。E-mail: [yeh@seis.ac.cn](mailto:yeh@seis.ac.cn)。

\* 通信作者: 龙海云(1969-), 女, 高级工程师, 主要从事地震科技信息文献研究、地震科技期刊编辑出版工作。E-mail: [longhaiyun@seis.ac.cn](mailto:longhaiyun@seis.ac.cn)。



## 1 地震活动等综合观测系统的完善

日本气象厅作为政府部门的主要职能包括在预防和减轻自然灾害、保障交通安全、发展和繁荣工业及改进公共福祉的同时,促进气象业务的国际合作。除了气象相关工作之外,日本气象厅还负责日本地震、火山和海啸的监测预警等服务。日本气象厅由总部、6个区域中心和5个直属机构组成。其中总部是日本气象厅的管理和业务中心,位于东京千代田区,由厅长、副厅长以及总务部、信息基础部、地震火山部及气候海洋部4个部门组成;6个区域中心分别位于札幌、仙台、东京、大阪、福冈和冲绳(图1),区域中心下属50个地方气象台和2个气象站<sup>[1]</sup>。

近年来,日本气象厅主持完善的地震活动等综合观测系统(Earthquake Phenomena Observation System, EPOS)(图2),强化了地震预警信息自动发布功能。EPOS系统负责处理日本全境的地震海啸观测数据的处理和实时分析,以及向政府各相关部门和媒体提供地震海啸告警预警信息。通常情况下,气象厅总部负责全国地震预警信息和南海海沟地震相关信息的发布,同时也处理分析首都圈及名古屋等大城市周边地区的地壳形变数据的观察和分析<sup>[2]</sup>。为避免因



图1 日本气象厅各区域中心配置图<sup>[1]</sup>

Fig. 1 Configuration map of regional centers of Japan Meteorological Agency<sup>[1]</sup>

大规模自然灾害造成供电中断所导致的系统瘫痪事态发生,气象厅总部和大阪气象台的两套EPOS系统互为备份,即使在东京或大阪周边发生大规模地震灾害,EPOS系统也可以正常完成地震灾害监测及预警信息的发布处理。



图2 日本气象厅地震海啸观测系统架构图<sup>[2]</sup>

Fig. 2 Architecture of earthquake and tsunami observation system by Japan Meteorological Agency<sup>[2]</sup>

气象厅利用设置在日本各地的地震计和海啸观测仪器反馈的实时观测数据,对地震和海啸事件进行24小时不间断的监测。当地震或海啸等大规模

自然灾害发生时,立即发布相关灾害预警信息。除了日本气象厅设置的地震海啸观测仪器之外,防灾科学技术研究所(NIED)以及各地方政府也构建了

多个高密度的地震监测网络, 其中强震观测网(k-net)和高精度地震观测网(Hi-net)发挥了巨大作用。在日本全境, 共设置约4400个强震观测台站、约1800个地震监测台站、约410台(套)海啸观测设备(包含海啸观测点、海浪高度计、岸流水压计等)、以及39个南海海沟形变观测台站等(图3)<sup>[3]</sup>。这些地震

监测网络通过互联网与气象厅EPOS主系统和札幌、大阪、福冈等各区域中心气象台, 以及大阪气象台的EPOS灾备系统、冲绳气象台的地震海啸监测系统(Earthquake and Tsunami Observation System, ETOS)连接, 从而构成地震观测数据联网互备的实时处理机制<sup>[4]</sup>。

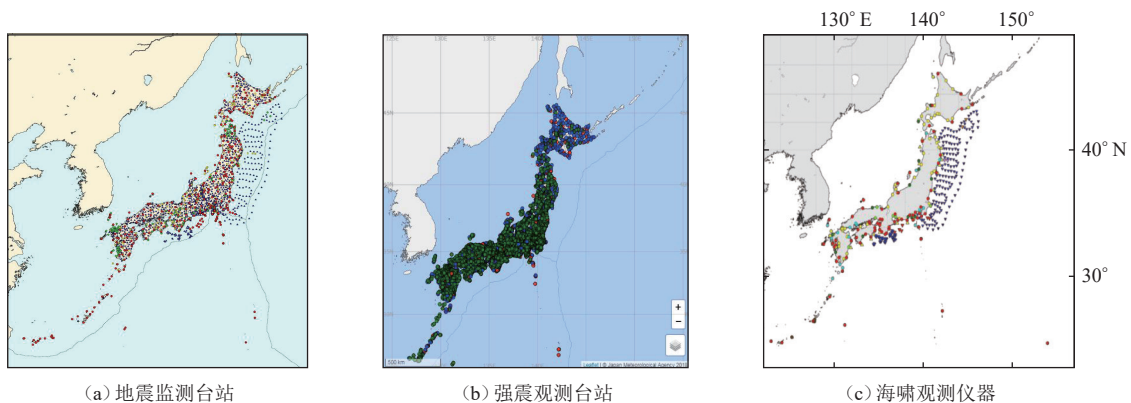


图3 日本全国地震海啸观测网<sup>[3]</sup>

Fig. 3 Earthquake and tsunami observation network of Japan<sup>[3]</sup>

## 2 海啸智能化监测预报的发展

历史上日本就是一个经常遭受海啸侵袭的国家, 所以日本很早就开始了海啸的观测与研究。在20世纪90年代日本陆续在全国范围内建设了一系列的海洋观测设施和地震观测网, 为海啸预警系统的建设奠定了基础。特别是2004年印度洋海啸后, 日本加速了对海啸预警系统的技术改进。可以说日本已经拥有了当时世界最先进的海啸预警系统, 但是由于政府在经济规划与海啸评估过程中低估了未来可能遭受到的最大海啸的规模, 导致在2011年东日本大地震中, 由于海啸灾害造成了无法挽回的人员伤亡及经济财产损失。

2011年东日本大地震后, 日本政府在认真总结经验教训的基础上, 对现行灾害管理体制存在的问题进行了多维度审视, 提出了一些构建新型灾害管理体制的新路径和新理念。针对海啸预警工作, 日本气象厅搭建了世界上最大的海啸传感器监测网络, 用于监测海底地壳运动。但因为需要大量数据运算和解析处理, 数据模型复杂, 并且数据实时发生变化, 必须使用超级计算机等大规模计算资源才能实现短时间内海啸预警信息的发布。但是超级计算机的使用资源有限, 不可能被海啸预警系统独占, 因此仅利用图形工作站等小型计算资源就可以实现快速和准确的海啸灾害预测成为研究的目标。

在最新研究中研究人员按照预先设定海啸的各种变化模型, 使用超级计算机进行海啸模拟演算, 得到沿岸海浪高度的观测数据和模拟演算结果的关系。他们在图形工作站上让人工智能学习了1万种的海啸模拟事件, 并利用实际海啸观测数据对其进行测试, 测试结果精度达到了海啸预警信息发布的要求, 预警处理时间也大大缩短。测试结果表明, 只要让人工智能深度学习更多的海啸模拟事件, 即使今后发生人类未曾经历过的海啸灾害, 人工智能也可以准确快速地完成海啸灾害预测, 不断提升防震减灾智能化监测预报的能力<sup>[5]</sup>。

## 3 预警能力的提升

日本地震预警系统已经得到广泛的应用, 同时也提升了应对突发地震灾害的能力。地震预警技术具有更大的发展潜力, 为了不断提高地震预警信息的精度和信息发布的时效性, 2014—2018年由日本气象厅气象研究所承担了地震预警技术的相关研究课题。此项研究利用日本国内部署的高密度地震观测网数据, 致力于开发新的实时地震烈度算法和长周期地震动破坏规模预测的应用技术<sup>[6]</sup>。

### 3.1 长周期地震动等级信息发布

随着现代化城市的高速发展, 城市人口的快速增长和高度密集造成城市土地面积短缺, 超高层建

筑的数量也随之增加。由于超高层建筑结构的自振周期较长,对于长周期地震波的长周期成分较敏感,易发生共振而产生非常严重的破坏,引起的人员伤亡和财产损失也是巨大的。长周期地震动已经成为超高层建筑抗震设计中越来越重要的考虑因素<sup>[7]</sup>。

从2013年开始,由日本气象厅组织的专项课题工作组开展了对长周期地震波的技术研究,利用历史地震作为参考对象进行震源和震级的预测,希望在地震发生后极短时间内得出长周期地震波强度和周期的预测结果。有了震动的周期和强度,对抗震性

能较差的建筑物,可以在剧烈震动发生之前采取相应的应急对策。

2023年2月开始,日本气象厅发布的地震预警信息中新增了长周期地震动等级信息(图4)<sup>[8]</sup>。在近些年的地震学研究中,对于长周期地震动等级的预测手段已经有了显著提高。以2011年东日本大地震为例,大阪市最大烈度值只有3度(JMA烈度),但是也出现了因长周期地震动造成高层建筑受损的情况,例如人员被困电梯、建筑外装和内装破损、防火门因变形无法关闭等情况,带来了不小的财产损失。

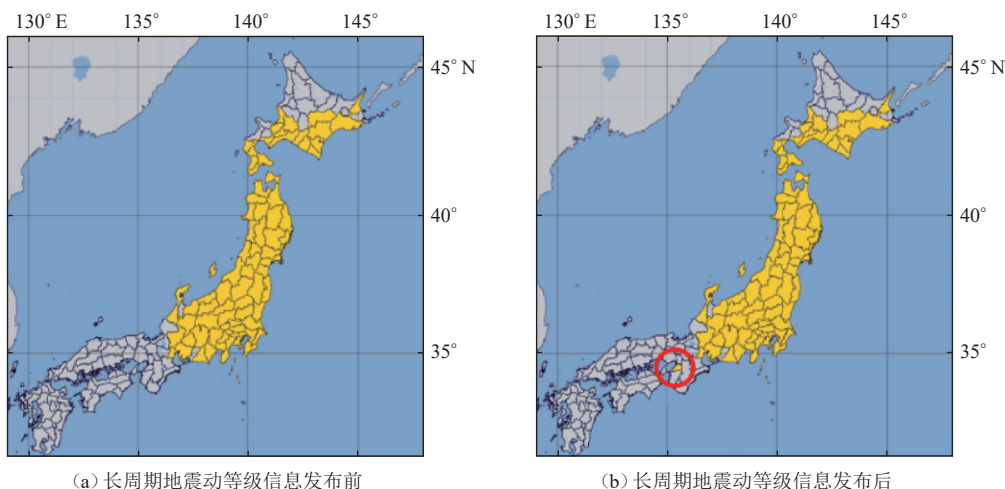


图4 以东日本大地震为例,预警信息发布对象区域比较<sup>[8]</sup>

Fig. 4 Comparison of earthquake early warning information release target areas, taking the 2011 earthquake of the Pacific coast of Tohoku as an example<sup>[8]</sup>

为了统一各类预警警报的发布方式,便于警报接受方进行正确的应急处置,气象厅决定在预警信息的发布信息中增加长周期地震动等级信息,并且不改变现有的预警信息发布流程,对长周期和短周期地震动也不进行区别处理。考虑到现阶段发布长周期地震动等级预警信息的次数不会太多,一般情况达到长周期地震动等级3级以上的地区,也会满足烈度3级预警信息发布条件。建议民众当接到预警信息时,特别是有震感地区高层建筑内的民众,应该采取适当的自我防护措施和心理准备。

### 3.2 后续地震预警信息发布

2022年12月16日,日本气象厅启用了一套新的地震预警系统,主要针对位于日本海沟和千岛海沟附近的北海道及三陆地区太平洋沿岸,今后可能发生9级以上大地震的区域所做的准备。后续地震预警系统是一个提醒后续可能会引发更大地震的预警系统,在发生 $M_w7.0$ 以上地震时,后续地震预警

信息将告知民众需要密切注意后续大地震的发生<sup>[9]</sup>。

1904—2017年期间共观测到全球 $M_w7.0$ 以上地震共计1477次,震源500 km范围内连续发生 $M_w7.8$ 以上地震次数如图5所示<sup>[10]</sup>。历史上从房总半岛近海开始,途经三陆近海,一直到千岛群岛的附近海域

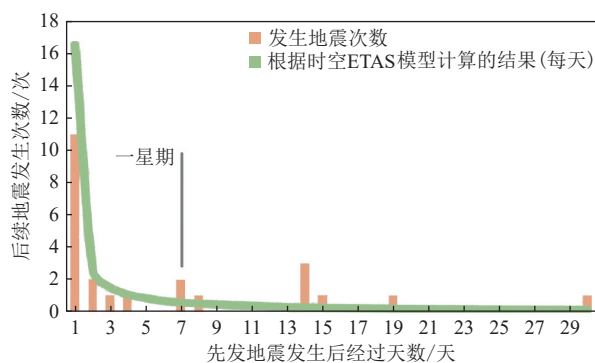


图5 全球 $M_w7.0$ 以上地震发生后,连续发生 $M_w7.8$ 以上地震的概率<sup>[10]</sup>

Fig. 5 Probability of the consecutive earthquake ( $M_w \geq 7.8$ ) occurring after the earthquake ( $M_w \geq 7.0$ )<sup>[10]</sup>

一直不断发生  $M_w7.0\sim 9.0$  的破坏性地震, 并且经常伴有巨型海啸灾害的发生。总结历史地震发现,  $M_w7.0$  地震发生后, 有引发9级以上的超大地震的可能性。例如在2011年3月11日发生东日本大地震的前2天, 在日本海沟附近就发生了  $M7.3$  地震, 2天后再次引发  $M9.0$  大地震; 1963年10月12日在千岛海沟发生  $M7.0$  地震, 18小时后发生了  $M8.5$  地震; 2016年4月14日熊本发生  $M6.5$  地震, 当专家分析研究认为此次  $M6.5$  地震为主震的2日后, 4月16日又在熊本发生  $M7.3$  地震, 并且造成了非常严重的财产损失和人员伤亡。这种前震主震型的破坏地震发震原因仍待探索, 但正是由于可能引发更大规模的破坏性地震, 因此需要提前做好应急准备, 尽可能将损失降低。在后续地震预警信息发布后, 政府不会要求民众提前避难, 也不会进行交通限制和学校停课, 会让民众在今后一周内随时为大地震和海啸做准备, 比如提前备好防灾用品, 穿好随时可以避难的衣服睡觉, 和儿童老人在同一个房间住等等。正常情况下后续地震预警信息会在一周后解除<sup>[1]</sup>。

#### 4 建议

(1) 当前的地震预警技术还存在着一些不足之

处。通过梳理中国国内典型的大规模灾害地震, 并根据地震发生的类型、地域、震级及破坏情况, 建立地震目录、波形数据、前兆信息、烈度信息等地震预警数据信息库, 通过人工智能技术对海量的数据进行学习训练总结出预测模型。通过数据量的不断增加, 可以持续改进地震预测模型的准确率, 从而提升预警信息的准确性。

(2) 进一步加强地震预警系统平台的建设。日本气象厅在灾害预警方面实现了全程自动化处理, 提高了预警信息的发布时效性。地震预警信息的种类从常规地震预警信息的发布, 衍生出长周期地震动等级信息及后续地震预警信息的发布, 预警信息的精细化程度不断提高, 对我国的地震预警系统今后的发展有重要的参考价值。

(3) 日本是世界上首个将地震预警系统实用化的国家, 从预警试验平台发展到今天, 地震预警系统已成为日本民众生活中不可缺少的一部分。经历了20年的发展, 日本地震预警系统在各方面均处于世界领先地位。密切跟踪日本气象厅的发展, 对我国地震事业现代化建设和地震预警系统的发展具有借鉴和促进作用。

#### 参考文献

- [1] 气象庁. 組織、所掌業務、幹部一覽 [EB/OL]. [2024-03-01]. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/intro/gyomu/index3.html>  
Japan Meteorological Agency. List of organizations duties and executives [EB/OL]. [2024-03-01]. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/intro/gyomu/index3.html>
- [2] 气象庁. 地震活動等総合監視システムEPOS (Earthquake Phenomena Observation System) [EB/OL]. [2024-03-01]. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/intro/gyomu/index919sys.html>  
Japan Meteorological Agency. Earthquake phenomena observation system (EPOS) [EB/OL]. [2024-03-01]. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/intro/gyomu/index919sys.html>
- [3] 欧阳龙斌, 黄文辉, 康英, 等. 地震监测数据实时传输与汇聚系统 [J]. 华南地震, 2022, 42(1): 23-30  
Ouyang L B, Huang W H, Kang Y, et al. Real-time transmission and aggregation system for seismic monitoring data [J]. South China Journal of Seismology, 2022, 42(1): 23-30
- [4] 气象庁. 地震・津波の観測監視体制 [EB/OL]. [2024-03-01]. <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/monitor/index.html>  
Japan Meteorological Agency. Observation and monitoring system for earthquake and tsunami [EB/OL]. [2024-03-01]. <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/monitor/index.html>
- [5] Makinoshima F, Oishi Y, Yamazaki T, et al. Early forecasting of tsunami inundation from tsunami and geodetic observation data with convolutional neural networks [J]. Nature Communications, 2021, 12(1): 2253
- [6] 气象庁 气象庁研究所. 緊急地震速報の予測手法の高度化に関する研究 [EB/OL]. [2024-03-01]. <https://www.mri-jma.go.jp/Research/project/latest/plans/B1.html>  
Meteorological Research Institute. Study on advancement of earthquake early warning prediction method [EB/OL]. [2024-03-01]. <https://www.mri-jma.go.jp/Research/project/latest/plans/B1.html>
- [7] 气象庁. 長周期地震動について [EB/OL]. [2024-03-01]. <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/choshuki/index.html>  
Japan Meteorological Agency. Long-period ground motions [EB/OL]. [2024-03-01]. <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/choshuki/>

index.html

- [ 8 ] 気象庁. 緊急地震速報の発表基準の変更について[EB/OL]. [2024-03-01]. [https://www.data.jma.go.jp/eew/data/nc/lpgm\\_start/lpgm\\_start.html](https://www.data.jma.go.jp/eew/data/nc/lpgm_start/lpgm_start.html)  
Japan Meteorological Agency. Changes in the standards for announcing earthquake early warning[EB/OL]. [2024-03-01]. [https://www.data.jma.go.jp/eew/data/nc/lpgm\\_start/lpgm\\_start.html](https://www.data.jma.go.jp/eew/data/nc/lpgm_start/lpgm_start.html)
- [ 9 ] 内閣府. 北海道・三陸沖後発地震注意情報防災対応ガイドラインの公表(令和4年11月)[EB/OL]. [2024-03-01]. [https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko\\_chishima/hokkaido/guideline.html](https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/hokkaido/guideline.html)  
Japanese Cabinet Office. Announcement of Hokkaido/Sanriku earthquake warning information and disaster management guidelines (2022)[EB/OL]. [2024-03-01]. [https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko\\_chishima/hokkaido/guideline.html](https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/hokkaido/guideline.html)
- [ 10 ] 気象庁. 「北海道・三陸沖後発地震注意情報」について[EB/OL]. [2024-03-01]. [https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/nceq/info\\_guide.html](https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/nceq/info_guide.html)  
Japan Meteorological Agency. Regarding the Hokkaido/Sanriku offshore later earthquake warning information[EB/OL]. [2024-03-01]. [https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/nceq/info\\_guide.html](https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/nceq/info_guide.html)
- [ 11 ] 内閣府. 北海道・三陸沖後発地震注意情報の解説ページ[EB/OL]. [2024-03-01]. [https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko\\_chishima/hokkaido/index5.html](https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/hokkaido/index5.html)  
Japanese Cabinet Office. Hokkaido/Sanriku offshore later earthquake warning page[EB/OL]. [2024-03-01]. [https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko\\_chishima/hokkaido/index5.html](https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/hokkaido/index5.html)