

令和 3 年 5 月 24 日現在

機関番号：10101  
研究種目：若手研究  
研究期間：2018～2020  
課題番号：18K18175  
研究課題名（和文）氷河学における新たなプロキシとしての地震波解析

研究課題名（英文）Seismic noise as a proxy for glacier dynamics

## 研究代表者

Podolskiy Evgeny (Podolskiy, Evgeny)

北海道大学・北極域研究センター・助教

研究者番号：80775536

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：このプロジェクトでは、グリーンランド、南極、ヒマラヤの氷河で、主任研究者と外部の研究者が収集したいくつかの物理学的データを用いて、信号・画像処理、統計・スペクトル・非線形時系列解析、数値モデル化を行いました。潮汐によって変調された氷の変形や運動など、その他の低温地震信号や氷河に関連するプロセスも研究されました。氷の動きによるものなどです。これらの成果は、国際的なニュースメディアに掲載され、発表され、注目を集めました

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

As today climate change and sea-level rise are the key challenges for the society, it is crucial to have a better understanding of processes taking place in rapidly retreating glaciers around the world. Deeper understanding of seismicity at glaciers provides an opportunity to improve our knowledge.

研究成果の概要（英文）：Analysis of seismic records, accompanied by other observations near glaciers, offers a unique window into cryospheric processes. The project relied on and benefited from several previous and newly collected geophysical records collected by the PI and external colleagues on glaciers in Greenland, Antarctica, and Himalayas, known as the key glaciated areas of the world. Using such data, signal and image processing were performed, together with statistical, spectral and nonlinear time-series analysis and numerical modeling.

Thermal fracturing of ice was revealed by seismic noise. A co-seismic eruption of a subglacial discharge plume was discovered. A concept of using glacier-hydraulic acoustics for recognizing different englacial flow types was developed. Other cryoseismic signals and glacier-related processes were also studied during the project, such as due to a tide-modulated deformation and motion of ice. Results were published, presented, and highlighted by international news media.

研究分野：Geophysics

キーワード：glacier seismicity noise Greenland Himalayas Antarctica Arctic icequake

#### 1. 研究開始当初の背景

Glaciers generate various types of seismic events, from tiny cracks detectable only locally to major glacial earthquakes detectable at regional and tele-seismic scales (100s to 1000s km). There is a large diversity of source mechanisms, with discrete and continuous radiation of seismo-acoustic energy occurring in short impulses, bursts, or continuously. This can be caused by cracks, sliding or hydraulically. As today the global climate change and sea-level rise are the key challenges for the society, it is crucial to have a better understanding of processes taking place in rapidly retreating glaciers around the world.

#### 2. 研究の目的

The main purpose of the study is to use seismo-acoustic noise as a proxy for glacier dynamics, which corresponds to elucidation of processes behind glacial seismicity and their differentiation. Deeper understanding of seismicity at glaciers provides a dual opportunity, on the one hand, to improve our general knowledge of seismic phenomena, and on another hand to observe otherwise difficult-to-monitor glacial dynamics. Therefore, analysis of passive seismic records, accompanied by other *in situ* observations near glaciers, offers a unique window into cryospheric processes.

#### 3. 研究の方法

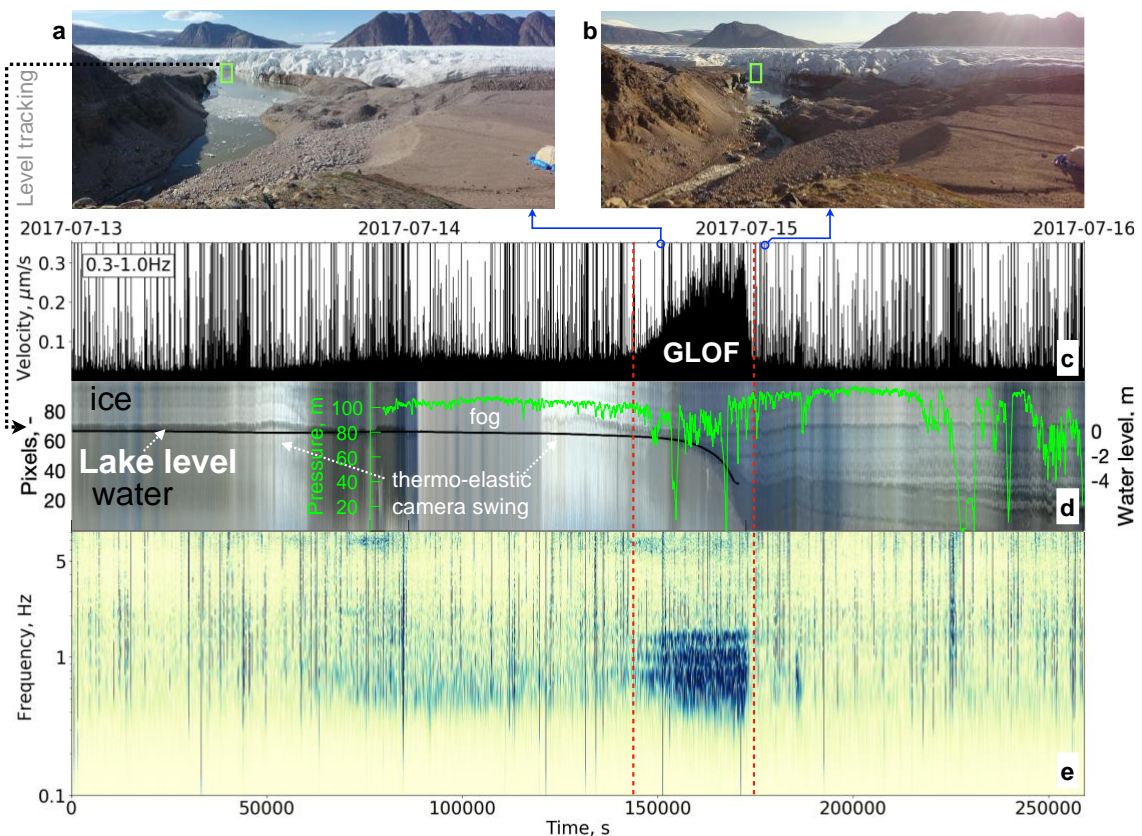
To advance along the aforementioned aims, the study relied on and benefited from several previous and newly collected geophysical records collected by PI and colleagues on glaciers in Greenland, Antarctica, and Himalayas, which are known as the key glaciated areas of the world. Since understanding seismic sources requires other *in situ* records, the analyzed datasets were collected during comprehensive field campaigns, supported by geodetical, meteorological, glaciological and oceanographic observations as well as time-lapse photography and Unmanned Aerial Vehicles. Using such data, signal and image processing, together with statistical, spectral and nonlinear time-series analysis and numerical modeling were performed, as detailed in several papers described below.

#### 4. 研究成果

Results of the study are provided in the reference list (attached). PI led and contributed as a co-author to the following peer-reviewed papers in major international and multi-disciplinary journals, which outline our observation-based findings in Greenland (*Podolskiy, GRL, 2020, Podolskiy et al., Comm. Earth & Env., 2021a; Podolskiy et al., SRL, 2021b; van Dongen et al., Cryosphere, 2021; Sugiyama et al., Pol. Sci., 2021*), Antarctica (*Minowa et al., Ann. Glaciol.,*

2019), and Himalayas (Podolskiy et al., *GRL*, 2018; Podolskiy et al., *JGR*, 2019; Sato et al., *Frontiers*, 2021).

Some of these works have received substantial media attention, highlighting their broad relevance and interest in international science arena. For example, a discovery of nocturnal thermal fracturing revealed by seismic noise (Podolskiy et al., *GRL*, 2018), was highlighted by Scientific American [1] and American Geophysical Union (AGU) [2]. Similarly, a study of glacier-hydraulic acoustics which has implications for recognizing different sources and flow types (Podolskiy et al., *GRL*, 2020), was covered in AGU's EOS [3]. Another recent finding of a co-seismic eruption of a subglacial discharge plume in Greenland (Podolskiy et al., *Comm. Earth & Env.*, 2021a) was also highlighted by AGU's EOS [4]. An example of the latter signal is provided in Fig. 1 to illustrate a typically challenging and nonconventional nature of cryoseismic signals studied during the project. Finally, considering that the AGU is one of the main global science news sources, annual highlighting of the project's outcomes can be seen as an important marker of quality and fruitful nature of the effort.



**Fig. 1. Time-lapse imagery compared to the seismic signal, lake-water level and deep-sensor pressure during the ice-dammed lake drainage event (GLOF) on 14 July 2017. a, b** Upper photographs show the lake before and after the GLOF; green rectangles depict the areas that were cropped and horizontally 'stacked' for visual tracking of the water level (d). The seismic waveforms (c) and spectrogram (e) highlight the rise of low-frequency seismic energy due to intensified subglacial water discharge caused by the GLOF. Vertical red lines show the simultaneous onset and abrupt end of the increased seismic energy and water level change. Time is in seconds relative to 00:00:00, 13 July 2017 UTC. After Podolskiy et al., *Comm. Earth & Env.*, 2021a.

**References to selected media highlights:**

[1] Qui, J. (2019), Icy nocturnes, *Scientific American*, 320(1), 12-13, <https://www.scientificamerican.com/article/glaciers-sing-as-they-crack-at-night/>

[2] Learn, J. P. (2018), Tracking exploding ice cracks on Himalayan glaciers, *AGU's GeoSpace*, <https://blogs.agu.org/geospace/2018/10/02/tracking-exploding-ice-cracks-on-himalayan-glaciers/>

[3] Evans Ogden, L. (2020), Tuning in to a glacial symphony, *AGU's Eos*, 101, <https://doi.org/10.1029/2020EO142812>.

[4] Beurteaux, D. (2021), The chaos beneath a glacier's calving front, *AGU's Eos*, 102, <https://doi.org/10.1029/2021EO158653>.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Podolskiy Evgeny A., Fujita Koji, Sunako Sojiro, Sato Yota	4. 巻 124
2. 論文標題 Viscoelastic Modeling of Nocturnal Thermal Fracturing in a Himalayan Debris Covered Glacier	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Earth Surface	6. 最初と最後の頁 1485 ~ 1515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018JF004848	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Minowa Masahiro, Podolskiy Evgeny A., Sugiyama Shin	4. 巻 60
2. 論文標題 Tide-modulated ice motion and seismicity of a floating glacier tongue in East Antarctica	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Annals of Glaciology	6. 最初と最後の頁 57 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/aog.2019.25	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Podolskiy Evgeny A.	4. 巻 47
2. 論文標題 Toward the Acoustic Detection of Two Phase Flow Patterns and Helmholtz Resonators in Englacial Drainage Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 1~10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GL086951	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Podolskiy, E. A., K. Fujita, S. Sunako, A. Tsushima, and R.B. Kayastha	4. 巻 45
2. 論文標題 Nocturnal thermal fracturing of a Himalayan debris covered glacier revealed by ambient seismic noise	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 9699-9709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GL079653	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 van Dongen Eef C. H., Juvet Guillaume, Sugiyama Shin, Podolskiy Evgeny A., Funk Martin, Benn Douglas I., Lindner Fabian, Bauder Andreas, Seguinot Julien, Leinss Silvan, Walter Fabian	4. 巻 15
2. 論文標題 Thinning leads to calving-style changes at Bowdoin Glacier, Greenland	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Cryosphere	6. 最初と最後の頁 485 ~ 500
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/tc-15-485-2021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Sugiyama Shin, et al (including Podolskiy E. as No. 10)	4. 巻 27
2. 論文標題 Rapidly changing glaciers, ocean and coastal environments, and their impact on human society in the Qaanaaq region, northwestern Greenland	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100632 ~ 100632
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2020.100632	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Podolskiy Evgeny A., Kanna Naoya, Sugiyama Shin	4. 巻 2
2. 論文標題 Co-seismic eruption and intermittent turbulence of a subglacial discharge plume revealed by continuous subsurface observations in Greenland	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Earth & Environment	6. 最初と最後の頁 1 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43247-021-00132-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Podolskiy Evgeny A., Murai Yoshio, Kanna Naoya, Sugiyama Shin	4. 巻 -
2. 論文標題 Ocean-Bottom Seismology of Glacial Earthquakes: The Concept, Lessons Learned, and Mind the Sediments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Seismological Research Letters	6. 最初と最後の頁 1 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0220200465	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato Yota, Koji Fujita, Hiroshi Inoue, Sojiro Sunako, Akiko Sakai, Akane Tsushima, Evgeny A. Podolskiy, Rakesh Kayastha, Rijan Bhakta Kayastha	4. 巻 -
2. 論文標題 Ice cliff dynamics of debris-covered Trakarding Glacier in the Rolwaling region, Nepal Himalaya	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/feart.2021.623623	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Thermal fracturing on a Himalayan debris-covered glacier
3. 学会等名 EGU General Assembly 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Volcanic like long-period seismic events at a tidewater glacier in Greenland
3. 学会等名 EGU General Assembly 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Continuous and discrete ice-quakes due to fracture, slow slip and fluids
3. 学会等名 The International Statistical Seismology (StatSei) workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 グリーンランドにおけるOBS（海底地震計）を用いた氷河地震とクジラの研究
3. 学会等名 第3回地震火山センター談話会，北海道大学、札幌市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Listening to the language of unicorns and ice-quakes in Greenland
3. 学会等名 Seminar for Young Leaders from Alaska (Kakehashi project, MoFA), 北海道大学、札幌市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Sounds of narwhals in a glacier fjord
3. 学会等名 2020年ArCSテーマ2課題間連携会合，北海道大学、函館市
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Ambient seismic noise at a Himalayan debris-covered glacier
3. 学会等名 JpGU Meeting 2018, Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Nocturnal Thermal Fracturing of a Himalayan Debris-covered Glacier: Evidence from Ambient Seismic Noise and Numerical Modeling
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018, Washington D.C. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Nocturnal thermal fracturing of a Himalayan debris-covered glacier: Evidence from ambient seismic noise and numerical modelling
3. 学会等名 VAW/ETH-Zurich Seminar, Switzerland
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Long-period seismic events and tremor at a tidewater glacier in Greenland
3. 学会等名 European Seismological Commission General Assembly 2018, Valetta (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Ambient seismic noise に記録されたネパールヒマラヤのデブリ氷河における夜間の熱的破碎現象
3. 学会等名 北海道大学低温科学研究所共同利用研究集会 「気候変化に伴う質量収支と氷河変動に関する研究」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Ambient seismic noise に記録されたネパールヒマラヤのデブリ氷河における夜間の熱的破砕現象
3. 学会等名 地震火山研究観測センター, 2018年度 第2 回談話会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Hydraulic Link between Glacier-dammed Lake and Meltwater Plume Revealed by Seismic Tremor, Time-lapse Imagery, Radar and Mooring
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018, Washington D.C. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Seismic symphony of a tidewater glacier: tide-modulated cracks, subglacial GLOFs, calving and sliding tremors
3. 学会等名 VAW/ETH-Zurich Seminar, Switzerland
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Dynamics of a subglacial meltwater plume revealed by continuous subsurface monitoring directly on the calving front
3. 学会等名 EGU General Assembly 2020, Vienna, Austria (online) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Podolskiy Evgeny, Yoshio Murai, Naoya Kanna, Shin Sugiyama
2. 発表標題 Glacier tremors revealed by Ocean Bottom Seismometer in Greenland
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020, Tokyo, Japan (online) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Multi-purpose ocean acoustic observations in a glacier fjord
3. 学会等名 ArCS-11 Meeting, Sapporo, Japan (online)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Podolskiy E.
2. 発表標題 Listening to the language of Arctic unicorns and ice-quakes
3. 学会等名 Global ecosystem and environmental changes in the Arctic, Moscow, Russia (online) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Podolskiy Evgeny, Yoshio Murai, Naoya Kanna, Shin Sugiyama
2. 発表標題 Ocean Bottom Seismology of Glacial Earthquakes
3. 学会等名 2021年度第1回地震火山センター談話会, Sapporo, Japan
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------