

「雪氷圏地震学」の最近の動向 Recent topics on "Cryoseismology"

金尾 政紀^{1*}; 坪井 誠司²; 豊国 源知³; 古本 宗充⁴
KANAŌ, Masaki^{1*}; TSUBOI, Seiji²; TOYOKUNI, Genti³; FURUMOTO, Muneyoshi⁴

¹ 国立極地研究所, ² 海洋研究開発機構, ³ 東北大学, ⁴ 名古屋大学
¹NIPR, ²JAMSTEC, ³Tohoku University, ⁴Nagoya University

近年グリーンランド氷床は、衛星データ等より氷体積の減少速度が顕著に加速している。これに伴い氷床縁辺の流動・崩壊・流出に関連した振動現象である「氷河地震」が多数観測され、その発生メカニズムと時空間分布の解明は温暖化に伴う氷床変動と増幅作用を知る上で重要である。氷河地震は、氷河・棚氷の流出、氷崖の崩落、氷床底面流動による基盤岩摩擦、氷床表面の融解、氷床下湖からの流出等で励起されるが、そのメカニズムは南極域を含めて未解明である。海洋変動や氷床後退に伴う固体地球隆起応答との関連もあり、氷河地震は極域表層環境変動の検知のための新指標となる。また最近、南極の地震計データからは、西南極氷床下に新たな火山が発見され、さらに南米の巨大深発地震表面波で南極氷床下に氷震が多数励起された。このように雪氷変動と固体地球振動とを繋ぐ「雪氷圏地震学」の新たな成果が今後も期待される。本講演では、セッション概要を兼ねて「雪氷圏地震学」に関連した最近の動向についてまとめて説明する。具体的には、温暖化に伴う地震発生、活動様式、氷床氷河変動との関連、海氷海洋変動との相関、波動伝搬特性、極域の地殻マントル構造とダイナミクス、等の話題について紹介する。

キーワード: 雪氷圏変動, 氷河地震, 氷震, 地球温暖化, 極域表層環境

Keywords: cryosphere dynamics, glacial earthquakes, ice-quakes, global warming, polar surface environment

アラスカ南部プレート沈み込み帯ウェッジ内の物質循環と氷河作用 Glaciation and material cycling within the overriding plate wedge: Climate-tectonics interaction in the southern Alaska

喜岡 新^{1*}; 朝日 博史²; Worthington Lindsay L.³; Davies-Walczak Maureen⁴; 小嶋 孝徳¹;
Jaeger John M.⁵; Gulick Sean S.⁶; LeVay Leah⁷; 中村 淳路⁸; 須藤 斎⁹; 芦 寿一郎¹
KIOKA, Arata^{1*}; ASAH, Hirofumi²; WORTHINGTON, Lindsay L.³; DAVIES-WALCZAK, Maureen⁴;
OJIMA, Takanori¹; JAEGER, John M.⁵; GULICK, Sean S.⁶; LEVAY, Leah⁷; NAKAMURA, Atsunori⁸;
SUTO, Itsuki⁹; ASHI, Juichiro¹

¹ 東大・大気海洋研・海洋底科学, ²Korea Polar Res. Inst., S. Korea, ³Dept. Earth Planet. Sci., UNM, USA, ⁴Coll. Earth Ocean Atmos. Sci., Oregon State Univ., USA, ⁵Dept. Geol. Sci., UFL, USA, ⁶Inst. Geophys., Jackson Sch. Geosci., UT Austin, USA, ⁷IODP, TAMU, USA, ⁸ 東大・大気海洋研・高解像度環境解析, ⁹ 名大・環境学・地球環境科学

¹Dept. Ocean Floor Geosci., Atmos. Ocean Res. Inst., UTokyo, Japan, ²Korea Polar Res. Inst., S. Korea, ³Dept. Earth Planet. Sci., UNM, USA, ⁴Coll. Earth Ocean Atmos. Sci., Oregon State Univ., USA, ⁵Dept. Geol. Sci., UFL, USA, ⁶Inst. Geophys., Jackson Sch. Geosci., UT Austin, USA, ⁷IODP, TAMU, USA, ⁸Analy. Center Envir. Study, Atmos. Ocean Res. Inst., UTokyo, Japan, ⁹Dept. Earth Envir. Sci., Nagoya U., Japan

気候変動はテクトニックな変動にも影響を及ぼすことがある。アラスカ南部やチリ南部といった、過去に大規模な山岳氷床が発達した亜極域に分布するプレート沈み込み帯では、新生代後期以降、氷床の発達・後退が繰り返されてきた。しかし、亜極域沈み込み帯縁辺でのテクトニクス-氷河相互作用の理解は乏しい。また、アラスカ南部とチリ南部では、他の付加プリズム縁辺では特徴的に見られるようなウェッジのテーパ角とプレート収束速度の相関性から外れている。第四紀の中で、アラスカ南部に発達していたコルディレラ氷床は中期更新世気候変遷期 (MPT) において最も拡大したと考えられている。そこで本研究では、MPTにおけるコルディレラ氷床発達に伴う大規模な氷河削剝によって、アラスカ南部縁辺のテーパウェッジの力学的機構が大きく変化した可能性を検証した。MPTにおける氷床拡大の復元は2次元 Shallow-Shelf Approximation で近似し、このときの削剝速度を算出した。また、算出された削剝速度は、IODP 第341次航海で得られた詳細な堆積物記録や構造探査の結果と比較した。その結果、MPTにおける氷河作用は、ウェッジ内の長期的な物質循環に大きな影響を及ぼした可能性が示唆された。例えば、氷河性堆積物が厚く堆積したことによりウェッジ全体が引張場となり、ウェッジ内から海底面へガスや流体が排出されやすくなったと考えられる。これは、ウェッジ内の物質循環や流体移動の指標となりうる海底泥火山やメタンハイドレートの存在を示す海底擬似反射面の存在が、アラスカ南部縁辺では欠落していることとリンクしているのであろう。

キーワード: 気候?テクトニクス相互作用, コルディレラ氷床, 氷河作用, テーパーウェッジ, 物質循環, アラスカ湾

Keywords: Climate-tectonics interaction, Cordilleran ice-sheet, glacial erosion, taper wedge, material cycling, Gulf of Alaska

Passive seismology of ice: an overview of main seismic sources and their characteristics Passive seismology of ice: an overview of main seismic sources and their characteristics

PODOLSKIY, Evgeny A.^{1*}; WALTER, Fabian²
PODOLSKIY, Evgeny A.^{1*}; WALTER, Fabian²

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ²Mountain Hydrology and Mass Movements, Swiss Federal Research Institute WSL

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ²Mountain Hydrology and Mass Movements, Swiss Federal Research Institute WSL

Recent 'flood' of papers and passive seismic data about ice covered areas of the planet produced a need for generalized ways to distinguish between different types of seismic sources generating ice-quakes. Basing on analysis of more than 100 publications, we make a step in this direction and attempt to take a quantitative look at key features of previously reported signals. We find that the emerging seismic 'portrait' of the Cryosphere can be mainly explained in terms of released glacial stress and external forcings. Our study presents the first sketch of criteria which could be ultimately helpful in detecting and categorizing various ice-related phenomena.

キーワード: icequake, Cryosphere, Seismology, seismic source, magnitude, stress drop
Keywords: icequake, Cryosphere, Seismology, seismic source, magnitude, stress drop

海洋潮汐によりトリガーされる氷河地震 Triggered Glacial earthquake by Ocean tide

伊藤 武男^{1*}; 古本 宗充¹
ITO, Takeo^{1*}; FURUMOTO, Muneyoshi¹

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹ Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

1. はじめに

近年の地球温暖化によりグリーンランド氷河が融解することで氷河の流出量が増大し、海面上昇が懸念されている。この氷河の流出に伴って、様々な現象が発見されており、その一つが氷河地震である。この氷河地震は河口付近の流動する氷河の底面と岩盤との急激なすべり速度の変化であると考えられており、近年では、氷河地震の発生頻度は上昇傾向にあることから、急激な気候の変化を反映している可能性がある。しかしながら、これらの氷河地震の発生頻度の変化は氷河の流出のメカニズムとどの様に関連しているのかは未だ完全には明らかになっていない。

2. 氷河地震と海洋潮汐に伴う摩擦力と係数の変化

Tsai and Ekstrom (2007) は氷河地震で放射された地震波を詳細に調べ、グリーンランドで発生する氷河地震のほとんどが表面波マグニチュード5程度であることを報告している。また、表面波マグニチュード5程度のテクトニックな地震であれば、数秒程度の震源の破壊継続時間であるにも関わらず、氷河地震の震源時間関数は50秒程度と非常に長いことから、ゆっくりとしたすべりの現象であることがわかる。このような特徴から氷河底面と岩盤との間の摩擦係数の変化について考察をおこなった。その結果、氷河地震の発生時の摩擦係数の変化は 1.6×10^{-4} 程度であり、氷河地震は非常に小さな摂動がきっかけになって発生している可能性がある。

一方、海洋潮汐による海面の周期的な上下運動により、氷河と岩盤の間に海水が流入に伴う間隙水圧の増圧によって生じる摩擦力の変化についての考察を行う。その結果、氷河の厚さと海水面の変化をそれぞれ700mと1.5mと仮定すると海水が流入した際の摩擦力の変化と定常状態の実効的な摩擦力の比は 2.1×10^{-3} 程度となる。この値は氷河地震が発生した際に生じる摩擦係数の変化の割合と同じオーダーであるため、海洋潮汐により実効的な摩擦力を変化させることで、見かけ上の摩擦係数の変化として氷河地震をトリガーすることができる可能性があることを示している。

3. 海洋潮汐がトリガーとなる氷河地震

海洋潮汐によりトリガーされた氷河地震を統計的に調べるために、氷河地震が発生した場所と時間の海水面高を抽出し、氷河地震と海洋潮汐との関係を調べた。その結果、海水面高が低い場合には氷河地震は抑制され、海水面高が高い場合には氷河地震は促進されており、海洋潮汐の影響を受けた氷河地震は全体の約3%に相当している事が分かった。しかしながら、これらの影響は非常に小さいが、氷河地震と海面上昇から推定される、摩擦状況の変化からは妥当な値だと結論づけることができる。

キーワード: 氷河地震, グリーンランド, 海洋潮汐
Keywords: Glacial earthquake, Greenland, Ocean tide

グリーンランド氷床モニタリング計画 (GLISN) のグローバル地震学における意義 Significances of GLISN project in Global Seismology

坪井 誠司^{1*}; 豊国 源知²; 金尾 政紀³; 東野 陽子¹; 姫野 哲人⁴

TSUBOI, Seiji^{1*}; TOYOKUNI, Genti²; KANAO, Masaki³; TONO, Yoko¹; HIMENO, Tetsuto⁴

¹ 海洋研究開発機構, ² 東北大学, ³ 極地研究所, ⁴ 成蹊大学

¹JAMSTEC, ²Tohoku Univ., ³NIPR, ⁴Seikei Univ.

グリーンランド氷床全域の地震観測計画として、国際的な研究グループによる GLISN 計画が始まった。この計画では、国際的な研究グループの共同研究として氷床に地震観測点を設置し、他国の地震観測点と統合したデータセットを用いてグリーンランドにおける地震活動の解析を行う計画である。この研究計画の目的は、グリーンランド氷床及びその縁辺部で発生する氷河地震の頻度を観測し、氷床流動と氷河地震の関連から氷河地震の発生メカニズムを解明することにある。これにより地球温暖化による氷床後退と氷河地震発生との間の関連性を明らかにできる可能性がある。グリーンランド氷床の地震活動と発生過程から地球温暖化の影響を評価する研究計画は独創的であり、北極域の雪氷環境に及ぼす温暖化の影響について新しい視点をもたらす可能性がある。

キーワード: 氷河地震, グリーンランド, 広帯域地震観測

Keywords: glacier earthquake, Greenland, broadband seismograph

グリーンランド氷床モデルを用いた地震波伝播モデリング Seismic waveform modeling for a structural model with the Greenland ice sheet

豊国 源知^{1*}; 竹中 博士²; 金尾 政紀³; 坪井 誠司⁴; 東野 陽子⁴
TOYOKUNI, Genti^{1*}; TAKENAKA, Hiroshi²; KANAO, Masaki³; TSUBOI, Seiji⁴; TONO, Yoko⁴

¹ 東北大・理・予知観, ² 岡山大, ³ 極地研, ⁴ 海洋研究開発機構

¹RCPEV / Tohoku Univ., ²Okayama Univ., ³NIPR, ⁴JAMSTEC

2009年に発足したGLISNプロジェクトにより、グリーンランド周辺には多数の地震観測点が新設された。従来この地域には観測点が極めて少なかったため、今後の地震学的研究は本観測網のデータに負うところが大きいと期待されている。一方、本観測網の地震波形記録を精度よく解析するためには、厚い氷床がどのように波形に影響を及ぼすかを見積もっておく必要がある。本研究では、グリーンランド氷床の地形・厚さ分布モデルを用いて、周期2 Hzまでの現実的な弾性波伝播の数値シミュレーションを行った。構造モデルや震源位置を様々に変えた数値実験の結果、震源が氷床直下にある場合、氷床内にトラップされたS波によって形成される特徴的な波群が見いだされたため、これを「Le波」と命名した。

キーワード: グリーンランド氷床, 地震波形, ガイド波, 差分法, GLISN プロジェクト

Keywords: Greenland ice sheet, Seismic waveform, Guided wave, Finite-difference method (FDM), GLISN project

北極域の地震活動・構造・テクトニクス Seismicity, structure and tectonics in the Arctic region

戸田 茂^{1*}; 金尾 政紀²; 豊国 源知³; 坪井 誠司⁴

TODA, Shigeru^{1*}; KANAO, Masaki²; TOYOKUNI, Genti³; TSUBOI, Seiji⁴

¹ 愛知教育大学, ² 国立極地研究所, ³ 東北大学 大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター, ⁴ 海洋研究開発機構地球情報研究センター

¹Aichi University of Education, ²National Institute of Polar Research, ³Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Tohoku University, ⁴JAMSTEC, Data Research Center for Marine-Earth Sciences

The 'Arctic' region, where the North Pole occupies the center of the Arctic Ocean, has been affecting the environmental variation of the Earth from geological time to the present. However, the seismic activities in the area is not adequately monitored. Therefore, by conducting long term monitoring of seismic phenomenon as sustainable parameters, our understanding of both the tectonic evolution of the Earth and the dynamic interaction between the cryosphere and geosphere in surface layers of the Earth will increase. In this presentation, an overview of the structure and tectonics of the Arctic is demonstrated by incorporating recently deployed seismic approaches and detailed seismicity of the region. In particular, the Eurasian continent is largely focused in wide areas of Siberian Arctic, Baikal Rift Zone and the Far East. Though the majority areas of the Arctic are occupied by relatively stable continents, the tectonic history reveals distinct variations during the formation of the present landscapes and crustal structure. A variety of tectonic settings are present in the Arctic such as the collision zones at the Plate boundary, deformed areas inside the continents, mantle plumes, rift systems, and so on. On the other hand, in particular for Greenland, a drastic change in the overlying cryosphere has been identified in terms of global warming which has currently resulted in an increase of glacial earthquake activities. In addition, micro-seismic and volcanic monitoring has now been carried out including at the bottom of the Arctic Ocean. A continuous accumulation of the Arctic data from global networks could definitely contribute to the development of high space resolution analysis, the understanding of the deformation and uplift mechanism involving seismicity, the formation processes of the super-continent, and the bedrock topography and geological structure underneath the ice-sheet, in many parts of the polar region. A complete view of global tectonics could be achieved by advancing inter-disciplinary research in the Arctic, in particular at the Eurasian continent and Greenland. The Arctic is, without doubt, one of the frontiers that remain at present to human beings, and also the place which has a crucial role to clarify the tectonic history and current variations on the Earth's surface. It is expected by using fully developed seismological approaches the whole understanding of multi-sphere systems in the Arctic will be enhanced.

キーワード: 北極域, 地震活動, 地殻構造, テクトニクス, 氷河地震

Keywords: Arctic region, seismicity, crustal structure, tectonics, glacial earthquakes