

空中写真や衛星画像データを用いた宗谷海岸 氷床縁辺部湖沼のインベントリ作成

scientific reports Published online: 27 November 2023

OPEN **Outbursts from an ice-marginal lake in Antarctica in 1969–1971 and 2017, revealed by aerial photographs and satellite data**

Shuntaro Hata^{1,2}, Moto Kawamata³ & Koichiro Doi^{4,5}

[Check for updates](#)

研究代表者：波多俊太郎¹

**研究協力者：川又基人²，山之口勤^{3,4}，
中村和樹⁵，青山雄一⁴，土井浩一郎⁴**

¹北海道大学，²寒地土木研究所，³リモートセンシング技術センター，⁴国立極地研究所，⁵日本大学

DS受入教員：奥野淳一助教

北海道大学・極地研究所プレスリリース

長期観測から明らかになった南極の氷河湖決壊

～南極地域観測隊の航空写真と最新の衛星画像から

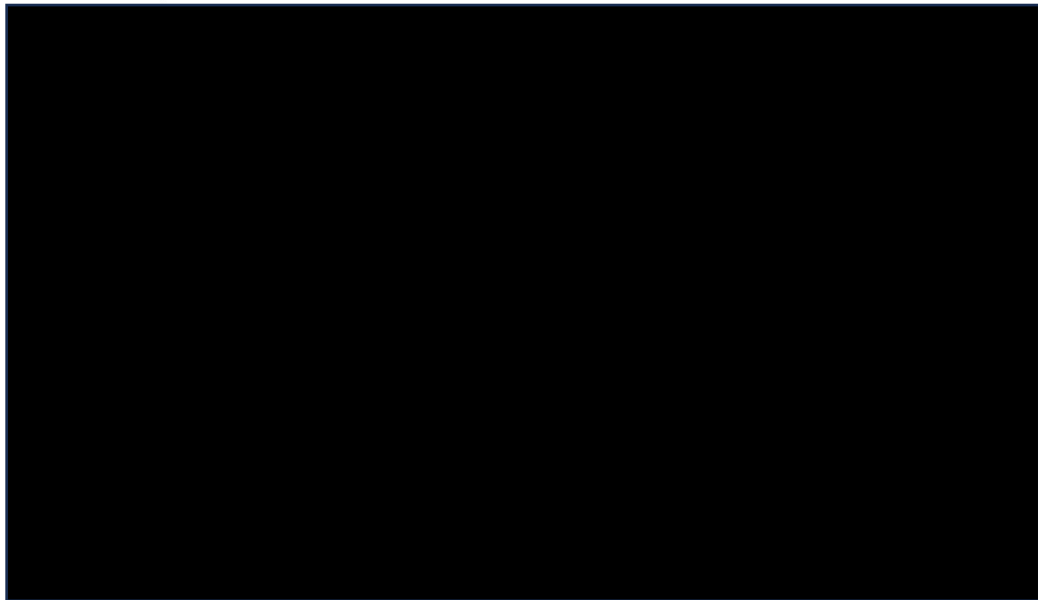
過去60年間の湖面標高変動記録を構築～ <https://www.nipr.ac.jp/info2023/20231128.html>

研究背景：「氷河湖決壊洪水」その研究対象としての重要性

GLOF : Glacial lake outburst floods

ヒマラヤ氷河湖の決壊で壊滅的被害 死者14人、行方不明者100人超 インド

© 2023.10.06 Fri posted at 10:35 JST



(CNN) インド北部ヒマラヤ山脈のシッキム州で4日に起きた洪水で、少なくとも14人が死亡、陸軍兵士など100人以上が行方不明になっている。被災地では住宅が浸水し、道路や橋が押し流されるなどの被害が広がった。

<https://www.cnn.co.jp/world/35209953.html>

nature communications

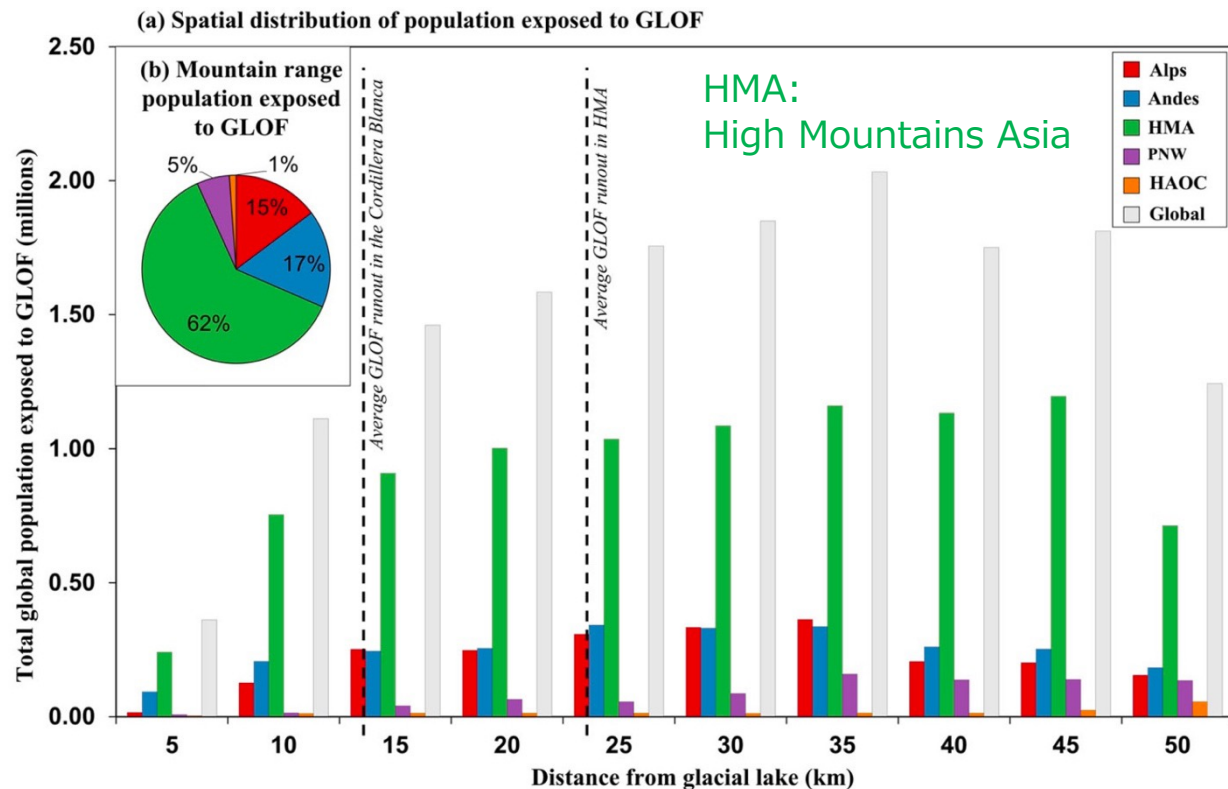


Article

<https://doi.org/10.1038/s41467-023-36033-x>

Glacial lake outburst floods threaten millions globally

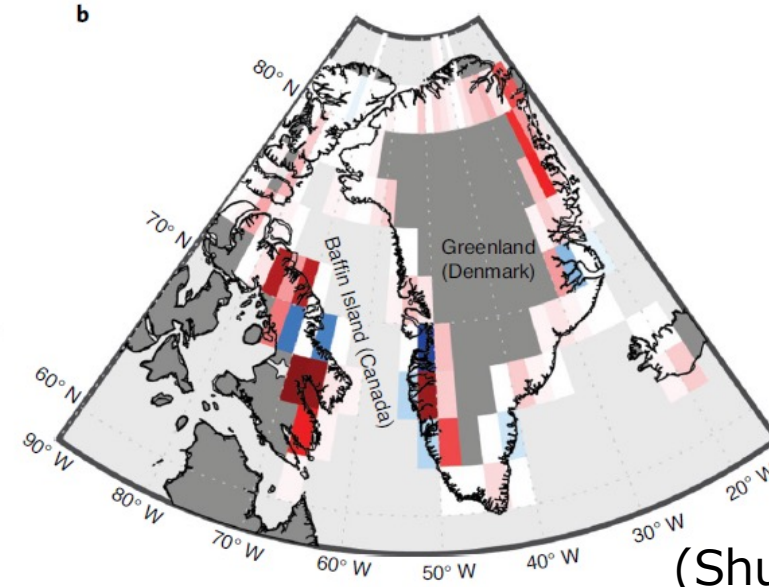
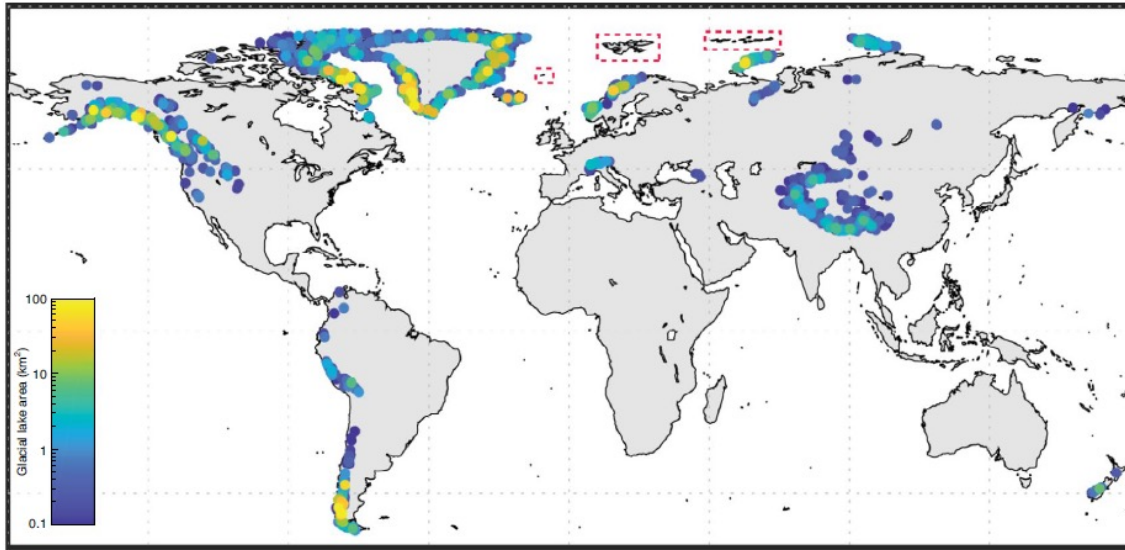
Taylor et al., 2023, Nature Communication



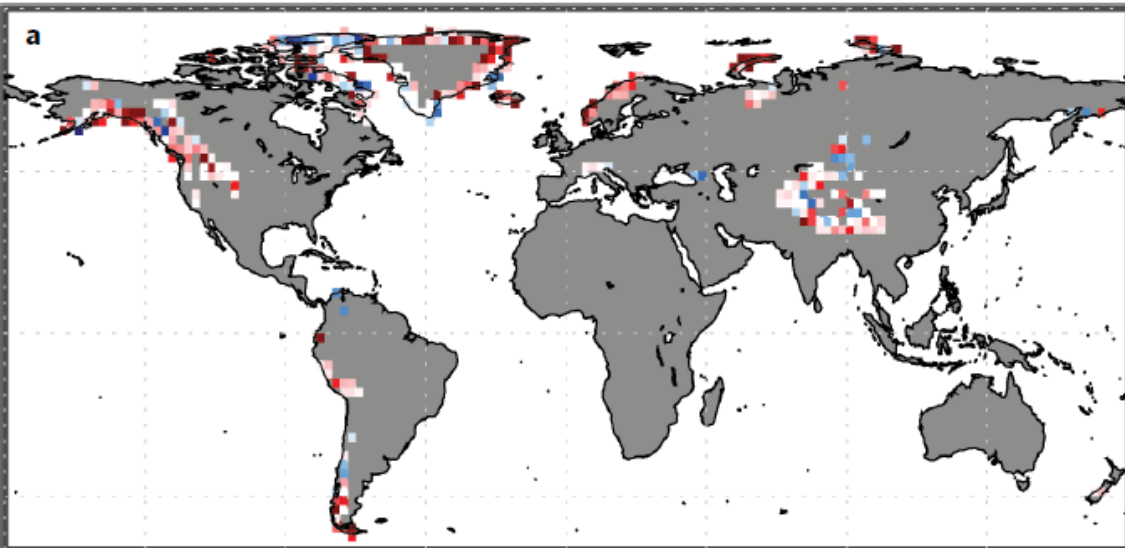
氷河近傍に形成される氷河湖は突発的に決壊して洪水を生じさせる。氷河湖決壊洪水は人家やインフラ破壊などの被害をもたらす災害であり、山岳地域の社会における重大なリスクとして認識されている。

研究背景：「氷河湖決壊洪水」 その研究対象としての重要性

GLOF : Glacial lake outburst floods



(Shugar et al., 2020)



- 世界中の氷河湖が最近の30年間で急速に拡大する傾向にあり、氷河湖の詳細なモニタリング調査やリスク評価が世界各地で行われている。
- 南極では直ちに人々の生活への被害をもたらすものではないためリスク評価が進んでおらず、その報告はごく稀。

研究背景：「氷河湖決壊洪水」その研究対象としての重要性

GLOF : Glacial lake outburst floods

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

Periodic outburst floods from an ice-dammed lake in East Greenland

Aslak Grinsted¹, Christine S. Hvidberg¹, Néstor Campos² & Dorthe Dahl-Jensen¹

We report evidence of four cycles of outburst floods from Catalina Lake, an ice-dammed lake in East Greenland, identified in satellite imagery between 1966–2016. The lake measures 20–25 km², and lake level drops 130–150 m in each event, corresponding to a water volume of 2.6–3.4 Gt, and a release of potential energy of 10¹⁶ J, among the largest outburst floods reported in historical times. The drainage cycle has shortened systematically, and the lake filling rate has increased over each cycle, suggesting that the drainage pattern is changing due to climate warming with possible implications for environmental conditions in Scoresbysund fjord.

Received: 10 January 2017

Accepted: 5 July 2017

Published online: 30 August 2017

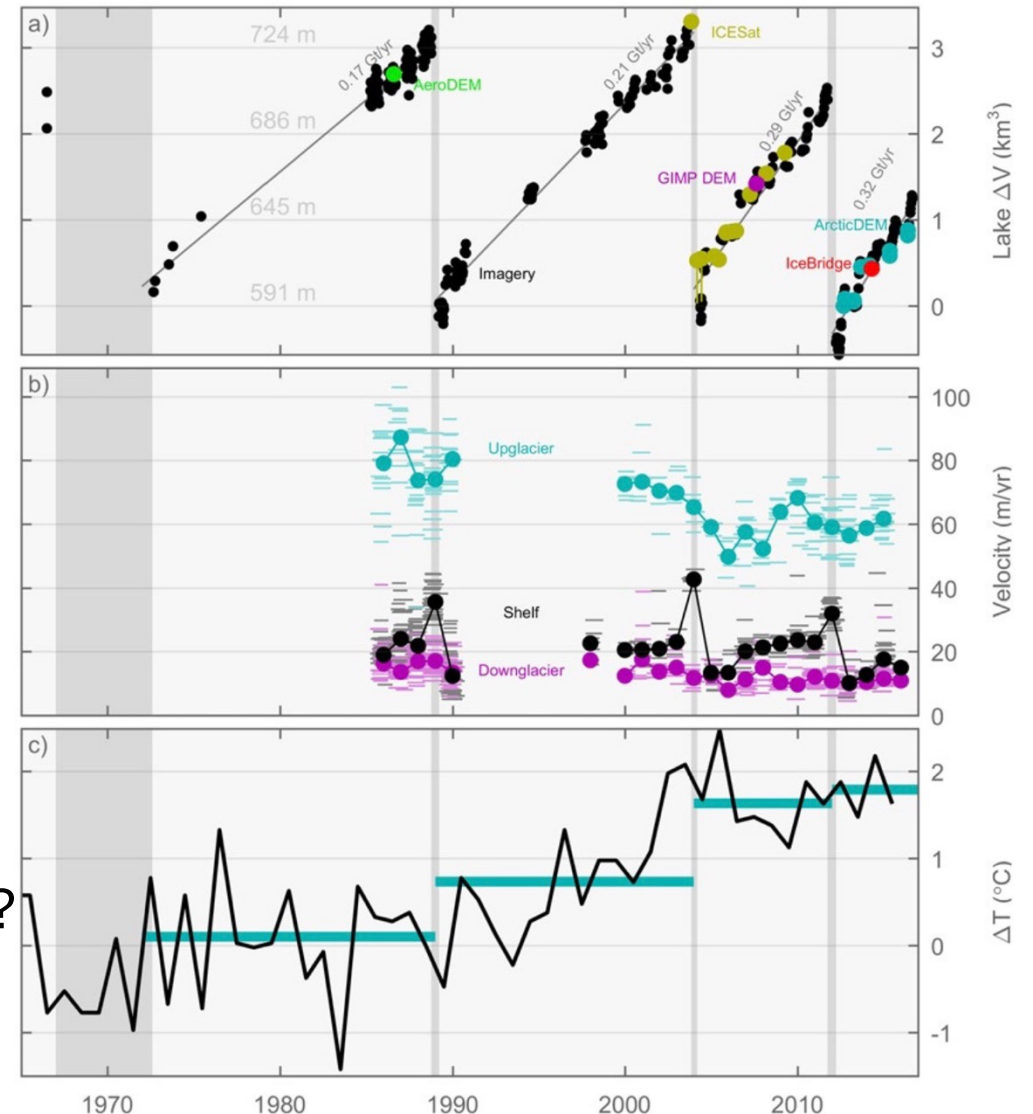
氷河湖決壊洪水の特徴的な変動傾向：「鋸歯状」の変動

グリーンランドでの事例

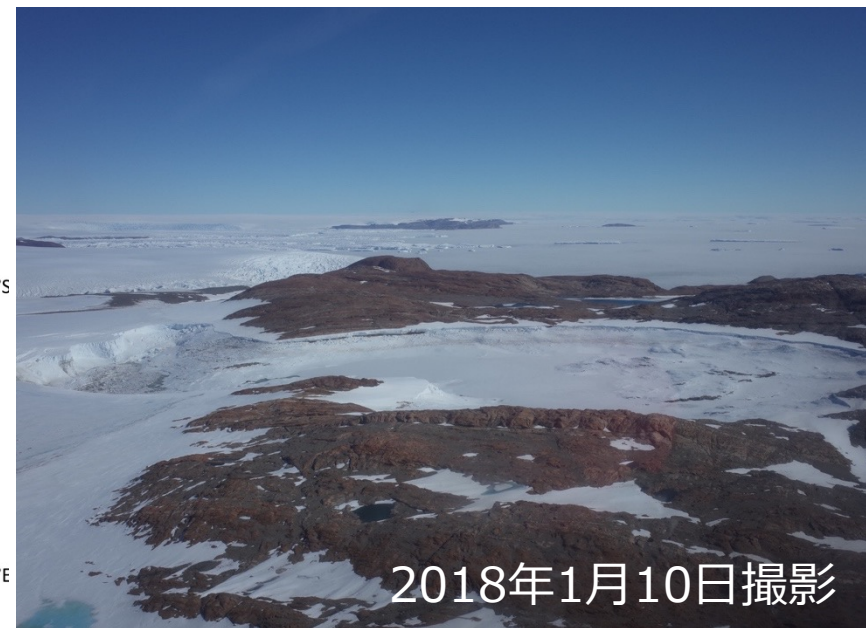
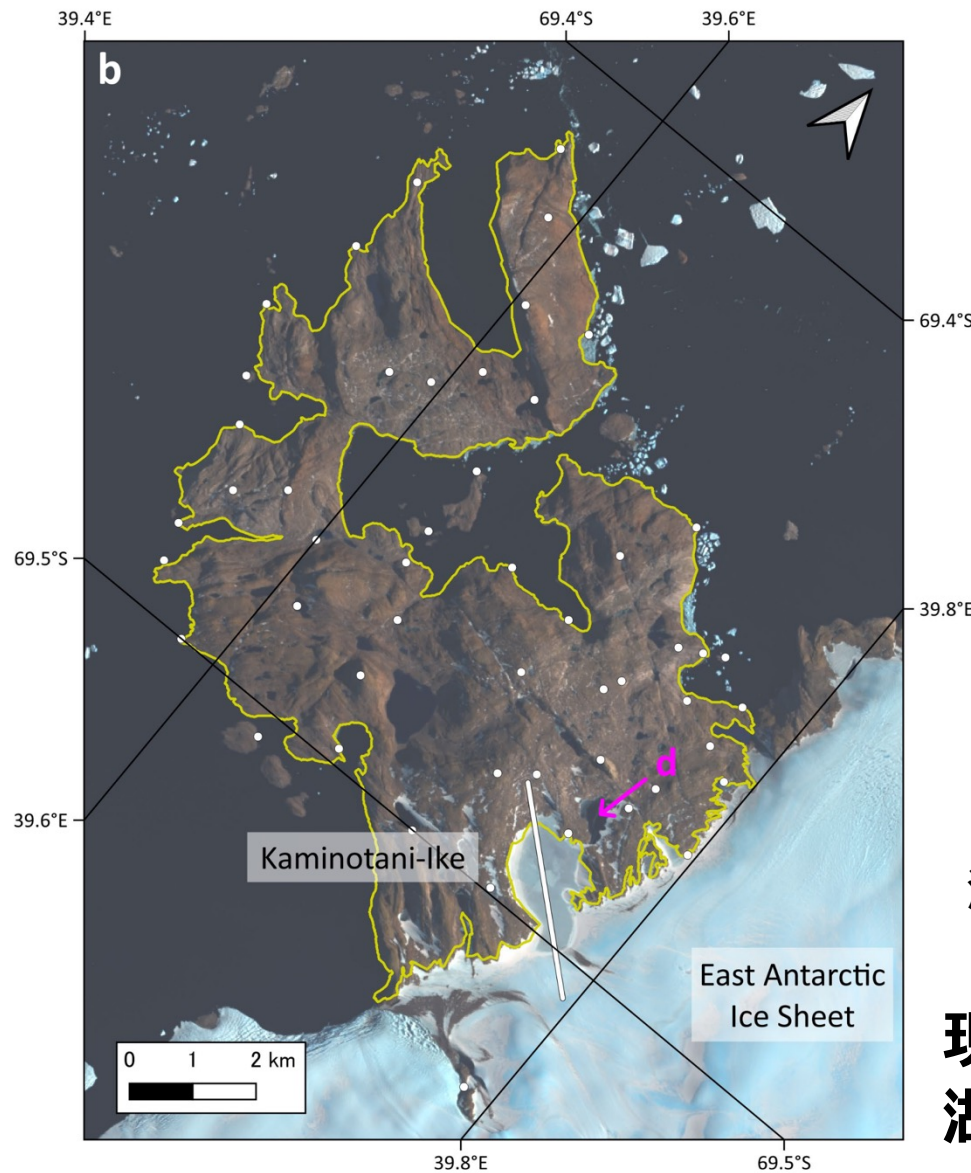
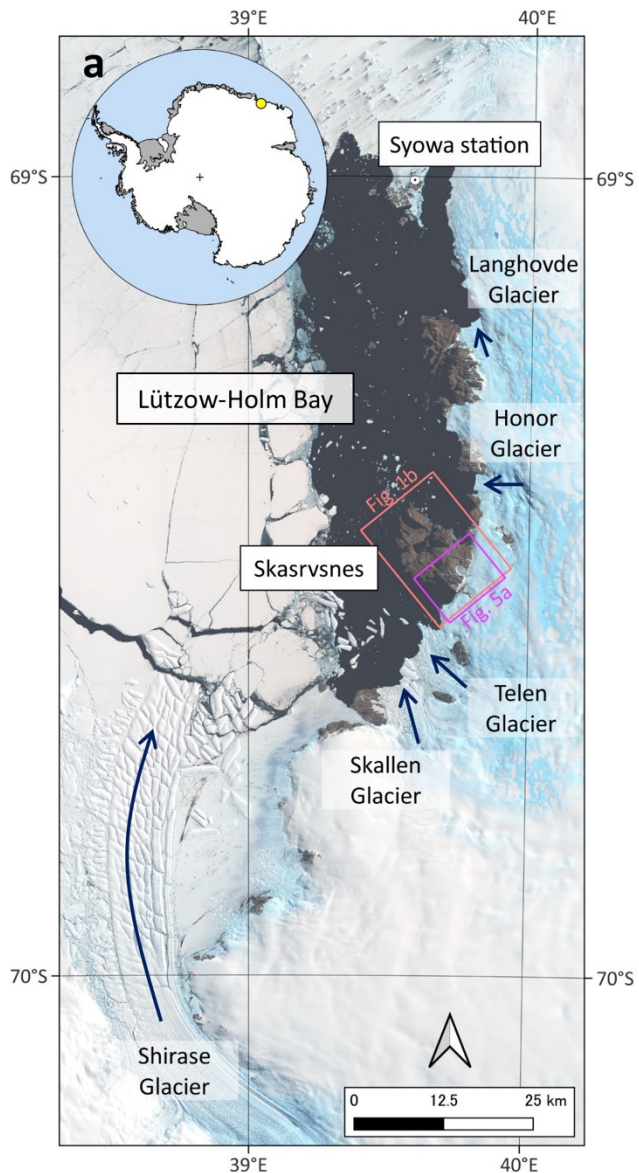
振幅と周期ともに小さくなる傾向にある

温暖化による融解水の増加・アイスダムの脆弱化に起因？

南極においても氷床縁湖を含めた氷床縁辺の監視が重要



対象地域：リュツオ・ホルム湾沿岸域

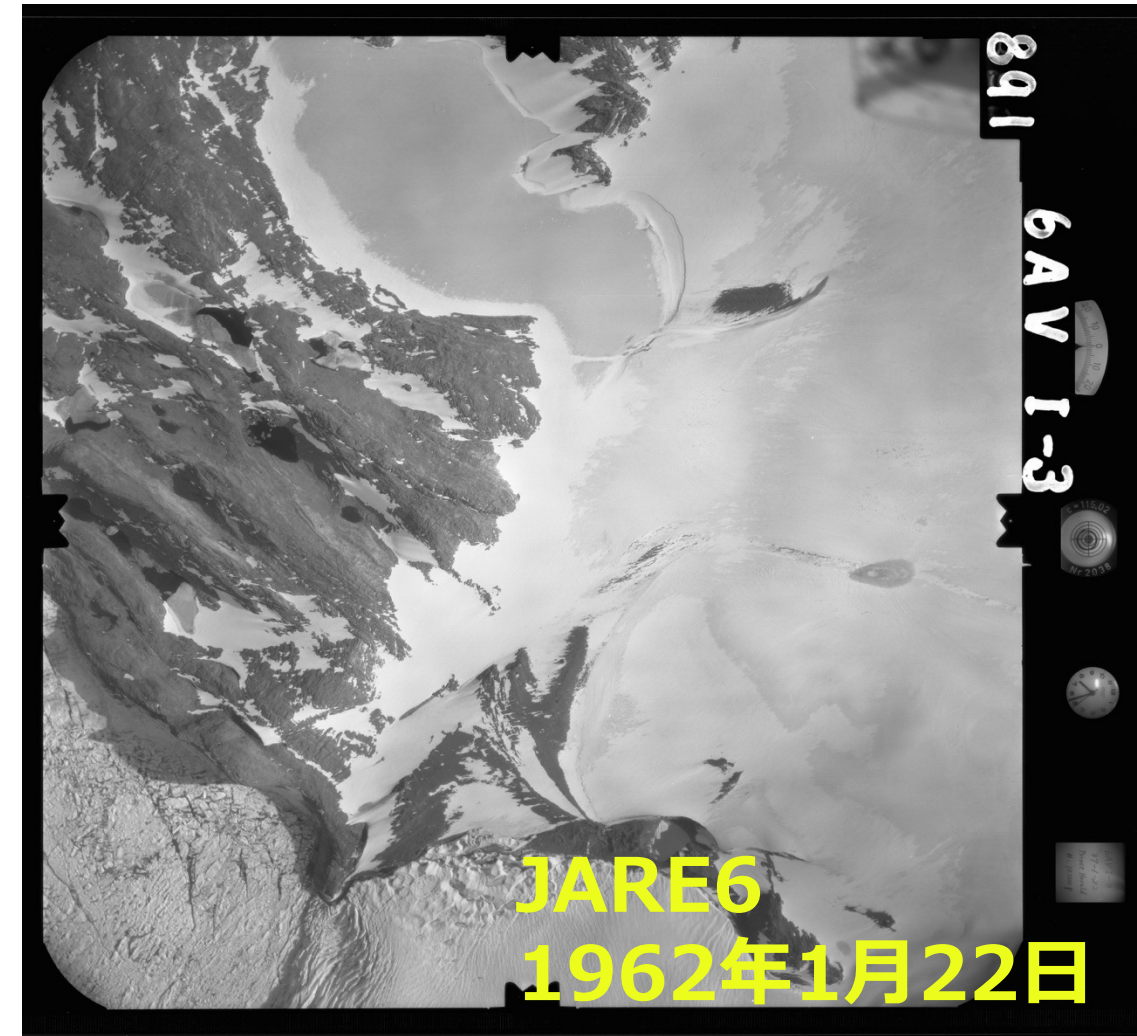


スカルブスネス：神の谷池

「衛星写真ではフラットのように見えた湖氷表面には大きな起伏が存在し〜」
(菅沼ほか, 2018, 南極資料)

**現地調査の際に、
湖表面の変動が報告されている**

手法：リモセン手法1/5：アーカイブ空中写真+SfM

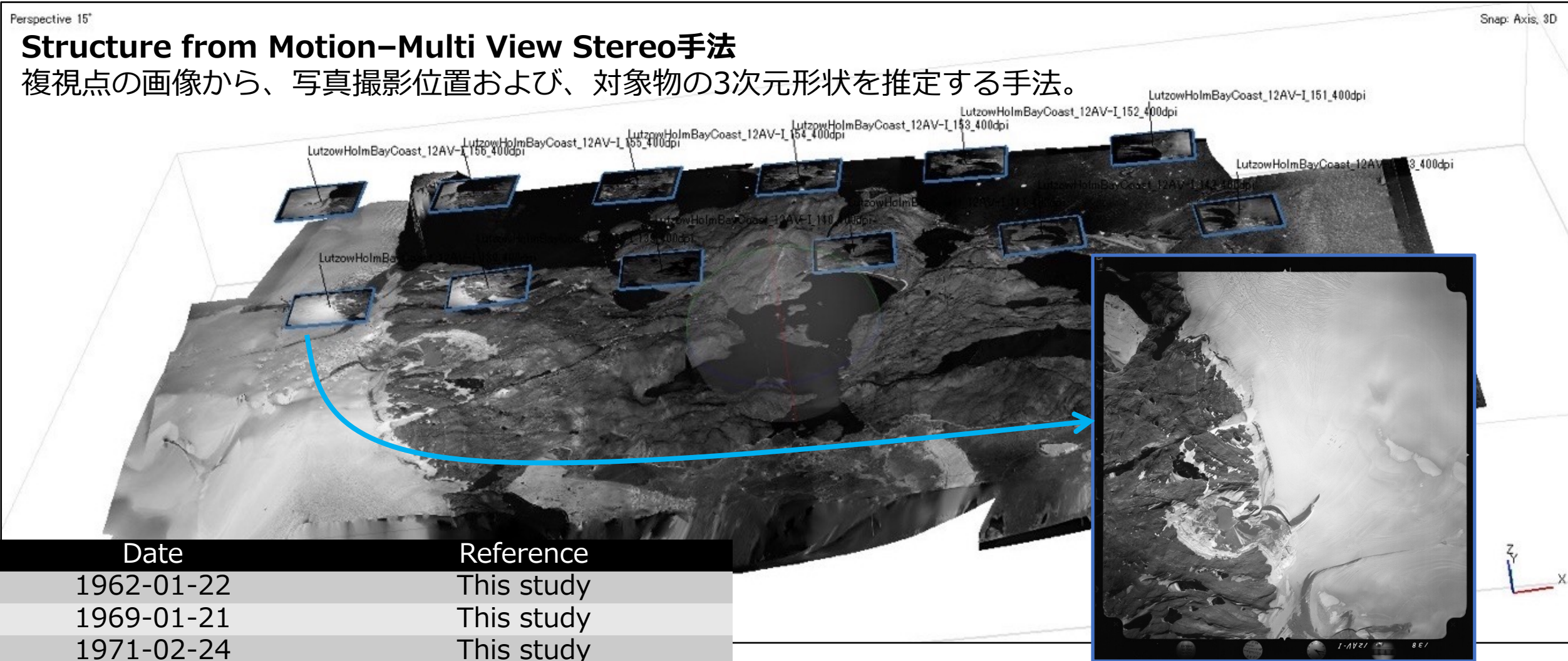


南極観測の始まった1950年代から、南極観測隊の活動の一部として国土地理院により断続的に空中写真が撮影されている（南極の地理空間情報：<https://www.gsi.go.jp/antarctic/06.html>）。

手法：リモセン手法1/5：アーカイブ空中写真+SfM

Structure from Motion-Multi View Stereo手法

複視点の画像から、写真撮影位置および、対象物の3次元形状を推定する手法。



Date	Reference
1962-01-22	This study
1969-01-21	This study
1971-02-24	This study
1992-01-20	This study
1993-01-12/17	川又ほか (2021) 地理学評論
2000-01-19	This study

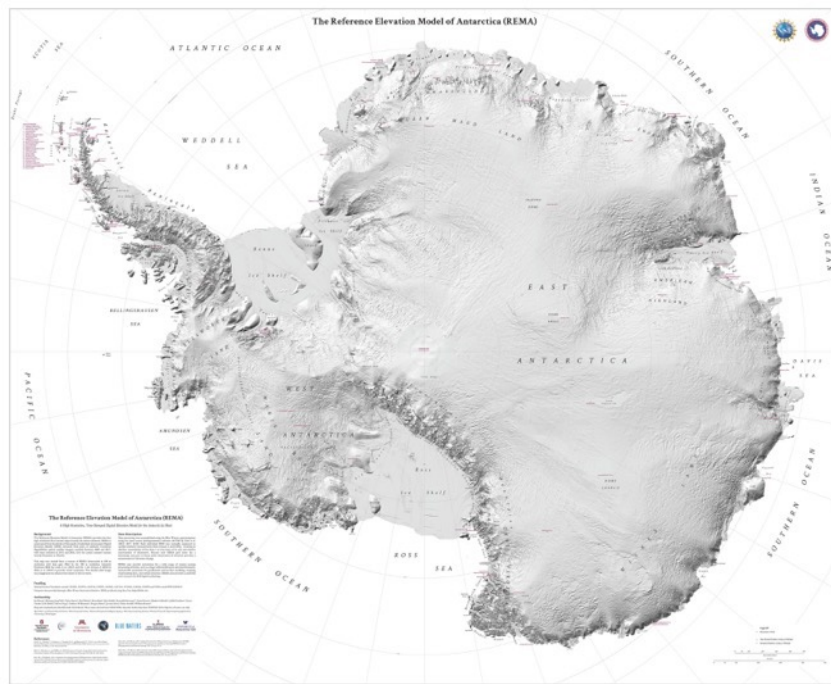
アーカイブ空中写真+SfM-MVSにより、
撮影当時の数値地形モデル（DEM）を作成。

手法：リモセン手法2/5：数値地形図DEM：Digital Elevation Model

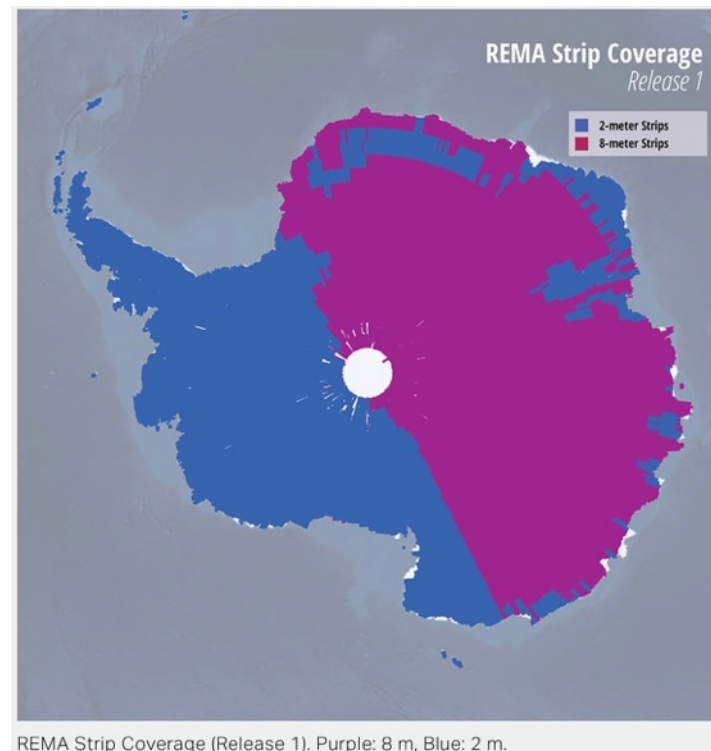
The Reference Elevation Model of Antarctica (REMA) のDEMが利用可能。

Howat et al., 2019, The Cryosphere. <https://doi.org/10.5194/tc-13-665-2019>

* 2009年～2017年のデータが存在（WorldView衛星のステレオペア画像より作成）。



<https://www.pgc.umn.edu/data/rema/>



REMA Strip Coverage (Release 1). Purple: 8 m, Blue: 2 m.

Howat et al., 2019, The Cryosphere.

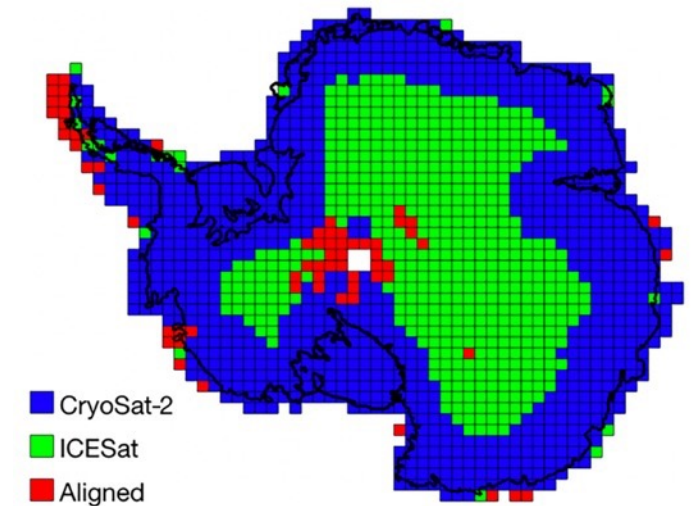
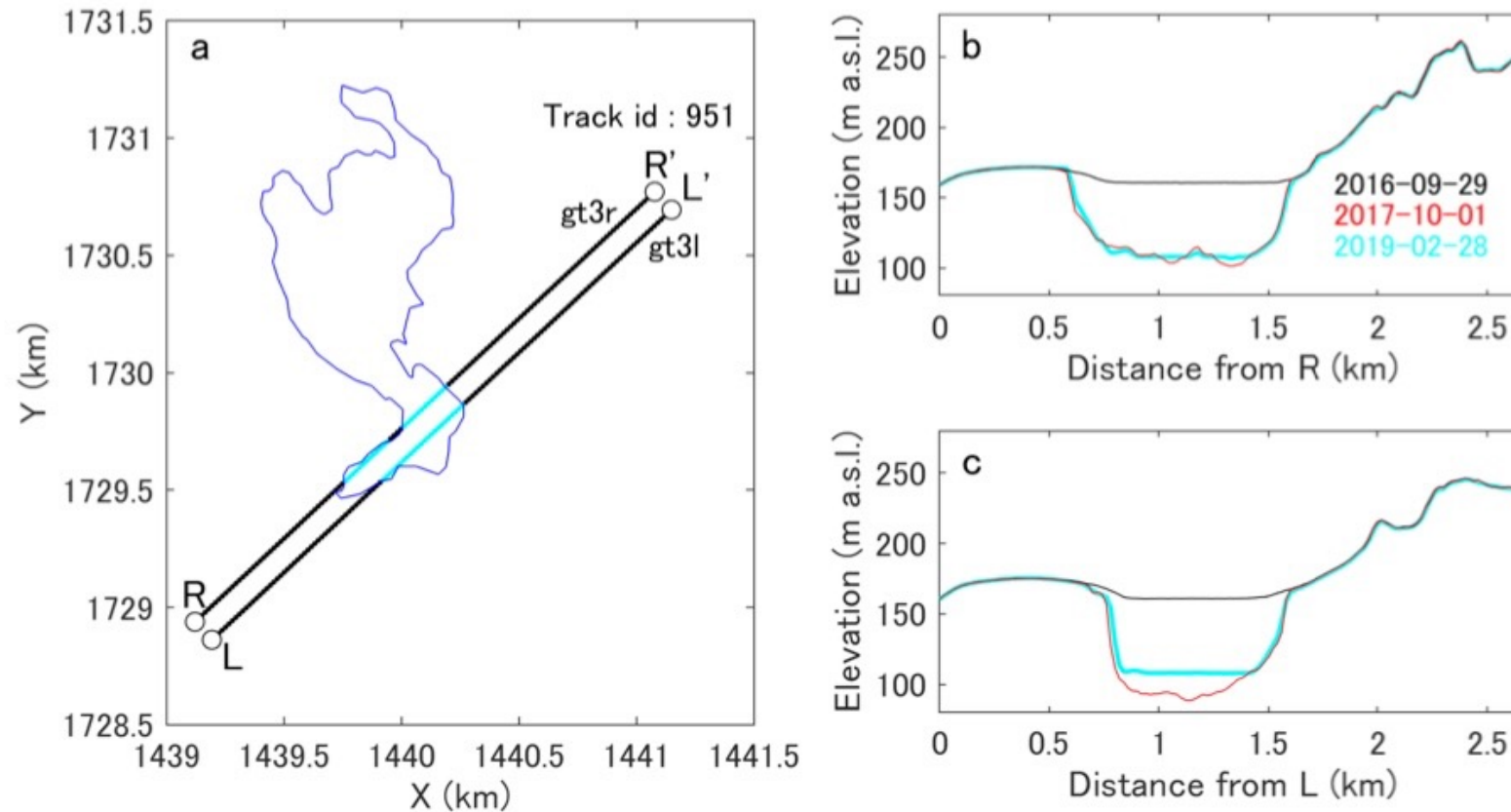


Figure 3. Map of the registration data source for each 100 km by 100 km REMA tile.

手法：リモセン手法3/5：レーザー高度計

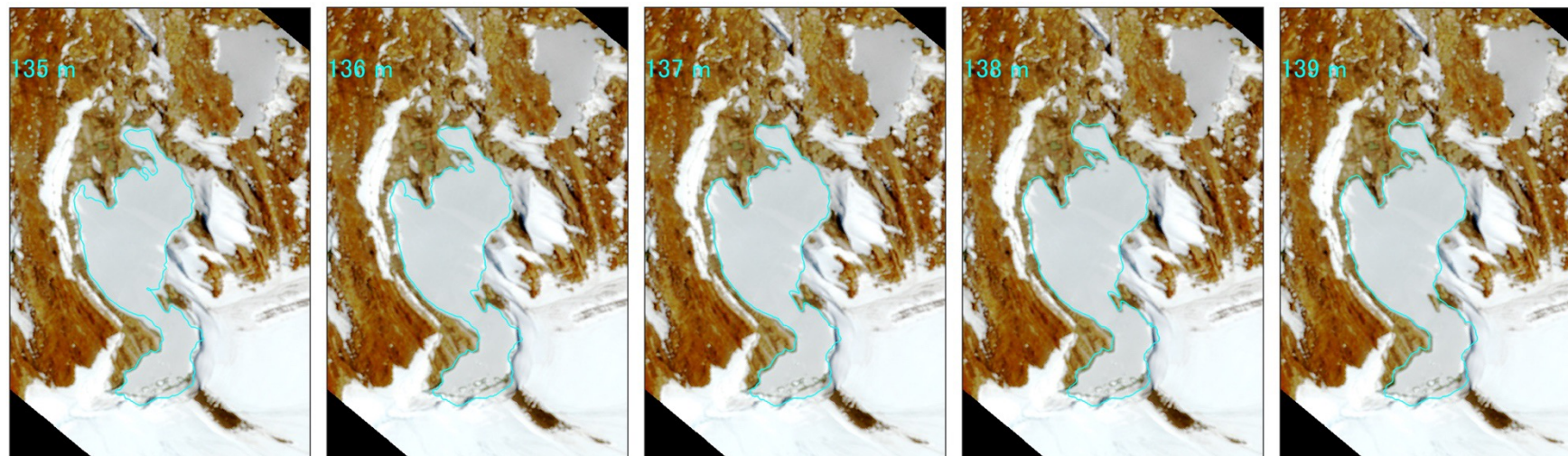
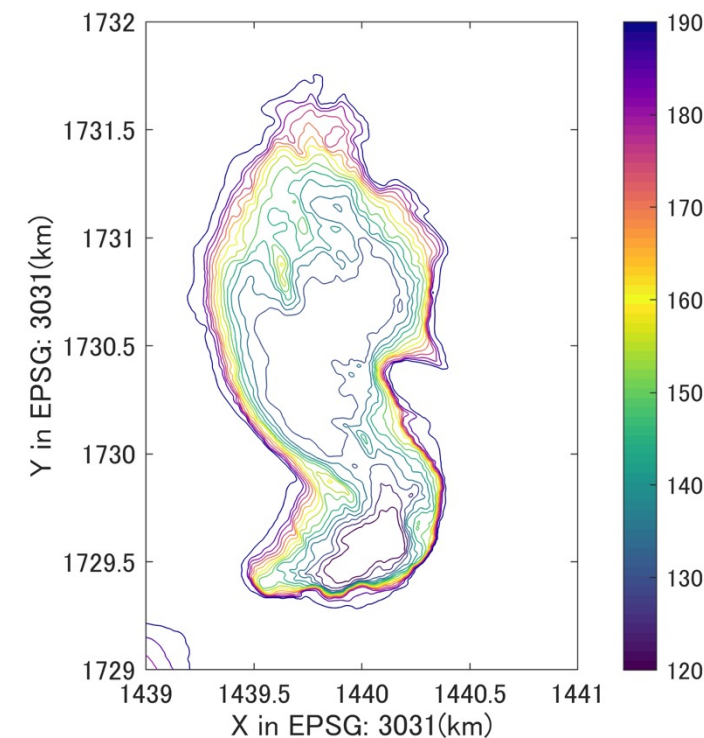


Supplementary Figure 7. Surface elevation from ICESat-2 data.

a) The locations of LKI and ICESat-2 tracks on 2019-02-28. Blue line indicates outline of LKI on 4 January 2021. b, c) surface elevation along profiles of RR' and LL'. Location of the profiles are shown in (a).

手法：リモセン手法4/5：衛星可視画像からの表面高度判読

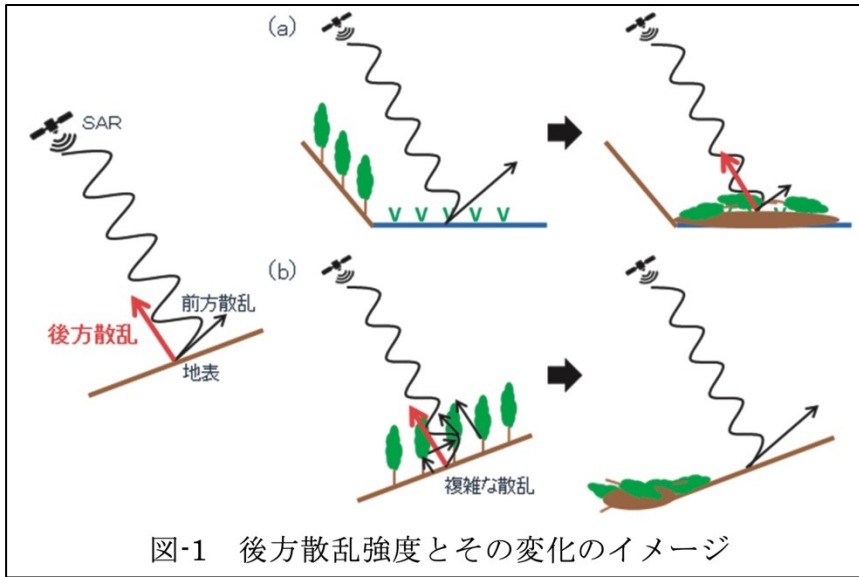
排水直後のDEMから作成した等高線図をもとに、その等高線に最も良く重なる湖岸線を判読し、画像取得時の湖水面の高さ情報を取得。



Best-fit contour line was determined by try and error

排水後DEMから作成した等高線図

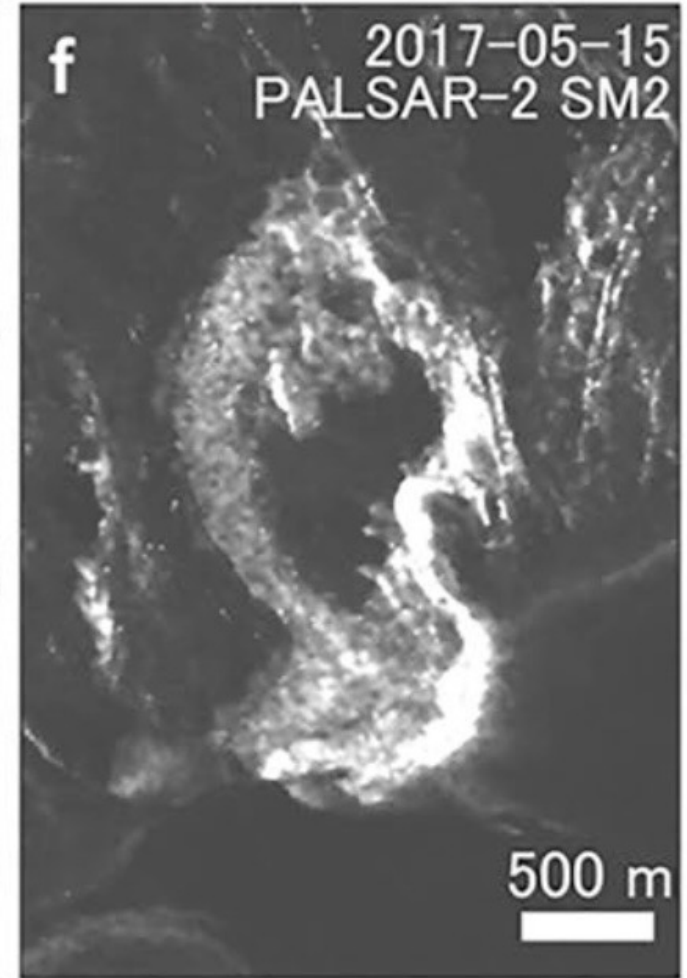
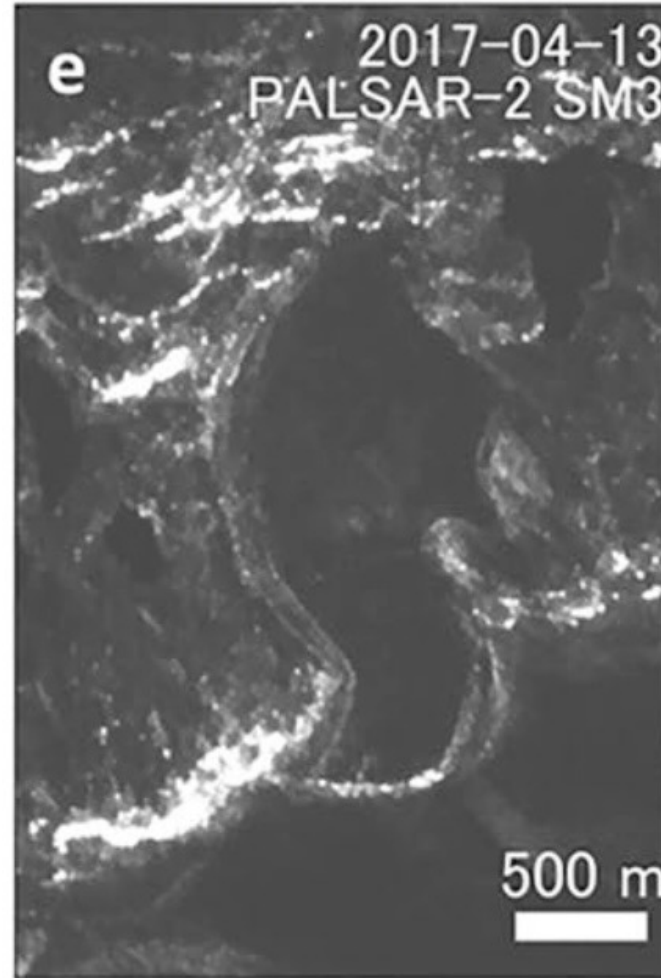
手法：リモセン手法5/5：SAR後方散乱強度画像



鈴木ほか（2019）土木技術資料

後方散乱強度：
マイクロ波照射側への散乱の大きさ

一般的に、水域等の滑らかな面に対しては後方散乱強度が小さく、粗い表面に対しては後方散乱強度が大きくなる特性がある。

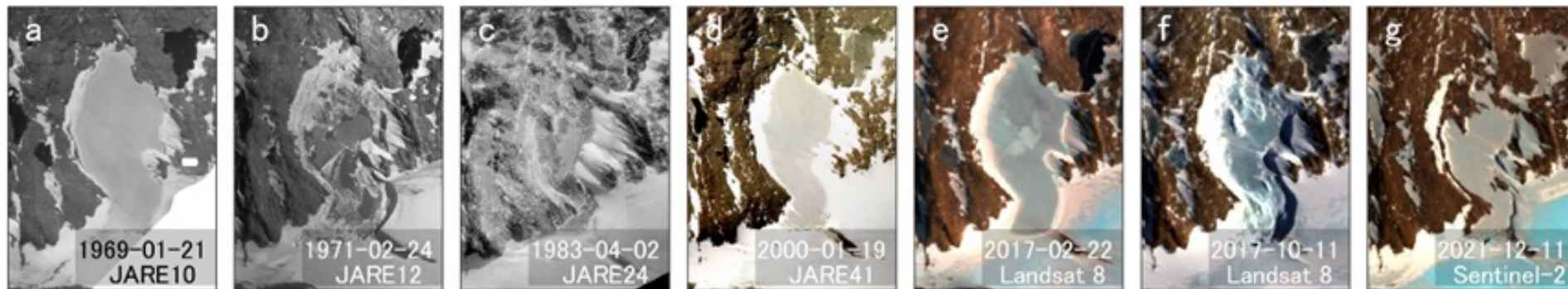


- 排水時期の絞り込みのために使用。
- 2017年4月13日～5月15日にかけて湖表面の後方散乱強度の変化を確認（南極における冬）。

結果

空中写真

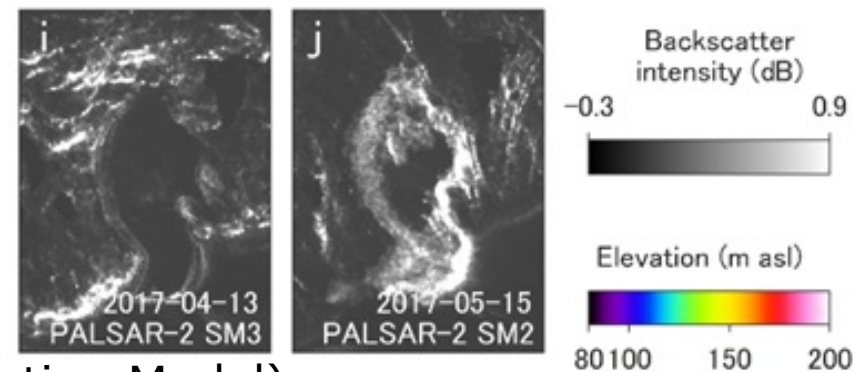
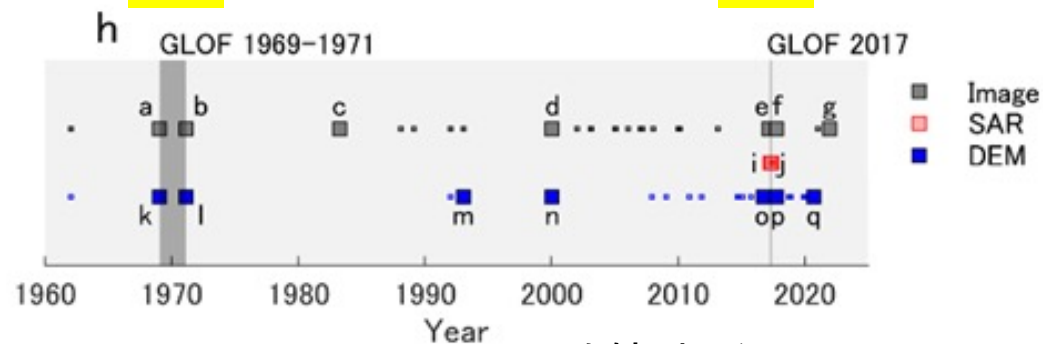
衛星画像



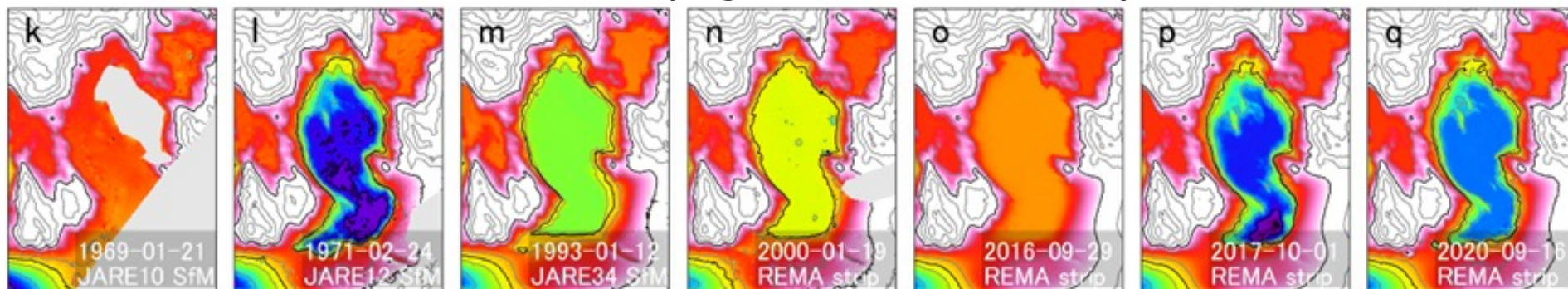
排水

排水

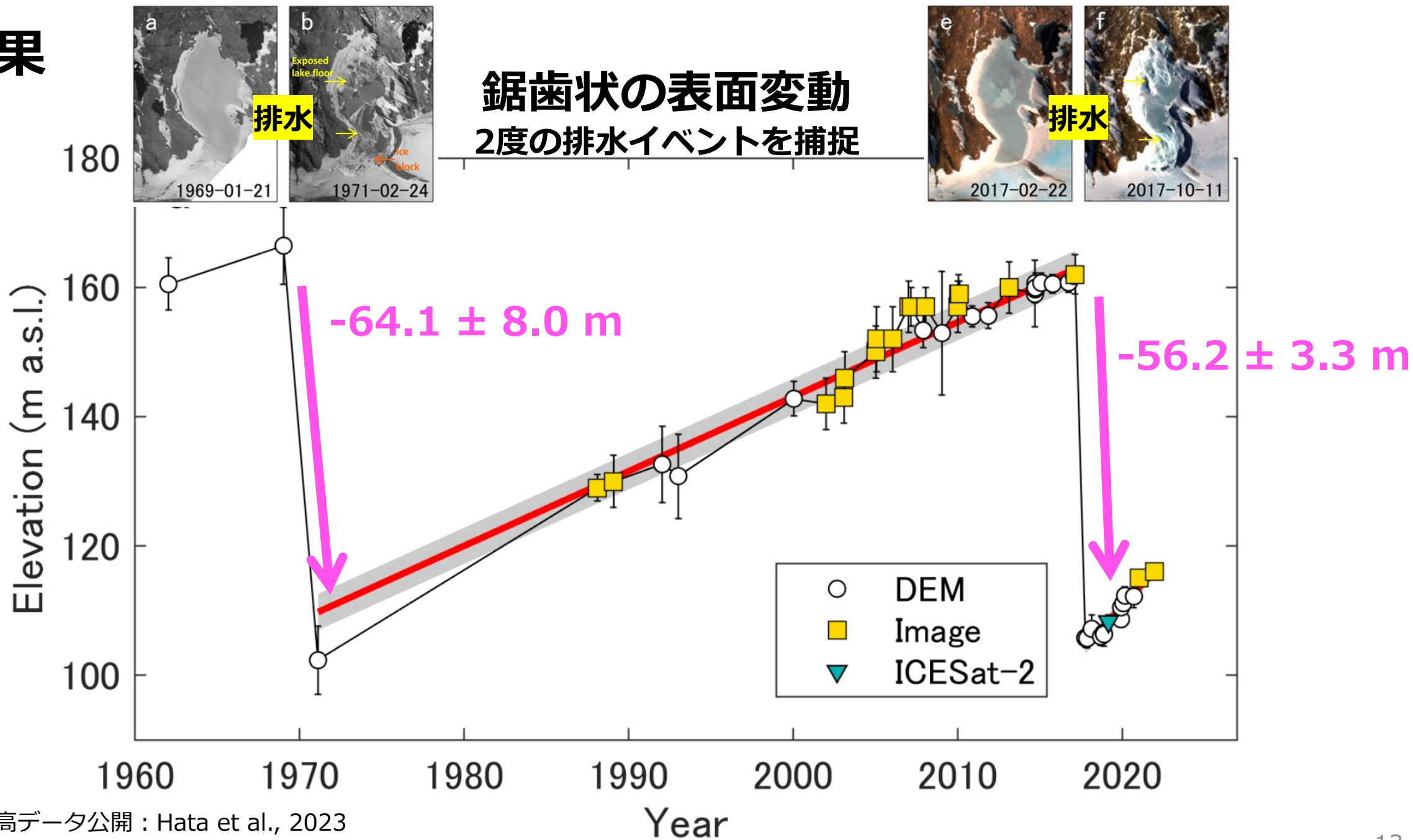
SAR後方散乱強度画像



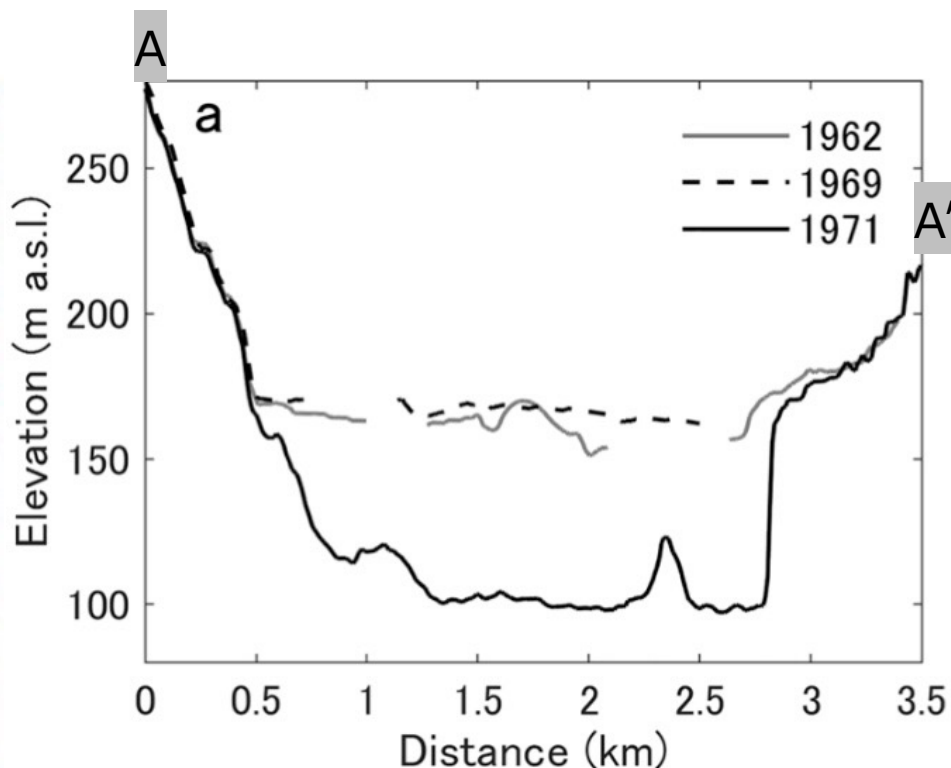
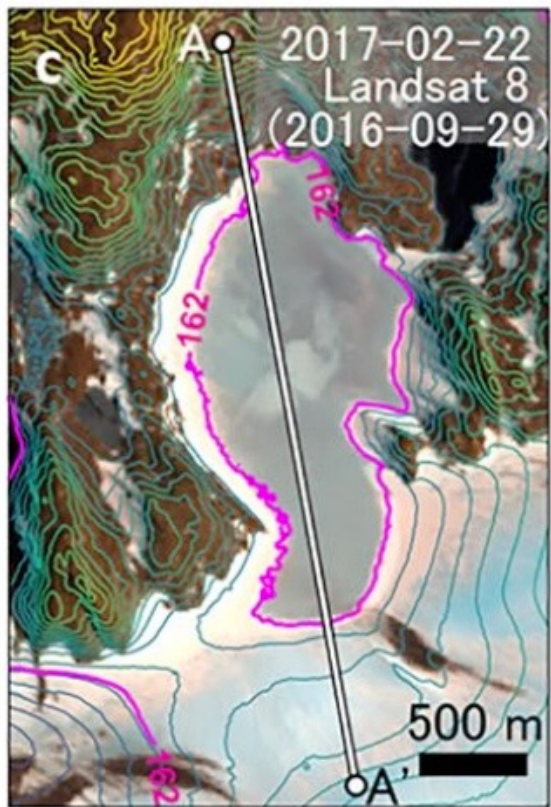
数值地形図(Digital Elevation Model)



結果

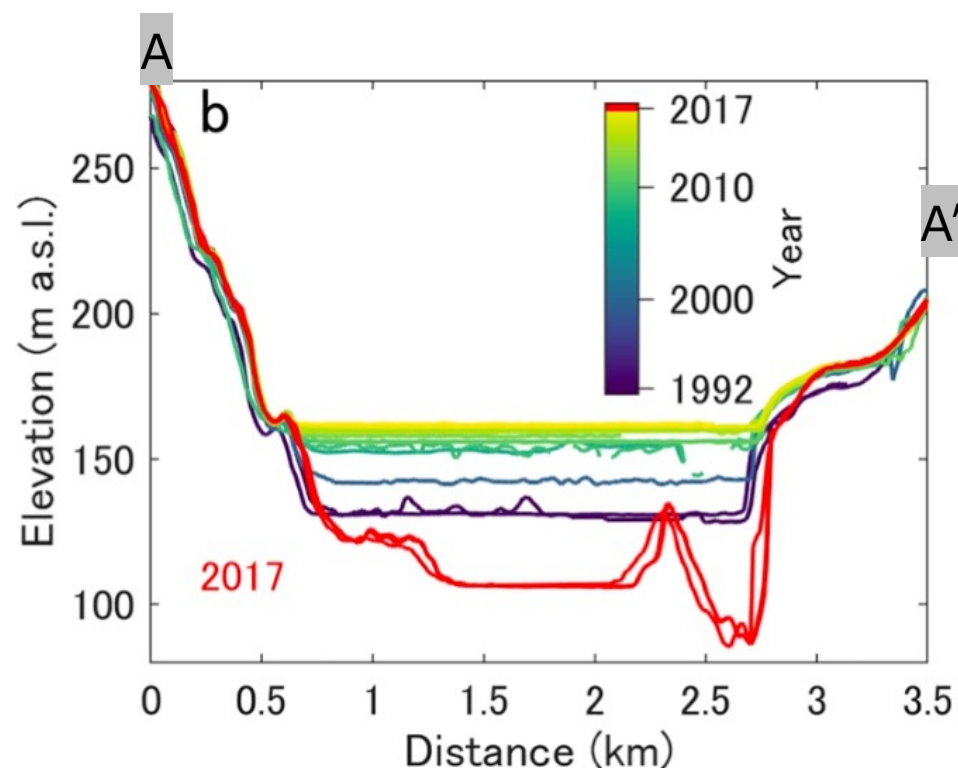


議論：氷河湖決壊洪水の規模



GLOF in 1969-1971

- $(8.2 \pm 1.3) \times 10^7 \text{ m}^3$



GLOF in 2017

- $(7.2 \pm 0.6) \times 10^7 \text{ m}^3$

約7,000万立方メートル：東京ドーム約60杯分

南極Untersee湖で報告されている排水イベント ($-1.75 \times 10^7 \text{ m}^3$) の約4倍の量の排水規模 (Faucher et al., 2021)

南極で観測された氷床縁湖からの排水イベントとしては最大規模であることが明らかとなった。

議論：氷河湖排水メカニズム：経路

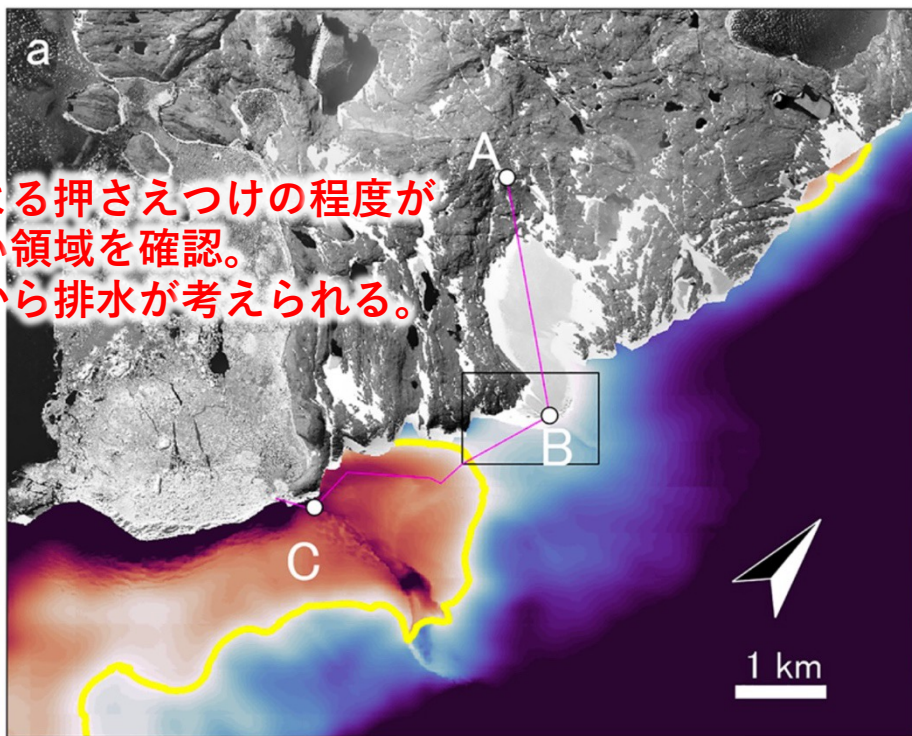
氷の厚さ（氷床の表面と底面の高さから算出）と
密度（氷・水）からグリッドごとに力の釣り合いを計算

$$\Delta z = h_f - h_l = h_b + \frac{\rho_i}{\rho_w} (h_s - h_b) - h_l$$



flotation threshold

Lake surface elevation



- ✓ 氷による押さえつけの程度が小さい領域を確認。
- ✓ 南側から排水が考えられる。

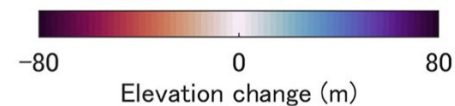
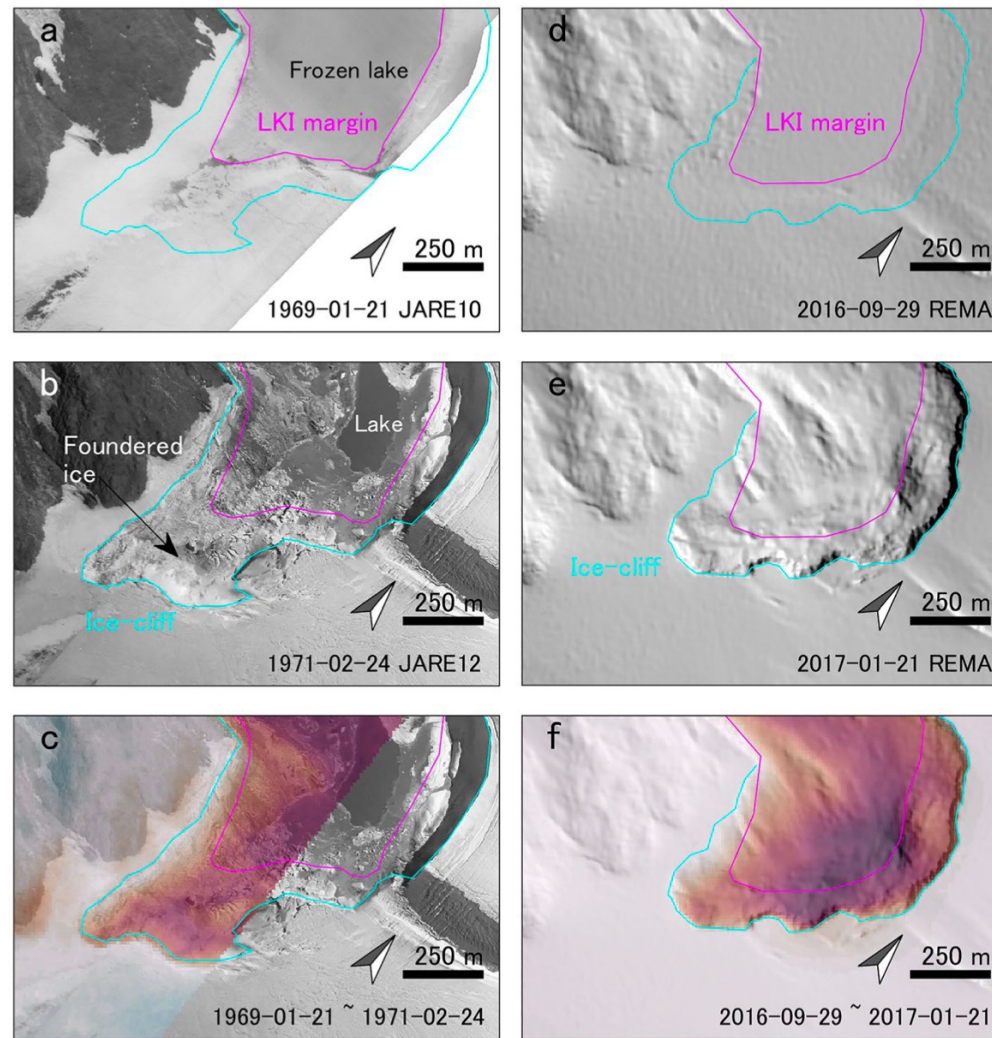
浮く

-100 -50 0 50 100

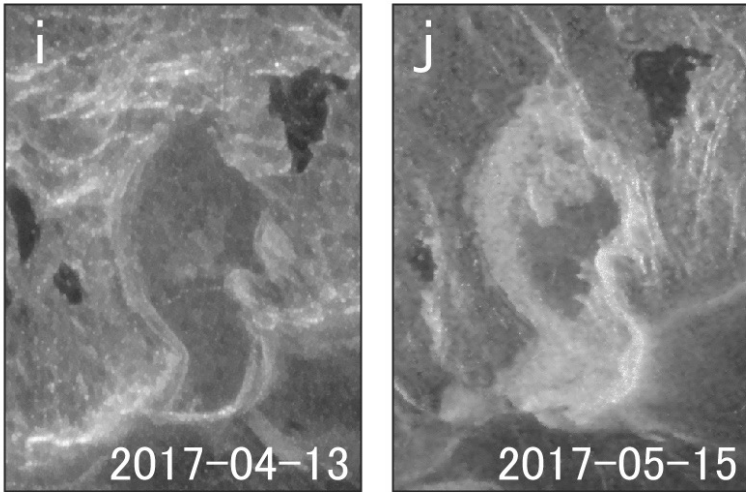
ΔZ (m)

浮かない

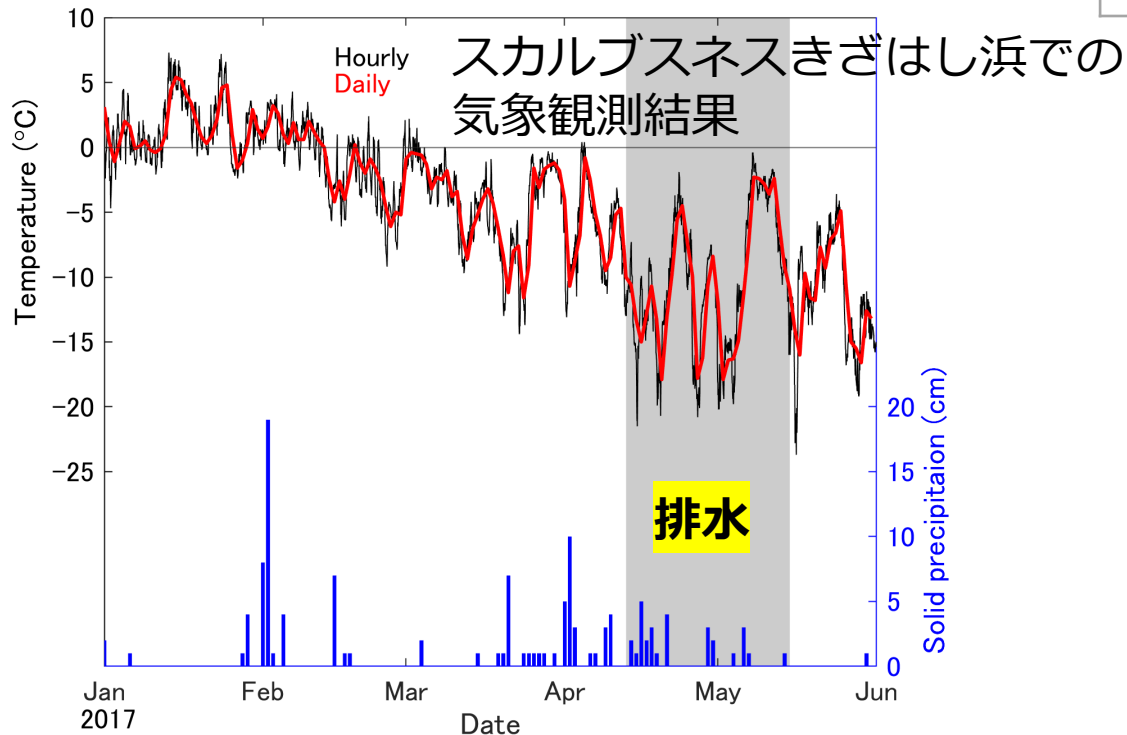
排水前の湖水位で排水しうる経路を議論



議論：氷河湖排水メカニズム：季節



Rain	Not observed
Abrupt melt of snow/ice	Temperature was below 0°C
Thinning of ice dam	Not observed from DEMs
Water transport from upper subglacial lake	No subglacial lake was observed
Year-round active subglacial hydrology	???



**2017年のGLOFは冬季に発生した。
(2017年4月13日～5月15日)**

**活発な氷床下の水の流れが存在しない限り、
神の谷池における冬の寒冷な状況下での排水
を説明できない。**

→ **氷床下の活発な水文環境を示唆。**

共同研究成果のまとめ

多様なリモセンデータを用いたデータ駆動型の研究 (Hata et al., 2023, Scientific Reports)

- 様々なリモートセンシングデータを使用することで、南極の氷床縁湖では初となる2度の氷河湖決壊イベントを確認した。
- 神の谷池の決壊イベントは南極地域の氷河湖決壊としては最大の排水量を伴う決壊イベントであった。
- 冬季の氷河湖決壊の発生は、氷床底面からの継続的な(あるいは持続的な)水の供給を示している可能性があり、この地域の氷床底面における活発な水文環境の存在を示唆する。

今後の研究の展望

- 神の谷池で見られた 2 度の決壊イベント間隔は、他地域で見られる氷河湖決壊の間隔よりも長く、詳細の理解のためには長期的な観測が必要と考えられる。
- 神の谷池における今後の決壊洪水の有無や周期性、決壊メカニズムについて詳しく理解するために、南極における氷床縁湖のマッピングや現地観測による詳細な氷床底面 (基盤地形) の測量等さらなる調査が求められる。→研究代表者：波多助教がJARE65にて現地観測を実施。
- 地震・インフラサウンド観測データ等、南極域における他の観測データとの比較・解析することで新たな研究の発展の可能性がある。

謝辞：本共同研究資金は、論文の出版費用、大容量記憶媒体の購入や共同研究者間の打ち合わせ旅費等に使用しました。また本研究はJAREによる観測データの蓄積及びそれらのデータ公開があったからこそその研究成果です。この場をお借りして関係各位に感謝申し上げます。