

極域ペネトレータで取得した インフラサウンド・地震データの 解析・共有・公開に関する研究



西川泰弘
高知工科大学

2025 3/18 DS-ROIS研究報告会

2025/03/18 DS-ROIS研究報告会 0

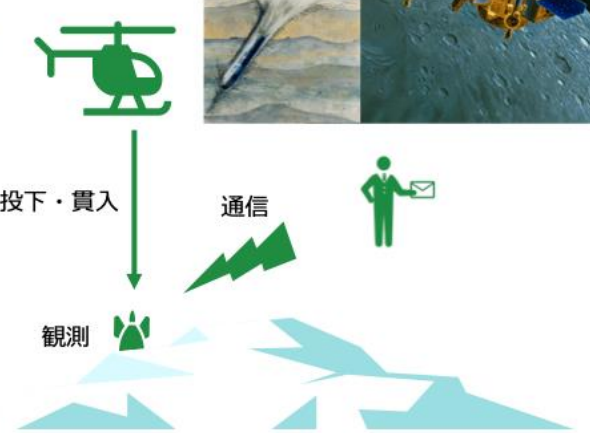
ペネトレータとは

鉛筆型の投下貫入装置

無人機や衛星から投下し、固体表面を貫通して本体を地面に固定する

人が行くには危険であったり、費用がかかる場所に観測機を設置できる

簡易的な観測ネットワークを構築できる
新たな観測機器であり、かつ観測機器の設置手法でもある。



Tanaka et al., 2011, Lorentz, 2011

2025/03/18 DS-ROIS研究報告会 1

南極ペネトレータチーム

南極観測用ペネトレータの開発と白瀬氷河および周辺域での集中観測（AH1002）、代表者：田中智

開発
ペネトレータ本体、周辺機器、観測機器

共有・公開
屋内、野外、日本、南極
地震、インフラサウンド、測地、他

観測
イベント数取得
周波数、震源解析

解析
チーム内共有・開発へのフィードバック
論文・学会発表、研究集会
アーカイブ化

高知工大、JAXA、立命館、東大、北大、PEDSC、PNT Co., Ltd

2025/03/18 DS-ROIS研究報告会 2

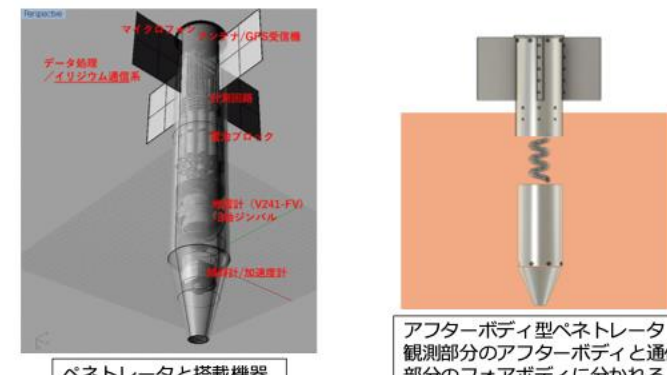
南極ペネトレータチーム

本体開発 -3TION

貫入 Penetration

設計思想
直径 10 cm, 長さ 63 cm,
対地速度 50 m/s
最大重量 10 kg

地面に貫入して固定できる



ペネトレータと搭載機器

	構造体	電池	地震計	ジンバル	搭載電子回路
長さ[mm]	630	165	50	150	110
最大直径[mm]	100	92.5	50	90	90
重量[g]	3500	1400	340	1000	700

2025/03/18 DS-ROIS研究報告会 3

南極ペネトレータチーム

本体開発 -3TION

観測 Observation

設計思想
 Infra/Seismic ペネトレータ
 地震計・インフラサウンドセンサー

測地ペネトレータ
 GNSS、温度計、加速度計、気圧計

これらの観測機器が、貫入の衝撃や南極の低温に耐え、2ヶ月間データを送ってくる



	構造体	電池	地震計	ジンバル	搭載電子回路
長さ[mm]	630	165	50	150	110
最大直径[mm]	100	92.5	50	90	90
重量[g]	3500	1400	340	1000	700

2025/03/18

DS-ROIS研究報告会

4

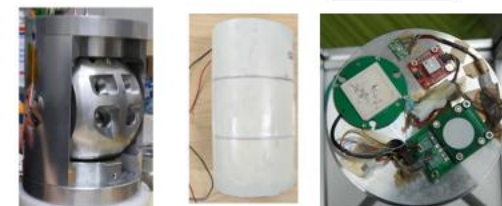
南極ペネトレータチーム

本体開発 -3TION

通信 Communication

設計思想
 イリジウム通信によるデータの送信
 コマンド変更の受信

貫入条件、気温などにより通信成功率が大きく変動し、最も電力を必要とする部分



ペネトレータ搭載概要
 観測機器、電源、オンボードコンピューター、通信機を搭載することで、無人で観測とデータの送受信を行う

2025/03/18

DS-ROIS研究報告会

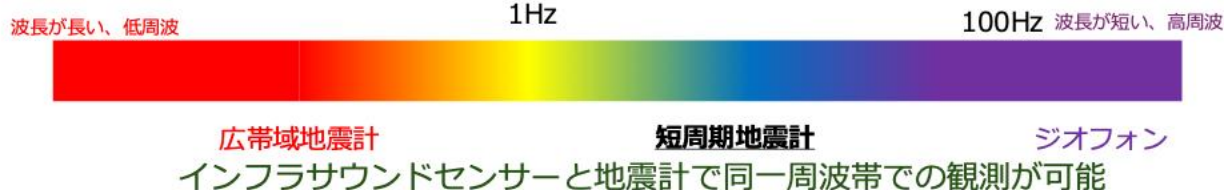
5

Infra/Seismic Observation

空気振動の周波数



地震計の特性周波数



2025/03/18

DS-ROIS研究報告会

6

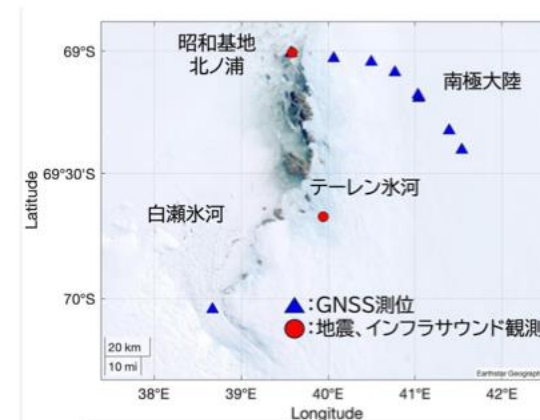
南極ペネトレータチーム

観測

2022,23,24年度の夏の南極で各種試験・観測を行った



南極大陸S16でのペネトレータ投下試験



昭和基地周辺の観測を行った地点

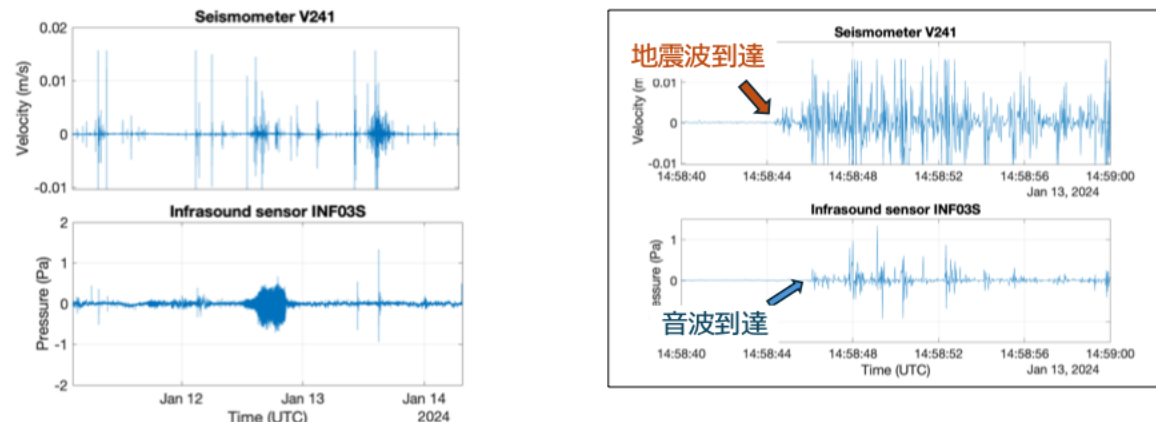
2025/03/18

DS-ROIS研究報告会

7

南極ペネトレータによる観測データ

地震・インフラサウンドの同時観測



地震とインフラサウンドが観測周波帯を共有しているため、同一起源の現象を観測しやすい

→ 相対時刻精度が高く、到達波の正確な時刻差がわかる

震源までの距離と規模が見積もれる

2025/03/18

DS-ROIS研究報告会

8

南極ペネトレータによる観測データ

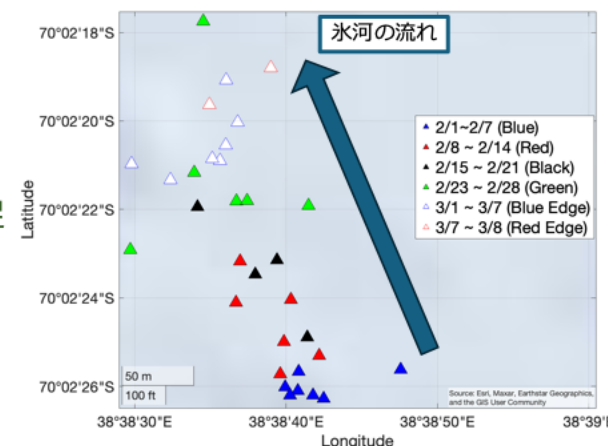
白瀬氷河のGNSS測位

白瀬氷河に設置した測位ペネトレータ3基のうち、下流の1基のみ健在

1日1回観測

位置、3軸加速度、気圧、温度、捕捉衛星数、時刻などを記録

2/1~2/7は1日1回、
2/8~ は三日に1回イリジウム通信でデータを送受信



白瀬氷河に投下した測地ペネトレータの時系列位置情報

2025/03/18

DS-ROIS研究報告会

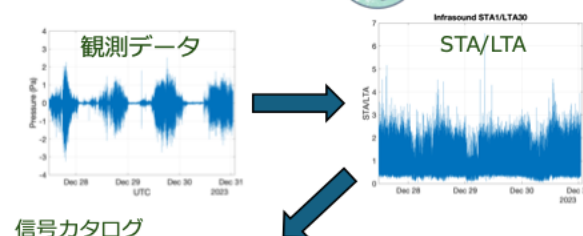
9

南極ペネトレータチーム



解析

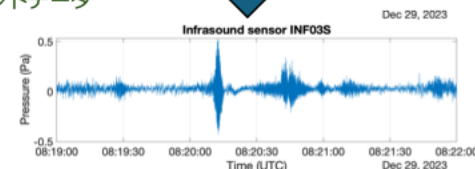
地震・インフラサウンドデータは通信量、電力の問題から全てを送信するのは不可能



信号カタログ

20	2024/01/11 7:51	2.32	3.80407E-05	1.06037E-05	18.67391219	19
21	2024/01/11 7:46	2.24	3.13683E-05	5.84876E-06	18.62431417	20
22	2024/01/13 17:01	3.26	4.71885E-05	1.11544E-05	18.42752044	21
23	2024/01/12 19:15	2.6	2.18212E-05	1.22065E-05	18.25815711	22
24	2024/01/13 15:27	2.64	2.93755E-05	1.09156E-05	18.22534324	23

イベントデータ



信号の検出, STA/LTA法

信号を代表するSTA(Short Term Average)とノイズを代表するLTA(Long Term Average)を比較し信号を検出する。

送信するデータを自動検出することで通信問題を解決する

2025/03/18

DS-ROIS研究報告会

10

南極ペネトレータチーム



共有・公開

学会発表など

日本地球惑星連合大会: 3件
惑星圏シンポジウム: 4件
Polar Science Symposium: 6件
European Association of Geoscientists & Engineering: 1件

研究集会

極域ペネトレータ(投下型センサー)で取得したインフラサウンド・地震データの解析・共有・公開に関する共同研究集会
2024/09/26,27 @DS共同利用基盤施設
口頭発表数 16件

論文

投稿論文

西川他 (2022),
「第64次南極地域観測隊におけるペネトレータ観測報告」、南極資料
田中他 (2023),
「南極ペネトレータの開発」, 月刊地球
Nishikawa et al., (2024), "Specification of INF01LE, INF03/INF04LE and observation results for infrasound sensors for detection of destructive geophysical events ", *Discovery Geosciences*.

学位論文

山本耕大・瀨島岳・谷口亮太 修士論文

2025/03/18

DS-ROIS研究報告会

11

南極ペネトレータチーム



共有・公開

- ・ JARE取得データはADSにメタデータを提出
- ・ Polaris にてisound のアカウントでアーカイブ化し、研究者に公開
- ・ 来年度以降のラングホブデ、昭和基地インフラサウンドセンサーが撤収されてからまとめて一般向けに公開予定
主導機関と作業費用は要相談

	地震 インフラサウンド (50 Hz)	測地
2022年度	4日間	50日間 466回
2023年度	10日間	
2024年度	TBD	4週間 28回

南極地域観測隊で取得したデータ

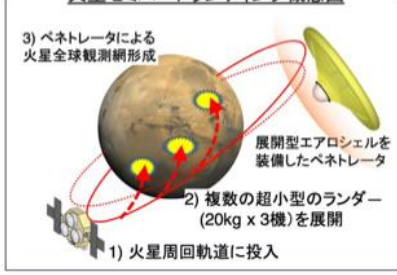
From Antarctica to Space

InSight (2018~2022)



4年間で1300以上の火震を観測、内部構造や火震の分布などを解明

Front-Loading STEP1 (2028~)



ペネトレータを用いた火星表面への観測機器の設置

Dragonfly (2028~)



JAXA/ISAS が地震計を提供する NASA のタイタン震観測計画

地球外の地震観測への期待が高まっており
データ取得だけでなくどのようなデータを取得したいかの段階に入っている

惑星・氷衛星地震観測の問題点と解決方法

技術的問題点
観測機器の設置場所の制限が厳しい
地震計を地面に固定しなければならない
広範囲に複数の観測点が欲しい
電力・通信・計算量が限られる

科学的問題点
地球の地震と異なるため観測計画を立てづらい
何を知るためにどこでどのような観測をするか？
水分の少ない凍った地面や氷震のメカニズムは？
どのような振動が期待され、どのような観測で何がわかるのか？

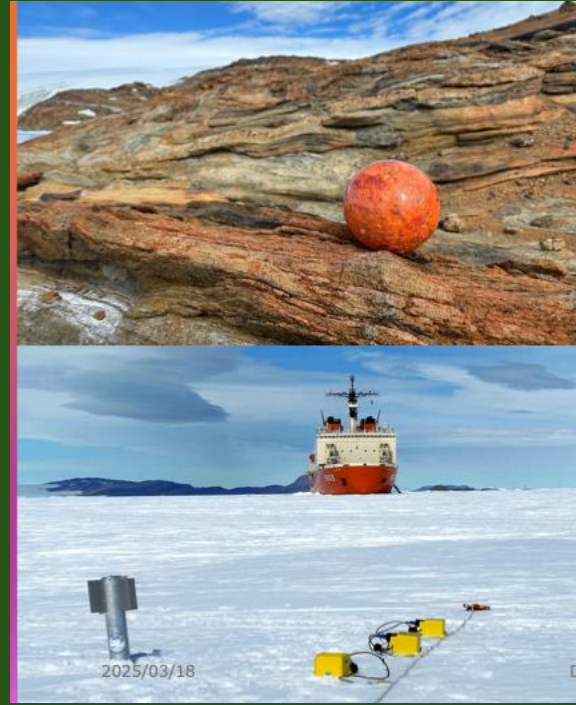


ペネトレータ
広範囲に安価で人間が到達困難な場所の地面に観測装置を固定できる

地球極域での氷震観測
水分が少ない凍った地面や氷の破壊によって励起される氷震を観測・解析し、観測計画を立てる



極域ペネトレータの試験や氷震観測・解析を通じて、将来の惑星・氷衛星の地震観測の計画デザインを行う



惑星・衛星アナログ環境としての南極氷震観測

惑星・衛星、特に火星や氷衛星と共通点が多い南極で氷震を観測・解析を行い、他天体での地震観測計画の立案に貢献する。

ペネトレータによる機器設置

南極で試験を行い、地震・インフラサウンド・測地などのデータの取得、コマンドの送受信に成功した。実用性の確認、搭載耐衝撃・耐寒試験、貫入データの取得など行う。