

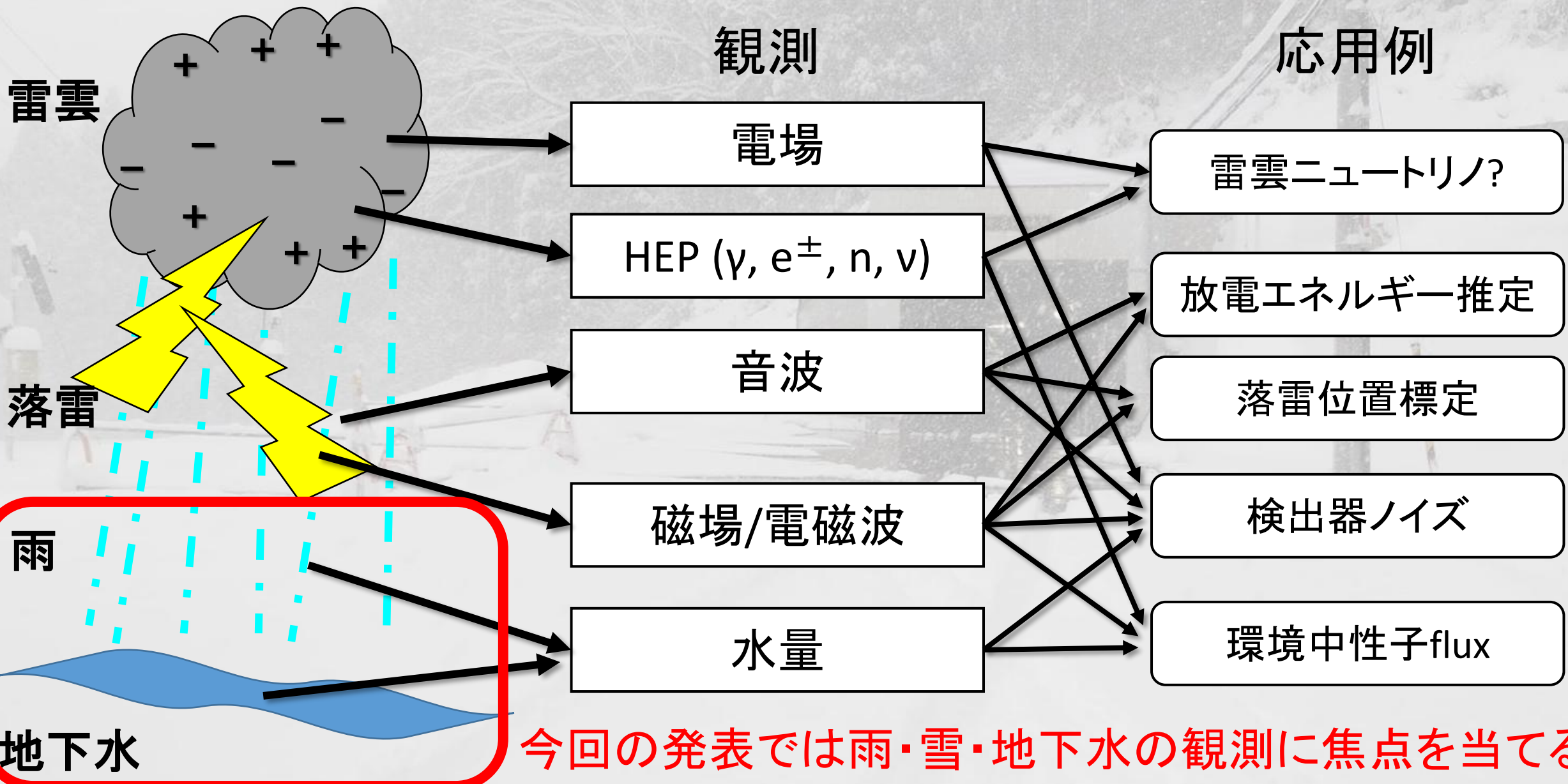
神岡における雨・雪・地下水の観測

国立天文台 鷲見貴生

on behalf of KAGRA collaboration

2024/2/7 新学術 地下宇宙「第9回極低放射能技術」研究会@横浜国立大学

本公募研究のターゲットと今回の報告内容



地下実験と雨・雪・地下水

極低バックグラウンド実験 (ニュートリノ, 暗黒物質, etc.)

- 環境中性子フラックスの変動
- 坑内のラドン量の変動
- 検出器・シールドとしての水のBG

極低ノイズ実験 (重力波, 地球物理, etc.)

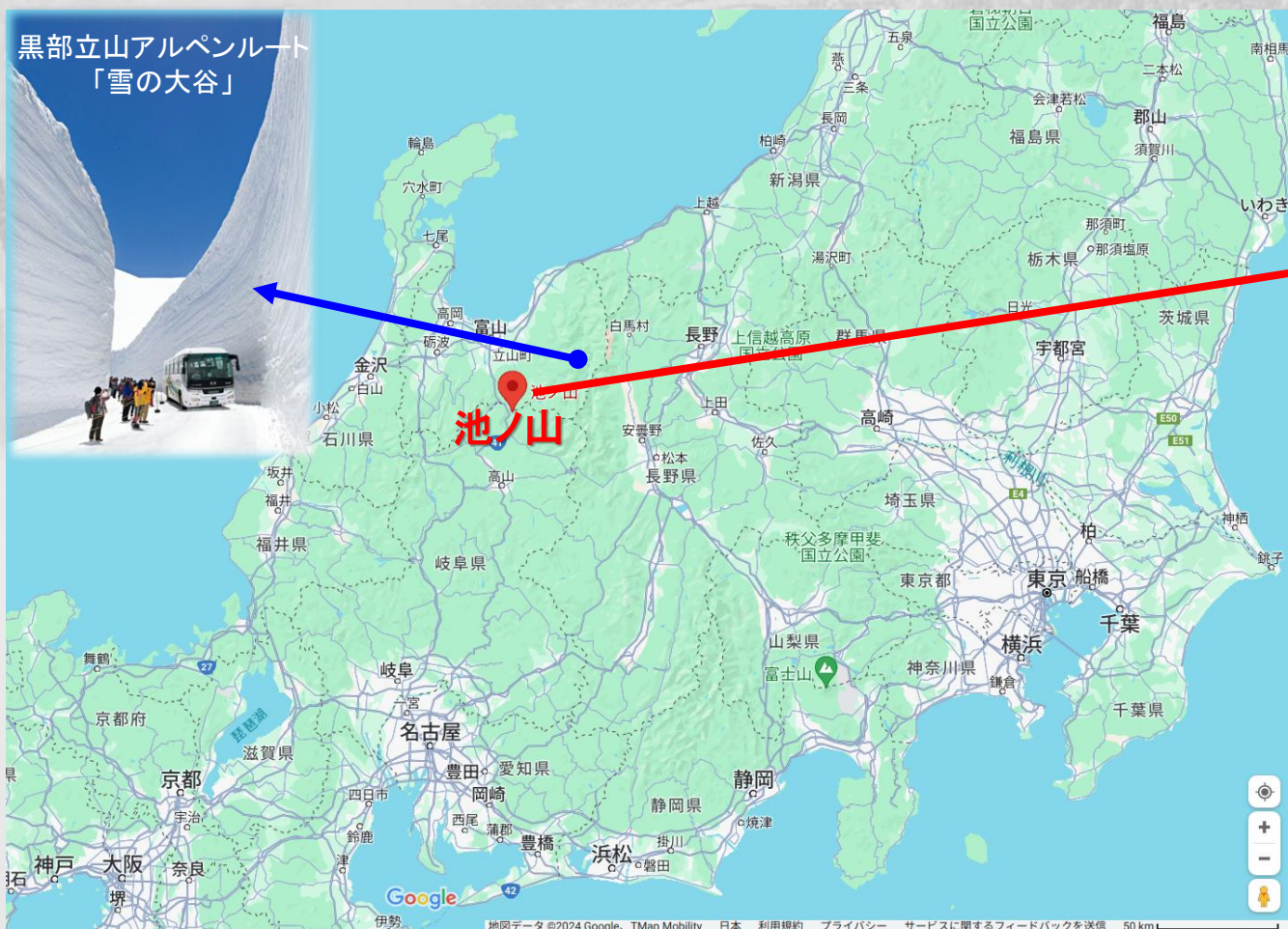
- 排水やポンプの振動
- 水面の運動による重力勾配
- 地盤のひずみ、沈み込み
- 重力場の絶対値・方向の変動

共通事項

- 装置の結露や水没
- 坑内作業者の安全管理
- 坑内トイレなど作業者の生活用水
- 坑内の温度変化
- 地中のイオンによる接地電位の変動
- 空調・冷凍機・計算機などの冷却水

神岡(池ノ山)の立地

- 富山県富山市と岐阜県飛騨市の県境
 - 富山市は世界豪雪都市ランキング3位(米AccuWeather社調べ)
- 坑口・地下実験施設は海拔~300 m, 山頂は海拔~1300 m



KAGRAで運用している雨量計(in 気象計)

■ Davis Vantage Pro2

- 市販品をそのまま使用
- 乗鞍観測所で使用実績
- 気温/気圧/風向/風速/湿度/降水量を観測

■ KAGRAでは2か所で運用 (1分sampling)

- 跡津 (2019年7月~) : KAGRA坑口付近
- 茂住 (2022年12月~) : 重力波施設付近

■ 雨量計

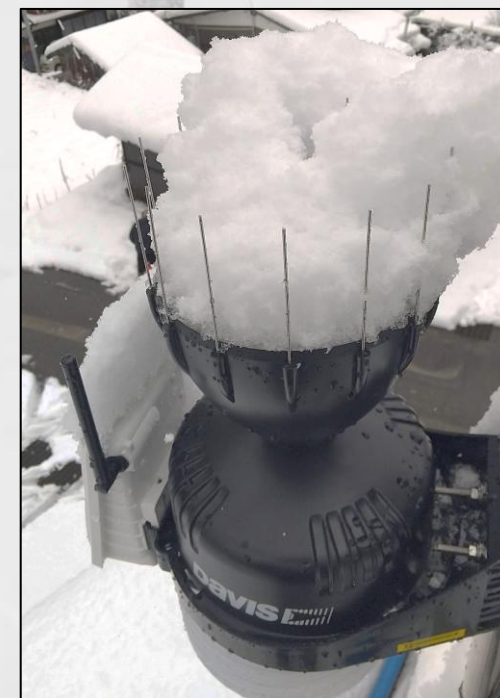
- 自己排水型転倒ます式
- 0.2mmごとに1カウント
- 誤差公称値: $\pm 3\%$
- 雪はヒーター(24W)で融かして計測
 - 融雪能力 $\sim 6\text{mm}/\text{hour}$
 - 融かし切れていない雪が積もっている様子がよく見られる
 - アメダスの雨量計のヒーターは330W



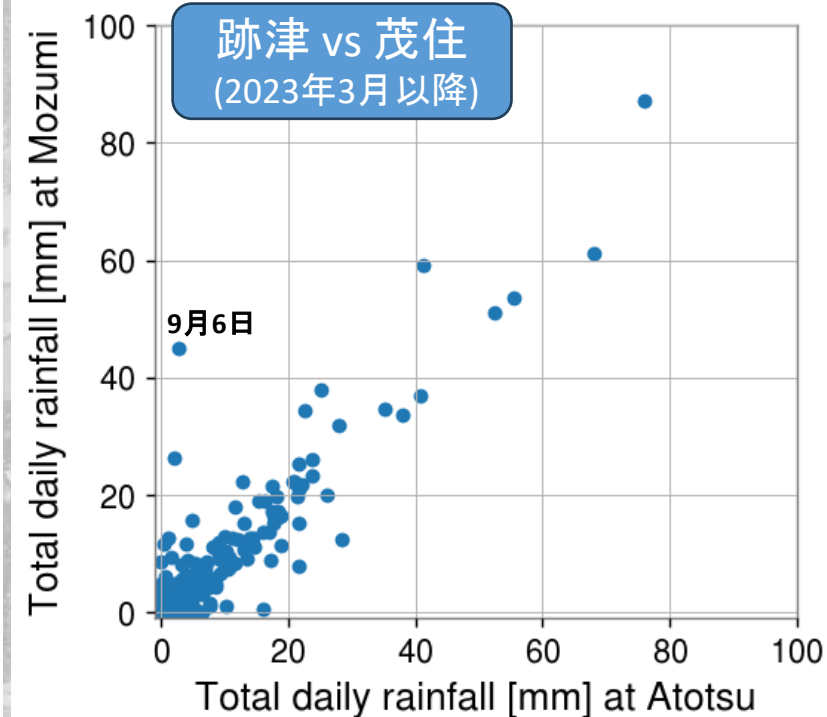
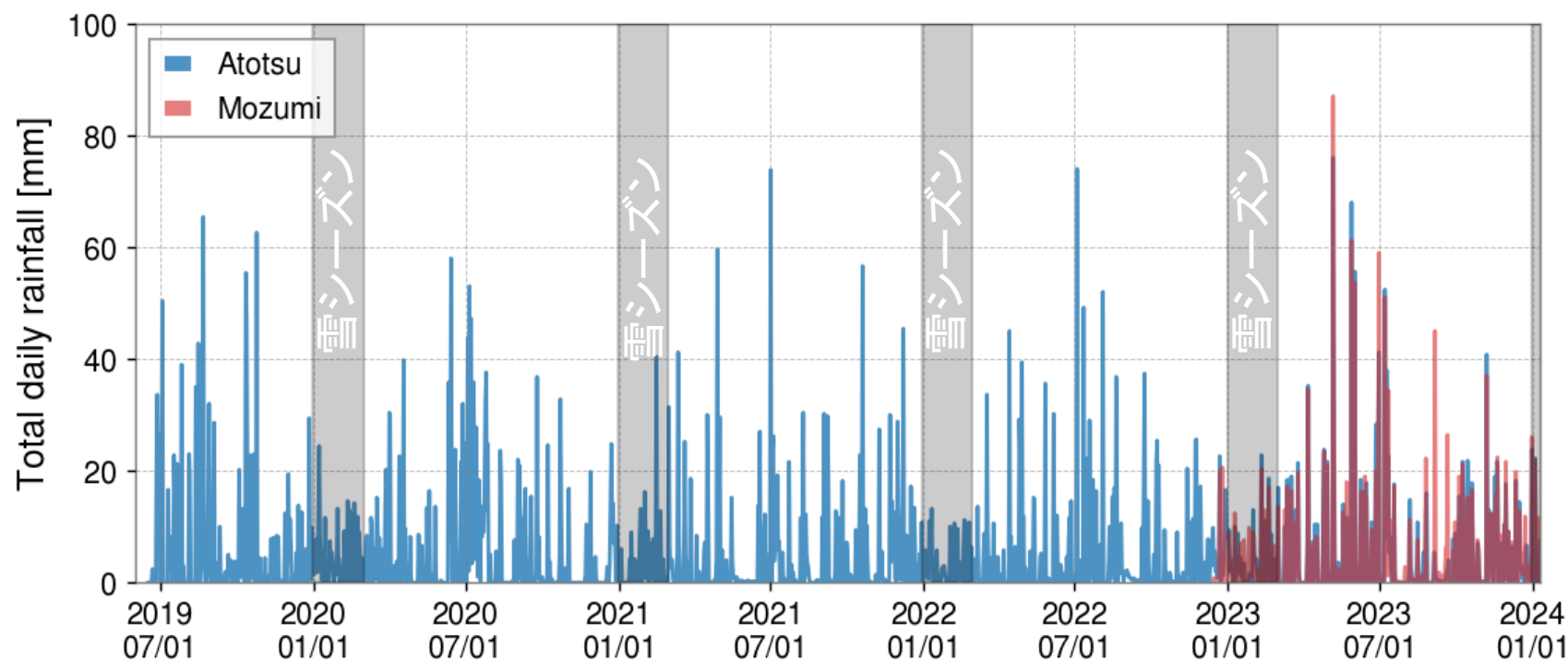
<https://www.davisinstruments.com/pages/vantage-pro2>



融かし切れていない雪



跡津・茂住の雨量計データ (日合計降水量)

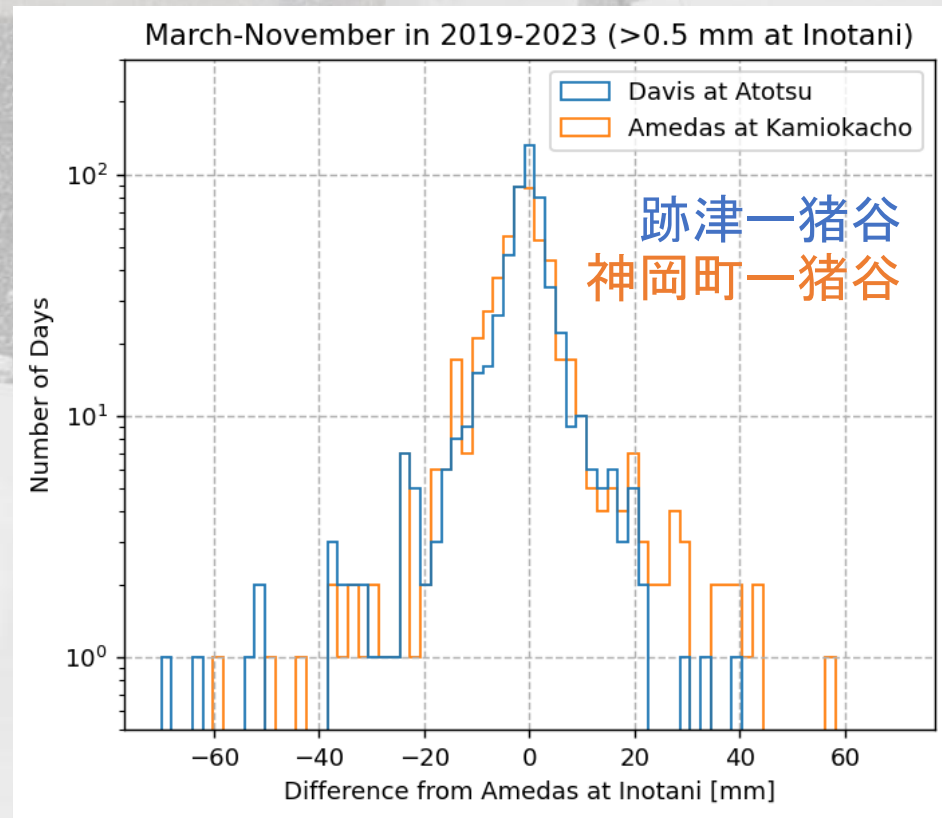
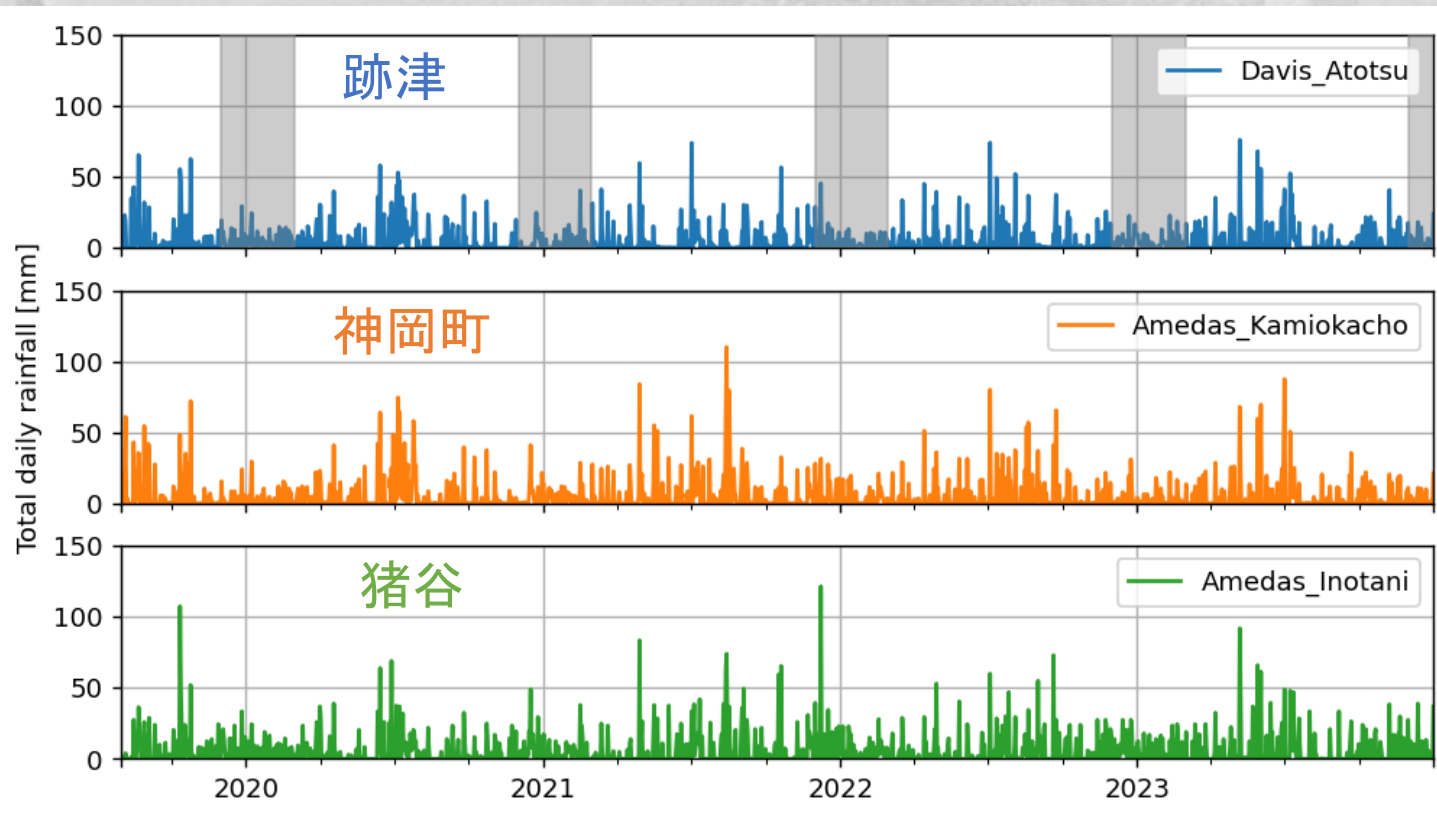


- 典型的な降水量は、おおむね30mm/day以下に集中
 - ちなみに、連続雨量が120mmを超えると国道41号線(片掛~猪谷)が通行止めになる
- 跡津と茂住(直線距離 ~4km)の降水量はおおむね等しい
- たまに、跡津と茂住で降水量に違いが見られるときもある
 - 例えば2023年9月6日の場合、雨雲レーダーを見ると確かにそのような分布
 - 現場の肌感覚としても、特に通り雨のような短時間の雨ではそのようなことが起きる
- 雪シーズン(12月下旬~3月上旬)のデータは融雪能力不足で過少評価



アメダスのデータとの比較 (日合計降水量)

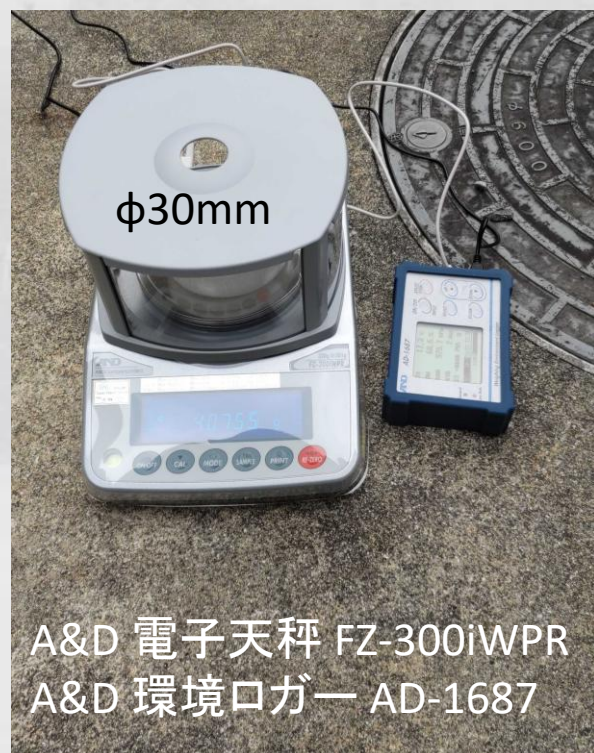
- 気象庁アメダスの降水量データ(猪谷、神岡町)を利用
 - <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- 3年半の時系列を見ると、だいたいの傾向は似ているが、一致はしない
- 猪谷のアメダスを基準に見ると、跡津のDavisと神岡町のアメダスでは大きな違いはない
 - 測定器や運用の仕方の違いよりも、場所による違いの方が大きい
 - 神岡地下実験の研究で使うには、KAGRAのデータがよい(ただし雪以外)



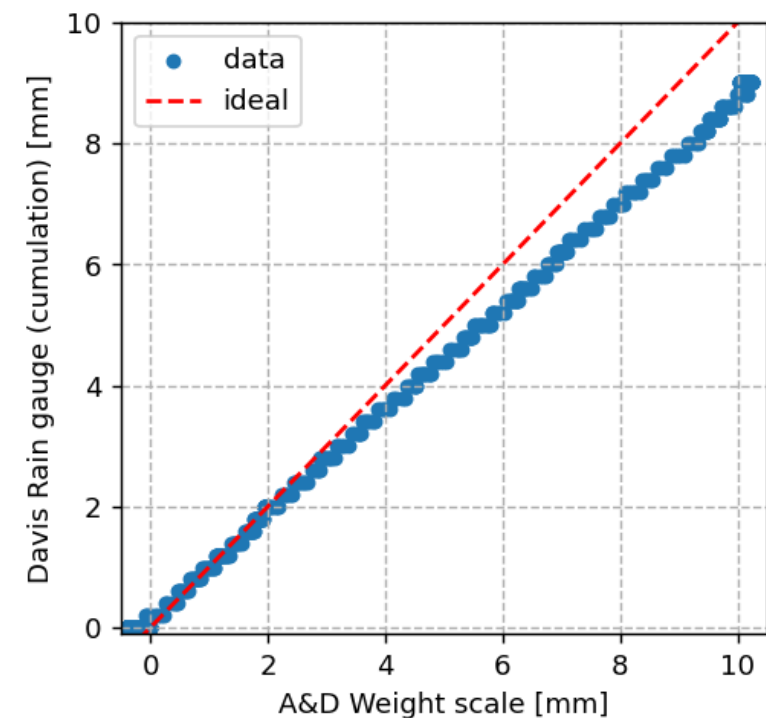
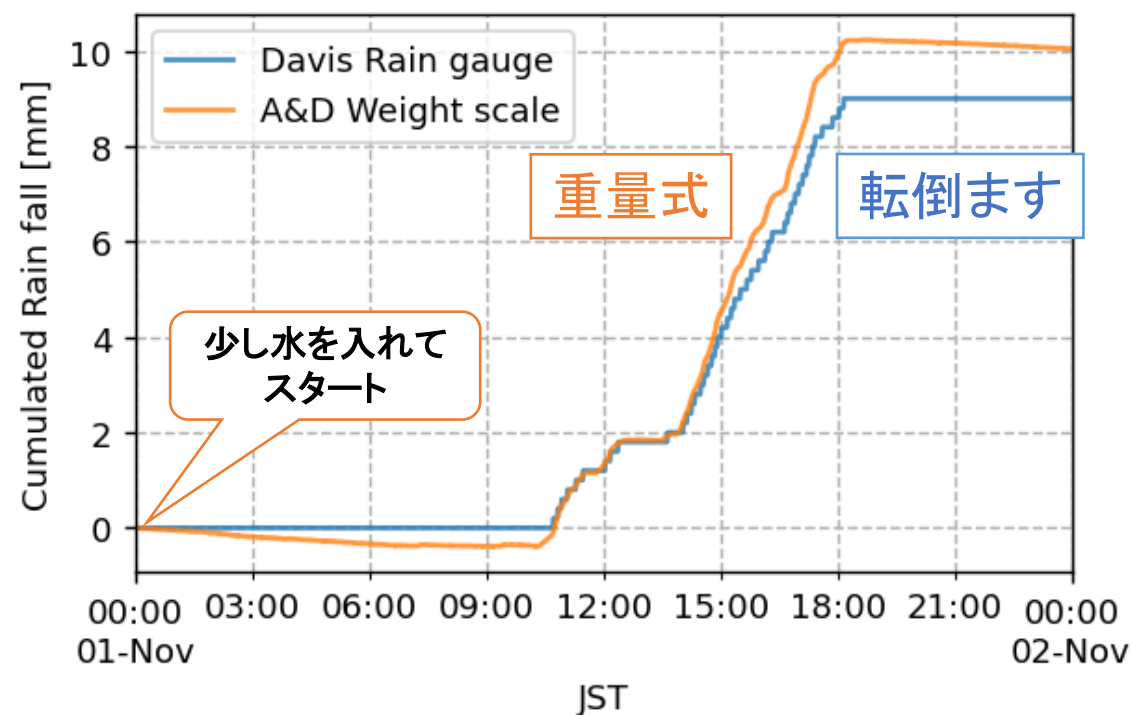
雨量計の評価：重量式との比較

データロギング可能な電子天秤(防水・防塵)を簡易的な重量式雨量計として、跡津のDavisの雨量計(転倒ます式)の近くに置いて比較した

- 溜まった水を手動で捨てる必要があるため、恒常的な観測には向かない



A&D 電子天秤 FZ-300iWPR
A&D 環境ロガー AD-1687



Davis雨量計では0.2 mm未満は切り捨てられるため、累積にすると取りこぼしが見られる

- 上記の1日観測で -10%程度。誤差公称値の±3%より大きかった。
- 他の解析で、特にこの差を補正するようなことはしていない(気に留めておく程度)

茂住地上の降水量と環境 γ 線

γ 線観測装置CoGaMoを、茂住地上にて運用している

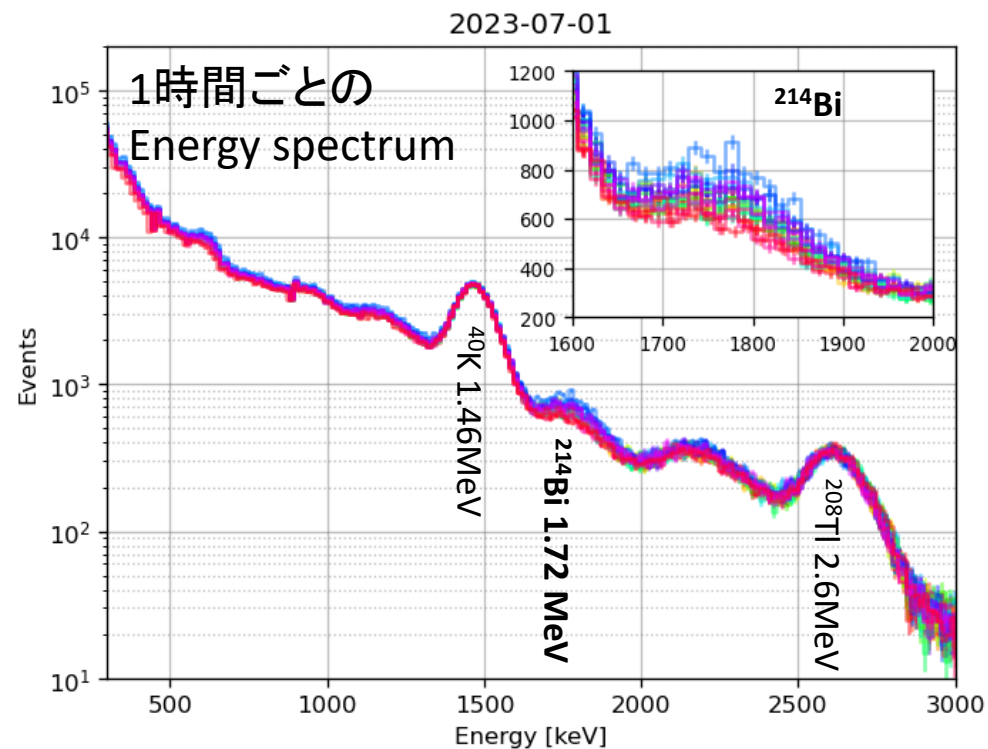
- CsI(Tl)シンチレーター+MPPC, GPS, 気温・気圧・湿度・照度センサ
- 雷雲ガンマ線を観測するため、理研・京大・株TACで開発
- 詳細は [Tsurumi et al., GRL 50, e2023GL103612 \(2023\)](#) など参照

降水に伴って ^{241}Bi の線量が増加する様子が確認できる

- これ自体はよく知られた現象
- ガンマ線量から雨量を推定するほどの精度はなさそう

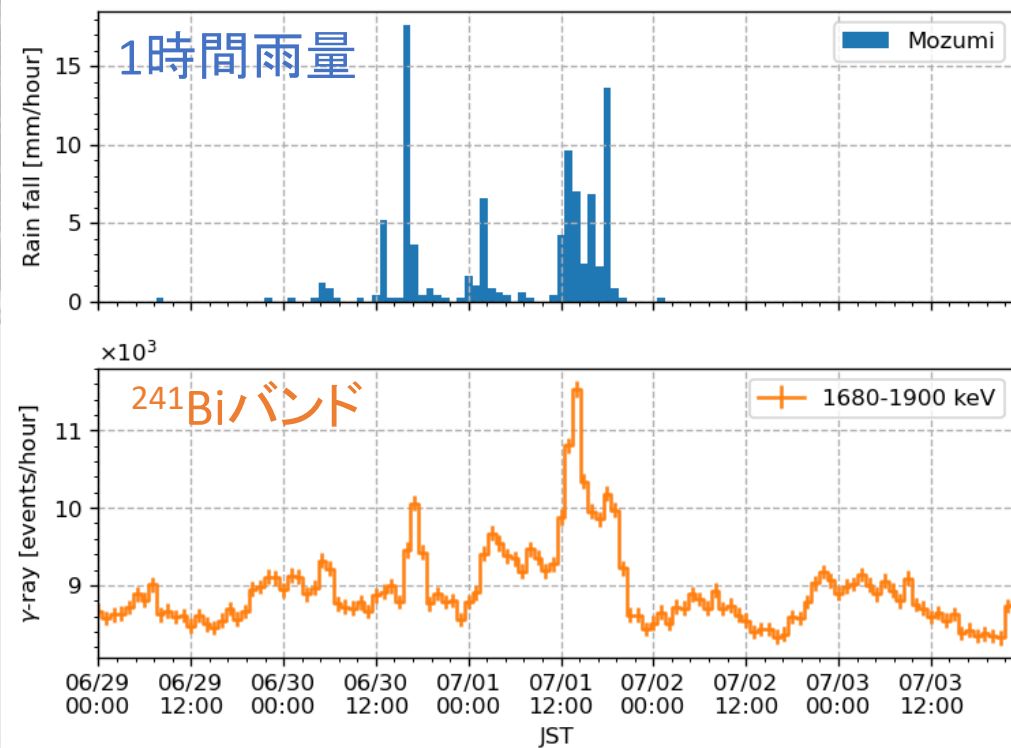


CsI(Tl) scintillator (5cm × 5cm × 15cm)



2023-07-01 (1-hour rain)

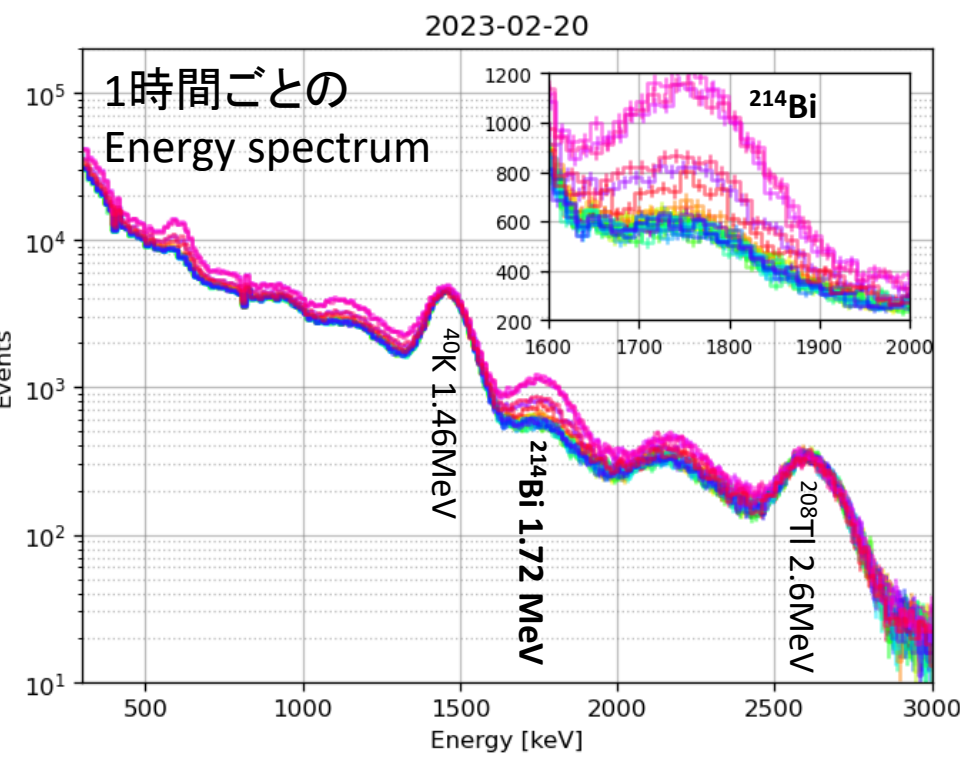
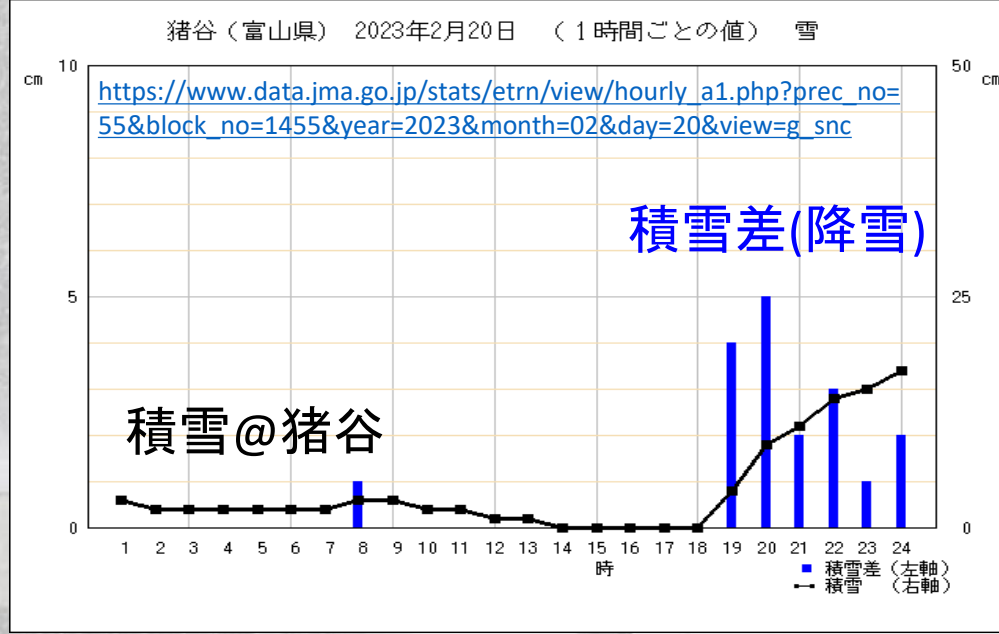
+	0 (1.6 mm)	+	12 (4.2 mm)
+	1 (1.0 mm)	+	13 (9.6 mm)
+	2 (6.6 mm)	+	14 (7.0 mm)
+	3 (0.8 mm)	+	15 (2.4 mm)
+	4 (0.6 mm)	+	16 (6.8 mm)
+	5 (0.4 mm)	+	17 (2.2 mm)
+	6 (0.0 mm)	+	18 (13.6 mm)
+	7 (0.6 mm)	+	19 (0.8 mm)
+	8 (0.2 mm)	+	20 (0.2 mm)
+	9 (0.0 mm)	+	21 (0.0 mm)
+	10 (0.0 mm)	+	22 (0.0 mm)
+	11 (0.4 mm)	+	23 (0.0 mm)



茂住地上の降水量と環境γ線

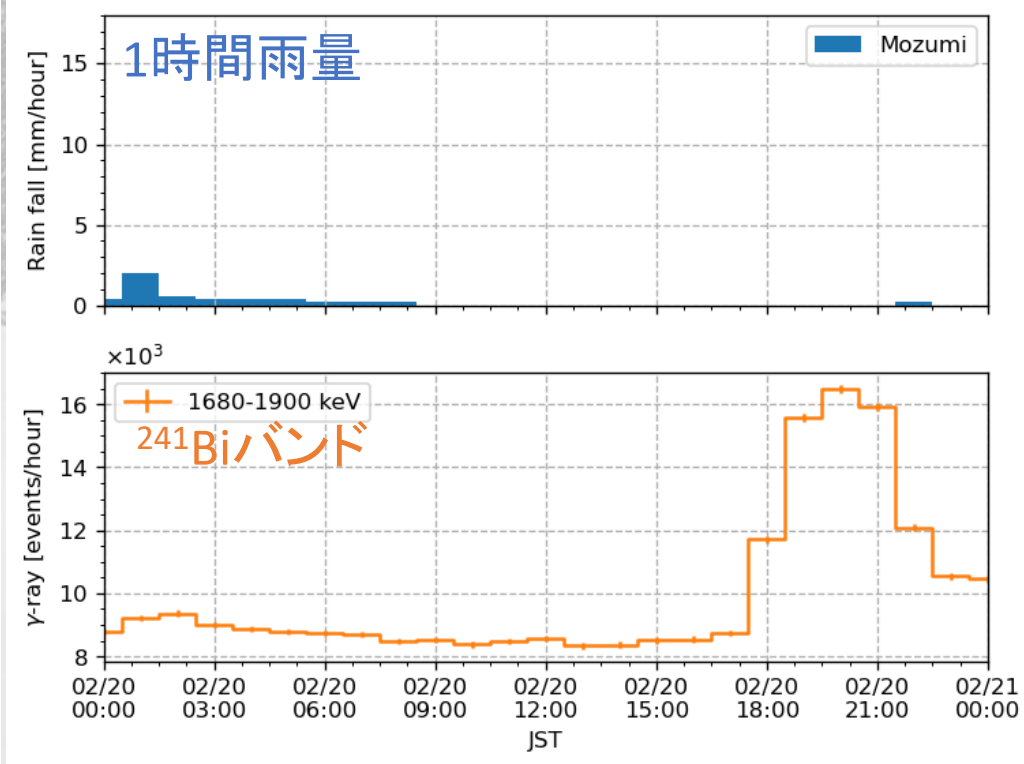
冬季のデータを見ると、Davis雨量計では降水は見られないが²⁴¹Biの線量が増加していた日がある

- 雪が降ったが、ヒーターの出力不足で十分に融かすことができず、計測できていなかった可能性
- 猪谷のアメダスのデータを参照すると、確かにこの時間帯に降雪があった



2023-02-20 (1-hour rain)

+	0 (0.4 mm)	+	12 (0.0 mm)
+	1 (2.0 mm)	+	13 (0.0 mm)
+	2 (0.6 mm)	+	14 (0.0 mm)
+	3 (0.4 mm)	+	15 (0.0 mm)
+	4 (0.4 mm)	+	16 (0.0 mm)
+	5 (0.4 mm)	+	17 (0.0 mm)
+	6 (0.2 mm)	+	18 (0.0 mm)
+	7 (0.2 mm)	+	19 (0.0 mm)
+	8 (0.2 mm)	+	20 (0.0 mm)
+	9 (0.0 mm)	+	21 (0.0 mm)
+	10 (0.0 mm)	+	22 (0.2 mm)
+	11 (0.0 mm)	+	23 (0.0 mm)



積雪計の設置

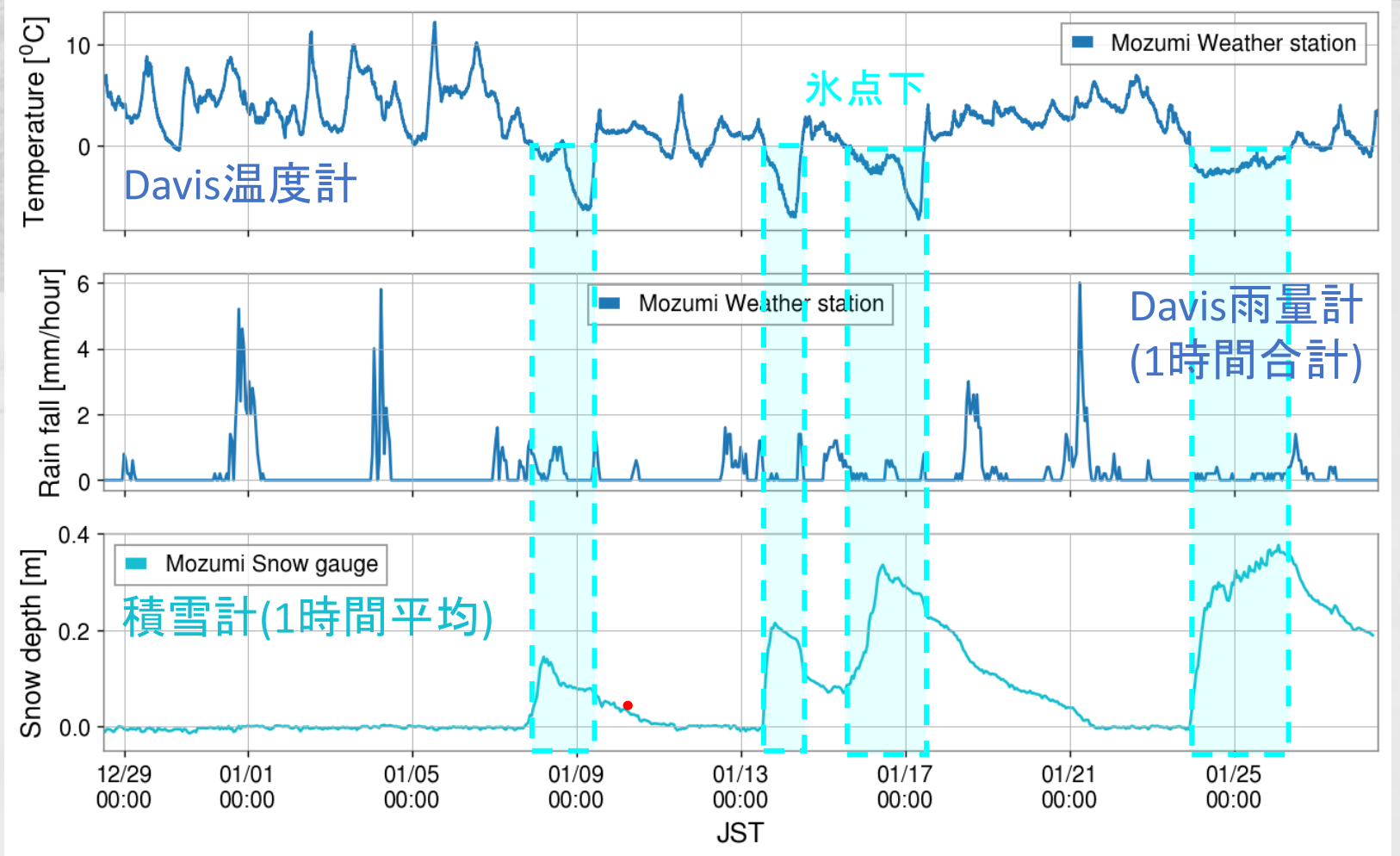
重力波施設裏(茂住)



超音波雪積深計
C-SR50AT

2023年末に、積雪計を茂住に設置した

- 気温が氷点下の時、積雪が計測されている
- 定規を使って測った深さともおおむね一致



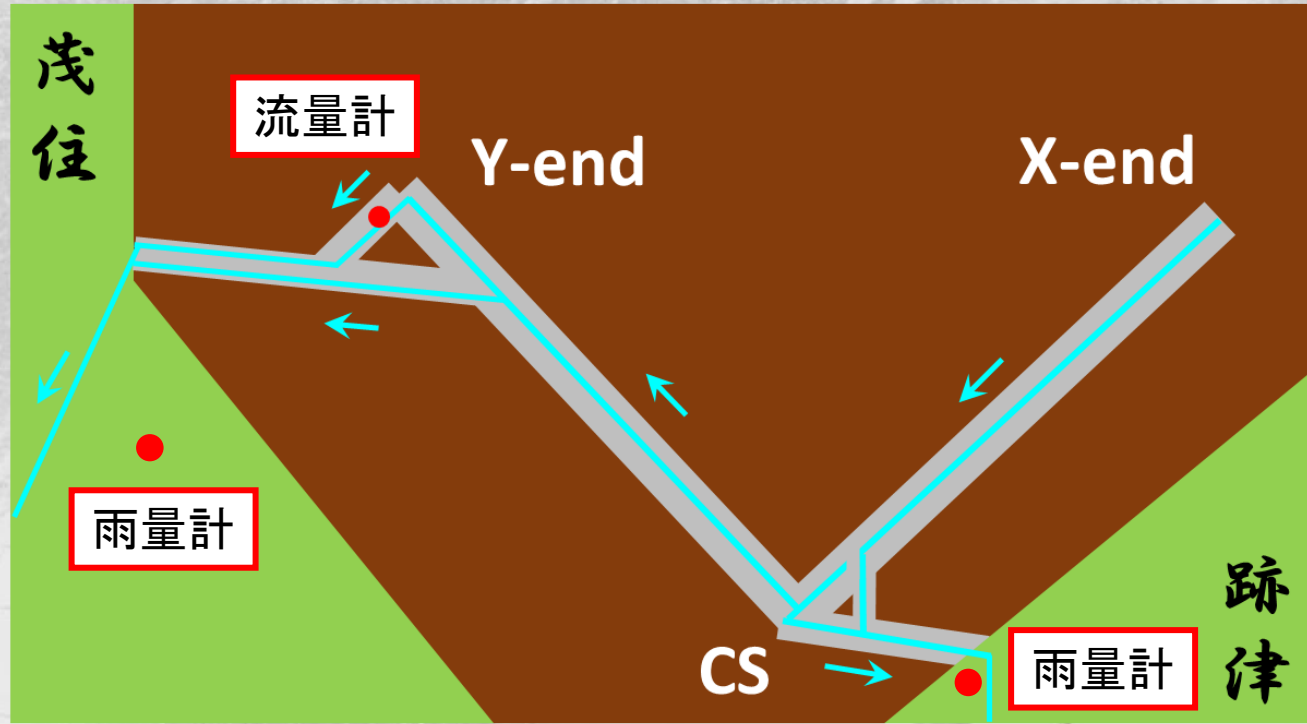
KAGRATunnelの排水路と流量計

排水系統は大きく分けて4本

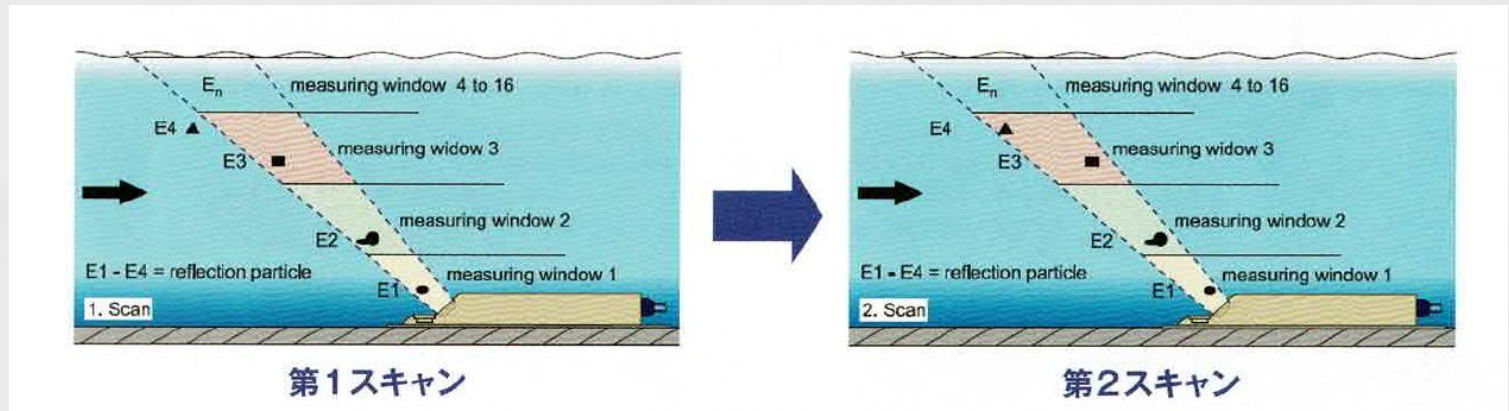
1. CS → Y-arm → Y-end → 茂住
2. CS → Y-arm → 茂住
3. X-end → X-arm → 跡津
4. CS → 跡津

(X-arm → CS は手で封じられている)

分配はポンプ・バルブで調節



Y-end奥にて、超音波式開水路流量計(NIVUS OCM Pro)を運用中



流量計の設置

流速が速く水面が荒れると計測が不安定となるため、下流に板を設置

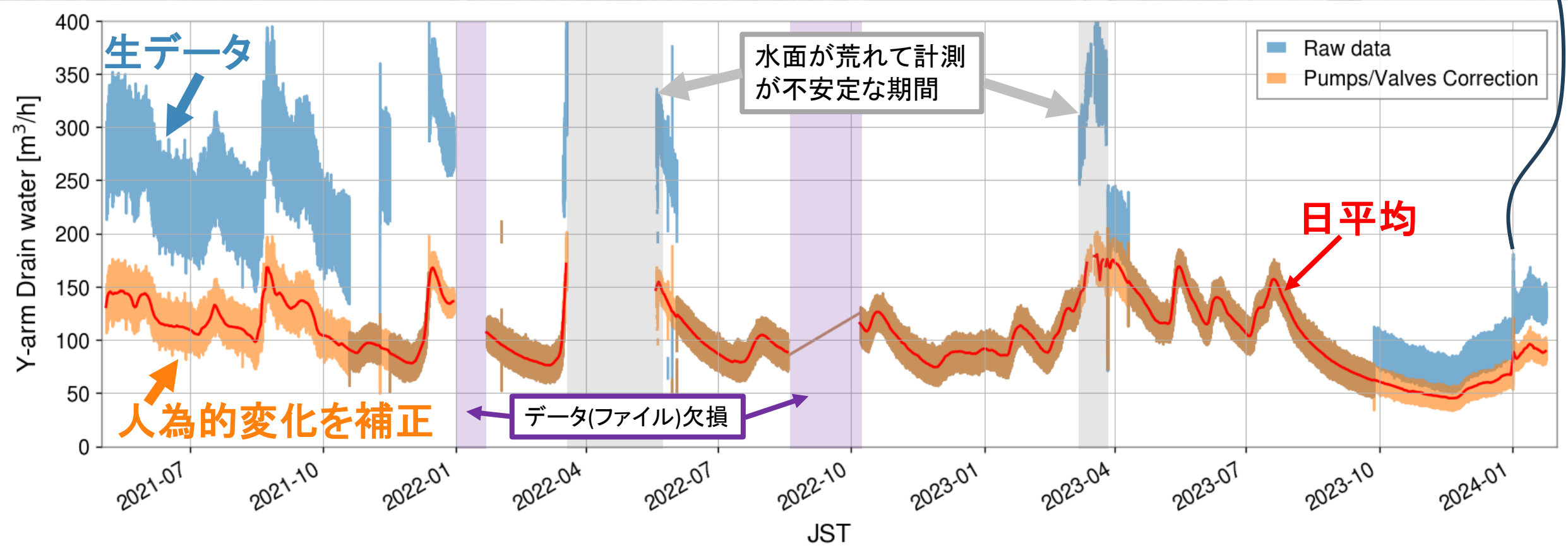
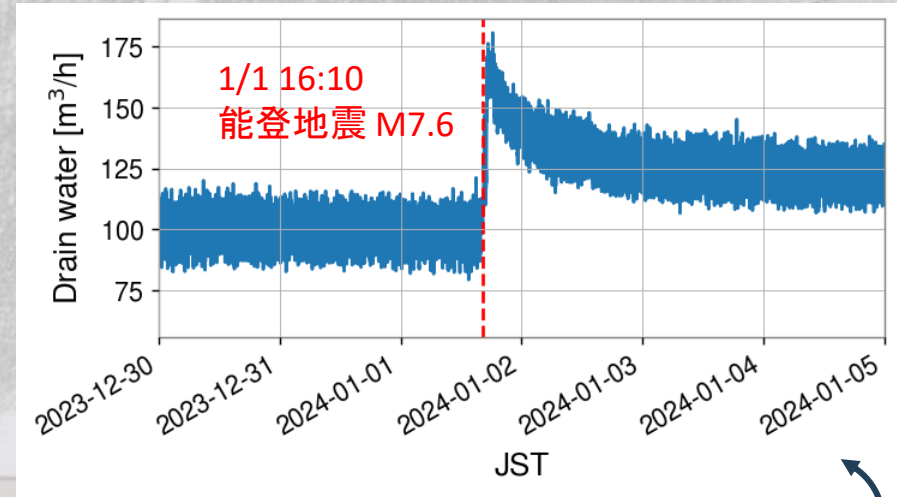


KAGRA Y-endの流量計データ

ポンプやバルブのconfigurationによる人為的变化を手で補正

- KAGRAのノイズに関する研究には補正前の生データ (実際にY-endを通過している流量)を使用
- 気象や環境放射線との比較には補正した値を使用

2024年1月1日の能登半島地震による排水量の増加が見られた



雨量計データと流量計データの比較

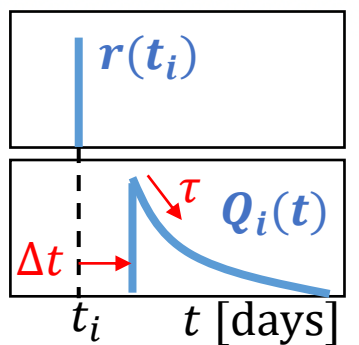
雨量計データと流量計データをそのまま見比べても、関係性はわかりづらい

下記のような簡単なモデルを用いて雨量計データから排水量を推定すると、実測値とそこそこ似た結果が得られた

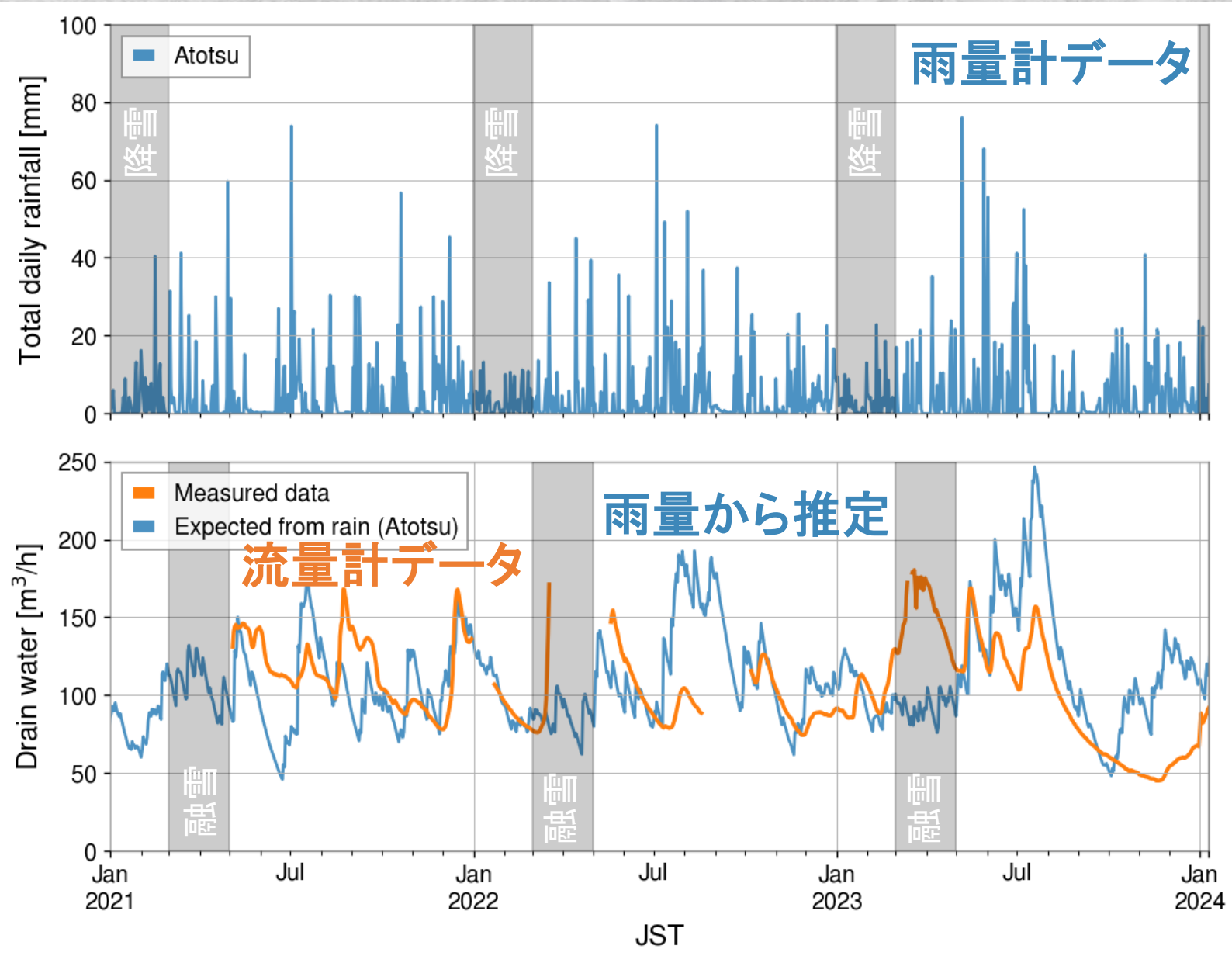
- パラメタの値は目で決めた

$$Q(t) = \sum_{t_i} Ar(t_i + \Delta t)\theta(t - t_i - \Delta t) \exp\left(-\frac{t - t_i - \Delta t}{\tau}\right)$$

- 排水量 $Q(t)$ [m^3/h]
- 日合計降水量 $r(t)$ [mm]
- $A = 0.8 (m^3/h)/(mm)$
- 遅延 $\Delta t = 7$ days
- 時定数 $\tau = 30$ days



- 時間スケール($\Delta t, \tau$)は概ね良さそう
- ファクター(A)は降水の場所に依存?
 - 雨量計を数ヶ所増やすより、気象レーダーのような"面"的な情報を用いる方がよい?
- 降雪・融雪の観測とモデル化が必要



まとめ

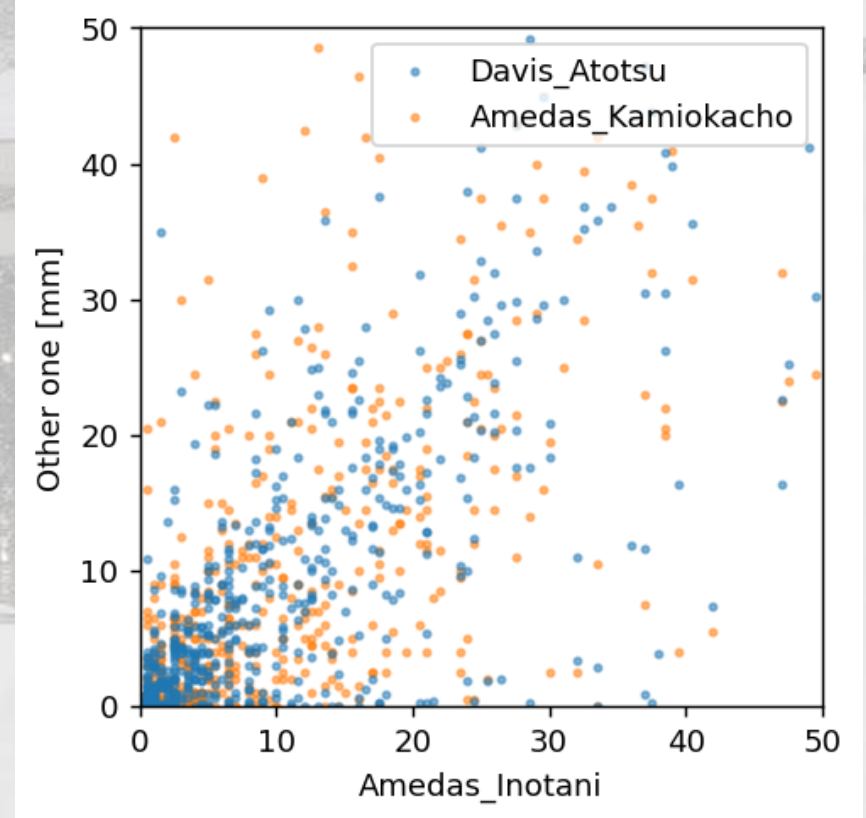
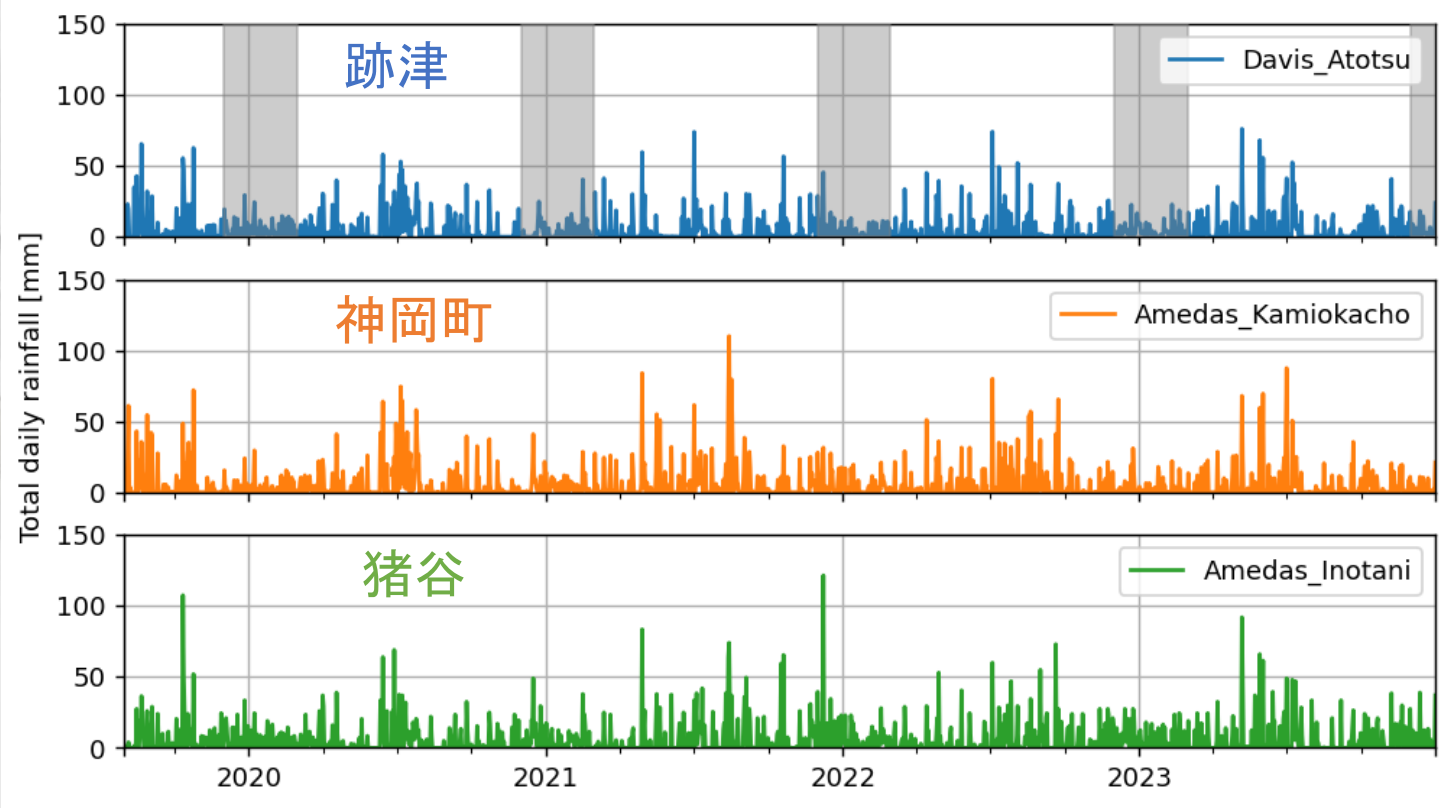
- ✓ KAGRAの環境測定として、池ノ山で雨・雪・地下水を計測している
 - 雨量計: 2019年7月から@跡津、2022年12月から@茂住
 - 積雪計: 2023年12月から@茂住
 - 流量計: 2021年3月から@KAGRA Y-end奥
- ✓ 雨量データを
 - 雨量同士: 跡津 vs 茂住、Davis vs アメダス、転倒ます式 vs 重量式
 - 雨量 vs 環境放射線(^{214}Bi)、雨量 vs 地下水
- ✓ 今回示した雨量・排水量データは下記に掲載している
 - <https://gwdoc.icrr.u-tokyo.ac.jp/cgi-bin/DocDB/ShowDocument?docid=15618>
 - 1日サンプルのcsvファイル
- ✓ KAGRAの重力波観測における気象の影響については、宮本君 (ICRR M2)のポスターおよび修士論文を参照

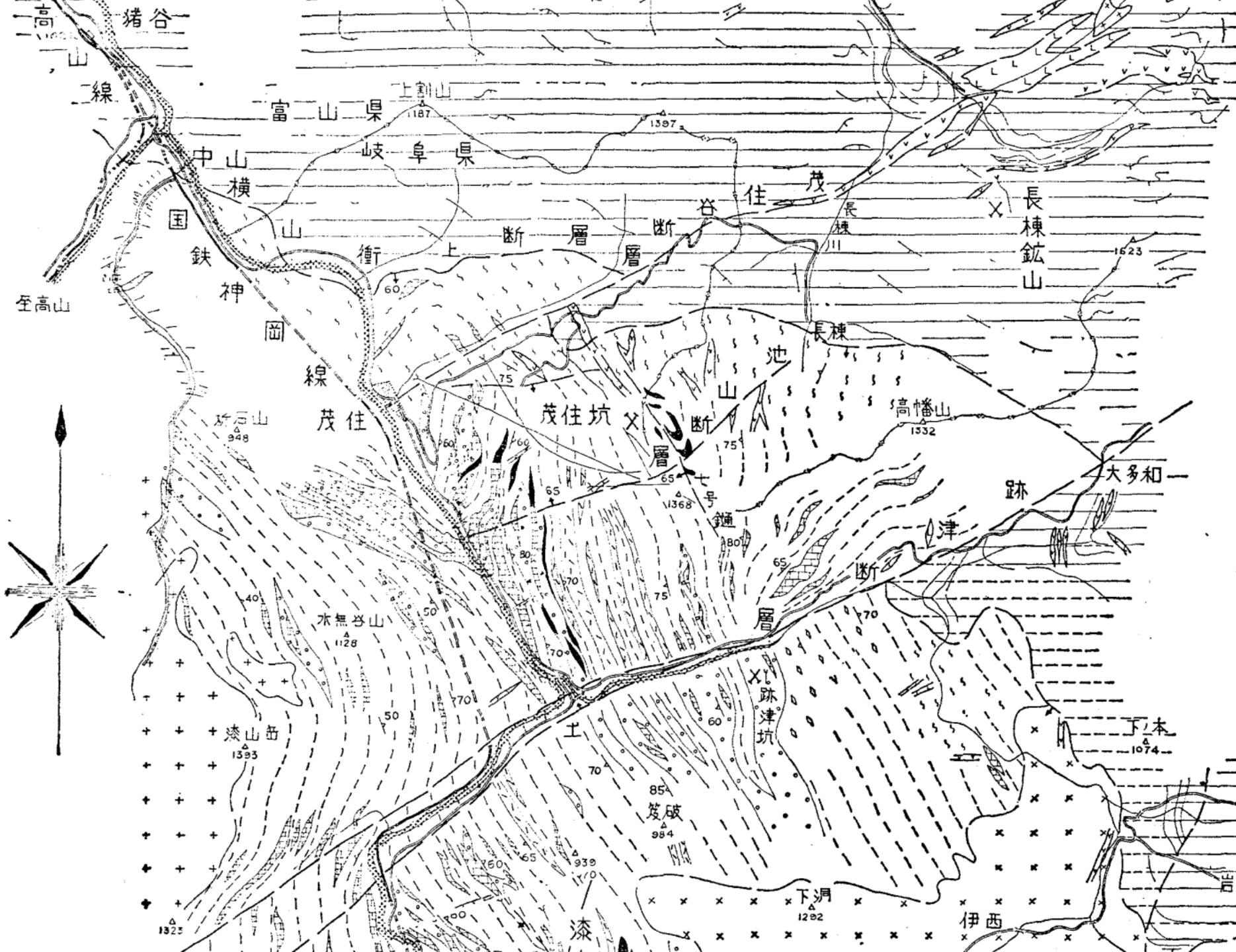
A photograph of a snowy winter scene. In the center, there is a small, light-colored utility building with a dark door. To the right, a utility pole supports several power lines. The ground is covered in a thick layer of snow, and the background shows snow-covered trees and a hazy sky. The word "Backup" is overlaid in the center in a large, light blue font with a dark outline.

Backup

雨の強さ・降雨の状況

	雨の強さ (1時間あたりの降水量)	降雨の状況
やや強い雨	10 ミリ以上 20 ミリ未満	ザーザーと降り、足元が濡れる
強い雨	20 ミリ以上 30 ミリ未満	どしゃ降り、傘をさしていても濡れる
激しい雨	30 ミリ以上 50 ミリ未満	バケツをひっくり返したように降り道路が川のようになる
非常に激しい雨	50 ミリ以上 80 ミリ未満	滝のようにゴーゴーと降り続き傘は役に立たない
猛烈な雨	80 ミリ以上	息苦しくなるような圧迫感で外に出られない





地質凡例

- | | |
|--------------|-----------|
| 片麻岩類 | 中生層 |
| ▨ 角閃石片麻岩 | ▨ 砂岩頁岩 |
| ▩ 石灰岩 | ▨ 礫岩 |
| ▧ 角閃岩 | 新期火成岩類 |
| ◻◻◻◻ 透輝石片麻岩 | ▨ 石英斑岩 |
| ▩◻◻◻ 斑斕岩質岩 | ▨ 花崗斑岩 |
| ▨◻◻◻ 压碎岩 | ▨ 安山岩 |
| ◻◻◻◻ 眼球片麻岩 | ● 鉱床露頭 |
| 花崗岩類 | — 実証及推定断層 |
| ▨◻◻◻ 下ノ本型花崗岩 | |
| ▨◻◻◻ 船津型花崗岩 | |

倉洞
1194

岩井谷

下洞
1292

伊西

下本
1074

漆山岳
1393

水無谷山
1128

高幡山
1532

漆山
948

富山県

岐阜県

中山

住茂

長棟山

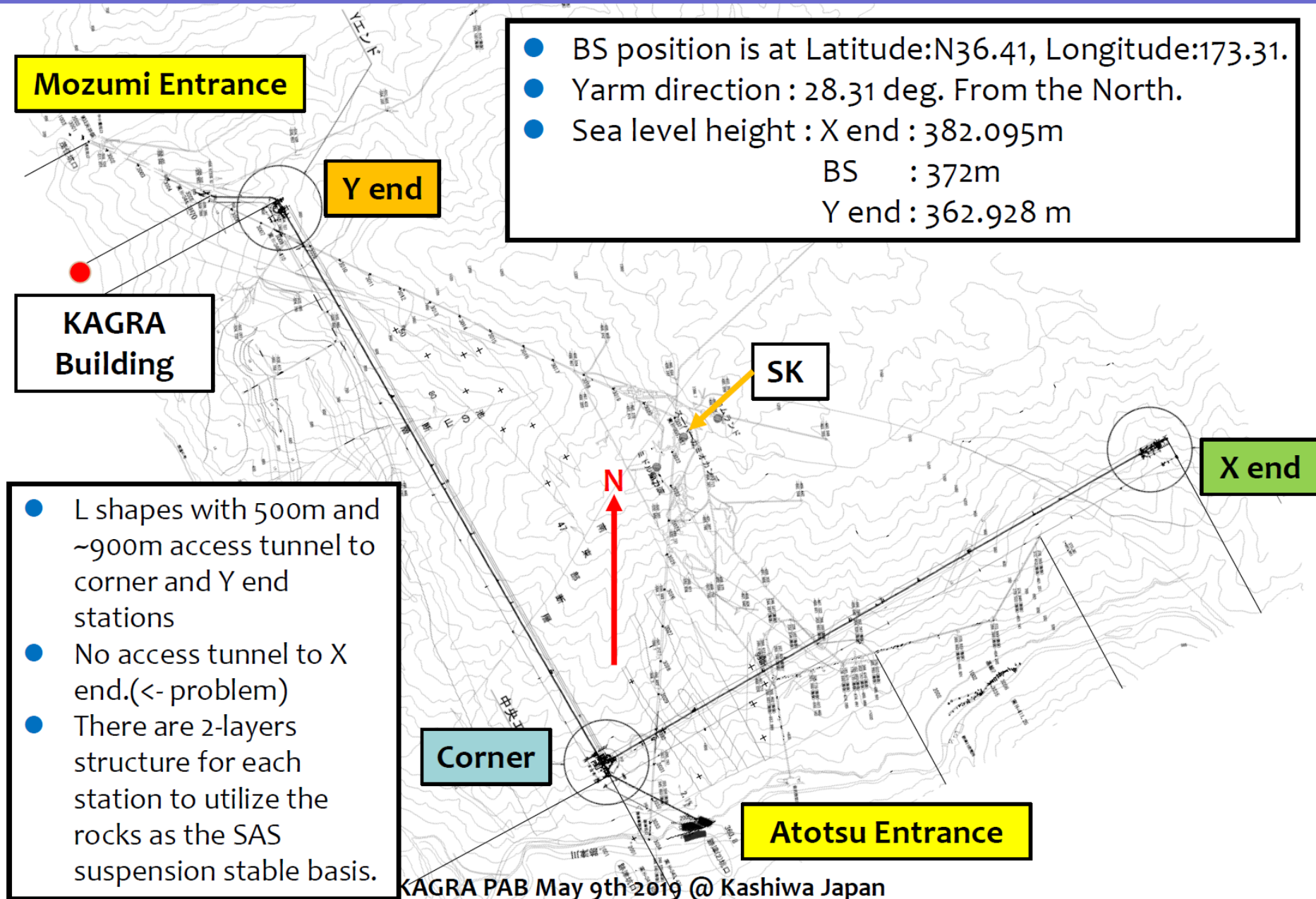
国鉄

神岡

至高山



Tunnel Position and Alignment

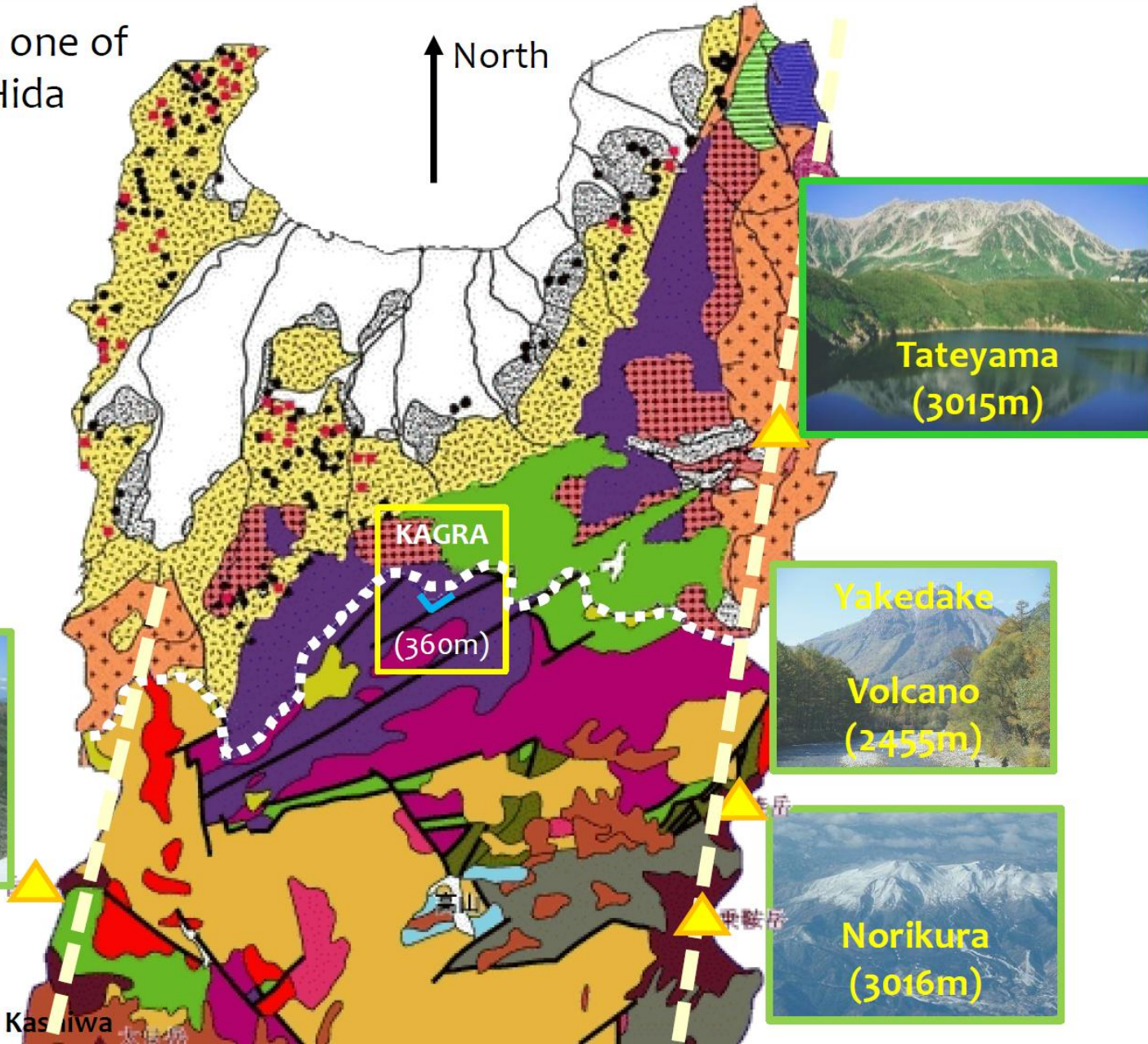
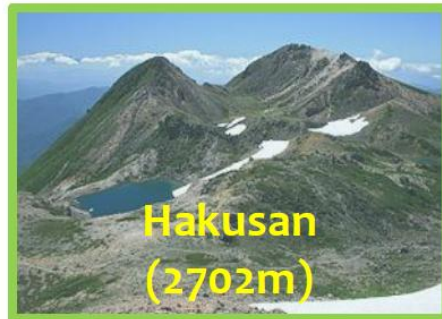


KAGRA in “HIDA” Gneiss

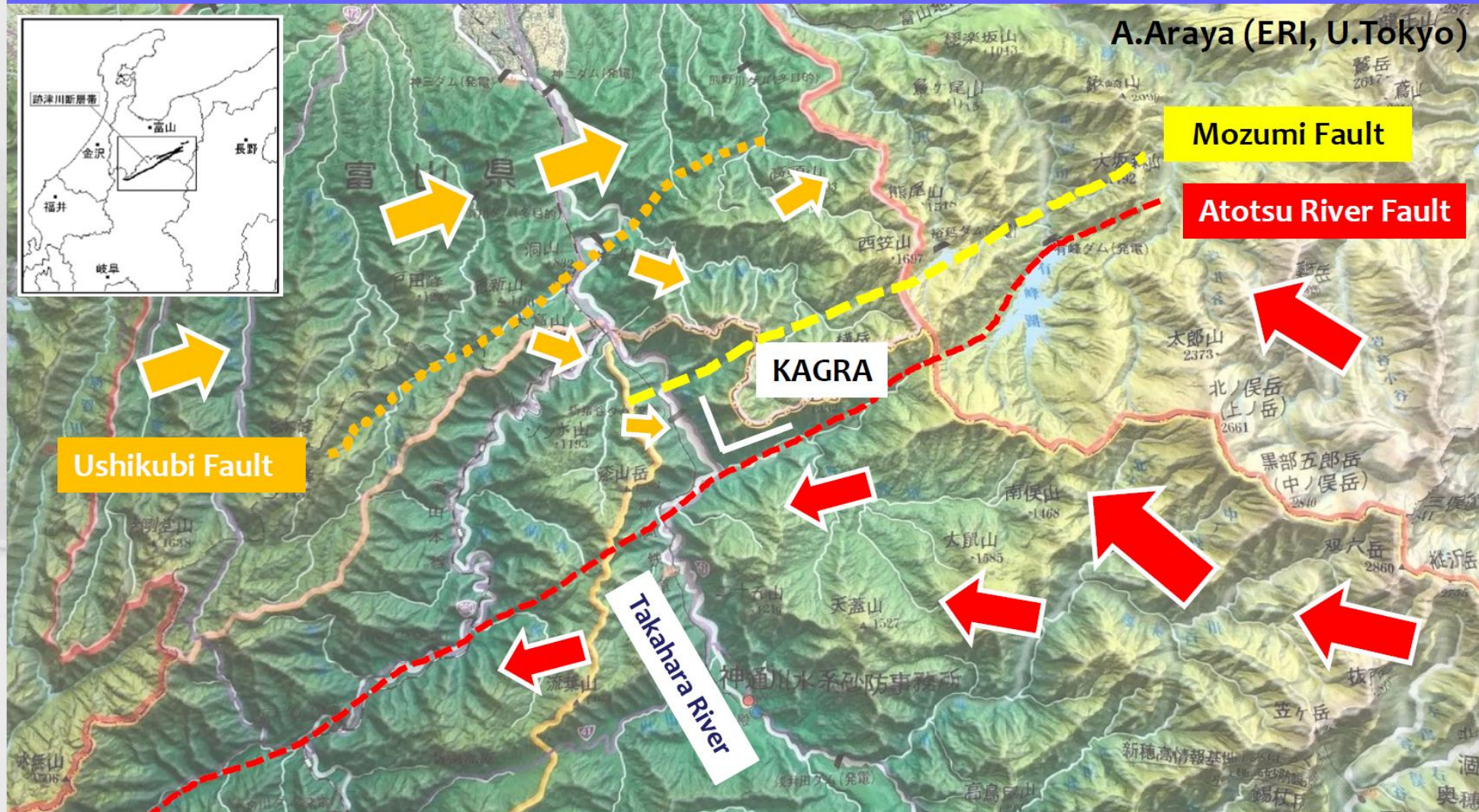
KAGRA is situated in one of the oldest rock of “Hida Gneiss” in Japan.

Hida Gneiss
(~2G years old)

Granite
(~0.2 Gyears old)

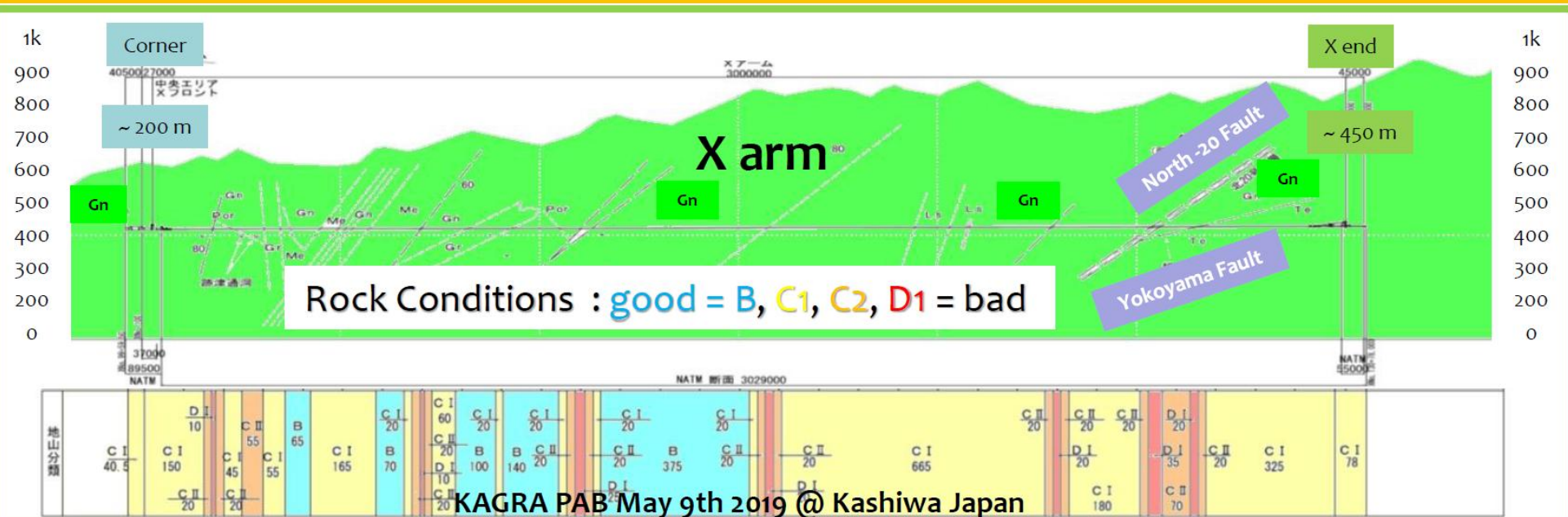
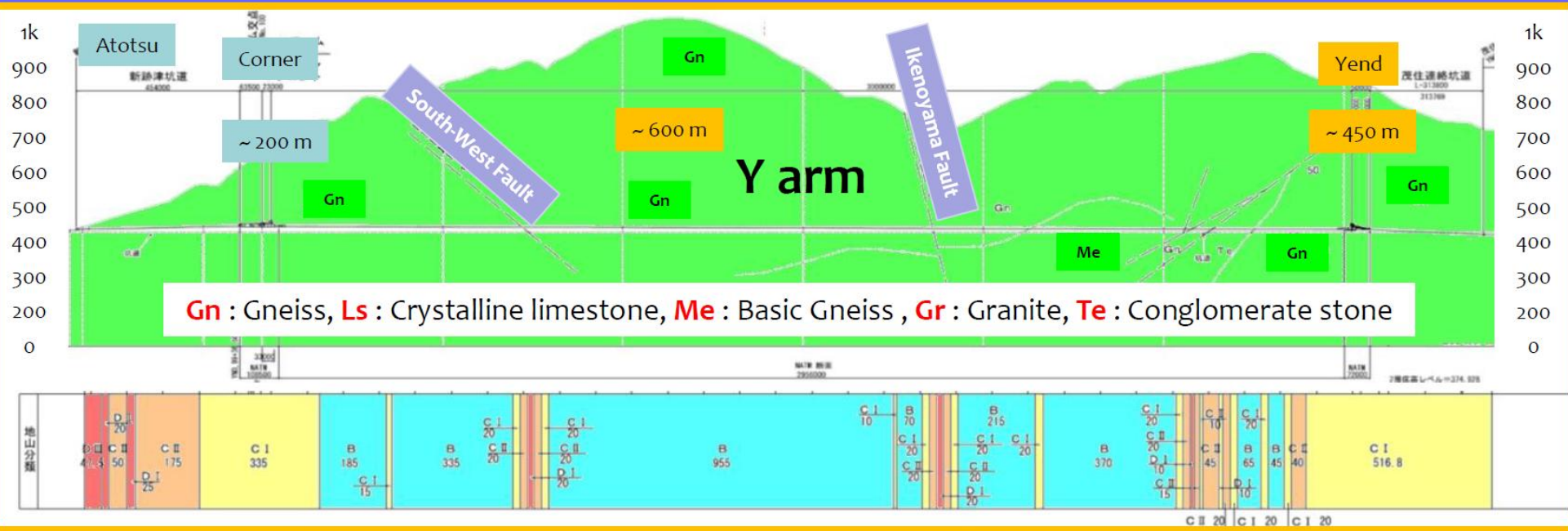


KAGRA between Two Faults



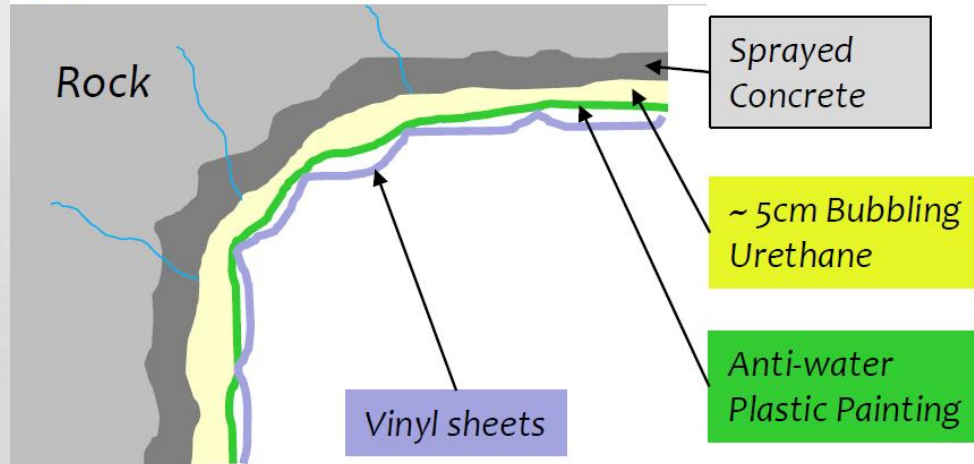
- 1 mm /year slip or creep for 3 million years.
- It made crank shape of “Takahara” river near KAGRA.

X, Y arm Tunnel Depth and Rock Conditions

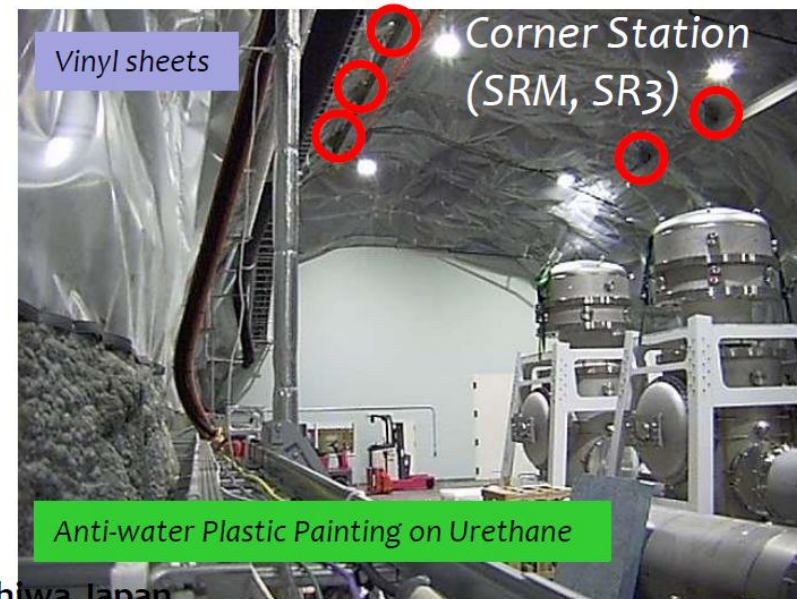


Spring Water Treatment from Walls

(1) Corner and End Stations

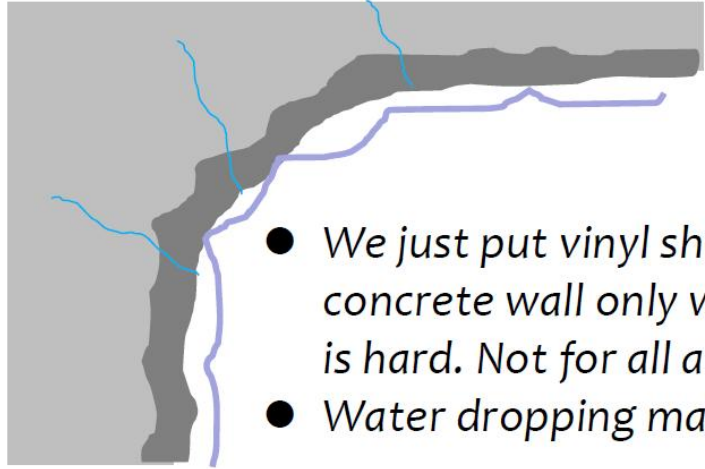


- The water shielding method using Anti-water plastic layer on the urethane on the wall rock was selected.
 - However, it didn't work very well. We got many water leak.
 - We put vinyl sheets on the plastic painting.
 - However, we could not stop water leak from anchor parts of crane and so on.
- ➔ Well designed sheet covering or shaped concrete (like a road tunnel) walls that have water shielding function should be introduced. However it costs higher.



Spring Water Treatment from Walls

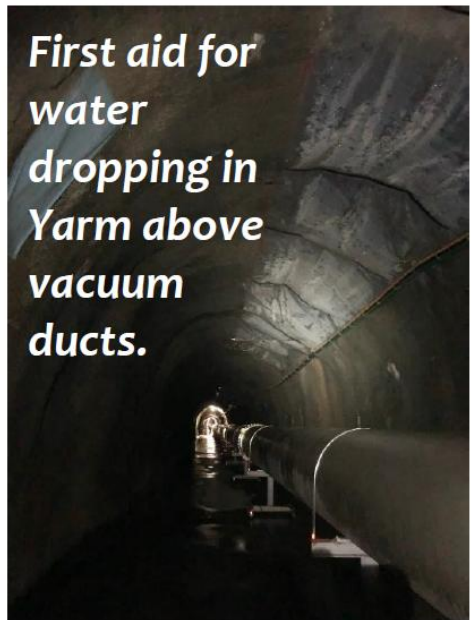
(2) Arm Tunnel Area



- We just put vinyl sheets on the concrete wall only where water leak is hard. Not for all area.
- Water dropping make noise, maybe.



Concrete Stalactite



First aid for water dropping in Yarm above vacuum ducts.

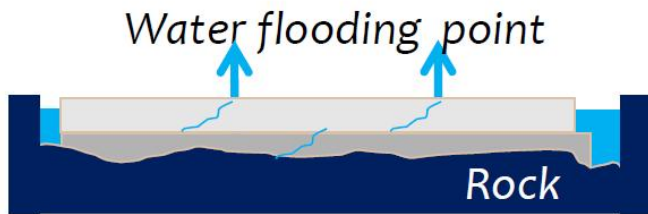


Full sheet cover

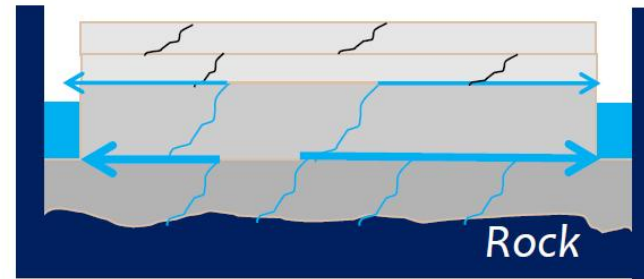
Y Arm Tunnel

Floor Spring Water Treatment : in Stations

- We completely missed to estimate the amount of spring water in the tunnel.
- Enough layers of concrete floor is necessary to reject water flooding from the floor because the concrete floor inevitably will have cracks.
- Deeper ditches are also desired to keep the water level lower than the bottom of the surface concrete.



KAGRA Floor Design



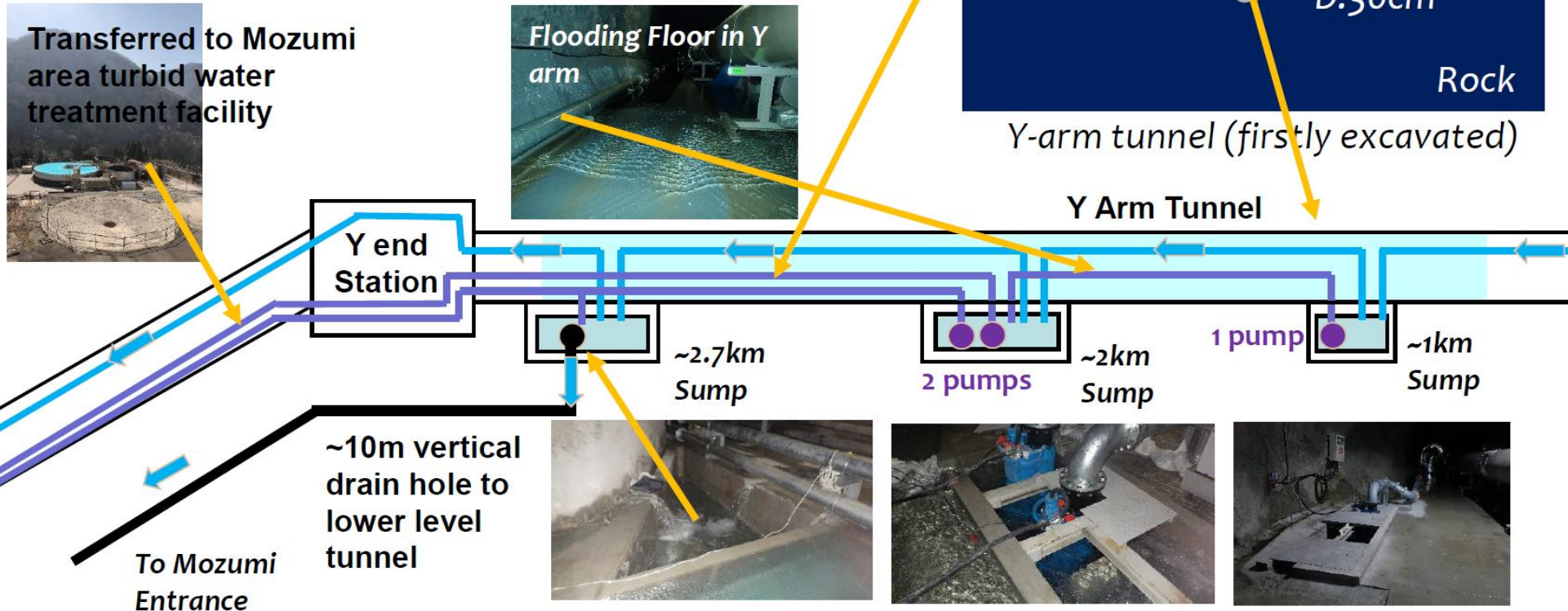
Ideal Floor Design

- We made several deeper holes to collect waters, and put small water pumps to transfer out side the stations. So, moving pumps might be noise in the future.



Arm Tunnel Spring Water Treatment

- Water in the *Yarm* is a lot because of known faults.
- From the end of March to the end of May, the Y-arm central part (1km ~ 2.7km area from the corner station) was covered with water.
- To avoid flooding, KAGRA has the drain relays using water pipes (d 150mm), sumps, pumps and vertical drain hole in the only Y arm.



Arm Tunnel Spring Water Treatment

- In X arm, we put a larger drain pipe under the floor, then we could avoid flooding.
- The water from this X arm is transferred to the drain pipe in the Atotsu access tunnel.
- Because the drain pipe is insufficient below floors in the access tunnel, there is flooding in the access tunnel.

It is important to design how to drain water systematically.

