

### 3 活動的カルデラ火山の地下構造調査

#### 3.1 ネットワークMT法観測による阿蘇カルデラの比抵抗構造調査

##### 【実施内容】

本研究は、電磁探査法の中でも長周期データの取得に有利なネットワークMT法の適正な測点配置による観測を、阿蘇カルデラを完全に覆う領域で計画・実施することで、阿蘇カルデラの地殻下部に至る高解像度の3次元比抵抗構造を求め、地殻深部におけるマグマ供給系の存在有無を検討および評価することを最終的な目的としている。調査域は、阿蘇カルデラ外の17エリアとカルデラ内の7エリアからなるが、昨年度までにカルデラ内の7エリアについての観測は終了している。本年度は、カルデラ外の17エリアで観測を実施した。観測に際しては電極の埋設、局舎への収録装置設置を行い、これまでと同様に1エリアにつき3～4ヶ月程度の期間においてデータ収録を行った。収録したデータについては、逐次、電場と磁場の応答関数を求めるデータ解析を行っている。また、カルデラ内の7エリアのデータを用いて、阿蘇カルデラの地殻下部に着目した3次元比抵抗モデルを求めるためのインバージョン解析を実施した。得られたモデルには、カルデラ内の北西域の深部から中央火口丘に向かってせり上がる低比抵抗異常ブロックが存在する。この特徴は、広帯域MT法データによって求めた3次元比抵抗構造モデルや既存のネットワークMT法観測データによって求めた3次元比抵抗構造モデルに表れた北東域の深部から中央火口丘に向かってせり上がる低比抵抗異常ブロックとは異なるもので、今後の検討が必要である。

##### 【調査・研究成果】

###### (1) はじめに

本3カ年プロジェクトで実施した阿蘇カルデラ地域におけるネットワークMT法観測は、本研究に係る前プロジェクト研究において実施した全100観測点の広帯域MT法データによって求めた3次元比抵抗インバージョンモデルによって推定された阿蘇カルデラ地下のマグマの供給経路（マグマ溜まりを含む）を補完検証するための3次元比抵抗構造モデルを得る目的で実施されたものである。広帯域MT法データによって求めた3次元比抵抗インバージョンモデルでは、阿蘇カルデラ内の北東域の深度20km付近から中央火口丘へと延びる低比抵抗異常ブロックの存在が確認された（図3.1.1-1～4）。この低比抵抗異常ブロックは、地球物理的・化学的な先行研究の結果を鑑みれば、中岳火口での現在の活動を支えるマグマの供給経路を反映していると考えられ、さらに、マグマ溜まりが形成されているのは、深度6km程度を中心とした領域である可能性が高いと結論付けられた（Hata et al., 2016; 2018a）。一方で、前プロジェクト研究で求めた広帯域MT法データによる3次元比抵抗モデルには、阿蘇カルデラ西部の深度15～23kmに存在が示唆されている低速度異常領域LB（e.g., Abe et al., 2017）に対応する低比抵抗異常は検出されなかった。低速度異常領域LBが流体の存在に起因すると考える場合、低比抵抗異常が検出されなかった理由としては、①広帯域MT法データの探査深度が足りなかった（ターゲットの深度に感度をもつ周期のデータが含まれていなかった、もしくは、少なかった）ので検出できなかった、②電磁気学的に捉えられる異常が存在しなかった、の2つの理由が大局的に考えられる。理由①については、より長周期のデータを使用して探査深度をのばすことで検証可能である。理由②につ

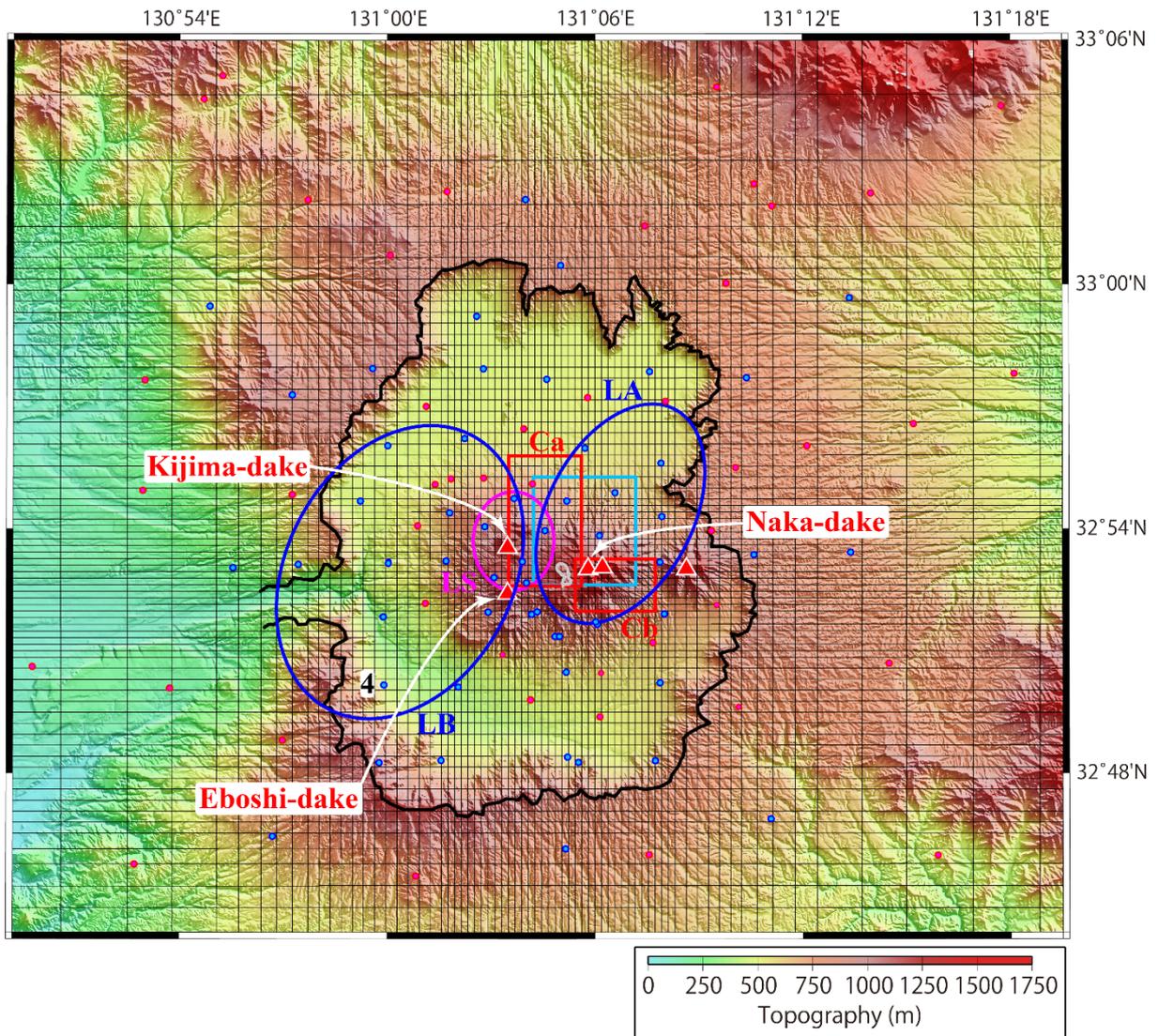


図 3.1.1-1. 阿蘇カルデラ周辺の MT 観測点の位置. ●と●は、平成 27 年度の観測点、および、平成 28 年度の観測点. ▲は中央火口丘の火山、灰色枠は中岳第一火口を表す. 赤色枠の領域 (Ca と Cb) は、2015 年度の観測点のみを用いて求めた 3 次元比抵抗モデルの低比抵抗異常の位置 (Hata et al., 2016). 水色枠、青色枠、ピンク色枠の領域は、それぞれ、深度 15.5km に推定されたシル状の変動源 (国土地理院, 2004), 地震波トモグラフィー解析によって推定された深度 8~15km と 15~23km に分布する S 波の低速度異常領域 LA と LB (Abe et al., 2017), 深度 6km に中心をもつ球状の P 波の低速度異常の領域 LS (Sudo & Kong, 2001) の位置を示す. 【Hata et al., 2018 より引用】

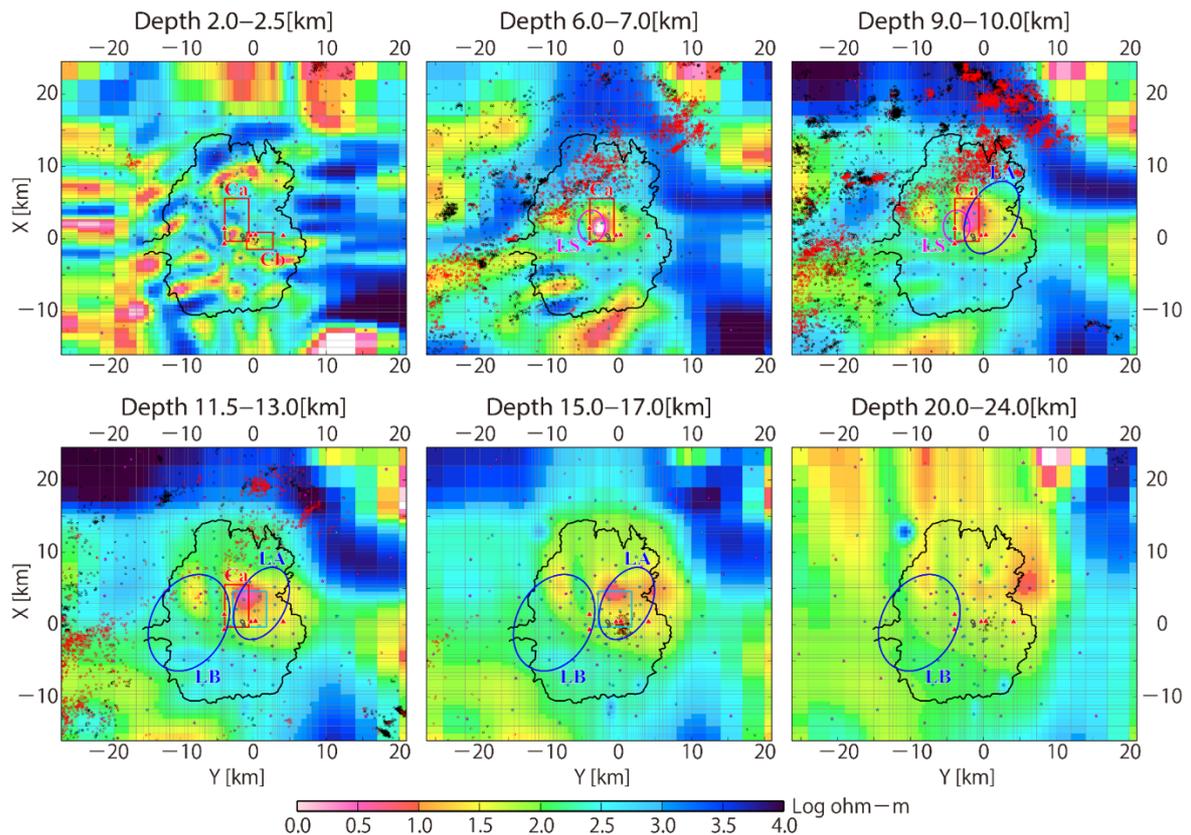


図 3.1.1-2. 3次元比抵抗構造モデルの阿蘇カルデラ周辺の水平断面. ★と☆は MT 観測点, ○と●は, 2003年1月–2013年12月の期間, 2013年1月–2016年12月の期間の気象庁一元化震源の震源分布を表す. その他のシンボルについては, 図1と同様. 【Hata et al., 2018 より引用】

いては、地殻の比抵抗に最も寄与する要素である間隙流体が、ほぼ連結しない状態で存在しているという可能性が考えられ、この検証は容易ではない。しかしながら、温度にも高い感度をもつ電磁探査法データによって求めた構造モデルに低比抵抗異常が現れないということは、メルトなどの高温の間隙流体が多量に存在する可能性は低いことを示唆するとも考えられる。そこで、本プロジェクト研究は、主に探査深度の問題を解決するために、電話回線設備を利用することで長期にわたって安定したデータを取得することが可能なネットワーク MT 法の新規観測網を整備するとともに、地殻下部の高解像度 3 次元比抵抗構造モデルを得ることを目指した検証を実施するものである。さらに、ネットワーク MT 法の新規観測網については、3 次元比抵抗構造解析の深さ方向のモデル解像度に、観測点の面的な分布（広がり）が影響を及ぼすことから、カルデラを完全に覆う 40km 四方にわたる領域で計画・実施した（図 3.1.1-5）。以下では、今年度を実施した観測、および、解析結果を含めた 3 カ年の実績について報告する。

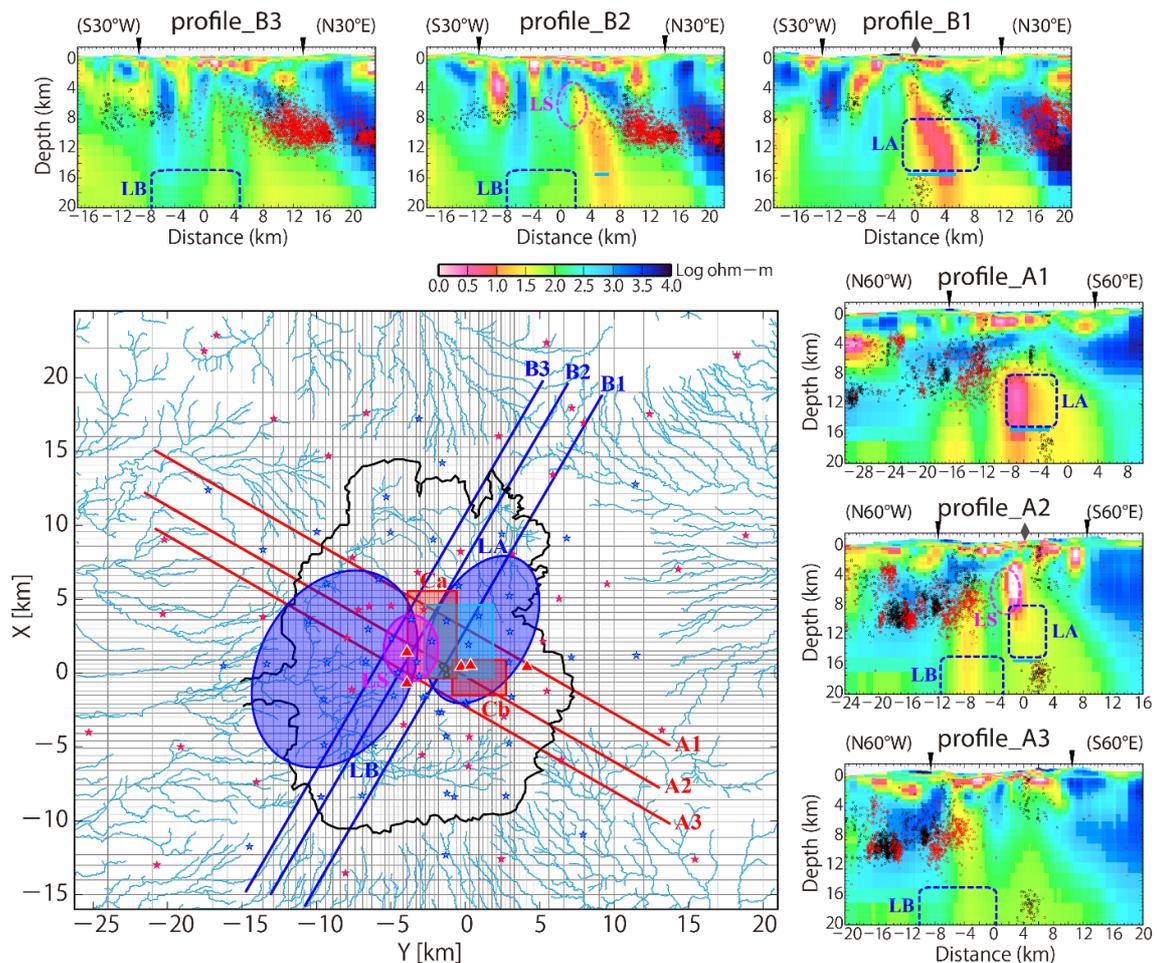


図 3.1.1-3. 3次元比抵抗構造モデルの阿蘇カルデラを横断する鉛直断面. 断面上の▼はカルデラ壁の位置, ◆は中岳第一火口の位置, ○と◐は, 2003年1月–2013年12月の期間, 2013年1月–2016年12月の期間の気象庁一元化震源の震源分布を表す. それぞれのカルデラ横断測線は, 地図上の赤線と青線に対応する. ★と☆はMT観測点を示す. その他のシンボルについては, 図1と同様. 【Hata et al., 2018より引用】

## (2) Network-MT 法の概念

Network-MT法は, Magnetotelluric法(以後, MT法)に基礎をおき, Uyeshima(1990)によって応用発展された手法である. また, 基礎理論であるMT法は, Cagniard(1953)によって提案されたものである. MT法は, 平面電磁場を用いて地下の構造を比抵抗分布として捉える物理探査法であり, その信号源は, 太陽風によって発生する地磁気脈動や雷放電によって発生する空電といった自然電磁場である. 地表から入射し大地に浸透していく電磁場の影響で, 地中では電磁誘導の効果により磁場の変化に伴った誘導電流が生じるが, 大地の比抵抗値は有限であるので, 電磁場エネルギーは熱エネルギーに変換されていく. 従って, 大地に入射した電磁場は, 地下に浸透していく過程で減衰するので, ある周波数の電磁場の減衰の様子を知ることができれば, 逆に大地の比抵抗値を求めることが可能になる. ここで, この地中での電磁場の振舞いはMaxwell方程式に従うので, Maxwell方程式から大地の比抵抗値を求めることができることになる.

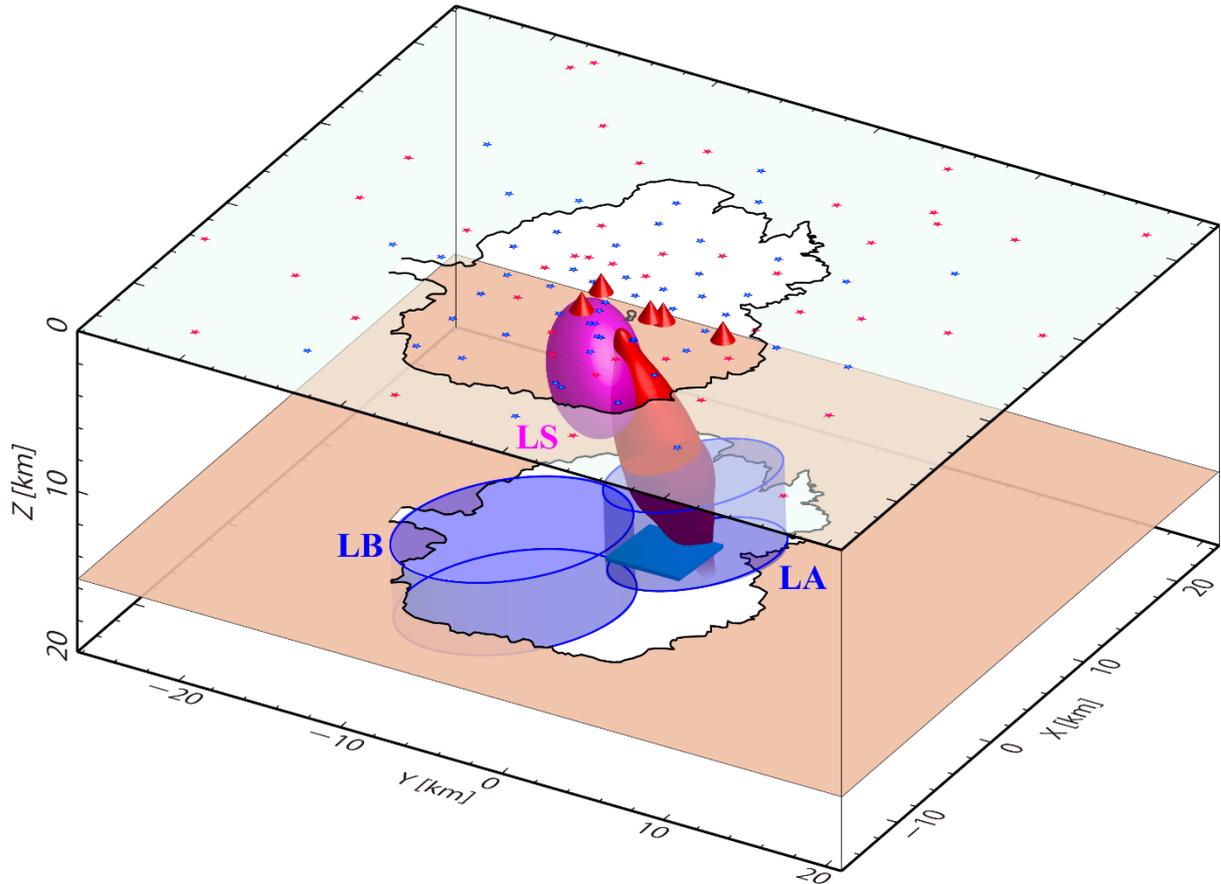


図 3.1.1-4. 3次元比抵抗構造モデルから得られた低比抵抗異常ブロック C1 と先行研究によって得られている異常領域の空間配置. ★と☆は MT 観測点, ▲は中央火口丘の火山を示す. 水色枠■, 青色枠●, ピンク色枠●の領域は, それぞれ, 深度 15.5km に推定されたシル状の変動源 (国土地理院, 2004), 地震波トモグラフィー解析によって推定された深度 8~15km と 15~23km に分布する S 波の低速度異常領域 LA と LB (Abe et al., 2017), 深度 6km に中心をもつ球状の P 波の低速度異常の領域 LS (Sudo & Kong, 2001) の位置を示す. 【Hata et al., 2018 より引用】

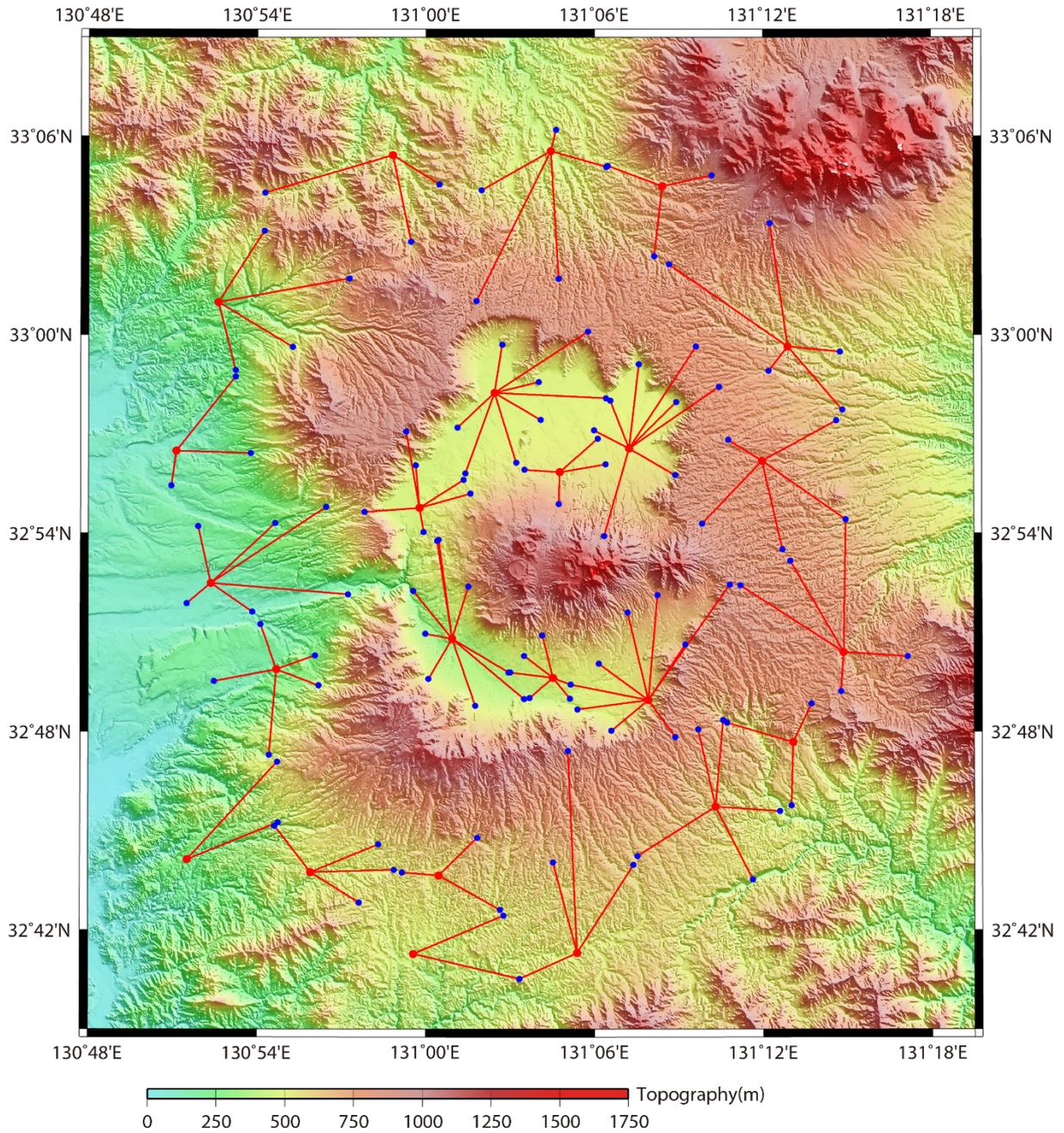


図 3.1.1-5. 3 年計画で実施した電位差観測網（ネット）の分布状況. ●と●は、観測ネットの中心局（電極埋設点）と支点（電極埋設点）を示す. ○のエリアは、熊本地震の影響を大きく受けたエリアであり、一昨年度の現地調査を踏まえて観測網の構築は困難と判断したエリア.

MT 法測定では、直交する 2 方向（南北を X，東西を Y とする）の電場および磁場と鉛直方向の磁場を測定する。観測される電場  $E(\omega)$  と磁場  $H(\omega)$  の間には、次式の関係が成り立つ。

$$\begin{pmatrix} E_X(\omega) \\ E_Y(\omega) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{XX}(\omega) & Z_{XY}(\omega) \\ Z_{YX}(\omega) & Z_{YY}(\omega) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_X(\omega) \\ H_Y(\omega) \end{pmatrix}$$

$Z$  はインピーダンスと呼ばれ、 $2 \times 2$  の行列となる。大地が 2 次元ないし 1 次元であると仮定した場合、その行列の対角項は 0 となり、特に 1 次元の場合には非対角項が同じ値となる。地下の構造が 2 次元であることを前提とした解析を行う場合は、南北方向の電場に対応した項を XY モード、東西方向の電場に対応した項を YX モードと呼ぶ。さらに、2 次元性を持つ地下構造を仮定し、その走向と平行する方向を  $x$  方向として電場と磁場をその方向に回転させたとき、前者を TE モード、後者を TM モードと呼ぶ。それぞれのモードについて、各周波数 ( $f(\omega)$ ) のインピーダンスを用いることで、見掛比抵抗 ( $\rho_a(\omega)$ ) が次式のように求められる。

$$\rho_a(\omega) = \frac{0.2}{f(\omega)} |Z(\omega)|^2$$

ここで、見掛比抵抗は、あくまで各周波数での値であり、実際の大地の比抵抗そのものではない。上記の式で示すように、さまざまな周波数の見掛比抵抗からいろいろな深度の大地の比抵抗が求められる。また、MT 法では見掛比抵抗と同時に、各モードそれぞれに対し、周波数毎の磁場変化に対する電場変化の遅れを位相 ( $\phi(\omega)$ ) として次式のように求める。

$$\phi(\omega) = \arg(Z(\omega))$$

位相は見掛比抵抗同様、地下の比抵抗構造によって変化するため、比抵抗構造解析において重要なパラメータとなる。例えば、地下の構造が均質であれば位相は 45 度となる。位相が 45 度より大きな値になる場合は、より深部が低比抵抗であることを、逆に小さな値となる場合は、より深部が高比抵抗であることを示す指標となる。

また、MT 法測定では、通常、水平方向 2 成分の磁場と鉛直方向の磁場も測定するが、それらの間には、次式のような関係が成り立つ。

$$H_z(\omega) = T_x(\omega) \cdot H_x(\omega) + T_y(\omega) \cdot H_y(\omega)$$

磁場の鉛直成分は、水平成分によって誘導された電場が不均一であるときに生じる。ここで、上式の  $T_x$ 、 $T_y$  は、ティッパーと呼ばれる。ティッパーは、複素数で表現されるが、その実数部を用いて、ベクトル表示したものをインダクションベクトルと呼ぶ(Parkinson, 1962)。このベクトルは、一般に、低比抵抗異常がある方向を向き、値が 1 に近いほど比抵抗コントラストが大きいことを示すので、地下の比抵抗変化が急激な部分を示す指標となる。

ネットワーク MT 法の基礎理論は MT 法と同様に、自然電磁場を用いることにある。一方で、次に述べる測定方法における違いが、長周期データ取得に関するネットワーク MT 法の優位性を生む。ネットワーク MT 法では、電極として NTT (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) の通信局舎アースや自作の非分極性電極を、さらに、電極をつなぐケーブルとして NTT のメタリック通信回線を利用し、数 km ～ 数 10 km という長基線で電位差測定を行う。そして、電位差データは、メタリック回線が集められた中心点で収録し、日々、公衆回線やネットワーク回線を介して研究室へと転送される (図 3.1.2-1)。一方で、広帯域 MT 法では、非分極性電極を用いて直交する水平 2 成分の電位差を 10 ～ 100 m 程度の基線で測定し、測定地点において

バッテリー駆動の収録装置でデータ収録を行い、データを回収する。ネットワーク MT 法の優位性は、先ずは、基線長を稼げることに起因した、①高い S/N 比のデータを得やすさ、②スタティックシフトの影響の受けにくさ、にある。また上記の2つの優位性に加え、NTT の通信回線網を利用するので、③安定した電位差測定を長期間・連続的に実施できる、④観測域の拡大が行いやすい(NTT のメタリック通信回線が分布していることが前提条件)、といった優位性も得られる。さらに、磁場データは、観測領域内または近傍にある磁場観測所などで恒久的（長期間かつ連続的）に取得されているデータ、もしくは、長周期のデータ取得に向いているフラックスゲート磁力計を独自に長期設置することで取得・使用する。

MT 法観測データについてのインピーダンスに相当する電場（電位差）と磁場の比である周波数応答関数  $T_X(\omega)$ ,  $T_Y(\omega)$  は、ネットワーク MT 法観測データについては以下に示すような関係が成立することから求められる。

$$V(\omega) = T_X(\omega) \cdot H_X(\omega) + T_Y(\omega) \cdot H_Y(\omega)$$

ここで、 $V(\omega)$  は、ある測線で測定された電位差であり、 $H_X(\omega)$ ,  $H_Y(\omega)$  は、水平磁場 2 成分である。本研究で最終的に実施する 3 次元比抵抗構造解析では、応答関数  $T_X(\omega)$ ,  $T_Y(\omega)$  を利用することになる。

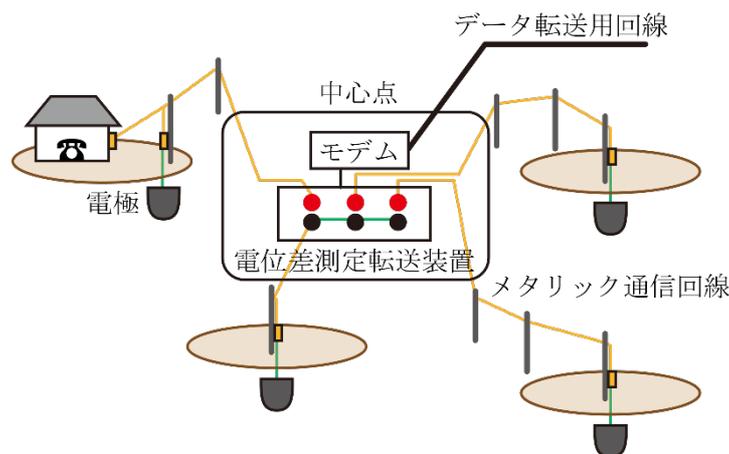


図 3.1.2-1. ネットワーク MT 法観測、および、測定機器配置の概念図。【上嶋, 1995 より改訂】。

### (3) 阿蘇カルデラにおける Network-MT 法観測の概要

#### 3-1) 電位差観測網の分布状況

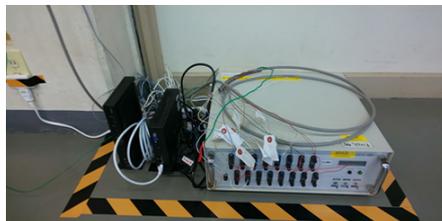
図 3.1.1-5 は、本研究の 3 年計画で実施した阿蘇カルデラを覆う領域における、電位差観測網（ネット）の分布状況を示すものである。図中の赤丸は観測ネットの中心局を、青丸は支点（電柱）を表す。カルデラ内に存在する電位差観測網 8 エリアについては令和元年度に現地調査を終えたが、その結果、熊本地震の影響が大きく残っていた 1 エリア（図 3.1.1-5）については、本研究観測での使用は困難と判断するに至ったため、カルデラ内の電位差観測網は 7 エリアとした。また、カルデラ外周の電位差観測網 17 エリアについての現地調査・土地交渉については令和 2

年度に実施し，図 3.1.1-5 に示す観測点配置を令和 2 年度に確定させた．さらに，カルデラ内 7 エリアの電位差観測は，令和 2 年度末までに実施しデータ収録を終えた．本年度は，カルデラ外周の 17 エリアにおいて電位差観測を実施した．ここで，実際の電位差測定は，中心局付近の電柱位置に埋設した電極と，各支点の電柱位置に埋設した電極との間の電位差を，電話回線網のメタリック線（専用線）を介して測定するが，使用する電柱付近にノイズ源になるようなものが存在しないかの確認を，現地調査によって行っている．電位差データの収録は，エリア毎に全てのメタリック線が中心局に集められてくることから，データ収録装置を中心局に設置し実施している．

### 3-2) 電位差観測とデータ

本観測では，図 3.1.3-1 に示すように，電柱の位置に非分極電極 Pb-PbCl<sub>2</sub> [TIERRA\_TECNICA 社製] を埋設し使用している．その際，電極は，接地抵抗を下げるため，接地抵抗低減剤チコージェル [日本地工株式会社] を用いて電極が完全にチコージェルで覆われるようにした状態にして埋設している．また，電位差データの収録には，測定したデータを ISDN 回線（または，光回線）で研究室のパソコンへ直接転送することができる多チャンネルの電位差データ収録装置を使用している．観測で使用した電位差データ収録装置は，以下に示す 2 種類（タイプ A，タイプ B）の形態である．設定できる収録データのサンプリング間隔は，電位差測定転送装置の種類で異なっているが，本収録では基本的に 1 秒サンプリングを使用している．

#### タイプ A



- ・電位差測定転送装置：SES96 [Ado\_Systems 社製]  
(42 幅×50 奥行×17 厚 cm, max 12.5W)
- ・小型 PC：SESNET [Xstech 社製]  
(21 幅×26 奥行×6.5 厚 cm, max 24W)
- ・ルーター：RT57i [YAMAHA 社製]  
(23 幅×18 奥行×4 厚 cm, max 5W)
- ・モデム：適宜 NTT からレンタル

#### タイプ B



- ・電位差測定転送装置 (小型 PC 内蔵) : NETMT-ELOG8 [NT\_System\_Design 社製]  
34 幅×20 奥行×13 厚 cm, max 6.1W(AC 使用時)
- ・ルーター : NVR500 [YAMAHA 社製]  
(22 幅×16 奥行×4 厚 cm, max 20W), または,  
RTX830 [YAMAHA 社製]  
(22 幅×16 奥行×4 厚 cm, max 11W)
- ・モデム : 適宜 NTT からレンタル

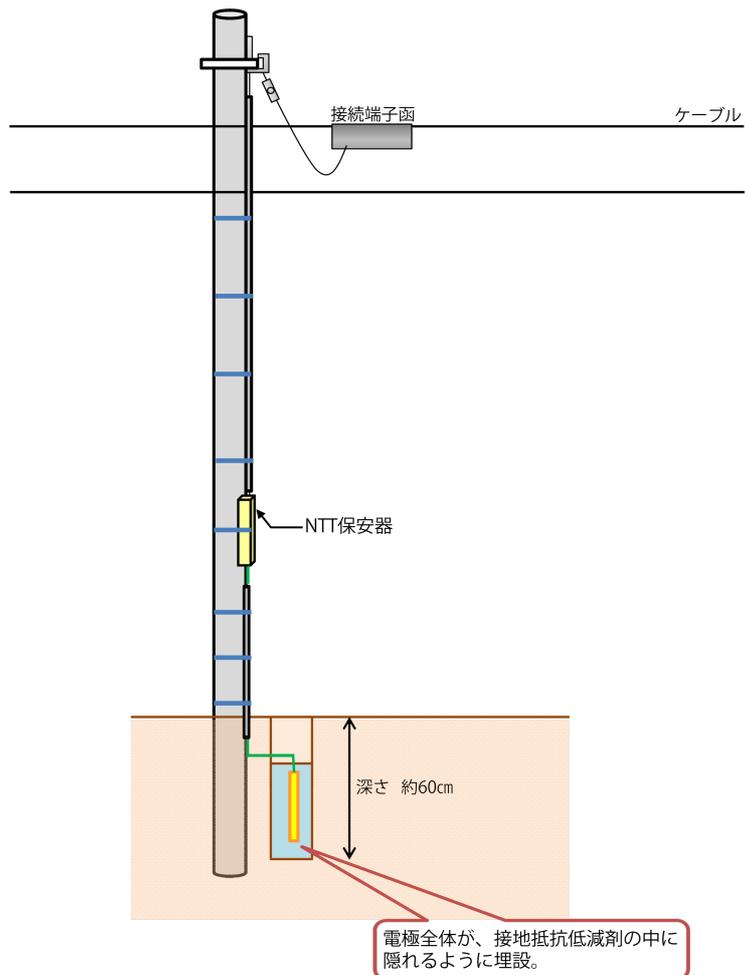


図 3.1.3-1. 電柱位置での電極埋設の概要

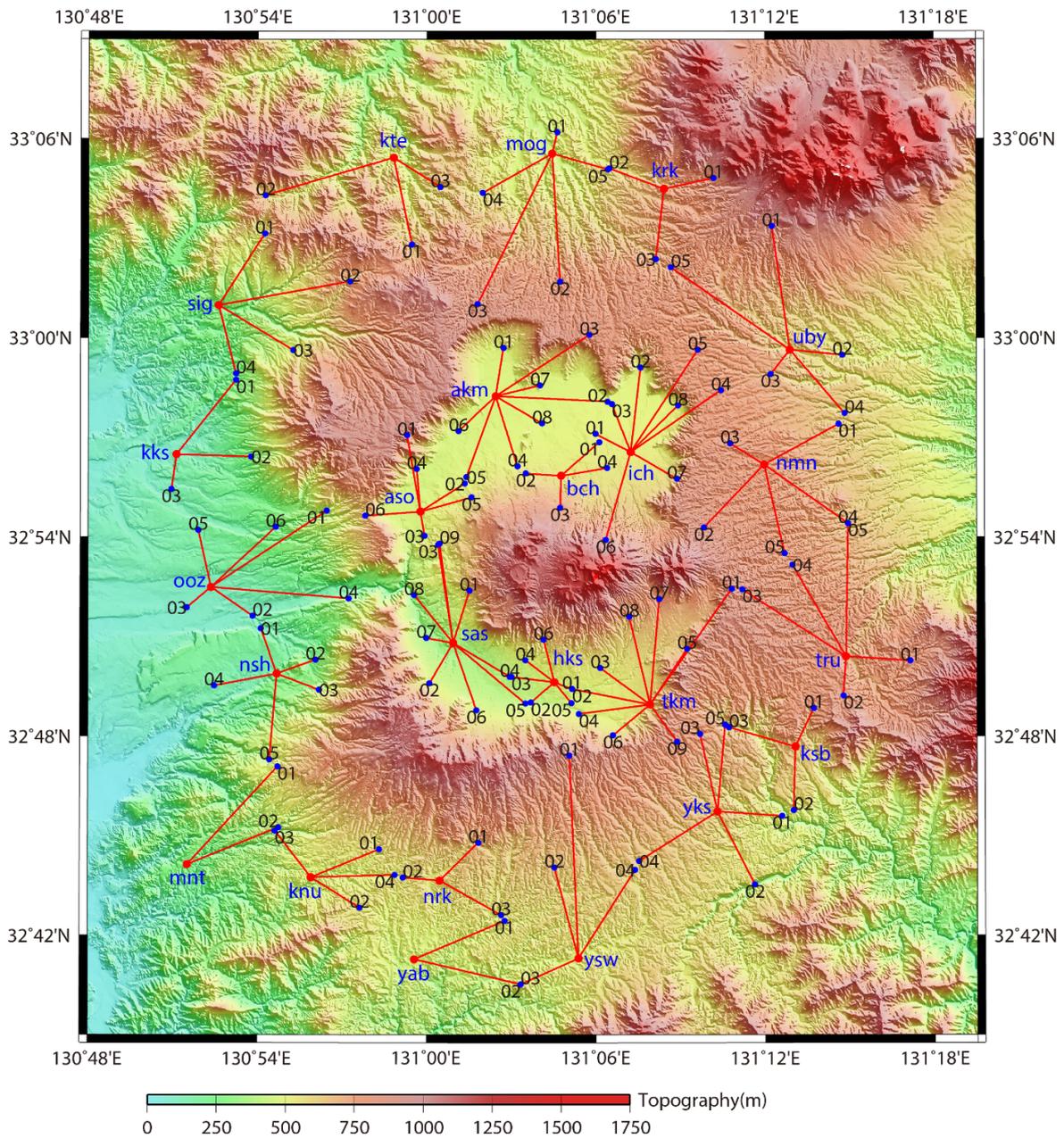


図 3.1.3-2. 2021 年度に電位差測定を実施した 17 エリア (kte, ysw, yab, nrk, sig, mnt, knu, nsh, ooz, kks, yks, ksb, tru, mog, krk, uby, nmn), 昨年度に電位差測定を実施した 5 エリア (aso, ich, akm, bch, tkm), および、一昨年度に電位差測定を実施した 2 エリア (sas, hks). ●と●は、観測ネットの中心局 (グランド電極埋設点) と支点 (電極埋設点) を示す。

本年度の電位差観測は、図 3.1.3-2 に示すカルデラ外周の 17 エリアについて実施した。カルデラ内の 7 エリアについては、昨年度までに観測実施しデータ取得済みである。各エリアの観測点 (電極埋設点) 情報については、今年度までの実施エリアの全てを表 3.1-1 に示す。また、本年度の収録データについては、磁場データとの相関確認のために地磁気活動度の高い日 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25, 2021 年 11 月 4 日 : k 指数合計 37) の波形を、例として図 3.1.3-3 に示す。該当日の磁場データの波形については、図 3.1.3-4 を参照のこと。図 3.1.3-5 には、参考の

ため, 本研究観測期間と重なる 2019 年 10 月～2022 年 1 月の期間の気象庁地磁気観測所(柿岡)の K 指数も示す.

表 3.1-1. 各エリアごとの測点情報 (\*印は中心局近傍のグランド点)

エリア名	測点_番号	緯度 (北緯)	経度 (東経)	観測期間
sas	1	131°1'31.11"	32°52'23.02"	2019/09/27-2020/01/31
	2	131°0'5.91"	32°49'35.26"	
	3	131°0'24.1"	32°53'46.0"	
	4	131°2'56.83"	32°49'47.37"	
	5	131°3'30.06"	32°48'58.62"	
	6	131°1'45.83"	32°48'46.43"	
	7	130°59'58.9"	32°50'57.3"	
	8	130°59'33.3"	32°52'15.2"	
	9	131°0'27.29"	32°53'48.18"	
	*0	131°0'56.3"	32°50'48.2"	
hks	1	131°5'9.20"	32°49'25.06"	2019/09/27-2020/01/31
	2	131°3'41.33"	32°49'0.57"	
	3	131°3'0.00"	32°49'47.0"	
	4	131°3'30.27"	32°50'17.23"	
	5	131°5'7.9"	32°48'59.3"	
	6	131°4'8.68"	32°50'54.7"	
	*0	131°4'31.5"	32°49'37.3"	
aso	1	131°2'43.2"	32°59'42.1"	2020/08/20-2021/01/07
	2	131°6'24.5"	32°58'4.91"	
	3	131°5'46.1"	33°0'5.51"	2020/11/13-2021/03/31
	4	131°3'12.9"	32°56'7.9"	2020/08/20-2021/01/07
	5	131°1'24.41"	32°55'48.37"	
	6	131°1'7.7"	32°57'11.5"	
	7	131°4'1.38"	32°58'34.15"	
	8	131°4'5.28"	32°57'25.38"	
	*0	131°2'26.7"	32°58'14.5"	
ich	1	131°5'59.0"	32°57'6.4"	2020/08/20-2021/01/05
	2	131°7'35.0"	32°59'6.25"	
	3	131°6'33.8"	32°58'0.45"	
	4	131°10'26.2"	32°58'25.5"	
	5	131°9'36.97"	32°59'38.31"	

	6	131°6'20.7"	32°53'54.9"	
	7	131°8'52.2"	32°55'45.1"	
	8	131°8'55.0"	32°57'58.1"	
	*0	131°7'14.0"	32°56'33.5"	
akm	1	130°59'18.2"	32°57'4.07"	2020/08/20-2021/01/04
	2	130°1'21.1"	32°55'36.8"	
	3	130°59'55.8"	32°54'2.1"	
	4	130°59'47.8"	32°55'50.4"	
	5	131°1'35.3"	32°55'11.5"	
	6	131°0'18.4"	32°49'33.8"	
	*0	131°59'46.5"	32°54'45.7"	
bch	1	131°6'7.41"	32°56'51.5"	2020/08/20-2021/01/05
	2	131°3'30.4"	32°55'54.9"	
	3	131°4'44.1"	32°54'52.5"	
	4	131°6'24.2"	32°56'4.68"	
	*0	131°4'45.7"	32°55'50.5"	
tkm	1	131°10'48.7"	32°52'26.4"	2020/08/20-2021/01/04
	2	131°5'9.95"	32°49'25.13"	2020/10/23-2021/01/04
	3	131°6'9.16"	32°49'25.13"	2020/08/20-2021/01/04
	4	131°5'23.3"	32°48'40.0"	
	5	131°9'13.6"	32°50'37.5"	
	6	131°6'36.2"	32°48'1.35"	
	7	131°8'14.53"	32°52'7.45"	
	8	131°7'10.61"	32°51'36.14"	
	9	131°8'52.4"	32°47'50.0"	
	*0	131°7'55.0"	32°48'57.0"	2020/09/17-2021/01/04
kte	1	130°59'28.5"	33°02'48.9"	2021/06/08-2021/10/05
	2	130°54'16.8"	33°04'17.8"	
	3	131°00'29.3"	33°04'32.8"	
	*0	130°58'49.4"	33°05'25.8"	
ysw	1	131°5'3.1"	32°47'24.5"	2021/07/09-2021/10/04
	2	131°4'31.2"	32°44'2.74"	2021/06/09-2021/10/04
	3	131°3'20.1"	32°40'31.2"	
	4	131°7'23.1"	32°43'58.3"	2021/07/09-2021/10/04
	*0	131°5'22.6"	32°41'17.9"	2021/06/09-2021/10/04
yab	1	131°2'45.9"	32°42'25.9"	2021/06/09-2021/10/04
	2	131°3'20.1"	32°40'31.2"	

	*0	130°59'33.77"	32°41'16.52"	
nrk	1	131°1'49.9"	32°44'47.4"	2021/06/09-2021/10/04
	2	130°59'9.93"	32°43'44.23"	
	3	131°2'38.6"	32°42'36.2"	
	*0	131°0'27.9"	32°43'38.8"	
sig	1	130°54'15.3"	33°3'8.8"	2021/07/09-2021/10/05
	2	130°57'16.9"	33°1'42.2"	2021/06/10-2021/10/05
	3	130°53'16.1"	32°59'37.6"	
	4	130°53'13.84"	32°58'55.49"	
	*0	130°52'37.2"	33°0'58.96"	
mnt	1	130°54'43.45"	32°47'5.14"	2021/06/11-2021/10/04
	2	130°54'44.65"	32°45'15.01"	2021/07/10-2021/10/04
	*0	130°51'30.83"	32°44'7.84"	2021/06/11-2021/10/04
knu	1	130°57'31.8"	32°43'39.5"	2021/06/11-2021/10/04
	2	130°57'37.5"	32°42'49.7"	
	3	130°54'46.71"	32°47'04.47"	
	4	130°55'28.0"	32°44'16.8"	
	*0	130°55'54.4"	32°43'44.7"	
nsh	1	130°54'7.54"	32°51'14.83"	2021/06/12-2021/10/04
	2	130°56'3.8"	32°50'18.0"	
	3	130°56'10.9"	32°49'23.8"	2021/07/08-2021/10/04
	4	130°52'27.9"	32°49'31.2"	
	5	130°54'25.65"	32°47'17.83"	2021/06/12-2021/10/04
	*0	130°54'32.8"	32°47'6.49"	
ooz	1	130°56'27.59"	32°54'47.64"	2021/08/26-2022/01/16
	2	130°53'49.84"	32°51'37.24"	2021/06/10-2022/01/16
	3	130°51'29.6"	32°51'52.2"	
	4	130°57'14.2"	32°52'8.84"	
	5	130°51'54.3"	32°54'12.2"	
	6	130°54'38.9"	32°54'18.0"	
	*0	130°52'21.3"	32°52'29.3"	
kks	1	130°53'14.13"	32°58'44.05"	2021/06/10-2022/01/11
	2	130°53'46.1"	32°56'25.2"	2021/07/08-2022/01/11
	3	130°50'57.06"	32°55'26.57"	2021/06/10-2022/01/11
	*0	130°51'7.7"	32°56'29.1"	
yks	1	131°5'3.1"	32°47'24.5"	2021/10/23-2022/01/17
	2	131°11'37.2"	32°43'32.0"	2021/10/13-2022/01/17

	3	131°9'41"	32°48'4.0"	
	4	131°7'31.6"	32°44'14.1"	2021/10/23-2022/01/17
	5	131°10'34.4"	32°48'20.9"	2021/10/13-2022/01/17
	*0	131°10'18.1"	32°45'43.7"	
ksb	1	131°13'43.24"	32°48'50.51"	2021/10/13-2022/01/13
	2	131°13'0.08"	32°45'46.11"	
	3	131°10'42.5"	32°48'16.0"	
	*0	131°13'3.65"	32°47'40.81"	
tru	1	131°17'8.4"	32°50'16.2"	2021/10/13-2022/01/13
	2	131°14'45.86"	32°49'12.85"	
	3	130°11'19.7"	32°52'13.0"	2021/10/15-2022/01/17
	4	131°12'57.8"	32°53'9.45"	2021/10/13-2022/01/17
	5	131°14'56.27"	32°54'24.71"	
	*0	131°14'51.6"	32°50'24.2"	
mog	1	131°4'38.0"	33°6'11.7"	2021/10/14-2022/02/28
	2	131°4'43.8"	33°1'41.4"	
	3	131°1'48.5"	33°1'1.19"	
	4	131°1'59.0"	33°4'22.0"	2021/11/11-2022/02/28
	5	131°6'25.8"	33°5'4.41"	2021/10/21-2022/02/28
	*0	131°4'27.2"	33°5'33.3"	2021/10/14-2022/02/28
krk	1	131°10'11.0"	33°4'48.9"	2021/10/21-2022/02/28
	2	131°6'28.54"	33°5'6.47"	2021/10/14-2022/02/28
	3	131°8'7.81"	33°2'22.73"	
	*0	131°8'25.2"	33°4'29.5"	
uby	1	131°12'14.6"	33°3'22.1"	2021/10/15-2022/01/17
	2	131°14'44.2"	32°59'29.2"	
	3	131°12'12.2"	32°58'54.3"	
	4	131°14'49.07"	32°57'43.72"	2021/10/29-2022/01/17
	5	131°8'39.93"	33°2'7.46"	
	*0	131°12'53.0"	32°59'38.4"	2021/10/15-2022/01/17
nmn	1	131°14'36.5"	32°57'24.3"	2021/10/15-2022/01/17
	2	131°9'49.7"	32°54'17.0"	
	3	131°10'45.5"	32°56'49.0"	
	4	131°14'56.27"	32°54'24.71"	
	5	131°12'41.49"	32°53'30.26"	
	*0	131°11'57.8"	32°56'11.0"	

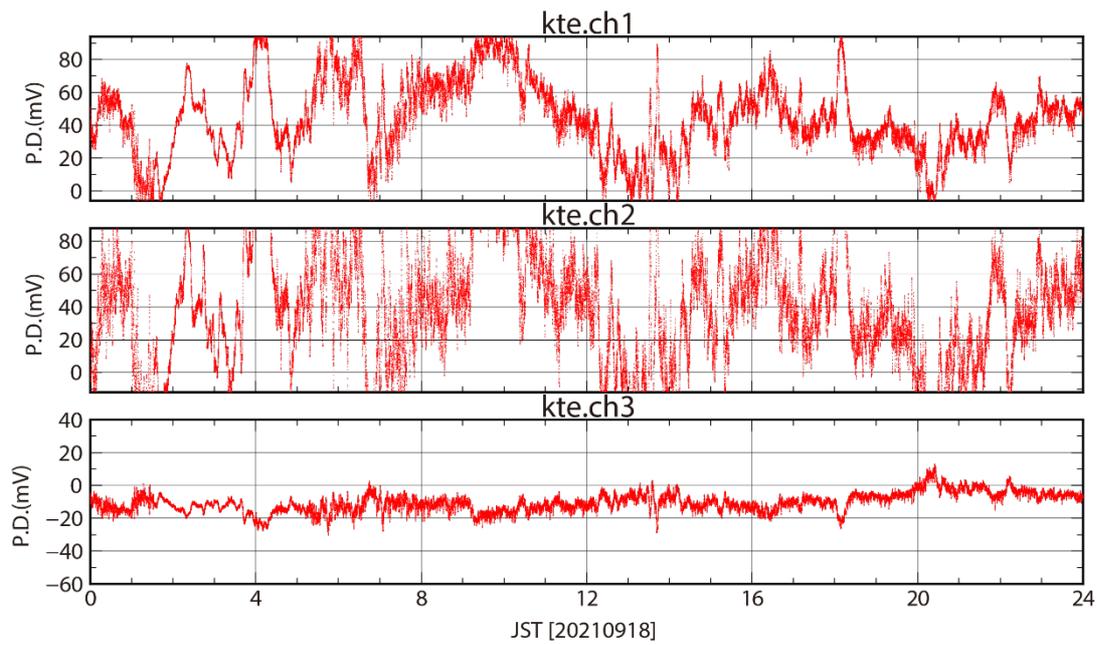


図 3.1.3-3-1. kte エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25)

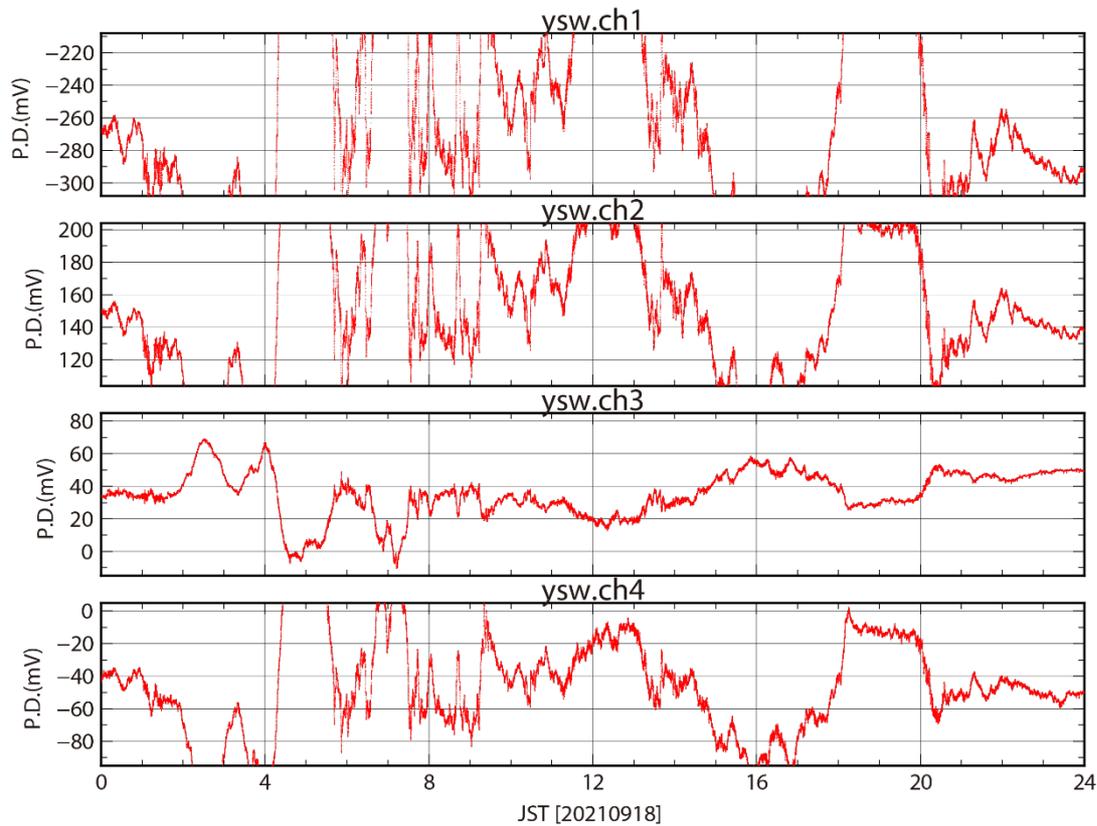


図 3.1.3-3-2. ysw エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25)

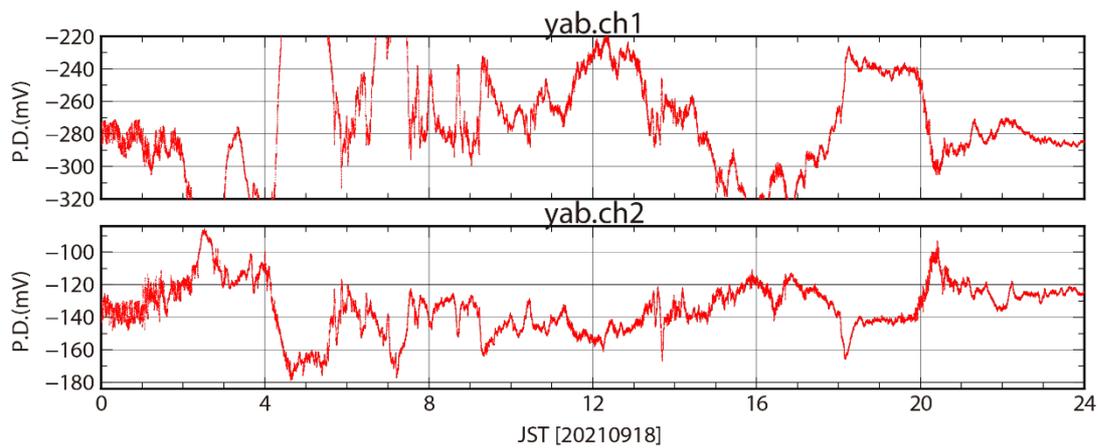


図 3.1.3-3-3. yab エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25)

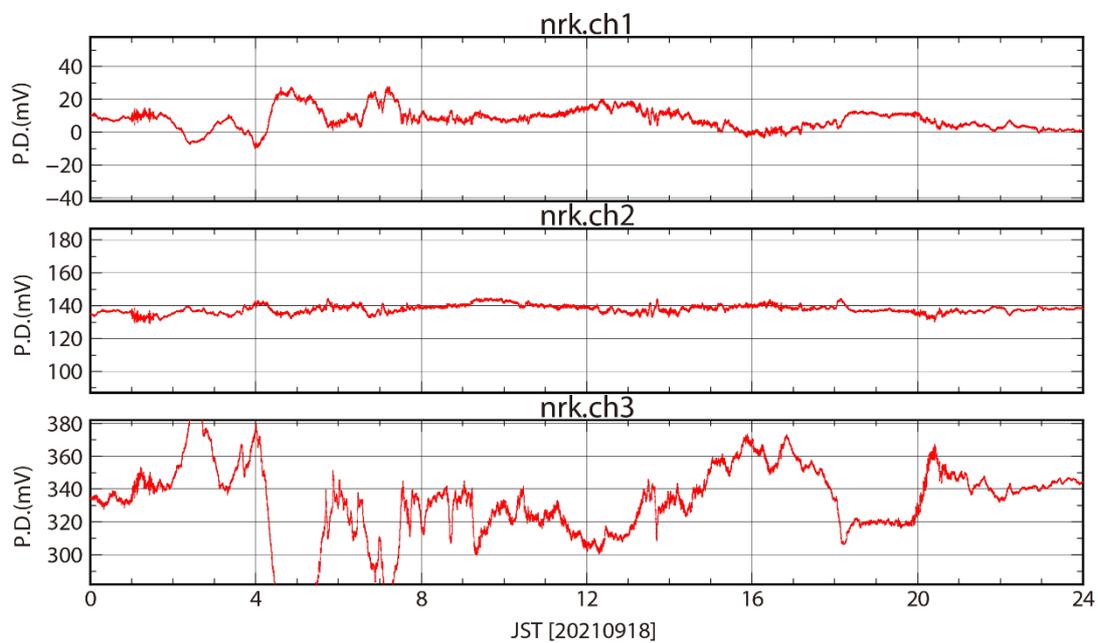


図 3.1.3-3-4. nrk エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25)

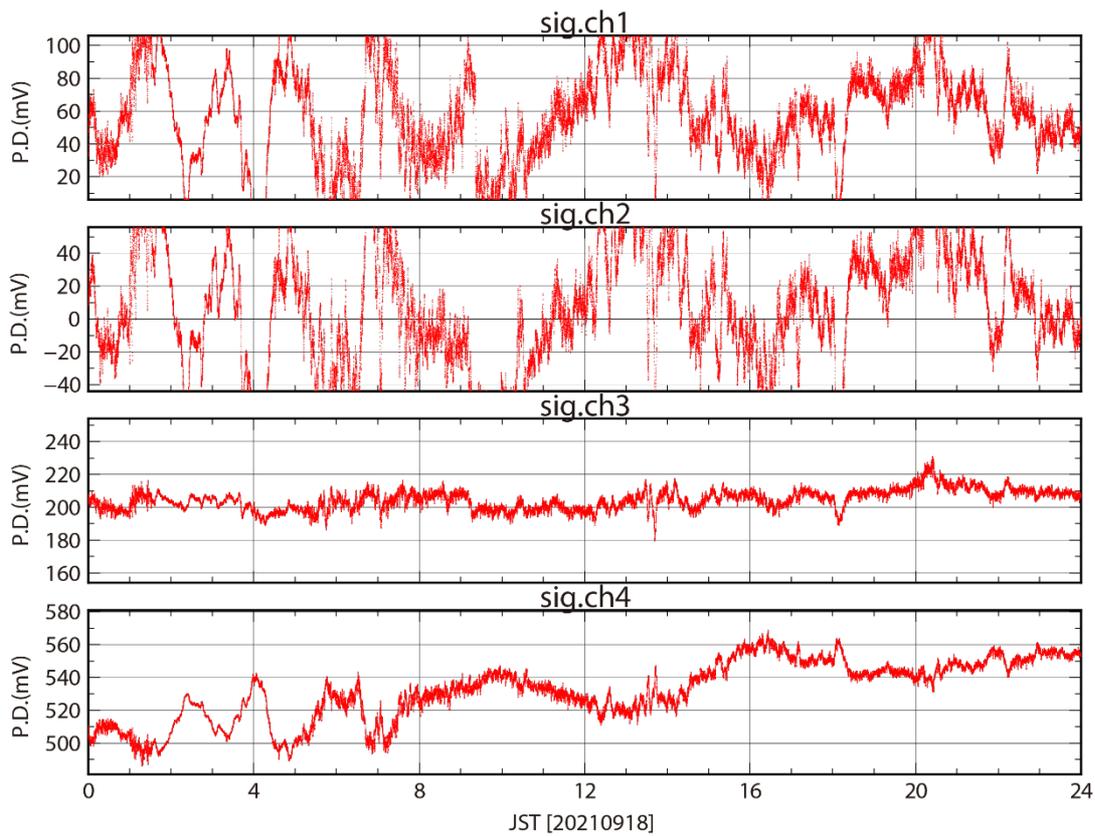


図 3.1.3-3-5. sig エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25)

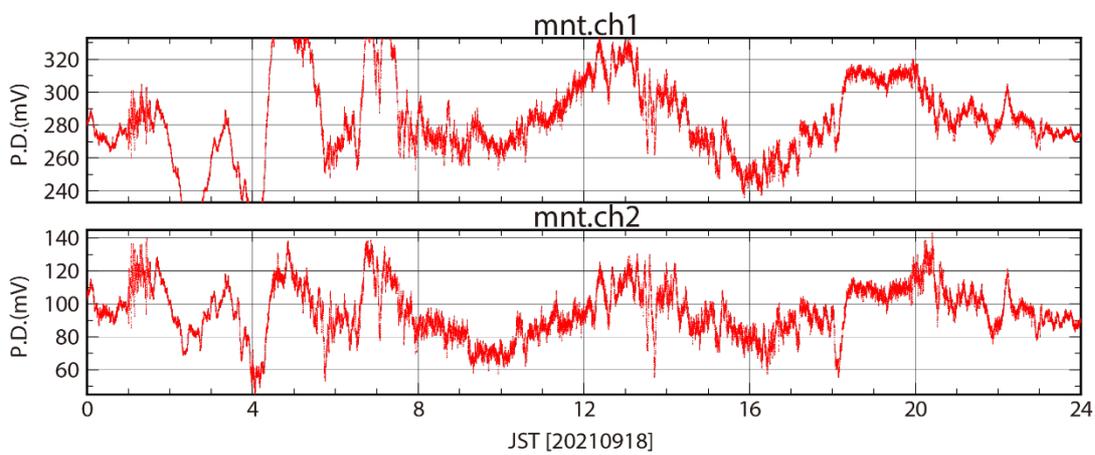


図 3.1.3-3-6. mnt エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25)

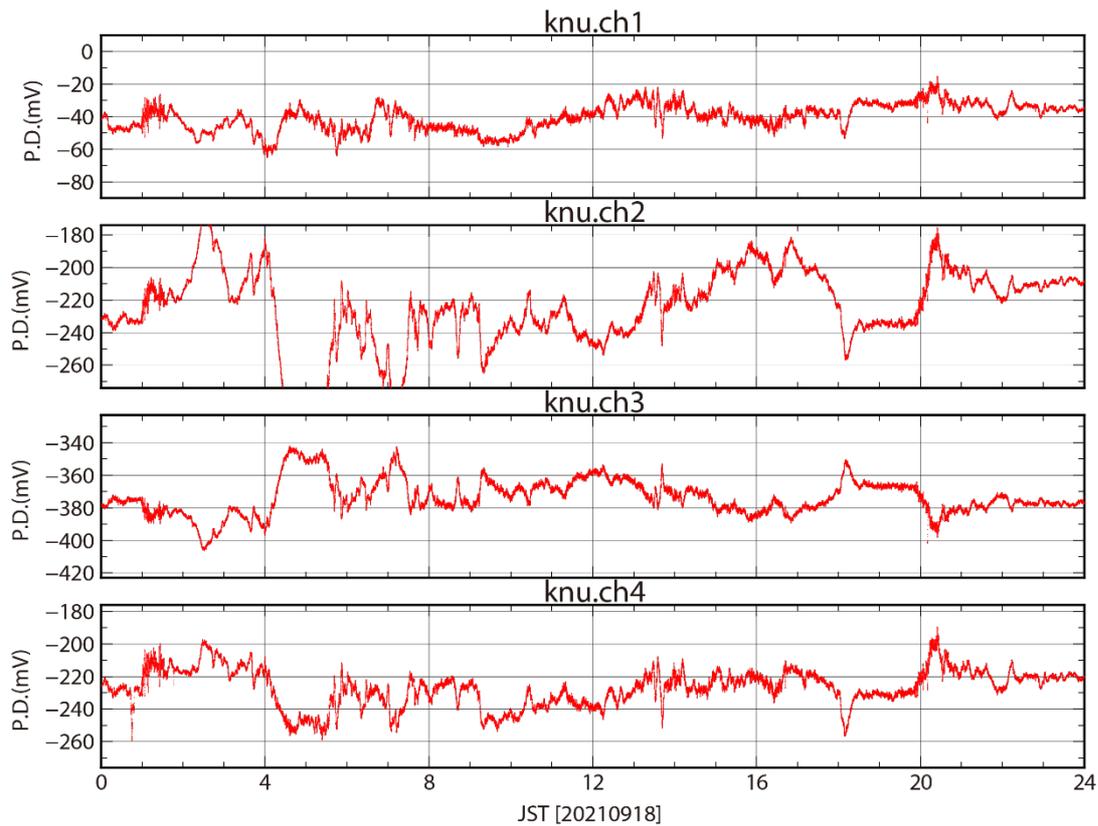


図 3.1.3-3-7. knu エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25)

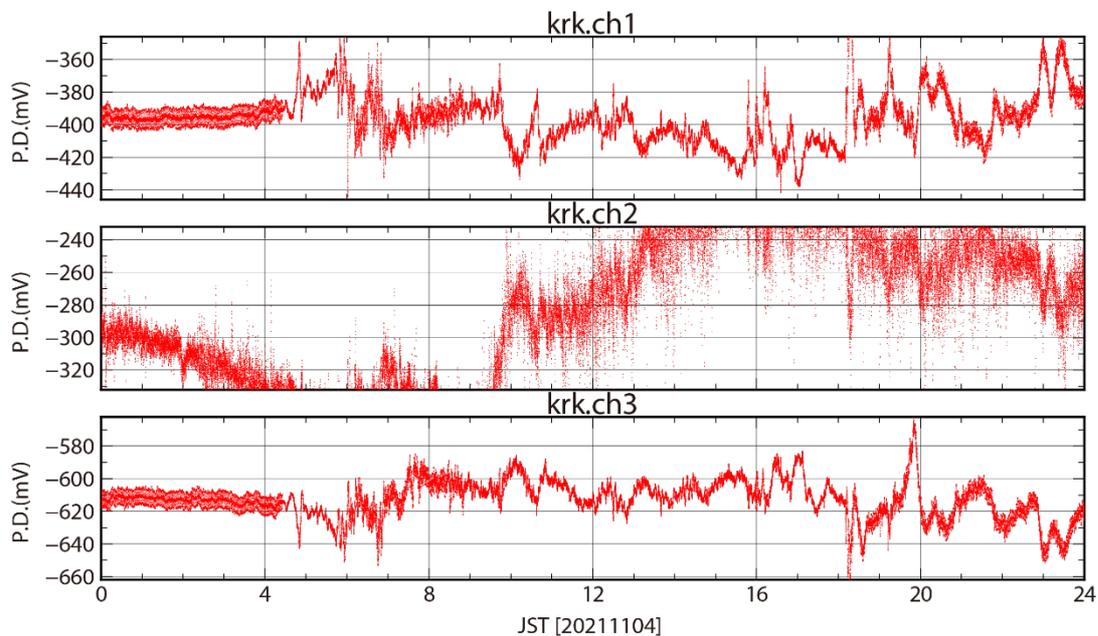


図 3.1.3-3-8. krk エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 11 月 4 日 : k 指数合計 37)

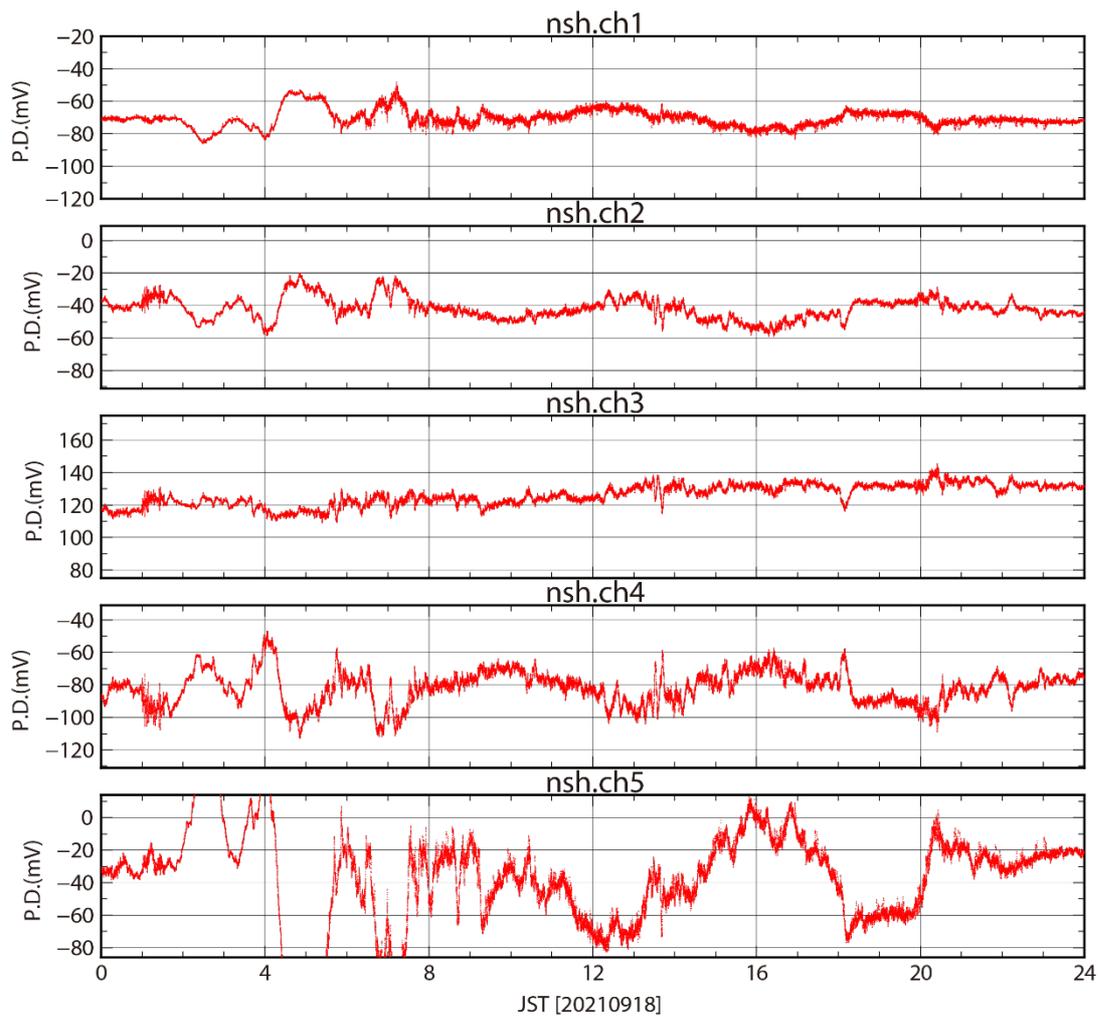


図 3.1.3-3-9. nsh エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25)

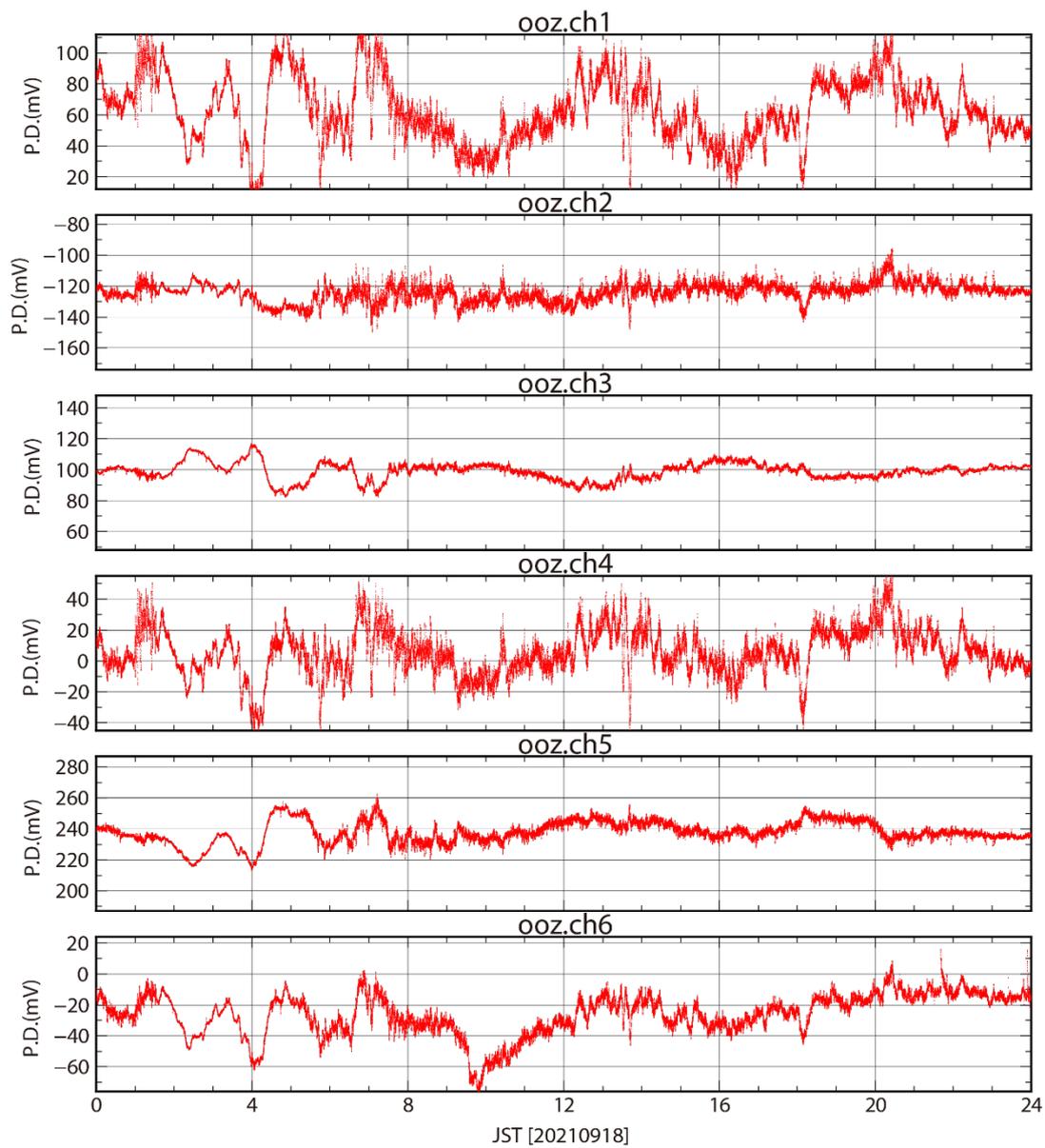


図 3.1.3-3-10. ooz エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25)

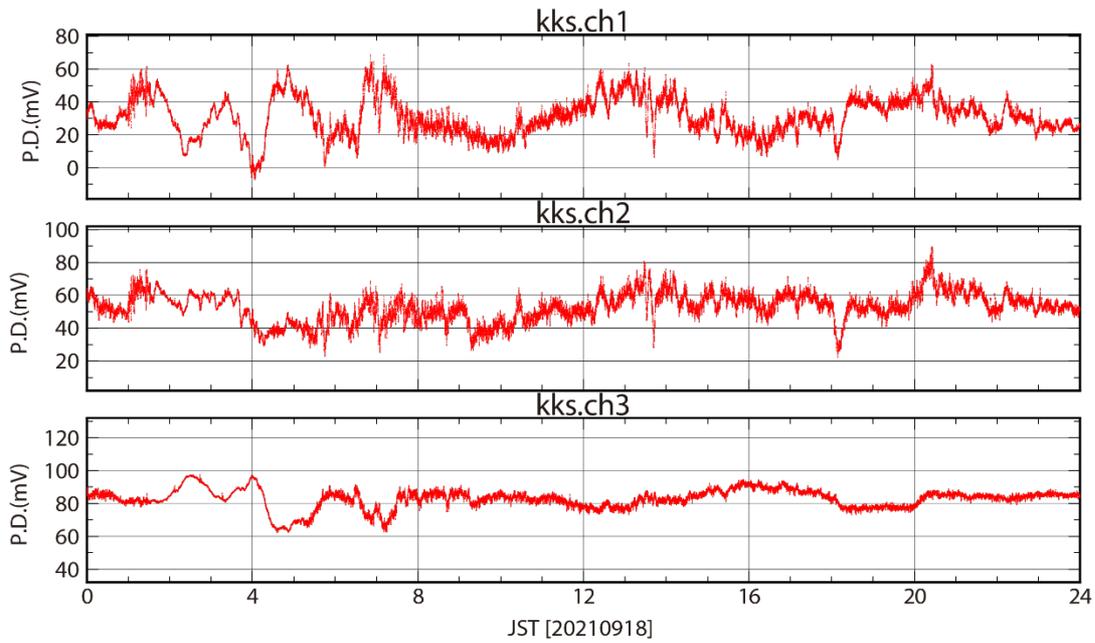


図 3.1.3-3-11. kks エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25)

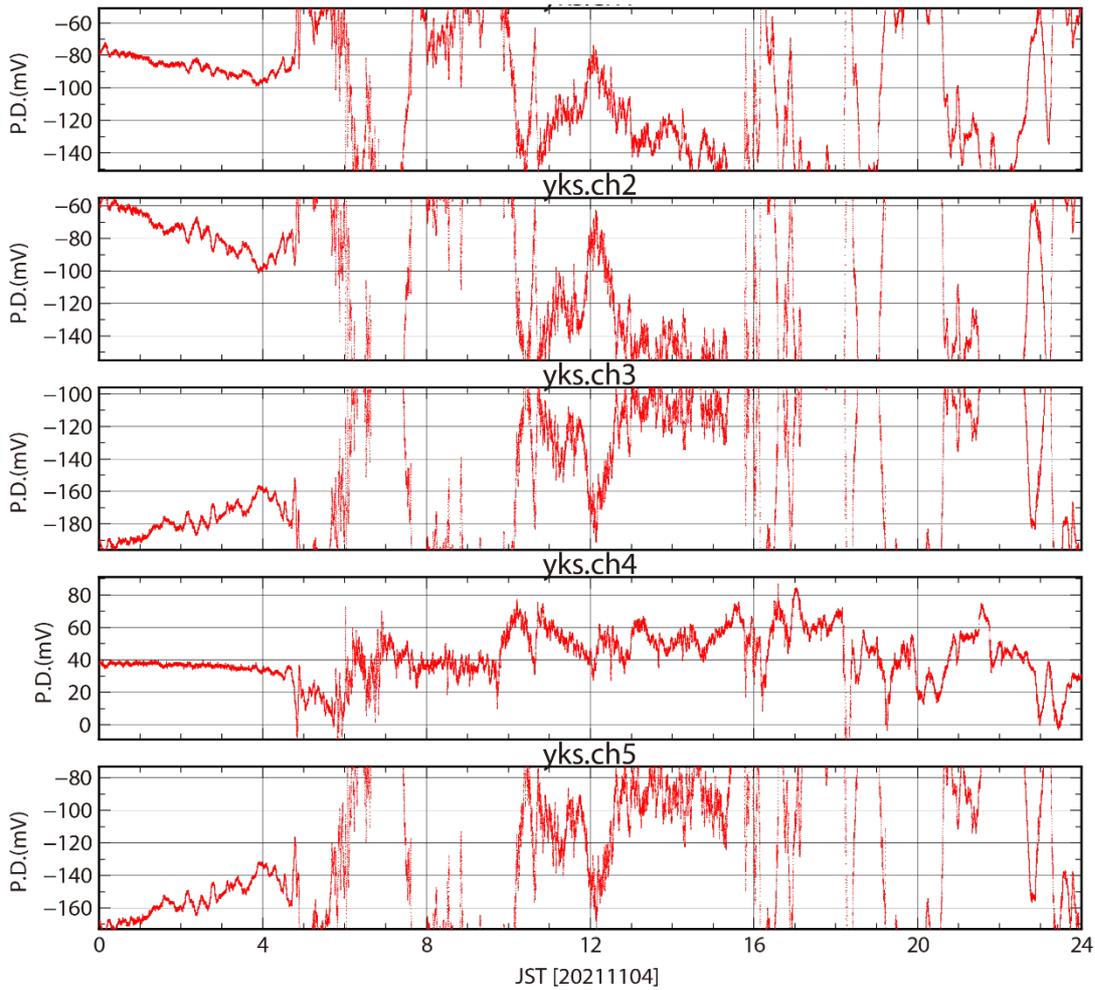


図 3.1.3-3-12. yks エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 11 月 4 日 : k 指数合計 37)

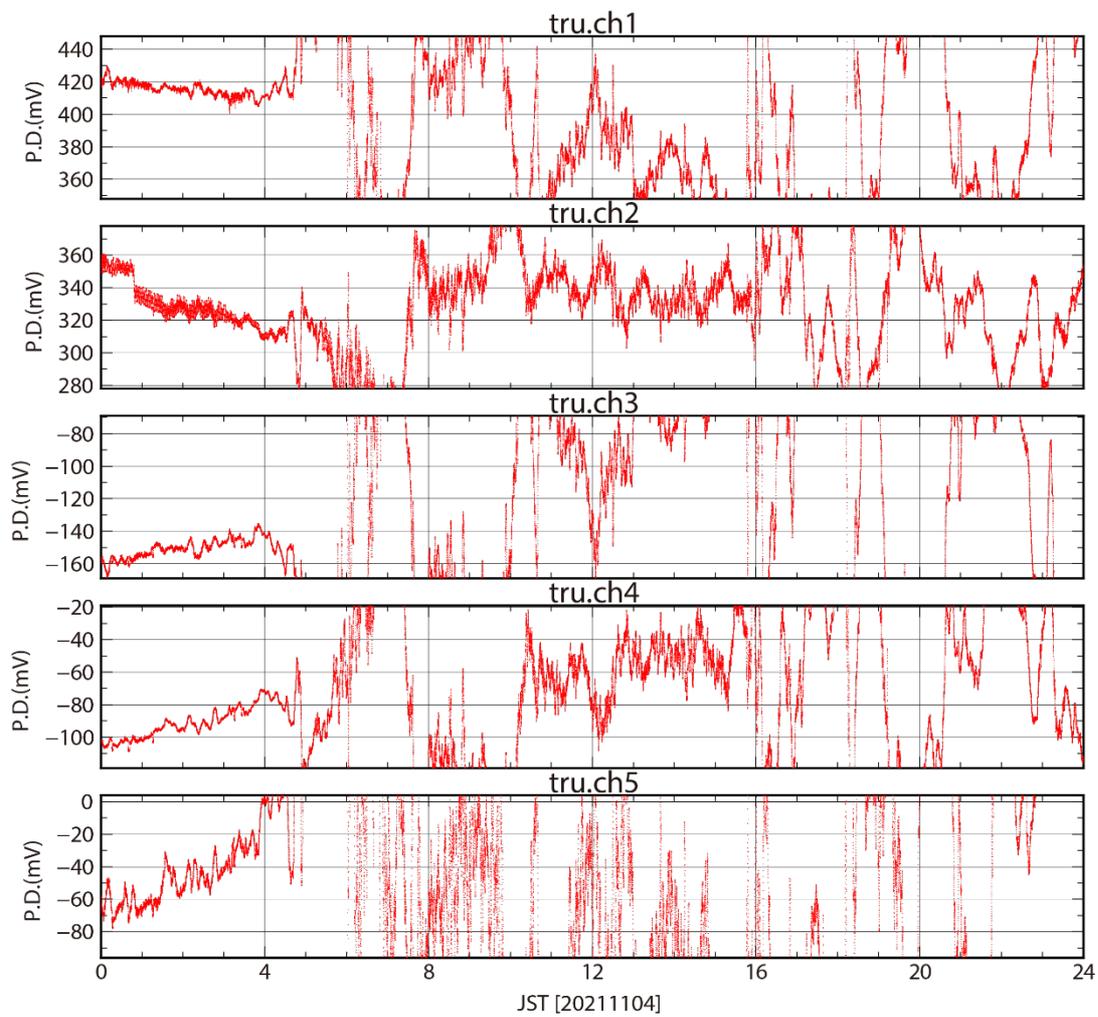


図 3.1.3-3-13. tru エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 11 月 4 日 : k 指数合計 37)

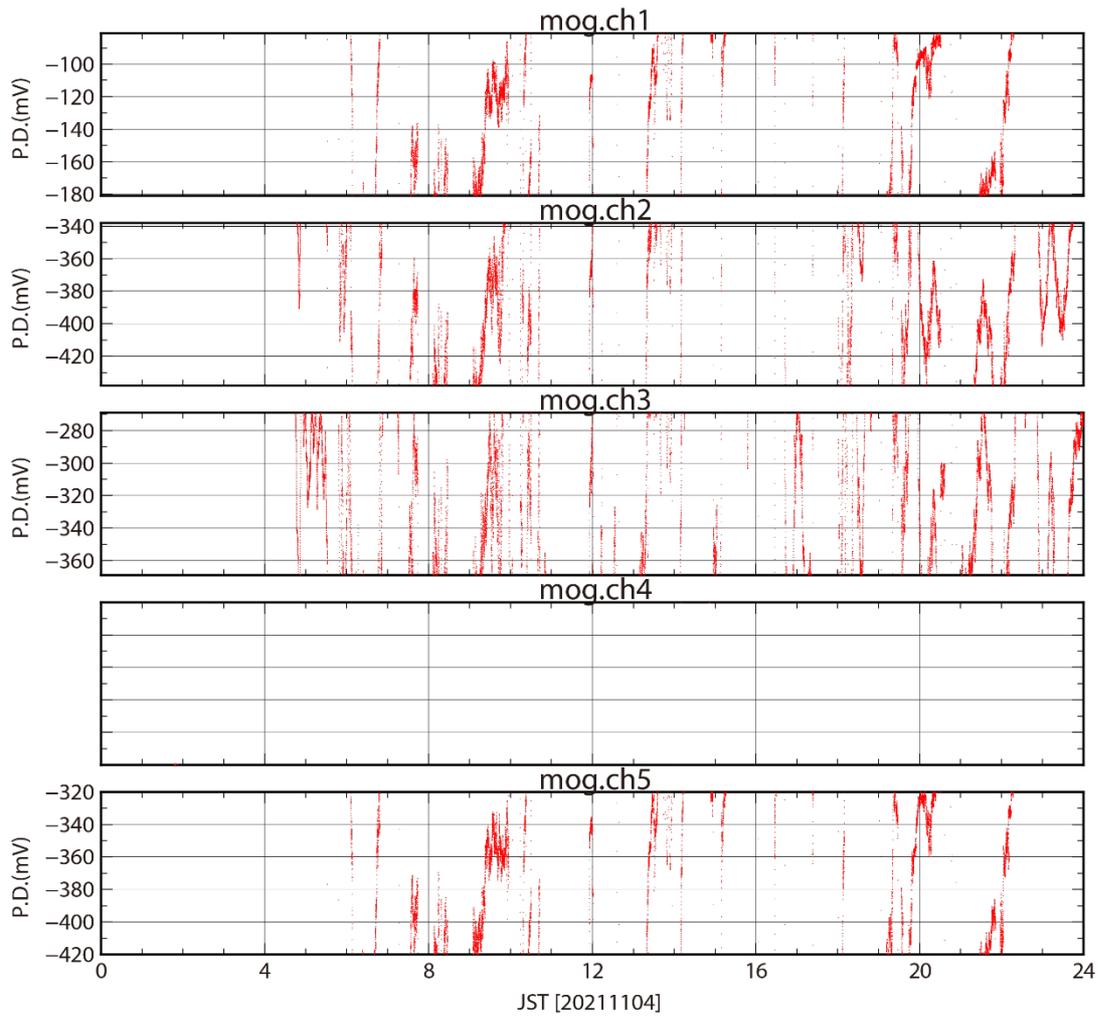


図 3.1.3-3-14. mog エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 11 月 4 日 : k 指数合計 37)

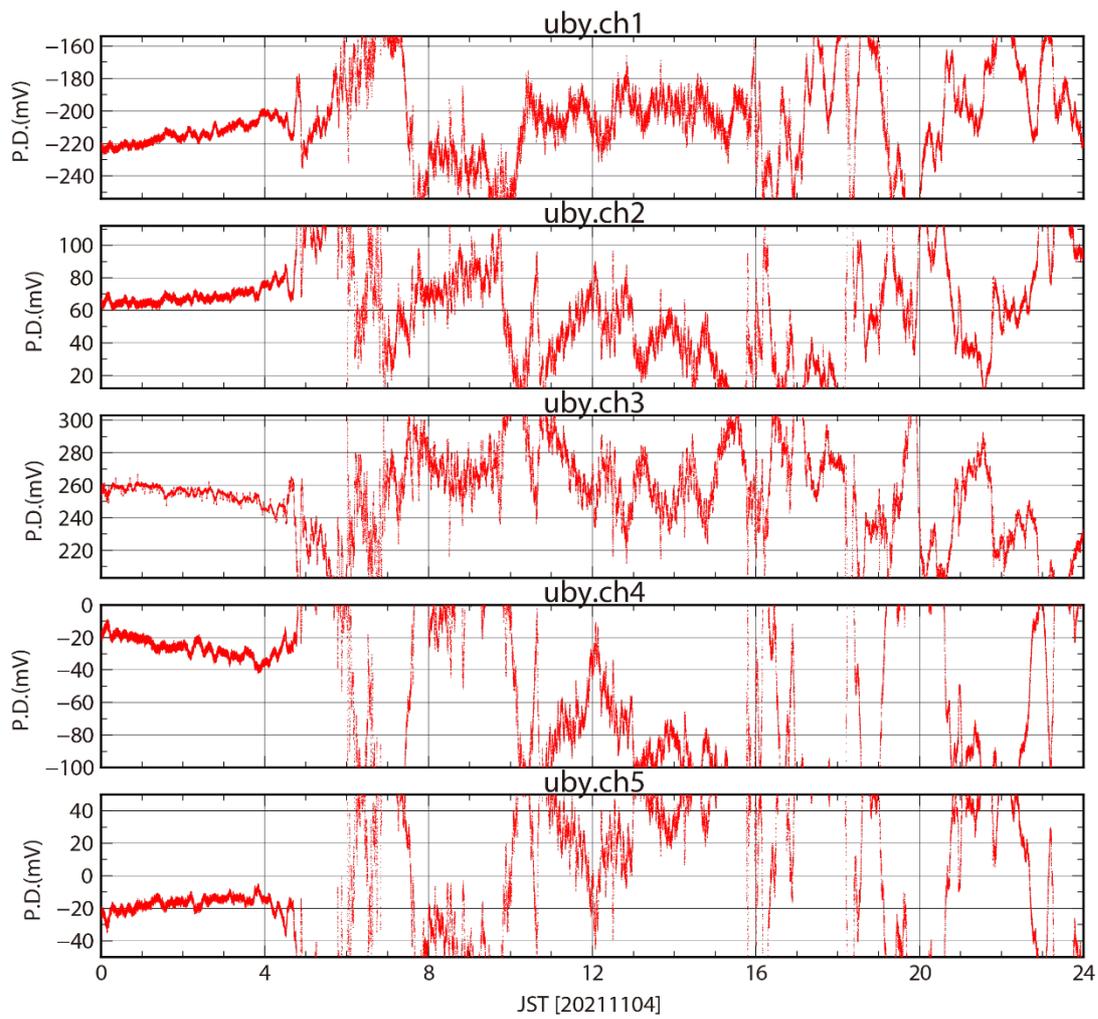


図 3.1.3-3-15. uby エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 11 月 4 日 : k 指数合計 37)

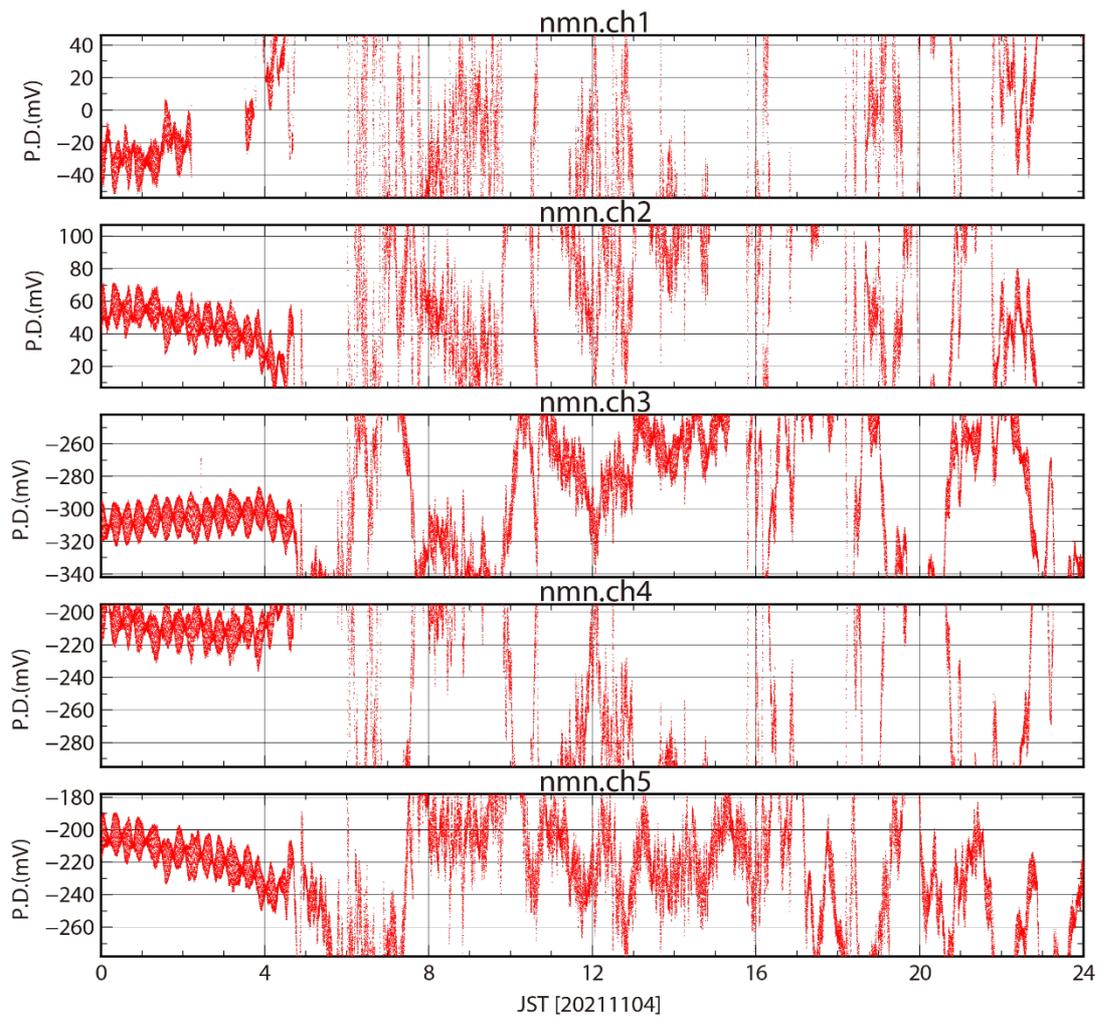


図 3.1.3-3-16. nmn エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 11 月 4 日 : k 指数合計 37)

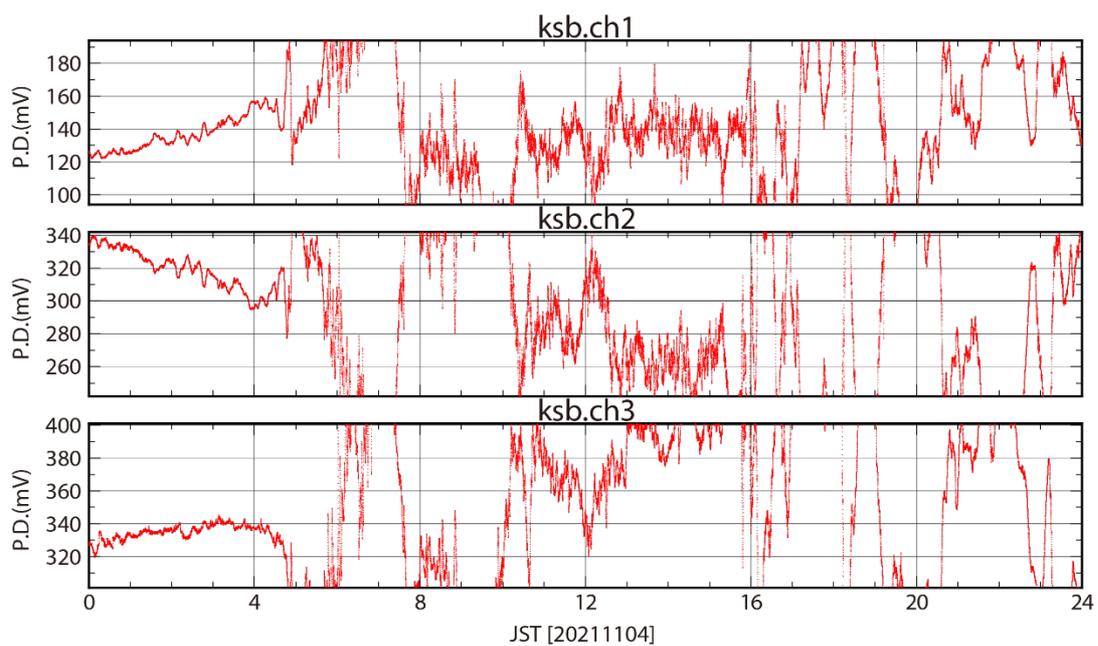


図 3.1.3-3-17 ksb エリアで収録された電位差データの例 (2021 年 11 月 4 日 : k 指数合計 37)

### 3-3) 磁場観測とデータ

前述したように Network-MT 法では、磁場データは、観測領域内または近傍にある磁場観測所などで恒久的（長期間かつ連続的）に取得されているデータ、もしくは、長周期のデータ取得に向いているフラックスゲート磁力計を独自に長期設置することで取得・使用する。九州では、気象庁鹿屋観測施設（北緯 31°25'27"，東経 130°52'48"）で磁場の常時観測が実施されている。また、本研究では令和元年度に、2 台のフラックスゲート磁力計を、それぞれカルデラ北東部（馬場豆札牧野の杉林：北緯 32°57'17.472"，東経 131°10'25.236"）と南部（京都大学火山研究センターの南外輪観測坑道の敷地：北緯 32°47'58.956"，東経 131°5'26.268"）に 1 台ずつ設置している。設置した 2 台の機器は、カルデラ北東部に埋設した LEMI\_LL.C.製の LEMI-420 と、カルデラ南部に埋設した TIERRA\_TECNICA 社製の UY44 である。収録は、どちらの磁力計についても、サンプリング間隔 1 秒で行っている。それぞれの磁力計の主要な仕様については、以下に示す。

#### LEMI-420 [LEMI\_LL.C.製]

- ・変化磁場：記録分解能 0.002nT
- ・傾斜：直行性誤差 30 分角以下
- ・消費電流（センサー）：1.2W 以下

#### UY44 [TIERRA\_TECNICA 社製]

- ・変化磁場：計測範囲  $\pm 327.68\text{nT}$   
AD 分解能 0.0000390625nT/LSB  
記録分解能 0.0001nT/LSB
- ・傾斜：計測範囲 約 $\pm 900$  秒角  
AD 分解能 約 0.000107288 秒角/LSB  
記録分解能 0.001 秒角/LSB
- ・消費電流（センサー）：約 10W

#### (4) データ解析 -応答関数の算出-

3 次元比抵抗インバージョン解析におけるインプットデータである応答関数（「(2) Network-MT 法の概念」参照）の算出には、ロバスト処理と相互リモートリファレンス処理（Gamble et al., 1979）の両方で電磁場データのノイズ除去処理を行うことによって精度よく応答関数を算出することが可能な Bounded Influence, Remote Reference Processing（BIRRP; Chave and Thomson, 2004）コードを用いている。リモートリファレンス処理法とは、リモートリファレンス点のデータに混入するノイズと観測点のデータに混入するノイズとの間に相関がないことを前提にして、測点間で相関のないノイズ（局所的なノイズ）を除去する手法であるので、リモートリファレンス点には、観測点のノイズと相関を持つノイズが混入しないように十分に距離をとった点を選ばなければならない。本解析では、リモートリファレンス処理のために、阿蘇地方から 900km 以上離れた気象庁柿岡地磁気観測所（北緯 36°14'07"，東経 140°10'59"）で常時観測されている磁場データを用いた。柿岡地磁気観測所のデータについては、本観測で取得している電位差データとの相関確認のために地磁気活動度の高い日（2021 年 9 月 18 日：K 指数合計 25，2021 年 11 月 4 日：k 指数合計 37）の波形を、例として図 3.1.3-4 に示している。

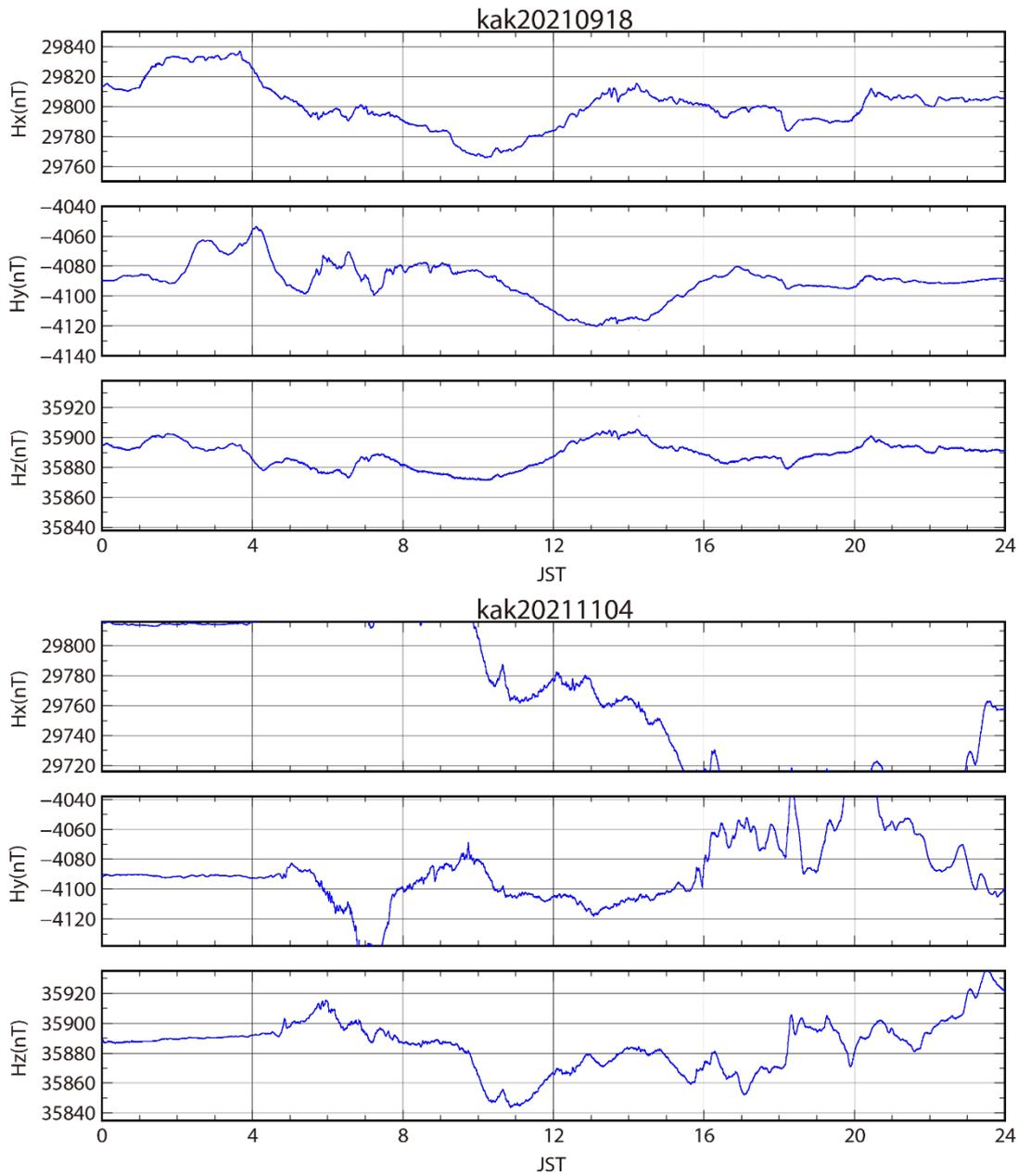


図 3.1.3-4-1. 柿岡地磁気観測所 (kak) で収録された磁場 3 成分データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25, 2021 年 11 月 4 日 : k 指数合計 37)

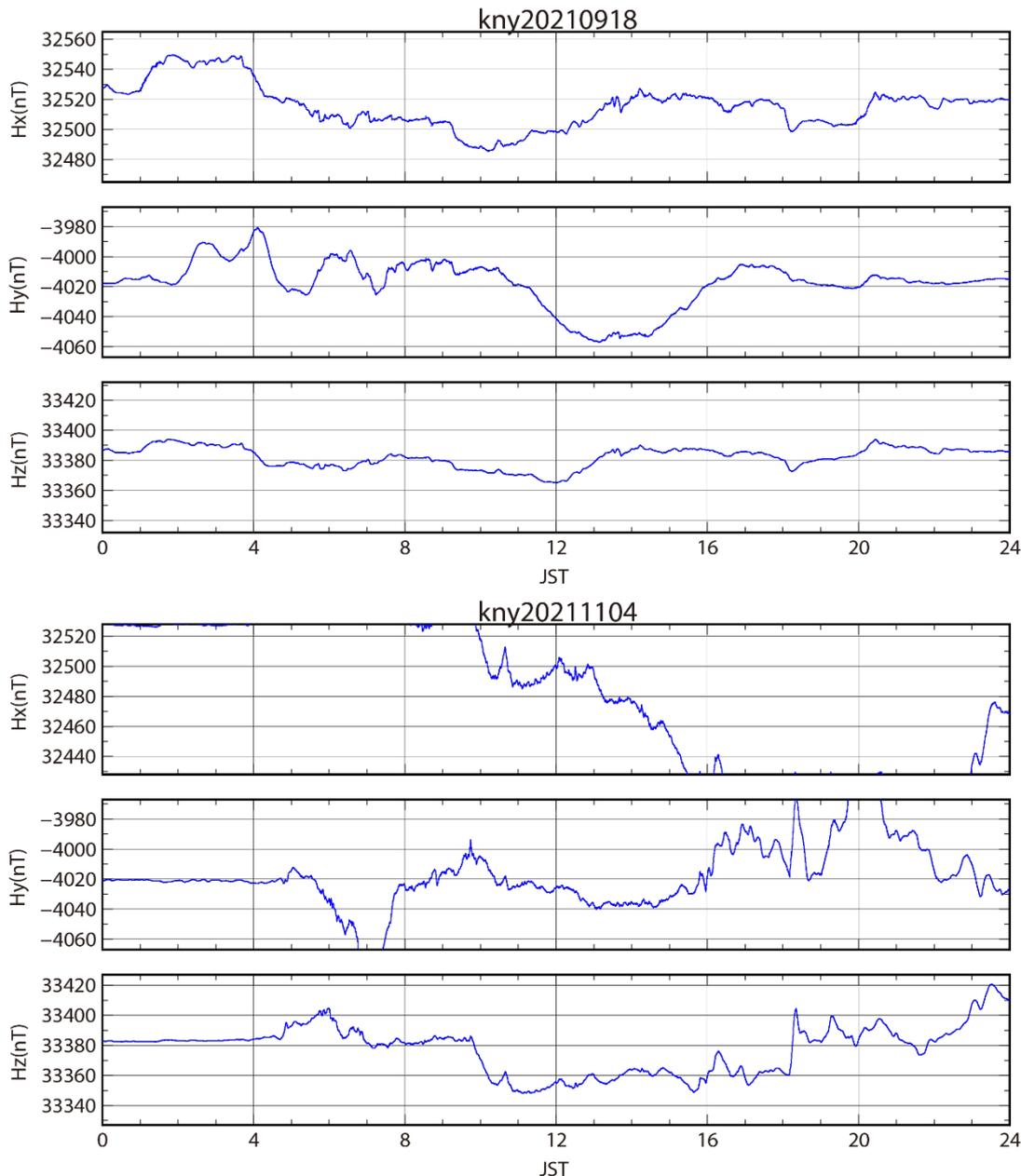


図 3.1.3-4-2. 鹿屋観測施設 (kny) で収録された磁場 3 成分データの例 (2021 年 9 月 18 日 : K 指数合計 25, 2021 年 11 月 4 日 : k 指数合計 37)

応答関数は、BIRRP コードによって 5~122,880 秒の 30 周期を求めた。応答関数の算出に関しては、作年度に実施した、気象庁鹿屋観測施設 (kny; 北緯 31°25'27", 東経 130°52'48") の常時観測磁場データ、および、本研究のために独自にカルデラ南部 (京都大学火山研究センターの南外輪観測坑道の敷地 : 北緯 32°47'58.956", 東経 131°5'26.268") に設置したフラックスゲート磁力計のデータの 2 パターンを適用した解析データの比較により、どちらを利用して大きな差異は見られないことが判っている (2020 年度の報告書を参照)。また、昨年度のデータ解析においては、推定する地下構造をゆがめるノイズとなりえる電磁場データへの海洋潮汐 (tide) の影響を検討するために (Egbert et al., 1992; 藤井 & シュルツ, 1999), 長周期の電磁場データに含

まれる海洋潮汐の影響を除去 (de-tide 処理; 藤井, 2004) した電磁場データを使用して求めた応答関数との比較も実施している。その結果, 本研究では海洋潮汐に左右されない十分なスタック数を稼げる長期観測を実施できており, 潮汐の周期に関わるデータ除去を適用しない方が長周期データの推定誤差を低減できることも判っている (昨年度の報告書を参照)。

図 3.1.4-1 には, 今年度の観測で取得した 17 エリア (kte, ysw, yab, nrk, sig, mnt, knu, nsh, ooz, kks, yks, ksb, tru, mog, krk, uby, nmn) の電位差データを使用して求めた応答関数の探索曲線の例として 4 エリア (kte, knu, ksb, nmn) のものを示す。ここで, 応答関数の ch01, ch02 などのゼロ始まりの二桁数字は, 図 3.1.3-2 の電位差観測網で示した中心局-支点間 (ダイポール) の電位差データから求めた応答関数であることを表している。また, 二桁数字の最初の数字がダイポールのグラウンド (電位基準) 側を表している。さらに, 例えば ch12 などのゼロ始まり以外の応答関数は, ch01 と ch02 の電位差データを用いてグラウンドが支点 1 (電極埋設点 1) になるように算出した支点 1-支点 2 の間の電位差データから求めた応答関数であることを表している (図 3.1.4-2)。求めた応答関数の推定誤差は, 図 3.1.4-1 と図 3.1.4-2 に示した探索曲線のエラーの大きさから見て取れる。一方で, 周囲の周期と著しく異なるような外れ値がある場合には, prediction coherence (観測時系列と理論時系列間の coherence) が解析データの S/N 比の判定目安になる。そこで, 代表例として 4 エリア (kte, knu, ksb, nmn) のそれぞれの応答関数の prediction coherence を図 3.1.4-3 に示しておく。prediction coherence は 1 に近いほど, 決定精度が高いことを示唆する。図 3.1.4-3 から, データの質は測線 (ダイポール) ごと, 周期ごとに異なることが判る。また, グラウンドを変更することによって, 決定精度がかなり変わることも判る。この理由としては, グラウンドにした電極埋設点周辺でのノイズ環境が悪い場合, すべてのダイポールの電位差データに多くのノイズが入ってしまうことになるが, 混入ノイズの起源が同じ場合には, グラウンド変更によってノイズを上手く除去することができるからだと考えられる。そこで, 本研究の 3 次元比抵抗インバージョン解析では, 探索曲線の推定誤差, および, prediction coherence の値を考慮して, 決定精度の高いダイポールの応答関数を使用している。

#### (5) ネットワーク MT 法の既存データを用いての検討作業

阿蘇カルデラを含む九州全域では, 1990 年代にネットワーク MT 法観測が実施されている (図 3.1.5-1)。本研究に係る前プロジェクト研究においては, 広帯域 MT 法観測データ (周期 0.005~2,380 秒) を用いて求めた阿蘇カルデラ地下の構造と比較検討するために, 阿蘇カルデラが位置する別府-島原地溝に沿った領域において, 再解析した既存のネットワーク MT 法観測データ (周期 640~10,240 秒) による 3 次元比抵抗構造解析を実施した (Hata et al., 2018b)。この既存データによる 3 次元比抵抗モデルは, 広帯域 MT 法観測データによる比抵抗モデル同様に, 阿蘇カルデラ地下に大局的な構造として, カルデラ北部の深度 20km 程度から中央火口丘 (中岳付近) に向かって伸びる顕著な低比抵抗異常のブロックの存在を示唆した。図 3.1.5-2 には, 広帯域 MT 法観測データによる比抵抗構造モデルと同じ深度 2-2.5km, 6-7km, 9-10km, 11.5-13km, 15-17km, 20-24km の水平断面図を示す。

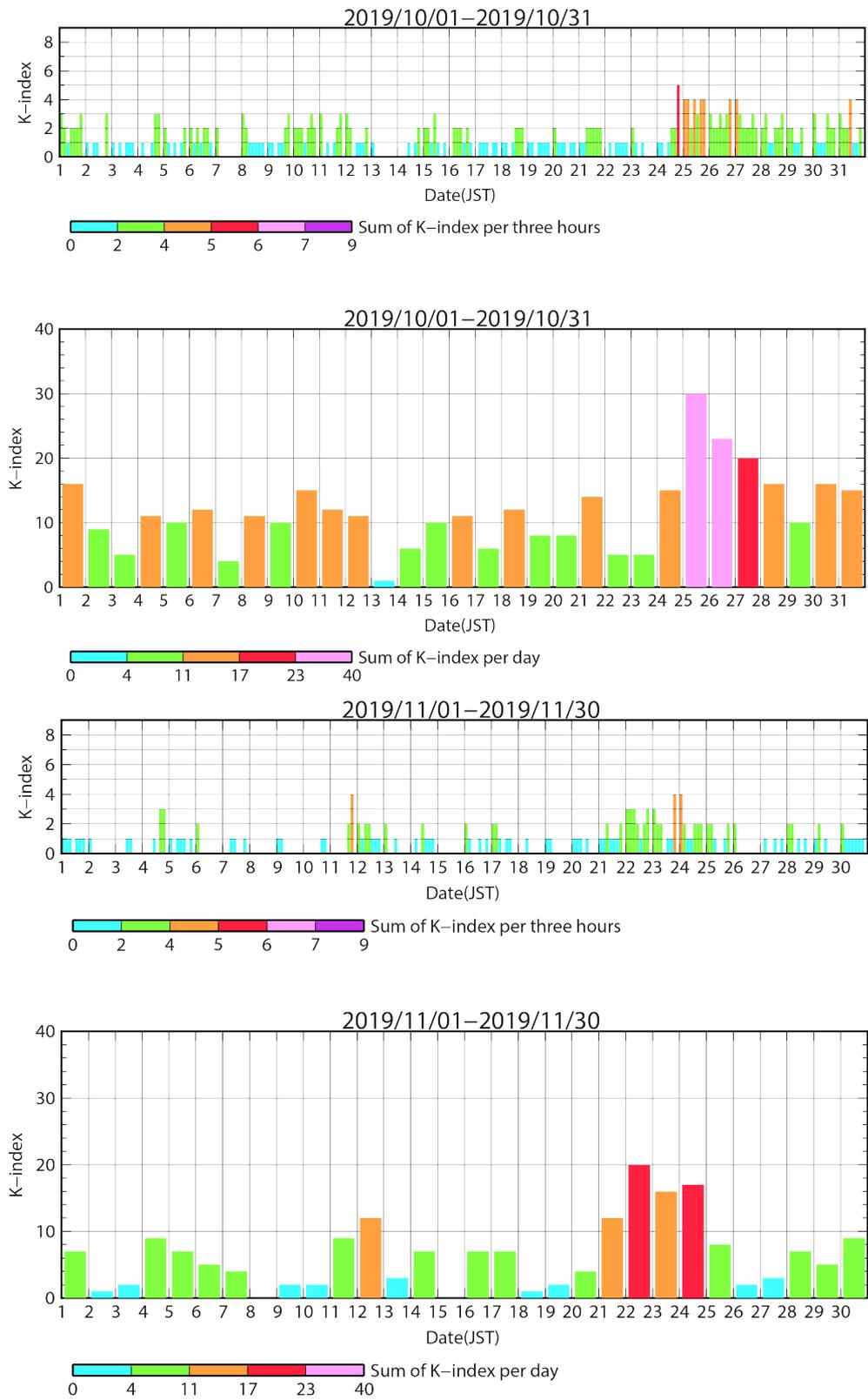


図 3.1.3-5-1. 2019年10月-2022年1月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

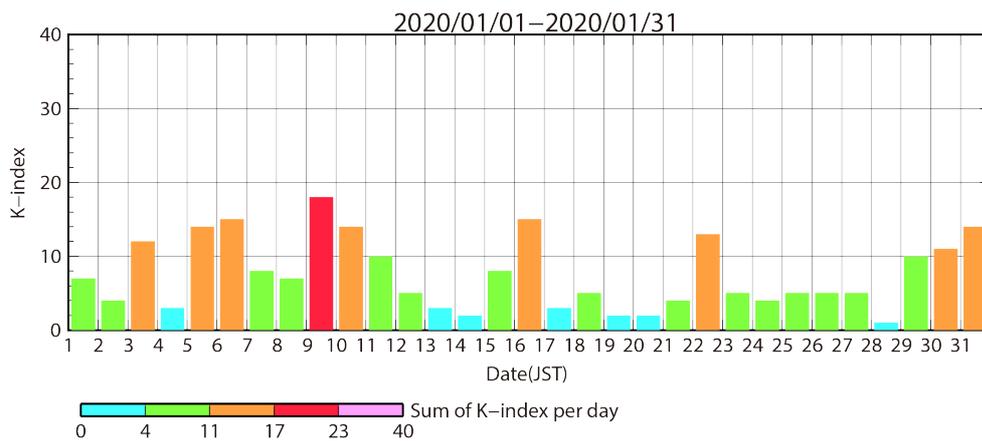
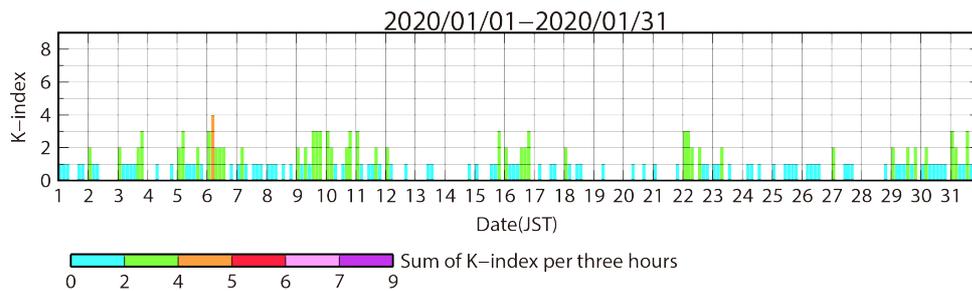
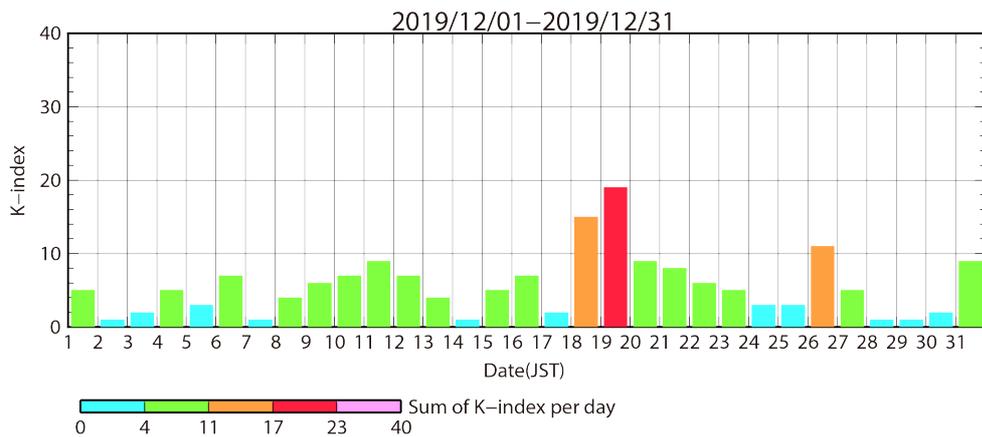
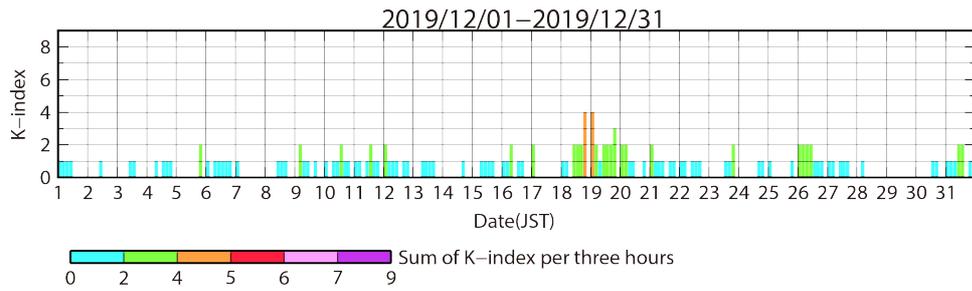


図 3.1.3-5-2. 2019年10月-2022年1月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

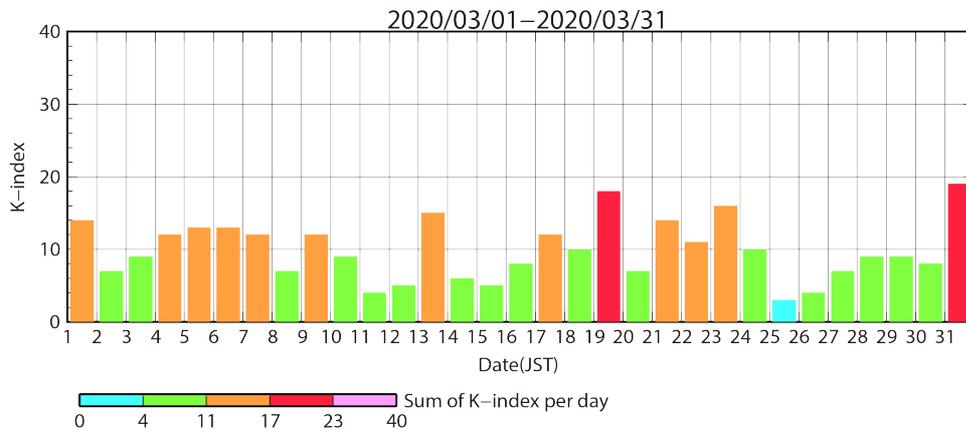
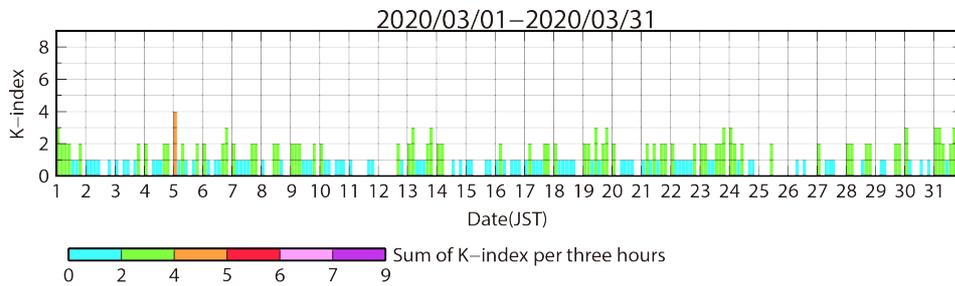
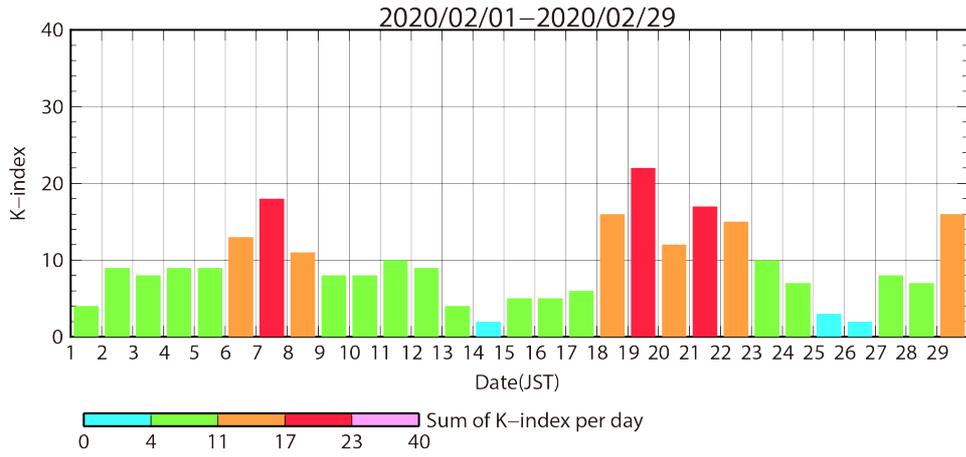
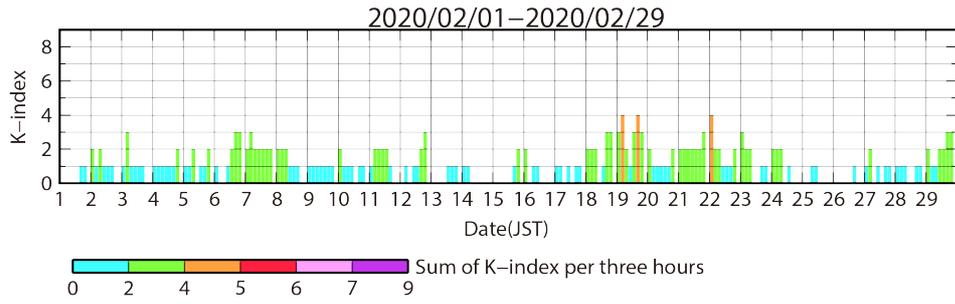


図 3.1.3-5-3. 2019 年 10 月-2022 年 1 月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

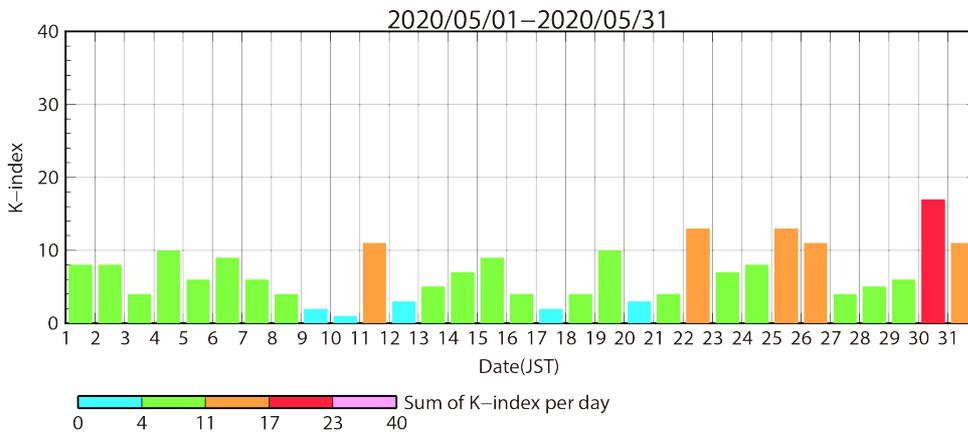
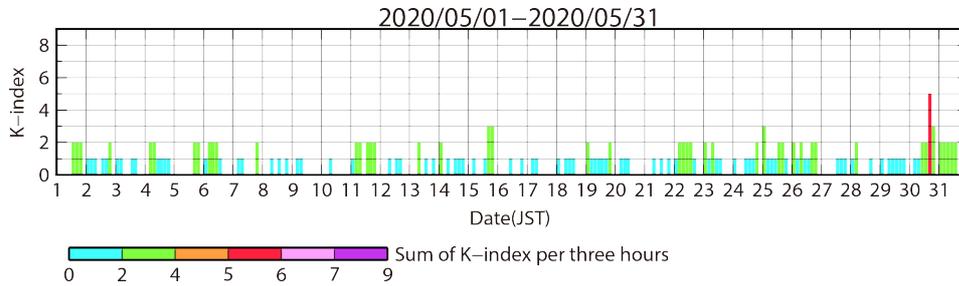
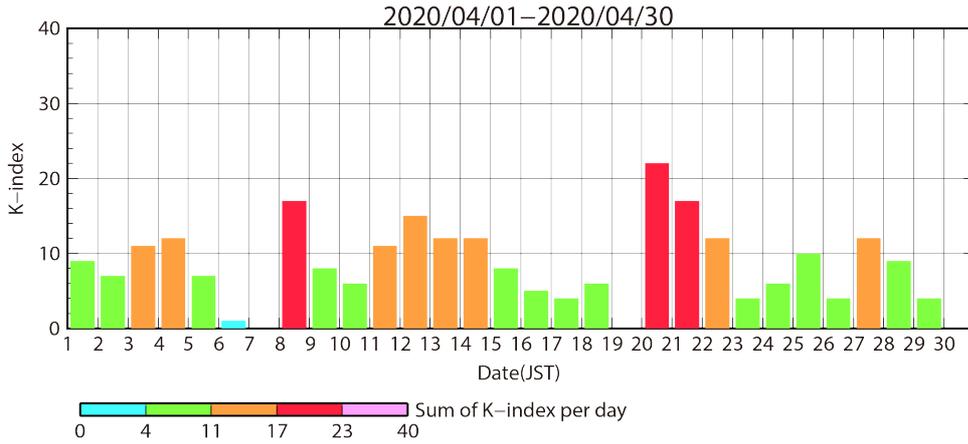
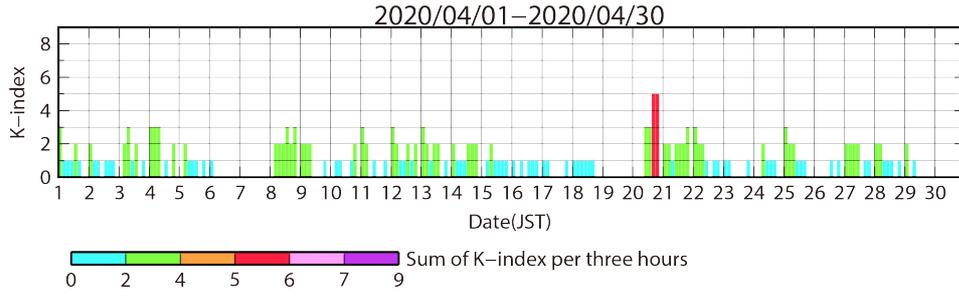


図 3.1.3-5-4. 2019 年 10 月-2022 年 1 月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

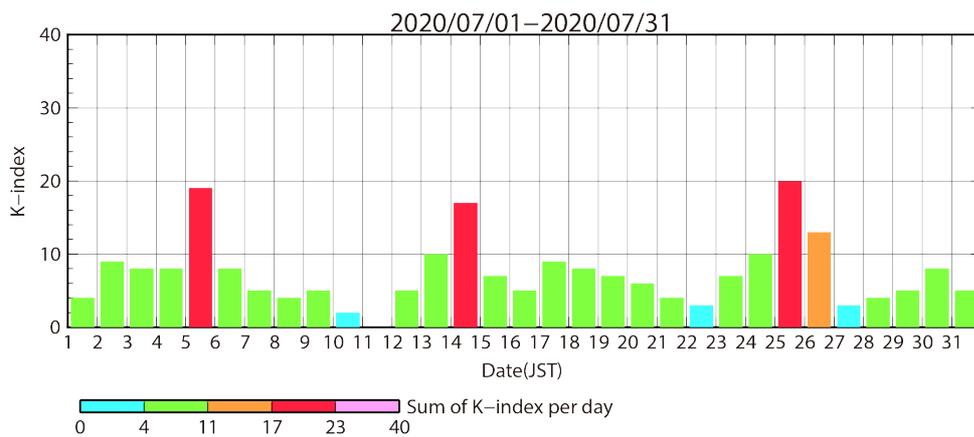
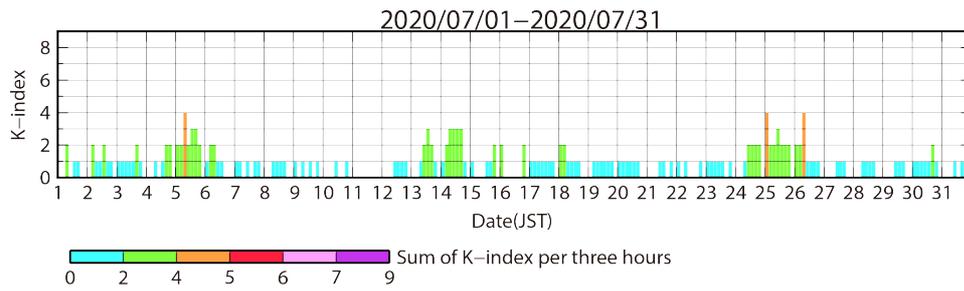
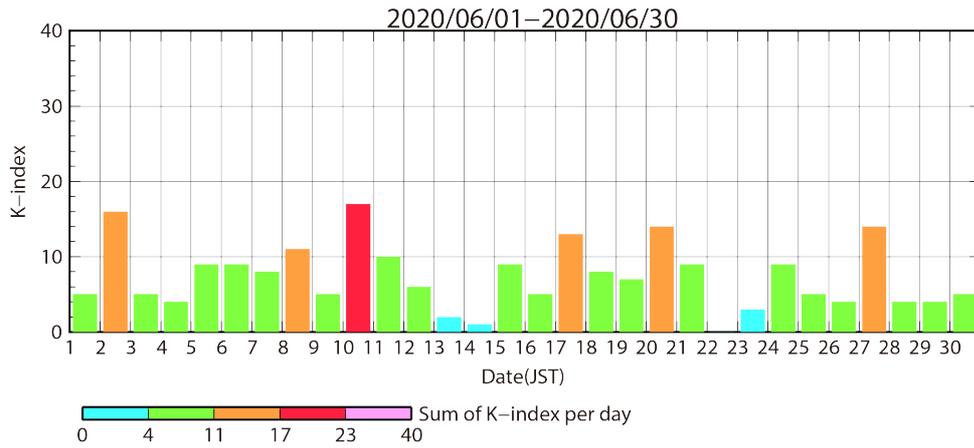
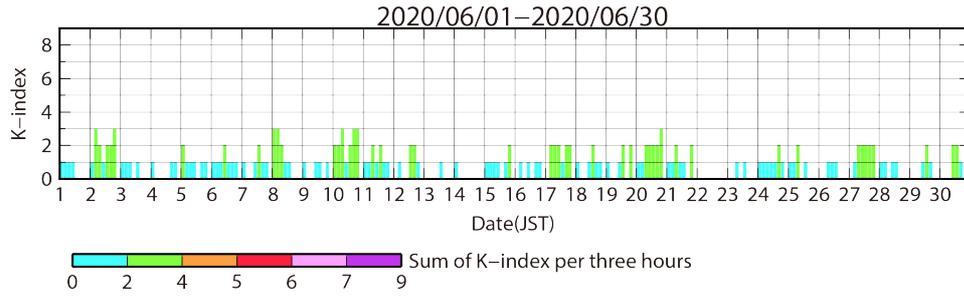


図 3.1.3-5-5. 2019 年 10 月-2022 年 1 月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

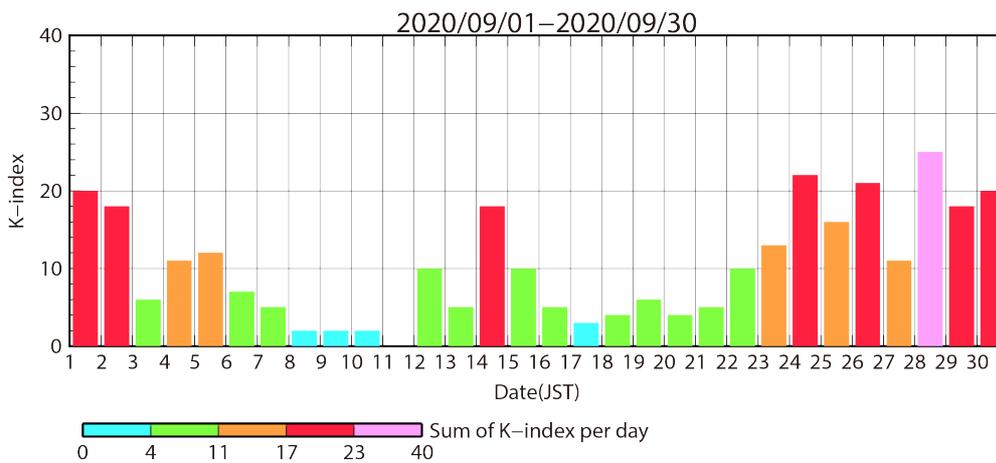
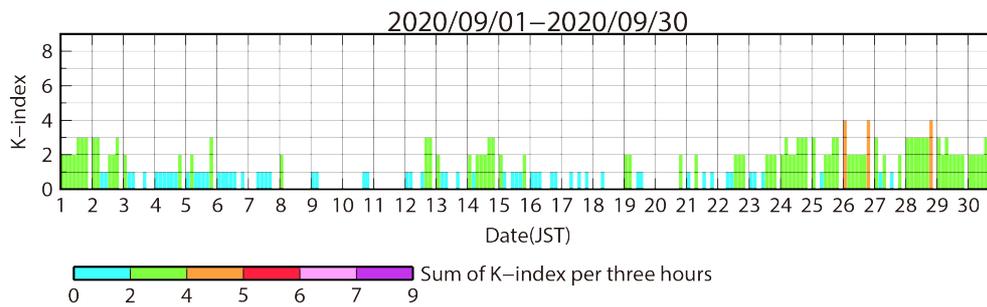
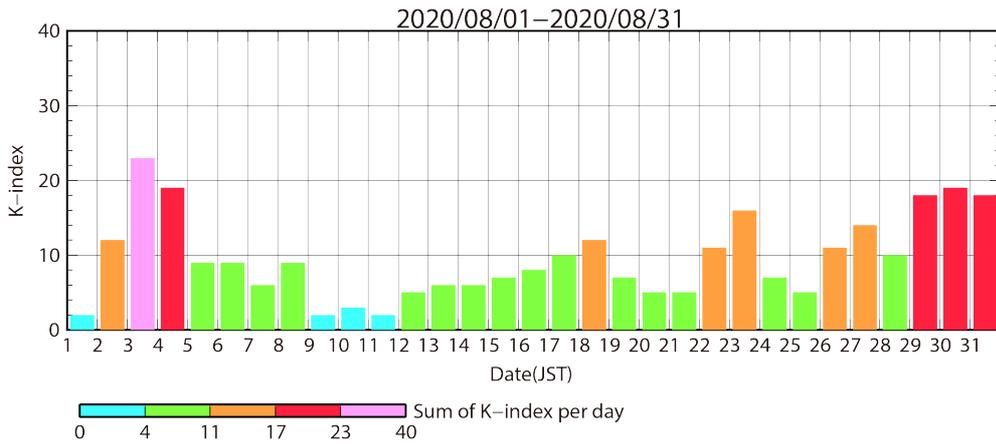
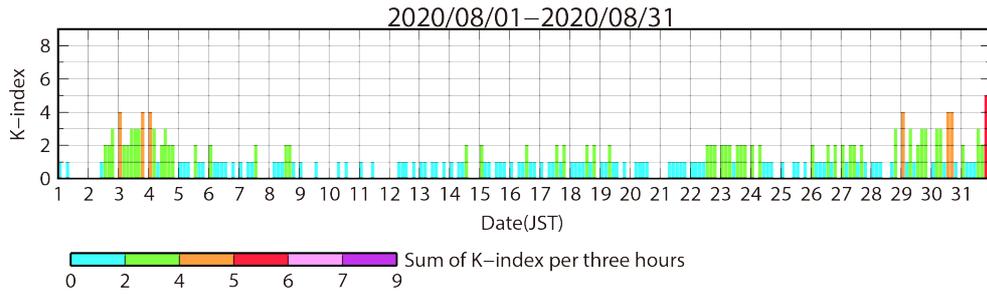


図 3.1.3-5-6. 2019年10月-2022年1月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

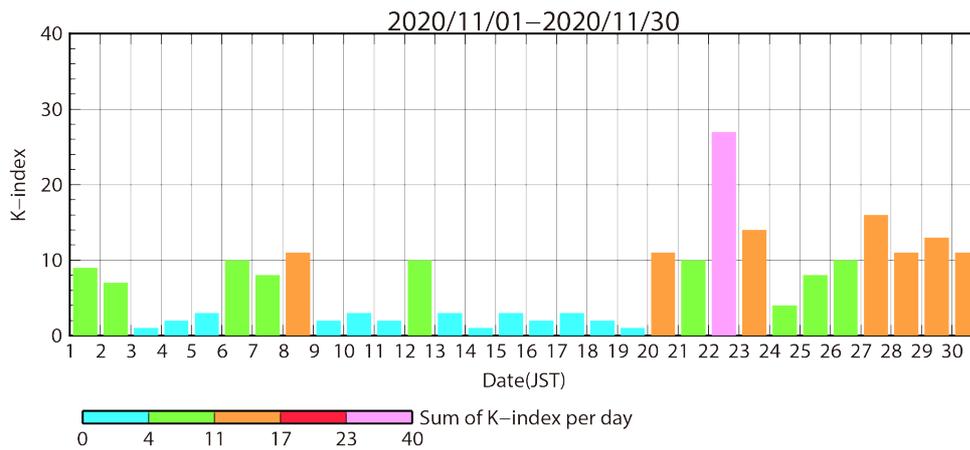
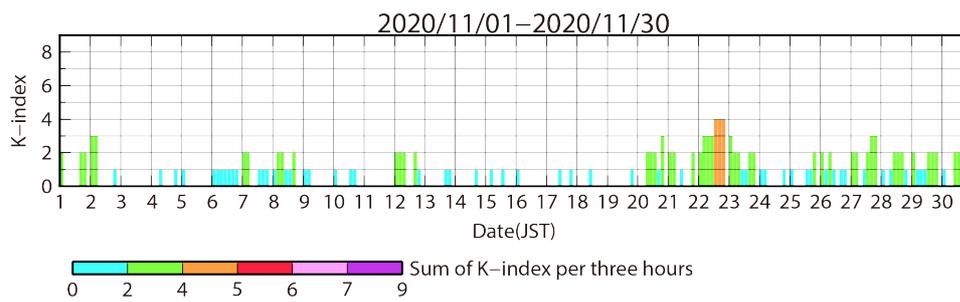
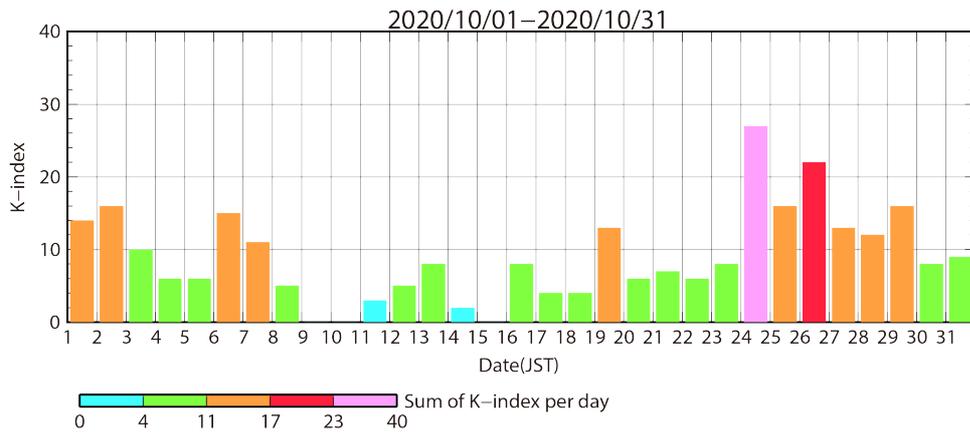
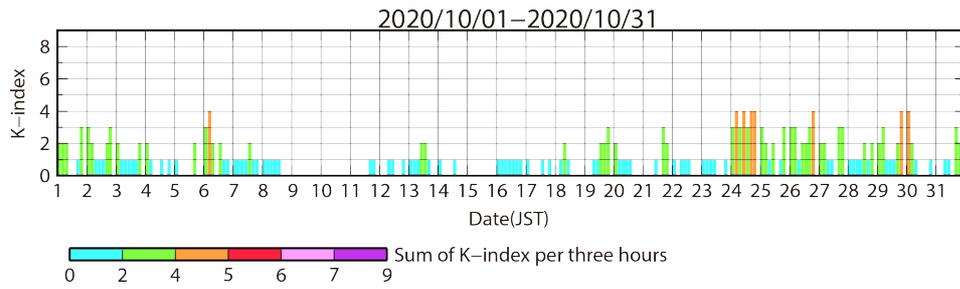


図 3.1.3-5-7. 2019 年 10 月-2022 年 1 月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

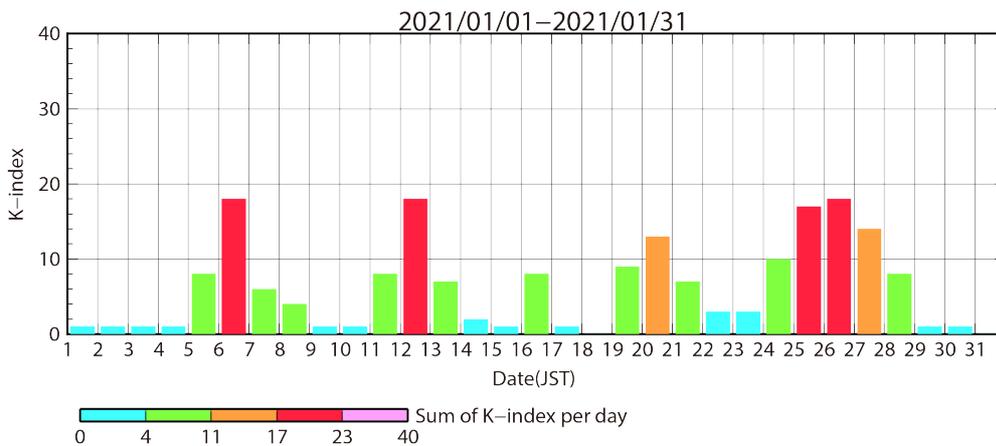
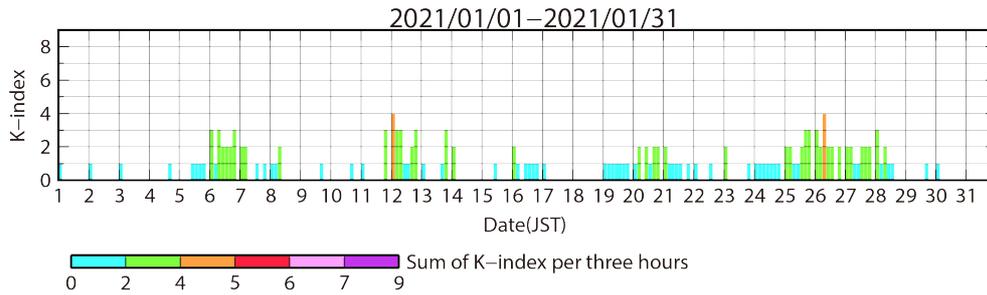
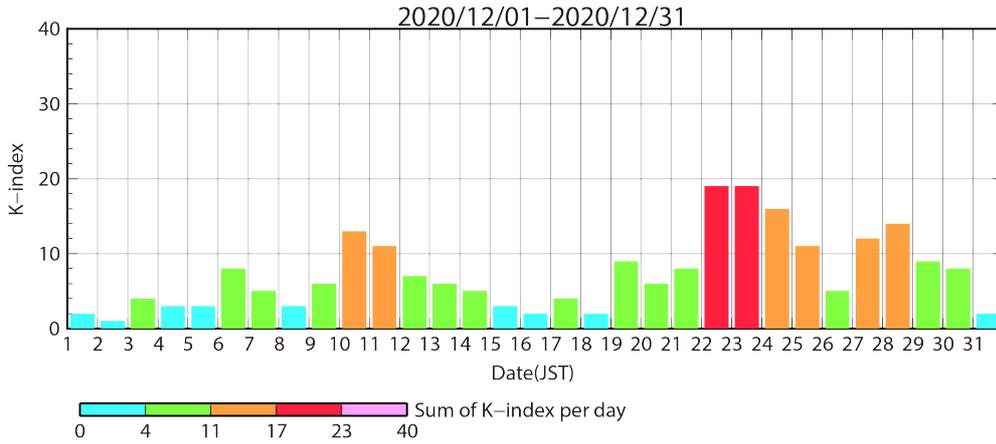
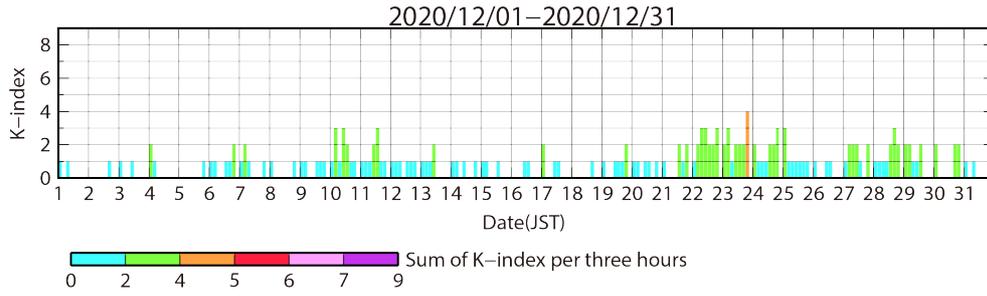


図 3.1.3-5-8. 2019年10月-2022年1月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

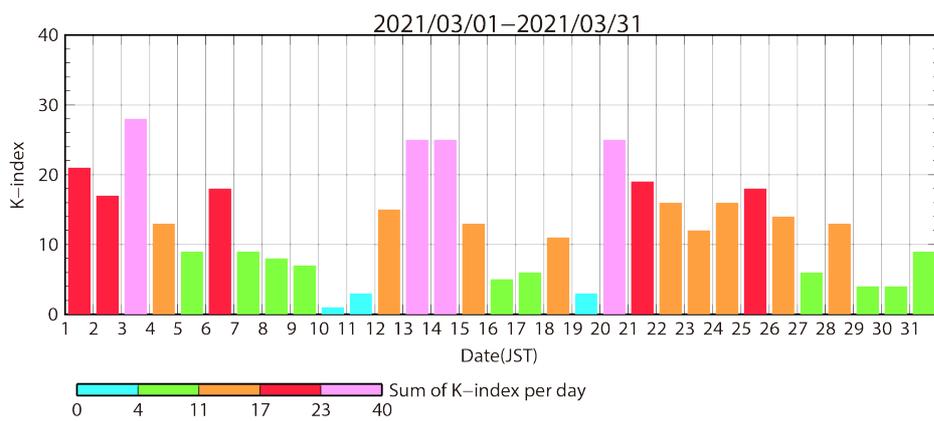
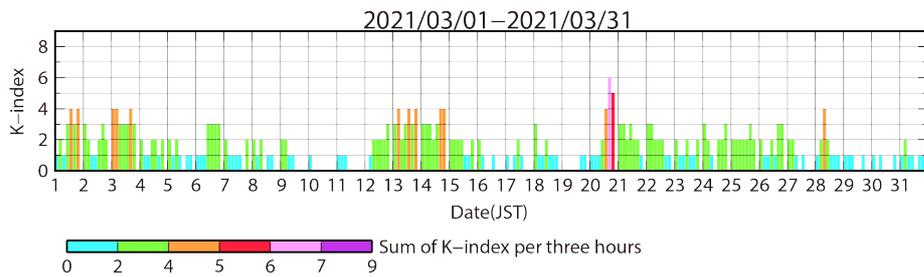
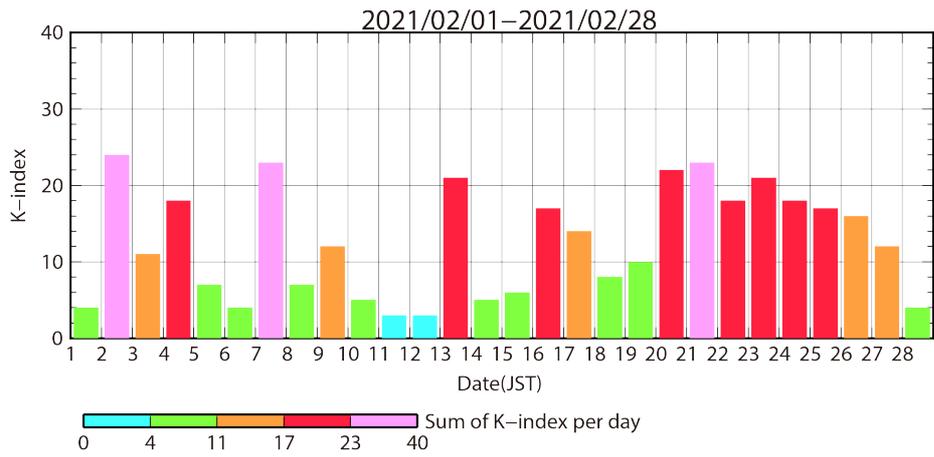
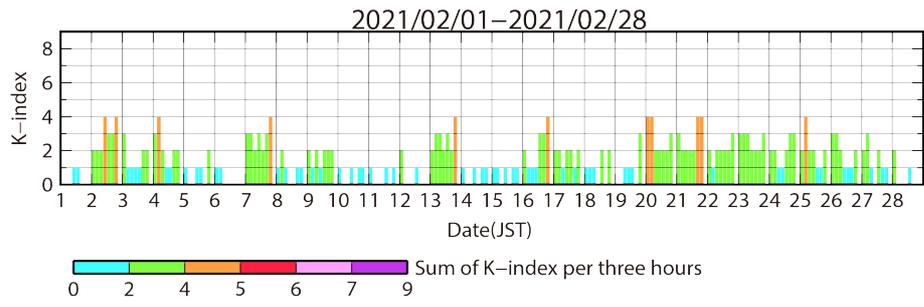


図 3.1.3-5-9. 2019 年 10 月-2022 年 1 月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

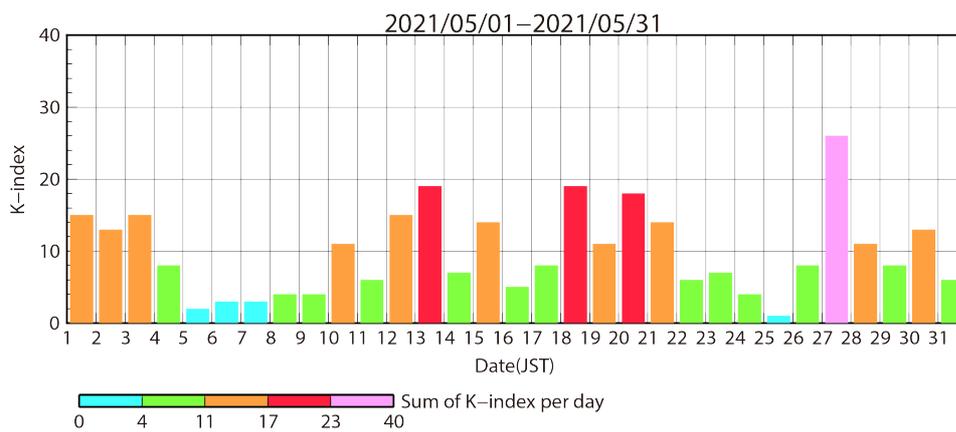
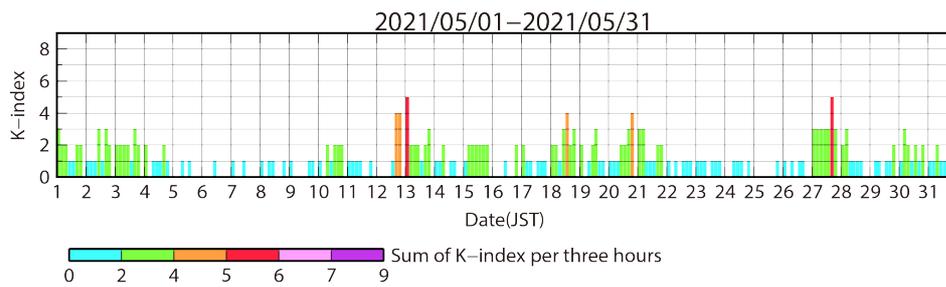
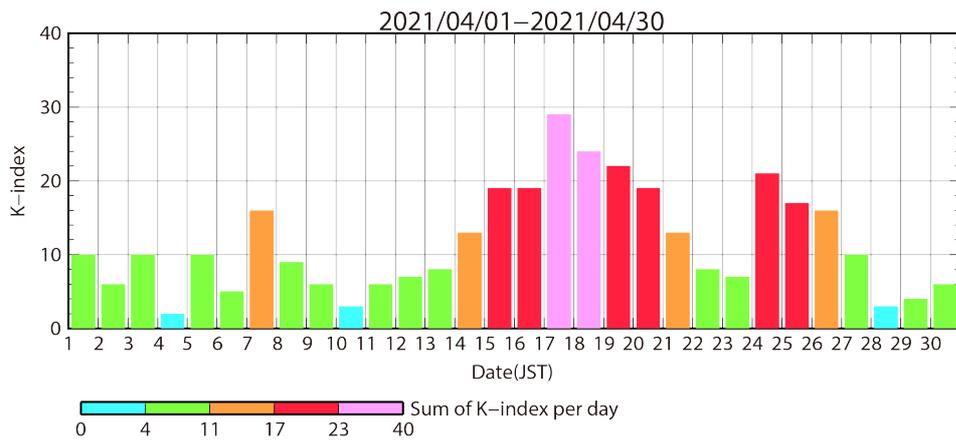
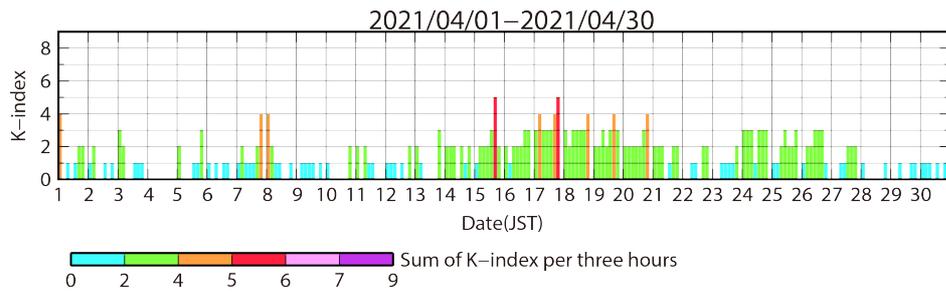


図 3.1.3-5-10. 2019年10月-2022年1月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

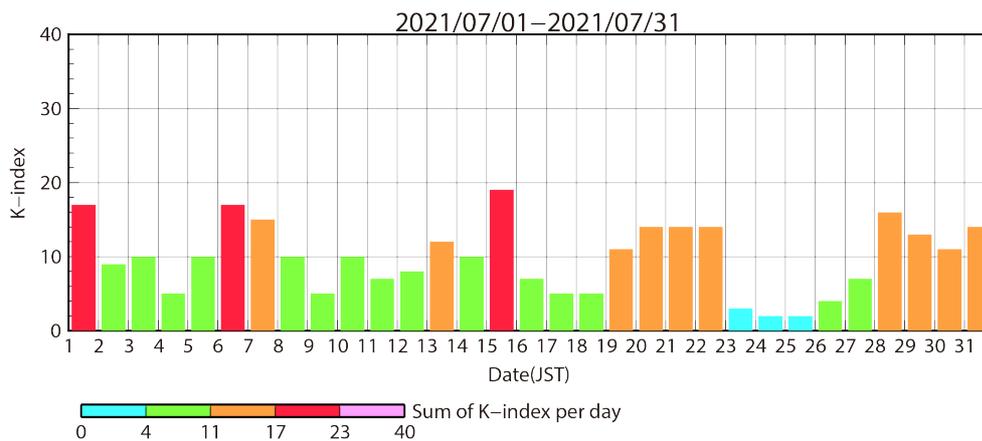
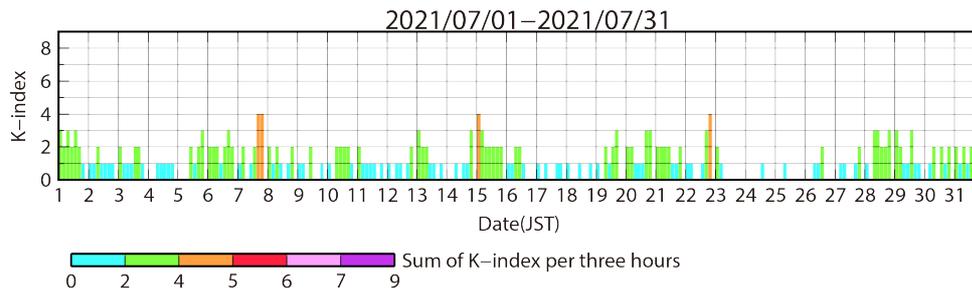
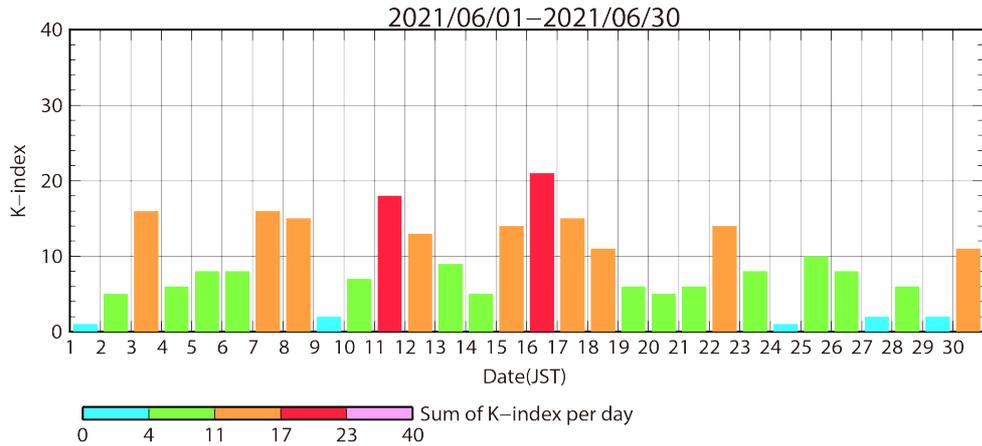
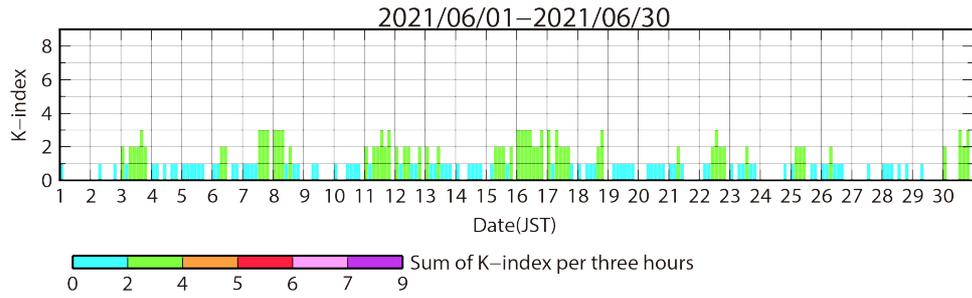


図 3.1.3-5-11. 2019年10月-2022年1月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

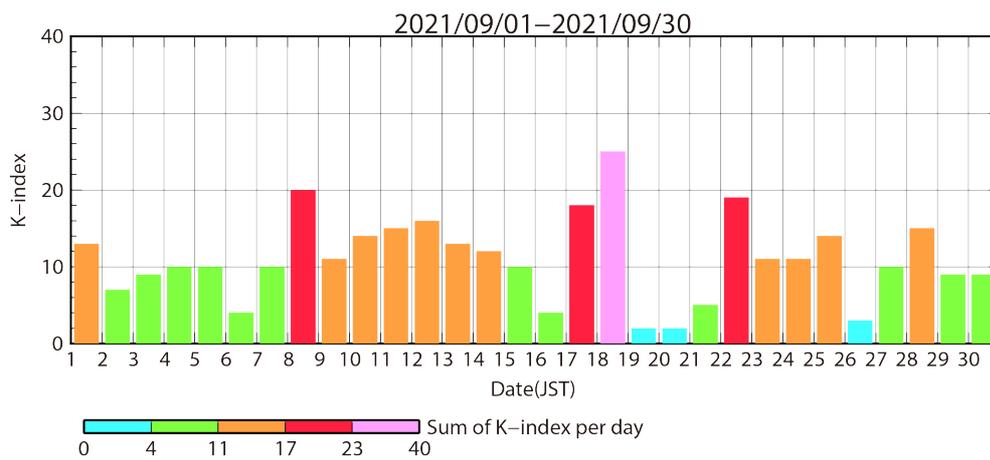
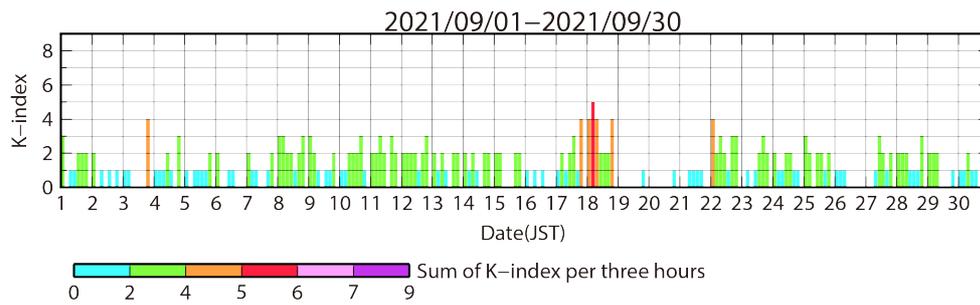
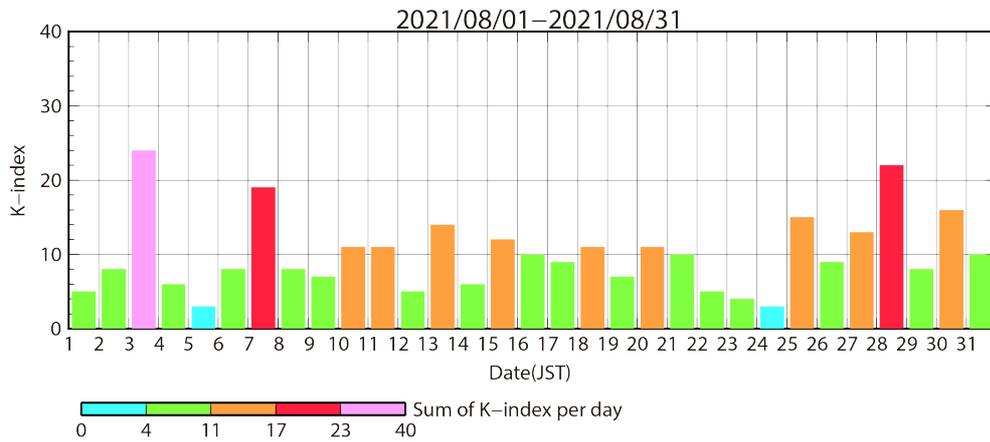
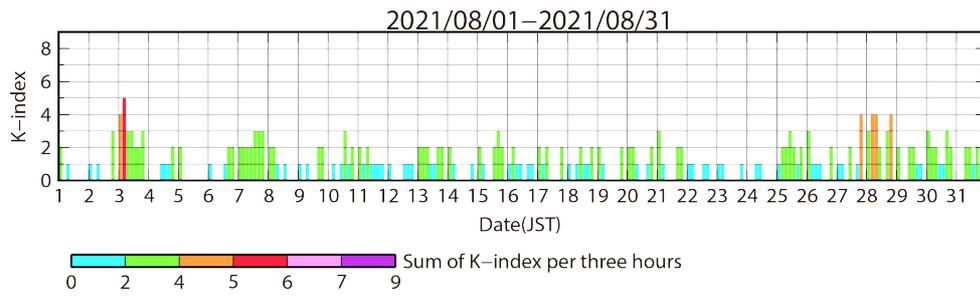


図 3.1.3-5-12. 2019年10月-2022年1月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

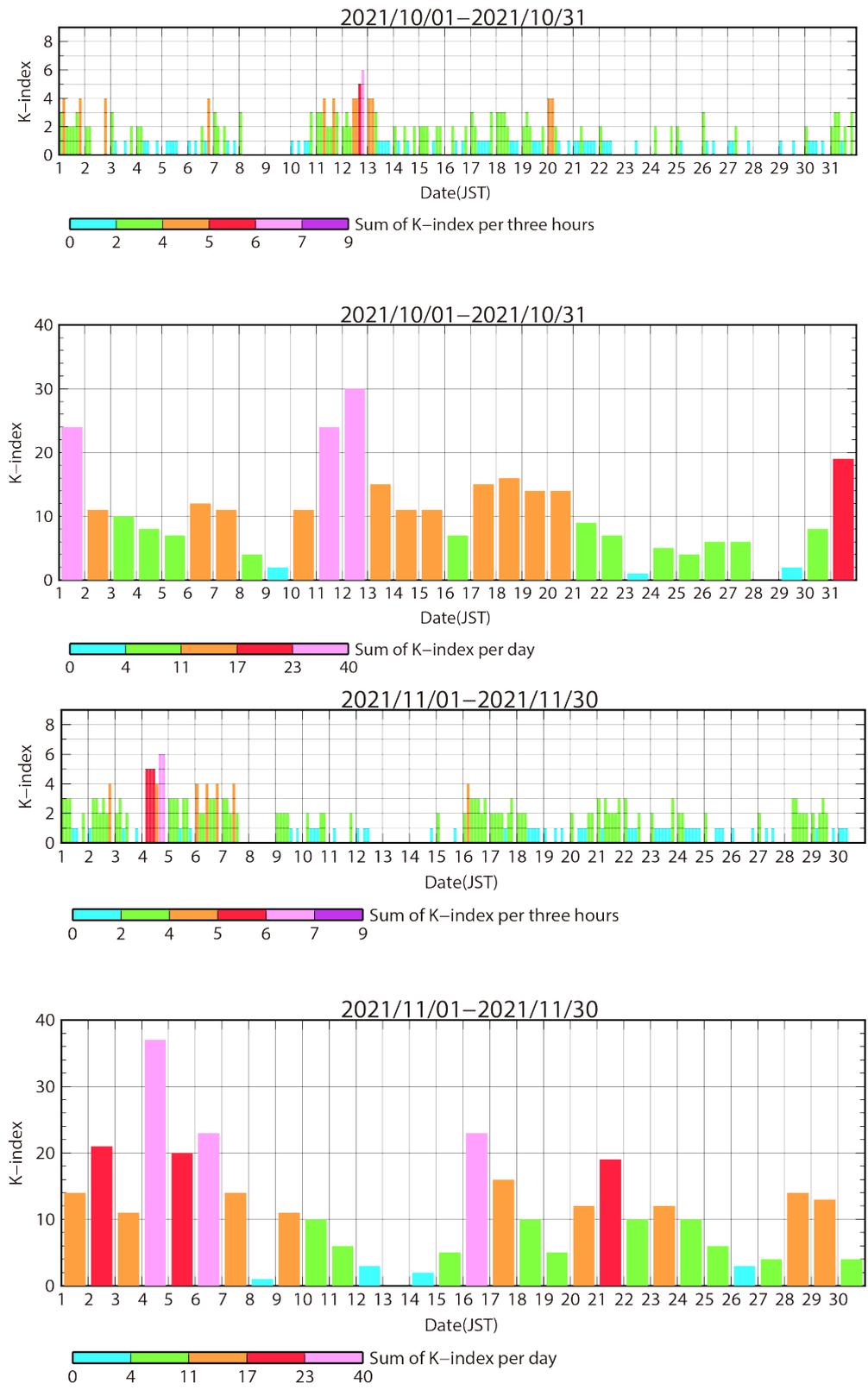


図 3.1.3-5-13. 2019 年 10 月-2022 年 1 月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

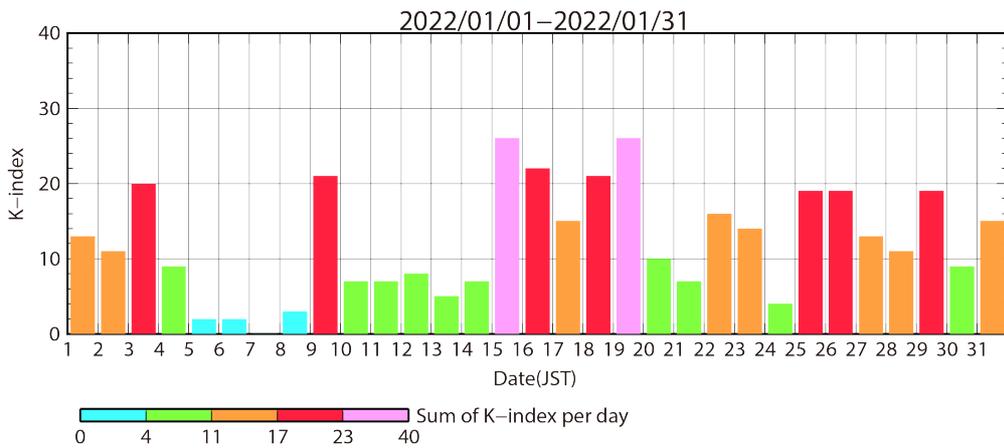
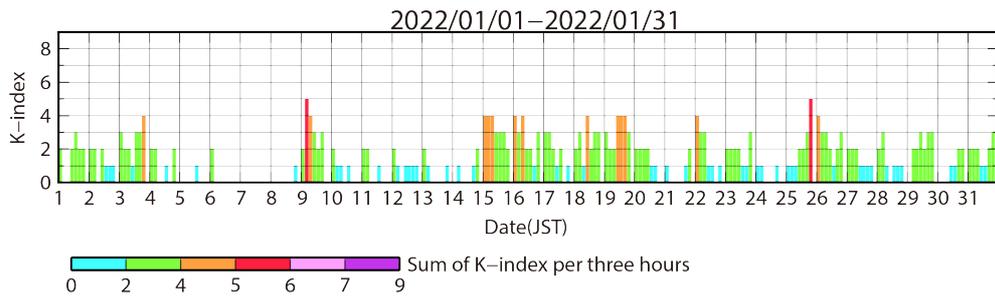
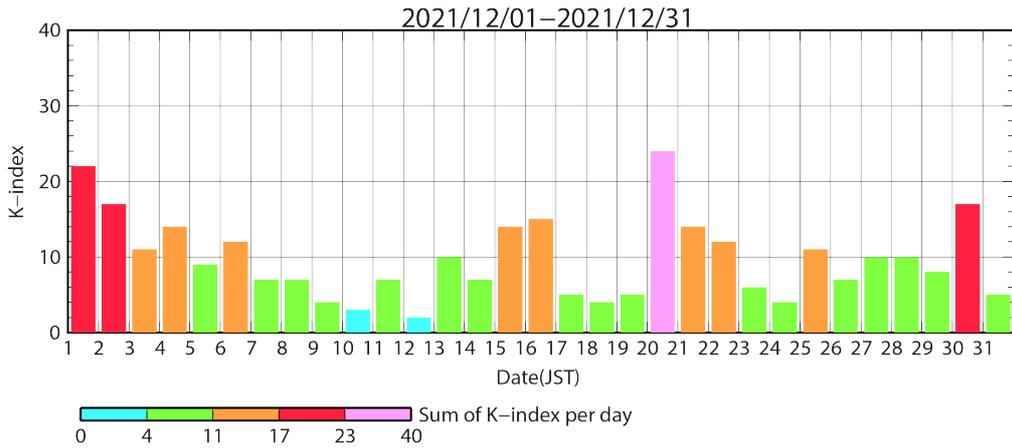
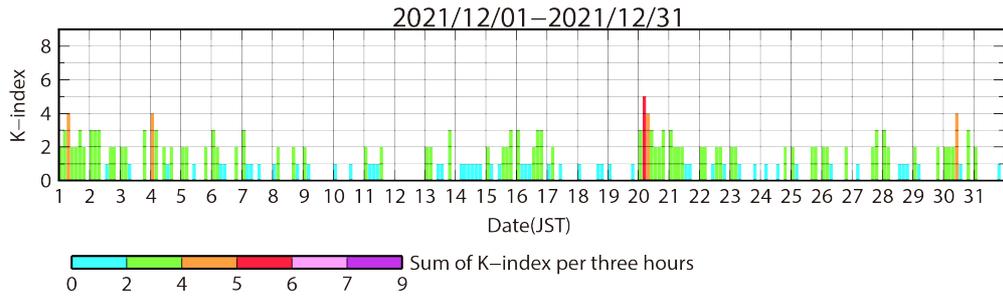


図 3.1.3-5-14. 2019 年 10 月-2022 年 1 月の期間の柿岡地磁気観測所 (kak) の K 指数

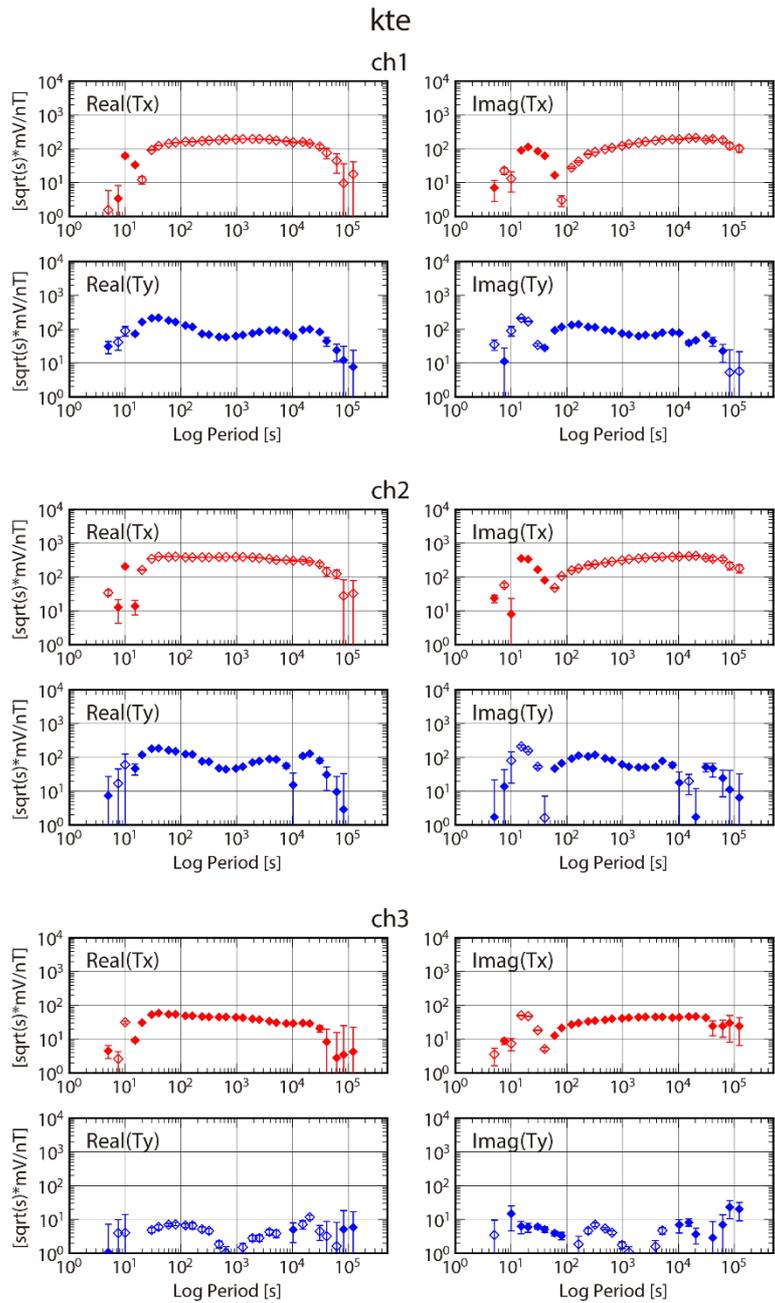


図 3.1.4-1-1. 今年度に取得した kte エリアの電位差データ, および, 気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し, リモートリファレンス処理には, 気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探查曲線.

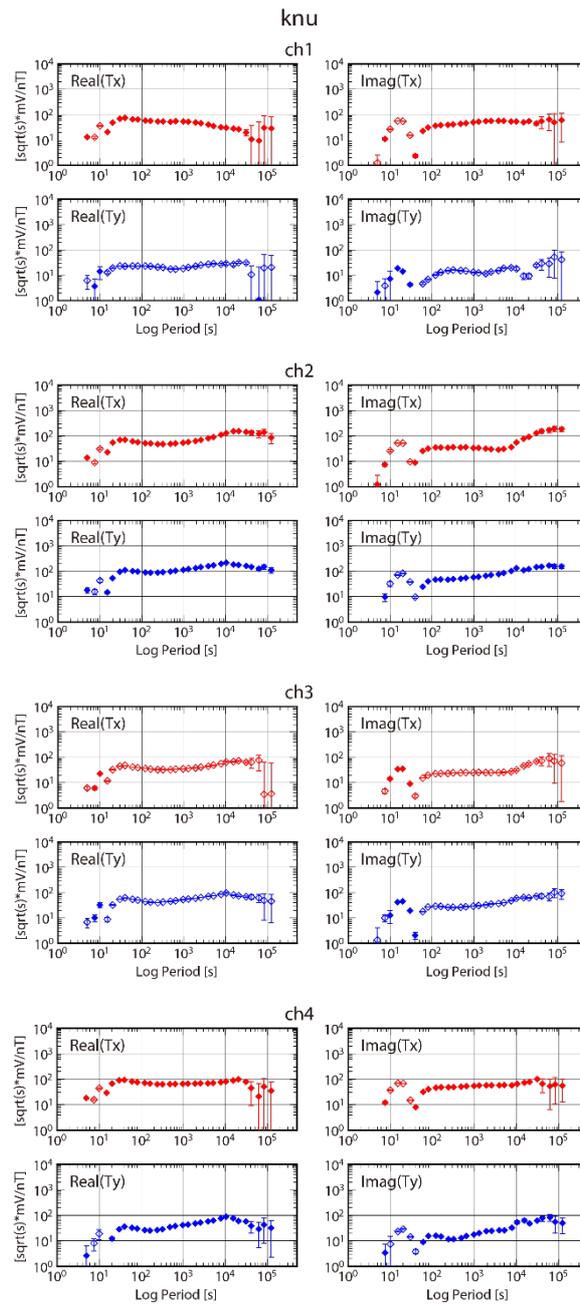


図 3.1.4-1-2. 今年度に取得した knu エリアの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探査曲線.

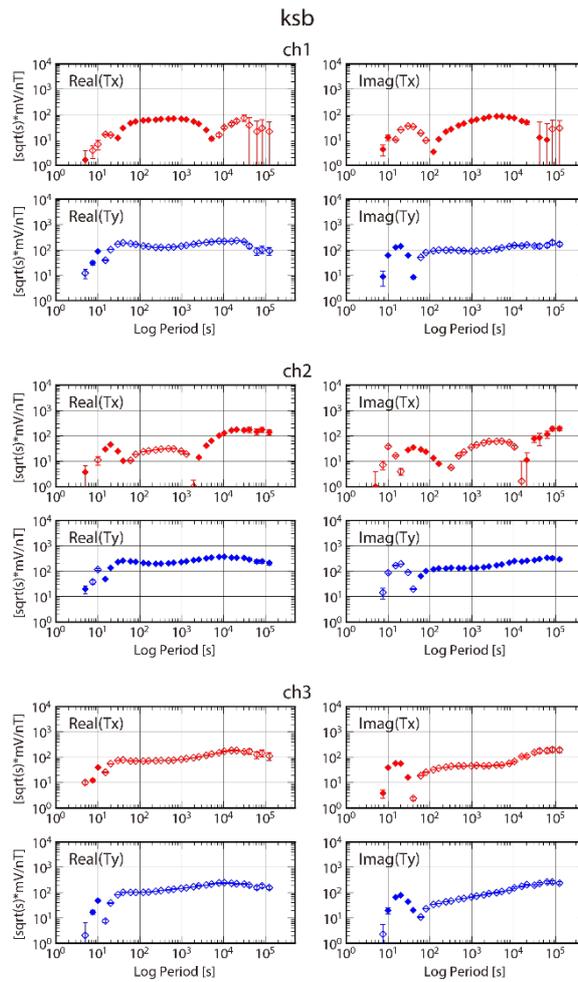


図 3.1.4-1-3. 今年度に取得した ksb エリアの電位差データ, および, 気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し, リモートリファレンス処理には, 気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探査曲線.

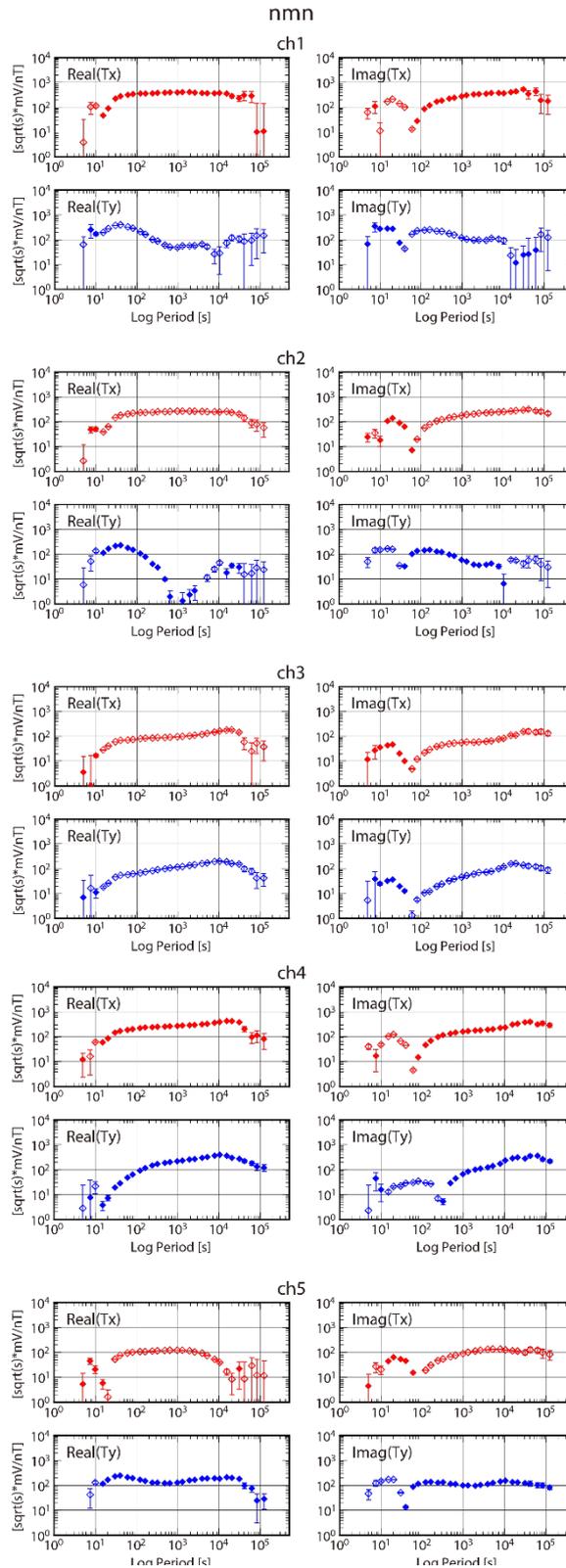


図 3.1.4-1-4. 今年度に取得した nmn エリアの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探査曲線.

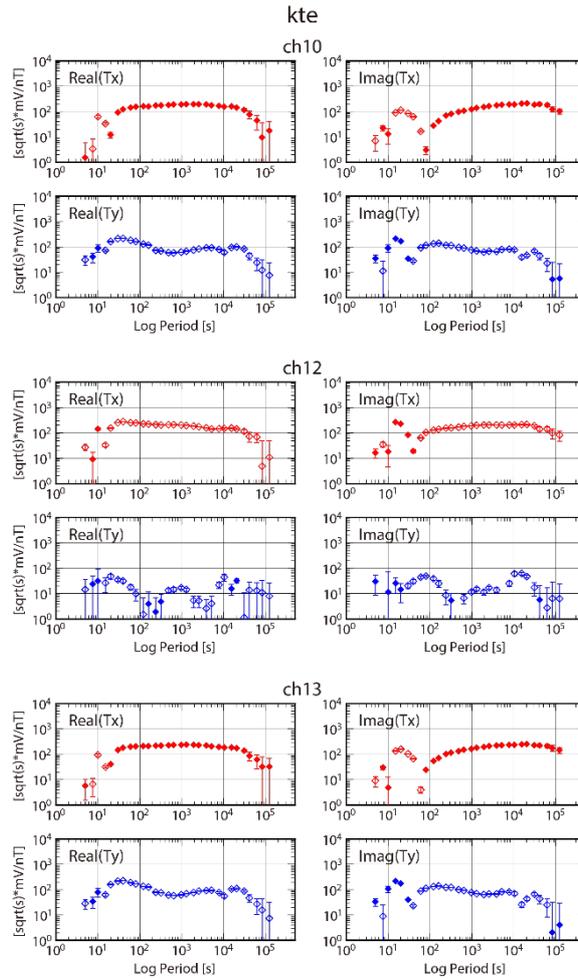


図 3.1.4-2-1a. 今年度に取得した kte エリアのグラウンド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設（kny）の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所（kak）で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探索曲線。

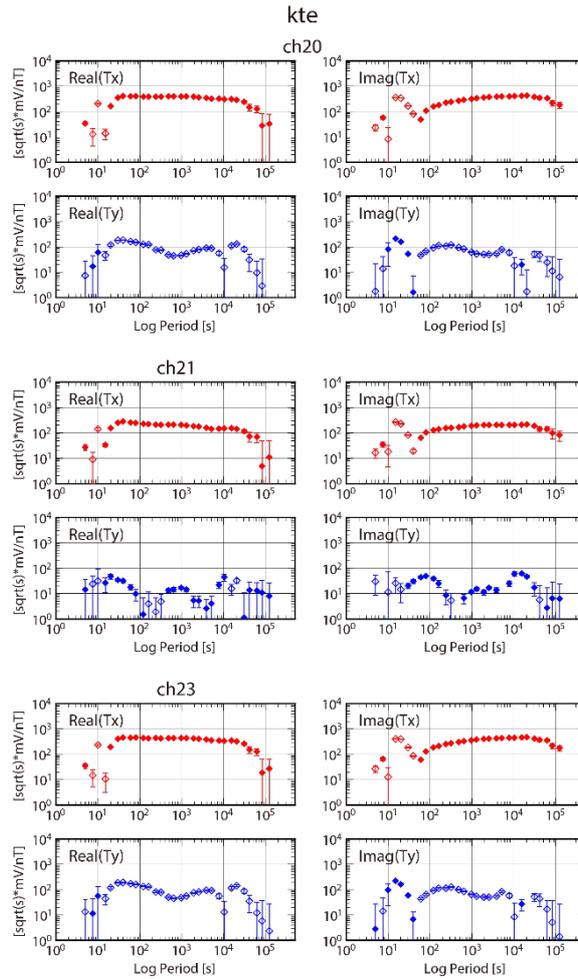


図 3.1.4-2-1b. 今年度に取得した kte エリアのグラウンド (電位基準) 電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ, および, 気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し, リモートリファレンス処理には, 気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探索曲線.

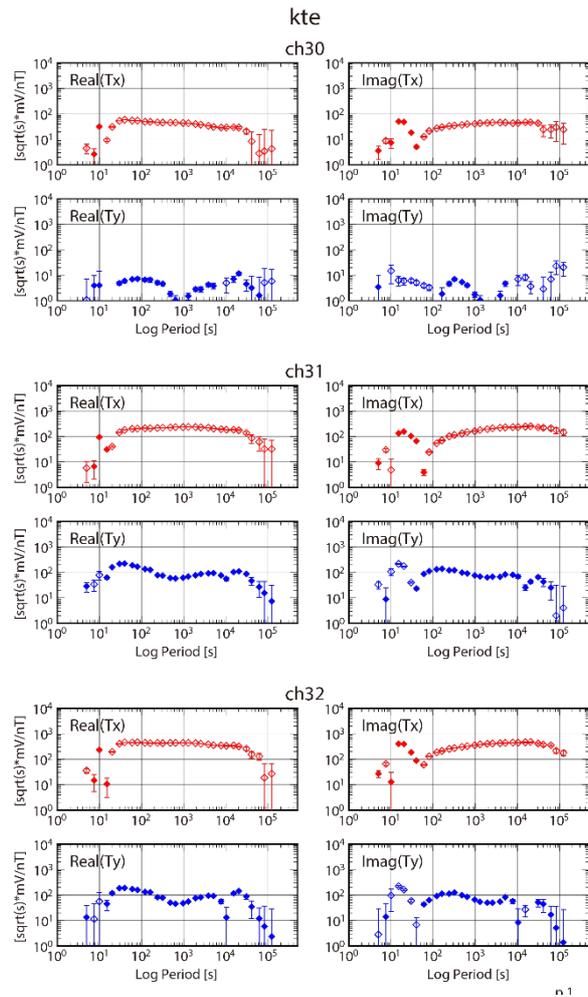


図 3.1.4-2-1c. 今年度に取得した kte エリアのグランド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設（kny）の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所（kak）で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探索曲線.

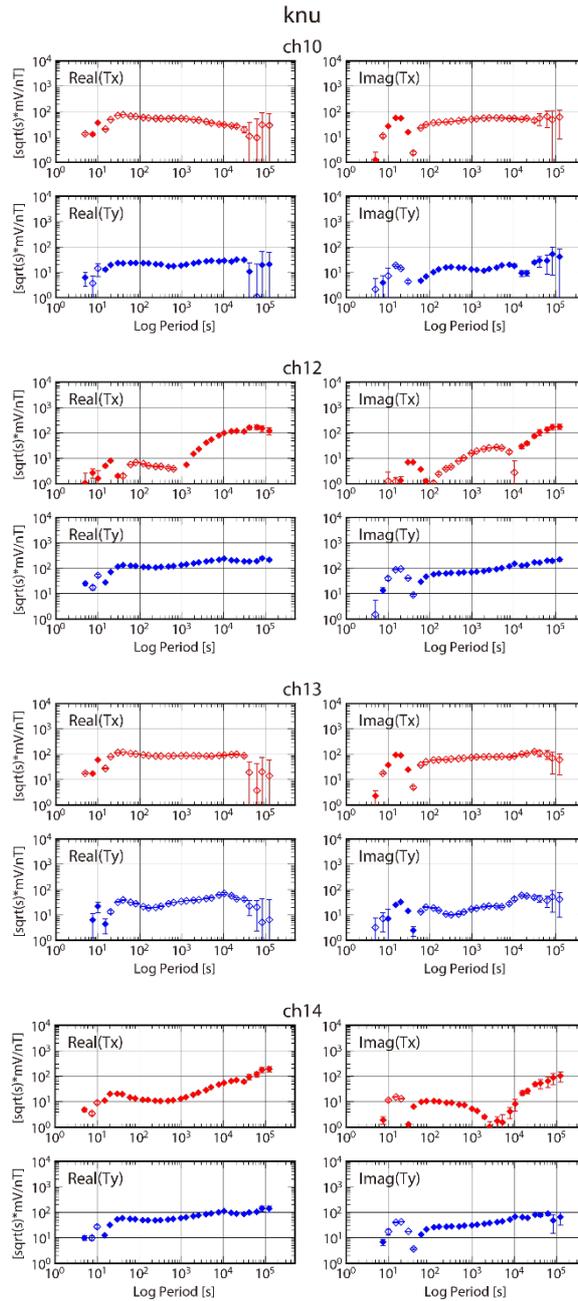


図 3.1.4-2-2a. 今年度に取得した knu エリアのグランド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設（kny）の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所（kak）で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探査曲線。

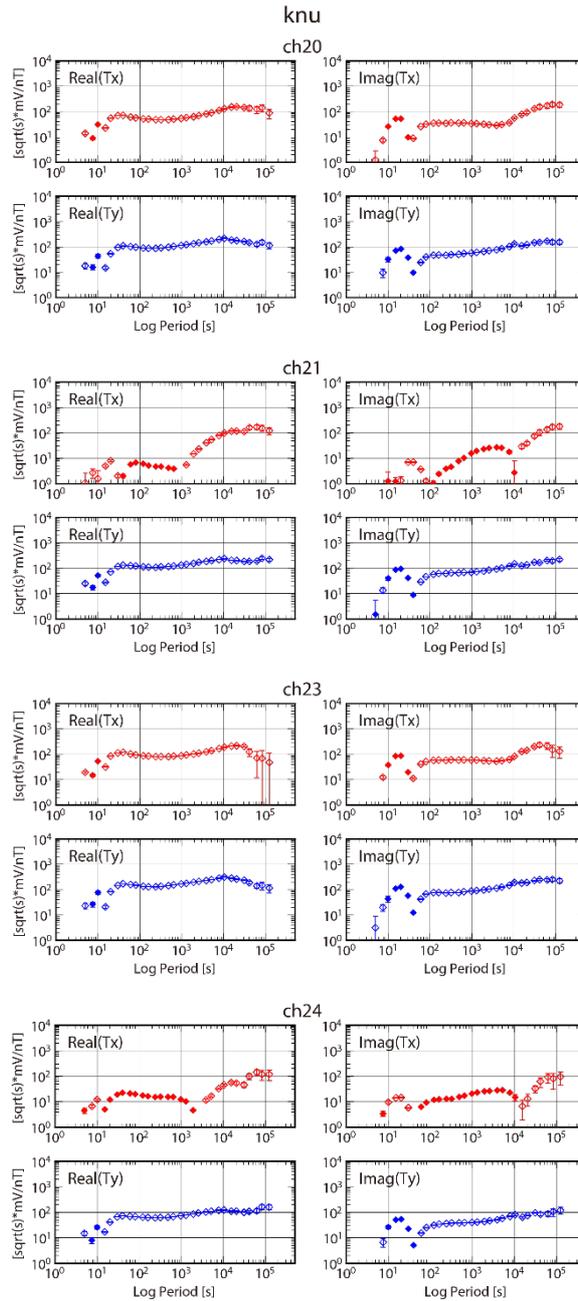


図 3.1.4-2-2b. 今年度に取得した knu エリアのグラウンド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設（kny）の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所（kak）で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探査曲線.

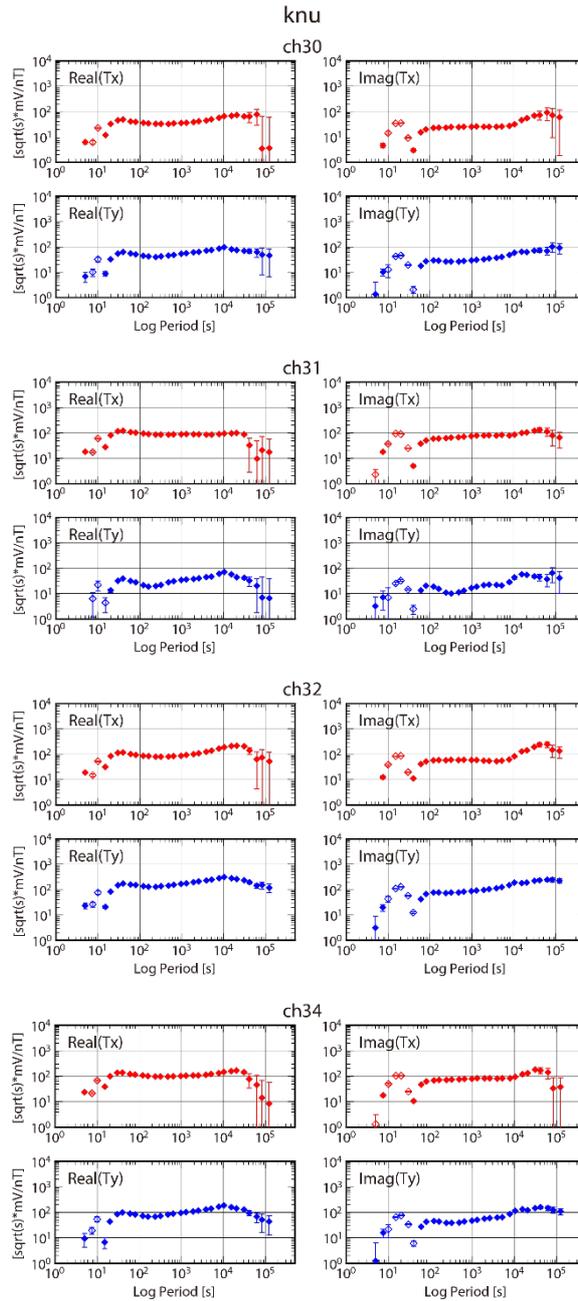


図 3.1.4-2-2c. 今年度に取得した knu エリアのグランド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設（kny）の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所（kak）で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探索曲線。

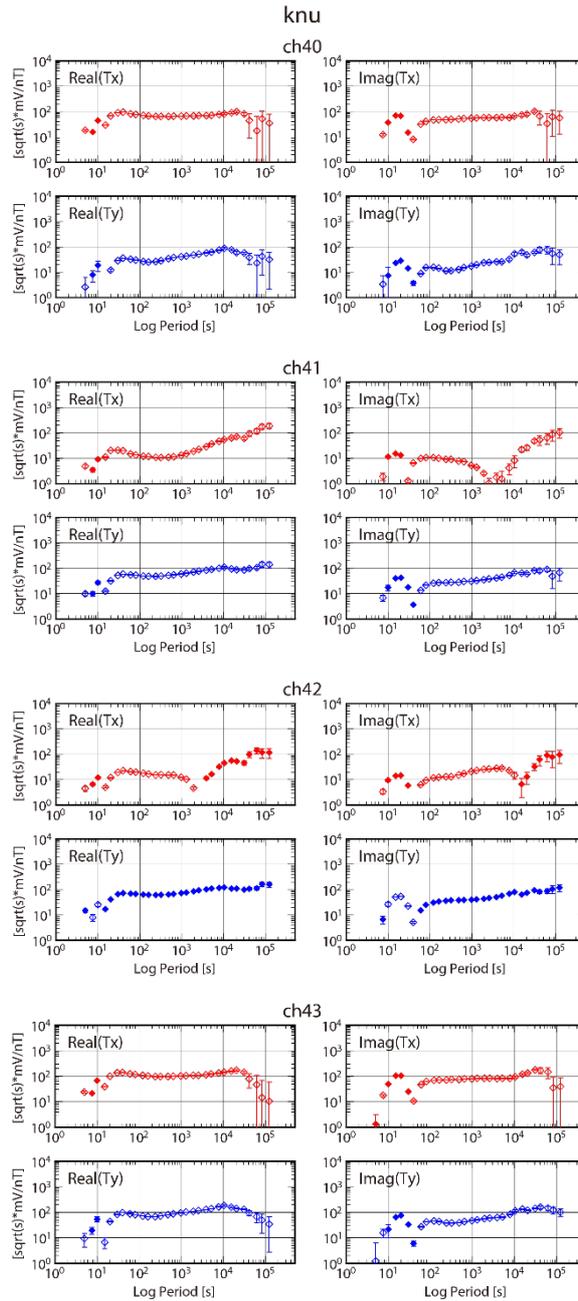


図 3.1.4-2-2d. 今年度に取得した knu エリアのグラウンド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探索曲線。

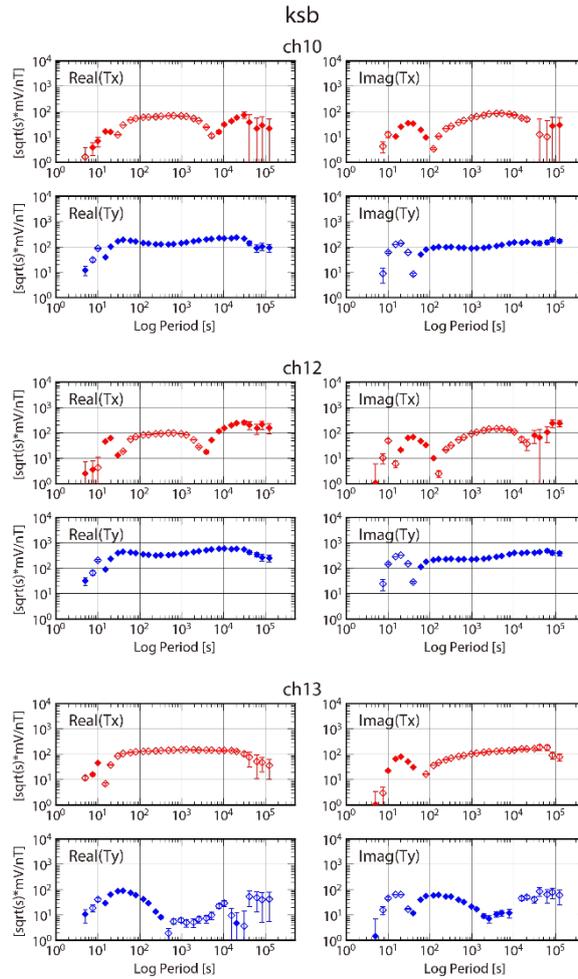


図 3.1.4-2-3a. 今年度に取得した ksb エリアのグランド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設（kny）の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所（kak）で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探索曲線．

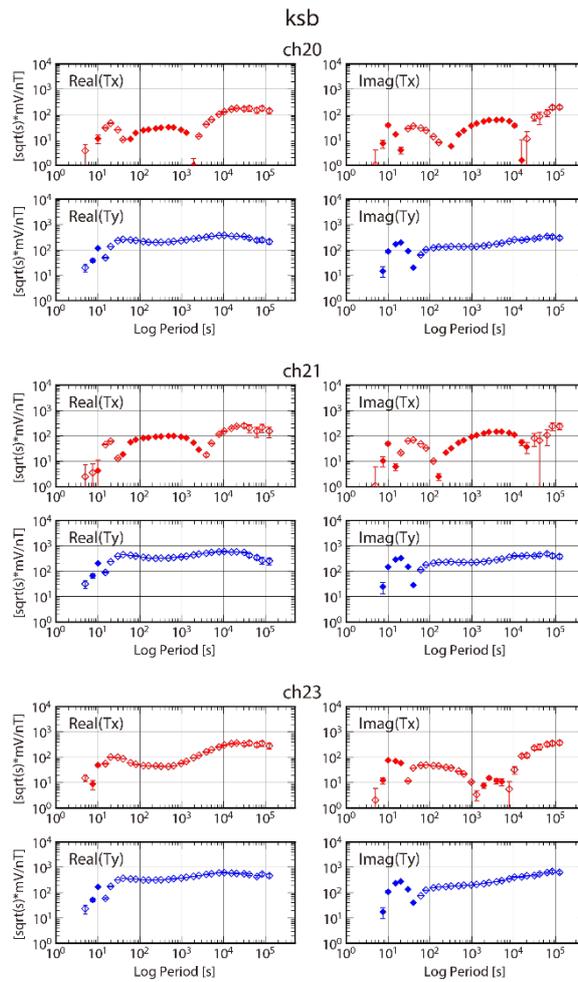


図 3.1.4-2-3b. 今年度に取得した ksb エリアのグランド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探査曲線。

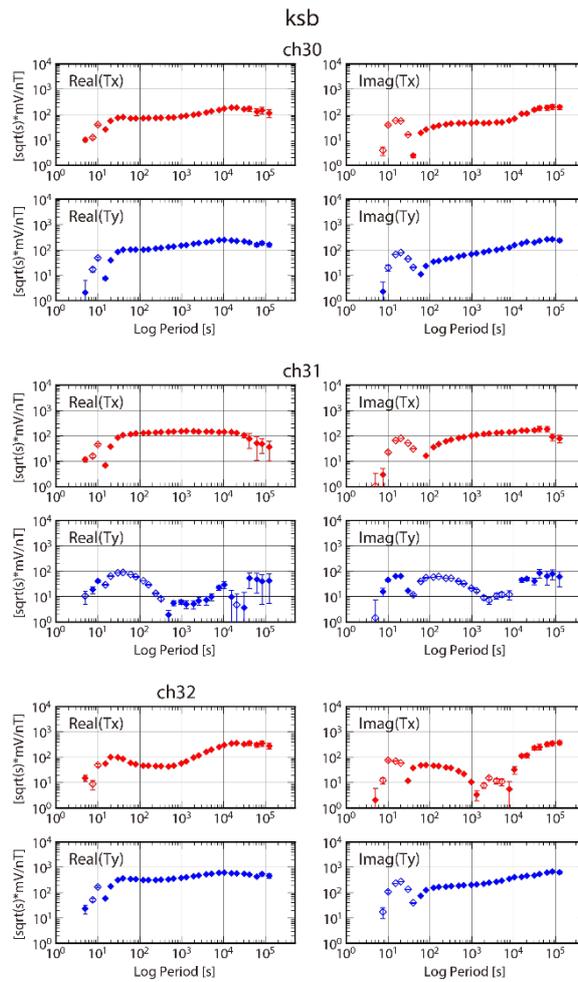


図 3.1.4-2-3c. 今年度に取得した ksb エリアのグランド (電位基準) 電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ, および, 気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し, リモートリファレンス処理には, 気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探索曲線.

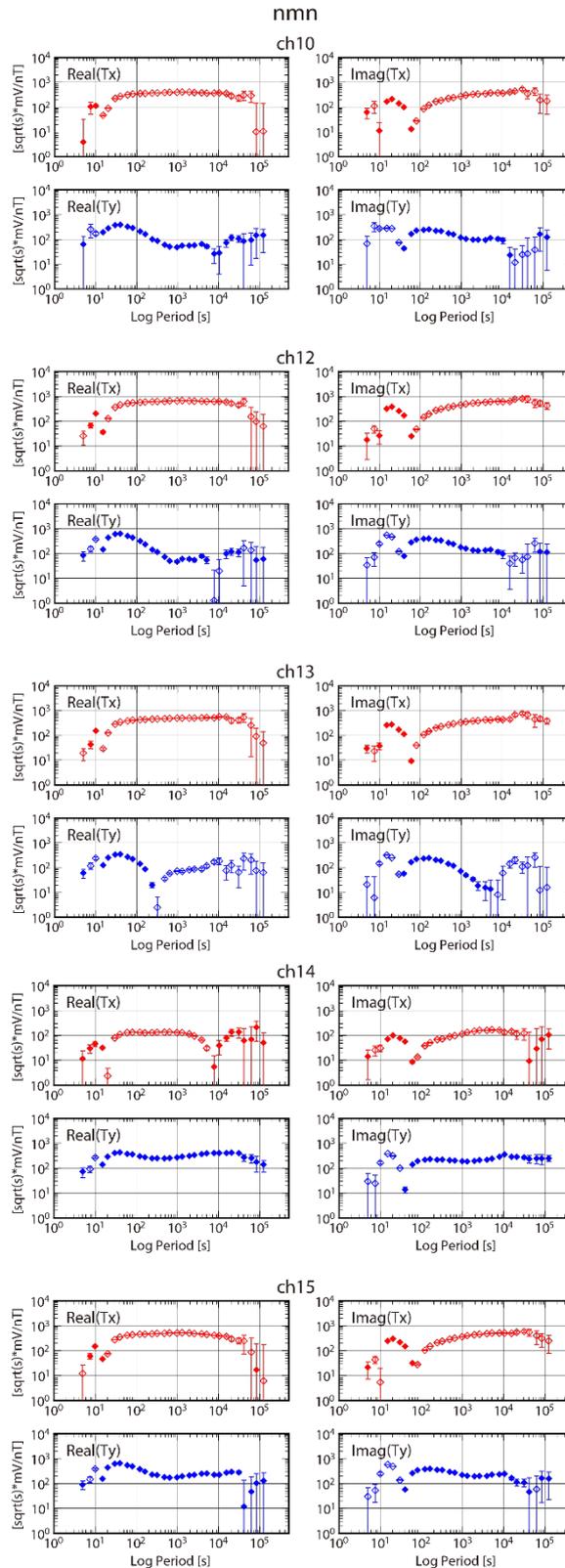


図 3.1.4-2-4a. 今年度に取得した nmn エリアのグラウンド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設（kny）の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所（kak）で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探查曲線.

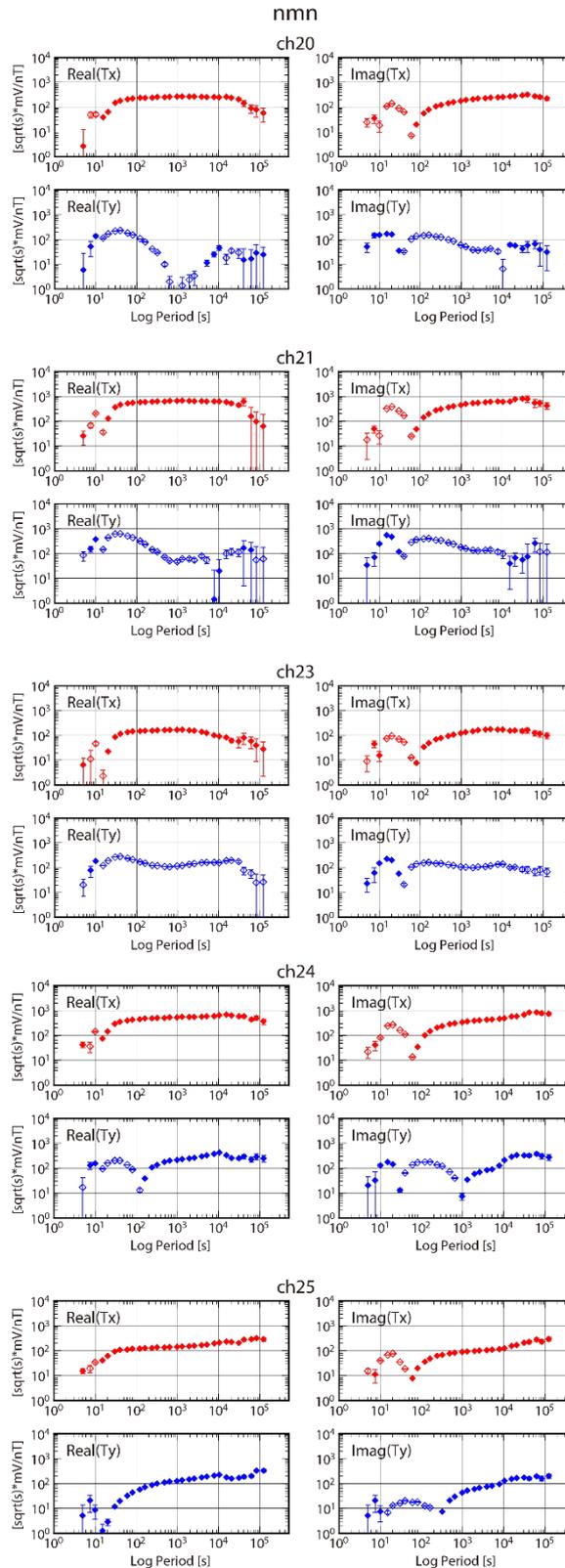


図 3.1.4-2-4b. 今年度に取得した nmn エリアのグランド (電位基準) 電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ, および, 気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し, リモートリファレンス処理には, 気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探索曲線.

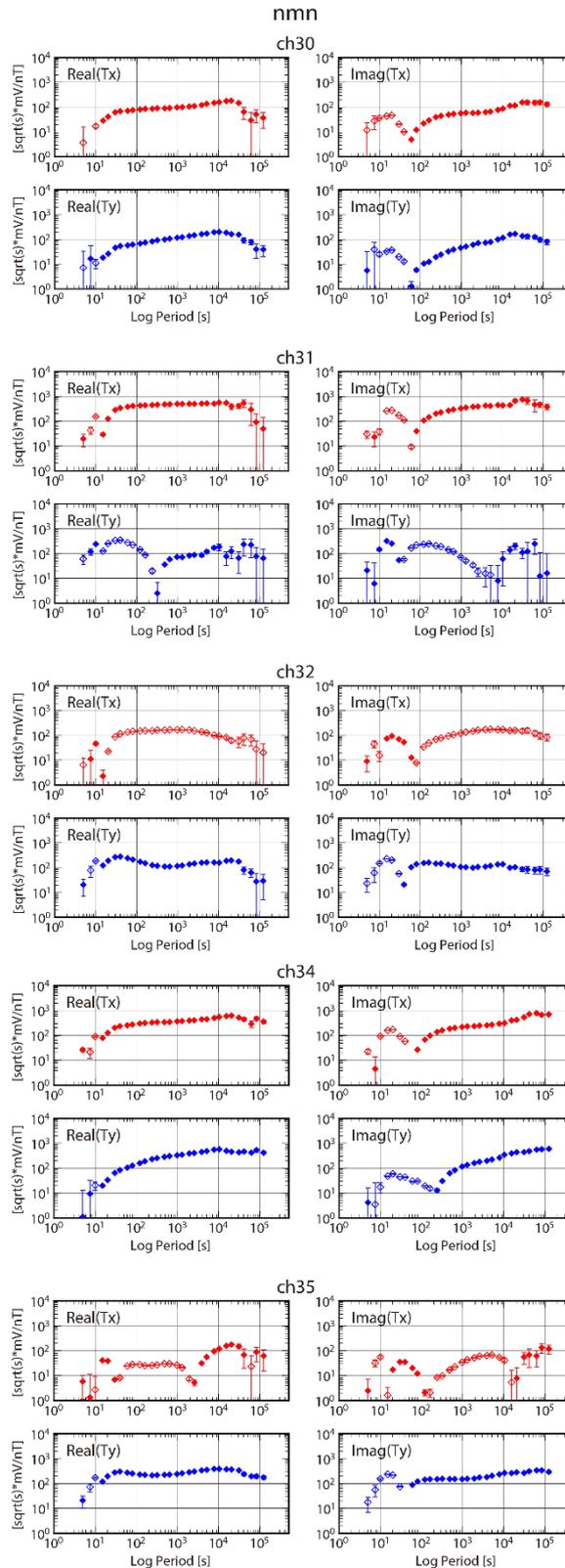


図 3.1.4-2-4c. 今年度に取得した nmn エリアのグラウンド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設（kny）の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所（kak）で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探査曲線．

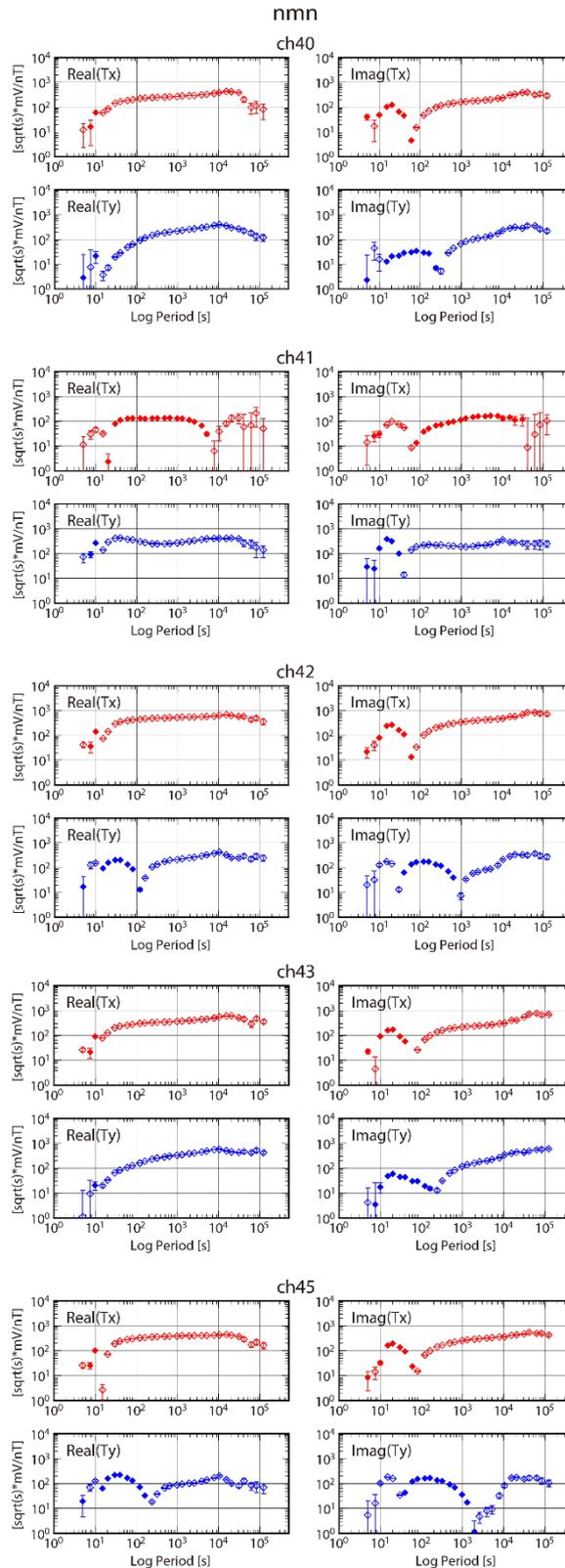


図 3.1.4-2-4d. 今年度に取得した nmn エリアのグラウンド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探查曲線．

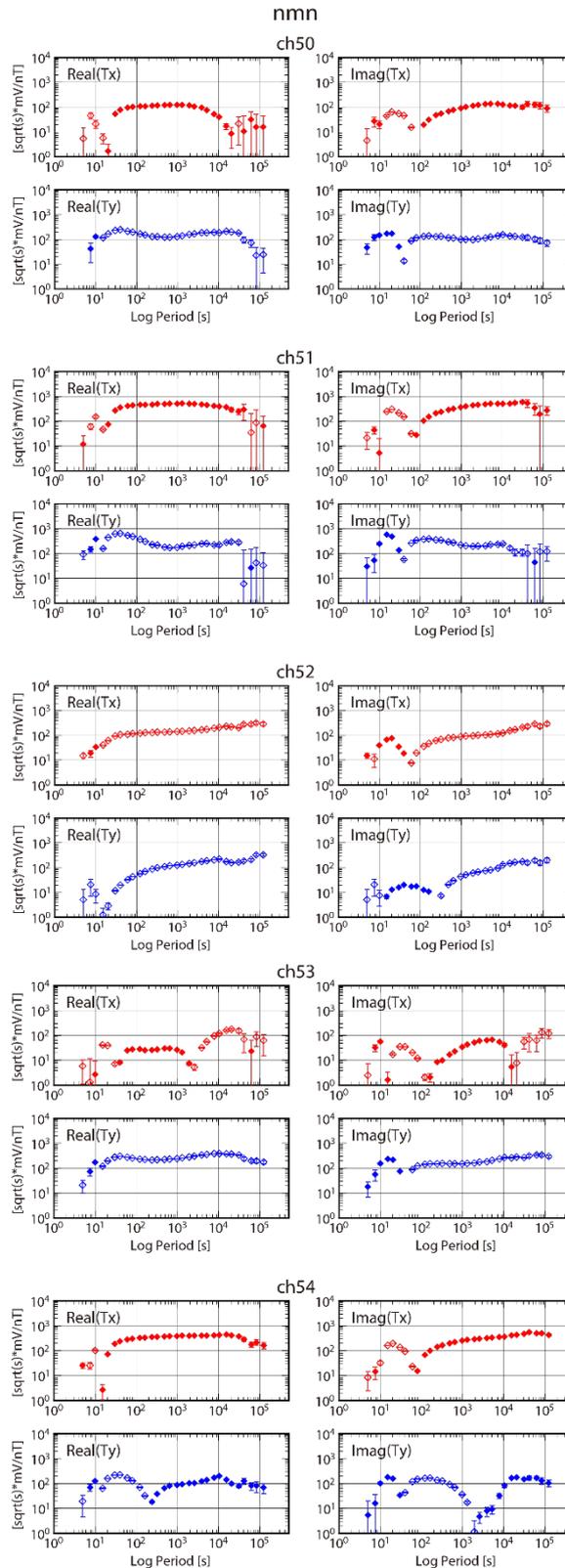


図 3.1.4-2-4e. 今年度に取得した nmn エリアのグランド（電位基準）電極を変更することによって作成したダイポールの電位差データ，および，気象庁鹿屋観測施設（kny）の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所（kak）で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の探査曲線．

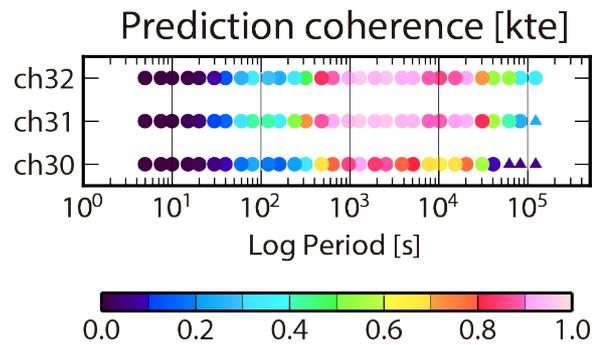
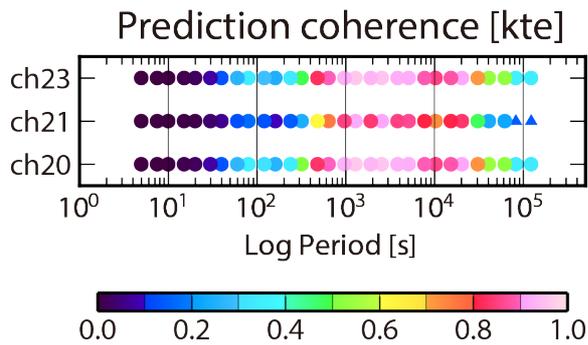
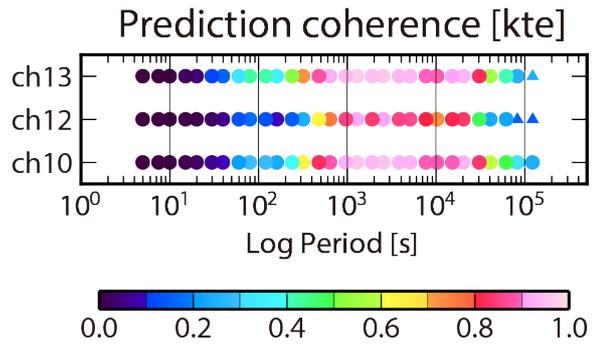
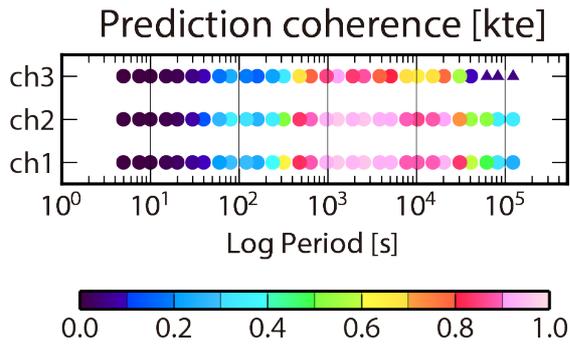


図 3.1.4-3-1. 今年度に取得した kte エリアのダイポールの電位差データ (グランド電極を変更することによって作成したデータも含む), および, 気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し, リモートリファレンス処理には, 気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の prediction coherence.

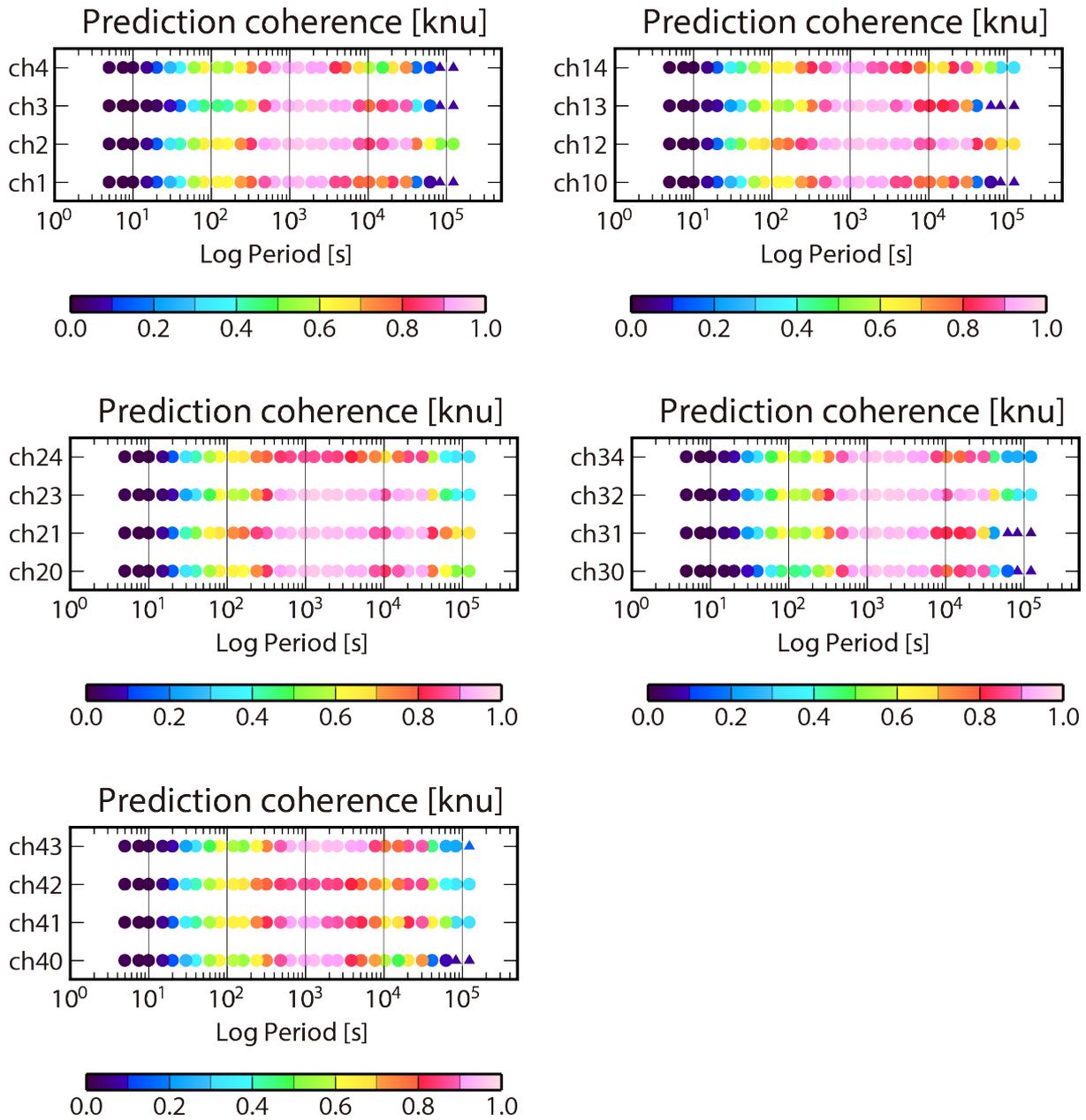


図 3.1.4-3-2. 今年度に取得した knu エリアのダイポールの電位差データ（グラウンド電極を変更することによって作成したデータも含む），および，気象庁鹿屋観測施設（kny）の常時観測による磁場データを使用し，リモートリファレンス処理には，気象庁柿岡地磁気観測所（kak）で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の prediction coherence.

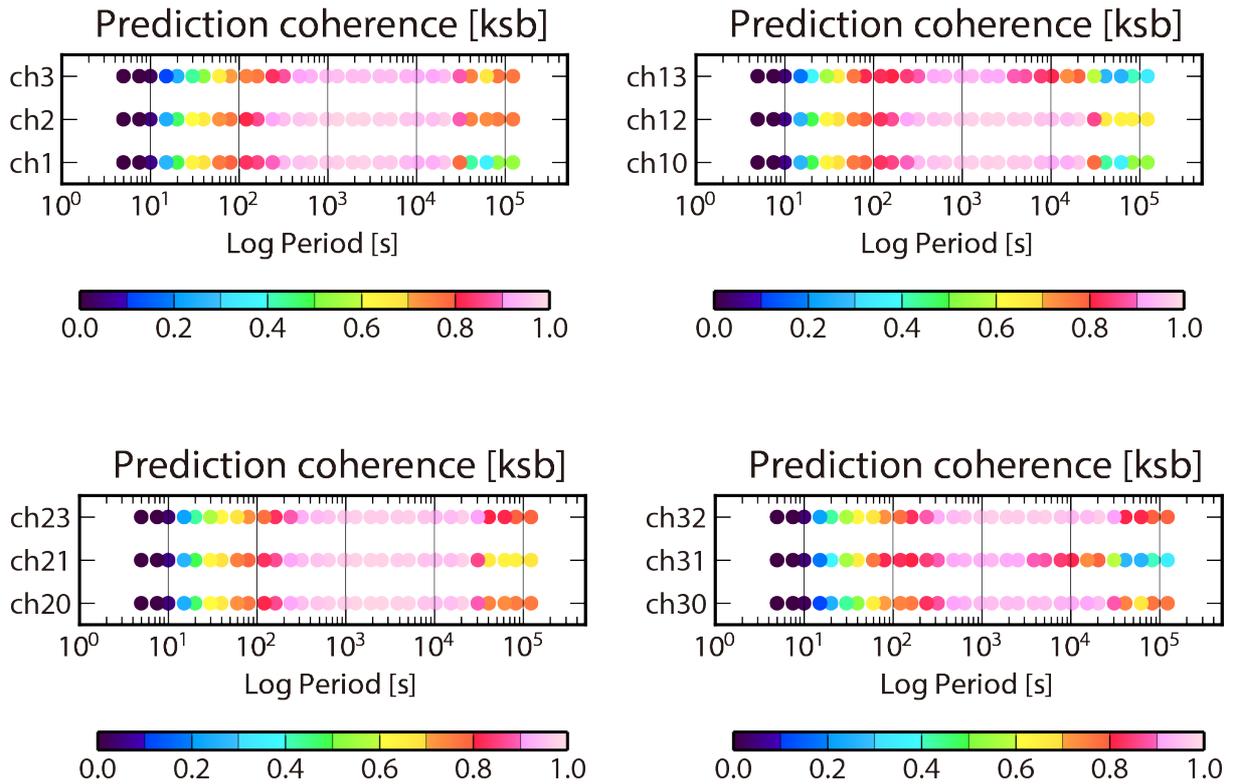


図 3.1.4-3-3. 今年度に取得した ksb エリアのダイポールの電位差データ（グランド電極を変更することによって作成したデータも含む）、および、気象庁鹿屋観測施設 (kny) の常時観測による磁場データを使用し、リモートリファレンス処理には、気象庁柿岡地磁気観測所 (kak) で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の prediction coherence.

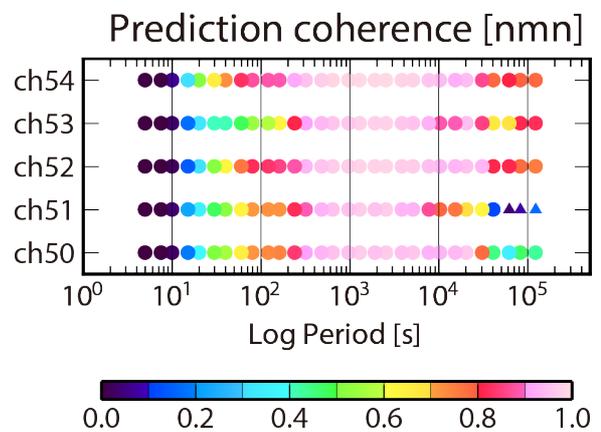
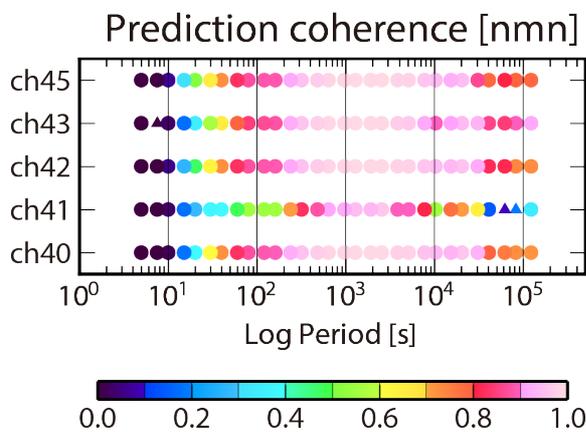
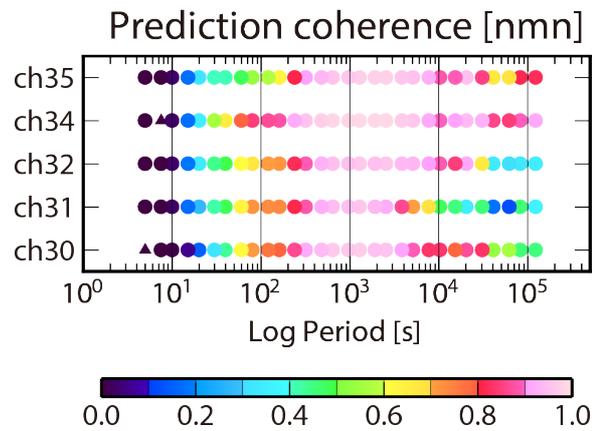
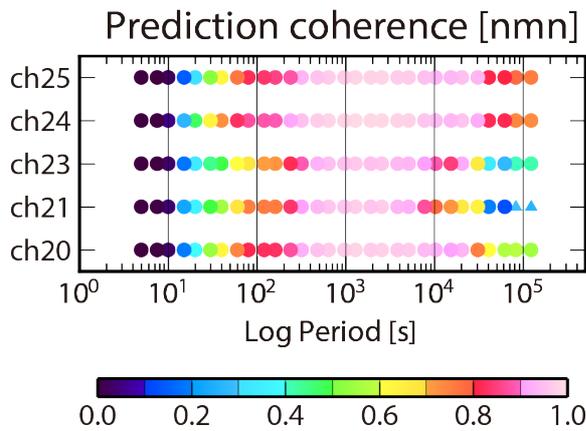
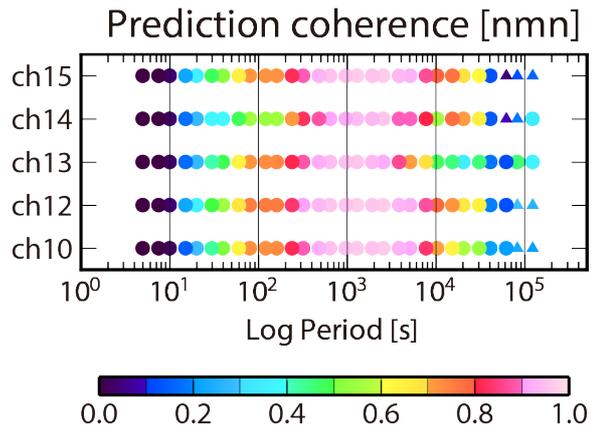
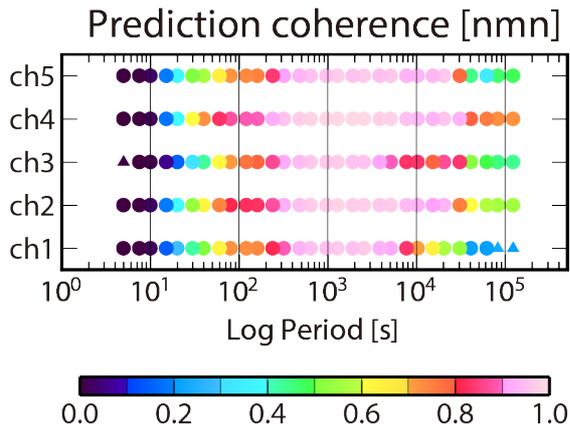


図 3.1.4-3-4. 今年度に取得した nmn エリアのダイポールの電位差データ（グランド電極を変更することによって作成したデータも含む）、および、気象庁鹿屋観測施設（kny）の常時観測による磁場データを使用し、リモートリファレンス処理には、気象庁柿岡地磁気観測所（kak）で常時観測されている磁場データを用いて求めた応答関数の prediction coherence.

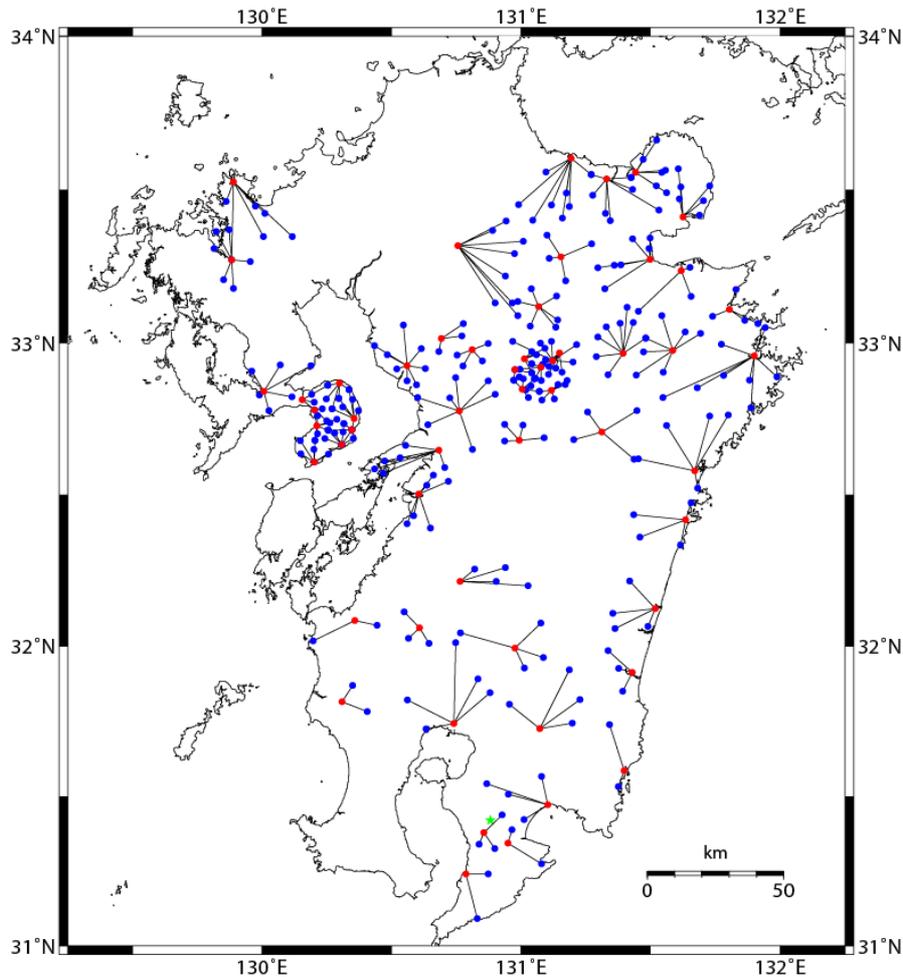


図 3.1.5-1. 1990 年代に実施された九州におけるネットワーク MT 法観測の電位差観測網の分布 (●: 観測ネットの中心点, ●: 支点, ★: 磁場点).

一方、一般的に探査深度が延びると考えられる長周期データを使用した本モデルにおいても、Abe et al. (2017)で示された阿蘇カルデラ西部の深度 15~23km の低速度異常領域 LB に対応するような顕著な低比抵抗異常ブロックは確認できず、阿蘇カルデラ西部の深部には、少なくとも、数 km を超える厚みを持つ顕著な低比抵抗異常ブロックは存在しない可能性が示唆された。しかしながら、比抵抗構造解析においては、構造解析に使用する周期の他に、観測点配置や観測点の広がり、さらには、モデルのグリッド間隔といった要素が、深さ方向のモデル解像度に影響を及ぼす。そこで、本研究では、新しく取得するネットワーク MT 法観測データの解析によって、特に下部地殻の構造を高解像度で得ることを目指して、既存データを用いて実施できる上記の要素の影響評価を昨年度の解析において実施している。

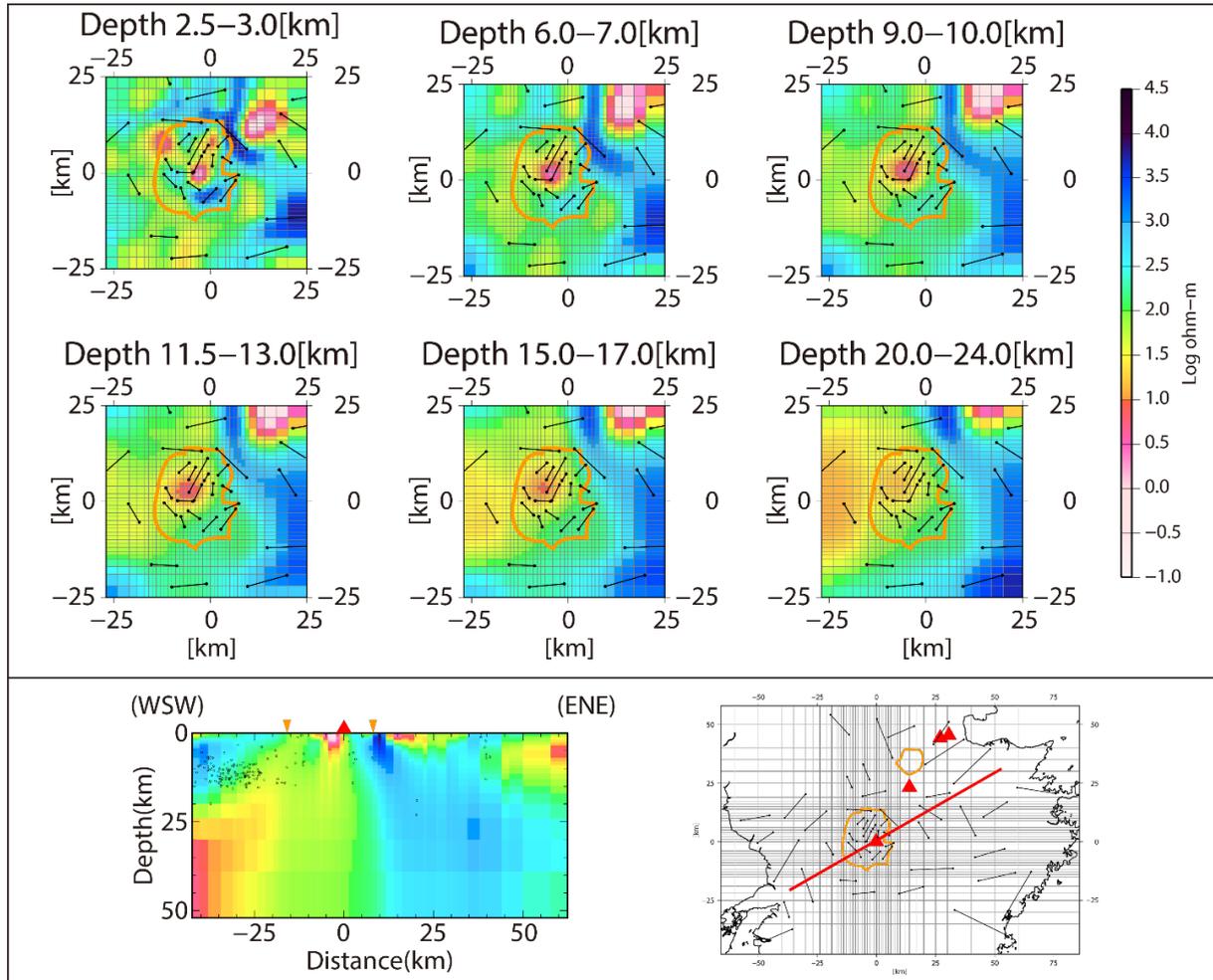


図 3.1.5-2. 既存のネットワーク MT 法データを使用した 3 次元比抵抗構造モデルの阿蘇カルデラ周辺についての水平断面（上段），および，中岳を横断する鉛直断面（下段）．水平断面上のオレンジ色枠は，阿蘇カルデラ．端点に黒丸をもつ黒線は，ダイポールを表す．鉛直断面上の○は震源分布，▲は中岳，▼はカルデラ壁の位置を示す．地図上の赤線が，鉛直断面の通過する位置を表す．【Hata et al., 2018b より改訂引用】