

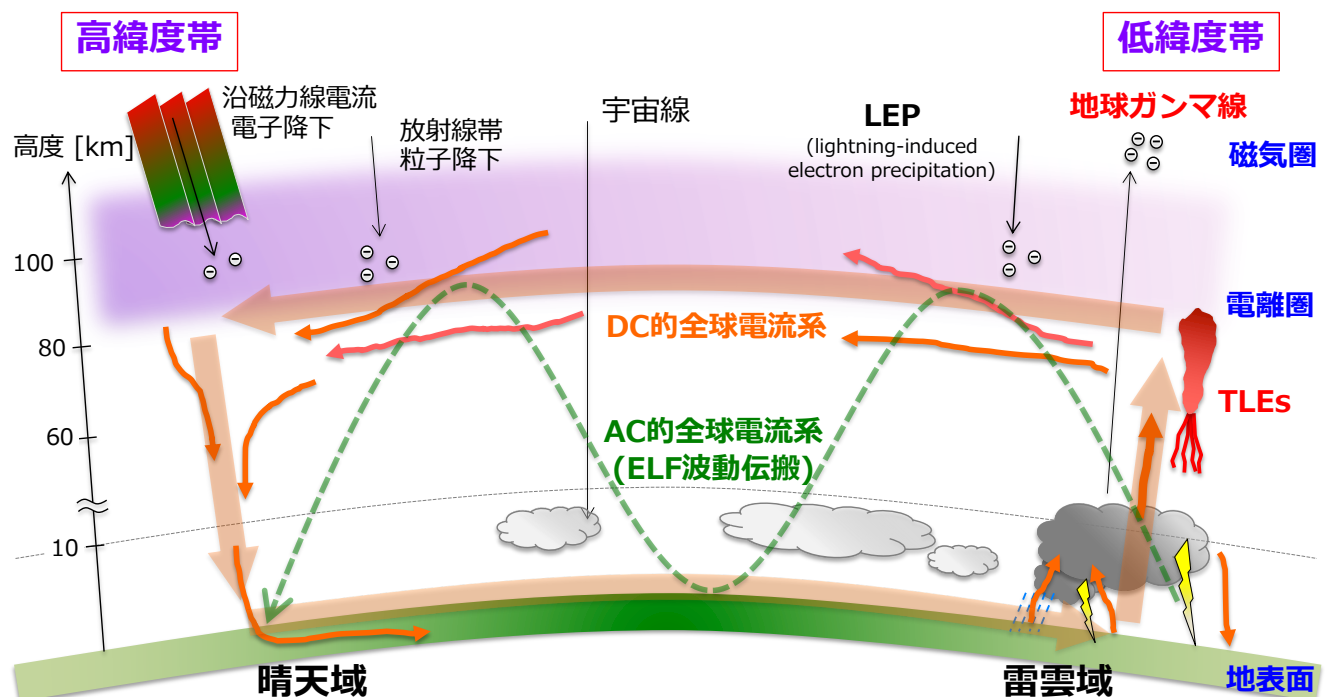
昭和基地で取得した 1-100Hz帯ELF磁場波形 データの共有と可視化

佐藤 光輝

(北海道大学 大学院理学研究院)

1. はじめに

- 電磁波動伝搬 (AC的側面), グローバルサーキット(GEC) (DC的側面)
- 極域からの高品質観測 → 全球雷放電活動と対流活動の定常監視
- シビア気象の監視, 電離圏・磁気圏, 太陽活動と密接にリンク (?)



雷放電放射ELF波動から全球の雷活動のモニターが可能

- 頻度： ~50 flash/s
- 多発域： 熱帯・亜熱帯 (30°S-30°N)

シューマン共鳴 (SR)

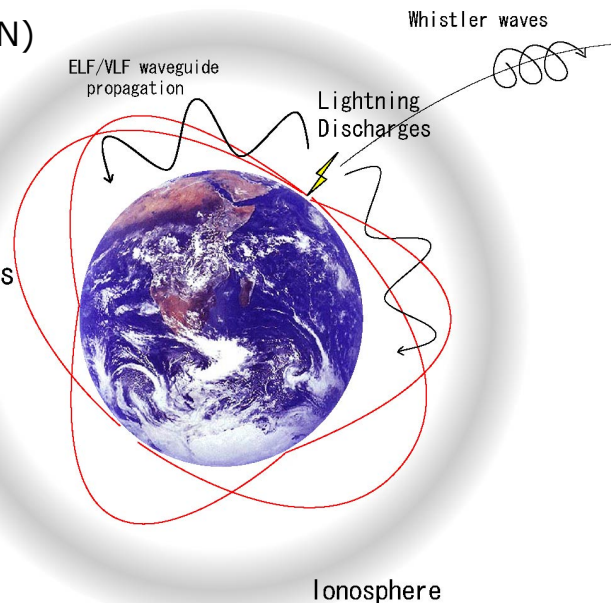
- * 8-50Hz帯のELF波動
- * 導波管伝搬 (ionosphere-ground)
- * 低減衰率 (< -1 dB/Mm)

Schumann Resonances

トランジェントSR (Q-burst)

- * 放電エネルギーの高いCGにより発生
- * TLEs (sprites, elves, ...)と相関

[Boccippio et al., 1995]

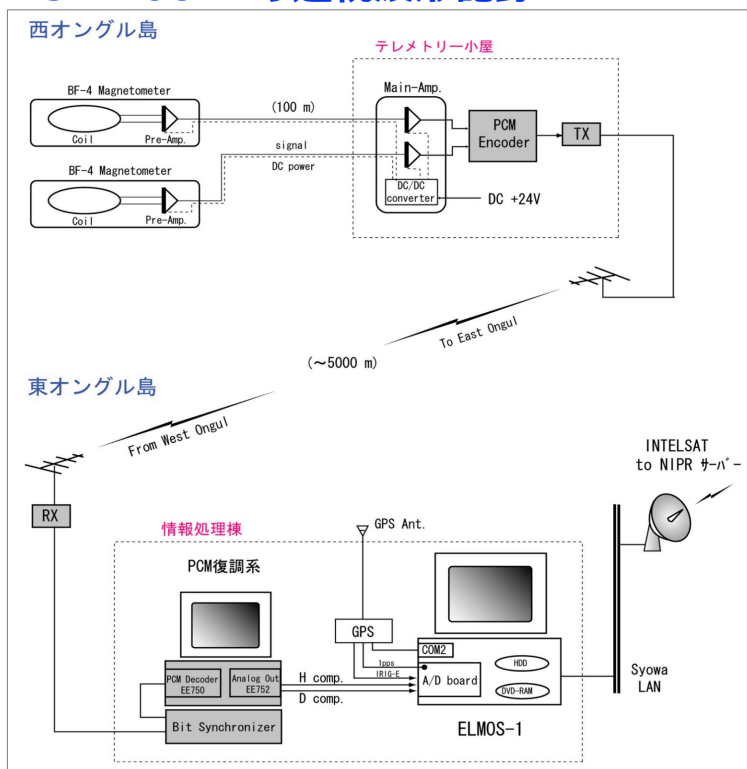


地球気候変化・森林火災・極端気象の指標

2. 1-100Hz帯ELF波動観測

JARE41から約20年にわたって安定稼働する観測システム

fs = 400Hzの連続波形記録



センサー



アンプ



データ収録
システム

2. 1-100Hz帯ELF波動観測



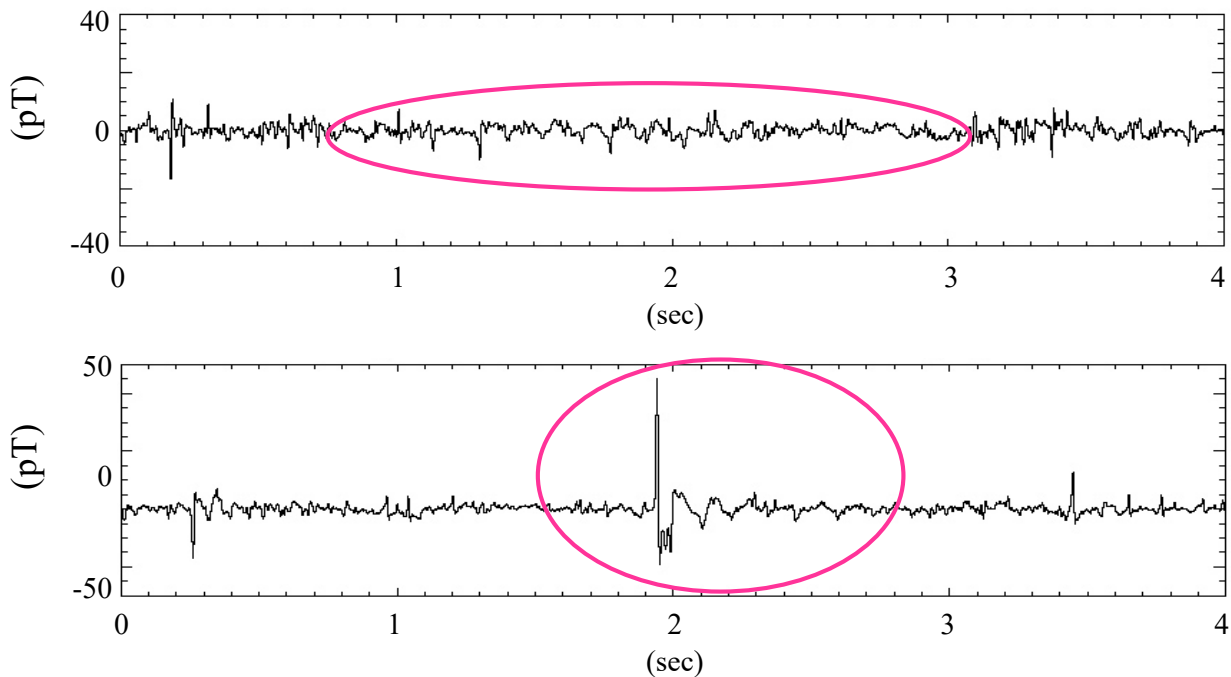
北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



世界トップのクオリティを誇る長期間・未欠損のELFデータ

世界トップ・圧倒的なデータクオリティ

(No analog filters & digital filters !!!)



極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#5/23

2. 1-100Hz帯ELF波動観測

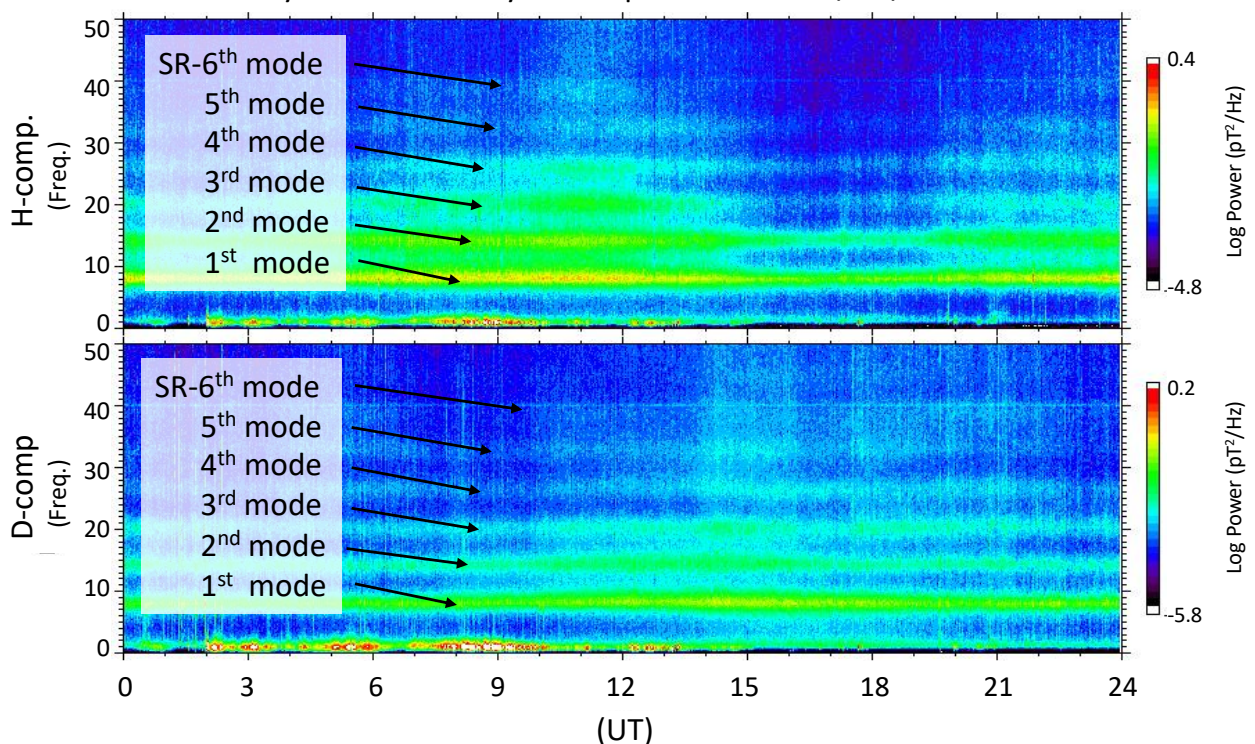


北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



6次共鳴モードまで観測できる昭和基地の高い電磁的静穏性 !!

Syowa ELF Data Dynamic Spectrum 2003/ 07/ 05



極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#6/23

昭和基地における観測成功を世界展開しネットワーク構築

世界ELF波動観測システム(GEON)

観測点	ID	(Lat., Lon)	観測期間	特徴
Syowa	SYO	69.0°S, 39.5°E	2000/ 02 -	唯一の南半球観測点. 雷多 発域までほぼ等距離. local な雷活動がない.
Onagawa	ONG	38.4°N, 141.5°E	2001/ 06 - 2019/ 03	アクセスが容易.
Kiruna	ESR	67.9°N, 21.1°E	2003/ 08 -	SYOのほぼ反対緯度. 比較的 静穏.
Santa Cruz	SCZ	37.1°N, 122.2°W	2006/ 03 - 2015/ 03	アクセスが困難. リアルタイ ムのデータ転送が困難.
Kuju	KUJ	33.1°N, 131.2°E	2013/ 06 -	アクセスが容易.

これまでに蓄積されたデータ量

世界ELF波動観測システム(GEON)

観測点	観測期間	データ量
Syowa	2000/ 02 -	2.65 TB
Onagawa	2001/ 06 - 2015/ 10	2.01 TB
Kiruna	2003/ 08 -	2.16 TB
Santa Cruz	2006/ 03 - 2015/ 03	< 0.14 TB
Kuju	2013/ 06 -	0.79 TB

3. ELFデータを用いた研究成果



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



トランジェントSRを励起した 雷放電の位置推定

使用データ

- ELF data @ SYO, ONG, ESR
- 2003年9月 - 2004年8月

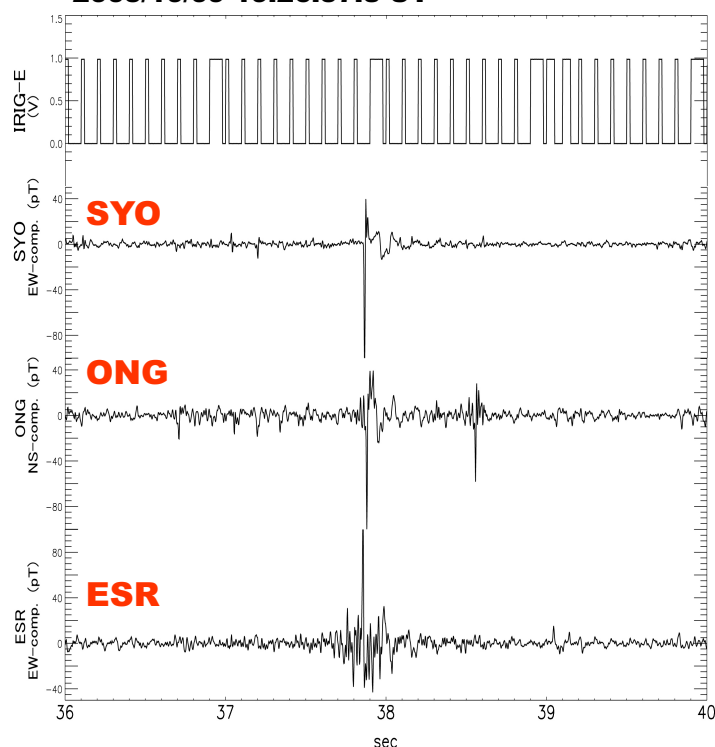
1.7×10^5 events

位置推定

推定誤差 = ~ 500 km

[Sato et al., 2008]

2003/10/09 19:26:37.8 UT



極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#9/23

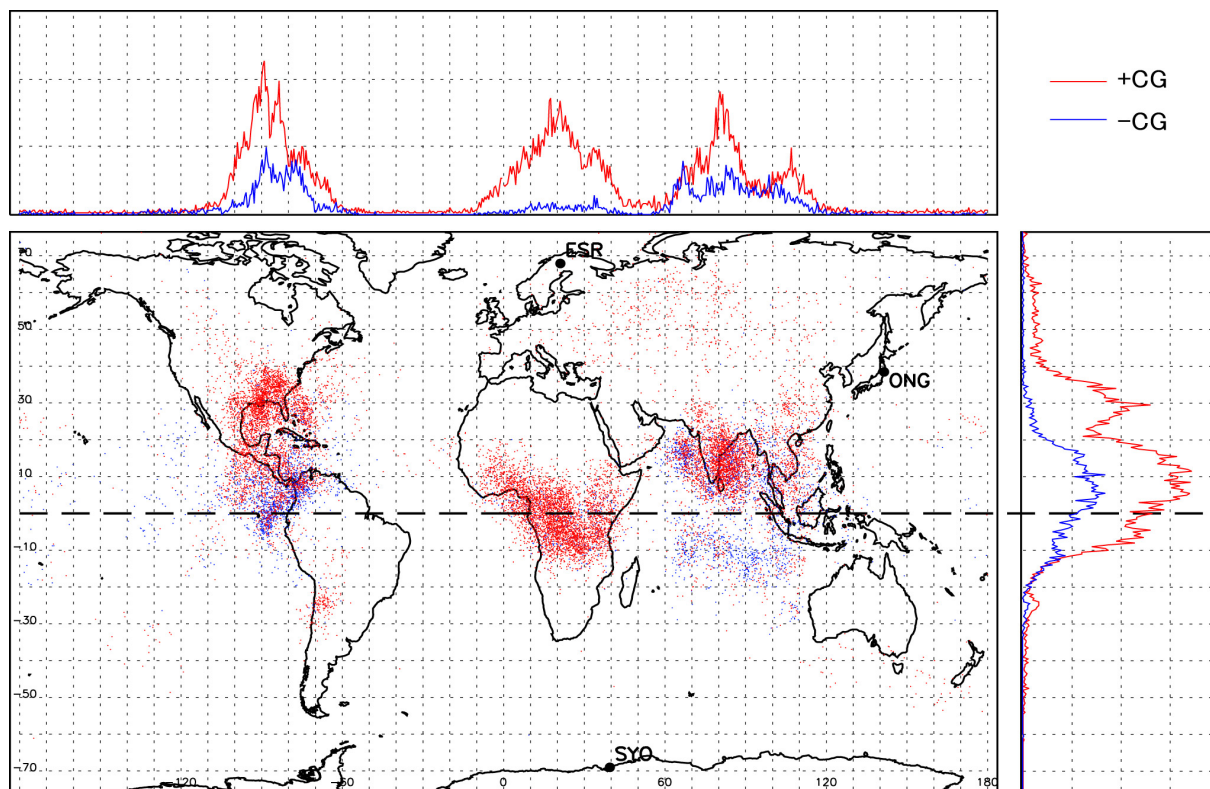
3. ELFデータを用いた研究成果



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



One month global lightning distribution (June 2004)



[Sato et al., 2008] ーデータの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#10/23

3. ELFデータを用いた研究成果



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



- **世界トップのデータクオリティ**
- 2000年からの**欠損なき長期連続データ**

- 太陽-(磁気圏・電離圏)-地球結合系の研究に資する長期データを提供
- **雷活動の周期性 (～5, ～10, ～30日周期) の発見**

- 雷放電・TLEs・TGFs・気象研究における重要な**基盤データ**

- 雷放電の発生時刻, 位置, **極性**
- 雷放電の**放電電荷モーメント変化量**(= 放電エネルギーの指標)の推定

- **国内外からのデータリクエスト, 国際共同観測・研究の実施**

- マサチューセッツ工科大, デューク大, ペンシルベニア州立大, ユタ州立大, オープン大(Israel), 中国科学アカデミー, 台湾成功大学, 他
- 東北大学, NICT, 東京大学, 東京学芸大学, 京都大学, 九州大学, 鹿児島高専, 東北電力, 他

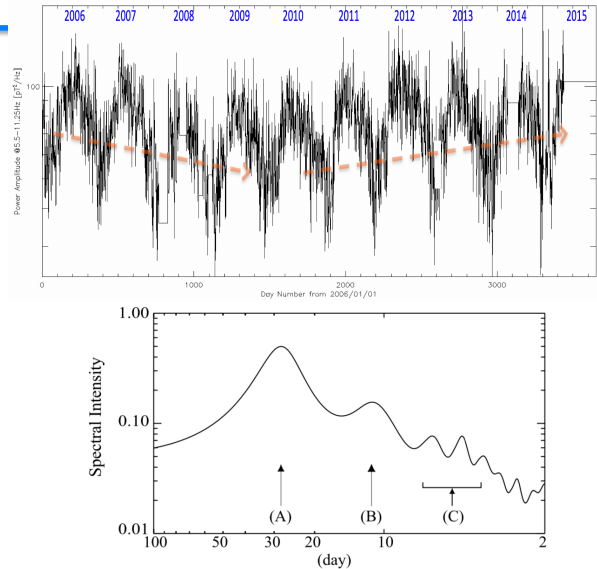


Fig. (上) 2006年～2015年に昭和基地で得られたELF帯磁場波形データのスペクトル強度変化。(下) スペクトル強度変化の周期解析結果 [Sato and Fukunishi, GRL, 2005].

極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#11/23

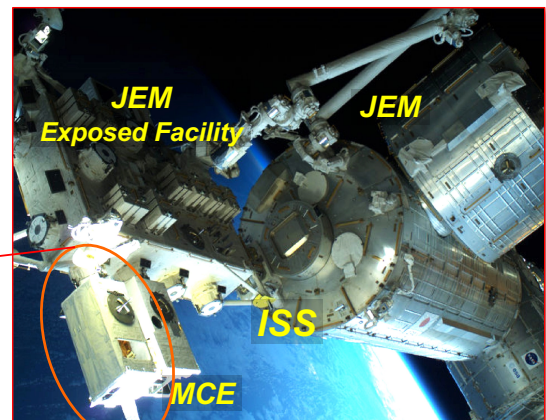
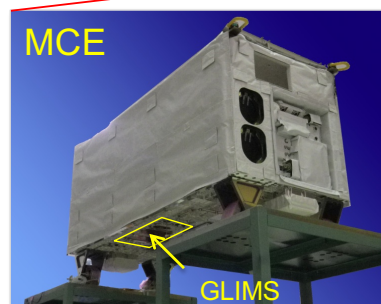
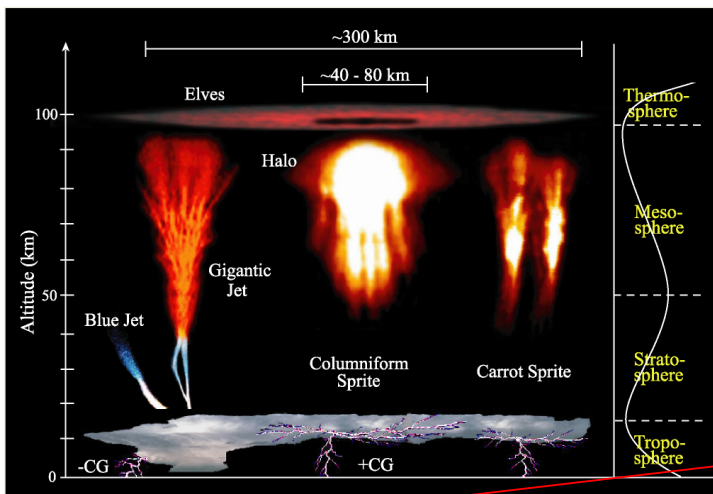
3. ELFデータを用いた研究成果



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



宇宙空間からの雷放電・TLEs観測についての基本インフラ

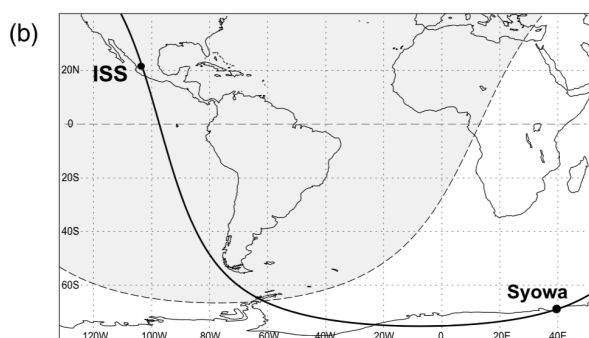
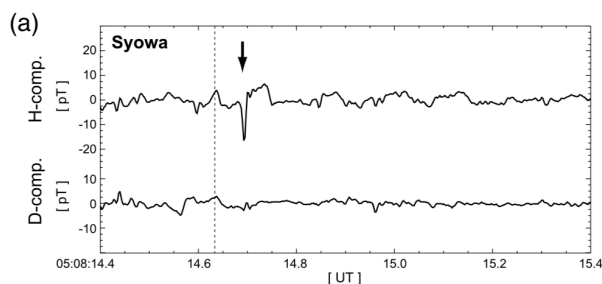


TLEsを引起こす雷放電の電気的特性を明らかにするためには, 昭和基地のELFデータが必要不可欠

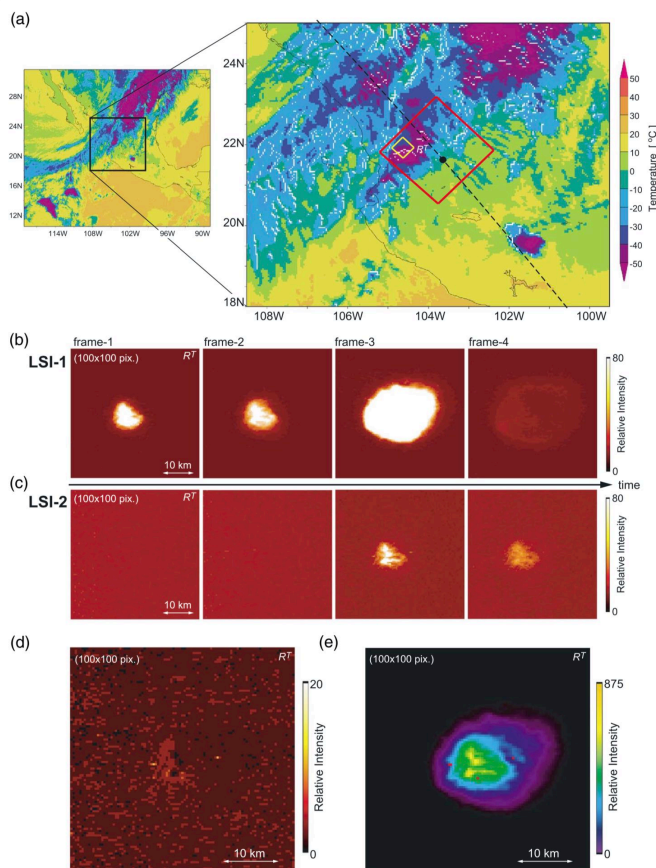
極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#12/23

JEM-GLIMSで観測されたスプライトと、昭和基地で同時観測されたトランジェントSR



[Sato et al., 2016]



極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#13/23

- 公募型共同研究「ROIS-DS-JOINT」を2019年度に申請し採択された（課題番号：031RP2019）

- この共同研究での狙いは2点：

1. 北大におけるELFデータの管理状態の改善

2. ELFデータをIUGONETを通じて公開

4. ELFデータの保管状況の改善



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



PC用外付けHDDに保管している（初期のデータはCD-Rなどのメディア）



- 積極的な国際共同データ解析
 - データリクエストが絶えない
- その都度、データをHDD等にコピーして渡している…

極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#15/23

4. ELFデータの保管状況の改善



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



- NAS (16TB × 2台) を購入し北大に設置
- 過去の全ELFデータをNASに複製保存する作業を継続中



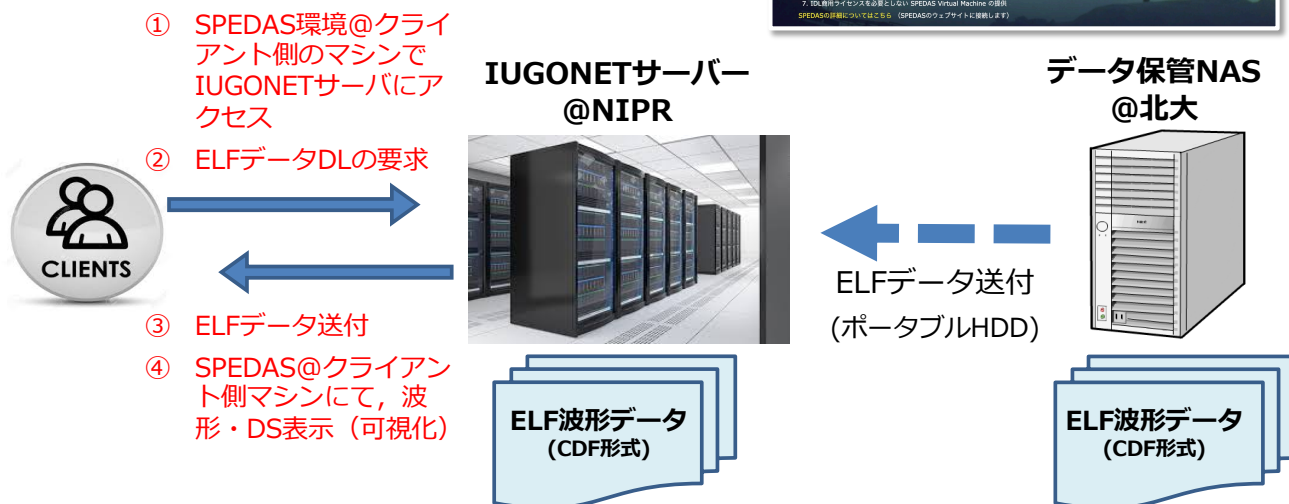
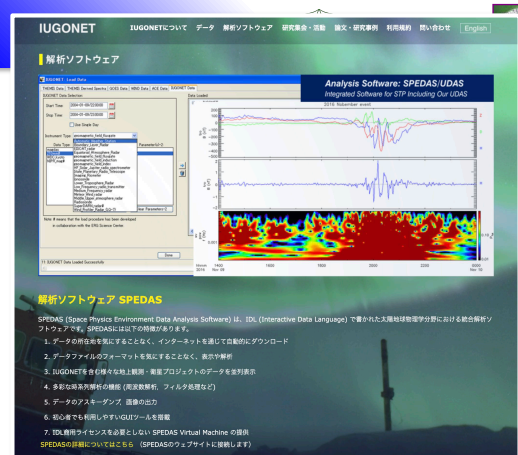
極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#16/23

5. ELFデータの公開作業

IUGONETを通じた公開

- 既に多くの超高層関係のデータがIUGONETを通じて公開
- ELF生データをCDF化する必要



極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#17/23

5. ELFデータの公開作業



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



IUGONETを通じた公開

< 具体的な作業項目 >

- ① CDF化に必要なメタデータ作成（済）
- ② CDF化処理を行うIDLプロシージャ作成（済）
- ③ 解析ソフトウェア(SPEDAS)用ロードプロシージャ作成（済）
- ④ QLプロットのスクリプト作成（済）
- ⑤ IUGONETサーバー@NIPRで1ヶ月分のELFデータを試験公開（済）
- ⑥ IUGONET Type-A用のメタデータ作成（未着手）
- ⑦ 過去の全ELFデータをCDF化, IUGONETサーバへの登録作業（進めている）

田中良昌さん
（極域環境データ
センター）
のご協力

田中良昌さん,
梅村宜生さん
（名古屋大）の
ご協力

極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#18/23

5. ELFデータの公開作業

① CDF化に必要なメタデータ作成

→ IUGONETに登録済みの名大・ULFデータのメタデータを参考に

Global Attribute	Column (英文字, NASA ISTP)	Type (文字列か数値か, しかし, 判別は Value (CDFに格納する値, または, 値の制約(別ファイル)の値を使う場合 Value, 即座にこのファイル) 属性の説明 (英文字: required)
3	CDF name	String "geon_elf" (Station_Code, <YYYYMMDD>, CHD, v<nn) の設定 + 自動生成, attribute CDF化したときのファイル名を記述して下さい。
4	Records	String "1" 自動生成, attribute 記録したファイルにおけるタイムレコード数を記述します。 Num of data per 1 file
5	Project	String "Syowa ELF Magnetic Field Waveform Data" 別ファイル プロジェクト名を記述して下さい。 This attribute identifies the name of the project and indicates ownership.
6	Discipline	String "Space Physics/Atmospheric Sciences" 別ファイル "Space Physics/Atmospheric Sciences" という科学的視野の分野を記述して下さい。 This attribute describes both the science discipline as
7	Source name	String "GEON/Geomagnetic Waves" 別ファイル "GEON/Geomagnetic Waves" というミッション名と調査対象を記述して下さい。 This attribute identifies the mission or investigation that contains
8	Data type	String "Induction/Induction Magnetometer Data" 別ファイル 次のようなデータタイプを記述して下さい。 "Kn" Key Parameter " for approximately minute averaged survey data, and "Hn" High Resolution data".
9	Descriptor	String "Induction/Induction Magnetometer" 別ファイル 機器やセンサー名を記述して下さい。 This attribute identifies the name of the instrument or sensor that collected the data.
10	Data version	String "1" 別ファイル CDFバージョンを記述します。
11	FILE	String "1-100Hz ELF Magnetic Field Waveform Data" 別ファイル 簡単なデータタイトルを記述して下さい。
12	TITLE	String "1-100Hz ELF Magnetic Field Waveform Data" 別ファイル データに関連している論文やコメントを記述して下さい。 (改行したいa属性の値を複数成分の配列にしたい場合は, "I"を改行の印に。 CDF作成:
13	TEXT	String "Faculty of Science, Hokkaido University" 別ファイル generating data center/group
14	Generated by	String "20200409" 別ファイル CDFファイルが生成された日を記述します。 Date stamps the creation of the file
15	Generation date	String "Created 04/2020" 別ファイル CDFファイルの変更履歴を記述して下さい。
16	MODS	String " " 別ファイル SFDU idがなければ, それを入力して下さい。 デフォルトは "NSD0041" です。 This attribute stores the control authority identifier associated with
17	ADID_ref	String "geon_elf" (Station_Code, <YYYYMMDD>, CHD, v<nn) の設定 + 自動生成
18	Logical file id	String "geon_elf" (Station_Code, <YYYYMMDD>, CHD, v<nn) の設定 + 自動生成
19	Logical source	String "Hokkaido University ELF Magnetic Field Waveform Data" 別ファイル ISTDPの命令を識別するためのファイル名を記述します。 命令識別は次のようになっています。 (source name/data type/descriptor/data/version) e.g
20	PI name	String "Mitsuru SATO" 別ファイル ソース名, データタイプ名, 記述子名を記述して下さい。 This attribute carries source name, data type, and descriptor information.
21	PI affiliation	String "Faculty of Science, Hokkaido University, Kita-10, Nishi-8, Kita-ku," 別ファイル GDWebで用いる際の具体的なロジカルソースを記述して下さい。 This attribute writes out the full words associated with the encrypted Logical sou
22	Mission group	String "GEON" 別ファイル データ管理機構を記述して下さい。
23	Instrument type	String "Ground-Based Magnetometers, Riometers, Sounders" 別ファイル "Geotail" など, ミッション名のみを記述して下さい。 This attribute has a single value and is used to facilitate making choices of source through CI
24	TEXT supplement	String " " 別ファイル TEXT項目の補足説明を記述して下さい。
25	Rules of use	String " " 別ファイル information on, e.g., eligibility and PI access restrictions
26	LINK TEXT	String "For more information, see" 別ファイル text describing on-line data available at PI or Col web sites.
27	LINK TITLE	String "Global ELF Observation Network (GEON), Hokkaido University" 別ファイル the title of the web site holding on-line data available at PI or Col web sites.
28	HTTP LINK	String "http://www.epi.sci.hokudai.ac.jp/geon/" 別ファイル URL for the PI or Col web site holding on-line data
29	Time resolution	String "1/400 s" 別ファイル 静的なTime resolutionを記述して下さい。
30	Start Date and Time	String " " 別ファイル 観測開始日時を記述します。
31	End Date and Time	String " " 別ファイル 観測終了日時を記述します。
32	Station name	String "Syowa" 別ファイル 観測所名
33	Station code	String "SYO" 別ファイル 観測所コード (IAGAほか, 3文字か4文字)
34	Geographic coordinates	String "geographic" 別ファイル 観測所位置の地理座標系の種類 (geographic/geodetic/geocentricなど)
35	Geographic latitude	String "-69.018" 別ファイル 観測所の地理緯度
36	Geographic longitude	String "39.508" 別ファイル 観測所の地理経度
37	Elevation	String "15" 別ファイル 観測所の高度 (データがない場合はFLLVAL)
38	Geomagnetic coordinates	String "geopole geomagnetic coordinates (IGRF, epoch 2005)" 別ファイル 観測所位置の地磁気座標系の種類 (IGRFなど)
39	Geomagnetic latitude	String "-66.37" 別ファイル 観測所の磁気緯度
40	Geomagnetic longitude	String "72.23" 別ファイル 観測所の磁気経度
41	L value	String " " 別ファイル L値
42	Magnetometer type	String "Induction" 別ファイル 磁気計の種類 (Fluxgate, Inductionなど)
43	Number of channels	String "3" 別ファイル データのチャンネル (成分) 数 (2チャンネルしかないケースがあるから必要)
44	Data coordinates	String "other" 別ファイル 地磁気データの座標系の種類 (XYZ/XYZ/XYZ)
45	Data type 2	String " " 別ファイル 導線磁気計データは, 磁場の時間微分 (Time Derivative)
46	Data resolution	String " " 別ファイル 磁場データの分解能
47	Data sampling type	String "spot" 別ファイル サンプリングの仕方やepochの時刻の定義を記述。1分値の場合, "1 min average/center"; 01:00 -> 00:30-01:29の1分間の平均。 "1 min average/s
48	D unit	String "dT" 別ファイル D成分の単位 nT/mか
49	D conversion factor	String " " 別ファイル D成分 deg/cGへの変換の仕方
50	Time calibration method	String "400Hz sampling triggered by GPS 1PPS signal" 別ファイル 時刻校正の方法 (GPS or PC clock signal...)
51	Quick sensitivity	String "10 mV/AT at 8Hz" 別ファイル 感度の概 (代表的なもの)
52	Sensitivity peak frequency	String "3-80 Hz" 別ファイル 感度の最も高い周波数, 1つの値か範囲か, データ数参照か (磁気計ごとに判断)
53	Polarity	String "positive-magnetic" 別ファイル 正の方向。

極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#19/23

5. ELFデータの公開作業

③ 解析ソフトウェア (SPEDAS) 用ロードプロシージャ作成

④ QLプロットのスクリプト作成

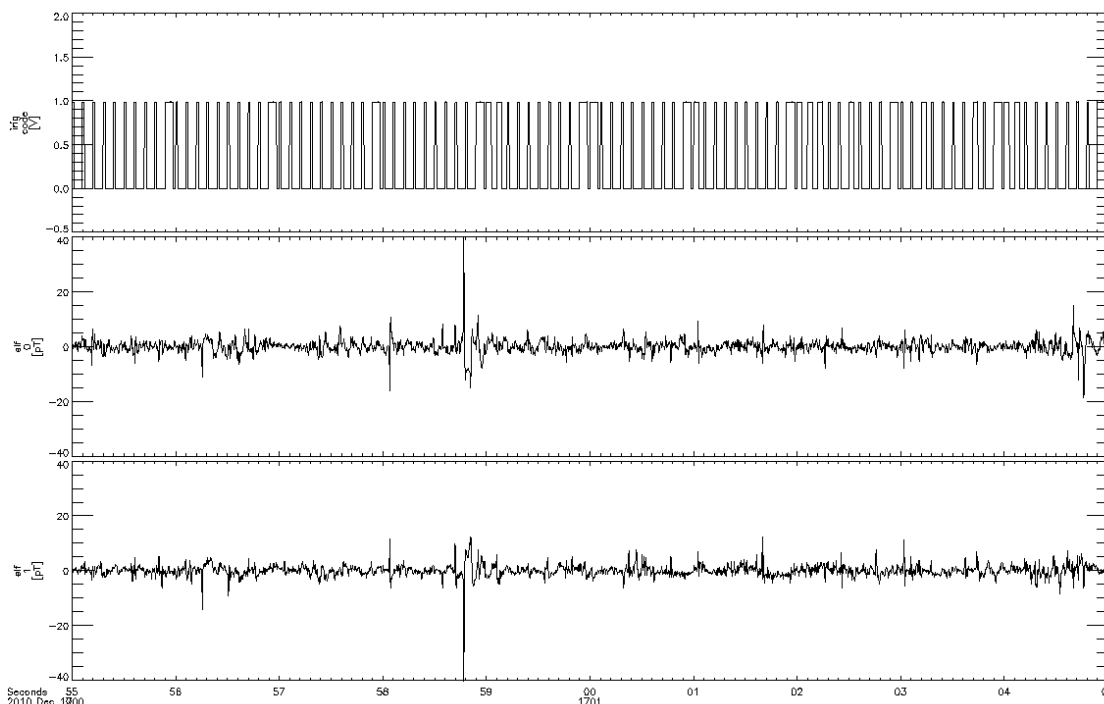


図. 作成したCDFファイルを読み込みプロットしたELF波形データ。横軸は2010年12月10日 17:00:55 - 17:01:05 UTの時刻で, 上からGPSのIRIG-E時刻信号, 磁気南北方向のELF波形, 磁気東西方向のELF波形を示す。

極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#20/23

5. ELFデータの公開作業



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



- ③ 解析ソフトウェア(SPEDAS)用ロードプロシージャ作成
- ④ QLプロットのスクリプト作成

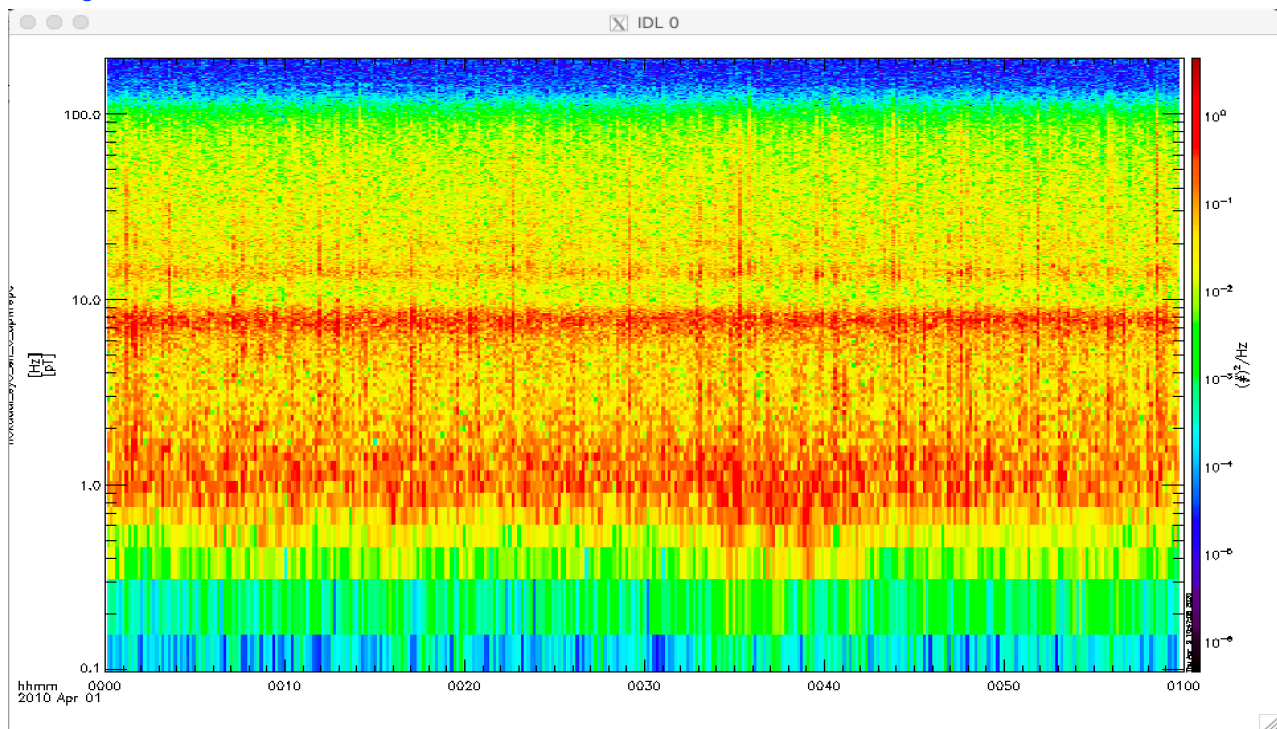


図. 作成したCDFファイルを読み込みプロットしたELF波形データのダイナミックスペクトル。横軸は2010年4月1日 00:00:00 - 01:00:00 UTの1時間分で、磁気南北方向のELF波形データのダイナミックスペクトル。

極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#21/23

5. ELFデータの公開作業



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



- ⑤ IUGONETサーバー@NIPRで1ヶ月分のELFデータを試験公開

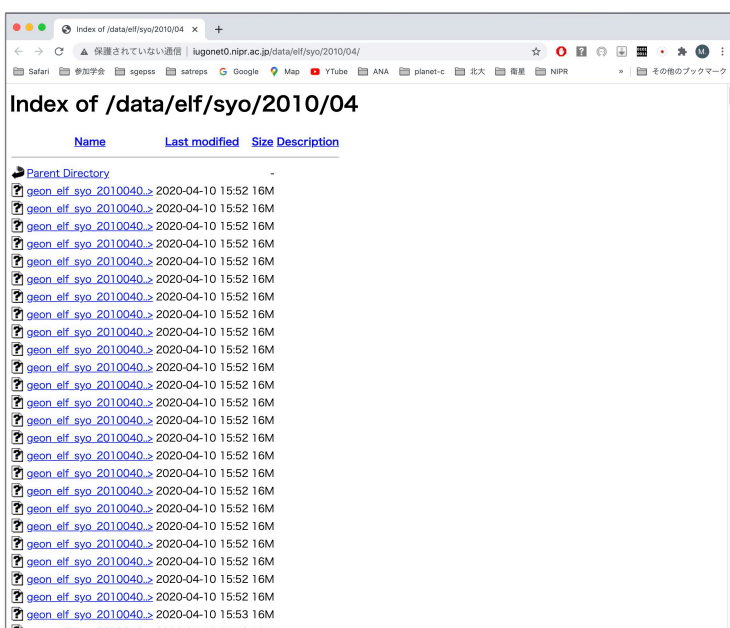


図. 試験的に公開したELFデータ。1時間分で1つのCDFファイルにしている。

- ⑦ 過去の全ELFデータをCDF化



極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会, 2021/01/15 13:00-18:00, オンライン

#22/23

- JARE41(2000年)から昭和基地でのELF観測を開始
- その成功を受け, 世界の4点に同型のシステムを設置
- 膨大なデータの管理・公開に関しては大幅な遅れ
- ELFシステムの運用者と, ELFデータユーザーの双方にとって効率的なデータ公開方法に切り替えたい
- より安全なデータ保管体制の確立が必要



- **IUGONET**を通じたデータ公開, **SPEDAS**によるオンライン解析
- 北大に**大容量データストレージ(NAS)**を導入

< 実績 >

- 北大でのデータ保管・公開ツールの整備
- メタデータの整備
- IUGONETのフォーマットに沿うサンプルデータの作成・公開