

TPDXと中波電波伝搬

約1万局の北・南米中波局の回線計算から見てきたもの

峯松 史明

1.TPDXerが思うこと....

- ◇ 北米東海岸局や、南米ブラジル局の受信はなぜ難しいのか？
- ◇ ミシシッピ川を越えた局をなかなか受信できないのは何故か？
- ◇ これらの中波局の受信に挑むための重要ポイントは何か？

本日は、この3点に的を絞って発表・議論させていただければと思います

2.発表内容

- ◇ 北・南米中波局の俯瞰
 - ◇ 北・南米中波局の送信点マッピング
 - ◇ 北・南米中波局の送信電カマッピング
 - ◇ 北・南米中波局の送信アンテナ種別
- ◇ 中波の電波伝搬ロス(損失)の推定
 - ◇ ITU-R 勧告P.1174 を用いた伝搬ロス計算結果の紹介
- ◇ 難関TPDX局攻略のためのポイント
 - ◇ AEインデックス
 - ◇ 海利得(シーゲイン)
 - ◇ 電波雑音
- ◇ まとめ

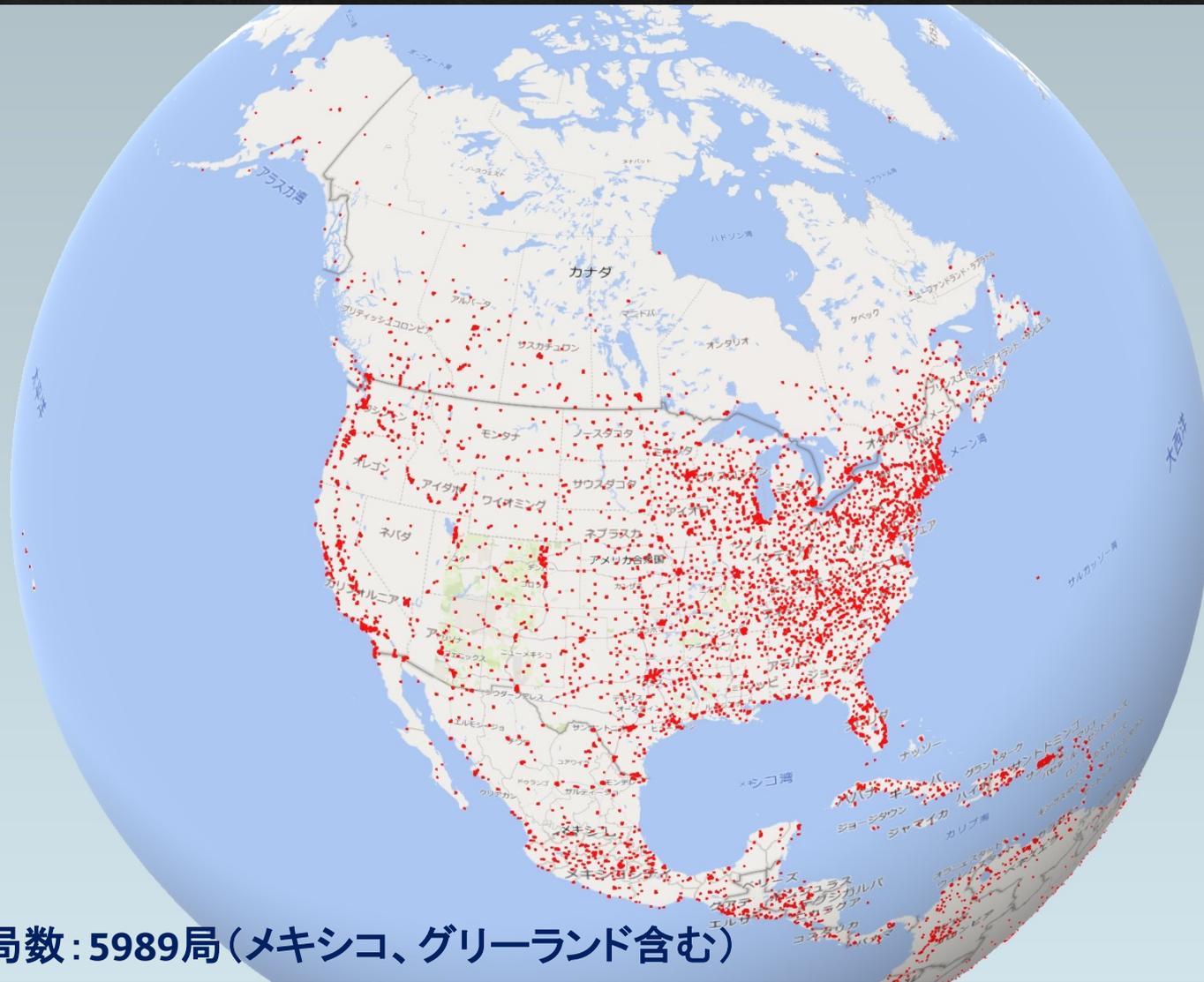
3.使用したデータ

アメリカFCC(連邦通信委員会)のAM Queryから得られた
10547局分の北・南米中波局データ(カリブ海含む)
(局名、緯度、経度、送信パワー、送信アンテナ種別等)

The screenshot shows the FCC website's 'AM Query Broadcast Station Search' page. The header includes the FCC logo, navigation links like 'Browse by CATEGORY' and 'Browse by BUREAUS & OFFICES', and a search bar. The main content area features a sidebar with 'Audio Division' links (AM Query, FM Query, AM, etc.) and a main section with a search description and a search button. The search description explains that users can request one-line-per-record or more detailed 'query' output, and that a TEXT output option is available for generating formatted tables. It also provides a link to a list of stations authorized to transmit both analog and digital signals.

<https://www.fcc.gov/media/radio/am-query>

4.北米中波局の送信点マッピング



総局数: 5989局 (メキシコ、グリーランド含む)

5.南米中波局の送信点マッピング



総局数:4558局(カリブ海諸国含む)

5.北・南米中波局の送信電力 マッピング

- ◇ 北・南米中波局の送信電力(夜間)を次のように色分けする
- ◇ 50kWを超える局
- ◇ 40kWを超え50kW以下の局
- ◇ 30kWを超え40kW以下の局
- ◇ 20kWを超え30kW以下の局
- ◇ 10kWを超え20kW以下の局
- ◇ 5kWを超え10kW以下の局
- ◇ 1kWを超え5kW以下の局
- ◇ 500Wを超え1kW以下の局
- ◇ 500W以下の局

50kWを超える局

30kWを超え40kW以下の局

1kWを超え5kW以下の局

40kWを超え50kW以下の局

10kWを超え20kW以下の局

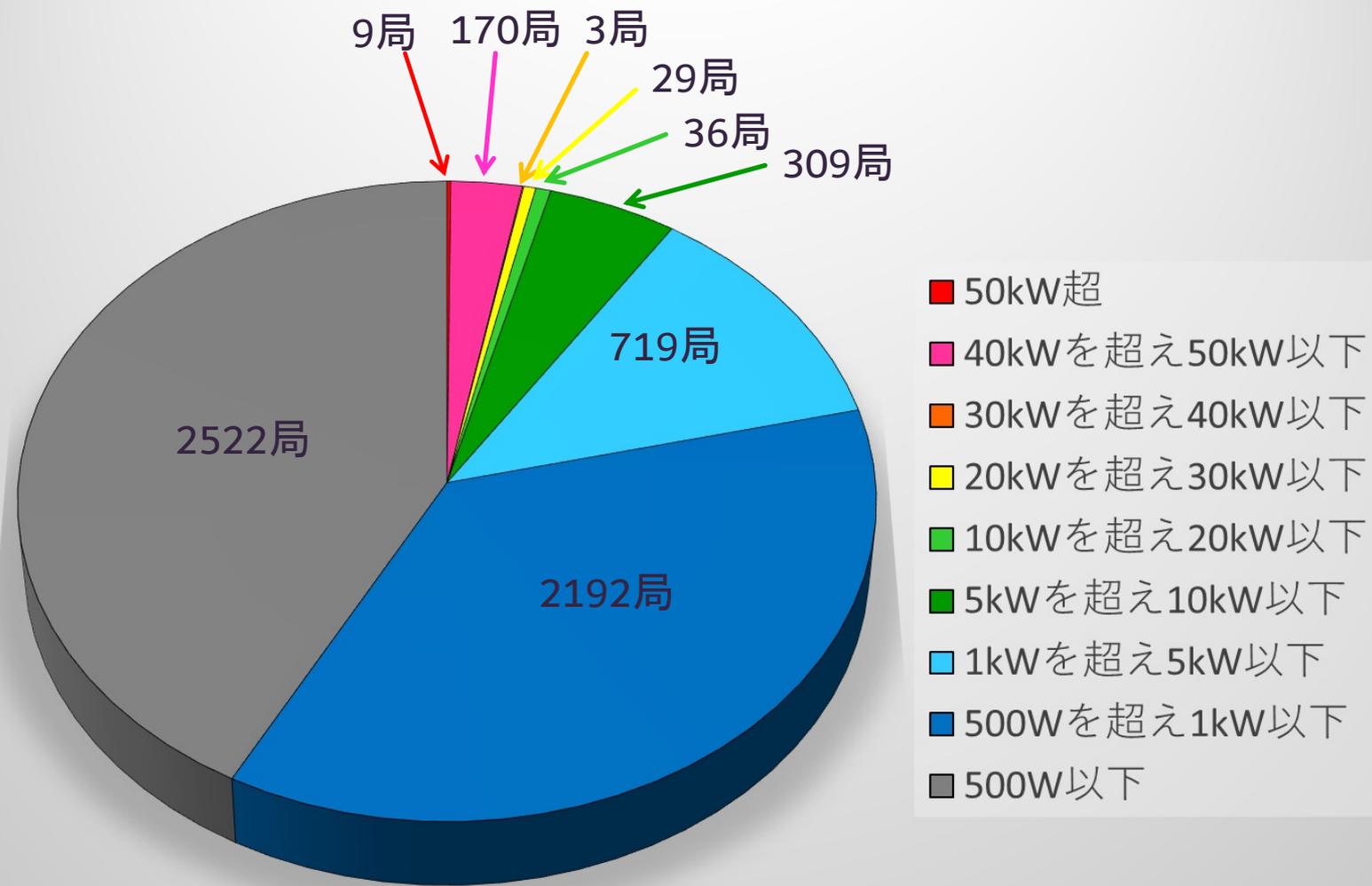
500Wを超え1kW以下の局

20kWを超え30kW以下の局

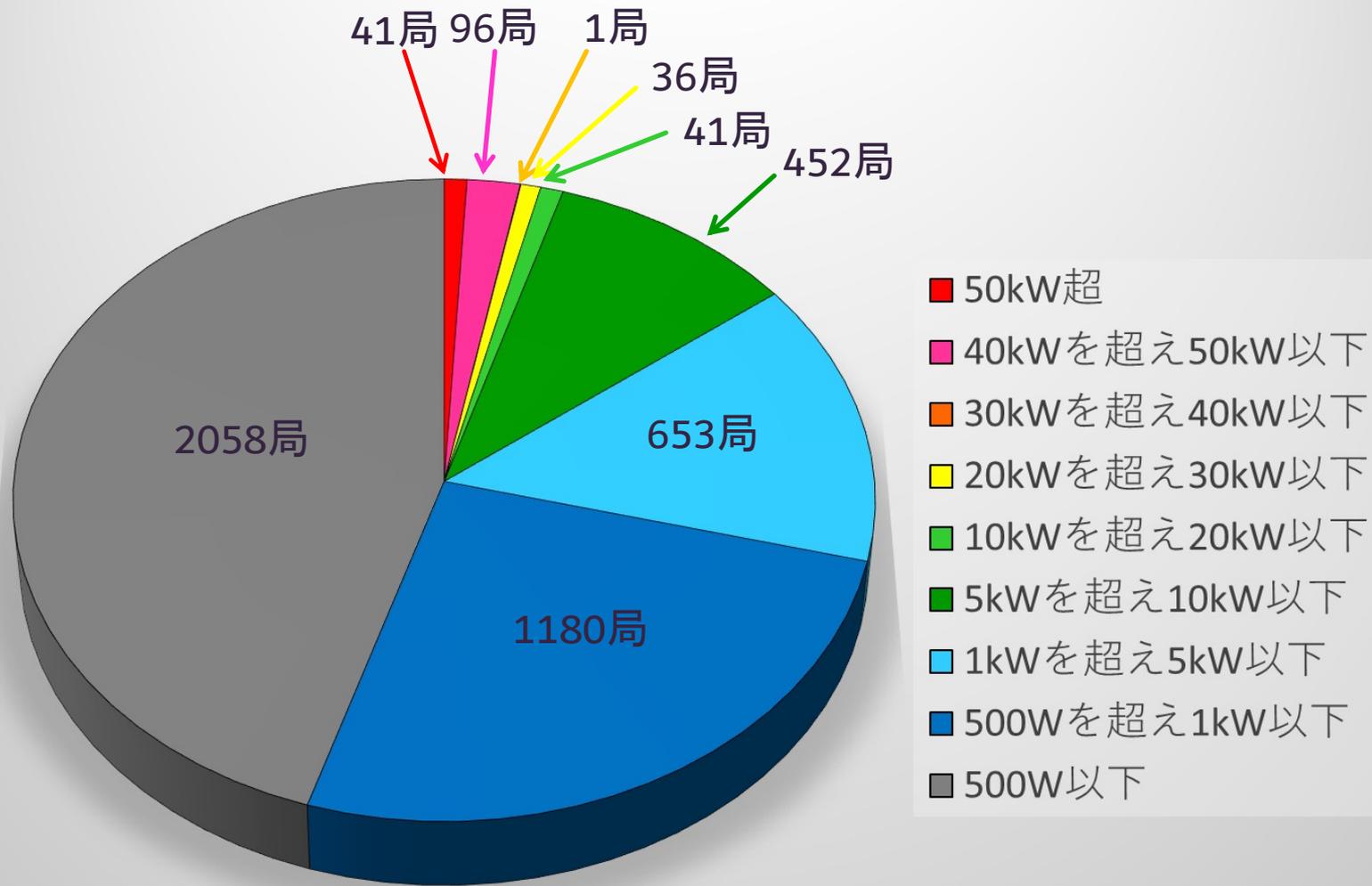
5kWを超え10kW以下の局

500W以下の局





北米中波局(メキシコ、グリーンランド含む)の約80%は
夜間、1kW以下の送信電力しかない



南米中波局(カリブ海諸国含む)の約70%は、夜間1kW以下の送信電力しかない
 100kW超の局も登録されているが、実際には電波は出ていない?

6.北・南中波局の送信アンテナ

- ◇ 垂直アンテナが送信に用いられている
 - ◇ 無指向性(全方向に等しく電波を発射する)アンテナ
 - ◇ 指向性(特定の方向に伝搬を発射する)アンテナ

無指向性送信アンテナの例

WOAI (1200kHz 50kW)



指向性送信アンテナの例

KTWO (1030kHz 50kW)

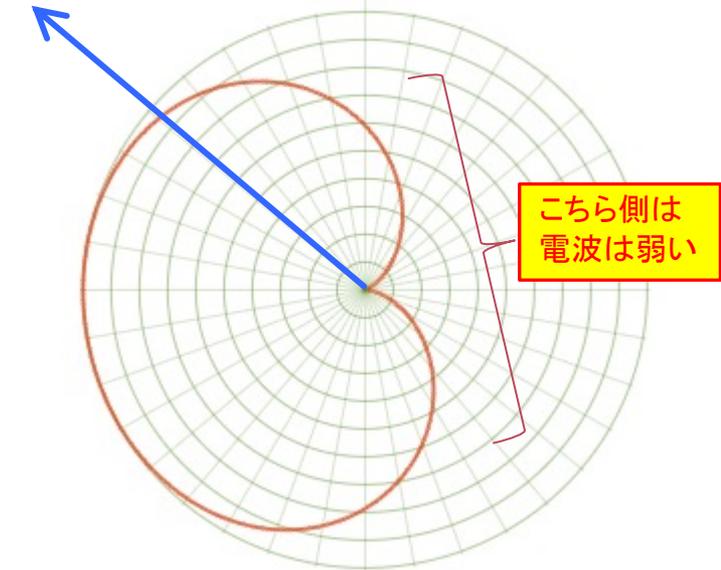


垂直アンテナアレー



FCC AM Queryより

太東崎方向



FCC AM Queryより

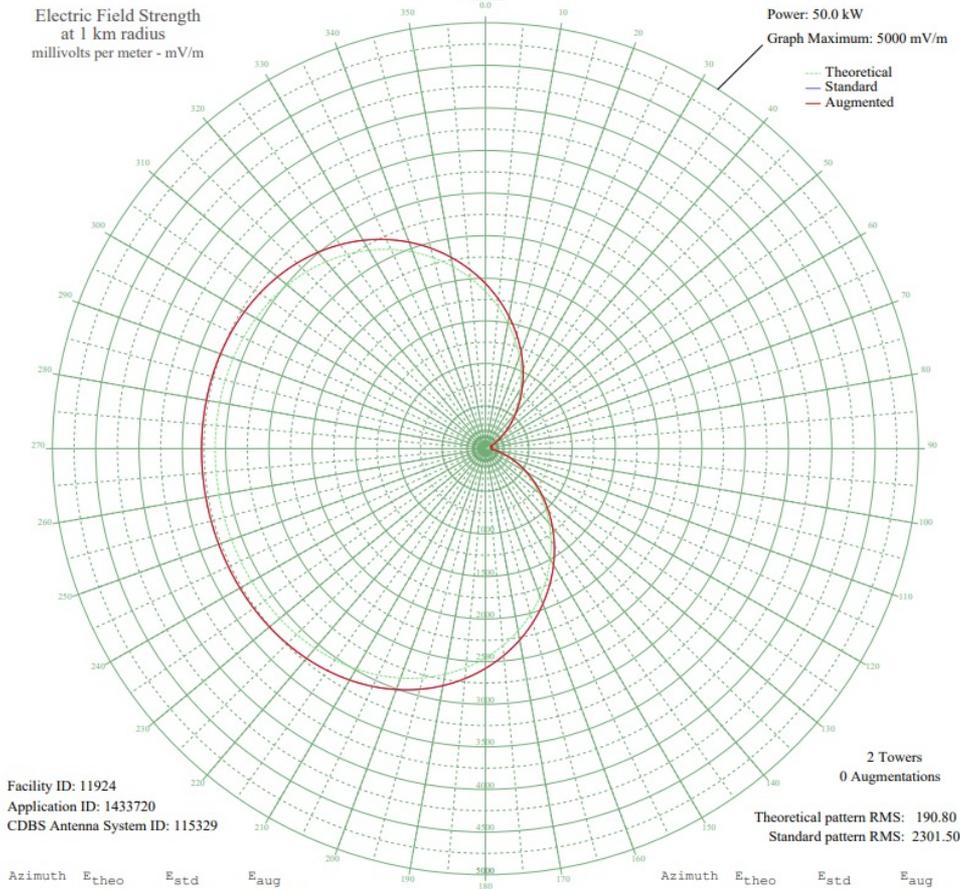
指向性アンテナの場合、**FCC AM Query**にて詳細な指向性図が入手可能

KTWO CASPER, WY BMLM-20110620AIF 1030 kHz

Nighttime

Electric Field Strength
at 1 km radius
millivolts per meter - mV/m

Power: 50.0 kW
Graph Maximum: 5000 mV/m



Facility ID: 11924
Application ID: 1433720
CDBS Antenna System ID: 115329

Theoretical pattern RMS: 190.80
Standard pattern RMS: 2301.50

Azimuth	E _{theo}	E _{std}	E _{aug}
0	1845.93	1939.10	1939.09
5	1673.45	1758.08	1758.08
10	1497.73	1573.68	1573.68
15	1321.40	1388.68	1388.68
20	1147.12	1205.87	1205.87
25	977.48	1027.99	1027.99
30	824.92	857.63	857.63
35	661.70	697.20	697.20
40	519.83	548.89	548.89
45	391.05	414.68	414.68
50	276.89	296.45	296.45
55	178.60	196.29	196.29
60	97.39	117.54	117.54
65	35.45	68.89	68.89
70	21.38	62.16	62.16
75	45.25	74.95	74.95
80	54.10	81.16	81.16
85	45.25	74.95	74.95
90	21.38	62.16	62.16
95	35.45	68.89	68.89
100	97.39	117.54	117.54
105	178.60	196.29	196.29
110	276.89	296.45	296.45
115	391.05	414.68	414.68
120	519.82	548.88	548.88
125	661.70	697.20	697.20
130	824.92	857.63	857.63
135	977.48	1027.99	1027.99
140	1147.12	1205.87	1205.87
145	1321.40	1388.68	1388.68
150	1497.72	1573.68	1573.68
155	1673.45	1758.08	1758.08
160	1845.93	1939.09	1939.09
165	2012.64	2114.07	2114.07
170	2171.23	2280.53	2280.53
175	2319.66	2436.33	2436.33

Azimuth	E _{theo}	E _{std}	E _{aug}
180	2456.21	2579.68	2579.68
185	2579.62	2709.22	2709.22
190	2689.03	2824.07	2824.07
195	2784.08	2923.85	2923.85
200	2864.84	3008.64	3008.64
205	2931.83	3078.97	3078.97
210	2985.91	3135.74	3135.74
215	3028.27	3180.21	3180.21
220	3060.30	3213.84	3213.84
225	3083.55	3238.25	3238.25
230	3099.61	3255.11	3255.11
235	3110.06	3266.08	3266.08
240	3116.37	3272.70	3272.70
245	3119.82	3276.32	3276.32
250	3121.48	3278.07	3278.07
255	3122.15	3278.77	3278.77
260	3122.32	3278.95	3278.95
265	3122.15	3278.77	3278.77
270	3121.48	3278.07	3278.07
275	3119.82	3276.32	3276.32
280	3116.37	3272.70	3272.70
285	3110.06	3266.08	3266.08
290	3099.61	3255.11	3255.11
295	3083.55	3238.25	3238.25
300	3060.30	3213.84	3213.84
305	3028.27	3180.21	3180.21
310	2985.91	3135.74	3135.74
315	2931.83	3078.97	3078.97
320	2864.84	3008.64	3008.64
325	2784.08	2923.85	2923.85
330	2689.03	2824.07	2824.07
335	2579.62	2709.22	2709.22
340	2456.21	2579.68	2579.68
345	2319.66	2436.33	2436.33
350	2171.23	2280.53	2280.53
355	2012.64	2114.07	2114.07

The theoretical pattern is used to create the standard pattern. Augmentations (if any) expand the standard pattern in specified directions. See Sections 73.150 and 73.152 of the FCC's Rules.

AM coverage may not mirror the pattern shown here. Additional factors such as ground conductivity or skywave propagation affect how far the AM signal will travel.

Patterns for stations outside the USA are based on notified parameters.

AM directional patterns created before 1982 used units of 1 mV/m at 1 mile, not one kilometer. The pattern values on such plots at 1 mile will be 0.62137 of the values listed here. Measured pattern values may vary from values shown here.

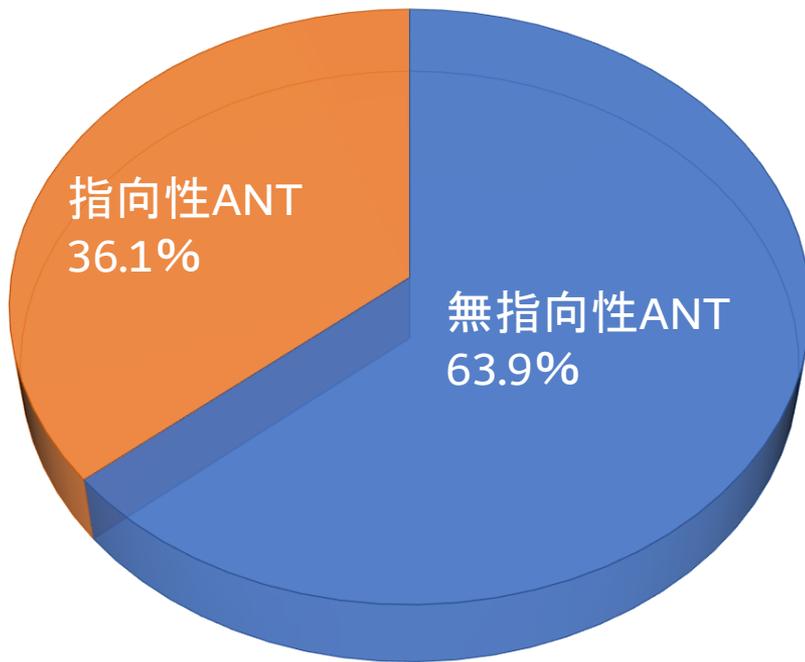
Plot is best printed on 11" by 17" or larger paper.

1 Jan 2020

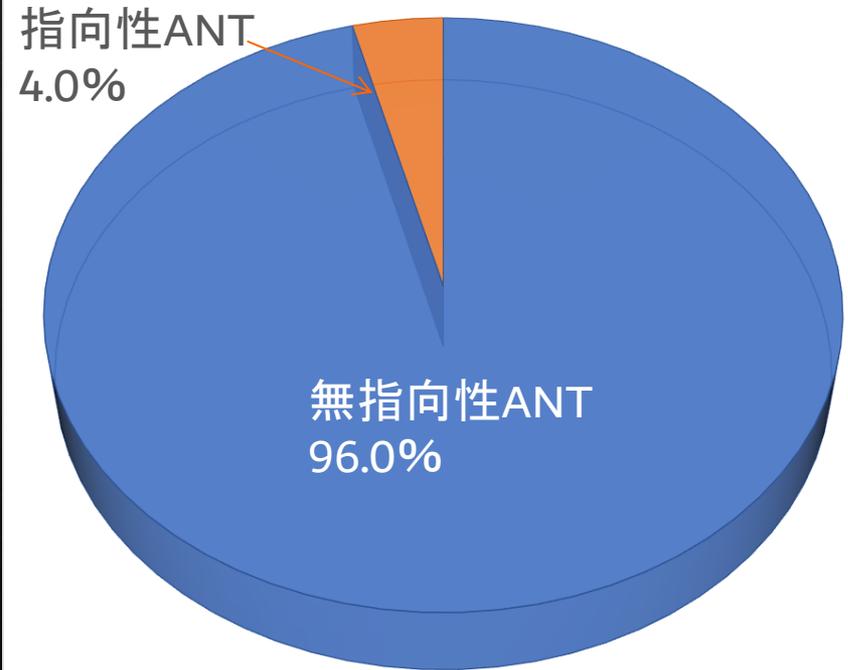
Prepared by Audio Division, Media Bureau
Federal Communications Commission

北・南米中波局送信アンテナ種別

北米中波局の送信アンテナ種別内訳



南米中波局の送信アンテナ種別内訳

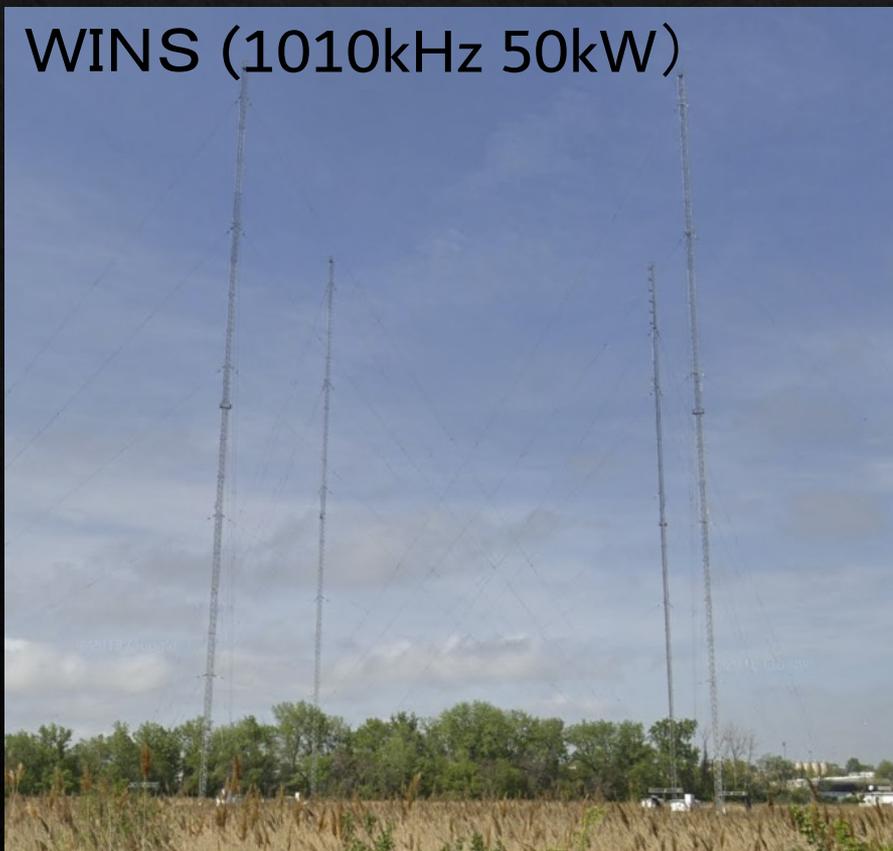


受信ターゲットとする中波局の送信指向性には注意が必要

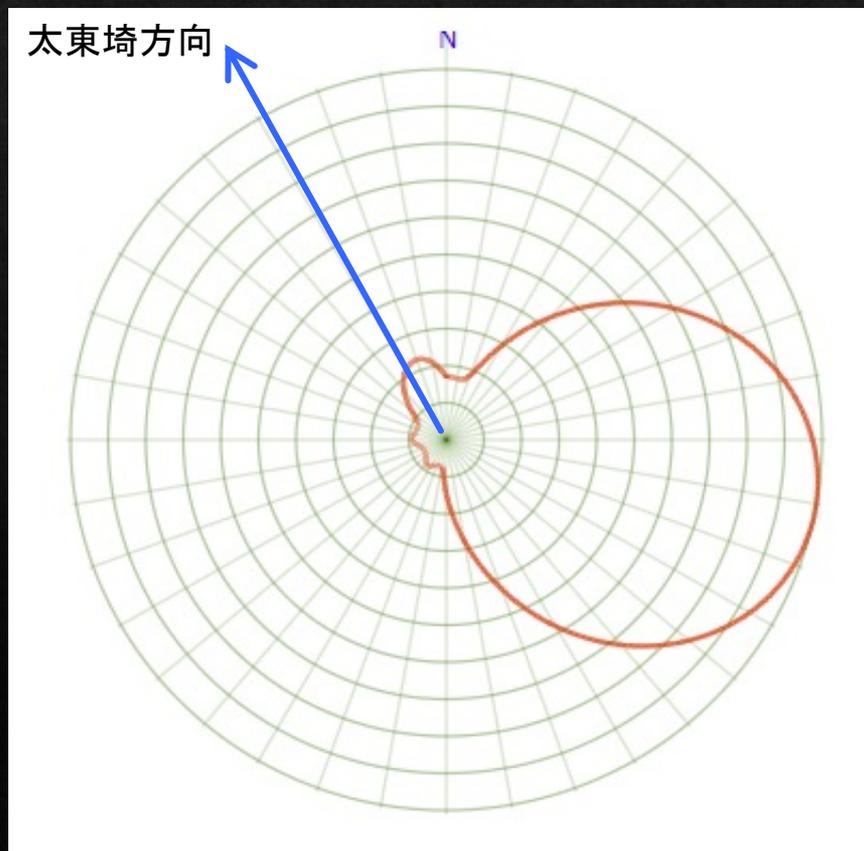
指向性送信アンテナの例2

日本方向にアンテナメインローブが無い例

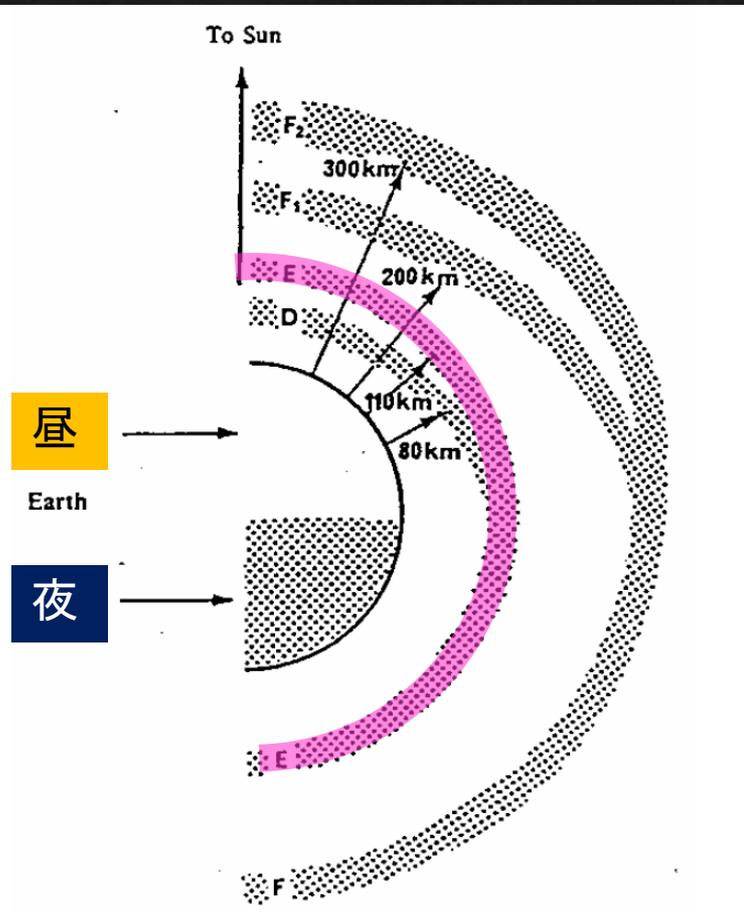
WINS (1010kHz 50kW)



太東埼方向



6. 中波電離層伝搬波が受ける損失



- ◇ 偏波結合損
 - ◇ 電離層と地上との間で伝搬反射を繰り返す中で、垂直偏波が楕円偏波に変換される等の影響で発生する損失
- ◇ 電離層吸収とそれに関連する損失
 - ◇ 電離層での多重反射等により発生する損失
- ◇ 太陽活動から受ける損失
 - ◇ 太陽活動停滞期→小さい
 - ◇ 太陽活動活発期→大きい
- ◇ 伝搬距離による損失
- ◇ 時間損失

ITU-R 勧告 P.1174-4

Rec. ITU-R P.1147-4

1

RECOMMENDATION ITU-R P.1147-4*

Prediction of sky-wave field strength at frequencies
between about 150 and 1700 kHz

(Question ITU-R 225/3)

(1995-1999-2003-2005-2007)

Scope

This Recommendation provides a prediction procedure for the frequency range between about 150 and 1700 kHz, for path length between 50 to 12 000 km.

The ITU Radiocommunication Assembly,

considering

- a) that there is a need to give guidance to engineers in the planning of broadcast services in the LF and MF bands;
- b) that it is important, for stations working in the same or adjacent frequency channels, to determine the minimum geographical separation required to avoid interference resulting from long-distance ionospheric propagation;
- c) that portions of this frequency range are being shared by broadcasting and other services in different Regions, an accurate method for predicting interference levels is needed to maintain efficient and orderly utilization of those portions of the spectrum.

recommends

that the following method should be adopted for use, taking particular note of the discussion on accuracy given in Annex 1.

1 Introduction

This method predicts values of the night-time sky-wave field strength for a given power radiated from one or more vertical antennas, when measured by a loop antenna at ground level aligned in a vertical plane along the great-circle path to the transmitter. The method has been based on measurements made in the frequency bands allocated to broadcasting and applies for paths of length 50 to 12 000 km for those LF and MF bands in particular. For a discussion on daytime propagation, see Annex 2.

Figures 1, 2 and 3 are an essential part of the prediction method. Geomagnetic maps are included for convenience in Figs. 5, 6 and 10. The remaining Figures and Appendix 1 provide additional information to simplify the use of the method.

- ◇ ITU-R(国際通信連合 無線通信部門)から出されている勧告
- ◇ 周波数150kHzから1700kHzにおけるスカイウェーブ(空間波:電離層伝搬波)の電界強度推定法
- ◇ この推定法により、TPDX局を受信する際のおおよその受信電界強度を推定することができる
- ◇ この推定法の中に各種伝搬損失の計算方法が紹介されている
- ◇ 注意:南米の中波局の多くは伝搬距離が12000kmを超えているため、正式には適用できないが、本検討ではそのまま利用した

中波電離層伝搬波の 受信電界強度推定式

$$E = V + G_S - L_p + 107 - 20 \log p - L_a - L_t - L_r$$

受信電界強度
(年中央値)

送信起波力

海利得

偏波結合損失

距離損失

電離層吸収と
関連損失

時間損失

太陽活動から受ける損失

7.北・南米中波局の伝搬損失マッピング

- ◇ 偏波結合損、電離層吸収およびそれに関する損失、太陽活動から受ける損失、距離損失の合計値を、北・南米中波局全局(10547局)について全て計算し、地図上にマッピングした
- ◇ 時間損失についてはゼロとした
- ◇ 日本の受信点は千葉県・太東埼とした
- ◇ 損失の計算に必要なパラメーター
 - ◇ 送受信点の緯度、経度、伝搬距離、送受信局相互の方位
 - ◇ 送受信点の磁氣的緯度
 - ◇ 送受信点の磁気伏角、磁気偏角



20dB以下

100dB

150dB

180dB以上



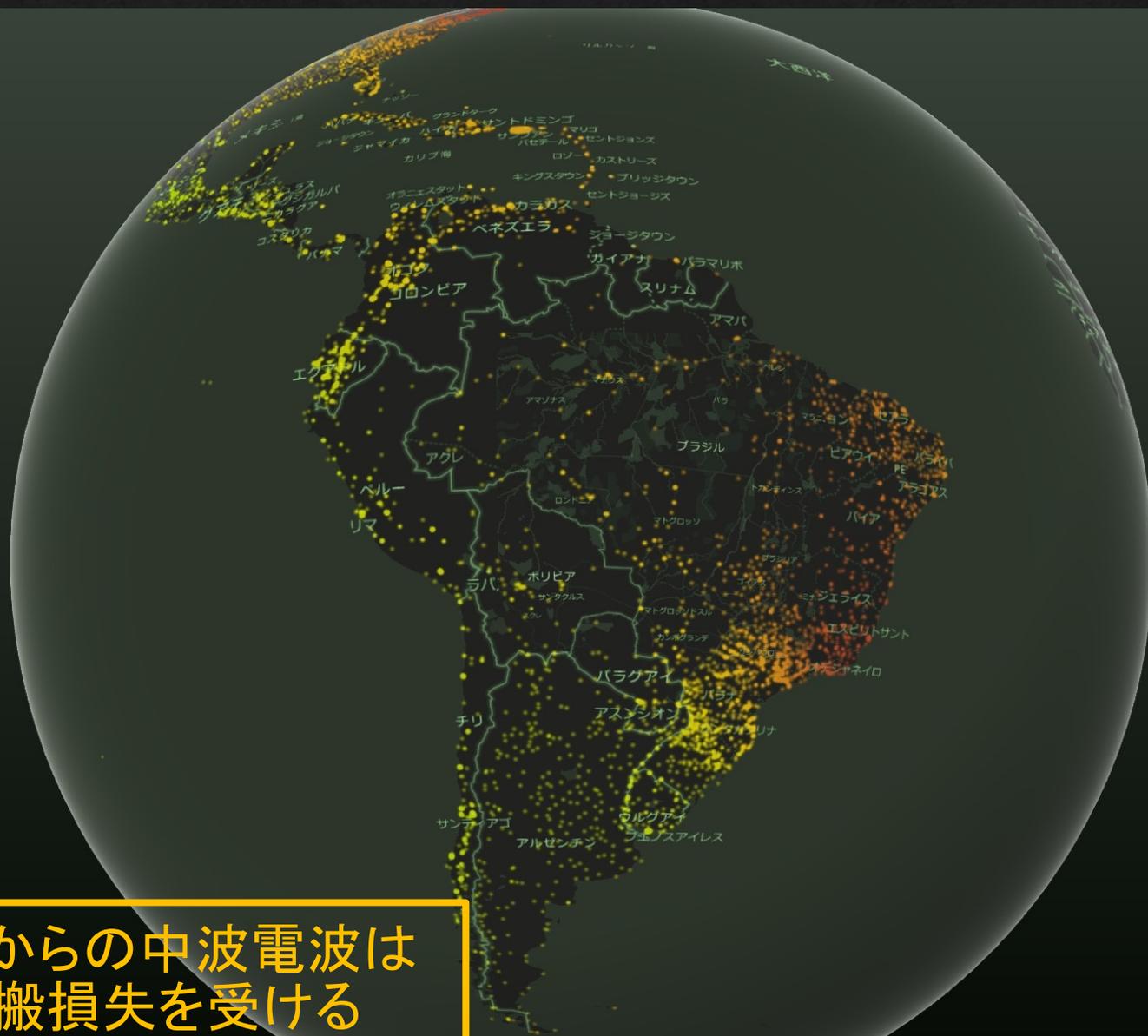
ミシシッピ川より東側は伝搬ロスがかなり大きい

20dB以下

100dB

150dB

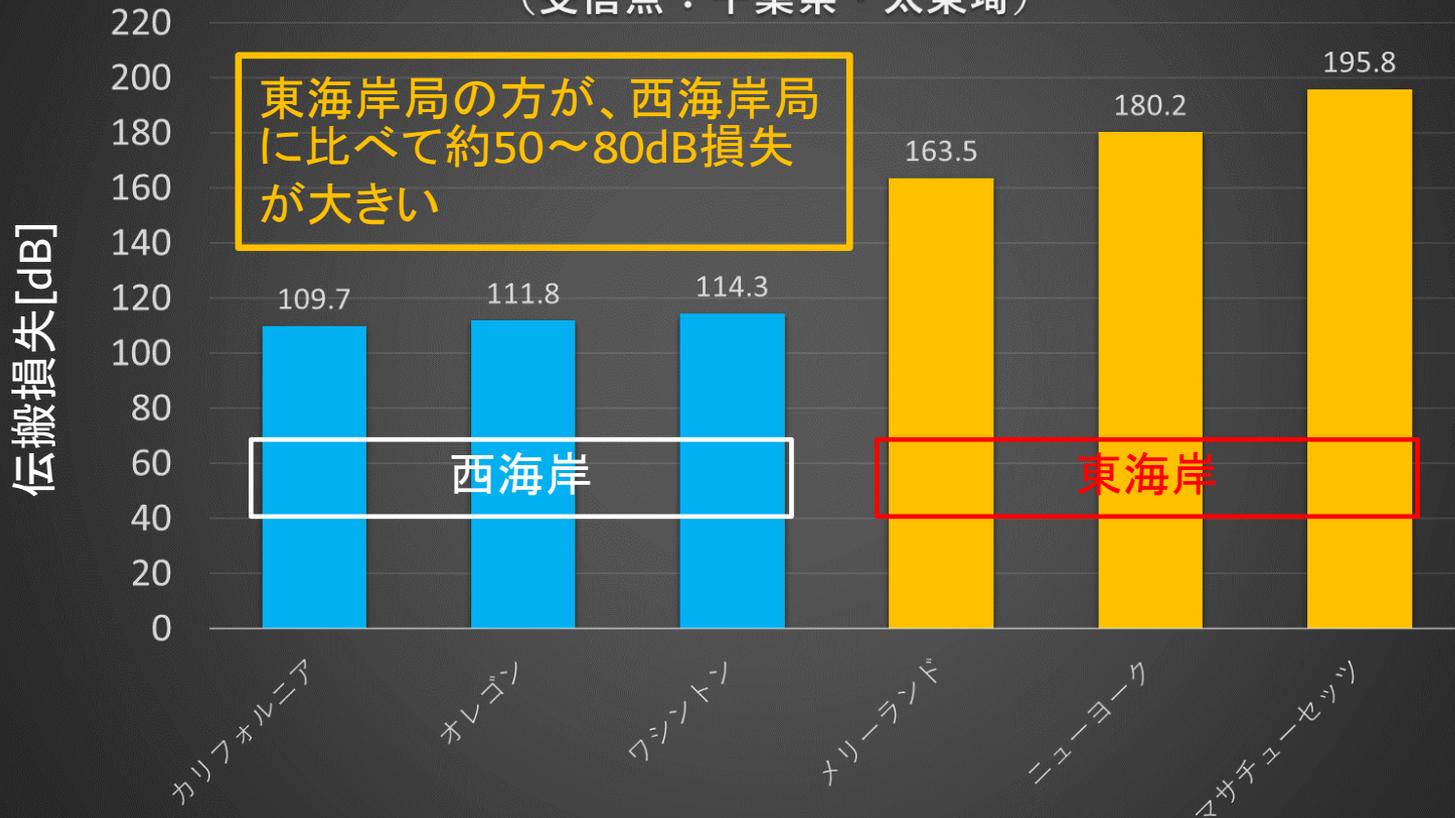
180dB以上



ブラジルからの中波電波は
大きな伝搬損失を受ける

北米東西海岸局の伝搬損失の比較

北米・東西海岸中波局の伝搬ロス平均値
(受信点：千葉県・太東埼)

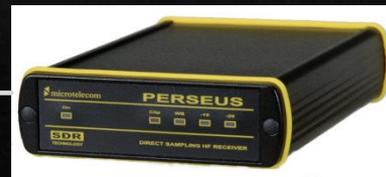
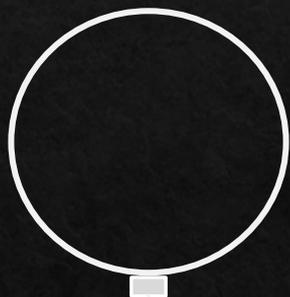


北米東海岸局受信はやはり難しい (やや乱暴なたとえ話)

北米東海岸局が聞こえるというのは

あなたの受信環境で、西海岸の常連局KFBK
(1530kHz 50kW)が受信できている時に

受信機入力に**アッテネーター**を50dB以上入れて
みて

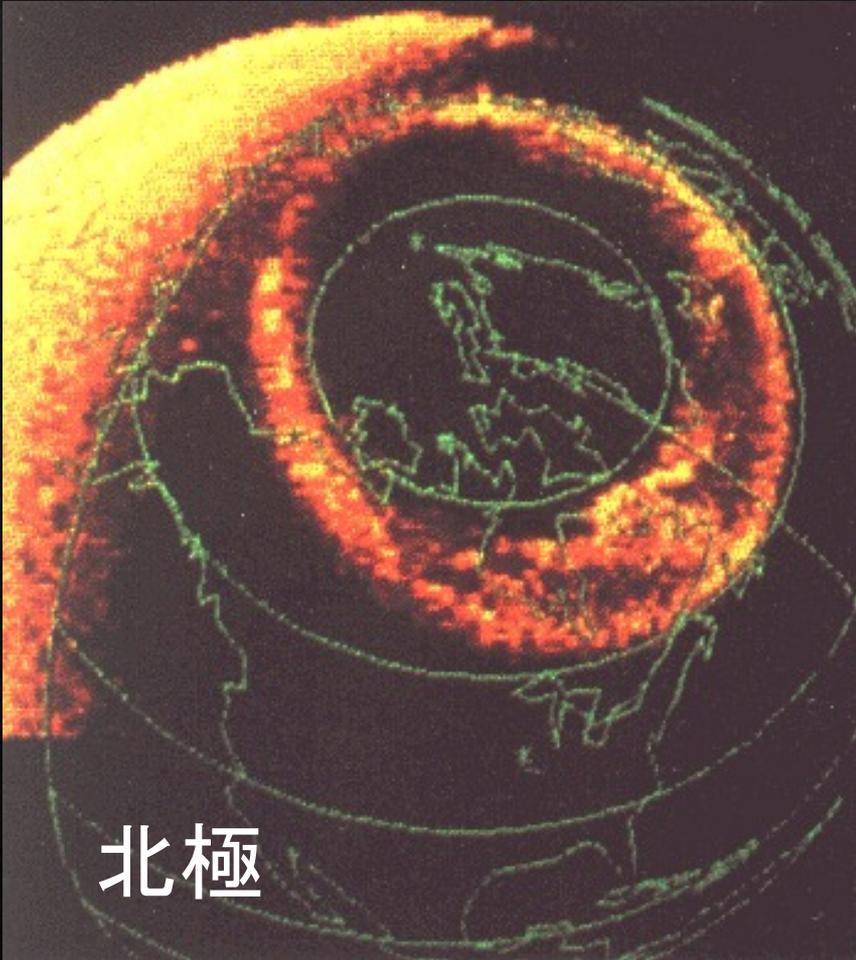


それでもまだ、あなたの受信環境では、KFBKが聞こえて
いる.....という状況と同じ

8.北米東海岸局攻略のためには

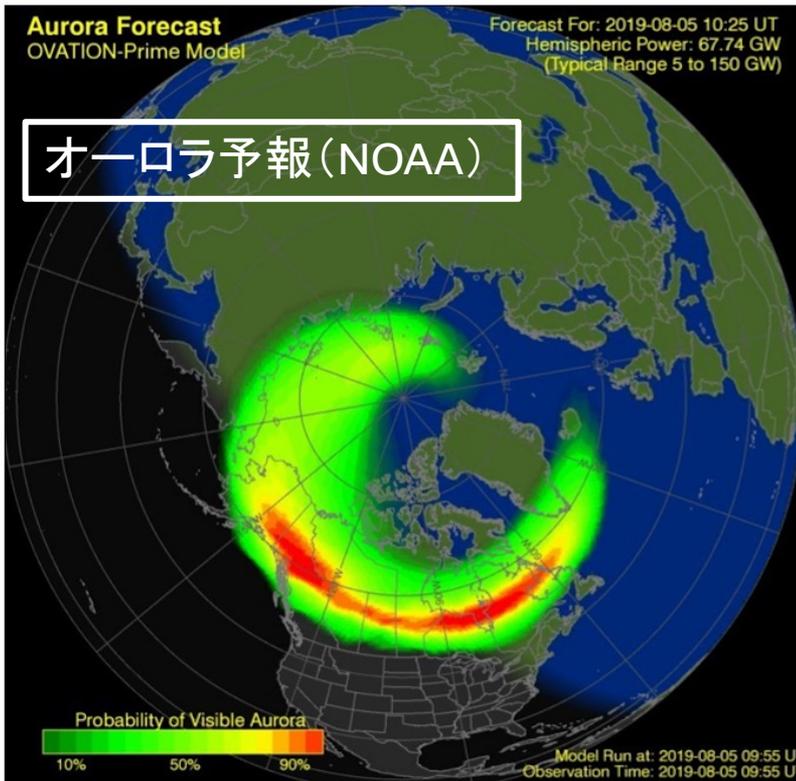
- ◇ 平凡な伝搬コンディションでは、受信は相当困難だと推察される
- 
- ◇ 北米東海岸局からの微弱な信号レベルが、普通の状況より上昇することが期待される時期を選択
 - ◇ 太陽活動が停滞している時期(今でしょ!)
 - ◇ K インデックスおよびAEインデックスが静穏な時期
 - ◇ 電波雑音が極力低い場所を受信地点に選定(人が住んでいない場所)
 - ◇ なるべく指向特性の良好かつ高利得の受信アンテナを利用
 - ◇ 出来る限り海に近いところで受信(海利得を得る)
 - ◇ 雑音指数の小さなプリアンプを適切な挿入位置で、適切な時間帯に利用(きっとプリアンプ最適ONタイムがあるはず)
 - ◇ 最後は神頼み

オーロラオーバル

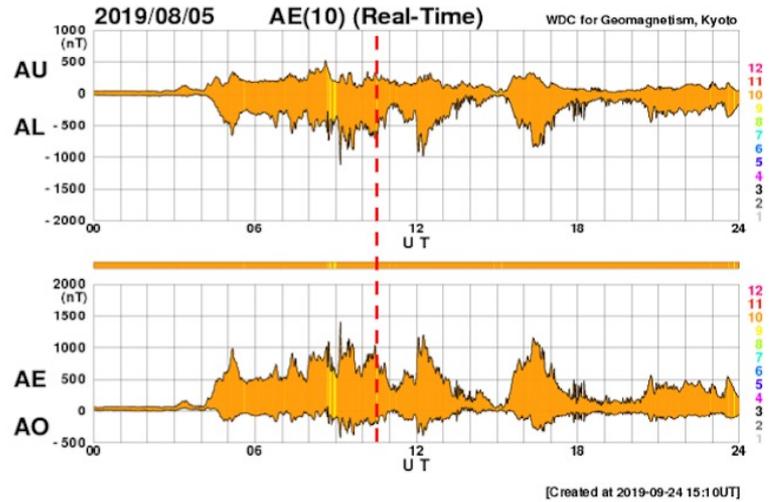


9. AEインデックス

主にオーロラ頻出現域を流れる電流に起因する地磁気擾乱を表す指数



オーロラが盛大に現れる時はAEインデックスは乱高下する



オーロラ吸収も大きくなると考えられる

AEインデックスの参照先

<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aedir/index-j.html>

AE指数ホームページ [English](#)

WDC for Geomag. KYOTO [Home Page](#) [地磁気センター](#) [地磁気とは?](#) [データ](#) [I.-Magnet](#) [リンク](#) WDC for Geomag. KYOTO

地磁気資料センター京都 AE指数サービスへようこそ

1988年(7月-12月)および1989年(3月以外)のAE指数は未だ算出されていません。

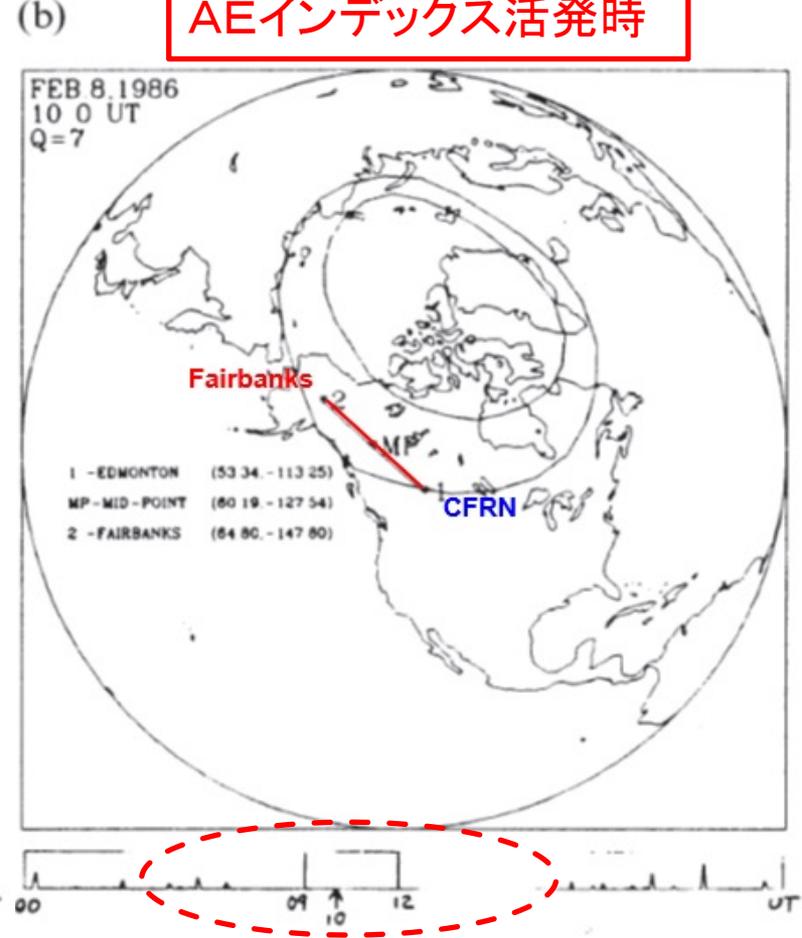
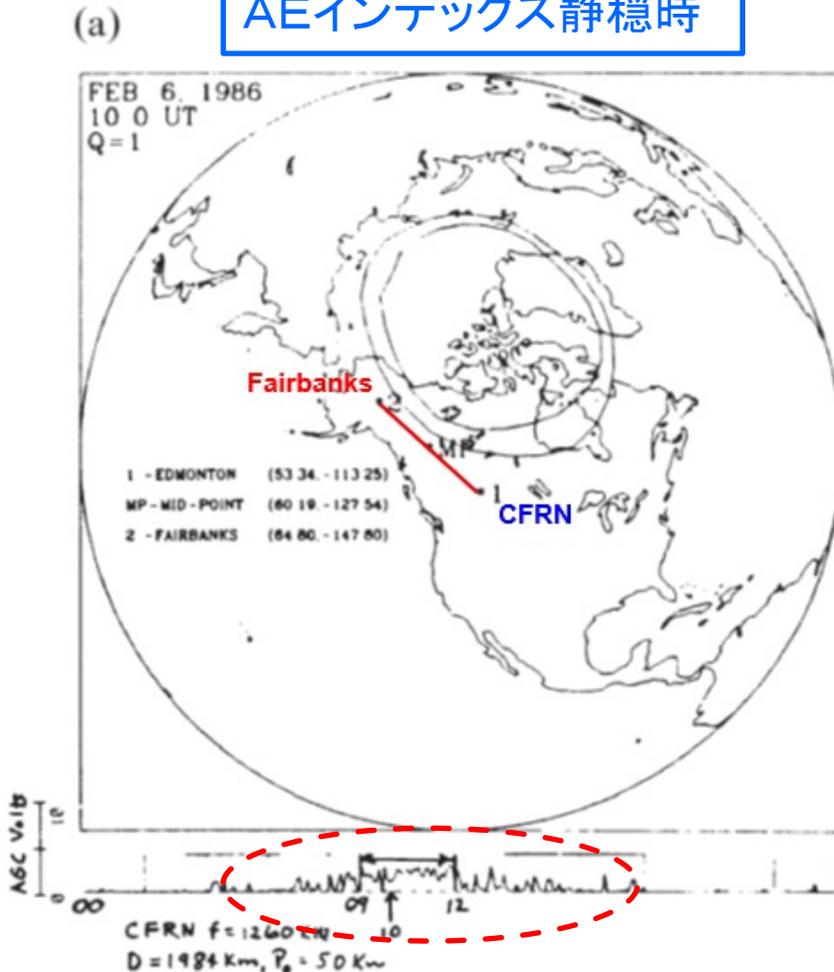
WDC for Geomag. KYOTO WDC for Geomag. KYOTO WDC for Geomag. KYOTO [AE/Dst指数の3バージョン](#) WDC for Geomag. KYOTO WDC for Geomag. KYOTO

1. [AE指数速報値](#) → **準リアルタイム更新**
2. [AE指数暫定値](#)
3. 1分値のAE指数 (確定値または暫定値) のプロットとダウンロードは [ASY/SYM指数とAE指数のプロットとデータ出力](#) のページからご利用になれます。 [1975 -]
4. 1時間値のAE指数のプロットとダウンロードは [Dst指数と1時間値AE指数](#) のページからご利用になれます。 [1957/07 - 1975, 1978 -]
5. [1957年から1987年までのIAGA2002形式の1時間値AE指数月別ファイル](#)
6. [1966年から1974年までの2.5分値AE指数月別ファイル](#)
7. [AE指数について](#)
[英語/[Data Book](#) No 25, "Auroral electrojet indices (Provisional AE) 1992", 1998中の記述]

R. D. Hunsucker, J. K. Hargreaves “The High-Latitude Ionosphere and its Effects on Radio Propagation”の Chapter 8 High-latitude radio propagation: part 1 – fundamentals and experimental resultsの図8.19(b) (c)に追記したもの

AEインデックス静穏時

AEインデックス活発時



伝搬路がオーロラオーバルから外れており
CFRNはフェアバンクスに入感している

伝搬路がオーロラオーバル内にあり、CFRNは
フェアバンクスに入感していない。

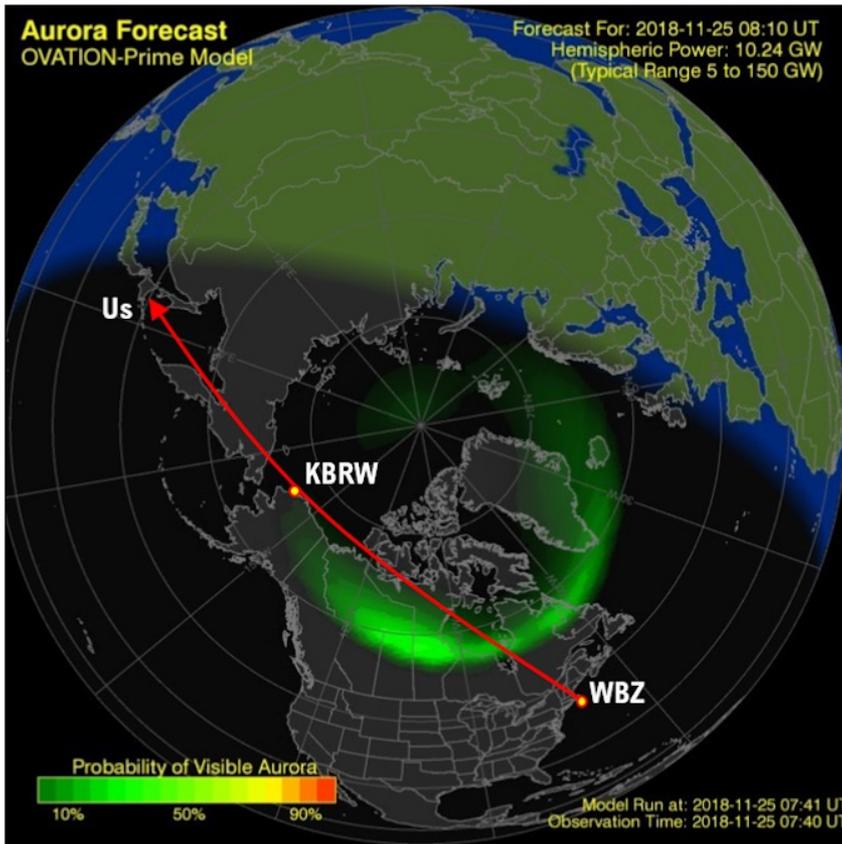
北米東海岸局の伝搬ロスが大きい理由



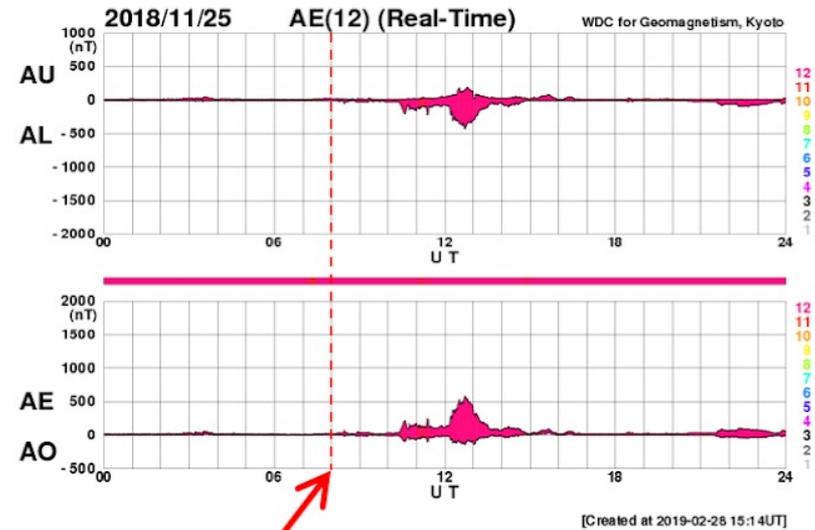
ブラジル中波局の伝搬ロスが大きい理由



北米東海岸局受信とAEインデックス



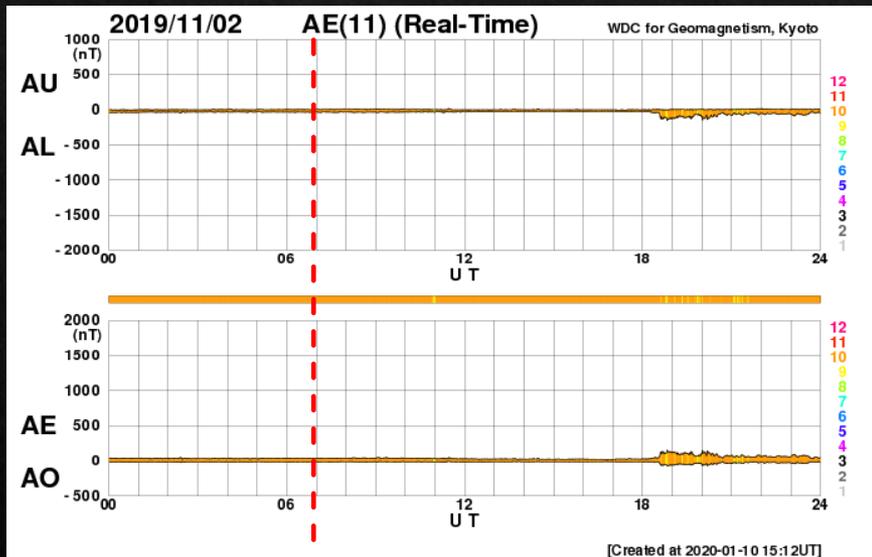
2018/11/25 WBZ受信成功時、AEインデックスは極めて静穏だった



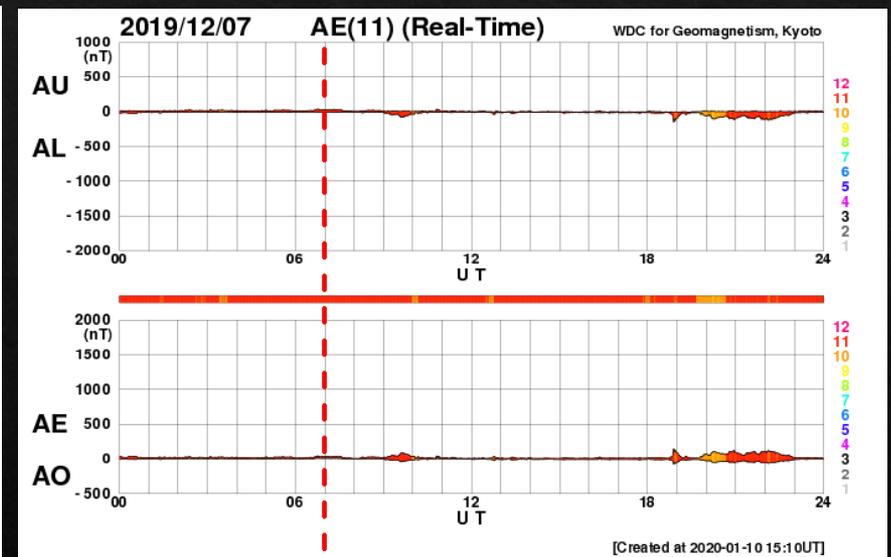
We caught WBZ and KBRW at 08:00 UTC on Nov.25 in 2018.

北米東海岸局受信とAEインデックス

シエスタさんが2019年11月2日07:00UTCに
北海道でWBZを受信した時



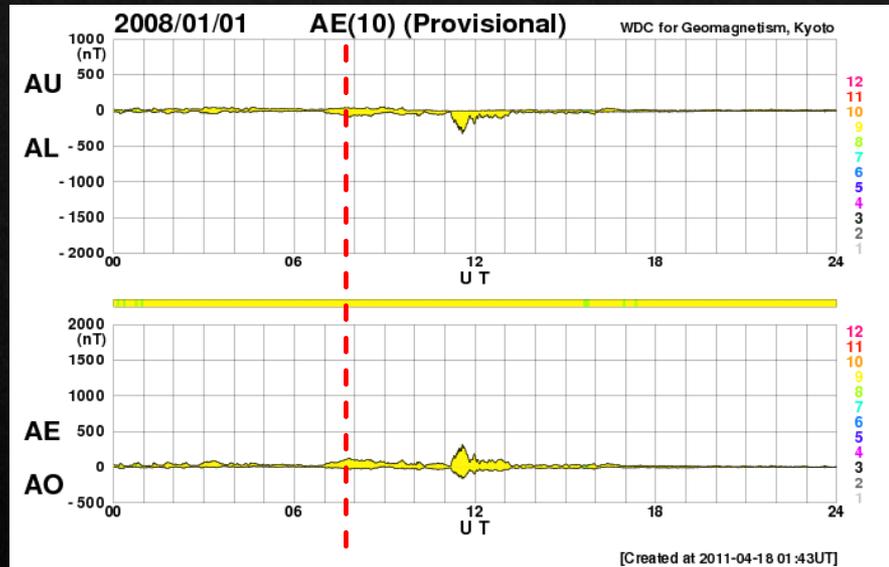
シエスタさんが2019年12月7日07:00UTCに
北海道でWBZを受信した時



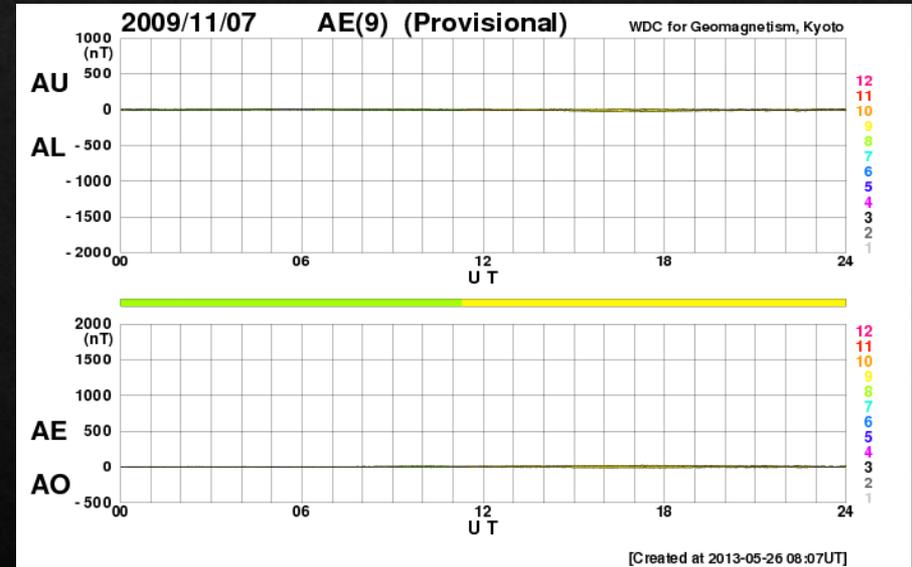
AEインデックスは両日とも極めて静穏だった

北米東海岸局受信とAEインデックス

根なし枯草さんが2008年1月1日08:00UTC
に岩手でWBZを受信した時



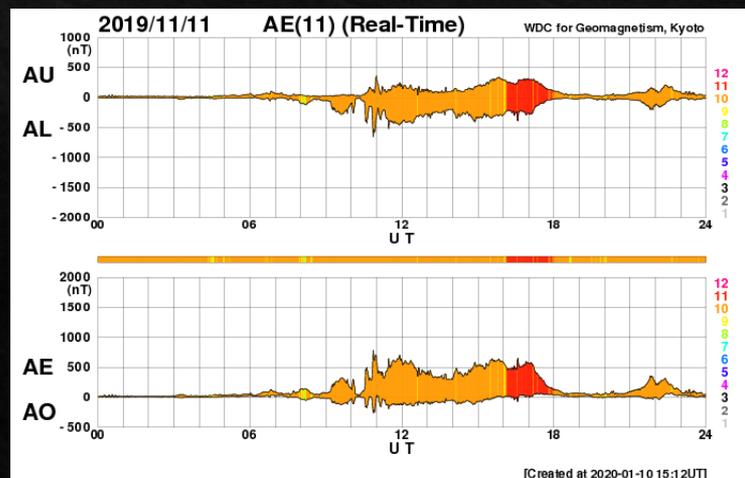
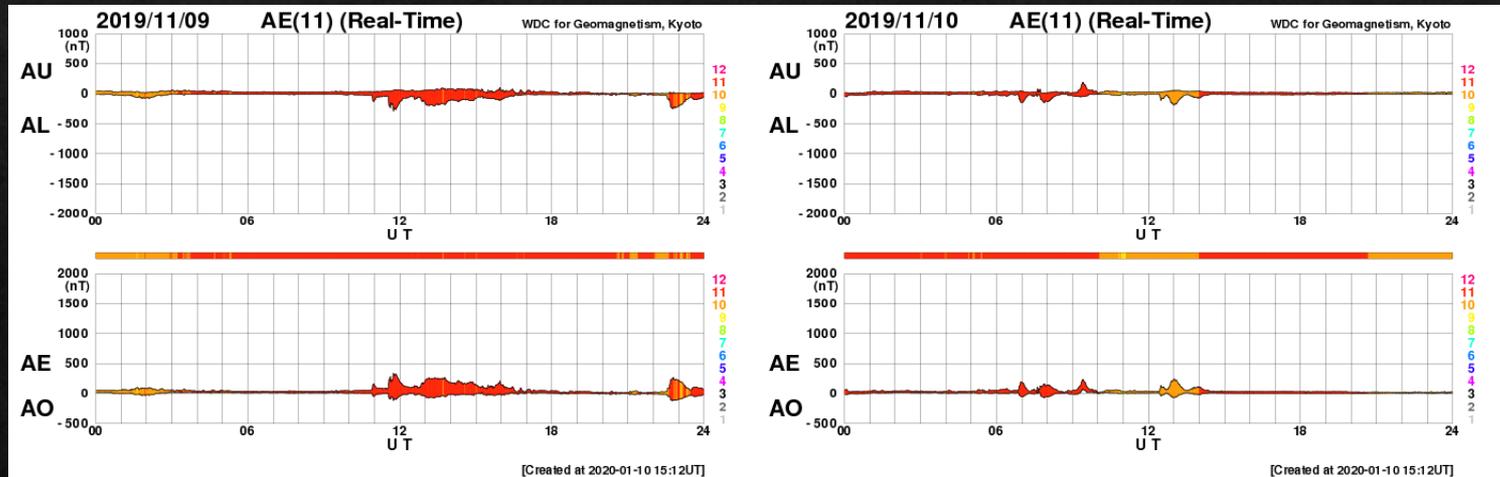
根なし枯草さんが2009年11月7日に
太東埼でバッファロー(NY)局を受信した時



AEインデックスは両日とも静穏であった

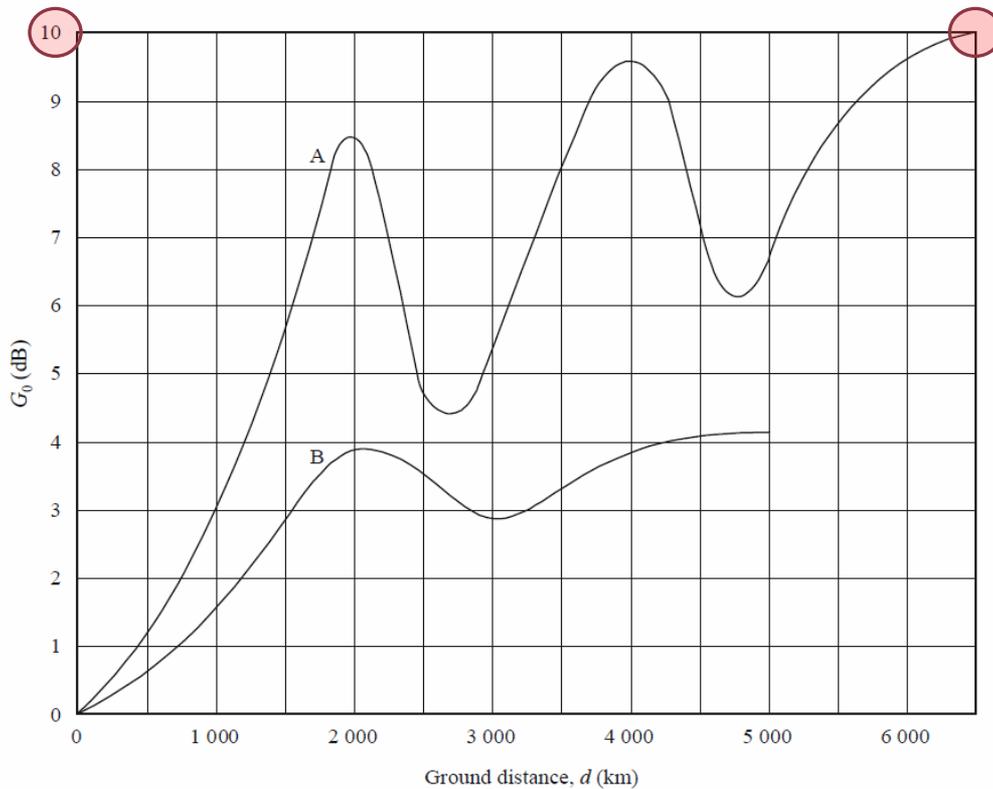
※受信日時等はABC 50's No.4 Spring 2019 根無し枯草著“サイクル23の終焉に”を参照した

2019年11月9-11日 北山崎ペディ AEインデックス



海利得 (シーゲイン)

Sea gain (G_0) for a single terminal on the coast



A: 中波帯
B: 長波帯

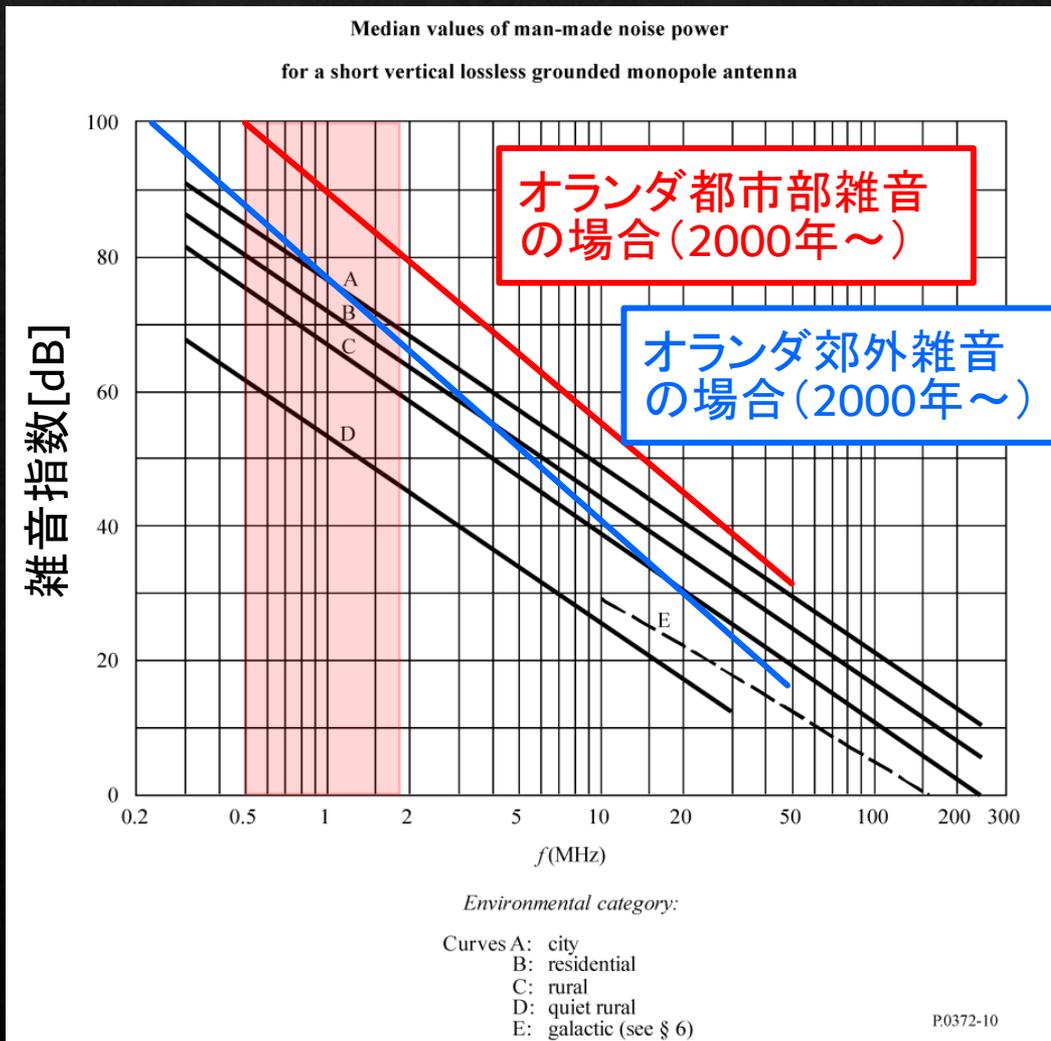
受信点が、海に隣接している場合、伝搬距離が6500km以上あるのであれば、海利得10dBの恩恵にあずかれる

もし送信点も海に隣接していればさらに10dBアップとなる

天然ローノイズプリアンプ！

TPDXで積極的に活用すべき

中波帯の電波雑音 (ITU-R P.372)



- A: 都市部
- B: 住宅地
- C: 郊外
- D: 静かな郊外

オランダ都市部雑音
の場合(2000年~)

オランダ郊外雑音
の場合(2000年~)

ただしこの結果は1970年に米
国で測定されたもの
(相当に古い!)

現在はこれらの値より全周波数
帯にわたって雑音レベルは上
回っていると予想される

TPDXのためには、海に隣接し
た超僻地に行くのがベスト

北の大地での受信動画紹介

ローノイズ環境で14時(昼間)に受信できた様子を紹介します

WPTX (1690kHz 1kW) 北米東海岸メリーランド州

ネットストリーミング音声で耳慣らし



スピーカーアイコンをクリックして聞いてみてください



上の写真をクリックすると受信動画が再生できます

まとめ

- ◇ 北・南米中波局約1万局について、送信地点、送信電力、アンテナ種別等を理解し、全体像を俯瞰した
- ◇ ITU-R勧告P.1174-14 により、千葉県・太東崎に対する伝搬損失を各中波局毎に計算したところ電波伝搬路が北極ルートを通過する場合に伝搬損失が非常に大きくなることがわかった
- ◇ 北米ミシシッピ川より東側のエリアでは西海岸と比較して伝搬ロスが大きくなることがわかった またブラジル中波局の伝搬ロスも大きいこともわかった。その主たる原因はオーロラ地域の電離層吸収が大きいことにあると考えられる
- ◇ 北米東海岸局の受信を成功させるためのキーポイントとしてAEインデックスや海利得、電波雑音低減の重要性を紹介した

ご清聴ありがとうございました