

# スポラディック E 層が VHF 航空通信・航法に与える 影響の評価

電気通信大学 ※細川 敬祐、富澤 一郎、坂井 純

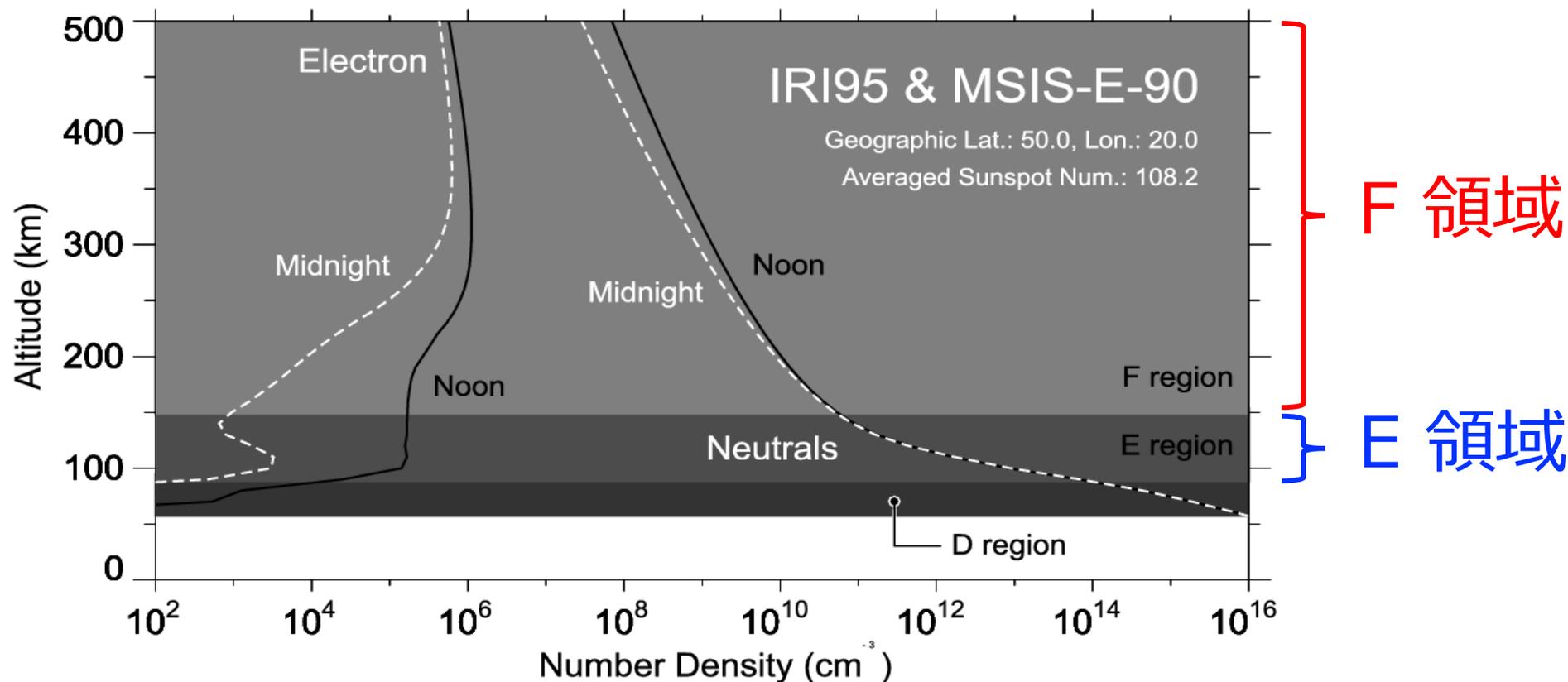
航法システム領域 斎藤 享

平成 28 年度 公募研究報告

# 電離圏

高度 60 - 1000 km に分布する部分的に電離した大気の層

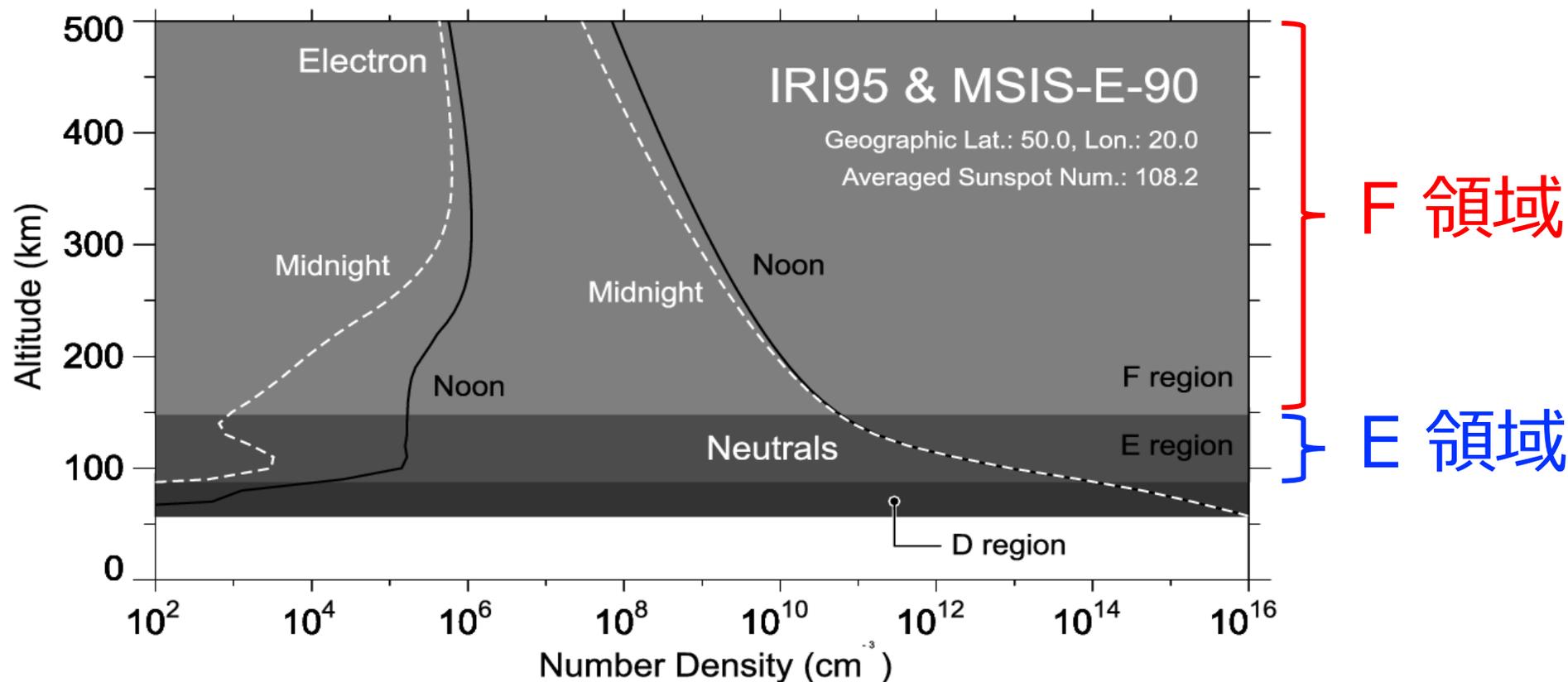
- 季節, 時間, 緯度, 経度, 太陽活動度によって大きく変動
- イオン組成などの特徴によって D, E, F 領域の 3 つに分かれる



# 電離圏と航空航法のかかわり

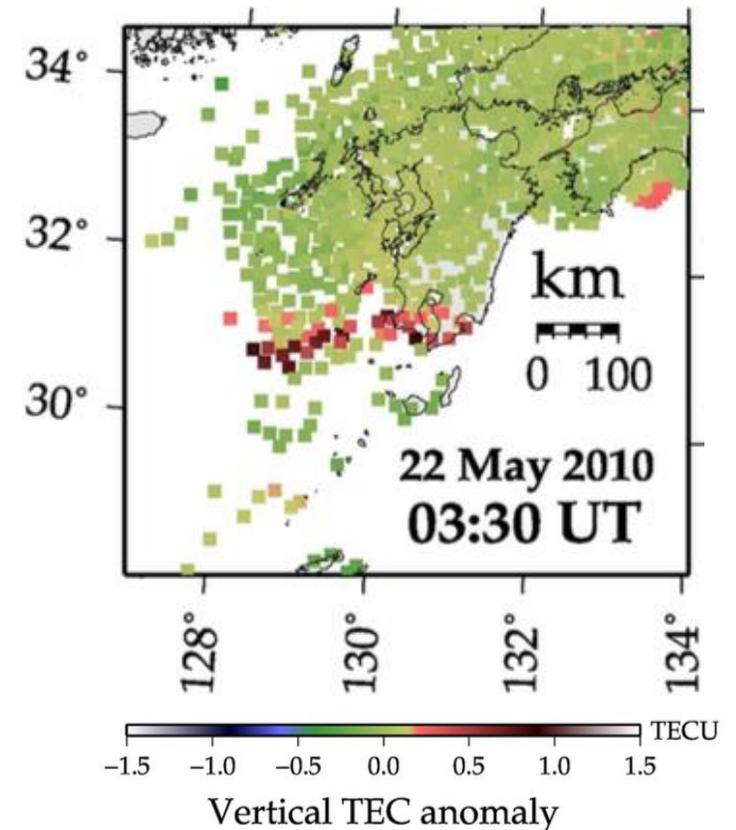
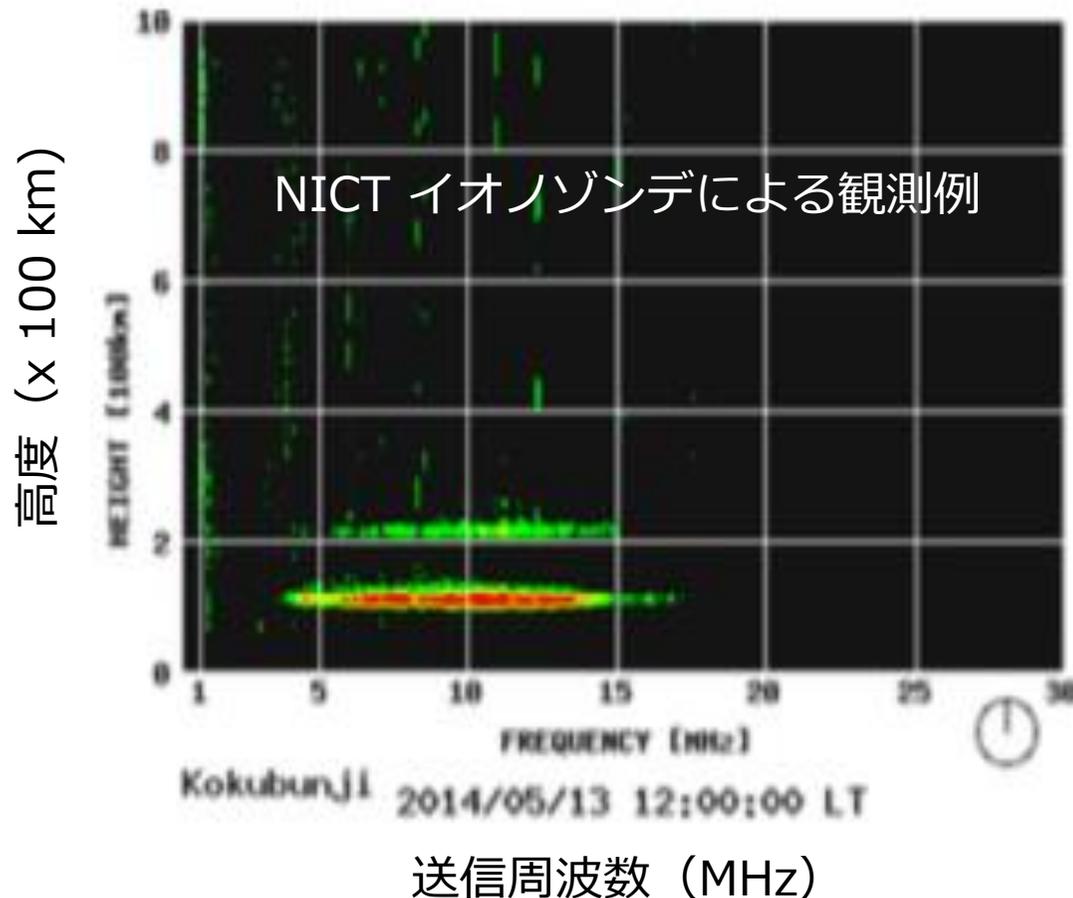
全球衛星測位システムに対する電離圏 F 領域の影響が顕著

- F 領域の電子密度増大に伴う衛星測位精度の低下
- 電子密度の乱れによる測位信号のシンチレーション (ゆらぎ)



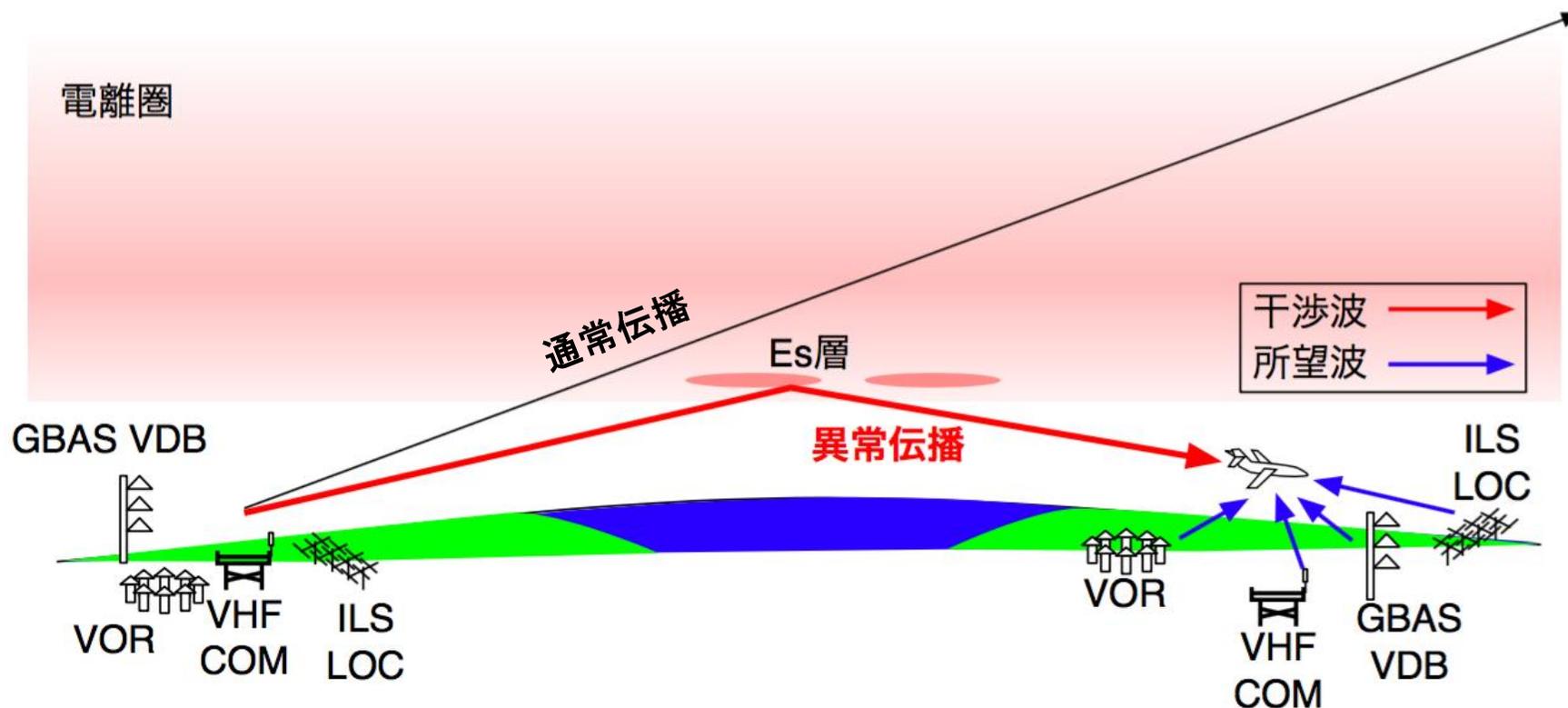
# スポラディック E 層 - Es

- 夏季に電離圏 E 領域 ~100 km 高度に発生する高電子密度の層
- HF 帯の電波を反射，斜め入射の場合は VHF 帯の電波も反射



# Es と航空航法のかかわり

- 航空航法用 VHF 通信 (VOR, ILS LOC, GBAS VDB など)
- 斜め伝搬の場合に Es によって反射され、長距離異常伝播  
→ 航空航法用電波同士の干渉が生じる可能性



Es に伴う航空用 VHF 帯電波の長距離異常伝播によって起こりうる通信の干渉の模式図

# 電離圏の航空航法に対する影響

アジア太平洋地域電離圏脅威モデルの開発：影響がある現象の候補



### 宇宙天気関連

- \* CNSシステムに対して影響の可能性のある現象の検討
  - 中低緯度地域に注目した検討
    - プラズマバブル: GNSS, SatCom, ADS-B (GNSSによる)
    - 太陽X-layフレア: HF COM
    - 太陽電波バースト: GNSS, possibly ADS-B through GNSS
    - スポラディックE層: VHF COM, VHF NAV
  - 電子研の活動予定
    - VHF COM/NAVに対するスポラディックE層の影響評価
    - ADS-Bに対するプラズマバブルの影響評価
- \* 宇宙天気情報利用のためのICAO気象パネルへの入力
  - 気象情報サービス開発ワーキンググループ (WG-MISD: MET Information and Service Development) への情報提供
    - Annex 3改訂、宇宙天気情報利用運用コンセプト策定

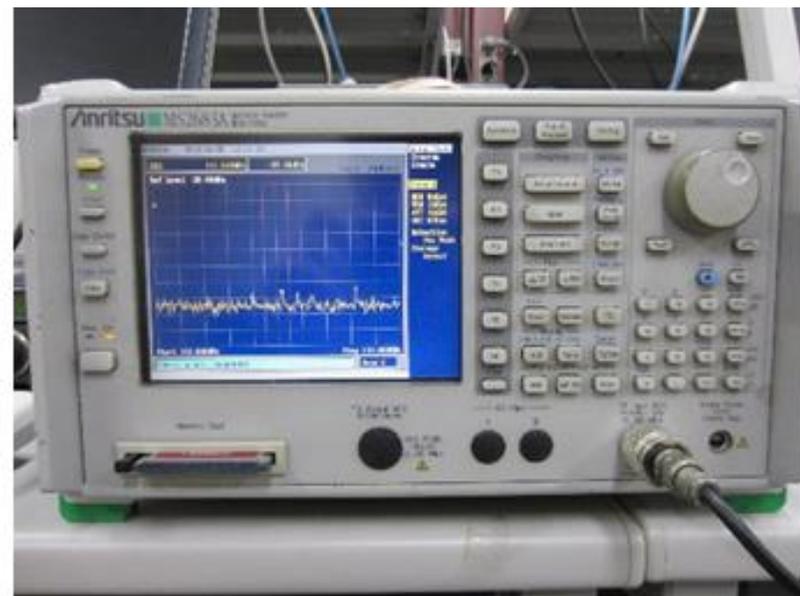
長期的な実測データ  
に基づいた評価が必要

H28年度の公募研究  
として電通大で実施

# 長距離異常伝搬のモニタリング

7

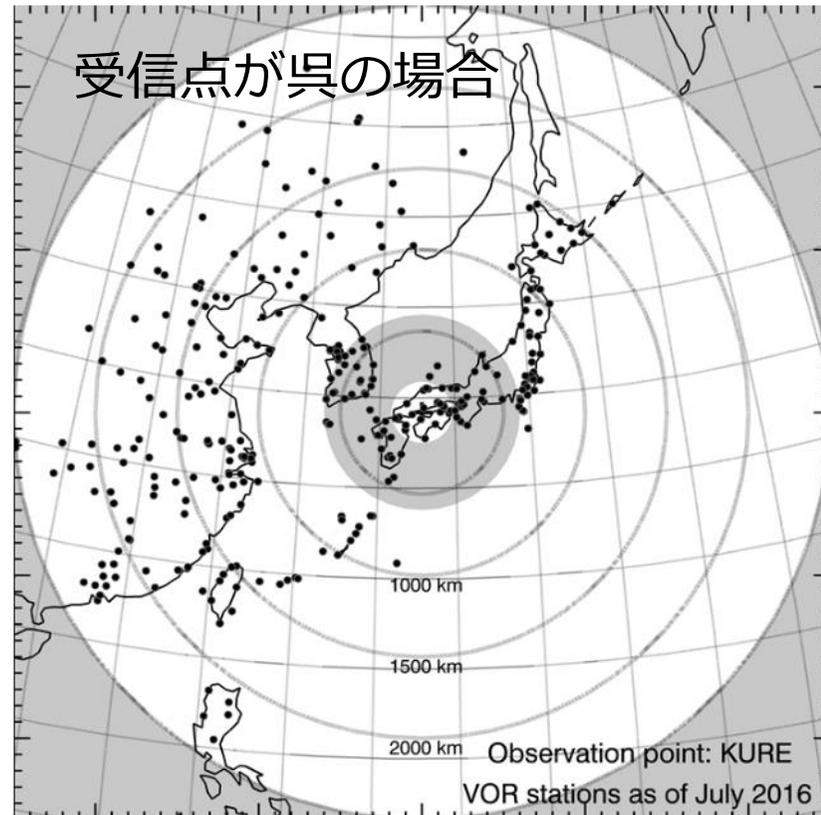
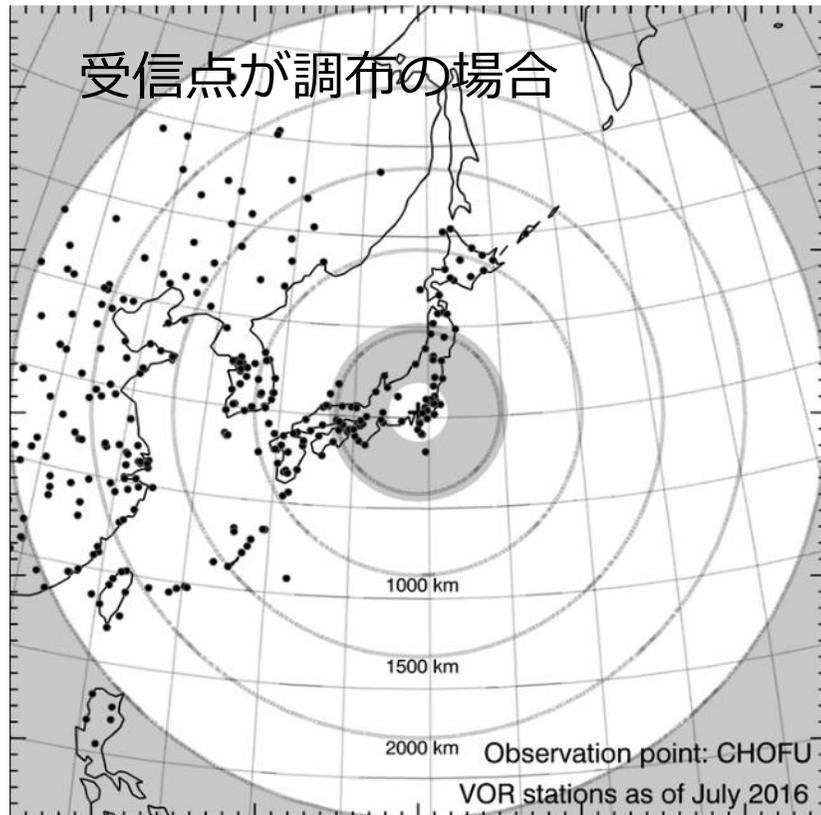
- 東京都調布と広島県呉において VHF 帯航空航法電波の受信観測
- VOR, ILS LOC, GBAS VDB の計 193 のチャンネルについて受信電界強度を継続的にモニタリング
- 2014 年から観測を開始 → 3 年分のデータを活用した解析が可能



調布に設置されている観測機器（受信アンテナおよびスペクトラムアナライザ）

# 長距離異常伝搬のモニタリング

- Es 伝搬による VHF 波の最大到達距離は約 2500 km
- 直達波の受信が可能な領域とスキップゾーンに位置する送信局からの電波は長距離異常伝搬とは考えられない

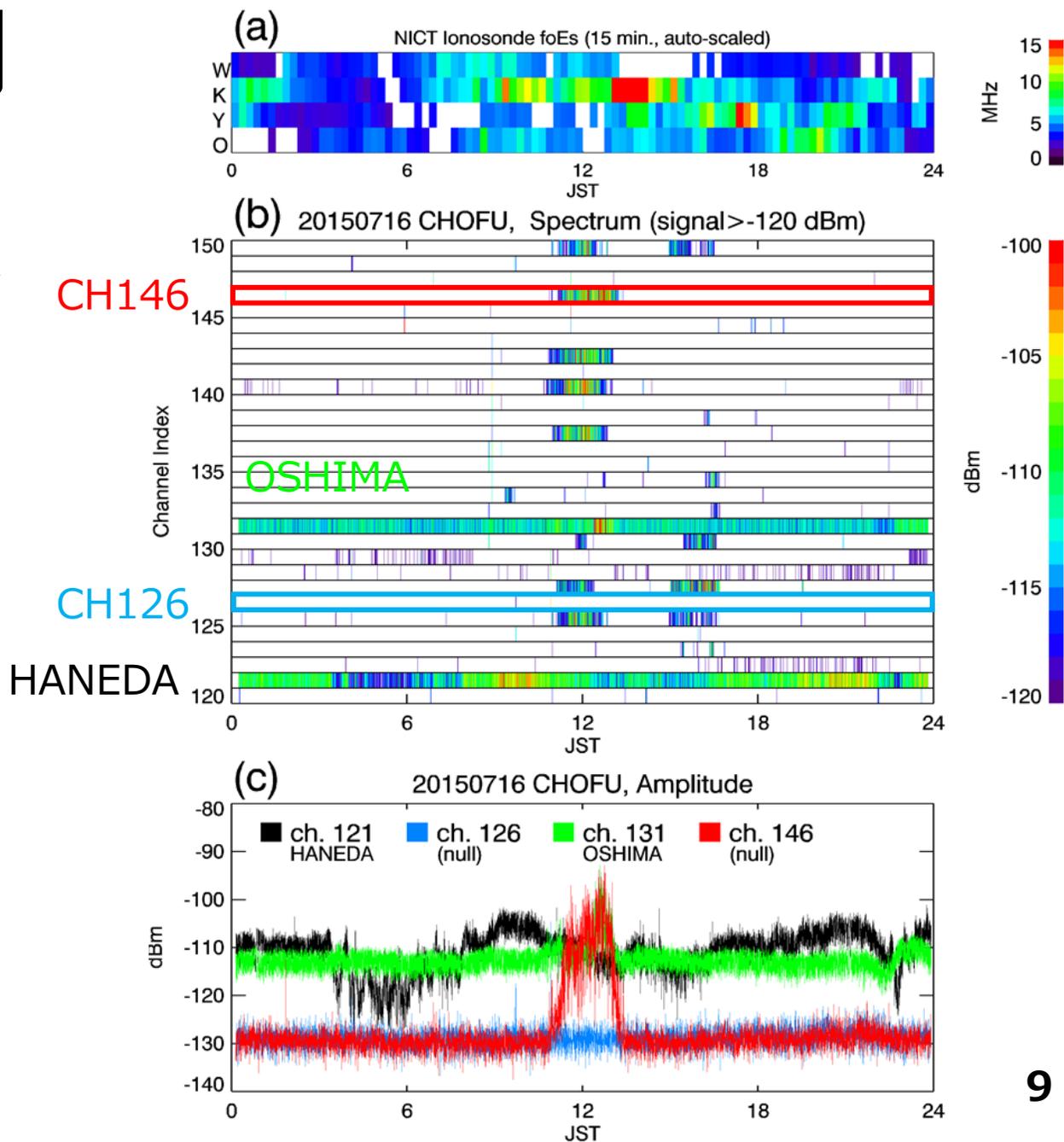


# 観測の典型例

- 2015年7月の観測例
- 国分寺 NICT イオノゾンデが Es を検出
- 調布において、見通し外送信点からの電波を数時間にわたって受信

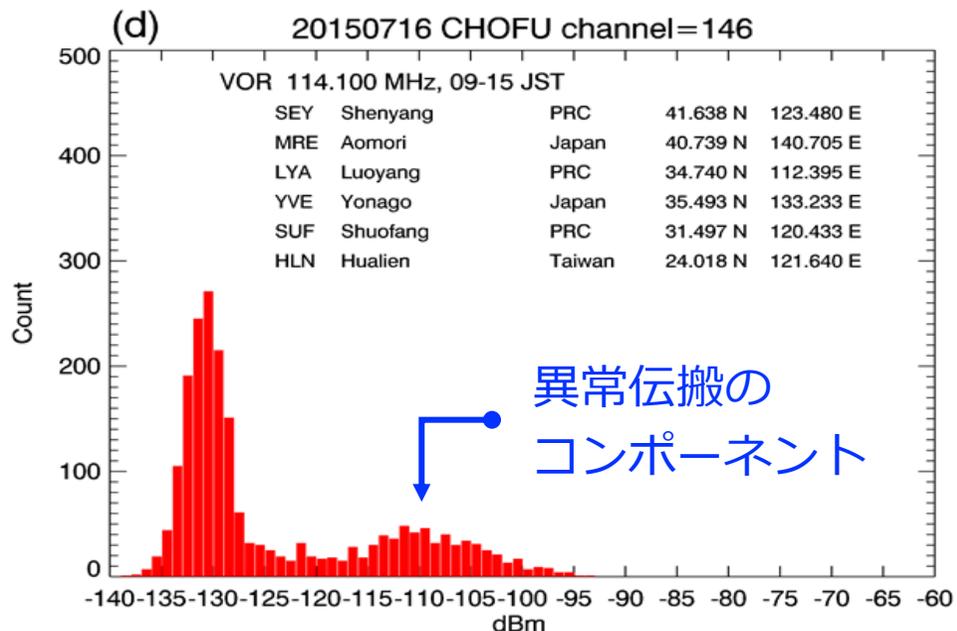
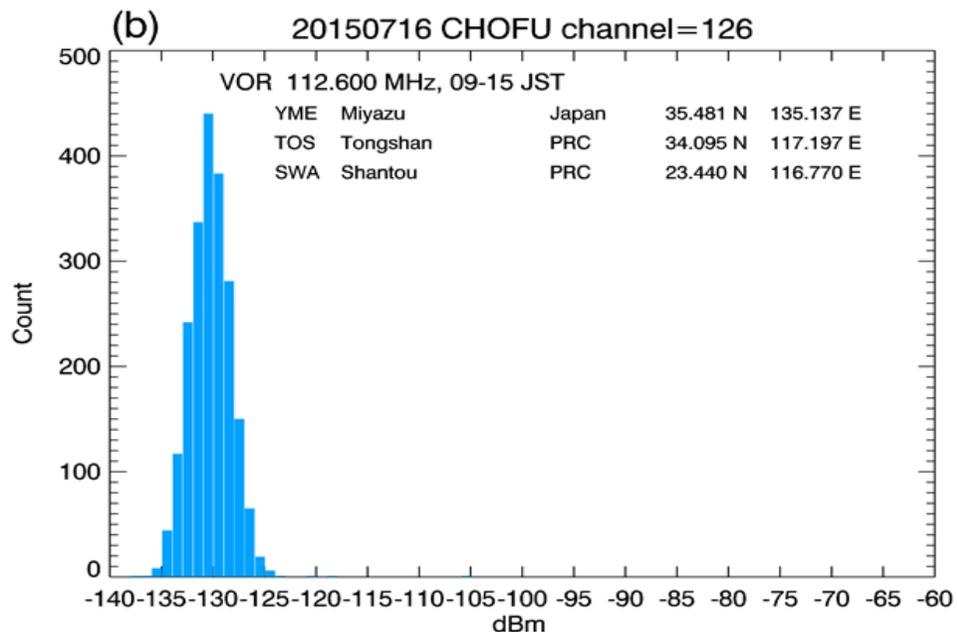
→ 直達波の受信電界強度を超えている

2015年7月16日に調布で観測された異常伝搬事例



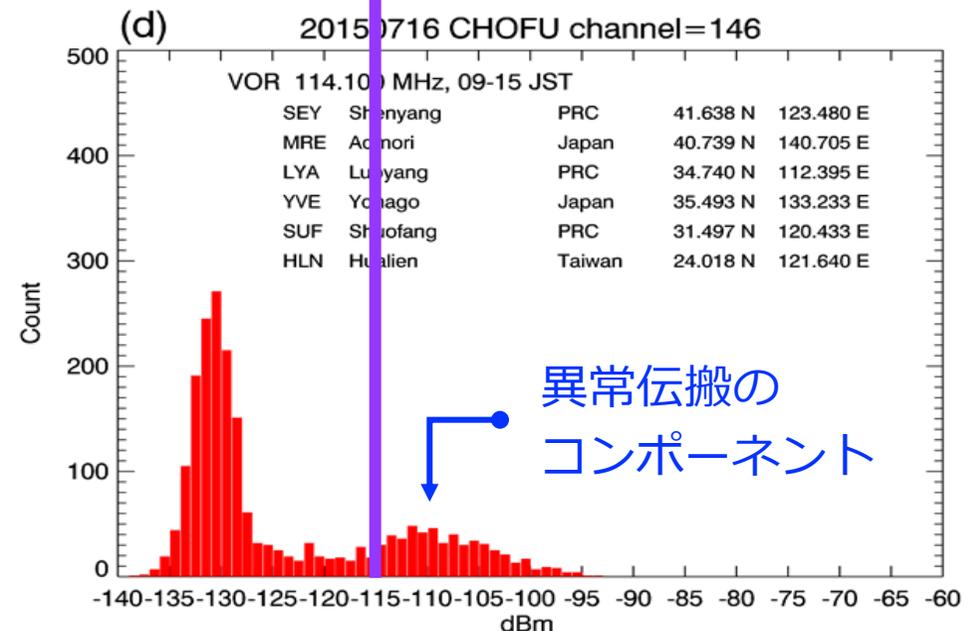
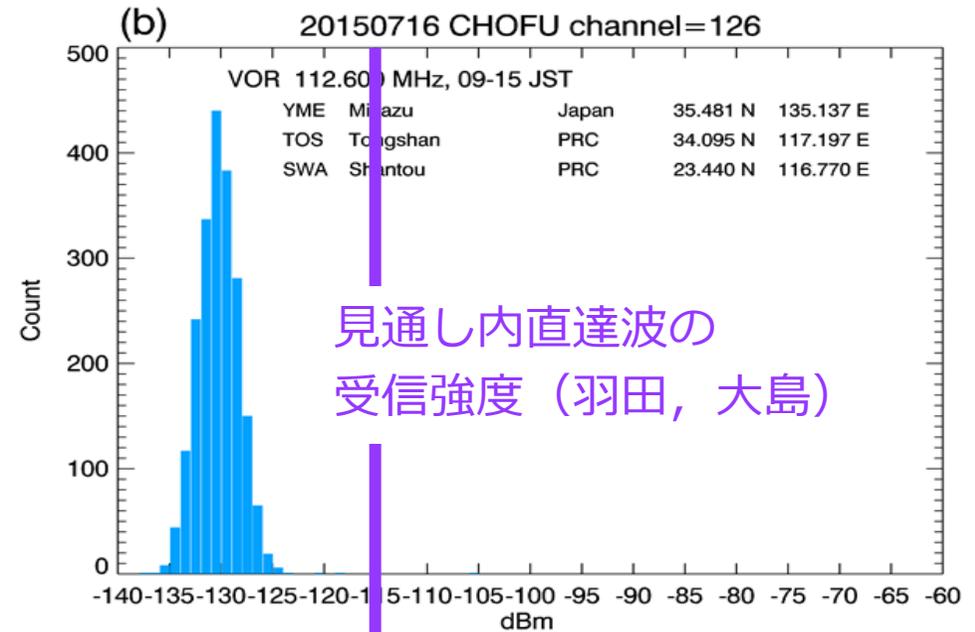
# 観測の典型例

- 2015年7月の観測例
- 空白チャンネルでは、通常は -130 dBm 程度の電界強度
- Es に伴う異常伝搬の発生によって -110 dBm 付近に独立のピークが現れる



# 観測の典型例

- 2015年7月の観測例
- 空白チャンネルでは、通常は -130 dBm 程度の電界強度
- Es に伴う異常伝搬の発生によって -110 dBm 付近に独立のピークが現れる



# 本研究の目的

航空航法用 VHF 電波の長期モニタリングデータを解析し、 $E_s$ に伴う航空用VHF電波の長距離異常伝搬の統計的性質を明らかにする

特に、以下の 3 点について、定量的な評価を行う:

1. 長距離異常伝搬による干渉波の**受信電界強度特性**
2. 長距離異常伝搬事例の**発生頻度**
3. 長距離異常伝搬事例発生頻度の**季節依存性、地方時依存性**

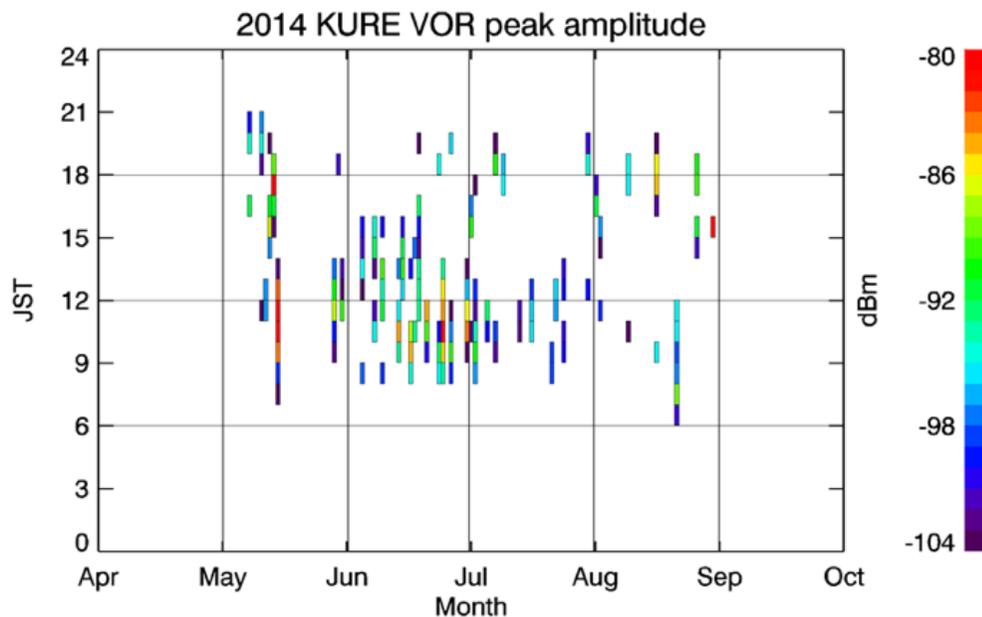
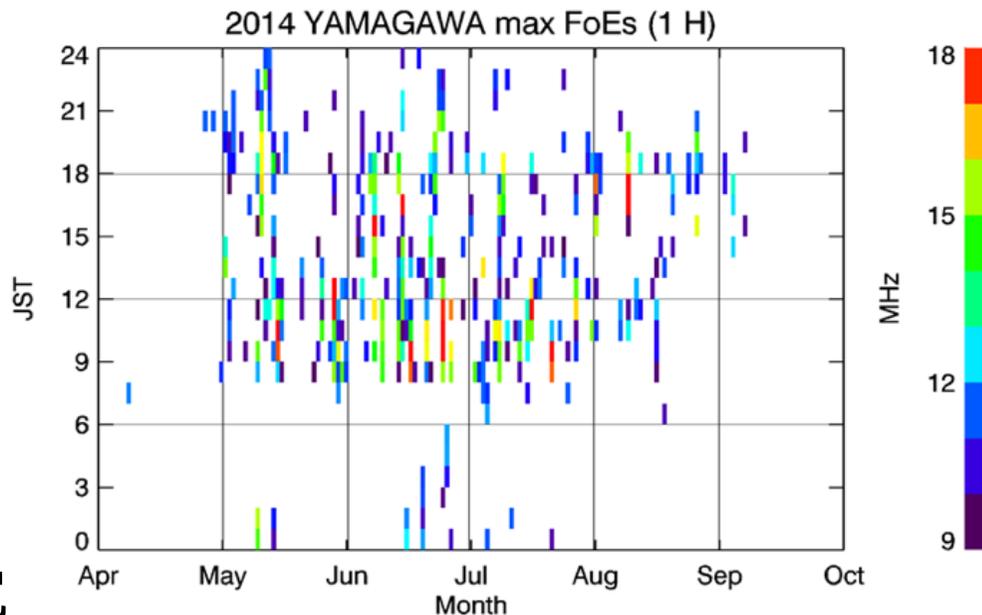
その他に、顕著な特徴を見いだすことで、航空航法用 VHF 電波の長距離伝搬による干渉の影響を評価する材料を提供する

→ [極端事例の紹介](#)

# 抽出の結果

- 上段: イオノゾンの Es 観測 @NICT 山川観測所 (鹿児島)
- 下段: VHF 異常伝搬事例 @呉  
電界強度が  $-105$  dBm 以上のサンプルを抽出し, それらの電界強度の平均を色で表示
- Es の出現と VHF 異常伝搬の発生の間には強い相関  
→ VHF 航空航法電波の異常伝搬は Es と関連

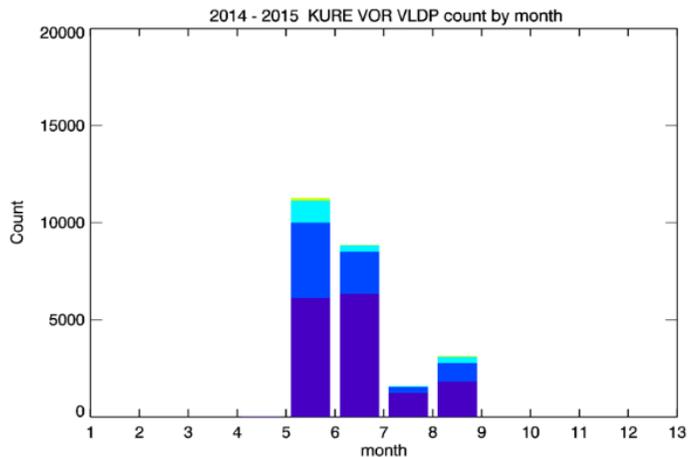
地方時



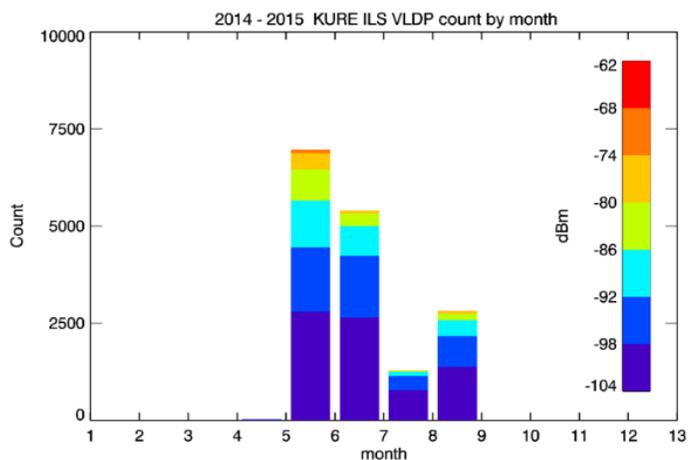
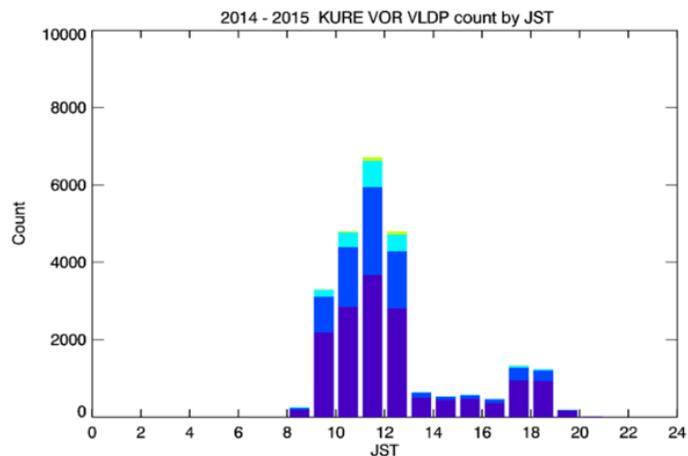
4 月 ← → 10 月

# 季節依存性，地方時依存性

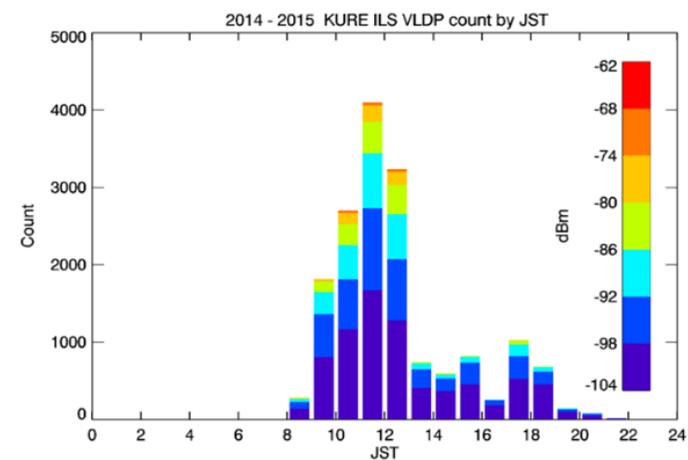
- 夏（5-9月）に集中的に発生し，昼間に発生頻度が高い傾向



VOR



ILS

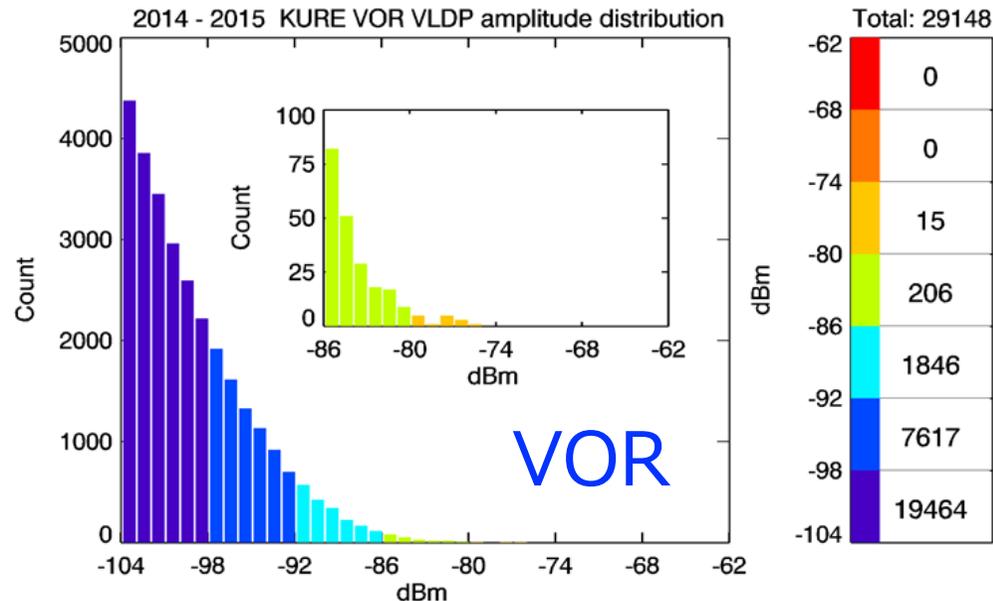


1 月 ← → 12 月

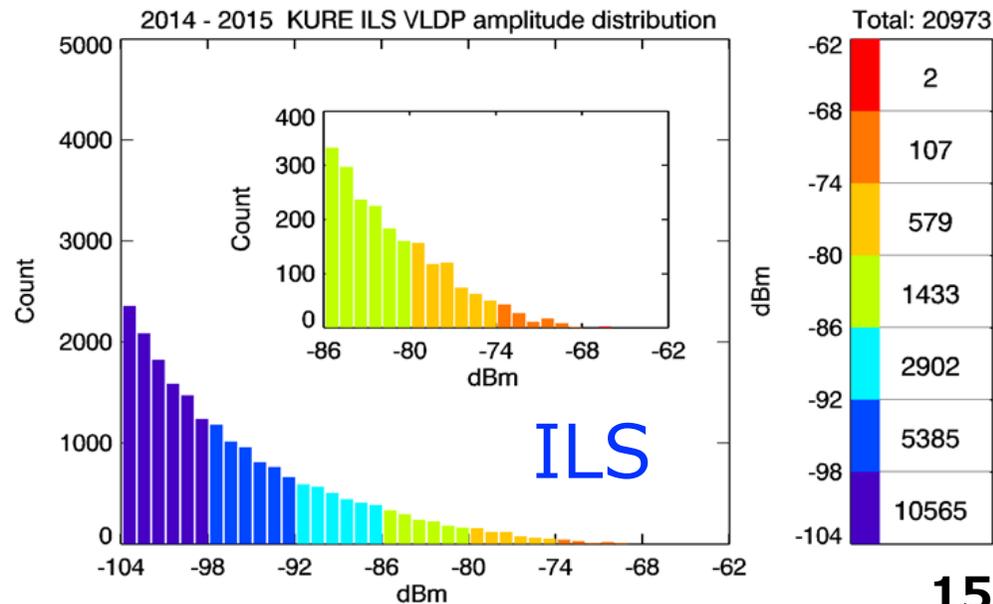
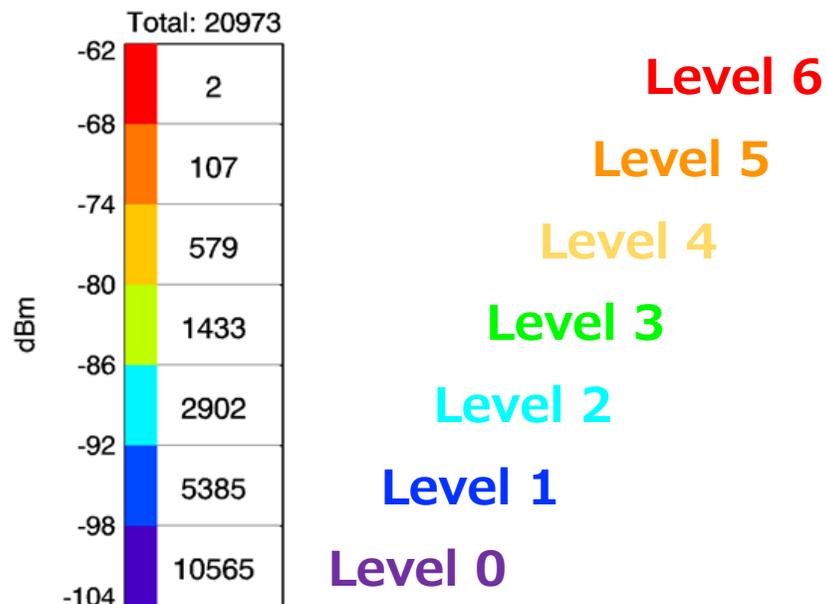
00 JST ← → 24 JST

# 電界強度の分布

- 呉のデータ
- 電界強度が  $-105$  dBm を超えるサンプルの頻度分布
- ILS のほうが電界強度が強い傾向にある



-104 dBm      電界強度      -62 dBm



# 異常伝搬が多いチャネルの統計値

Total hour= 4732

VLDP count: RX=KURE, Type=VOR, 2014-2015

VOR

dBm range	Channel				
	144	160	157	133	125
-68 L6					
-74 L5					
-80 L4	1	3		1	
-86 L3	13	28	29	20	16
-92 L2	161	173	278	186	148
-98 L1	705	673	725	556	538
-104 L0	1165	1062	762	872	837
Total	2235	2117	1924	1752	1662
(L1 & up)	880	877	1032	763	702

Average interval (Hour): RX=KURE, Type=VOR, 2014-2015

VOR

dBm range	Channel				
	144	160	157	133	125
-68 L6					
-74 L5					
-80 L4	4732	1577		4732	
-86 L3	364	169	163	237	296
-92 L2	29	27	17	25	32
-98 L1	7	7	7	9	9
-104 L0	4	4	6	5	6
Total	2	2	2	3	3
(L1 & up)	7	7	6	8	9

VLDP count: RX=KURE, Type=ILS, 2014-2015

ILS

dBm range	Channel				
	68	67	23	22	103
-68 L6	2				
-74 L5	103		1	3	
-80 L4	534	17	11	8	
-86 L3	997	229	36	45	3
-92 L2	1366	747	130	115	44
-98 L1	1733	1143	362	342	134
-104 L0	1422	1294	761	643	295
Total	6450	3657	1397	1262	509
(L1 & up)	4735	2136	540	513	181

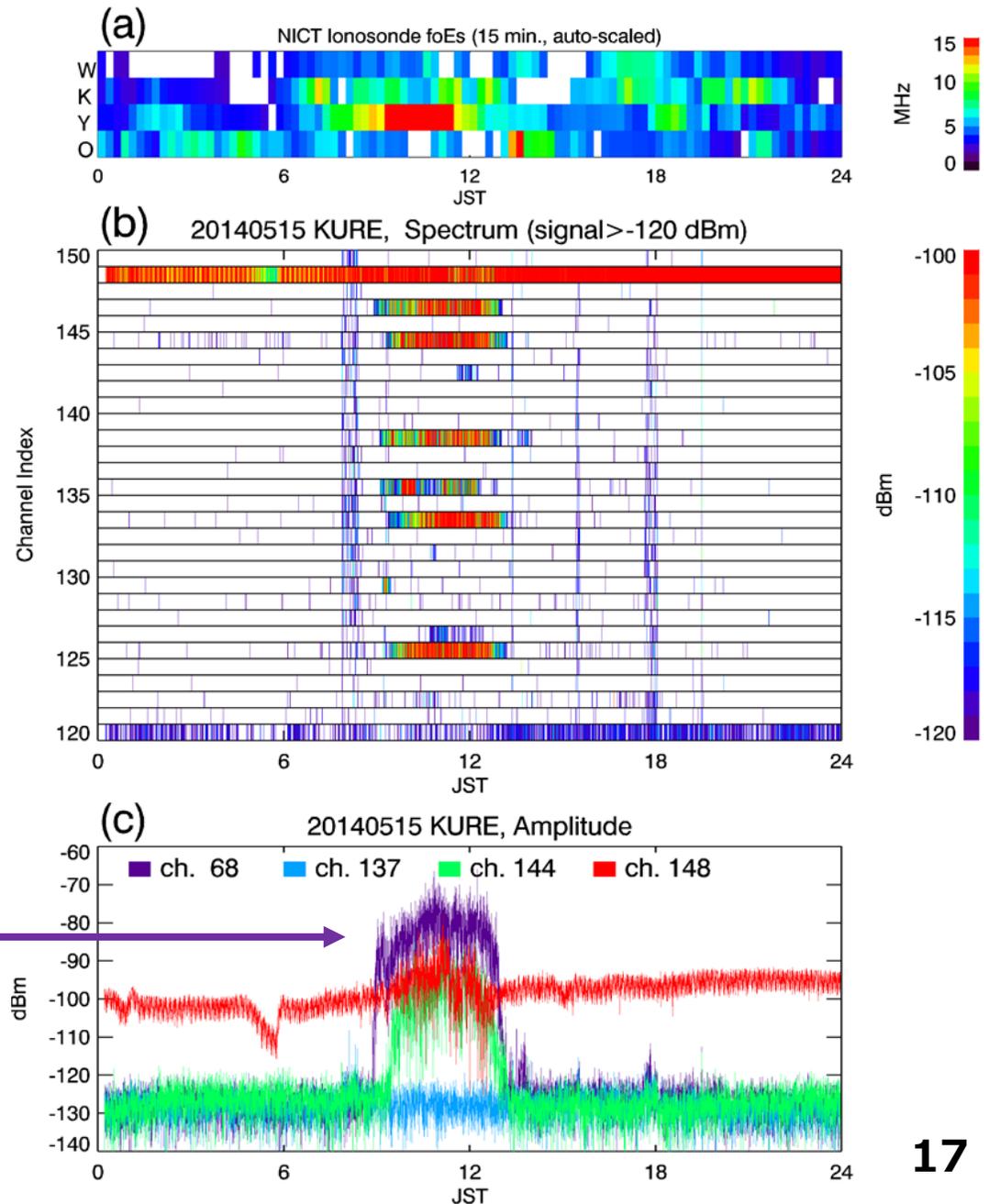
Average interval (Hour): RX=KURE, Type=ILS, 2014-2015

ILS

dBm range	Channel				
	68	67	23	22	103
-68 L6	2366				
-74 L5	46		4732	1577	
-80 L4	9	278	430	592	
-86 L3	5	21	131	105	1577
-92 L2	3	6	36	41	108
-98 L1	3	4	13	14	35
-104 L0	3	4	6	7	16
Total	1	1	3	4	9
(L1 & up)	1	3	12	13	36

# 極端事例の紹介

- 2014年5月の観測例
- 山川 NICT イオノゾンデが強い Es を検出
- 呉において、複数の空きチャンネルで強い電界強度を記録
- 特に ILS LOC においては、-69 dBm という極端に強い電界強度
- 台湾 Hualien 空港滑走路 21R の LDA の可能性



# 極端事例の紹介

- Hualienを中心とした正距方位図
- Hualien の Runway 21R LDA: 磁北からのオフセット角が 45 度の向きにビームの指向性
- 磁気偏角が -4 度であることからビーム方向は方位角 41 度方向
- 呉の観測地点に向く方向となり、強い振幅の干渉波の原因となる

LDA (Localizer type Directional Aid) :  
ILS LOCと同じ機材で方向だけを示す。地形などでLOCを設置できない時に滑走路方向からオフセットした向きに誘導、最後は目視で滑走路に合わせて着陸する。



# 結果のまとめ

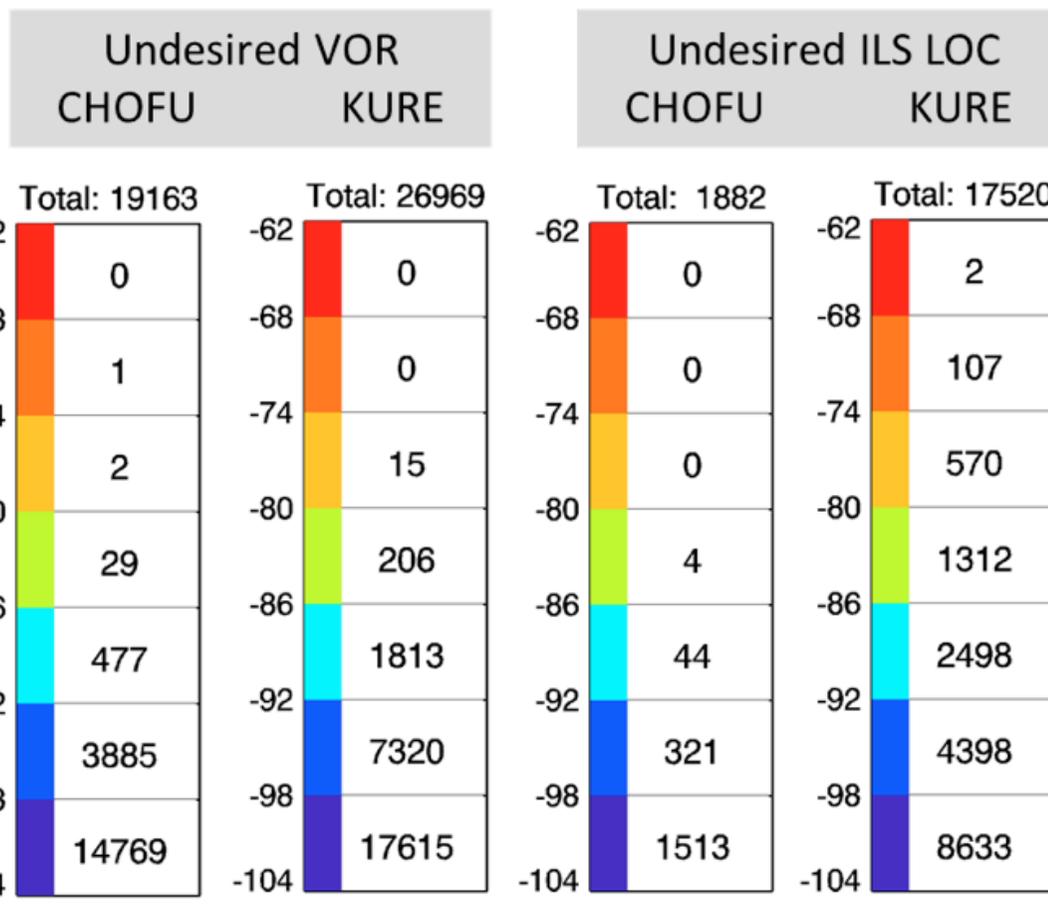
- Es の発生に伴う VOR, ILS LOC 電波の異常伝搬を統計的に調査
- 見通し内所望波との干渉を引き起こす可能性がある異常伝搬が高い頻度で発生
- 実際の航空航法への影響を調査する必要

隣接チャネルとの干渉が  
起こる可能性

同一チャネルとの干渉が  
起こる可能性

ILS LOC  
VOR &  
GBAS VDB

ILS LOC  
GBAS VDB  
VOR



# 異常伝搬事例の抽出条件

希望信号 (D)	GBAS VDB	VOR	ILS-L
(D: 希望信号, U: 不要信号)	VOR, ILS-L	GBAS VDB, VOR	GBAS VDB, ILS-L
アンテナ入力端 最小受信感度	—	-120 dBW/m <sup>2</sup> (RTCA DO196)	-114 dBW/m <sup>2</sup> (RTCA DO195)
① 受信機入力端 最小受信感度	-87 dBm (RTCA DO253C)	-93 dBm (計算値 at 118 MHz)	-86 dBm (計算値 at 112 MHz)
挿入損失	15 dB (RTCA DO253C)	15 dB VDB に準拠	15 dB VDB に準拠
② アンテナ出力端 D 最小必要値	-72 dBm	-78 dBm	-71 dBm
③ Co-Channel D/U 要求値	26 dB DO-253C 2.2.7.1 (VDB) DO-253C 2.2.7.2 (VOR/ILS)	26 dB 基準なし VDB に準拠	26 dB 基準なし VDB に準拠
④ アンテナ出力端 U 最大許容値	-98 dBm	-104 dBm	-97 dBm
⑤ アンテナ利得範囲	20 dB	20 dB	20 dB
⑥ 不要波電界強度上限 1 (最小アンテナ利得の場合)	-98 dBm	-104 dBm	-97 dBm
⑦ 不要波電界強度上限 2 (最大アンテナ利得の場合)	- 118 dBm	- 124 dBm	- 117 dBm