

14. 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

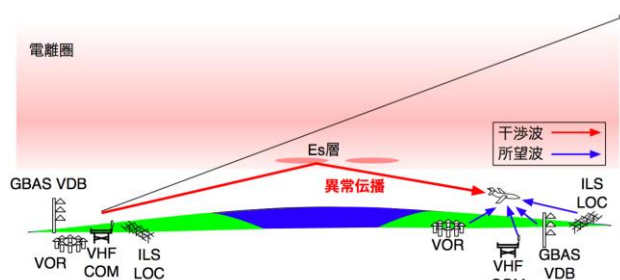
電気通信大学 ※細川 敬祐, 富澤 一郎, 坂井 純
航法システム領域 齋藤 享

1 まえがき

超高層大気の 60-800 km の高度には、大気が部分的に電離している電離圏と呼ばれる領域が存在する。電離圏は、HF 帯、VHF 帯の電波を用いた通信や全球衛星測位システムに対して影響を与えるため、航空航法システムの運用とも密接に関わりがあることが広く認識されている。電離圏は、電子密度やイオンの組成によって、D 領域、E 領域、F 領域の 3 つの層に分けられる。最大電子密度が F 領域高度において与えられるため、全球衛星測位システムに対する影響は F 領域に発生する電離圏擾乱現象によるものが多い。E 領域の電子密度は、多くの場合において F 領域よりも低くなるが、夏季には、電離圏下部 100 km 高度付近において電子密度が局所的に増大することが知られている。この現象は、スポラディック E 層 (Es) と呼ばれる。Es 発生時には、航空航法用通信に使われている VHF 帯の電波が下部電離圏で反射され、通常は伝搬することができない遠方まで到達することがある。

本研究は航行業務の帯域を対象とする。航行業務の帯域は VOR および ILS ローカライザ (LOC) 用に割り当てられおり、GBAS VDB もこの帯域を使用する。総務省周波数割当計画の別表 2-3 [1]では、航空無線航行業務として総計 200 チャンネルが VOR および ILS LOC に割当て可能となっている。この限られたチャンネルを多数の局が共用するため、VHF 波の伝搬可能距離内に同一周波数の局が設置されないような周波数割り当てが行われている。Es 発生時には、図 1 に示すように、GBAS VDB, VOR, ILS LOC 等の航空用 VHF 帯電波が下部電離圏で反射され、通常は伝搬することができない遠方まで到達することがある (長距離異常伝搬)。このような航空用 VHF 帯電波の長距離伝搬は、航空航法のために行われている見通し範囲内通

信との干渉を引き起こし、混信の原因となる可能性が指摘されている [2]。この現象は、ICAO アジア太平洋地域に設置されている電離圏問題検討タスクフォースにおいて、その可能性が識別されているものの、航空航法に対する影響を定量的に評価する作業は行われていないのが現状である。これは、航空用 VHF 帯電波の定常的なモニタリング観測が継続的に行われていないために、長期間の実測データに基づく



検証ができなかったことによるものである。

図 1: Es に伴う航空用 VHF 帯電波の長距離異常伝搬によって起こりうる通信の干渉の模式図

代表研究者のグループは、電気通信大学調布キャンパスと呉海上保安大学校の 2 地点において、GBAS VDB, VOR, ILS 等の航空用 VHF 電波のモニタリング観測を 2012 年から継続してきている。双方の受信局について、それぞれ 4 年分の観測データが蓄積されている。本研究は、このうち、安定に観測が行われていた 3 年分のデータを解析することで、Es 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ことを目的とする。特に、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、の 3 点について、長期間のデータに基づいた定量的な評価を行った。

2 研究方法

2.1 観測場所と VOR 局の分布

本研究では、調布（東京都）と呉（広島県）の 2 点で VHF 帯航行無線電波の受信観測を行った。受信点の概要を表 1 に示す。

表 1: 受信観測点の概要

調布	所在地	東京都調布市 電気通信大学構内
	位置	北緯 35.4 度, 東経 139.3 度
呉	所在地	広島県呉市 海上保安大学校構内
	位置	北緯 34.2 度, 東経 132.8 度

Es 伝搬による VHF 波の最大到達距離は約 2500 km であることが知られている。調布あるいは呉から見てこの範囲内にある VOR 局は約 300 局であるが、新設と廃局が時折発生するためその数は一定しない。日本周辺の VOR 局の地理的分布と受信局からの距離を図 2 に示す。図には受信局から見て受信可能な VHF 送信局の範囲を白色、受信不能な送信局の範囲を灰色で示した。受信点を中心とする半径約 180 km の領域は通常の VHF 見通し距離伝搬（地上伝搬）の範囲である。見通し範囲を超える半径 550 - 600 km の範囲（灰色のドーナツ領域）にある送信局の電波は地上伝搬波も電離層反射波も受信点に到達できない。この領域はスキップゾーンと呼ばれる。スキップゾーンより外側の半径約 2500 km 以内の領域（白色）にある送信局の電波は、Es が発生した場合に電離層反射によって受信点に到達することができる。この電波を受信して Es 伝搬の発生状況を知ることが本研究の目的である。

2.2 観測および観測システム

この研究では、108 MHz から 118 MHz にわたる 10 MHz の帯域内に存在する 200 近い

チャンネルの受信信号強度を連続的に記録する必要があるため、通常と同調型受信機ではなく、スペクトラムアナライザにより帯域内のスペクトルの連続モニターを行った。受信アンテナは対数周期型（ログペリ）アンテナである。指向方向は VOR 局の地理的分布および過去の観測経験により Es 伝搬が多く発生する向きを考慮して決定した。使用したアンテナの F/B 比（前方入射と後方入射の利得比）は 15 dB であり、指向方向以外からの Es 伝搬については電界強度を過小評価することになる。本研究では電界強度の高い事例の収集に重点を置き、Es 伝搬の発生頻度が高い領域を観測することを優先したため、後方あるいは側方からの入射波について特別な考慮は行っていない。なお、航行無線の地上波は水平偏波を用いるが、電離層を通過した電波はファラデー回転により偏波面が回転し楕円偏波になっているため本研究で用いた受信アンテナは偏波面の調整は行っていない。アンテナで受信した信号は航空無線帯フィルタにより帯域外の信号をカットした後で VHF 増幅器で増幅した。フィルタを使用することにより隣接する周波数帯（主に FM 放送）の強力な信号によって次段の増幅器が飽和することを防いでいる。増幅器の出力をスペクトラムアナライザに入力しスペクトルの解析を行った。スペクトラムアナライザの出力から必要な情報を抽出し観測データベースに記録する。スペクトラムアナライザは観測 PC と接続されており、計測制御ソフトウェア (LabVIEW) による制御のもとで観測 PC にデータを渡す。観測 PC は、周波数スペクトルデータから航空無線帯チャンネル毎の受信信号強度の時系列データを生成し、日時別のファイルを作成して観測データベースに格納する。以下の説明では、VOR および ILS に割り当てられた周波数に対して通し番号を振り、チャンネル番号 (Channel Index) と呼んでいる。この番号は、本研究で便宜的に使用したもので公式に定められたものでないことに注意されたい。

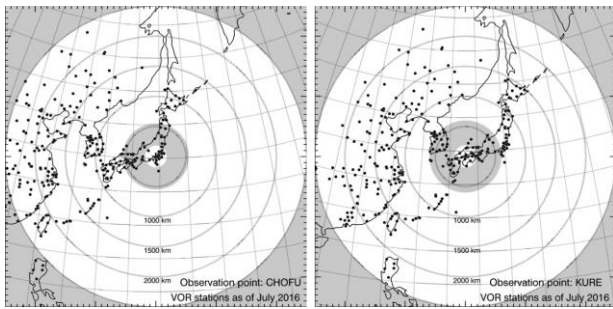


図 2: 日本および周辺の VOR 送信局の分布 (黒点)。受信点 (左図が調布, 右図が呉) を中心とする VHF 受信可能範囲 (白) と不感帯 (グレー) を示した。受信点から 200 km 以内は地上波の到達範囲, 600 km 以遠は Es 伝搬が可能な範囲, その中間がスキップゾーンと呼ばれる。

2.3 遠距離伝搬イベントの特徴

本研究では, 参考文献 [3]-[6] をもとに不要波の許容電界強度の閾値を図 10 に示すように設定した。特に, GBAS VDB に対する影響が注目されていることから, 以下の説明では -98 dBm を主張な目安として使用する。はじめに受信データの例を用いて遠距離伝搬イベントの特徴を説明する。図 3 は 2014 年 7 月 16 日の調布での観測記録から作成したもので, 上から順に (a) 国内 4 か所のイオノゾンの foES, (b) 受信電界強度 (チャンネル 120 から 149 まで), (c) 典型的な 4 つのチャンネルの受信電界強度の時間変化を表している。イオノゾンのプロット左側のラベル W K Y O は, 稚内, 国分寺, 山川, 沖縄を意味する。この日は国分寺および山川で高い foEs が観測されており, Es の発生を示している。パネル (b) には受信帯域のうち VOR チャンネルが集中している範囲を選び各チャンネルの電界強度の時間変化を示した。縦軸はチャンネル番号である。図には電界強度が -120 dBm を超える標本のみを表示し, 右側のカラーバーに示す色で強度を表している。連続して強い信号を受信しているチャンネルは地上伝搬波を受信したもので, 121 は羽田 VOR, 131 は大島 VOR である。これ以外に複数のチャンネルにおいて 12 JST 前後に強い信号を連続して受信し, また 16 JST 前後にも

いくつかのチャンネルで強い信号を受信している。これらの時間帯は国分寺イオノゾンデにおける高い foEs の時間帯とよく合っており, Es 伝搬を観測したものと考えられる。

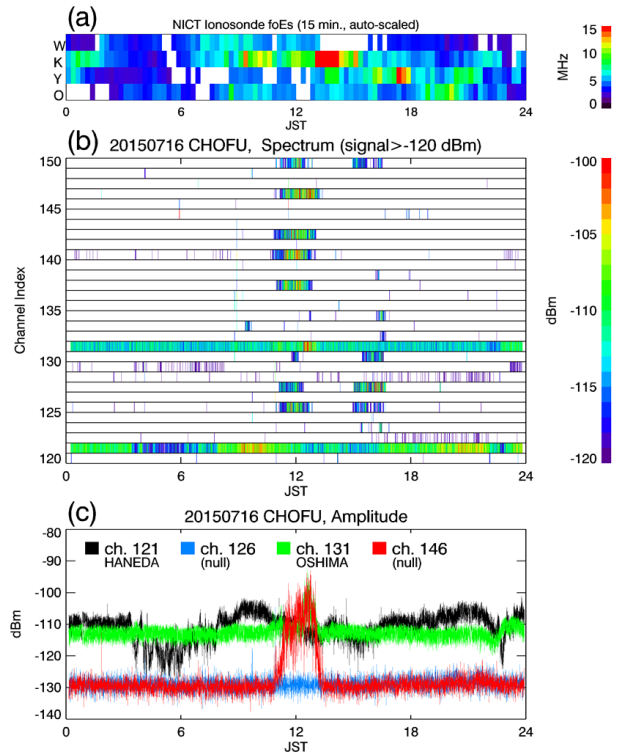


図 3: 典型的な Es 伝搬観測例: (a) 国内イオノゾンデ foEs の時間変化 (W: 稚内, K: 国分寺, Y: 山川, O: 沖縄), (b) チャンネル 120 から 149 までの受信電界強度 (-120 dBm 以上) の時系列, (c) 4 つの典型的なチャンネルの電界強度変化 (チャンネル 121: 羽田 VOR の地上伝搬, チャンネル 126: 空白チャンネルの背景雑音, チャンネル 131: 大島 VOR の地上伝搬, チャンネル 146: 空白チャンネルで Es 伝搬を受信したもの)

パネル (b) に示したチャンネルから典型的なふるまいを示す 4 例を選び, パネル (c) に電界強度をプロットした。この図から背景雑音のレベルはおおよそ -130 dBm であることがわかる。チャンネル 121 と 131 は一部の時間帯を除き -110 dBm 前後の信号を受信しており, 背景雑音との差は約 20 dB で, 電力比にすると 100 倍 (振幅比 10 倍) である。チャンネル 126

は終日背景雑音のレベルにとどまっておらず空白チャンネルと考えることができる。チャンネル 146 には Es 伝搬の特徴が現れている。このチャンネルは 1 日の大半の時間において背景雑音のレベルにあり空白チャンネルと考えられる。Es の発生によって 11 JST に電界強度が上昇し、増減を繰り返しながら約 2 時間にわたって -100 dBm 以上の値をとり続けている。このチャンネルが約 1 時間にわたって、羽田 VOR (チャンネル 131) サービスエリア内で VOR 信号より高い電界強度を保ったことは、干渉発生評価の観点から注目に値する。ふたたびパネル (b) に注目すると、チャンネル 125, 127, 149 の電界強度は 15 JST にも上昇している。このようにチャンネルによって発生パターンが異なるのは VOR 送信局の所在地の違い、したがって電離層反射点の違いによるものであり、反射点での Es の構造の違いを反映しているものと考えられる。

3 研究結果

3.1 Es の発生と Es 伝搬イベントの概観

本研究の観測期間である 2014 年から 2016 年の夏季に、国分寺および山川のイオノゾンデには多くの Es (高い foEs) が記録されている。このことから期間中に多くの Es 伝搬イベントが発生したことが予想される。例として 2014 年夏季の foEs と Es 伝搬電界強度のマップを図 4 に示す。横軸は通年の日、縦軸は時刻 (JST) で、観測した foEs および電界強度の値を色で表示している。上段のパネルは国分寺と山川のイオノゾンデのデータで、1 時間のうちに foEs が 9 MHz を超えた場合のみ着色して表示した。この値は電子密度に換算すると 10^{12} m^{-3} に相当し、E 層の電子密度としては非常に高い値である。下段のパネルには VOR の受信記録から求めた 1 時間ごとの最大電界強度を表示した。左側が調布、右側が呉のデータで、電界強度が -104 dBm を超えた場合のみ着色表示した。

この図から、高い foEs の発生日時と大振幅波の受信日時には大局的な相関があることがうかがえるが、以下の理由により限られた時間内で強い相関を示す可能性は低い。すなわち、イ

オノゾンデの観測値は観測点の天頂付近の電離層の状況を示すのに対し、VOR 受信観測は VOR 送信局と受信点の間にある反射点付近の電離層の状況を反映する。通常 Es 伝搬の中間反射点は受信点から 300 km 以上離れている。国分寺と調布は地理的に近隣であり、ある時刻に国分寺で観測した Es が調布の受信記録に直接関与することは考えにくい。しかし、ある Es 構造が地理的に移動した場合、同じ Es 構造がもたらす事象が国分寺と調布で時間差を持って観測されることは考え得る。また、また超高層大気環境が Es を発生させやすい条件になっていれば日本付近に複数の Es が同時に発生することもあり得る。イオノゾンデ観測と VOR 受信観測はこれらの条件が複合した結果を反映していると考えられ、単純な相関関係を導くことは困難である。なお、呉と山川は 300 km 以上離れているため、山川付近の Es 反射により琉球諸島の VOR を呉で観測することはあり得る。しかしこの場合もイオノゾンデ観測と VOR 受信観測の詳細な相関を検証することは容易ではなく、ここでは両者の間に大局的な相関が存在することを指摘するにとどめておく。

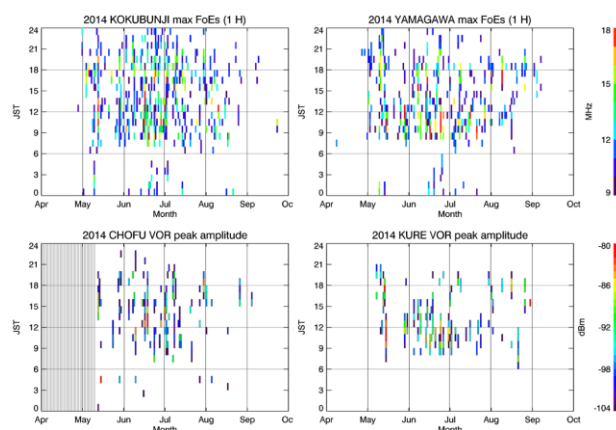


図 4: 2014 年夏季の foEs (上段) と Es 伝搬 (下段) の発生状況。左は国分寺の foEs と調布の Es 伝搬受信電界強度、右は山川と呉の組み合わせ。データはそれぞれ 1 時間のビン内での最大値である。

3.2 月別の発生傾向

調布および呉で受信した Es 伝搬の標本数を図

5 に示す。図の上段は VOR, 下段は ILS の集計結果で, 左側が調布, 右側が呉のデータである。各月の標本数を棒グラフで示し, 電界強度でソートした内数を色分けして示した。電界強度は 6 dB 刻みのビンで集計し, 右下のカラーバーに示した色をビンに対応させた。影響評価の閾値を -98 dBm に設定したのでこの値を基準にしてビンを区切った。そのためこの図では Es 伝搬の下限を -104 dBm としている。各パネルの縦軸のスケールはそれぞれ異なることに注意されたい。なお, 図のタイトルにある VLDP は VHF Long Distance Propagation の略で Es 伝搬と同じ意味で使っている。

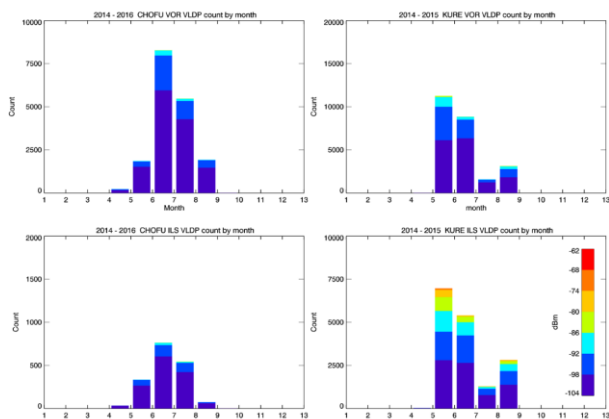


図 5: Es 伝搬標本の月別発生数。上段が VOR チャンネル, 下段が ILS LOC チャンネル。左が調布, 右が呉のデータ。

調布 VOR 観測では 6 月に発生数のピークがあり, 次いで 7 月にもピークの約 2/3 の標本数を記録している。この 2 か月間は -98 dBm を超える標本が全体の 1/4 程度を占め, さらに -92 dBm を超える標本も目立っている。5 月と 8 月の発生数はピーク月の 1/4 と少ないが, -98 dBm を超える標本の数は無視できない。4 月の発生数は極めて少ないが, -98 dBm を超える標本も少数存在する。9 月には -98 dBm を超える標本は発生していない。ILS の観測結果も同様の傾向を示しているが, ピーク月の標本数は VOR のおよそ 1/10 と少ない。呉では 5 月に多数の Es 伝搬を観測して年間のピーク月になっている。これは 2014 年 5 月 15 日に極めて多くの Es 伝搬を観測した結果である。この日のイベントについては後述す

る。以下に紹介する各種の集計においても, このイベントの数値が大きく影響していることをあらかじめ指摘しておく。他の月について見ると 7 月のカウントが 8 月よりも少なく約半分である点が調布とは異なっている。

3.3 時刻別の発生傾向

Es は日中に多く発生し夜間, 特に早朝の発生は少ないことから, Es 伝搬の発生についても同様の傾向があるものと予想される。Es 伝搬発生時の時間分布を図 6 に示した。この図は Es 伝搬の発生時刻が 7 JST から 20 JST の間に集中していることを示している。しかしながら, 以下の理由により Es 伝搬発生時の昼間の時間分布についてこのデータから結論を導くことは困難である。例として調布の VOR を見ると, 17 JST に大きなピークがあるがこれは 2015 年 6 月 9 日のイベントの結果であることがわかっている。このように時間別の発生分布は少数の大型イベントの影響を受けるため 2 年ないし 3 年の観測結果から一般的な傾向を推測することはむずかしい。

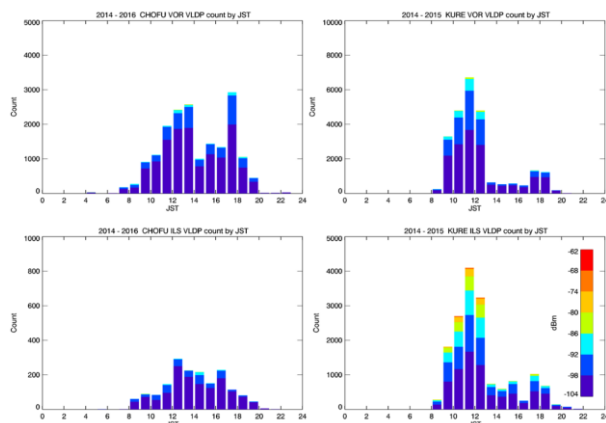
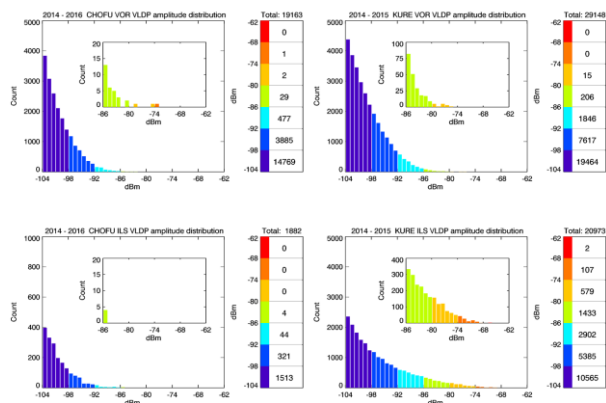


図 6: Es 伝搬標本の地方時別発生数。上段が VOR チャンネル, 下段が ILS LOC チャンネル。左が調布, 右が呉のデータ。

4 研究の評価と考察

4.1 全データの電界強度分布

観測期間中に検出した大振幅標本について、振幅別の発生件数分布を図 7 に示した。パネルの配置は、上段が VOR、下段が ILS、左が調布、右が呉である。ヒストグラムの棒の色は電界強度に対応しており、その対応関係は右側のカラーバーに表示した。表示する電界強度の下限は閾値よりも -6 dB 低い -104 dBm とした。これは測定の不確定さを最大 6 dB と想定したことによる。カラーバーの右側のボックスにはその色に対応する標本の数を示した。電界強度が -86 dBm を超える標本数についてはサブパネルを設けてヒストグラムを拡大表示した。ヒストグラムの形状はいずれのパネルもおおむね指数関数的な減少を示している。すでに述べたように呉の ILS では高振幅側の裾が伸びており、 -68 dBm を超える信号も観測されてい



る。

図 7: Es 伝搬標本の電界強度分布。配置は、上段 VOR、下段 ILS LOC、左が調布、右が呉。

4.2 極端イベントの発生

2014 年 5 月 15 日に呉において多数の Es 伝搬を観測した。標本数、最大電界強度ともに 3 年間の観測の中でも異例の規模であったので紹介する。図 8 に時系列プロット、図 9 に電界強度のヒストグラムを示した。ヒストグラムは時系列のラインプロットと同じ色で示し、対照として静穏日 (2014 年 5 月 18 日) の同じ時間帯のヒストグラムを黒線で表示した。イベン

トは 9 JST に ILS LOC のチャンネル 68 で電界強度の急激な上昇があり、13 JST までの 4 時間にわたって -90 dBm を超える大振幅標本を多数観測した。電界強度の最大値は -66.1 dBm に及んだ。この間、他の ILS チャンネルおよび VOR チャンネルでも多数の Es 伝搬を観測した。VOR チャンネルの最大電界強度は -77.9 dBm であった。この日は、図 8 (a) に示すように、8 JST から 12 JST まで山川の foEs が 10 MHz 以上を記録し、そのピークは 17.9 MHz に達した。これは九州南端付近に強い Es が発生していたことを示しており、イベントの観測時間と良い一致を示している。

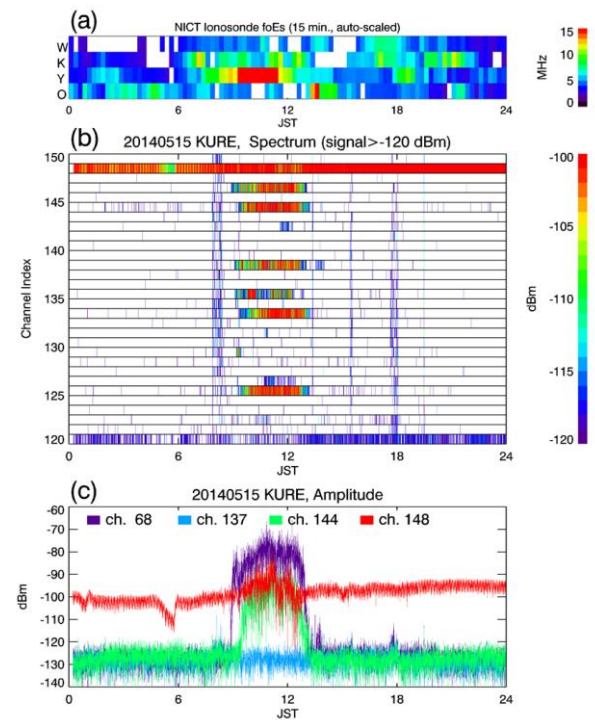


図 8: 2014 年 5 月 14 日に呉で観測した大規模な Es 伝搬イベント。型式は図 2.6 と同じ

このイベントでは、空白チャンネルに高い電界強度を観測したことに加え、通常受信している VOR チャンネルへの影響も見ることができる。図 9 (c) の赤線は 玖珂 VOR を受信したものであるが、イベントの期間中電界強度に大きな乱れが生じている。これは同一周波数の遠隔局の信号が、Es 伝搬により玖珂 VOR サービス

エリア内の受信信号振幅（チャンネル 148）を 20 dB 以上超えて受信され、干渉が発生していた可能性が高いと推測している。電界強度のヒストグラム（図 9）を見ると、Es 伝搬の影響を受けていないチャンネル（パネル (b)）は静穏日と変わらないのに対し、影響を受けたチャンネル（パネル (a), (c)）には明確な双峰特性が現れている。またチャンネル 148（パネル (c)）のヒストグラムは静穏日に較べて左右の裾が広がっており、Es 伝搬による干渉の存在を示唆している。大規模な Es 伝搬イベントの際に希望波チャンネルの電界強度が乱れた例は他にも見出ししており、さらに研究を進める必要がある。

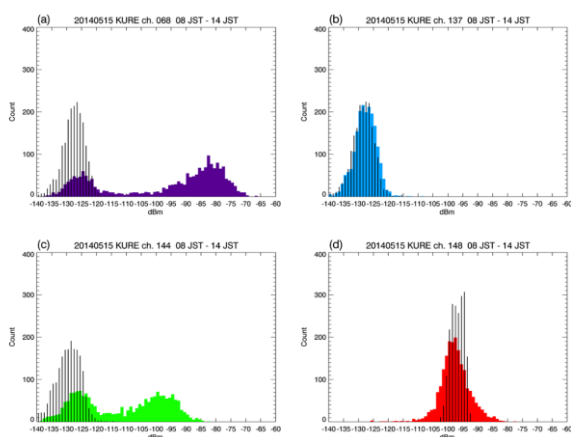


図 9: 大規模 Es 伝搬イベントでの電界強度分布。色のついたヒストグラムは図 4.2 (c) のラインプロットに対応する。黒線のヒストグラムは静穏日の同じチャンネルの電界強度分布を示す。

5 むすび

5.1 結果のまとめ

本研究で明らかになった Es 伝搬の電界強度分布を、本研究において各種ガイドライン[3, 4, 5, 6]に従って設定した各種の閾値と対比し図 10 に示した。閾値は、同一チャンネル混信についてはアンテナ利得が最小のケースのみを示し、隣接チャンネル混信については利得範囲の両端のケースを示した。電界強度の分布は 図 7 から切り出した。この図より、同一チャンネル混信については Es 伝搬の影響が無視できないこと、隣接チャンネル混信については極端イベントの際に影響を受ける可能性があることがうかがえる。

3 年間の観測に基づいた統計解析と、幾つかの極端事例の解析により、Es 伝搬に関する以下の特性が明らかになった：

- 1) イオノゾンデで高い foEs が観測された日時と Es 伝搬の発生日時には大局的な相関がある。ただし、Es の空間分布が高い局所性を有するため、限られた時間内で強い相関を示す可能性は低い。これは、Es 伝搬の瞬間的な発生予測を正確に行うためには、イオノゾンデによる Es のモニタリングだけでは不十分であることを意味する。
- 2) Es 伝搬の発生頻度と受信波の最大振幅（最大電界強度）の間には相関がある。つまり、受信電界強度の大きな事例は、Es 伝搬の発生回数が多かった日に観測される傾向がある。これは、振幅が大きな事例ほど、長時間にわたって継続することを示唆する。
- 3) イオノゾンデで観測される Es と同様、Es 伝搬も 4 月から 8 月にかけての夏季に集中的に観測される。極端事例の影響を除いて考えた場合、発生のピークは 6 月にあると考えられる。
- 4) Es 伝搬の発生時刻は、07 JST から 20 JST の間に集中する。これは、日中に多く発生し、夜間や早朝には殆ど発生しない Es の出現特性と一致する。
- 5) Es 伝搬の周波数別の発生頻度は Es の地理的発生分布と送信局の地理的分布に左右される。すなわち、送信局と受信局の中間点に顕著な Es が発生するという条件が満たされたチャンネルで多くの Es 伝搬が観測されることになる。この事実は、Es 伝搬の航空航法への影響を評価する場合、発生頻度の高いチャンネルを選んで評価を行う必要があることを示す。
- 6) 2014 年 5 月 15 日、山川のイオノゾンデで観測された foEs が 15 MHz を超えるような時間帯に、呉の受信局において、大振幅の Es 伝搬が 4 時間にわたって観測された。この時、玖珂 VOR 局からの信号の受信電界強度が、不要波が重畳することによって 10 dB 以上上昇していた。このように、大規模な Es 伝搬イベントの際に希望波チャネ

ルの電界強度が乱れた事例は他にも観測されていることから、Es 伝搬による干渉が実際に起こっているものと考えられる。

- 7) VOR に比べ送信電力が遙かに小さい ILS LOC についても、送信ビームの方向に受信局が位置し、その中間点に Es が発生した場合には、強い Es 伝搬波が受信されることがある。VOR が無指向性であるのに対して、ILS LOC は低仰角の狭いビーム方向に電力が集中するため、小さい送信電力にも関わらず強い Es 伝搬波として観測されるものと考えられる。これは、VOR だけでなく、ILS も、VOR や GBAS-VDB に対する干渉源となりうることを意味する。

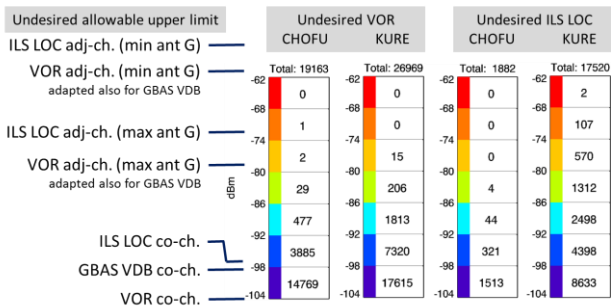


図 10: 不要波の許容電界強度閾値と Es 伝搬観測結果との関係

5.2 今後の課題

- 本研究では、Es 伝搬による干渉が起こりうることを統計解析によって明らかにした。今後は、Es 伝搬波による干渉が航空航法にどの程度の影響を与えているのかを実証的に調べていく必要がある。シミュレータで検証することも可能であるが、航空局から極端事例発生時のパイロットレポートを入手して、調査を行うことができれば価値がある。また、Es 発生時に飛行実験を行い、機上で希望波、不要波を受信することで、干渉の影響を実証的に確認することにも意味があると考えられる。
- 本研究によって、VOR だけでなく、送信

電力の小さい ILS LOC や、太陽光発電システムなどを起源とする人工雑音も場合によっては VOR や GBAS-VDB に対する干渉波となりうることを示唆された。今後は、様々な場所でモニタリング観測を行うことで、これらの信号源の影響を明らかにしていく必要がある。

謝辞

海上保安大学校山本淳教授には、呉における受信データの提供やシステム保守についてご協力いただきました。感謝いたします。

参考文献

- [1] 総務省 電波利用ホームページ, <http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/share/plan.htm>
- [2] 齊藤他, “GBAS-VDB に対するスポラディック E による VOR 遠距離伝搬の影響の検討,” 信学技報, Vol. 114, No.397, SANE2014-125, pp.113-118, Jan. 2015
- [3] International Civil Aviation Organization, International Standards and Recommended Practices, Annex 10 to the Convention on the International Civil Aviation, Amendment 89, November 2014.
- [4] RTCA DO-253C, Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for GPS Local Area Augmentation System (LAAS) Airborne Equipment, December 2008
- [5] RTCA DO-196, Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for Airborne VOR Receiving Equipment Operating Within the Radio Frequency Range of 108-117.95 MHz, November 1986
- [6] RTCA DO-195, Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for Airborne ILS Localizer Receiving Equipment Operating Within the Radio Frequency Range of 108-112 MHz, November 19