

# 水沢観測所の UHF 帯電波環境と電波天文利用の検討

青木貴弘 (山口大学), 赤堀卓也 (国立天文台)

2018 年 8 月 24 日

## 1 導入

我々は日本国内における「低周波で広帯域な偏波観測」の実現のため、300 MHz から 3 GHz に渡る ultra high frequency (UHF) 帯全域をカバーする広帯域フィードを検討している。その調査研究の一貫として、国立天文台 水沢観測所の電波環境を調査した。この調査の目的は、水沢局における将来の低周波天文観測の際に、増幅器を飽和させてしまうような大強度の人工電波障害 (radio frequency interference; RFI) となる周波数帯を明らかにすることである。同様の調査は 2017 年 8 月 28 日に情報通信研究機構 鹿島宇宙技術センターにおいて実施し、別資料「鹿島 34 m アンテナ周辺の UHF 帯電波環境と電波天文利用の検討」で報告している。

## 2 測定

電波環境調査は 2018 年 8 月 23 日に水沢局内で行い、当日の天候は晴れのち曇り、電波測定の様子を図 1 に示す。電波環境の時間変動性を考慮し、測定は朝 (6 時–8 時 JST)、昼 (13 時–15 時 JST)、夜 (22 時–24 時 JST) の三回実施した。アンテナは、2017 年鹿島局での調査で使用したディスコーンアンテナと涙滴アンテナを情報通信研究機構より借用して使い、地表面方向全方位の垂直偏波のみを調査した。使用した機器は次の通りである。

- ディスコアンテナ: Diamond Antenna D220 (100–1600 MHz)
- 涙滴アンテナ: メーカー等不明 (1000–3000 MHz)
- 増幅器: R&K AA030 ( $31 \pm 1.5$  dB @ 0.01–3000 MHz)
- スペクトルアナライザ: アンリツ MS2687B

これらのアンテナと増幅器を経た信号をスペクトルアナライザ (以後スペアナ) に入力し、電波スペクトルを取得する。また、得られたスペクトルデータから増幅器の帯域特性を除去するために、増幅器入力部を終端抵抗で終端することで増幅器の帯域特性データも取得する。ただしアンテナの正確な周波数特性や指向性は不明であり、測定系全体の周波数特性も測定していないため、絶対的な受信強度を知ることはできない。本調査の目的は、天文観測の際に明らかに電波障害となる周波数帯を明らかにし、遮断すべき周波数帯を特定することであるから、電波

表 1 スペクトルアナライザの設定値

設定	値
Resolution bandwidth	1 MHz
Video bandwidth	1 MHz
Detection mode	Positive peak
Sweep time	2 s

強度には興味がなく上記の設定で問題はない。スペアナの設定は表 1 の通りであり、Trace モードを Normal と MaxHold とし、瞬時スペクトルと約 5 分間での最大値保持スペクトルを取得した。2017 年の鹿島局における測定では video bandwidth (VBW) を 1 kHz、今回の測定では 1 MHz としており、過去に取得したスペクトルに比べて今回取得するスペクトルでは雑音が増してしまうが、結果として重要なのは MaxHold スペクトルであり、また VBW が大きいと瞬時的な人工電波パルスが観測しやすくなるという観点から、この設定で問題なしとした。



図 1 水沢局内における 2018 年 8 月 23 日の測定の様子と測定系 (増幅器, 涙滴アンテナ, およびディスクコーンアンテナ)。中国科学技術大学の学生 3 人と総研大生 1 人とともに測定を行った。奥には水沢 20 m & 10 m アンテナが見える。地上での測定であり、周囲には建物や樹木が多く見通しは良くはない。

### 3 結果

この調査によって得られた水沢局の UHF 帯電波環境を図 2, 3, 4 に示し、比較のため、2017 年に調査した鹿島局の UHF 帯電波環境を図 5 に示す。図示したスペクトルは、得られた生データに対して増幅器の帯域特性を除去するオフセット調整を施している。使用したディスコーンアンテナと涙滴アンテナはともに垂直偏波を受信し、トラス型の感度パターンをもつため、図は全方位から到来する垂直偏波の強度を示したものであり、上空からの電波や水平偏波の影響は小さいことに注意する。

瞬時スペクトルと最大値保持スペクトルの違いから、定常的には電波が発射されていなくとも、突発的に電波が発射されている周波数帯があるとわかる。このように突発的に発射された大強度の電波も、増幅器を飽和させ突発的な利得減少を招くため、電波天文には利用できない。よって図示したスペクトルのうち、特に最大値保持スペクトルに注視する必要がある。各周波数帯がどの産業界で使用されているかは興味の対象ではあるが、電波周波数割当は複雑で細かく、またこのレポートの目的外であるため言及を避ける。日本における周波数割当状況は総務省の周波数割当表<sup>\*1</sup>を参照されたい。

---

<sup>\*1</sup> 周波数割当表 <http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/share/plan.htm>

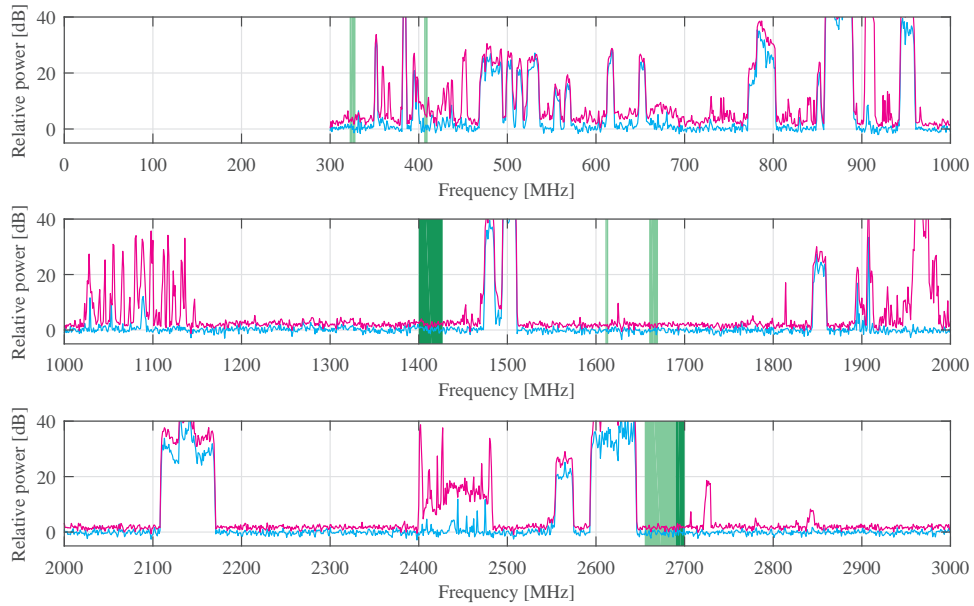


図2 2018年8月23日6時頃における水沢局のUHF帯電波環境。使用したアンテナの特性上、地表面全方位からの垂直偏波のみを受信している。増幅器およびスペアナの帯域特性除去により、縦軸は受信感度を0 dBとした電力の相対値を表し、横軸は周波数でUHF帯全域をカバーしている。青線は瞬時スペクトル、赤線は約5分間に渡る最大値保持スペクトルを表す。濃い緑地の周波数帯は受動業務のみの発射禁止帯に指定されており、薄い緑地の周波数帯は発射禁止帯には指定されていない。

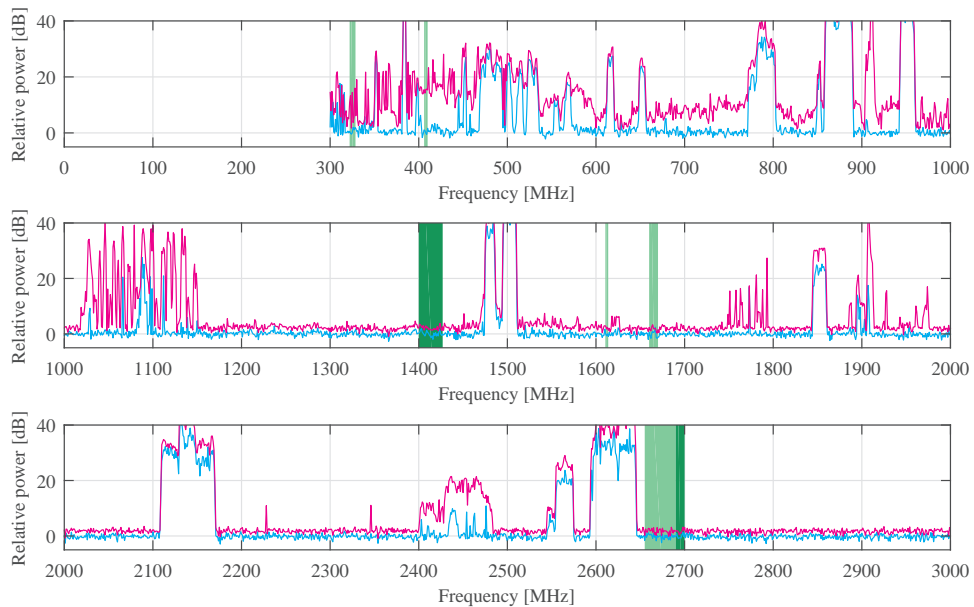


図3 2017年8月23日13時頃における水沢局のUHF帯電波環境。図の詳細は図2と同様。

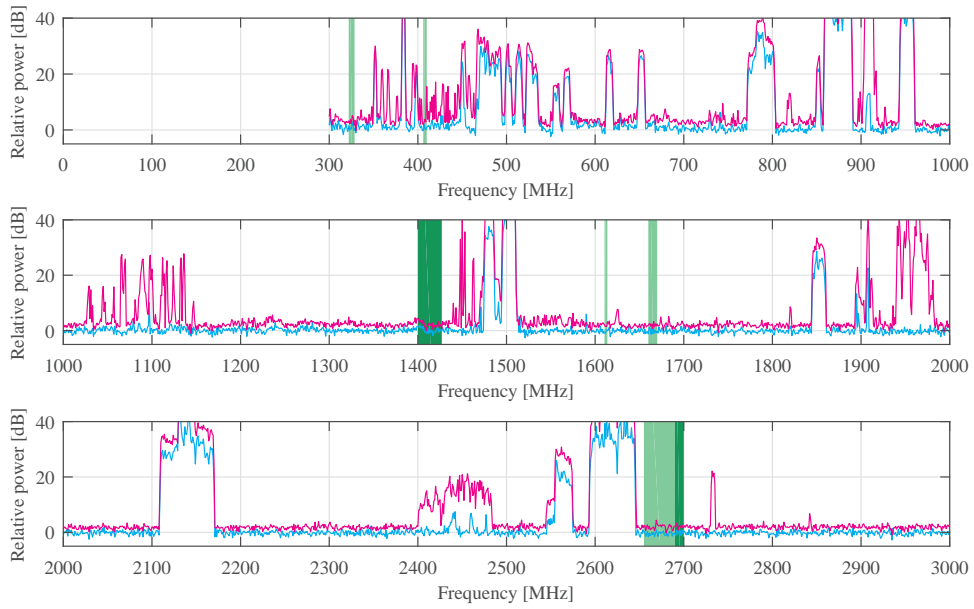


図4 2017年8月23日22時頃における水沢局のUHF帯電波環境。図の詳細は図2と同様。

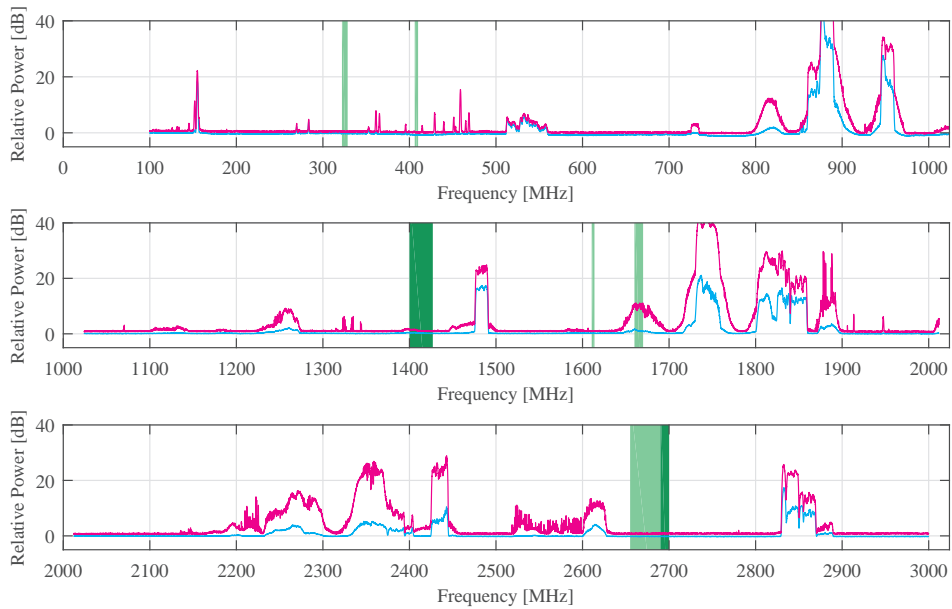


図5 2017年8月28日24時頃における鹿島局のUHF帯電波環境。図の詳細は図2と同様。

## 4 電波天文利用の検討

水沢局での時間による電波環境の違い、および水沢局と鹿島局による電波環境の違いについてまとめ、電波天文利用について検討する。日本における電波天文周波数帯は総務省の周波数割当表で定義されており、2015年時の状況については齋藤氏によりわかりやすくまとめられている\*2。UHF帯で日本国内で規定されている電波天文帯を表2にまとめ、図2等に緑地の周波数帯として示した。

表2 日本国内での電波天文帯.

周波数帯 (MHz)	帯域幅 (MHz)	スペクトル線	備考
322.0–328.6	6.6	Neutral deuterium	
406.1–410.0	3.9		
1400.0–1427.0	27.0	Neutral hydrogen (H I)	受動業務のみ (発射禁止帯)
1610.6–1613.8	3.2	Hydroxyl radical (OH)	
1660.0–1670.0	10.0	Hydroxyl radical (OH)	
2655.0–2690.0	35.0		電波天文は二次業務
2690.0–2700.0	10.0		受動業務のみ (発射禁止帯)

### 4.1 電波環境の時間変化

図2, 3, 4は、それぞれ早朝6時頃、日中13時頃、深夜22時頃の水沢局の電波環境であり、それらの比較によって電波環境の時間変化をおおよそ推察できる。周波数1GHz以下の帯域では日中の電波利用がことさらに活発であり、昼の間は天文観測にはほとんど使えないかもしれない。この様子は瞬時スペクトルの方には表れておらず、最大値保持スペクトルの方にのみ表れているため、1GHz以下の帯域では瞬時的な大強度電波を発射する利用形態が多いものと推察される。周波数1GHz以上の帯域では、一部の周波数帯を除いて電波環境の時間依存性は大きくないよう見受けられる。

### 4.2 水沢局と鹿島局の比較

夜間における水沢局の電波環境(図4)と鹿島局の電波環境(図5)を比較すると、周波数の利用状況は大きく異なって見えることがわかる。ただし測定に使用した受信機が異なるため受信感度が異なり、またスペアナのVBWが水沢では1MHz、鹿島では1kHzと異なるため、単純に比較することはできない。鹿島での調査ではVBWを小さくしたことで微弱な定常的信号を検出できた一方、瞬時的な強度増加は検出しにくくなっている。このように単純比較することはできないが、とはいえ1GHzの電波の自由空間伝搬損失\*3は1kmで92dBであるから、距離にして400km程度離れている水沢と鹿島で電波環境が全く異なるのは納得できる。

また**発射禁止帯1400–1427MHz**に対する電波発射が、2017年鹿島局において観測されており(図5)、別資料「鹿島34mアンテナ周辺のUHF帯電波環境と電波天文利用の検討」で報告した。この様子は今回の水沢

\*2 齋藤正雄, 亀谷收, 立澤加一, 天文月報 2015年9月号, pp.599–608, [http://www.asj.or.jp/geppou/archive\\_open/2015\\_108\\_09/108\\_599.pdf](http://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/2015_108_09/108_599.pdf)

\*3 自由空間伝搬損失:  $L = 92 \text{ dB} + 20 \log_{10}[(d/\text{km})(f/\text{GHz})] \text{ dB}$

局における調査でも、判然とはしないながらも見て取れ、発射禁止帯の下限側で RFI が強いようである。この問題は国家として対策が必要かもしれない。発射禁止帯以外の帯域については、積極的に電波天文利用できるかどうかは状況次第といえる。これは水沢局、鹿島局ともに同様だが、1660–1670 MHz の帯域については鹿島局での天文利用は絶望的である一方、水沢局では天文利用できる可能性がある。

この調査は天文利用できない帯域を特定することが目的であり、図 2, 3, 4 から必ず遮断すべき周波数帯が明らかになった。結論としては鹿島局での測定結果と同様だが、今後の装置開発においては、明らかに天文利用できない周波数帯はアナログ受信部で物理的に遮断し、天文利用できるかもしれない周波数帯については、デジタル受信部で柔軟に遮断できるようなシステムを組めば良いだろう。

## 謝辞

この調査は岳藤一宏氏 (情報通信研究機構) と小山友明氏 (国立天文台) の助力を得て実施できたものであり、ここに深謝する。