

# 短波伝搬シミュレータの調査

陣 英克（国立研究開発法人 情報通信研究機構  
電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター 宇宙環境研究室）

1. 調査目的
2. 各短波伝搬シミュレータの概要
3. 短波伝搬シミュレータの性能比較
4. 結論

# 1. 調査目的

複数存在する短波伝搬シミュレータを比較し、必要な送信出力、周波数などを定める際に適切なシミュレータがあるか(特定のシミュレータを指定する必要があるか)の判断材料とするために調査を行った。

## 2. 各短波伝搬シミュレータの概要

主な短波シミュレータとして、ASAPS、VOACAP、ITUHFPROPについて概要を記述する。

### 2-1. 各シミュレータの開発元、利用方法

シミュレータ	開発元	利用方法
VOACAP (Voice of America Coverage Analysis Program)	米国 国立電気通信局/通信科学研究所 (National Telecommunications and Information Administration/Institute for Telecommunication Sciences) ほか	<ul style="list-style-type: none"><li>• online版 (GUI、無償、※1)</li><li>• stand alone版 (GUI、無償、※2)</li></ul>
ASAPS (Advanced Stand-Alone Prediction System)	オーストラリア気象局/宇宙天気サービス (Bureau of Meteorology/Space Weather Services、前身はIPS)	<ul style="list-style-type: none"><li>• online版 (GUI、無償、※3)</li><li>• stand alone版 (CLI、有償、※4)</li></ul>
ITUHFPROP	ITU-R SG3 WP3L	<ul style="list-style-type: none"><li>• stand alone (CLI、無償、※5)</li></ul>

入手先

※1: <https://www.voacap.com/>

※2: <https://its.ntia.gov/research-topics/radio-propagation-software/high-frequency/voacap-propagation-model.aspx>  
<http://www.greg-hand.com/versions/> (←最新版)

※3: [https://www.sws.bom.gov.au/HF\\_Systems/7/1](https://www.sws.bom.gov.au/HF_Systems/7/1) から「HF prediction/GRAFEX」等を選択。

※4: [https://www.sws.bom.gov.au/Products\\_and\\_Services/1/2](https://www.sws.bom.gov.au/Products_and_Services/1/2)

※5: <https://github.com/ITU-R-Study-Group-3/ITU-R-HF>

## 2-2. 各シミュレータが採用しているモデル・手法・データ

電離圏モデルや伝搬計算手法の違いにより、電離圏のどの高さで反射するか（受信局に届く電波強度やelevation angleに影響）や、電離圏伝搬中の電波吸収量が変わる。

シミュレータ	電離圏モデル・データ	短波伝搬計算手法	ノイズモデル
VOACAP	CCIR report 340（電離圏E, F1, F2層パラメタの全球マップ、国際地球観測年のデータを基に構築）	CCIR report 894（HF prediction 計算手法）	CCIR report 258（人工雑音） and 322（大気雑音）
ASAPS	IPSの電離圏観測に基づくE, F層パラメタの全球マップ	ITU-R P.533（旧CCIR report 894の更新版）	ITU-R P.372（旧CCIR report 258, 322の更新版）
ITUHFPROP	ITU-R P.1239（旧CCIR report 340の更新版）	ITU-R P.533（旧CCIR report 894の更新版）	ITU-R P.372（旧CCIR report 258, 322の更新版）

## 2-3. 各シミュレータの主な入力・出力パラメタ

シミュレータ	入力パラメタ	出力パラメタ（月中央値・統計値 ※2）
VOACAP	送受信局の座標、季節（年月）、周波数、 <b>太陽黒点数</b> 、送信出力、アンテナの諸パラメタ（ゲイン、帯域等）、受信局ノイズ環境、SN比の要求レベル	最大使用可能周波数（Maximum Usable Frequency、10, 50, 90% deciles）、最小使用可能周波数（Lowest Usable Frequency）、伝搬モード、elevation angle、受信電波強度、ノイズ強度、SN比、疎通率など
ASAPS	送受信局の座標、季節（年月）、周波数、 <b>T-index</b> （※1）、送信出力、アンテナの諸パラメタ（ゲイン、帯域等）、受信局ノイズ環境、SN比の要求レベル	最大使用可能周波数（Maximum Usable Frequency、10, 50, 90% deciles）、最小使用可能周波数（Lowest Usable Frequency）、伝搬モード、elevation angle、受信電波強度、ノイズ強度、SN比、疎通率など
ITUHFPROP	送受信局の座標、季節（年月）、周波数、 <b>太陽黒点数</b> 、送信出力、アンテナの諸パラメタ（ゲイン、帯域等）、受信局ノイズ環境、SN比の要求レベル	最大使用可能周波数（Maximum Usable Frequency、10, 50, 90% deciles）、入力周波数に対する伝搬モード、elevation angle、受信電波強度、ノイズ強度、SNR、疎通率、伝搬経路上の反射点等における位置、電離圏パラメタなど

※T-index：ASAPSでは太陽黒点数の代わりに電離圏の臨界周波数（foF2）との関係から求めた実効的な太陽黒点相当数T-indexというオリジナルの指標を使用。T-indexはSWS/BoMから提供される。

※どのシミュレータも月中央値を出力。日々の変動や太陽フレア・磁気嵐などの影響などは考慮されていない。

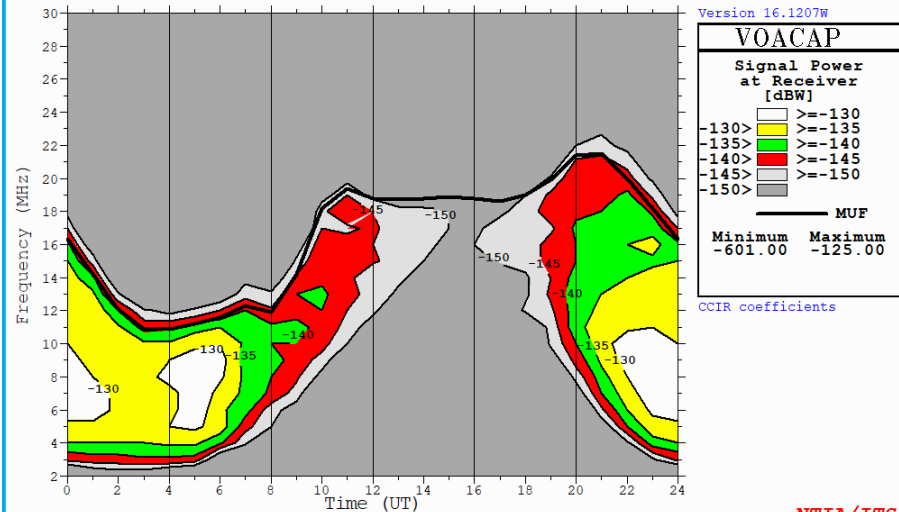
## 各シミュレータの出力例

送信：Caracas、受信：Birmingham、SSN/T-index=10 を入力

### VOACAP (stand alone版) の出力

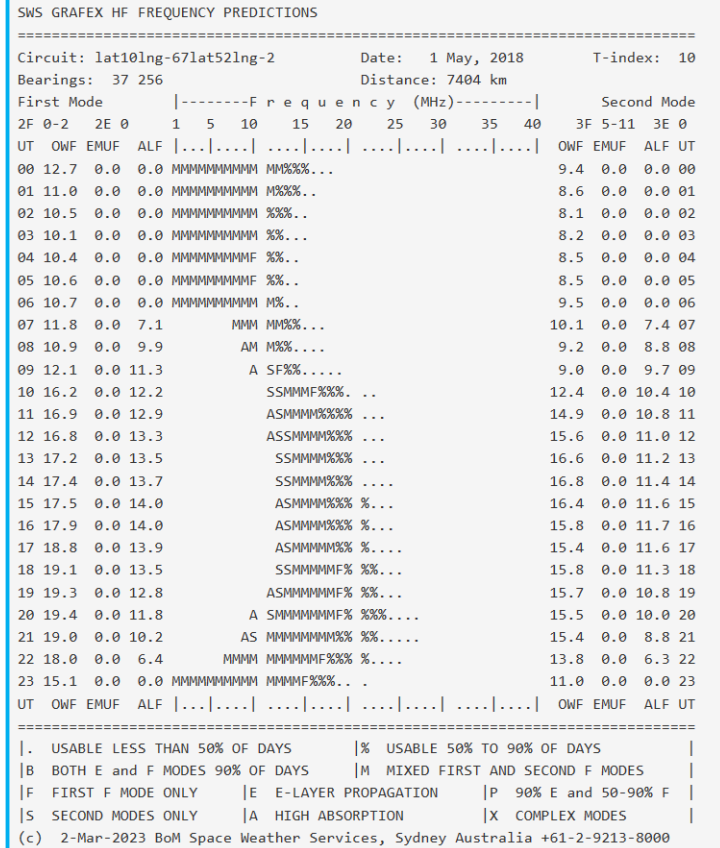
```

May 2022          SSN = 10.          Minimum Angle= 0.100 degrees
CARACAS          BIRMINGHAM          AZIMUTHS          N. MI.          KM
10.52 N 66.92 W - 52.48 N 1.87 W 37.00 256.27 3997.4 7402.7
XMTR 2-30 + 0.0 dBi[default\CCIR.000] Az= 37.0 OFFaz=360.0 0.100kW
RCVR 2-30 + 0.0 dBi[default\CCIR.000] Az=256.3 OFFaz=360.0
3 MHz NOISE = -144.7 dBW REQ. REL = 90% REQ. SNR = 30.0 dB
MULTIPATH POWER TOLERANCE = 0.0 dB MULTIPATH DELAY TOLERANCE = 0.000 ms
    
```

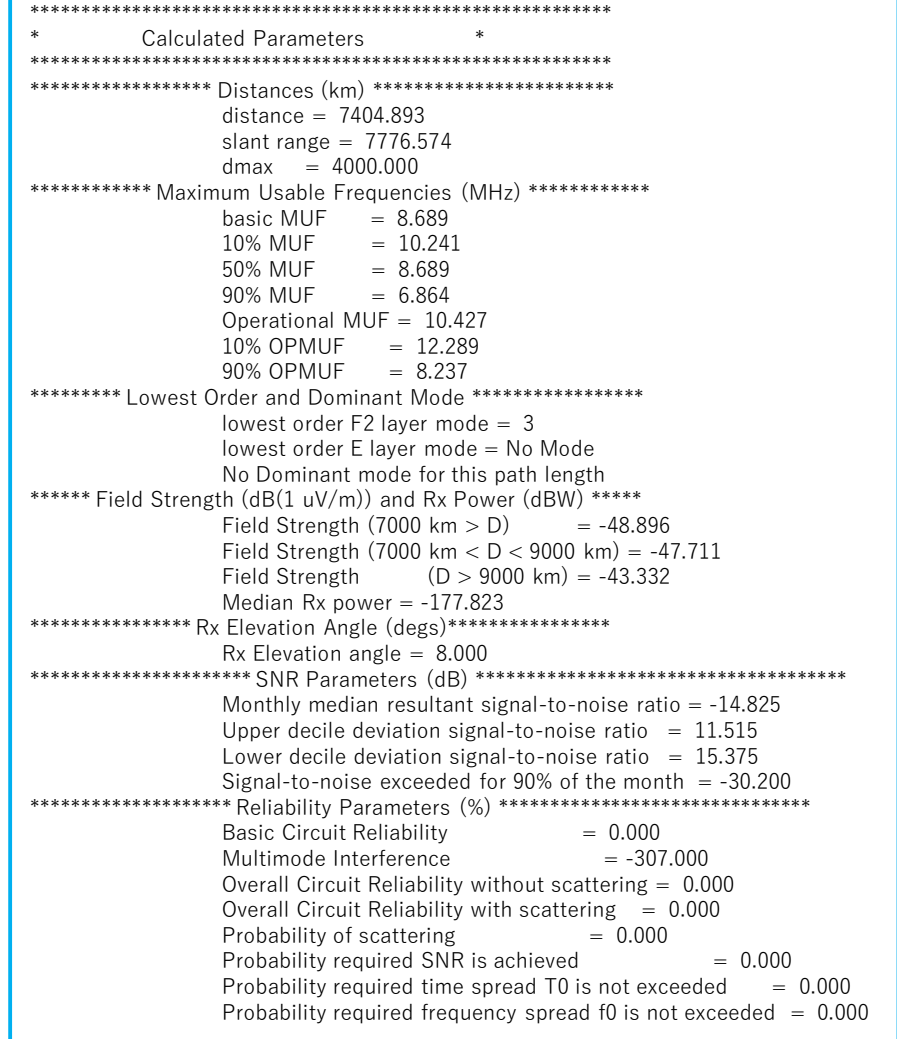


NTIA/ITS

### ASAPS (online版) の出力



### ITUHFPROP (stand alone版) の出力



### 3. 短波伝搬シミュレータの性能比較

過去の文献から、ASAPSとVOACAPの性能を比較した例を紹介  
(ITUHFPROPを検証した文献はあまりない。)

- ASAPSとVOACAPによる伝搬予測と観測の比較（下表）
  - 比較結果から、どちらが良いという一貫した傾向は見いだせない。
- 伝搬モードの比較（Brousseau et al., 8th International Ionospheric Effects Symposium [1996]）
  - 送受信局間の距離が長くなると、シミュレータが予測する伝搬モードの差異が現れる（例えば、8000kmの伝搬で、ASAPSが4F、VOACAPが3F2など）  
⇒受信局での電波強度やelevation angleなどに差異、予測内容に影響

送受信局	距離 (km)	観測期間	周波数 (MHz)	比較結果（受信電波強度の予測値と観測値の差についてRMS Errorを算出）	文献
From: WWV Fort Collins To: Hanscom Air Force Base	2820	10 months in 2003 (太陽活動極大期)	2.5, 5, 10, 15, 20	低い周波数（夜間）では、ASAPSの方が誤差が小。高い周波数（日中）では、VOACAPの方が誤差が小。	McNamara et al., Radio Science, doi:10.1029/2005RS003347, 2006
From: CHU Ottawa To: Hanscom Air Force Base	490	10 months in 2003 (太陽活動極大期)	3.33, 7.34, 14.7	3.33MHzでは両シミュレータの誤差同程度。日中 7.34MHzでは、VOACAPの方が誤差小。	McNamara et al., Radio Science, doi:10.1029/2005RS003347, 2006
UK内のbeacon送受信機（8箇所）	70-440	2009.5-2011.3 (太陽活動極小期)	5.29	夏季、冬季に誤差が拡大（前者ではASAPSが誤差が大きく、後者ではVOACAPが誤差大。）	Walden, Radio Science, doi:10.1029/2011RS004914, 2012

## 4. 結論

本調査からは、仕様（入出力内容など）や性能の面で、特定のシミュレータを指定する必要があるとは言えない。各シミュレータの良い点・悪い点を下表にまとめておく。

シミュレータ	良い点	悪い点
VOACAP (Voice of America Coverage Analysis Program)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 利用し易い (online版、stand alone版ともGUI。無償)</li><li>• 使用実績が多い。比較的検証されている。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 採用している電離圏、電波伝搬、ノイズモデルが古い。</li></ul>
ASAPS (Advanced Stand-Alone Prediction System)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 使用実績が多い。比較的検証されている。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Online版のみ無償。stand alone版は有償でかつUIがCLIのみ。</li></ul>
ITUHFPROP	<ul style="list-style-type: none"><li>• 採用している電離圏、電波伝搬、ノイズモデルが継続的に更新される。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• UIがCLIしかない。</li><li>• 使用実績が少なく、検証も少ない。</li></ul>