

マイクロ波帯・ミリ波帯の電波伝搬研究およびデジタルデータの伝送研究

横浜・アマチュア・マイクロウェーブ・アソシエーション(YAMA) 富士山測候所マイクロ波帯電波伝搬研究プロジェクト

横尾 富夫^{1,4}, 上條 敏生^{2,4}, 槇岡 寛幸^{3,4},

岡本 嗣男⁴, 野中 啓弘⁴, 深井 貫⁴, 岩波 正明⁴, 梅津 雅章⁴, 小林 大輔⁴, 他 YAMA 会員

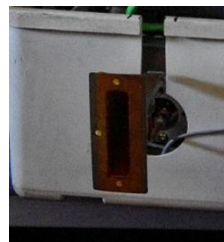
1. Project Leader: 東芝ソリューション(株), 2. 首都大学東京 理工学研究科, 3. マキ電機,
4. YAMA 会員

1. はじめに

マイクロ波帯以上の電波は、気象、特に雨・霧・湿度に大きく影響されるといわれている。本プロジェクトの目的は、気象および大気の変化がマイクロ波・ミリ波帯の伝搬に及ぼす影響を定常的に収集・分析し、伝搬特性の研究を行うことである。昨年度⁽¹⁾に引き続き、富士山山頂にアマチュア無線連盟(JARL)認定局を設置し、47GHz(ミリ波帯)、24GHz(準ミリ波帯)および 5.7GHz(マイクロ波帯)で約 20 日間定常的に電波を発射させ、電波伝搬計測実験を行った。

2. 方法⁽²⁾⁻⁽⁵⁾

富士山山頂に無線局(JARL特別局 8J1FUJ)を設置し、本年度開発した 47GHz の送信機並びに、昨年度も使用した 24GHz の送信機より、東側関東地方に向けて連続的に微弱な電波(ビーコン信号)を発射し、50km から 100km 程度離れた複数の地点で伝搬計測並びに送信システムの評価を行った。また、今年度は新たな試みとして、西側に向けて、5.7GHz の電波も発射した。



(a) ハット内に設置した、47GHz・24GHz 送信システム

(b) 送信アンテナ(左側:24GHz⁽¹⁾、右側:47GHz)

写真1. 47GHz・24GHz 送信機および送信アンテナ

写真1に、1号庁舎東側通信ハット内に設置した 47GHz・24GHz の送信システムを示す。47GHzミリ波送信機とアンテナは今年度新たに製作したものである。送信電力および周波数は、それぞれ、1mW(47.089000GHz), 30mW(24.019000GHz)で、共に 10MHz 温度制御型水晶発振器(OCXO)基準 PLL 制御周波数により安定化されている。また、使用した送信アンテナは、それぞれ、円形導波管放射器(47GHz)、セクターホーンアンテナ(24GHz)である。なお、雨よけのために、2 台のビーコン発振器は防水ケースに入れて据え付けた。

写真2は、3号庁舎1階西側に設置した 5.7GHz(OCXO 安定化、5.759000GHz)の送信機である。送信電力は、1W で、アンテナは中華なべで製作したパラボラアンテナを用いた。

送信されたデータ信号(ビーコン信号)はモールス信号で、この研究に対して JARL より発行されたアマチュア無線局(特別局)のコールサイン(8J1FUJ/1)や、送信機の電源電圧値などが含まれている⁽¹⁾。



写真2. 5.7GHz 送信システム

47GHz・24GHz の地上受信局は、関東方面の無線局、5.7GHz の地上無線局は、中部・関西方面の無線局で、いずれも、1200MHz 帯受信機により周波数変換(ダウンコンバート)される。連続記録可能な固定局では、この信号を音声信号としてパソコンに取り込み、高感度な通信解析ソフト WSJT⁽⁶⁾⁽⁷⁾ の JT65C モードを用いて、受信信号の S/N 比や周波数変化量などのデータを 1 分間隔で記録した。この WSJT (Weak Signal communications, by K1JT) は、ノーベル賞受賞宇宙物理学者 Joe Taylor 氏により開発されたフリーソフトで、月面反射通信や流星散乱通信などの微弱信号の通信で利用されており、通常の受信機よりも 10dB 以上の受信感度向上がなされている。

図 1 に、八王子局の 47GHz・24GHz 同時受信システムのブロックダイアグラムを示す。また、実際の受信局(八王子局)を写真3に示す。

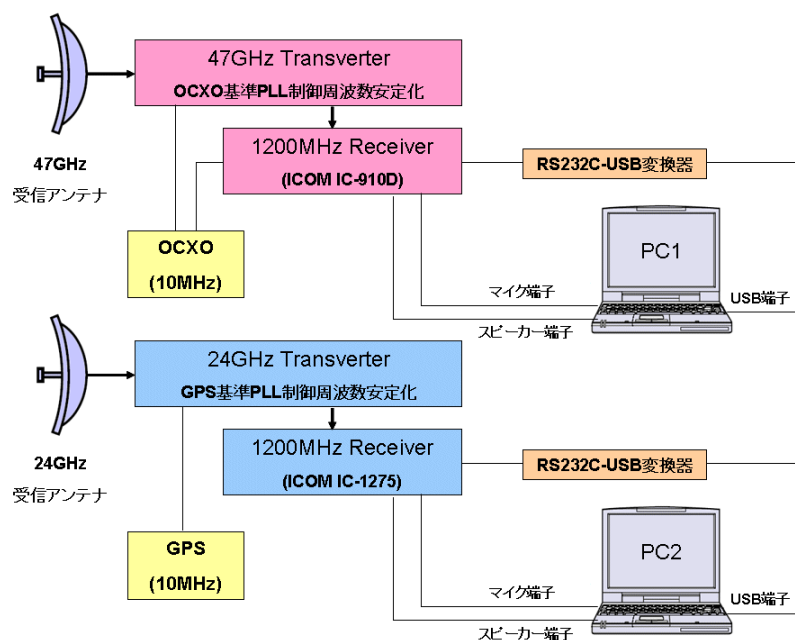


図 1. 47GHz・24GHz 同時受信システムの例(ブロックダイアグラム、八王子局)

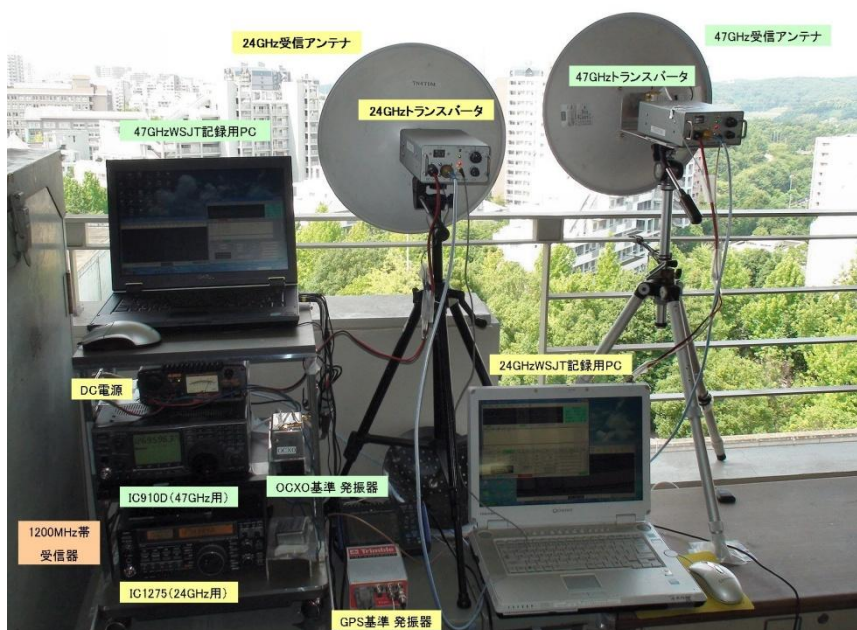


写真 3. 八王子局(7N4TDM/1)の 47GHz・24GHz 同時受信システム

写真3の受信アンテナは、共に TDK の BS 受信用パラボラアンテナ(直径、47GHz が 38.8cm, 24GHz が 37cm)にスリットフィードを取り付けたものである。47GHz のトランスバータ(マキ電機製 UTV-47SXL)と 1200MHz 帯受信器(47GHz 用、ICOM 製 IC910D)は、共に 10MHz の OCXO 基準 PLL 回路で周波数安定化を行った。また、24GHz トランスバータの安定化は OCXO(8/13 まで)あるいは GPS 受信器(8/13 以降)の 10MHz 基準信号により行った。なお、24GHz の 1200MHz 帯受信器(ICOM 製 IC-1275)の安定化は行っていない。また、WSJT によるデータ記録のために、2 台のノートパソコンを用いている。

3. 結果と考察

8 月 5 日 15 時の送信開始から 8 月 26 日 11 時まで、約 3 週間の運用となった。送信設備の設営⁽⁴⁾は、野中、深井、岩波の 3 名によって、また、撤収は榎岡、梅津の 2 名によって実施された。

各周波数帯での受信局マップ⁽⁸⁾を図2に示す。今年度初めて送信した 47GHz は同図(a)に示された八王子・狭山など 3 局が受信した。昨年度も実施した 24GHz は昨年より受信局が少なく、約 20 局となった(同図(b))。また今年度新たに中部・関西方面に向けて発射された 5.7GHz は同図(c)に示されるように約 25 局で受信された。5.7GHz の最西端の受信場所は六甲山(富士山からの距離: 320km)であった。また、見通し外の関東方面や長野方面でも、山岳反射や回折により 10 局以上の受信報告があり、この周波数帯の電波特性の面白さを体験することができた。47GHz・24GHz の受信局が少なかった原因としては、降雨が多く湿度の高い天候が続いたこと、送信アンテナの主ビーム方向が昨年よりやや北向きであったことや、24GHz の送信アンテナ方向が若干上向きであったことなどが考えられる。



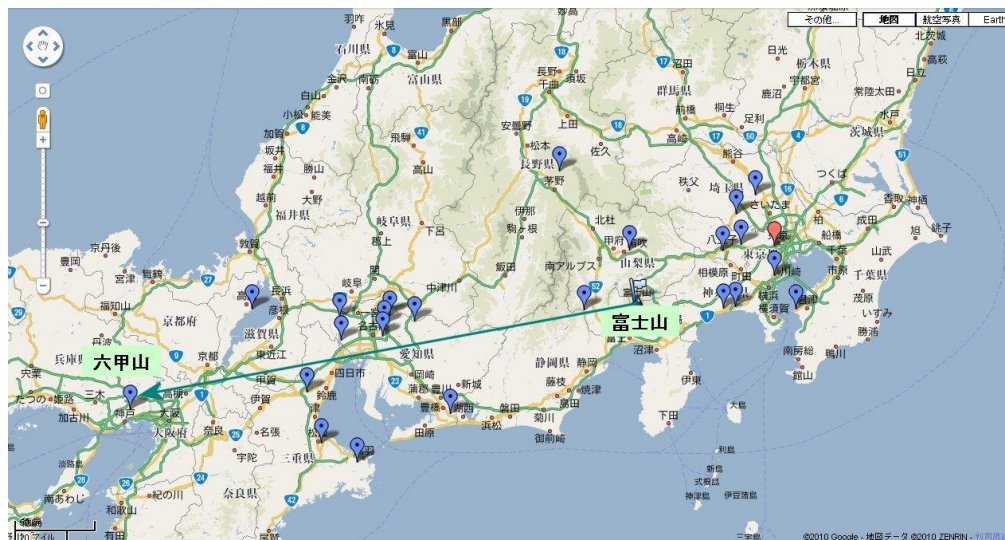
(a) 47GHz 受信局マップ

(八王子・狭山など 3 局, 最長は狭山局の 81km)



(b) 24GHz 受信局マップ

(約 20 局, 最長は市原局の 133km, 昨年は 150km)



(c) 5.7GHz 受信局マップ(約 25 局, 最長は、兵庫県六甲山の 350km)

図 2. 各周波数帯の受信局マップ⁽⁸⁾

八王子局(7N4TDM/1 南大沢)では、2010年の8月5日深夜から8月26日11時まで(8月12-13日の停電を除く)、富士山山頂からの47GHz・24GHz CW ビーコン信号(8J1FUJ/1)を同時に連続受信することができた。

図3に、八王子局における8月17日6時から17時の47GHz・24GHz 同時受信記録データ例を示す。同図では、WSJTのS/N(信号対雑音比)とDF(周波数変化)について47GHzと24GHzのデータを比較している。14時前後に、24GHz・47GHzのS/Nの急激な低下が見られる。この原因は、図4の14:00ごろの雨雲データ(tenki.jp)で確認できるように、富士山山頂と八王子局間の伝搬経路上に発生した小さな雨雲(長さ17km程度)による降雨減衰であると推定できる。このときの雨量は最大で25mm/h程度(4km)あり、S/Nの低下が24GHzで15dB以上、47GHzで10dB以上の値となっている。

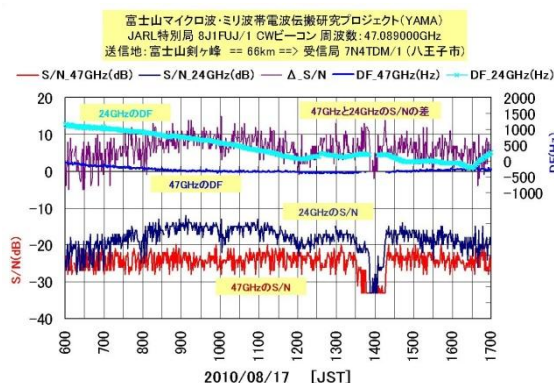


図3. 47GHzと24GHzの同時受信データ例
(2010年8月17日 6:00-17:00)

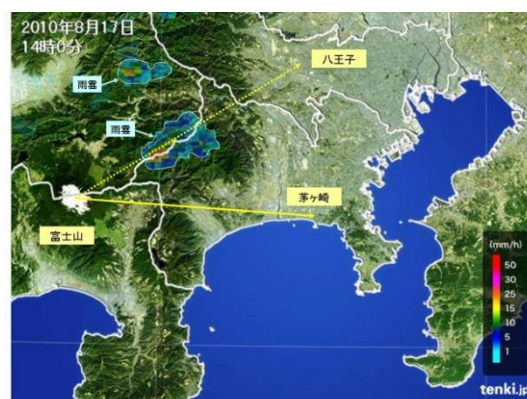


図4. 雨雲データ
(2010年8月17日 14:00ごろ, tenki.jpより)

周波数は若干異なるが、25GHzと45GHzの降雨減衰量の周波数特性の計算値は既に求められ、広く用いられている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾が、これを降雨強度を横軸にして書き直したのが図5である。25mm/hの降雨強度Rに対する垂直偏波の降雨減衰係数 γ は、25GHzにおいて、3.5 dB/km、45GHzにおいて、8 dB/kmとなっている。降雨量の多い地域の雨雲の長さを4kmと仮定すれば、対応する電波減衰量は、それぞれ、17dB(24GHz)、32dB(47GHz)程度と推定できる。これにより、図3でのS/Nの低下がおおよそではあるが定量的に説明できる。47GHzのS/Nは測定不能なほど低下が大きく、今後送信機の電力を増加し、またゲインの大きなアンテナを使用する必要があることが明らかになった。なお、今年度の24GHzのS/Nは、先に述べた理由により、昨年よりも10dB程度低い値だった。

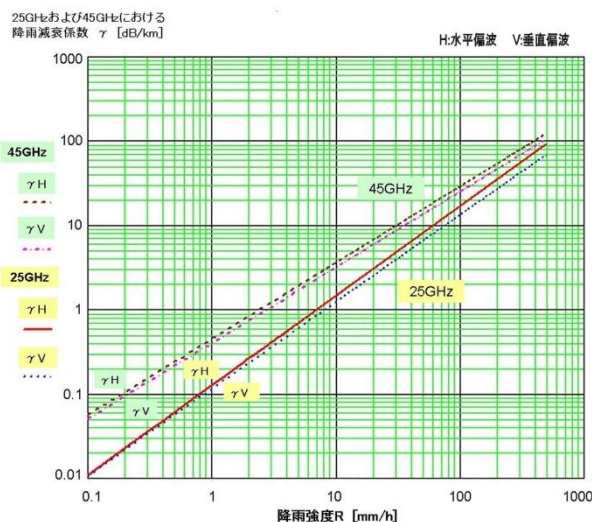


図5. 45GHzと25GHzにおける降雨強度に対する電波減衰係数の変化

図3 と同時刻の茅ヶ崎局(JN1AYV)の 24GHz 受信データは非常に興味深いものであった。図6 に 8 月 17 日の八王子局と茅ヶ崎局の 24GHz 比較データを示す。

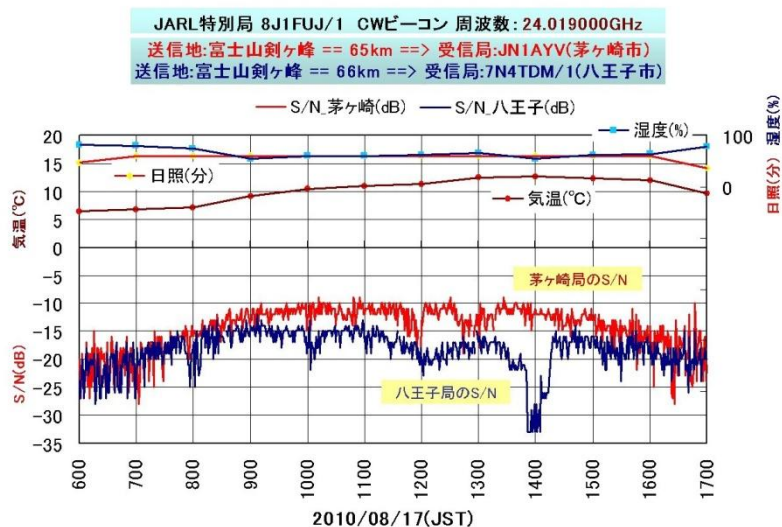


図6. 八王子局と茅ヶ崎局の 24GHz データ比較(2010 年 8 月 17 日 6時から17時)

図6の茅ヶ崎局の S/N データでは、14:00 前後に八王子局のような大きな S/N の低下が存在しないのが確認できる。この理由は、図4の雨雲データで、富士山山頂と茅ヶ崎局間の伝搬経路上には雨雲が存在しないことで明かに説明できる。これらのデータは、複数局間の連続受信データを比較すれば、局所的な気象の変化が確認できることを示している。

図6では、受信データが異なる例を示したが、八王子局と茅ヶ崎局は富士山山頂からの距離がほぼ同じ(約 65km)であるため、細かな S/N 信号変化が一致する場合もある。これを図7に示す。両者のデータは微細な時間変化を含め、驚くほど一致しているのが確認できる。また、両方の受信局の受信感度や低下量がほぼ同程度であったことも確認できた。

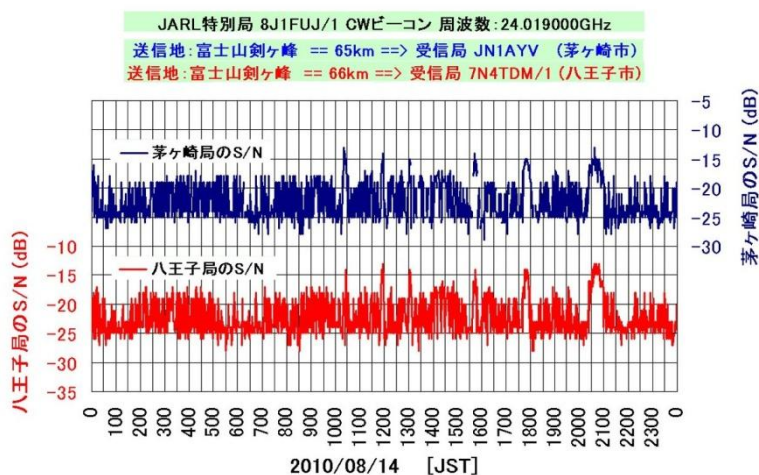


図7. 微細な S/N 変化が一致している受信データの例
 (八王子局と茅ヶ崎局の 24GHz 受信信号 2010 年 8 月 14 日)

以上、八王子局において、富士山山頂から発射された 47GHz・24GHz のビーコン信号の 20 日間に亘る同時受信に初めて成功した。また、複数の基地局の受信データから、降雨量などの気象データと電波減衰量との関連性について考察した。今年度を含む 3 年間のマイクロ波帯およびミリ波帯の電波伝搬の研究により、透過係数測定による局所的な気象診断の有効性が明らかになった。

なお、八王子局と茅ヶ崎局の全期間の詳細受信データは下記 Web ページで公開されているので参照していただければ幸いです。

■八王子局の 47GHz・24GHz 受信データ (2010 年度)

http://hiug.net/fuji_project/

■茅ヶ崎局他の 24GHz・5.7GHz 受信データ (昨年度のデータおよび夏季期間以外のデータも含む)

<http://www.jn1ayv.syuriken.jp/Beacon/FujisanPJ/FujisanProject.html>

<http://www.jn1ayv.syuriken.jp/Beacon/FujisanPJ/Fujisan24GHzBeacon.html>

<http://www.jn1ayv.syuriken.jp/Beacon/FujisanPJ/Beacon8J1FUJ5600MHz.html>

■24GHz・5.7GHz 受信局リスト (2010 年度)

<http://yama.eleken.net/8J1FUJ/>

■富士山プロジェクト (報告および計画)

<http://www.geocities.jp/jk1lpd/index.html>

参考文献

- (1) 横尾富夫他, マイクロ波帯・ミリ波帯の電波伝搬研究, 第3回成果報告会 (2010-1-24)
- (2) 横尾富夫, 富士山山頂の旧測候所より今年もビーコン発信! (第1回), CQ ham radio, 2010 年 7 月号, CQ 出版社, pp.96-98 (2010-6)
- (3) 横尾富夫, 上條敏生, 野中啓弘, 富士山山頂の旧測候所より今年もビーコン発信! (第2回), CQ ham radio, 2010 年 8 月号, pp.78-81 (2010-7)
- (4) 横尾富夫, 深井貫, 富士山山頂の旧測候所より今年もビーコン発信! (第3回), CQ ham radio, 2010 年 10 月号, pp.76-78 (2010-9)
- (5) 横尾富夫, 上條敏生, 富士山山頂の旧測候所より今年もビーコン発信! (最終回), CQ ham radio, 2010 年 12 月号, pp.74-77 (2010-11)
- (6) WSJT Home Page by K1JT: <http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/>
- (7) 大庭信之, 「WSJT デジタル通信入門」, 別冊 CQ ham radio (2009 March), CQ 出版社 p.44
- (8) 受信マップ (JA1UMW 小林大輔作成) は, 上記 Web ページ (八王子局の 47GHz・24GHz 受信データ URL: http://hiug.net/fuji_project/) のリンクから閲覧できる。
- (9) 細谷良雄 監修, 電波伝搬ハンドブック, リアライズ社, p.44 (1999-1-28)
- (10) 手代木扶/米山務 編著, 新ミリ波技術, オーム社, 第5章 (1975-8-5)

謝辞

富士山山頂送信システムの設置にあたりご協力いただいた、NPO 法人富士山測候所を活用する会、気象庁、明星電気、JARL 技術研究所の方々に深謝申し上げます。また、2010 年度特別局「8J1FUJ」を開設していただいた JARL 運用課、ならびに活動資金の支援をいただいた (株) 東芝および YAMA メンバー各位にお礼を申し上げます。

*連絡先: プロジェクト・リーダー 横尾 富夫 (Tomio YOKOO), jk1lpd@yahoo.co.jp