

チルト角付き放射パターンを有する 60 MHz 帯アンテナの構築

瀬戸 憲彦*

Installation of 60 MHz Band Antenna with Tilt-type Radiation Pattern

Norihiko SETO*

Abstract

A 60 MHz band antenna with a tilt-type radiation pattern, which is used by a Radio-controlled Seismograph System, is installed in the Oishiyama radio repeater station.

The control antenna is usually installed at the top of a mountain as high as possible to obtain a large service area. However, a vertical non-directional antenna does not have much electric field strength in the downward direction. This is a problem one should not ignore when using the system for observations. The antenna with a tilt-type radiation pattern solves this problem.

As a result, the antenna ensures good control for a Radio-controlled Seismograph System.

Key words : tilt-type radiation pattern, Radio-controlled Seismograph System

はじめに

地震観測点を高密度に展開し、地殻の微細構造を解明するため、筆者は 1992 年、無線による地震の同時多点観測システムを開発した。このシステムの特徴は、無線により時刻を配信、収録制御を行うことによって相対的時刻精度の良い記録を確保すると同時に収録効率を上げることができることである。

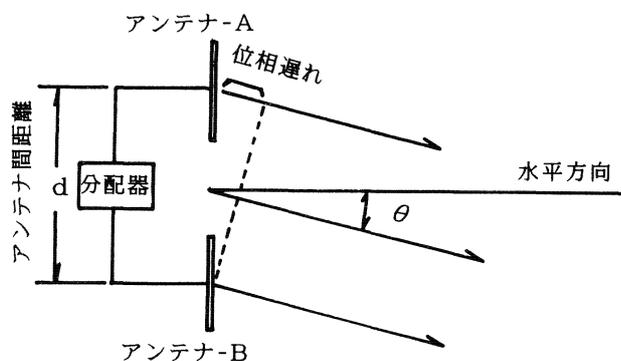
一般に、広域に展開された観測装置を有効に制御するために、上記地震観測システムを制御する無線送信機のアンテナは高所に設置されることが多い。しかしながら、高所に送信用アンテナを置くことによって、そのアンテナが有する放射特性により、下方向に位置する観測点の電波の受信レベルは低い場合がある。特に簡単なホイップ型の受信アンテナを用いる場合、数 dB の電界強度の差は重要である。この問題を解決するため、下方向に放射特性を持つアンテナを和歌山地震観測所の生石山無線中継所に設置した。これは和歌山市周辺部の地殻の微細構造を解明するた

めに半固定的に使用するものである。

なお、無線による地震の同時多点観測システムは日光における合同観測（1993 年）、兵庫県南部地震の合同余震観測（1995 年）、飛驒合同観測（1996 年）、エジプト・シナイ半島での観測（1997 年）、中国・雲南省麗江での観測（1998 年）で使用された。

アンテナの種類と放射特性

無線による同時多点観測システムは観測点側における受



第 1 図 傾斜角を持つ垂直 2 段スタックアンテナの放射特性。

1998 年 10 月 14 日受付, 1998 年 11 月 30 日受理。

* 東京大学地震研究所地震地殻変動観測センター和歌山地震観測所

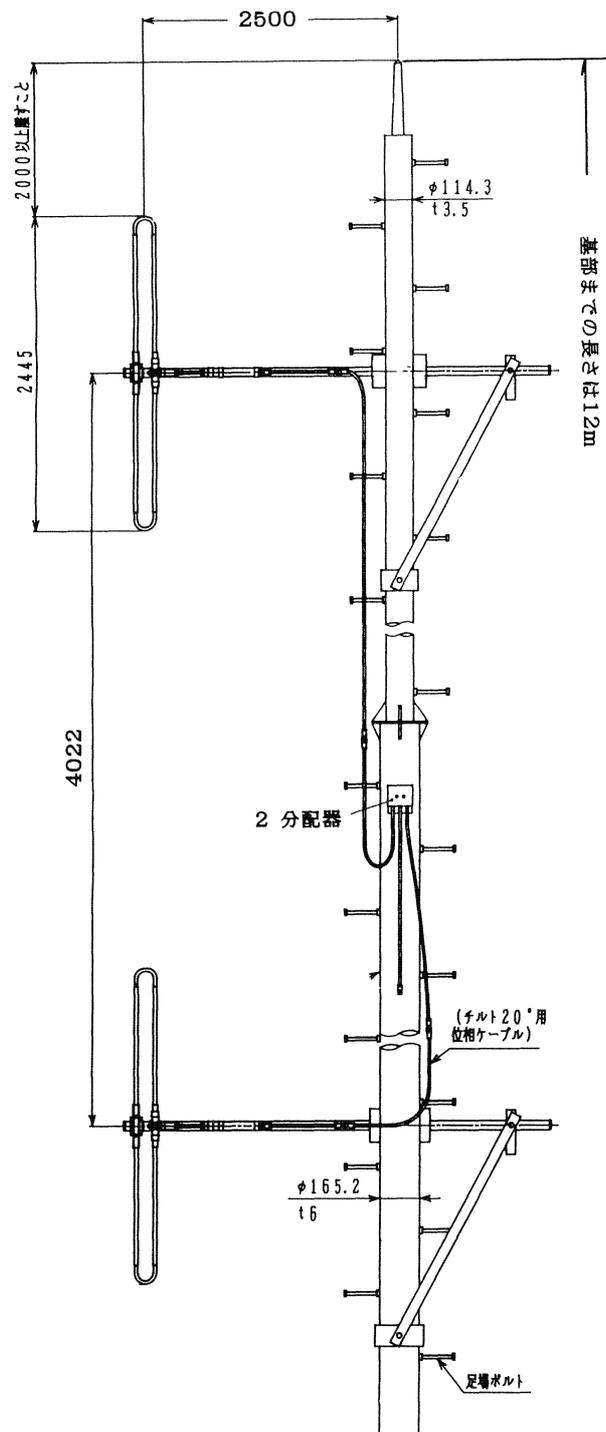
*Wakayama Seismological Observatory, Earthquake Observation Center, Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

信アンテナを垂直使用（ホイップ型アンテナ）としているため、送信側（制御側）も垂直アンテナを用いる必要がある。これらのアンテナにはスリーブ、ホイップ、H型などがあり、いずれも水平面の放射特性は無指向特性を持つ。これに対して、今回採用した送信側に用いられるアンテナは、水平方向の特性は同じ無指向ではあるが垂直方向は傾

斜角を持つ。

垂直方向に傾斜を持つアンテナの原理

実際のアンテナの構成を第2図に示す。傾斜特性を持つアンテナは、ダイポールタイプのアンテナを複数のスタックにして作られる。以下に設計条件を示し、具体的に原理



第2図 垂直2段スタックアンテナのパンザマストへの取り付け図。2本のアンテナは垂直型ダイポールアンテナ。

を説明する。

(設計条件)

周波数 $f: 59.66$ [MHz]

所要チルト角 $\theta: 20^\circ$ (下方)

アンテナ間の長さ $d: 0.8$ [λ] (この場合 λ (波長) = 5 m)

第2図から、上段アンテナをA、下段アンテナをBとし、目的の傾斜方向を θ 、アンテナ間の長さ(上下の距離)を d とすると、アンテナAとBより放射された電波が θ 方向で同位相になればその方向の放射特性を最大にすることが可能である。もし、下方に傾斜特性を持たせると、上段Aのほうの位相が遅れることになるので、その分を下段の給電線で遅らすことにより補正すれば目的の傾斜特性を得ることが可能となる。実際の位相遅れ分は、第2図からわかるように $d \cdot \sin \theta$ であるので、その分をBの給電系に付加すればよいことになる。上記条件より、位相の遅れ分は以下の計算により求まる。

$$d \cdot \sin \theta = 0.8 \cdot \sin 20^\circ = 0.2736$$

付加する同軸ケーブルを通常のもの(波長短縮率=67%)とすれば、付加するケーブルの長さ l は以下のようになる。

付加するケーブルの長さ l =使用する周波数の波長・波長短縮率・位相の遅れ分

$$l = 300 / 59.66 \cdot 0.67 \cdot 0.2736 = 0.9218 \text{ [m]}$$

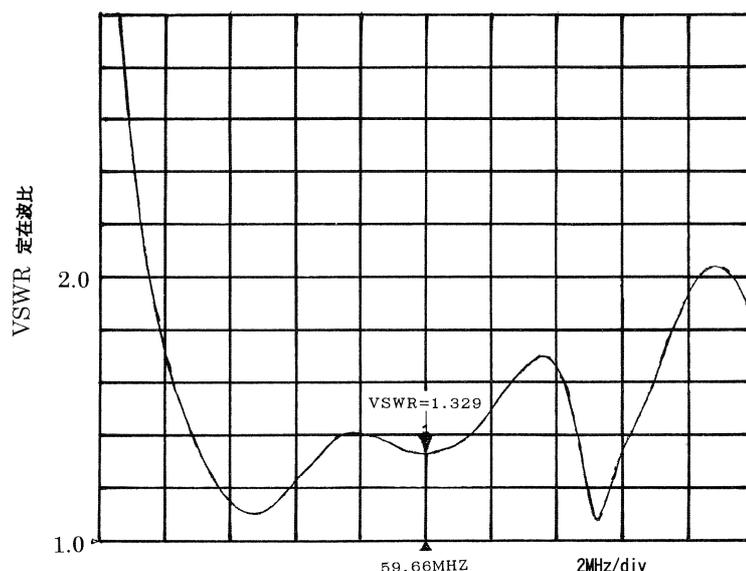
すなわち、分配器からの長さを、B側のケーブルはA側(上段)より0.92 m長くすれば良いことになる。

アンテナの設置および特性確認

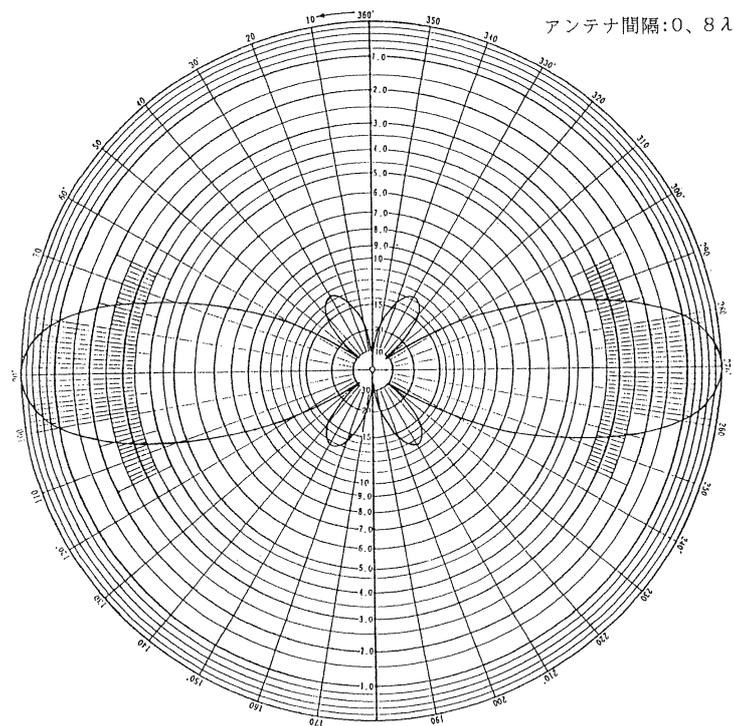
アンテナは、和歌山地震観測所の生石山無線中継局敷地

内に設置された。同敷地は県立自然公園に指定されているため、申請を必要としたが、高さ13 m未満のものは特に問題ないことがわかった。認可には約1ヶ月を要した。アンテナは、高さ12 mのパンザマストに取り付けられた(第3図参照)。実際の実験特性、特に傾斜特性については実測が難しく、理論値に頼らざるをえないが、実験室内での測定では理論値に近い値が出ている。

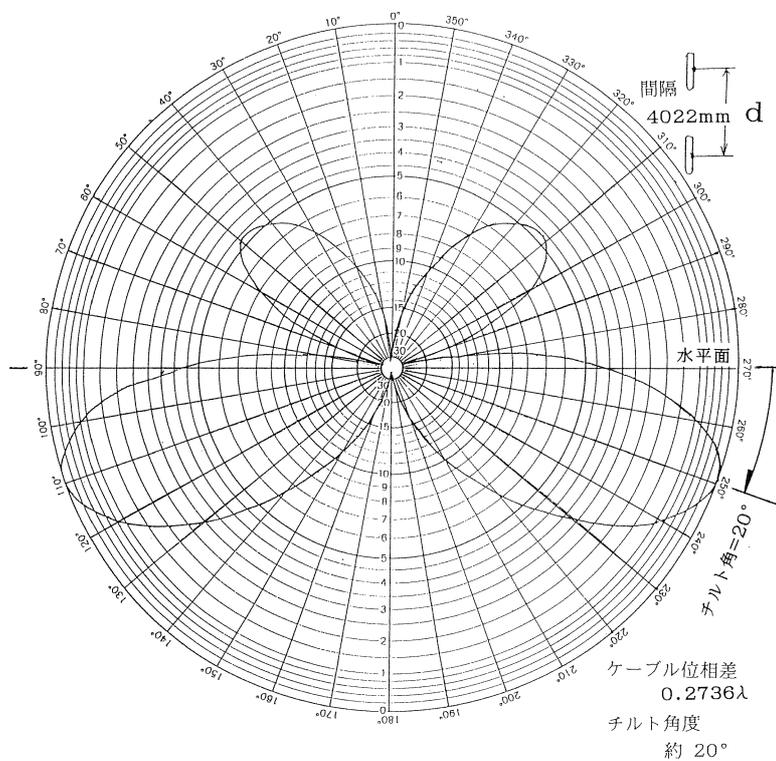
なお、現地での測定値として、唯一確認できる項目としてVSWR (Voltage Standing Wave Ratio: 電圧定在波比)があり、これが送信機とアンテナ系の整合状態をあらわす目安になっている。一般にその値が1以上1.5以下の範囲であれば問題なく、実測値は1.2であった。延長ケーブルの長さを変えることにより、自由に傾斜角を変えることが可能となる。ただし、VSWRの値はケーブルの整合異常などのため変動する可能性があり、目的とする放射パターンまたは実効電力は変わるかもしれない。もちろん傾斜角を大きくすれば遠距離での受信レベルは落ちる。第1図は垂直スタック取付時(実験室内での)のVSWR特性である。これによると、VSWRの最低値は複数存在し、該当の周波数における場合が最適ではない。ただ、これは設置場所によっても違いが現れることがあるので、実際の値とは異なる。すなわち、今回設置した場所での値は上記の値とは異なる(実際にこの場所では測定されていない)。アンテナの傾斜方向の放射特性については実測によるべきではあるが、計算上は次のようになる。仮に、送信アンテナから下方 20° 方向における電界強度は、傾斜角を持つアンテナと持たないアンテナの場合では電界強度の差は約5 dBである(第4、5図参照)。



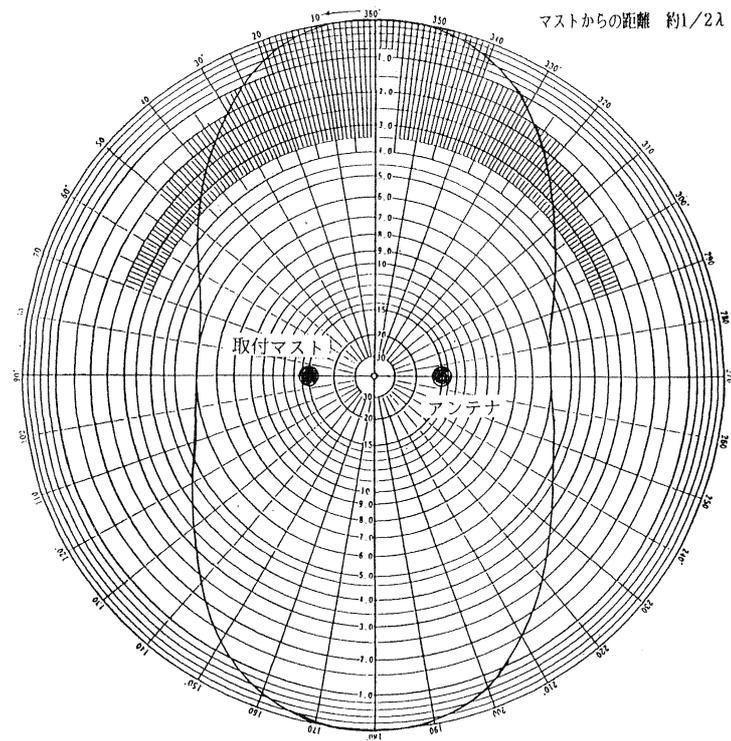
第3図 垂直2段スタックアンテナ取り付け時の近接周波数におけるVSWR特性。縦軸はVSWRで0.2/div、一番下が1.0。横軸は周波数で2MHz/div。



第4図 垂直2段スタックアンテナの傾斜特性を持たない場合の特性. 垂直方向の投影されたもの. 半径方向は電界の最大値に対する相対値 (dB).



第5図 傾斜角約 20°を有する垂直2段スタックアンテナの垂直方向特性. 上側に副次的なパターンが出ているのに注意. 半径はアンテナの感度を表し, 値は最大値に対する相対値 (dB). dは2本のダイポールアンテナの間隔. 今回設置したアンテナ.



第6図 垂直2段スタックの放射パターンを水平面に投影した特性。このパターンは取り付けマストとアンテナ間の長さによって形が変わることに注意。この場合は、アンテナとアンテナマスト間の距離を $1/2\lambda$ として計算している。半径方向はアンテナ感度の最大値に対する相対値 (dB)。

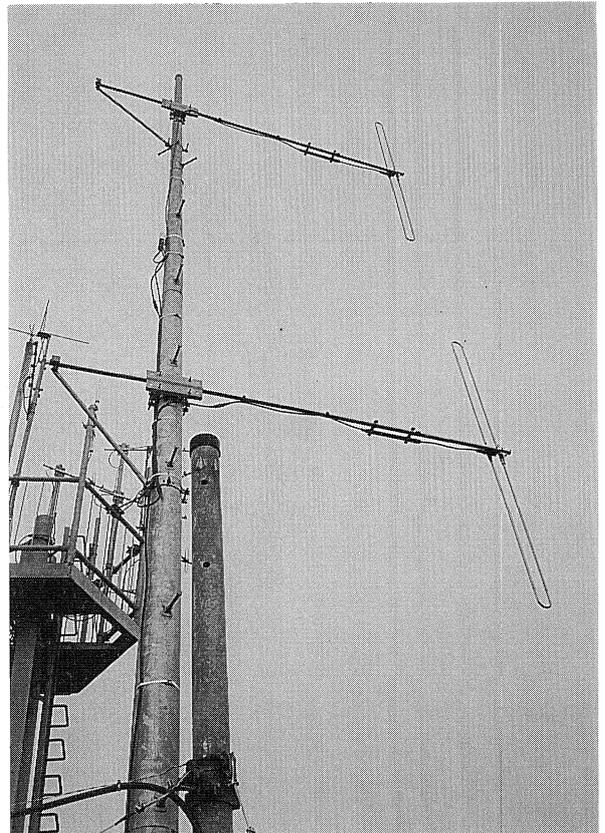
仕 様 書

以下は、今回構築したアンテナの仕様である。

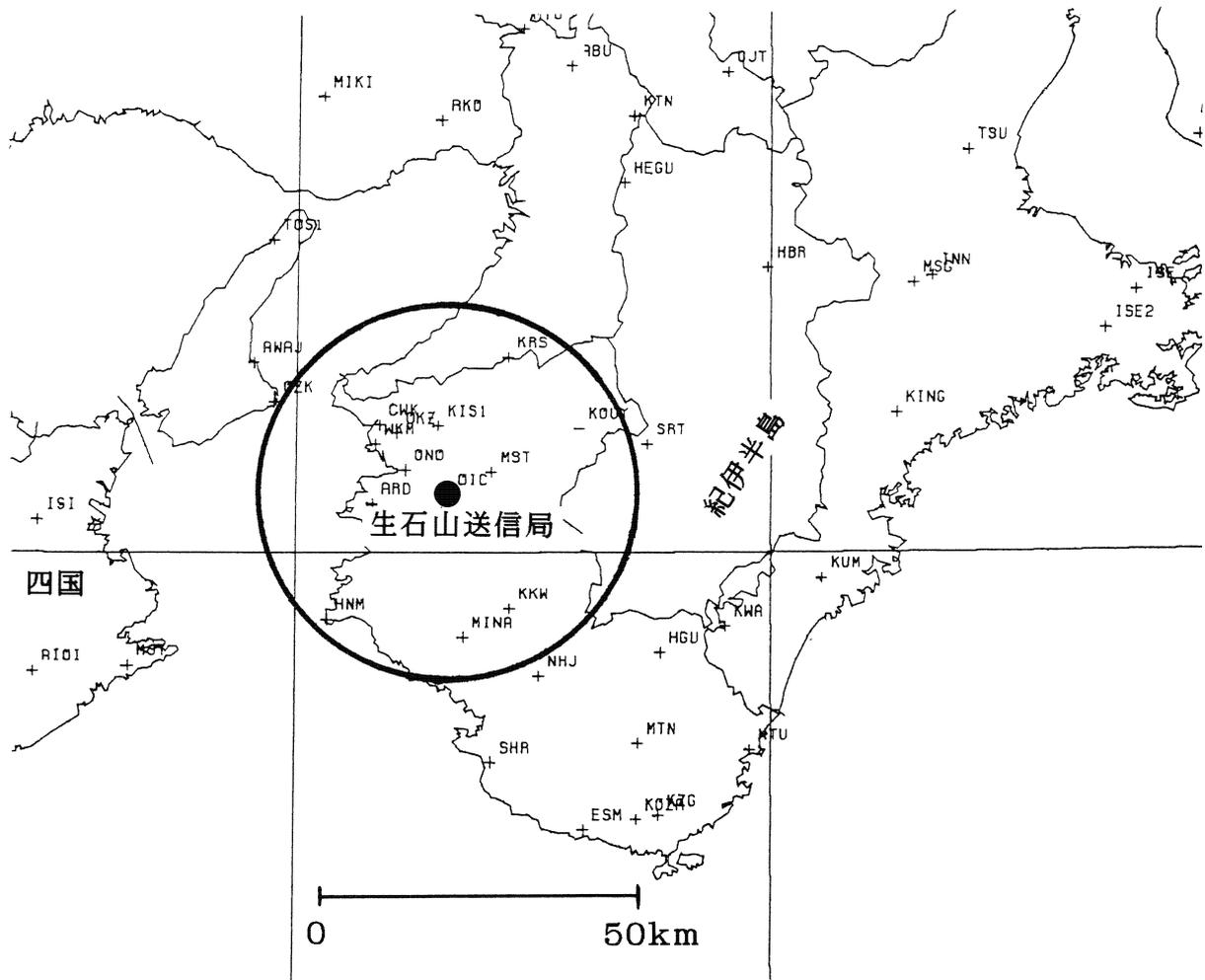
- 1) アンテナ形式：ダイポールアンテナ 垂直2段スタック
- 2) 形式：2HD-0603 (日本アンテナ製 ダイポールアンテナおよび分配器)
- 3) 用途：固定局タイプ
- 4) 使用周波数：60 MHz 帯
- 5) 入力インピーダンス：50 Ω
- 6) VSWR：1.5 以下 (実測値 1.28 進行波：13 W 反射波：0.2 W)
- 7) アンテナ利得：4.0 (dB) (ダイポールアンテナ比)
- 8) 指向性：垂直偏波 (偏差 約 6 dB)
- 9) 給電部接栓座：N-J 型
- 10) 使用電力：10 W (許容 50 W 以下)
- 11) 耐風速：60 m/s (瞬間最大風速)

各放射特性図および完成写真

第4～6図は、それぞれ2段スタックアンテナの垂直偏波特性の垂直面特性 (傾斜を持たない)、同垂直面偏波特性の垂直面特性 (傾斜を持った)、同水平面指向特性の計算値である。第4および5図からわかるように、傾斜角を持たない場合のアンテナの放射特性はそれを持つ場合のアンテナ



第7図 和歌山地震観測所石山無線中継局敷地内に設置されたアンテナ。



第 8 図 生石山無線中継局敷地内に送信アンテナが設定された場合の有効受信範囲。ただし、受信アンテナはホイップ型を想定した。受信範囲は当然地形に影響されるし、受信側に指向特性を持つアンテナを使用すればさらに範囲を拡大することが可能である。送信機とそのアンテナの条件から可能受信範囲の目安は約 100 km 程度であろう。

ナの放射特性に比べて副次的放射が小さい。このことは、傾斜角を持つアンテナが目的の方向にのみ有効に電力を放射していない、すなわち、アンテナの効率を低下させていることを示す。第 6 図は傾斜角を有するアンテナの水平面内放射特性である。本来、円形であるべき水平面内放射特性が、取り付けマストの影響で歪んでいるのがわかる。この方向（アンテナマスト⇔アンテナ間）での受信レベルは落ちることになる。

第 7 図は、和歌山地震観測所生石山観測点（無線中継点）敷地内に設置されたアンテナである。第 8 図は、同地点に設置された送信アンテナが持つサービスエリアで安定して受信できる範囲を示している。上記送信機の機能と送信アンテナの設置条件では、場所によって 100 km 以上の遠方でも受信可能（15 dB μ 程度の受信電界）の場所が存在する。もちろん、これは伝播経路に障害物がない場合もある

が、60 MHz 帯の周波数を持つ回折特性に依存した伝播もある。

おわりに

無線通信において受信範囲を大きくしようとする場合、高所に送信アンテナを設置するのが一般的であるが、送信アンテナに比較的近いのに、同アンテナから見て下方向における電界強度は思っている以上に低い場合がある。この電界強度の影響をとり除くため、チルト角を持つアンテナを設置した。今後、通常のアンテナ（ホイップあるいは H 型）との相対電界強度を測定することにより、これらのアンテナが有効に機能しているかどうかを確認したい。なお、アンテナ構築の費用は地震地殻変動観測センターのプロジェクト経費に拠った。