

# 地上デジタル放送波を利用した水蒸気量推定技術の研究開発

～ 台湾での水蒸気量観測について ～

豪雨災害の防災・減災を目指し、地上デジタル放送波を用いて電波の伝搬経路上の水蒸気量を推定する技術を開発し、変調方式の異なる台湾での水蒸気量観測を2025年の夏から開始し、豪雨予測の精度向上を目指しています。

国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT)  
電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター  
リモートセンシング研究室  
研究マネージャー 花土 弘、室長 川村 誠治、研究員 河谷 能幸  
日本アンテナ株式会社  
営業部 システムグループ CATV チーム  
渡辺 琢也



水蒸気量観測のための  
地上デジタル放送波受信アンテナの設置風景  
(國立陽明交通大學 (台北市))

## あらまし

近年都市部で頻発する局地的大雨（通称ゲリラ豪雨）などの時空間スケールの小さな気象現象は、積乱雲の急激な発達により引き起こされる。このような豪雨災害の防災・減災を目指し、情報通信研究機構 (NICT) では、地上デジタル放送波の伝搬遅延量を高精度に測定することで、大気下層の水蒸気量を観測する新しい手法を開発した [1][2]。この技術は、2022 年から内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」の一環として、防災科学技術研究所および日本アンテナと連携し、FPGA (Field Programmable Gate Array: 決まった回路でなく、用途に合わせた回路をソフトウェアのように書き換え可能で構成できハードウェア並みに高速) による信号処理を活用した低消費電力かつ安定動作可能な観測装置として実用化され、九州地方の 15 地点に展開された [3][4]。さらに、日本の地デジ方式とは異なる欧州方式にも対応した観測装置を開発し、台湾の國立中央大学と協力して、2025 年から台湾での水蒸気量観測を開始した。なお、この観測実験は、TASA (Taiwan Space Agency: 台湾国家宇宙センター) NICT 研究協力プロジェクトの一つとして実施されている。

## 背景

近年頻発している局地的な豪雨は、活発な積乱雲によって引き起こされることが多く、その発生や発達を予測することは、防災・減災にとって非常に重要であ

る。積乱雲のライフサイクルは数十分から 1 時間程度と短いため、降雨の予測時間を延ばし、精度を高めるには、雨粒 (液体の水) になる前の水蒸気 (気体の水) の動きを把握する必要がある。しかし、水蒸気は大気中で最も変化が激しく、観測が難しい [5]。

現在、気象数値モデルでは、GPS/GNSS による可降水量観測が水蒸気量データとして利用されている。これは、衛星から送信される L バンド (1～2GHz) の電波の伝搬遅延量をもとにしている。同様に、UHF 帯 (470～710MHz) の地上デジタル放送波の伝搬遅延量を利用することで、地表付近の水蒸気量を観測することが可能で、この観測データは、短時間で発生する豪雨の予測に役立つ。

## 地デジ放送波による水蒸気量観測の原理

電磁波は、伝搬する経路上の物質の影響によって速度が遅くなり、真空中よりも伝搬に時間がかかる。地表付近の大気では、この伝搬遅延量は気圧・気温・相対湿度によって変化する。

図 1 は、東京の地上気象観測データから算出された、1km あたりの伝搬遅延量を示す。最下段のグラフは水蒸気による遅延量で、冬季には小さく、夏季には大きく、20～500psec/km の範囲で変動する。中央のグラフはその他の大気成分による遅延量で、これらは水蒸気とは逆に冬季に大きく、夏季に小さく、800～1000psec/km の範囲で変動する。最上段のグラフは両者の合計で、地表付近の大気による伝搬遅延量は

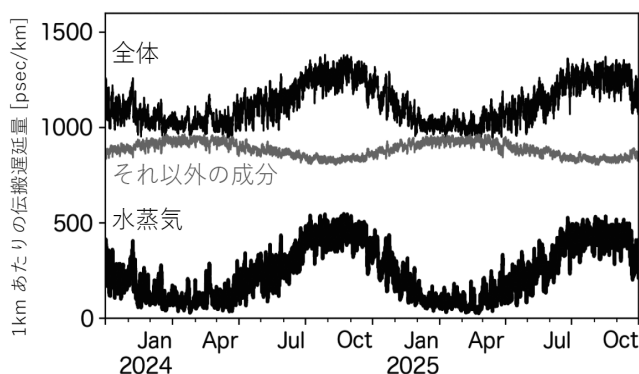


図1 東京の地上気象観測データから算出された1kmあたりの伝搬遅延量 [psec/km]

1000～1300psec/kmの範囲で変動する。このような微小な遅延を測定するには、ピコ秒（1兆分の1秒）単位の精度が必要となる。

この高精度な遅延測定には、地上デジタル放送波に含まれるSP（Scattered Pilot）信号を利用する。SP信号は、周波数と時間の両方に分散して配置されており、伝搬路の状態を把握するために設計されている。この信号を復号処理して遅延プロファイルを作成することで、送信局から受信点までの異なる経路を通る電波（直達波と反射波）を、遅延時間の違いによって分離・識別できる。

図2と図3は、地デジ放送波を用いた水蒸気量推定における「反射法」の観測概念と計算方法を示す。図2では、受信点で送信局からの直達波と、反対方向にある反射体からの反射波を同時に受信する様子を示す。図3の下図では、これらの波が遅延時間の違いによって分離できることがわかる。

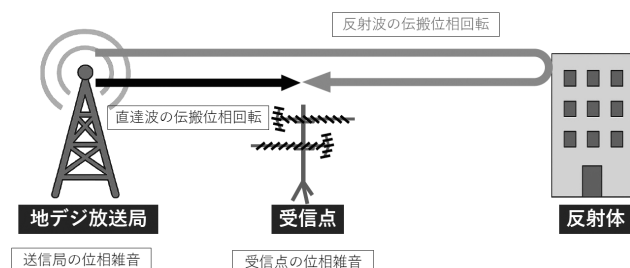


図2 高精度の測定を行う方法（反射法）の観測概念図

送信局と受信装置の基準信号には独立に変動する位相雑音が含まれる。しかし、直達波と反射波はほぼ同時に受信されるため、それぞれのピーク位相を減算することで、送受信機の位相雑音を打ち消し、伝搬路での位相回転を高精度に測定することが可能になる。こ

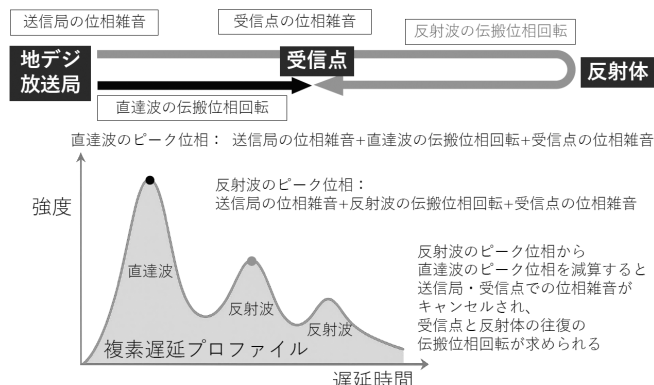


図3 高精度の測定を行う方法（反射法）の計算方法

れが反射法の基本原理である。

なお、位相回転が測定される伝搬路は、受信点と反射体との往復経路であり、水蒸気量が観測されるのは、受信点から反射体までの区間となる。通常、受信点から十数km離れた反射体が観測に利用されている。

## 遅延プロファイルの測定例

図4は、台湾における地上デジタル放送を利用した水蒸気量観測装置によって遅延プロファイルを集めた地点を示す。観測は以下の3地点で実施された。

台北市北部の2大学：

国立陽明交通大學（NYCU）

中國文化大學（CCU）

桃園市南部：

國立臺北商業大學 桃園キャンパス（NTUB）

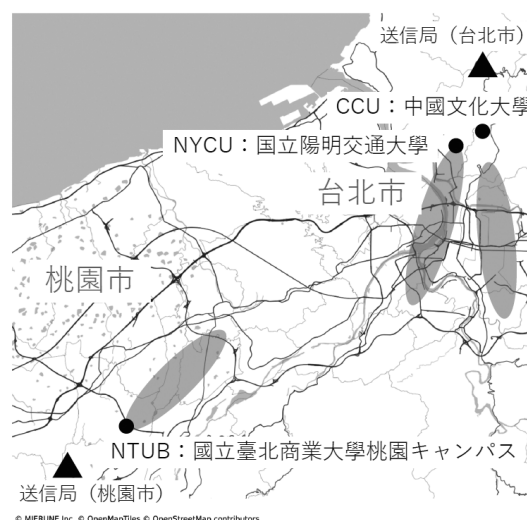


図4 遅延プロファイルデータ取得点

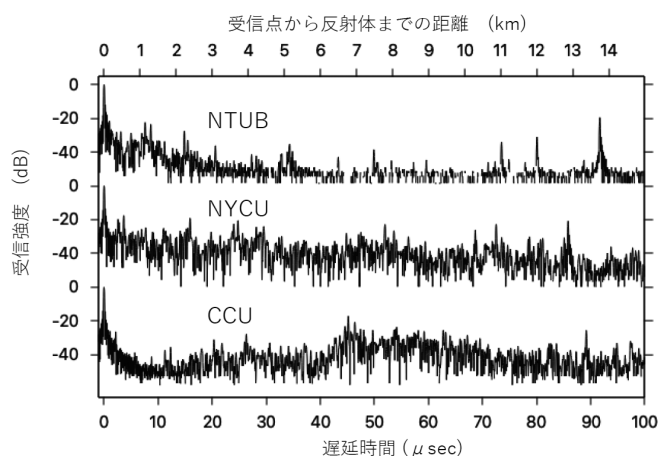


図5 3地点での遅延プロファイル  
(中心周波数 557MHz)

図5には、これら3地点で中心周波数 557MHz において取得された遅延プロファイルが示す。

最上段のグラフは NTUB (桃園市) で取得されたもので、中央と下段は NYCU および CCU (台北市) で取得されたデータである。縦軸は受信信号の強度、横軸は遅延時間 ( $\mu\text{sec}$ ) を表す。0  $\mu\text{sec}$  付近には、送信所から直接届いた「直達波」による顕著なピークが見られ、この直達波を基準に、20 ~ 40dB ほど弱い反射波のピークの位相情報を解析することで、電波の伝搬遅延量を算出し、そこから水蒸気量を推定する。

桃園市は台北市に比べて市街地の広がり小さいため、強い反射波は遅延時間で 50  $\mu\text{sec}$  以下 (距離に換算すると約 7 ~ 8km 以内) に限られる。一方、11km、12km、14km 付近にも強いピークが見られるが、これらは位相が短時間で大きく変動しているため、桃園局からの反射波ではなく、隣接する別の送信局 (おそらく台北局) からの直達波と考えらる。

地上デジタル放送では、OFDM (直交周波数分割多重方式) という変調方式が採用され、マルチパス (反射波) や遅延に強い特長がある。この特性を活かし、台湾

では SFN (単一周波数ネットワーク) 技術が広く使われ、複数の送信所が同じ周波数で同じ信号を同時に送信することで、周波数の効率的な利用が実現されている。

台北市北部の NYCU と CCU で取得された遅延プロファイルには、NTUB に比べてより遠距離 (最大 15km) までの強い反射波ピークが見られる。NYCU では、受信点近くから遠方まで途切れなく反射波のピークが存在している。一方、CCU では、受信点近く (遅延時間 20  $\mu\text{sec}$  以内、距離約 3km) に明瞭な反射波ピークが見られないという特徴がある。この違いは、両大学での設置環境の違いによると考えられる。図6に示すように、NYCU は山の麓に位置し、台北市街地の北端にあるため、反射体となる建物が受信点付近から連続的に存在する。一方、CCU は山の中腹にあり、台北市街地までの間に山地、台北松山空港があり、反射体が少ないため、遅延時間 0 ~ 20  $\mu\text{sec}$  の範囲に顕著な反射波ピークが存在しない。

## 反射波ピーク位相から推定される伝搬遅延量と地上気象観測データから算出される量と比較

図7は、NTUB (國立臺北商業大學桃園キャンパス) に設置された地デジ水蒸気量観測用受信アンテナを示す。上下に配置された2本の八木アンテナのうち、上段のアンテナは送信局方向を向いており、直達波の受信に使用され、下段のアンテナは桃園市街地方向を向いており、反射波の受信に使用される。

一般的に、反射波の受信強度が弱いため、反射波用アンテナは受信環境の良い高い位置に設置されることが多いが、NTUB の設置環境では、送信局方向に空調の室外機があり、アンテナを低い位置に設置すると遮蔽されるため、直達波用アンテナが高い位置に設置されている。

図8は、2025年6月14日~22日の期間に NTUB で観測された反射波ピーク位相から推定される伝搬遅延量を示す。上図は、受信点近く (遅延時間 13.249  $\mu\text{sec}$ 、距離 1.99km) の反射波ピークに基づく伝搬遅延量を、下図は、受信点から遠方 (遅延時間 130.672  $\mu\text{sec}$ 、距離 19.6km) の反射波ピークに基づく伝搬遅延量を示す。それぞれの図には、反射波ピーク位相から推定された伝搬遅延量と、地上気象観測装置 (図7の支柱最上部に設置) で観測された気圧・気温・相対湿度から算出された伝搬遅延量が重ねてプロットされている。

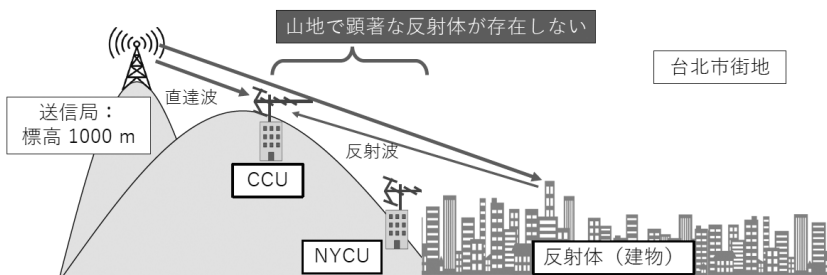


図6 NYCU と CCU の遅延プロファイル上の反射波ピークの分布の違いを説明する模式図





図 7 NTUB のアンテナ設置状況

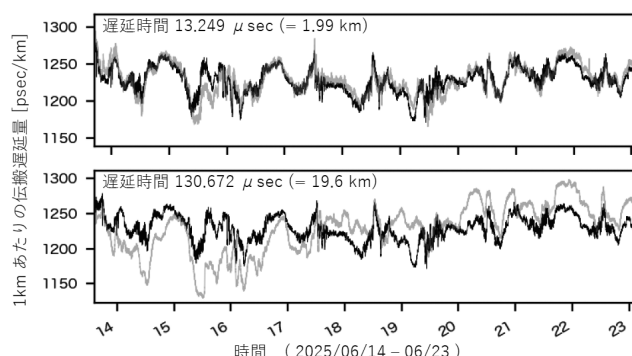
### <比較の結果>

近距離の反射波（上図）では、ピーク位相からの伝搬遅延量と地上気象観測データからの遅延量が高い類似性を示す。これは、ピーク位相からの遅延量が、受信点と反射体の間の空間の水蒸気量を代表していることを反映している（図3で説明済み）。

遠距離の反射波（下図）では、両者に類似性はあるものの、明確な差異が見られる。これは、地上気象観測データが受信点付近の大気状態を反映しているのに対し、反射波ピーク位相からの遅延量は、受信点から19.6km離れた反射体との間の空間の平均的な大気状態を反映しているためである。

### 今後の予定

現在、NTUB（国立臺北商業大學桃園キャンパス）およびNYCU（国立陽明交通大學）の2地点に地上デジタル放送を利用した水蒸気量観測装置を設置し、



黒線：地上気象観測データの気圧・気温・相対湿度から計算  
灰色線：地上デジタル放送波の反射波ピーク位相から算出

図 8 伝搬遅延量の比較

観測を開始している。今後は、反射波ピークの遅延時間に基づいて反射体の特定を行い、得られた情報を気象予測モデルにデータ同化することで、降雨予測への影響を評価する予定である。この取り組みは、台湾の國立中央大学との共同研究として進められる。

### 謝辞

本研究は、台湾國立中央大學との共同研究の成果であり、同大学の研究者の皆様の専門的な知見とご協力に心より感謝いたします。

#### <参考文献>

- [1] 地デジ放送波を使った水蒸気量推定手法の開発に成功 ～ピコ秒精度で電波の伝搬遅延を計測、ゲリラ豪雨の予測精度向上へ～、情報通信研究機構 報道発表(2017/3/9), <https://www.nict.go.jp/press/2017/03/09-1.html>
- [2] 地上デジタル放送波を利用した水蒸気量推定技術の研究開発 ～より精度の高い気象予測を目指して～、電波技術協会報 FORN, 2019.3, No.327, pp.28-31.
- [3] 線状降水帯の水蒸気観測網を展開—短時間雨量予測の精度向上への挑戦—, 防災科学技術研究所 報道発表 (2022/6/29) <https://www.bosai.go.jp/info/press/2022/20220629.html>
- [4] 地デジ放送波を用いた水蒸気量観測の研究、2021日本アンテナの集い > 新しい事業領域への展開について <https://www.nichian.net/shop/pages/na-tudo2021-newbus.aspx>
- [5] 水蒸気観測技術の発達とこれから、小司慎教, 天気, vol. 50, No.10, pp. 885-888, 2007. [https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2007/2007\\_10\\_0015.pdf](https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2007/2007_10_0015.pdf)



花土 弘

●略歴：1989年京都大学大学院修士課程修了。同年に通信総合研究所（現 NICT）に入所。現在、NICT 電磁波研究所電磁波伝搬研究センターリモートセンシング研究室・研究マネージャー。電子情報通信学会、日本気象学会、地球電磁気・地球惑星圏学会所属。

●研究内容：マイクロ波リモートセンシングに関する研究に従事。

●今後の展望：これまでのセンサ開発の経験・ノウハウを次の世代に傳承したい。



河谷 能幸

●略歴：2024年京都大学大学院修士課程修了。同年に NICT に入所。現在、NICT 電磁波研究所電磁波伝搬研究センターリモートセンシング研究室・研究員。土木学会、日本気象学会所属。

●研究内容：気象モデルと気象観測の両面から、線状降水帯に関する研究に従事。

●今後の展望：多様なセンサを活用し、将来的な防災への応用に貢献したい。