

研 究 報 告

令和 7 年 4 月 21 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 山梨大学

氏 名 : 相馬 一義

研究課題名：地デジ放送波による水蒸気量変動推定の高密度直接観測による検証と豪雨予測への活用方策の検討

助成金額： 100 万円

研究実施期間：自 令和 6 年 4 月 1 日 ～ 至 令和 7 年 3 月 31 日

地デジ放送波による水蒸気量変動推定の高密度直接観測による 検証と豪雨予測への活用方策の検討

Verification of water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves compared with high-density direct observation and investigation for application to heavy rainfall prediction

山梨大学 准教授 相馬 一義

（研究計画ないし研究手法の概略）

研究の背景と目的

豪雨の要因となる大気下層の水蒸気量は豪雨予測にとって重要であるが、直接観測のみで広域を詳細な空間解像度でカバーすることは困難である。それに対し情報通信機構（NICT）は、地上デジタル放送波を用いて水蒸気量変動を高空間解像度で推定する手法を開発してきた¹⁾。同手法による推定値と水蒸気量高密度直接観測とを比較し信頼性が確認できれば、豪雨の前兆となる水蒸気量増加をいち早く検知でき、豪雨の早期予測に資すると期待される。

研究代表者らは NICT と 2019 年から兵庫県神戸市における地デジ観測を継続しており^{2), 3), 4)}、水蒸気量変動推定結果を 2km 程度離れた 2 地点の直接観測と比較し妥当性を確認した。一方で、推定手法で得られた数百 m スケールの水蒸気量分布については未だ信頼性の検証が十分でない。

以上を踏まえて本研究では地デジ放送波の遅れから高空間解像度で水蒸気量変動を推定し、神戸市において数百 m 程度の間隔で設置した水蒸気量高密度直接観測と比較検証する。さらに豪雨に先立つ水蒸気量変動の特徴を抽出して豪雨予測への活用方策を検討する。

研究手法の概略

1. 地デジ放送波を用いた水蒸気量変動の推定

本研究ではまず、研究代表者らが神戸市立須佐野中学校に地デジ観測点（受信局）を設置して 2019 年から継続している観測結果^{2), 3), 4)}に、NICT が開発した水蒸気量推定手法¹⁾を適用する。同手法では送信局から直接到達する電波（直達波）と建物（反射体）から反射してくる電波（反射波）との位相差を取ることで、反射体付近の水蒸気量（単位距離あたりの伝播遅延量）を推定する（図 1）。

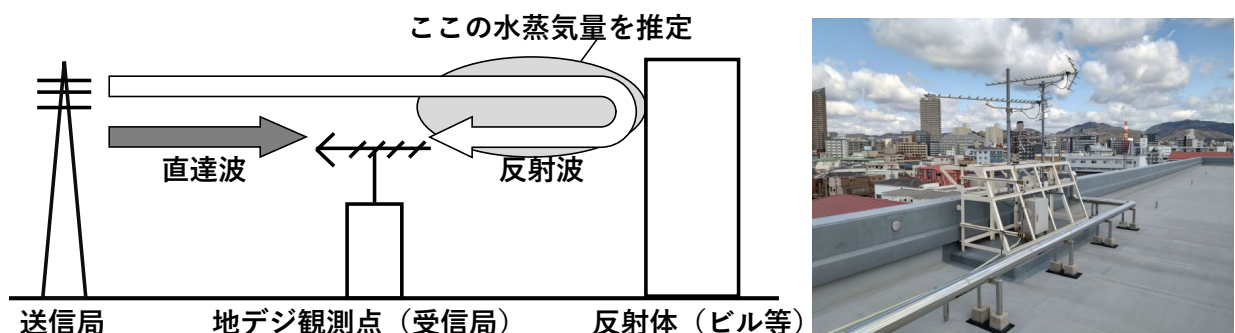


図 1：（左）地デジ放送波を用いた水蒸気量変動推定の概念図（反射法）¹⁾。（右）地デジ観測点（受信局；須佐野中学校）。

2. 神戸市兵庫区における数 km～数 100 m スケールの水蒸気量高密度直接観測

加えて、神戸市内や六甲山で発達する豪雨が発生しやすい神戸市西側において高密度水蒸気直接観測を実施した．新設水蒸気直接観測点では簡易温湿度センサーを太陽電池式強制通風筒に挿入し、屋上のフェンス支柱等に衛星放送アンテナ用治具で固定して、市街地中心部に位置する長田中学校、駒ケ林中学校、六甲山側に位置する五位の池小学校、海側に位置する和田岬小学校に設置した（図 2）．水蒸気直接観測点では屋上面から約 1.50 m の高さに温湿度計を設置し、1 分ごとの気温・湿度を観測した．

これらの観測網によって 2024 年 7 月 26 日～9 月 4 日にかけて 1 か月程度の集中観測を行い、数百メートルの空間解像度で水蒸気量を高密度直接観測した．

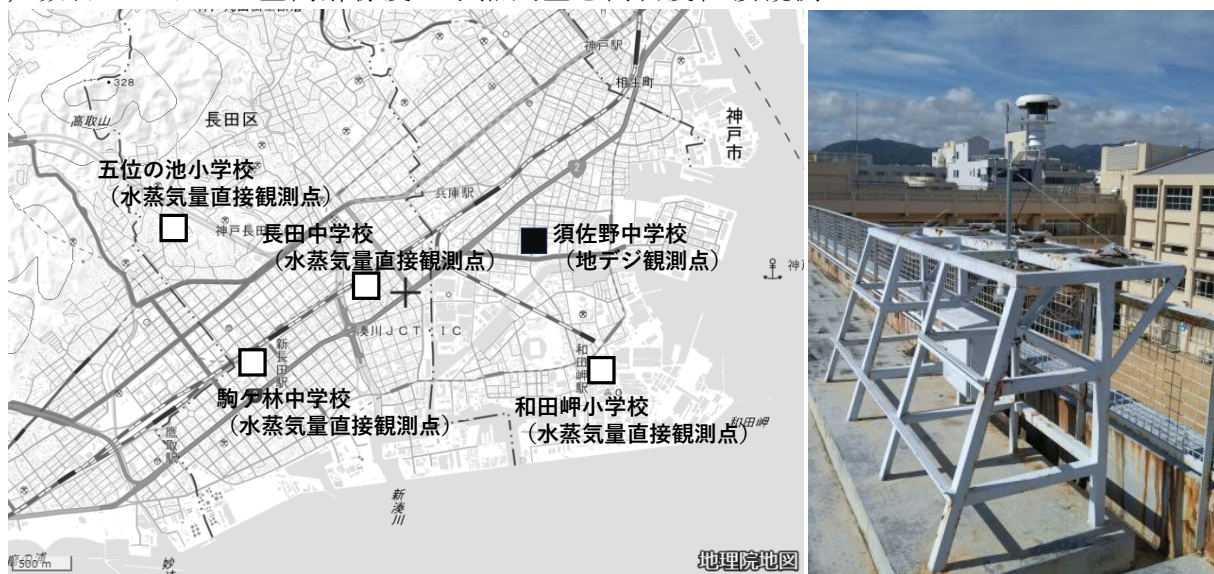


図 2：（左）地デジ観測点・水蒸気量直接観測点の位置．（右）新設水蒸気直接観測点（和田岬小学校）の例

3. 地デジ水蒸気量変動推定と高密度直接観測を比較した検証

2024 年集中観測期間中で顕著な水蒸気量変動が観測された 8 月 2 日を対象として、地デジから推定した水蒸気量と水蒸気量直接観測とを比較して検討・検証を行った．比較に際しては、地デジ・水蒸気量直接観測双方を単位距離当たりの伝播遅延量を算出した（図 3）．水蒸気量変動を議論するために、単位距離当たりの伝播遅延量から日平均値を引いた変動量を示す．長田中学校、駒ケ林中学校、和田岬小学校では気圧を観測していないため、高度がほぼ等しい須佐野中学校で観測した気圧を用いた．

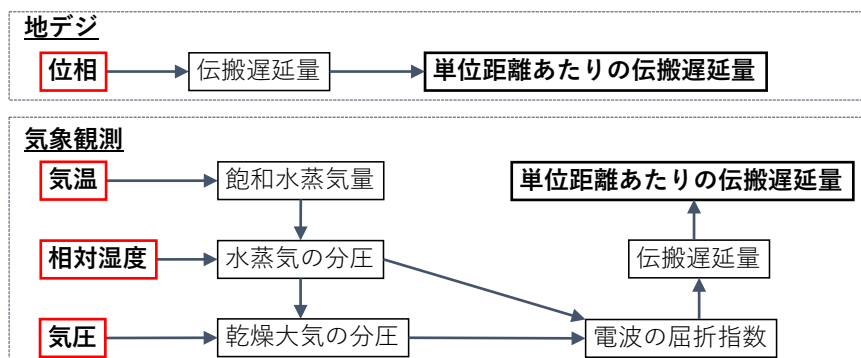


図 3：地デジ・気象観測からの単位距離当たりの伝播遅延量算出の流れ⁴⁾

（実験調査によって得られた新しい知見）

1. 地デジ水蒸気量と水蒸気量直接観測から算出した単位距離当たり伝播遅延量の比較

図 4 に水蒸気量直接観測から算出した 18:00～18:30 の単位距離当たり伝播遅延量（水蒸気量）について、日平均値を引いた変動量を示す．単位距離当たり伝播遅延量が上昇しており、この時間帯に水蒸気量が増加したと考えられる．図 5 に気象庁メソモデル（MSM）解析値（予報の初期時刻においてモデル予測結果を観測値に合うように修正した値）における地上 10m の風向・風速を示す．水蒸気量が増加した 18時から 21 時にかけて神戸市で南西風が強まり、大阪湾から水蒸気が供給された可能性が示唆される．

図 4 から、海岸に近い和田岬小学校で水蒸気量が 18:05 頃に増加し、海岸から若干距離のある JR 新長田駅周辺に位置する駒ヶ林中学校・長田中学校で 18:10 頃に増加し、最も海岸から遠い五位の池小学校で 18:15 頃に増加している．このことは、南西風によって大阪湾から海岸に近い順に水蒸気が供給されたことと対応すると考えられる．

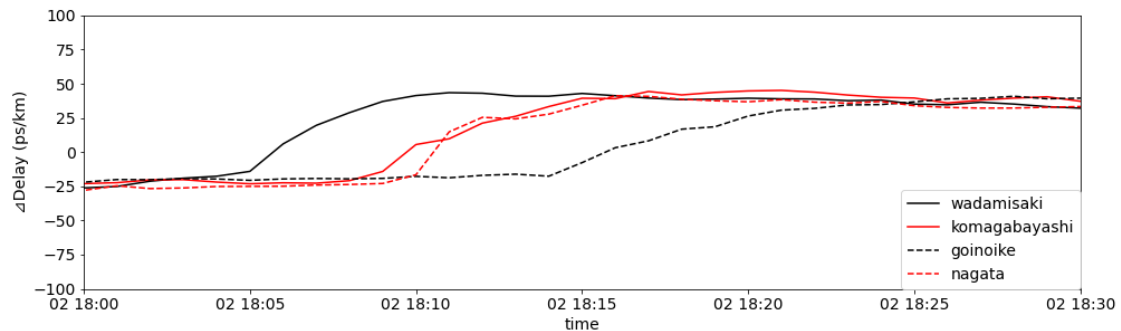


図 4：水蒸気量直接観測から算出した 2024 年 8 月 2 日 18:00～18:30 の単位距離当たり伝播遅延量について、日平均値を引いた変動量（水蒸気変動量）。

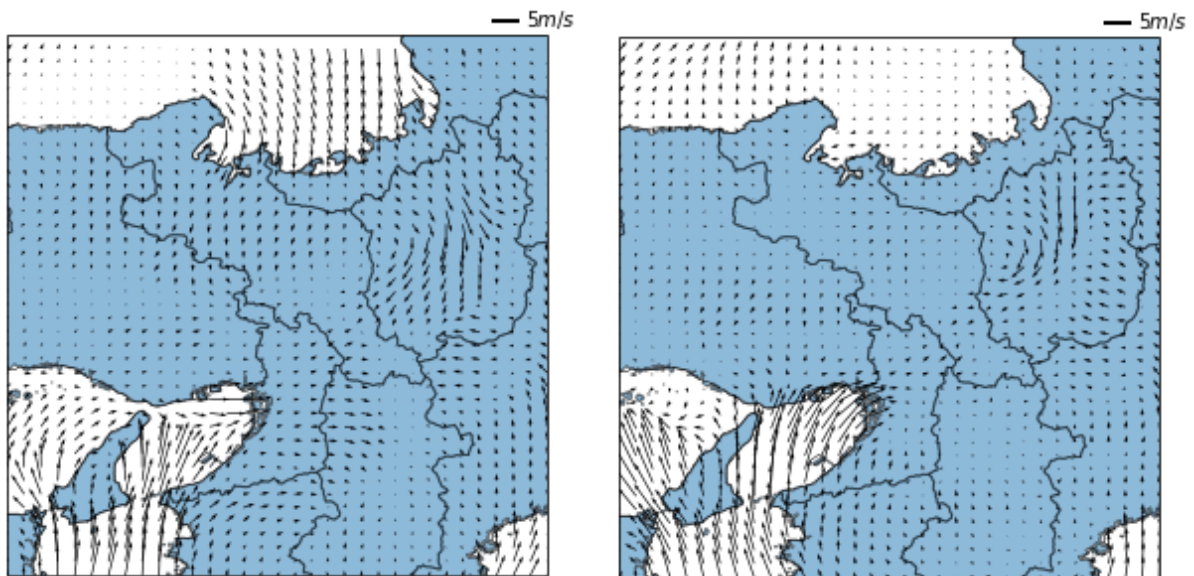


図 5：2024 年 8 月 2 日 18:00（左），21:00（右）の MSM 解析値における地上 10m の風速ベクトル．矢印の方向へ向かって風が吹いたことを示す．

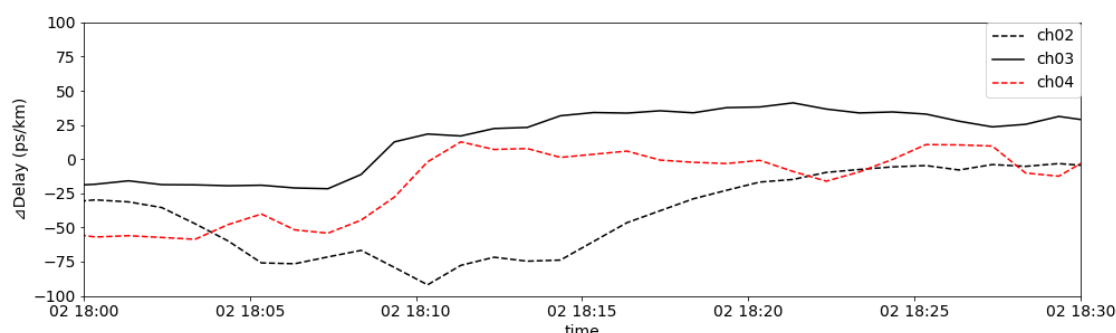


図 6：地デジ観測から推定された 2024 年 8 月 2 日 18:00～18:30 の単位距離当たり伝播遅延量について、日平均値を引いた変動量（水蒸気変動量）。



図 7：地デジ観測点・水蒸気量直接観測点の位置と反射体との位置関係。

図 6 に地デジ観測から推定された、18:00～18:30 における単位距離当たり伝播遅延量（水蒸気量）について、日平均値を引いた変動量を示す。比較的明瞭な反射体が見つかった ch02（生駒送信局 NHK）の peak2, ch03（麻耶送信局 NHK）の peak2, ch04（麻耶送信局サンテレビ）の peak1 について図示する。図 4 と同様に 18:00 頃の水蒸気量の増大が捉えられている。各ピークに対応する反射体を推定したところ、図 7 に示すように ch02 の反射体は最も内陸側に位置し図 4 の五位の池小学校における水蒸気量変動に似た傾向を示している。一方、ch03 の反射体は JR 新長田駅付近に位置し、水蒸気変動は駒ヶ林中学校・長田中学校における水蒸気量変動に似た傾向を示している。ch04 の反射体は ch03 の反射体よりも内陸側に位置し、ch02 と ch03 の中間の変動傾向を示している。

以上から本研究で行った地デジ水蒸気量推定結果は高密度水蒸気量直接観測結果と対応した変動を捉えられている可能性が示唆される。今後は地デジ観測データについて遅延プロファイルデータを精査し、より水蒸気量直接観測を行った地点に近い反射体に対応するピークを抽出し、さらなる検討を行う必要がある。

2. 本研究の豪雨予測への活用方策の検討

NICT が開発した地デジ放送波による水蒸気量推定手法は、推定値に見られる数 100m スケールの水蒸気量変動が現実を反映したシグナルなのかについてはより詳細な検証が求められてきた。NICT は首都圏・九州を中心に多地点で地デジ水蒸気量推定を試みているが、数百 m 程度の間隔で多数の水蒸気量直接観測を展開し地デジによる推定値と比較する試みは本研究が初である。本研究で得られた成果を発展させることで、地デジ水蒸気量推定手法による高空間解像度水蒸気量変動推定結果の妥当性を検証し、手法を改良することが可能となる。

気象庁では AMeDAS 観測点への水蒸気量観測装置の導入を精力的に推進している。しかし、すべての AMeDAS 観測点に水蒸気量観測装置を導入したとしてもその空間解像度は約 20km 程度であり、極めて局所的に発生発達するゲリラ豪雨等の降水の前兆を捉えるにはより空間解像度の高い水蒸気量観測を実現する必要がある。また可視光線を用いた水蒸気ライダーによる詳細な水蒸気量観測も提案されているが、一台当たり数億円と極めて高額であり、広い領域をカバーすることは困難である。それに対し地デジ放送波による水蒸気量推定手法は受信局一か所あたり 100 万円以下と安価でかつ高い空間解像度で水蒸気量を推定でき、有効な解決策となりうる。

地デジ水蒸気量推定によって得られた高空間解像度水蒸気量変動情報を、データ同化手法等を通じて数値気象予報に導入することで、ゲリラ豪雨や線状降水帯のきっかけとなる積乱雲の位置・発生タイミングの予測精度向上に資すると期待される。

参考文献

1. Kawamura S., Ohta H., Hanado H., et al.: Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves, Radio Sci., Vol. 52, pp.367-377, 2017.
2. 松本楓土, 田中杜, 相馬一義, 花土弘, 川村誠治, 金丸佳矢, 山口弘誠, 村瀬公崇, 中川勝広: 地デジ放送波を用いた神戸市における晴天日の水蒸気量変動推定に関する検討, 第 31 回地球環境シンポジウム講演集, pp.111-113, 2023.
3. 田中杜: 神戸における地デジ放送波を用いた雨天日の水蒸気量推定に関する検討, 山梨大学卒業論文, p.133, 2023.
4. 菊池恵里花: 地デジ放送波とドップラーライダーを用いた神戸市における水蒸気量変動の検討, 山梨大学卒業論文, p.39, 2024.

(発 表 論 文)

2025 年 9 月に予定されている水文・水資源学会にて成果の一部を発表するため、投稿準備中である。