22.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

松本　楓士[1]・田中　杜[2]・相馬　一義[3]*・花土　弘[4]・川村　誠治[4]・
金丸　佳矢[4]・山口　弘誠[5]・村瀬　公崇[6]・中川　勝広[4]

[1]鈴与建設株式会社（〒424-0825 静岡県静岡市清水区松原町5-17）

[2]静岡県庁（〒420-8601 静岡市葵区追手町9-6）

[3]山梨大学　総合研究部工学域土木環境工学系（〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11）

[4]情報通信研究機構　電磁波研究所（〒184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1）

[5]京都大学　防災研究所（〒611-0011　京都府宇治市五ケ庄）

[6]京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻（〒612-8106 京都市西京区京都大学桂）

＊ E-mail: *ksohma@yamanashi.ac.jp*

近年局所的な豪雨による被害が多発しており，豪雨の要因となる大気下層の水蒸気を高空間解像度かつ広い範囲で観測する手法が求められている．本研究では先端レーダ雨量計等を用いた豪雨集中観測が行われている神戸市において，地上デジタル放送波を用いて夏季晴天日（2019年8月2日）の水蒸気量変動を推定し，気象観測と比較した．観測点に近い地デジ放送波の反射体（peak1）について伝播遅延量変動を気象観測値から推定される値と比較したところ，0.8を超える高い相関が得られた．またpeak1と観測点から遠い反射体（peak2）とで伝搬遅延量が上昇する時間に違いが見られ，風向観測値の解析と併せて晴天日における水蒸気を含んだ南西からの海風による局所的な水蒸気変動を反映していると考えられる．

Key Words : *water vapor, digital terrestrial broadcasting waves, keihanshin region, sea breeze*

1. はじめに

近年，局所的で激しい豪雨による被害が多発しており，その軽減が急務となっている．豪雨の要因となる大気下層の水蒸気量分布の観測は豪雨予測にとって重要だが，広い範囲にわたって細かな空間スケールで観測することは困難な課題であった．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を推定する手法を開発[1]し，首都圏[1), 2)]・九州地方[3)]適用と検証が始まっている．そこで，先端レーダ雨量計等を用いた豪雨集中観測が行われている京阪神地域においても水蒸気量変動推定を行い，複数の測器を組み合わせた検討を通じて推定手法を発展させることが期待される．

以上を踏まえて本研究では，地デジ放送波を用いて神戸市における夏季晴天日の水蒸気量変動を推定し，気象観測と比較して，局所的な水蒸気変動を捉えられているか検討する．

2. 地デジ放送波の観測と水蒸気量推定手法の概要

地デジ放送波の観測（受信）は兵庫県神戸市の須佐野中学校屋上で行い，本研究では摩耶山送信局（サンテレビ）からの放送波を使用する．本研究では観測点及び電波塔の時計誤差に起因する位相雑音を相殺するために反射法を用いる．反射法では放送局から直接受信する直達波と，反射体から反射する反射波を観測し比較して位相雑音を相殺する[1)]．

反射体については，花土ら[3)]と同様に直達波に対する反射波の遅延時間から送信局と観測点を焦点とする楕円体が地表と接する線を出力し，地理院地図[注1)]とGoogle Earth Pro[注2)]を用いて航空写真による建物形状と比較して特定した．観測点に反射体が近い順にpeak1，peak2の反射波を抽出し，観測された地デジ放送波の位相変動量（反射波の位相から直達波の位相を引いたもの）から，

単位距離当たりの伝搬遅延量[s/m]を算出する[4].

3. 気象観測の概要

気象観測は須佐野中学校屋上と神戸市長田区の五位の池小学校屋上で行った．須佐野中学校屋上では気象測器としてGILL社製小型気象観測システムMaxiMetGMX600を用い，1秒ごとの気温，相対湿度，気圧，風向，風速，降水強度を屋根面から約1.5 mの高度で観測し，前10分平均値を解析に使用する．風向，風速については須佐野中学校屋上に加えて，五位の池小学校屋上で屋根面から約3.9 mの高度で観測（Vector Instruments製風向計W200P及び三杯式風速計A100L2）した前10分平均値，「環境省大気汚染物質監視システムそらまめくん」による観測データ（1時間値）[注3)]も併せて用いる．本研究で今回使用するデータは兵庫南，長田で観測測定が行われている風向，風速のデータを使用する．各観測点の位置を図1に示す．

本研究ではKawamura et al.[1)]と同様に，気象観測データの気温，気圧，相対湿度から理論式（Bevis et al.[5)] 等）を用いて伝搬遅延量を算出する．水蒸気量の変動に注目するために，算出した伝搬遅延量について各時刻における日平均値からの差（伝播遅延量変動）を求めて比較した．

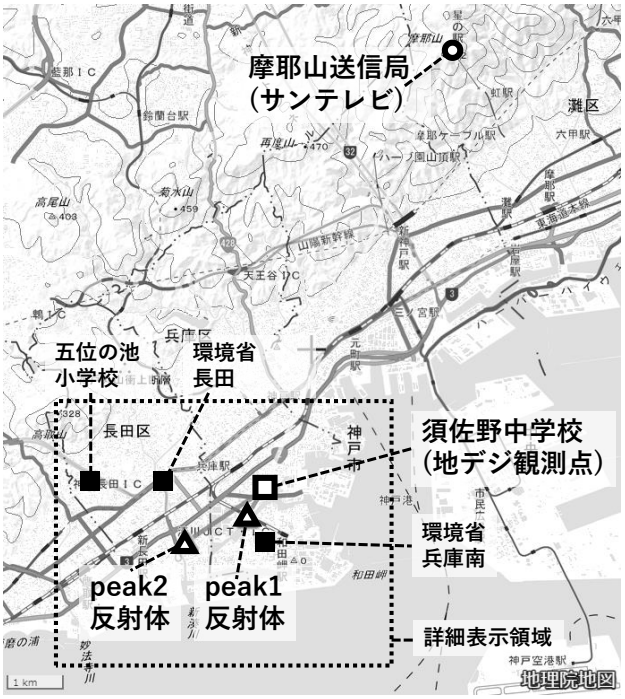


図-1 地デジ送信局と観測点，反射体の位置．

4. 伝播遅延量変動の推定と比較

本研究では夏季晴天日（2019年8月2日）を対象として検討を行った．地デジ放送波から算出されたpeak1の伝搬遅延量変動（日平均値との差）を須佐野中学校屋上の気象観測から理論式を用いて算出した値と比較した．気象観測について21時以降が欠測であったため，比較は0時から21時までについて行い，相関係数を求めたところ0.875と高い結果となった．

peak1とpeak2の伝搬遅延量変動を比較すると，上空へ輸送される等により日中に減少した伝搬遅延量が，15時頃にpeak2で先に上昇をはじめ，次いで15時15分ごろにpeak1が上昇を始めている（図2）．15時の風向は須佐野中学校，五位の池小学校，環境省兵庫南，長田ともほぼ南西からの風であった（図3，図4）．水蒸気が南西からの海風によって共住されて伝播遅延量が上昇していると考えると，海風が海岸から近い順にpeak2の反射体，peak1の反射体と通過したことが，peak1とpeak2とで伝播遅延量が上昇する時間に差が生じた原因と考えられる．

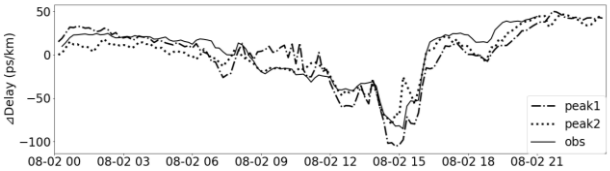


図-2 2019年8月2日の地デジ放送波から算出した伝搬遅延量変動（一点鎖線：peak1，破線：peak2）と気象観測値（須佐野）から算出した伝搬遅延量変動（細実線）の時系列．縦軸はピコ秒/km，横軸は時間（日本標準時）．

5. まとめ

本研究では神戸市を対象に夏季晴天日について地デジ放送波を用いた水蒸気量変動推定を行い，結果を観測値と比較して検討した．反射体が観測点に近いpeak1について伝播遅延量変動を観測値から推定される値と比較したところ，0.8を超える高い相関が得られた．またpeak1とpeak2とで伝搬遅延量が上昇する時間に違いが見られた．15時には4つの観測点で海風とみられる南西からの風が観測されており，水蒸気を含んだ海風がより海岸近くに位置するpeak2の反射体を通過しその後peak1の反射体を通過したことが伝播遅延量が上昇する時間差が生じた原因と考えられる．このことから神戸市における晴天日における局所的な水蒸気変動が捉えられていると考えられる．今後は伝播遅延量から水蒸気圧等への変換，雨天日についても検討を行うことが必要である．

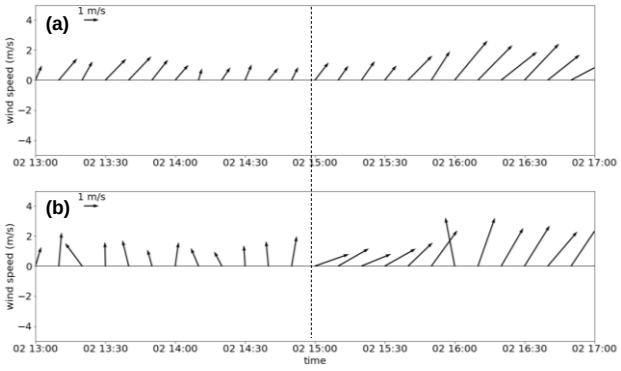


図-3　2019年8月2日13時～17時の須佐野中学校(a)と五位の池小学校(b)における風速ベクトルの時系列．南から北へ向かう風を上向きとした角度は風向，矢印の長さは風速を表す．点線は15時を表す.

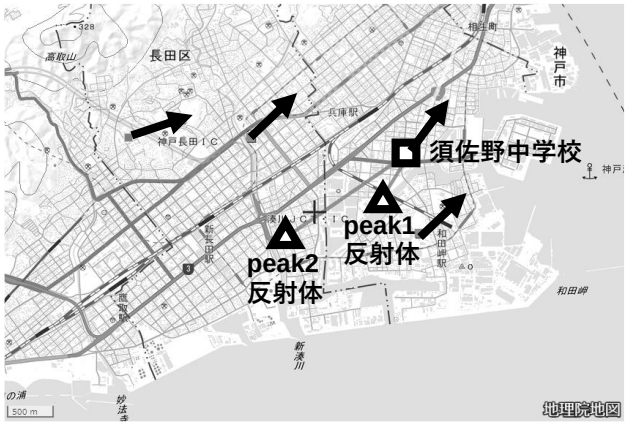


図-4　2019年8月2日15時における各観測点における風向（詳細表示領域を表示）．南から北へ向かう風を上向きとした角度は風向を表す.

謝辞：本論文の主要部分は山梨大学工学部土木環境工学科　松本楓土氏の卒業論文研究において作成されました．本研究では国立環境研究所「環境数値データベース」大気環境時間値データファイル，地理院地図，京都大学生存圏データベースによって収集・配布されたデータを利用させていただき，山梨大学　菊池恵里花氏，宮沢直季助教，大槻順朗助教よりご助言をいただきました．また，鈴与建設株式会社による研究助成，科研費　基盤研究（B）19H02246，20H02258，19H01378，名古屋大学 HPC 計算科学連携研究プロジェクト，「富岳」機動的課題（課題番号：hp210291）の支援を受け実施されました．ここに感謝の意を表します.

NOTES

注1) 地理院地図: https://maps.gsi.go.jp, 2023 年 7 月 16 日閲覧.

注2) Googe Earth Pro: https://support.google.com/earth/answer/21955?hl=ja, 2023 年 7 月 20 日閲覧.

注3) 環境省大気汚染物質広域監視システム　そらまめくん: https://soramame.env.go.jp/, 2023 年 7 月 20 日閲覧.

REFERENCES

1) Kawamura S., Ohta H., Hanado H., Yamamoto M. K., Shiga N., Kido K., Yasuda S., Goto T., Ichikawa R., Amagai J., Imamura K., Fujieda M., Iwai H., Sugitani S., and Iguchi T. (2017): Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves, *Radio Sci.*, Vol. 52, pp.367-377.

2) 山口弘誠, 村瀬公崇, 花土弘, 金丸佳矢, 川村誠治, 相馬一義, 中北英一: 地デジ放送波と GNSS を用いた積乱雲における対流圏中層水蒸気が降水増幅に与える影響, 京都大学防災研究所, Vol. 64 B, pp.187-207, 2021. [Yamaguchi K., Murase K., Hanado H., Kanemaru K., Kawamura S., Souma K., Eiichi N.: Impact and Indexing of Water Vapor at Middle-Level around Convective Clouds on Rainfall Enhancement by Using Digital Terrestrial Broadcasting Wave and GNSS, DPRI Annuals, Kyoto University, Vol. 64 B, pp.187-207, 2021.]

3) 花土弘, 金丸佳矢, 川村誠治, 太田弘毅, 中川勝広, 北井信則, 比留間利通, 佐々木歩, 渡辺琢也, 森良輔, 松村喜修, 野田一善, 清水慎吾: 地デジ放送波を用いた地表付近の水蒸気量観測－首都圏観測網の整備と九州実証実験への準備状況－, 日本気象学会 2020 年度秋季大会講演予稿集, OB-21(P1P), p.180, 2020. [Hanado H., Kanemaru K., Kawamura S., Ohta H., Nakagawa K., Kitai N., Hiruma T., Sasaki A., Watanabe T., Mori R., Matsumura Y., Noda K., Shimizu S.: Water vapor observation near land surface using digital terrestrial broadcasting waves – development of an observation network in the Tokyo metropolitan area and preparations for demonstration experiment in Kyushu, : preprints of the MSJ annual scientific meetings (autumn), OB-21(P1P), p. 180, 2020.]

4) 松本楓土: 地デジ放送波を用いた神戸市における水蒸気量推定手法の検討, 山梨大学卒業論文, p.44, 2023. [Matsumoto F.: A study of water vapor estimation method in Kobe city using digital terrestrial broadcasting waves, *Graduation Thesis, University of Yamanashi*, p. 44, 2023.]

5) Bevis, M., Businger S., Chiswell S., Herring T. A., Anthes R. A., Rocken C., Ware R. H.: GPS Meteorology: Mapping Zenith Wet Delays onto Precipitable Water. J. Appl. Meteor. Climatol., Vol. 33, pp.379–386, https://doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033<0379:GMMZWD>2.0.CO;2. , 1994.