

水蒸気プロファイラによる Wet Path Length の推定

国立天文台名誉教授 川口則幸

1. まえがき

大気中の水蒸気は通過する電波を遅延（屈折）させ、VLBI 測地計測や位置天文計測に大きな影響を与える。遅延だけでなく、大気中の水蒸気は電波を吸収し、電波天文観測における電波強度の校正にも影響する。

大気中の水蒸気量は GPS 測地観測の EPL（Excess Path Delay）から天頂大気中の可降水量（mm）として計測されている。可降水量を天頂大気遅延に変換し、仰角補正を行って対象天体方向における大気遅延量を計算し、測地 VLBI 観測や位置天文観測の補正として使用されている。しかし、天頂から任意の仰角に変換する際には、均一・層状大気を仮定した「SecZ 補正」が行われるが、これは必ずしも真の大気遅延とはならない。

そこで、観測するアンテナのビーム内に含まれる水蒸気の柱密度を正確に求め、それから大気の屈折や遅延を直接導き出すことが望まれる。水蒸気ラジオメータはそのために世界の各機関で開発が進められている。我が国では 1980 年代に電波研究所鹿島において水蒸気ラジオメータが開発され（川口、黒岩、論文化されていない）、日米共同 VLBI 実験で大気遅延の補正が試みられた。しかし、かえって測地残差を増やす結果となり、その後の開発はなされていない。世界では引き続き大気遅延の補正を水蒸気ラジオメータのデータで行うことが継続され、近年では一部成功の報告がなされている [1][2]。また 2015 年秋の天文学会においても高エネルギー加速器研究機構で水蒸気吸収スペクトルの計測の成功が報告されている（KUMODeS） [3]。

2. 世界の現状

ドイツ（図 1） [1]、オンサラ（図 2） [2] で水蒸気ラジオメータが開発され、大気遅延の補正が試みられている。いずれの場合も 22 GHz 帯の水蒸気の吸収線付近の電波放射を正確に計測して大気中の水蒸気量の直接計測を行っている。それぞれの計測結果を図 3 と図 4 にしめす。また、ヘイスタック観測所では VLBI で得られたFRINGE位相との比較を行い [4]、良い位置を得ている（図 5）。いずれのラジオメータも 22 GHz 帯の信号を IF 帯に周波数変換して大気輻射輝度温度を計測している。

3. 新ラジオメータの開発提案

KEK で開発した「KUMODeS」と国立天文台が開発した超高速サンプラを組み合わせたフルデジタル型の水蒸気輝線計測装置の開発がはじめられた（図5）。



図1 ベルン大学（ドイツ）の水蒸気ラジオメータ

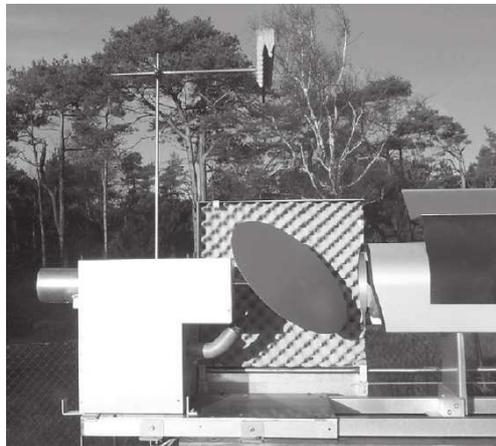


図2 オンサラ（スウェーデン）の水蒸気ラジオメータ

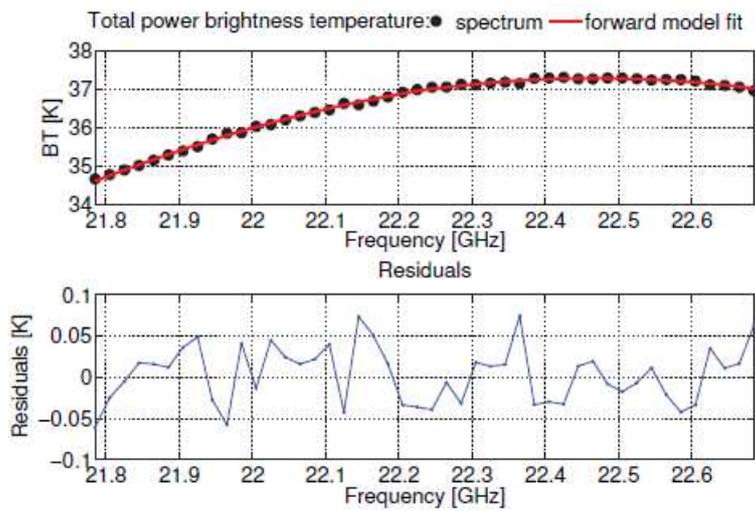


図3 ベルン大学の WVR で計測された水蒸気ラインプロファイル

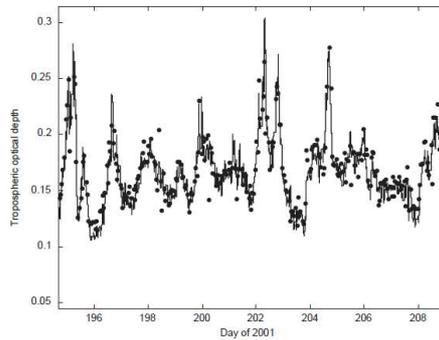


図4 オンサラでの計測結果（図中黒丸印は実測値、実線は計算値）

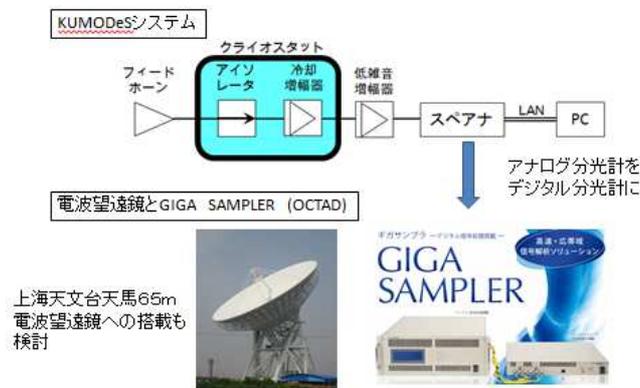


図5 KEK と NAOJ の共同開発計画

- [1] R. Bleish, N. Kämpfer, A. Haefele, Retrieval of tropospheric water vapor by using spectra of a 22 GHz, *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 1891–1903, 2011
- [2] Peter Forkmanan, Patrick Eriksson, Anders Winnberg, The 22 GHz radio-aeronomy receiver at Onsala Space Observatory, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 77 (2003) 23– 42
- [3] 長崎岳人¹, 田島治¹, 荒木健太郎², 石元裕史², 小南欽一郎³, ¹高エネルギー加速器研究機構 CMB²気象庁気象研究所³野村證券, V112a 電波観測技術を応用した雲発生予測システムの開発—18–32GHz 帯試作機による大気水蒸気量観測試験、2015年日本天文学会秋季年会
- [4] David A. Tahmoush and Alan E. E. Rogers, Correcting atmospheric path variations in millimeter wavelength very long baseline interferometry using a scanning water vapor spectrometer, *Radio Science*, Volume 35, Number 5, Pages 1241-1251, September-October 2000