

GPS,VLBIを用いた地球温暖化に伴う水蒸気量変化の推定及び考察

理学部 地球科学科 宇宙測地学研究室 4年 吉田 清人

1. 序論

近年、地球温暖化に伴う異常気象が大きな問題となっている。

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) WG1の第四次評価報告書によると、気候システムの温暖化に疑う余地はないとしている(第1図)。温暖化による大気温度の上昇は飽和水蒸気圧の増加を意味するため、湿潤大気遅延は長期的にみると増加傾向にある(Trenberth et al., 2007)。また水蒸気は二酸化炭素以上の温室効果を持ち、さらに大気中の総水蒸気量の把握は海水と陸水の水収支を議論する上でも重要である。

水蒸気は時間空間的な分布が複雑で、地表で測った気象要素から水蒸気遅延を十分な精度で求めることは難しかった。超長基線電波干渉法(VLBI: Very Long Baseline Interferometry)や全地球測位システム(GPS: Global Positioning System)などのマイクロ波を利用した測位では、対流圏や成層圏の中性大気により電波の遅延を受ける。大気遅延が天頂方向の衛星や電波源では小さく傾角が低くなるほど大きくなることを利用すれば、さまざまな方向の衛星を観測することによって天頂大気遅延を局位置等と同様に最小二乗推定することができる。これより得られる湿潤大気遅延量は可降水量に比例し、GPSやVLBIの観測より大気中の水蒸気を推定することができる。

GPS、VLBIは地殻変動観測のため連続し、安定した観測を行っており、特に国土地理院が運用している日本の稠密連続GPS観測網(GEONET)は世界有数の高い観測点密度を持っており、その生データやデータ解析結果が一般研究者にオンラインで提供されている。またVLBIは1980年代からの長い期間運用されており、そのデータ解析結果も国際VLBIサービス(IVS)を通じて一般に提供されている。

本研究では、これらのGPS、VLBIで得られた湿潤遅延量のデータを取得し、それらから可降水量の時間変化を推定し、地球温暖化による気温変化等との関わりを考察する。

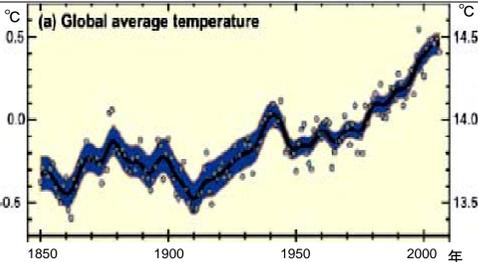


図1: 世界平均気温の推移、(丸): 各年の値、(曲線): 10年平均値、(青帯): 不確実性の幅、縦軸左は1961年~1990年の平均との差 (Trenberth et al., 2007)

2. 解析方法

GPS、VLBIの観測に用いられるマイクロ波は、地表付近で電離層や対流圏に遭遇し、マイクロ波の伝播速度や経路が変化する。電離層の影響は遅延時間の周波数依存性を利用して補正できるが、周波数依存性のない中性大気による対流圏遅延は残るので、未知パラメータとして観測データから推定する。

ZHDは、観測点の緯度 ϕ 、楕円体高 H [km]における重力加速度の違いの効果を考え、

$$ZHD = (2.2779 \pm 0.0024) \frac{P_0}{f(\phi, H)} \quad (f(\phi, H) = (1 - 0.00266 \cos 2\phi - 0.00028H))$$

と表すことができる(Elgered et al., 1991)。

大気全体の遅延量をパラメータとして推定し、乾燥大気による遅延ZHDをひくことで水蒸気による天頂方向の遅延量ZWDは求まる。

ZWDは比例定数 Π を用いてPWVに変換でき、

$$\Pi = \frac{10^5}{R_v \left(k_2 + \frac{k_3}{T_m} \right)}, \quad T_m = \frac{\int \frac{P_v}{T} dz}{\int \frac{P_v}{T^2} dz}$$

と定義される。(Askne and Nordius, 1987)

R_v は水蒸気の気体定数、 T_m は観測点上空の加重平均気温を表している。

本研究では、加重平均気温を260[K]として比例定数 Π を0.15で一定とした。

トレンドを推定するための時間変化モデルは、バイアス、トレンド、年周変化、半年周変化を含む形とし、最小二乗法を用いた。

4. 考察

・Schuhらの研究(2003)によると、1984年~2002年のWetzell局での可降水量の変化は0.1[mm/year]以上であると推定し、これを有意なものであるとしたが、本研究ではWetzell局での変化量推定値は0.0011[mm/year]となり、有意な値は得られなかった。しかし、図2のように、可降水量変化が減少から増加に変わっているというシグナルを見つけた。

・地上観測からの物理モデルとの比較では、(Trenberth et al., 2007)より、最大大気容水量(大気が保持できる水蒸気の大気量)は気温1°Cごとに7%増えるため、最大大気容水量は25[mm]程度であるため、1°Cの気温上昇で1.75[mm]水蒸気の大気量が増える計算になる。可降水量の増加は最大量変化とほぼ一致すると仮定し、1.75[mm/°C]とする。

VLBIによる測定では、1984年~1992年の期間は2.598[mm/°C]、1992年~2005年の期間は-1.893[mm/°C]、1995年~2005年の期間は1.737[mm/°C]となり、1995年~2005年の期間ではモデルとよく一致した。その他の期間でモデルと合わなかった原因としては、観測点の数が少ない、大きな誤差を含む観測点が存在するなどの理由が考えられる。

・GPSでは、特に2000年~2008年の期間での可降水量の上昇が目立った。関東~九州にかけての広い地域で可降水量変化は大きな値になっている。また、都市部に変化が大きい点が見られる。

緯度による気温変化、可降水量変化が異なった理由はわからないが、全体としてのトレンドは期間ごとにはあっており、空間的な要因が存在している可能性がある。

1996年~2008年、1998年~2008年の変化は穏やかなので、2000年以降の日本付近の水蒸気の変化量は増加傾向にあると考えられる。

3. 推定結果

14箇所のVLBI観測点について、IVSの再解析データより1984年~1992年(5観測点)、1992年~2004年(10観測点)、1995年~2004年(12観測点)の3つの期間、観測点数で可降水量変化の推定を行った。気温については、NCEP(National Centers for Environmental Prediction)のデータから、最も近い点の気温を使用した。

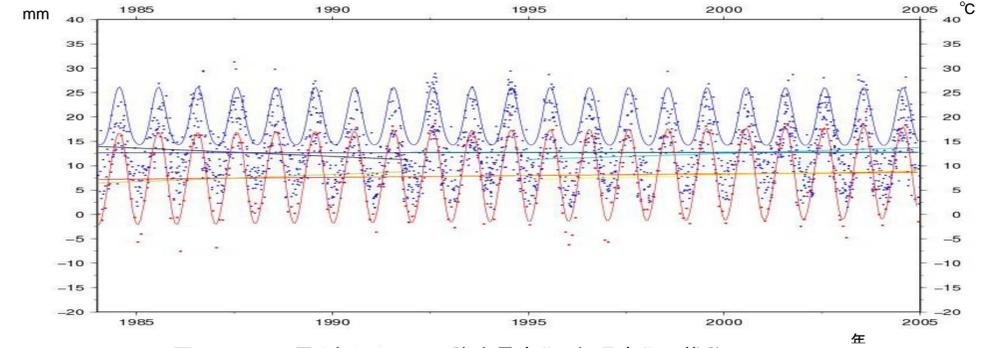


図2: Wetzell局(ドイツ)での可降水量変化、気温変化の推移

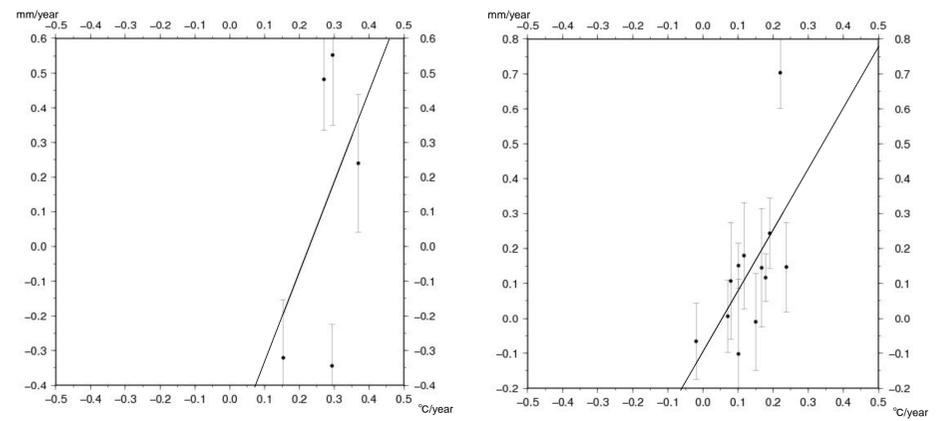


図3: VLBIによる可降水量変化量と気温変化の相関、(左)1984年~1992年、(右)1995年~2004年

1984年~1992年の期間は相関係数が0.47、傾きは2.598。1992年~2004年の期間は相関係数が-0.31、傾きは-1.893。1995年~2004年の期間は相関係数が0.61、傾きは1.737となった。

GEONET (GPS Earth Observation NETwork) の大気遅延量ZTDのデータ、気象庁のデータ、札幌、仙台、東京、長野、名古屋、大阪、広島、高知、熊本、那覇の10箇所の月平均気温を用いて可降水量変化の推定を行った。

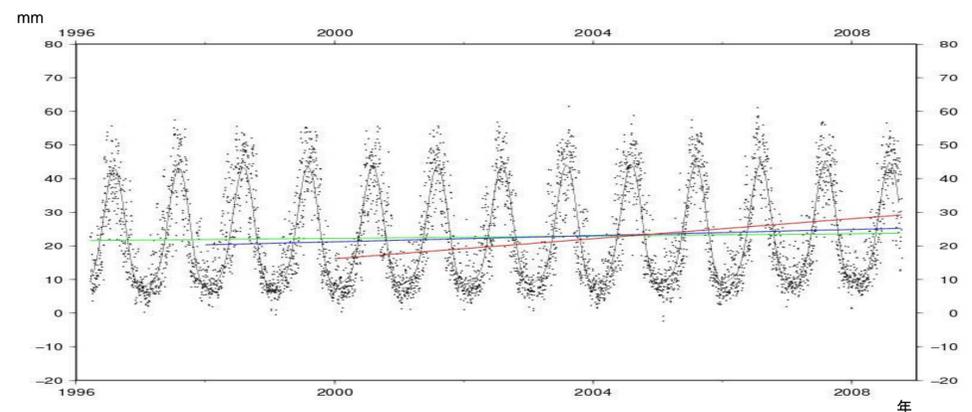


図4: 宝塚における可降水量変化の推定、(点): 可降水量推定値、(黒曲線): バイアス、トレンド、年周変化、半年周変化を含んだ近似曲線、(緑線): 1996年~2008年のバイアス、トレンドを含んだ近似曲線、(青線): 1998年~2008年のバイアス、トレンドを含んだ近似曲線、(赤線): 2000年~2008年のバイアス、トレンドを含んだ近似曲線。

1996年からよりも1998年から、さらに2000年からと傾きが急になっている。

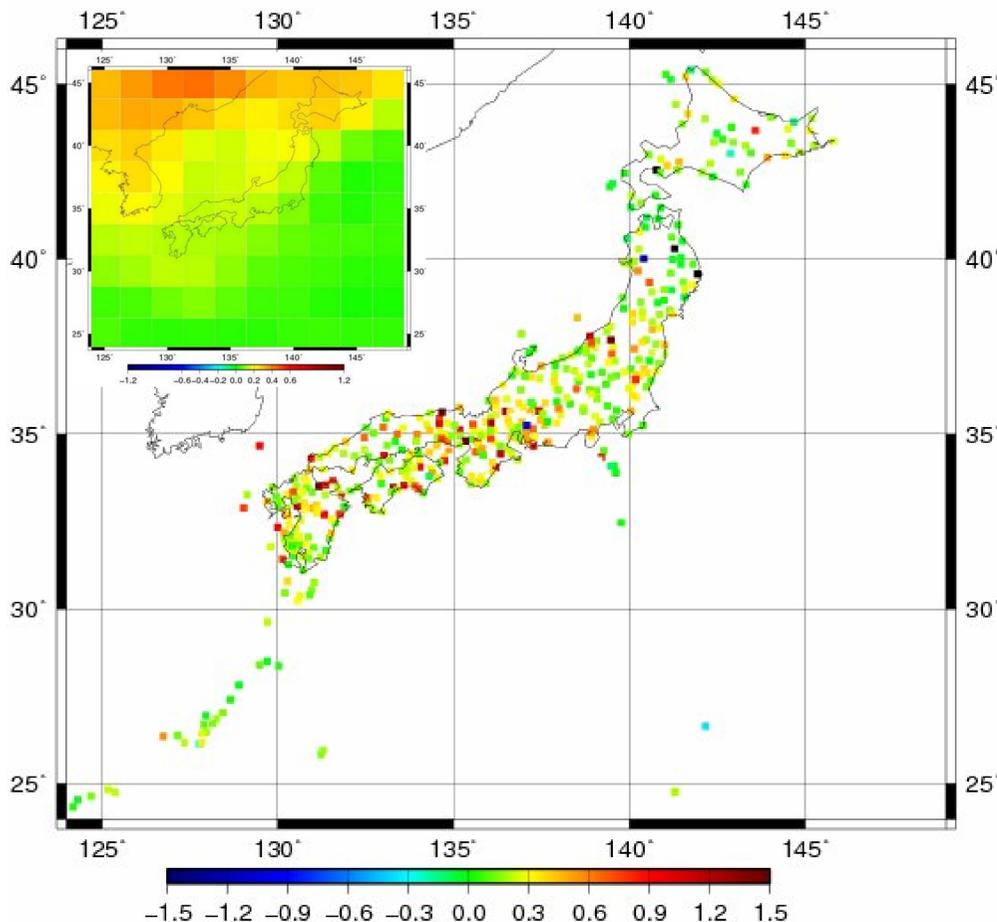


図5: 2000年~2008年の可降水量変化[mm/year]、(左上): NCEPによる2000年~2008年の気温変化[°C/year] 気温変化は高緯度ほど上昇量が大いだが、可降水量変化は関東以南の本州、四国、九州で上昇量が大い。

5. 参考文献

- [1]H.Schuh,J.Boehm (2003),Determination of tropospheric parameters by VLBI as a contribution to climatological studies,Institute of Geophysics IGG,University of Technology, 1040 Vienna, Gusshausstrasse 27-29,Austria
- [2] Kevin E. Trenberth (USA), Philip D. Jones (UK) et al (2007), IPCC Fourth Assessment Report, Working Group I Report "The Physical Science Basis",Chapter3 Observations: Surface and Atmospheric Climate Change,3.4.2 Water Vapor pp271~273
- [3]大谷竜,内藤勲(1998),GPS可降水量の物理と評価,気象研究ノート192号,15~33,日本気象学会
- [4]水野亮,長濱智生,大村純子,野田ゆかり(2005) 地球温暖化50のなぜ,太陽出版株式会社