

## 黄土高原南部における蒸発散量の季節変化

\*檜山 哲哉<sup>1</sup>・藤波 初木<sup>1</sup>・李 薇<sup>1</sup>・西川 将典<sup>1</sup>・高橋 厚裕<sup>2</sup>・樋口 篤志<sup>3</sup>・  
福嶋 義宏<sup>2</sup>

- 1: 名古屋大学・地球水循環研究センター
- 2: 総合地球環境学研究所
- 3: 千葉大学・環境リモートセンシング研究センター

### 1. はじめに

半乾燥域での蒸発散量の推定は、飲料水や農業用水等の水資源評価にとって非常に重要である。黄土高原南部では小麦やリンゴ、トウモロコシ等の耕作が空間的にランダムな作付けで行われており、均一地表面を仮定した従来の熱収支モデルや比較的低高度で得られた風速・気温・湿度等の微気象データを用いた蒸発散量の推定には信頼性がない。そこで我々は、中国・黄土高原南部の長武試験地において 30m の観測タワーを設置し、水・熱輸送量の季節変動と年々変動を決定するための大気境界層観測を 2004 年 6 月から開始した。水・熱輸送量の計測は 30m タワーを用いて異なる 3 高度で行っているため、地表面状態の不均一性に起因した風上領域的に異なる蒸発散量が得られた。しかしながら、最も測定高度の高い 30m での計測であっても、風上側数 km の領域での蒸発散量しか得られず、空間代表性に問題が残った。そこで、大気境界層観測から得られた長武試験地周辺での蒸発散量とともに、客観解析データを用いた大気水収支法による数百 km スケールでの蒸発散量を求め、両者を比較し、両者の妥当性に関する考察を行った。

### 2. データと解析方法

#### 2.1 長武試験地における蒸発散量の決定方法

中国・黄土高原南部の代表的な土地利用条件下として、長武試験地（中国科学院・水土保持研究所・長武黄土高原農業生態試験所；N35° 12′，E107° 40′）における蒸発散量を計算した。本試験地では、黄河プロジェクトの一環として 30m タワーを用いた地表面フラックスに関する大気境界層観測を、2004 年 6 月から開始している。本研究では、高さ 32m において超音波風速計により測定された鉛直風速と、同高度のオープンパス型 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ガス分析計により測定された水蒸気密度の乱流変動量の両データから、渦相関法により水蒸気輸送量を計算した。渦相関法の平均化時間は 30 分である。30 分毎に計算した潜熱輸送量を蒸発散量に換算し、その後、日蒸発散量(mm day<sup>-1</sup>)を求めた。最終的には、10 日平均での日蒸発散量として、下記で大気水収支法により推定した蒸発散量と比較した。

#### 2.2 大気水収支法による蒸発散量の推定方法

大気水収支法による蒸発散量の推定には、NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research) 客観解析データ (Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001) と、GPCP (Global Precipitation Climatology Project) による降水量データを用いた。対象とした領域は、緯度方向で N32.5° ~ N37.5°、経度方向で E105° ~ E110° (5° x 5° の領域) である。長武試験地はこの領域のほぼ中心に位置することになる。なお、NCEP/NCAR 客観解析データと GPCP 降水量データは、ともに 2.5° 毎にデータが公開されている。

大気水収支は、下記の(1)式により表される。

$$E = P + \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot Q \quad (1)$$

ここで、 $E$ は蒸発散量、 $P$ は降水量、 $\frac{\partial W}{\partial t}$ は可降水量の時間変化、 $\nabla \cdot Q$ は水蒸気の発散量である。 $P$ にはGPCPのデータを利用した。可降水量は対象とする領域において、地上から上空300hPaまでの大気カラム内の総水蒸気量（鉛直積分値）とした。また、 $Q$ は下記(2)式から算出した。

$$Q = \frac{1}{g} \int_{300hPa}^{Ps} q \cdot v dp \quad (2)$$

ここで $g$ は重力加速度である。 $\nabla \cdot Q$ は対象とした領域（N32.5° ~ N37.5° ・ E105° ~ E110°）の東西南北の境界から流入する水蒸気フラックスとして、下記により算出した。

$$\nabla \cdot Q = \frac{[(Q_e - Q_w) + (Q_n - Q_s)]}{S} \quad (3)$$

ここで、 $Q_e$ 、 $Q_w$ 、 $Q_s$ 、 $Q_n$ は、それぞれ東西南北の境界面からの水蒸気流入量であり、 $S$ は対象領域の面積（5° x 5°）である（図1）。

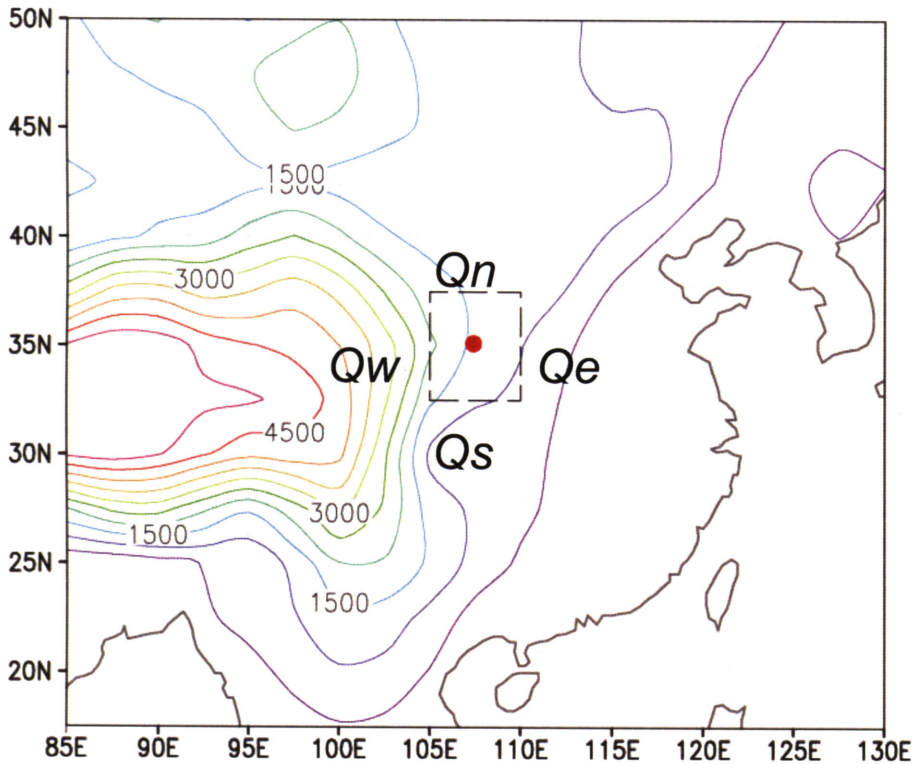


図1 大気水収支法による蒸発散量の推定の対象とした領域（点線で囲んだ領域）。赤丸は長武試験地を、等値線は標高(m)を示す。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 2004 年における蒸発散量の季節変化

長武における実測の蒸発散量と、大気水収支法で推定した黄土高原南部における蒸発散量の時系列での比較を、図 2 に示す。実測の蒸発散量は、観測を開始した 2004 年 6 月からのみ示されている。図 2 から明らかなように、大気水収支法で推定した蒸発散量は、その季節変化の傾向は実測の蒸発散量と同様の傾向を示すが、季節内の変動が大き過ぎる傾向にある。また、大気水収支法で推定された夏季～秋季の蒸発散量は、かなり過大評価である。これらの原因として、西方にチベット高原が存在することによって、NCEP/NCAR データから推定した水蒸気フラックス（収束・発散）に問題があるものと考えられる。したがって、大気水収支法を適用する際には、NCEP/NCAR データの使用は避けるべきであろう。今後は、ECMWF (European Climate Medium Weather Forecast) データを利用した同様の解析を行う必要があるだろう。

ちなみに、降水量データの妥当性を GPCP データと CMAP (Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation ; Xie and Arkin, 1997) とで比較した結果、図 1 の領域では、両者に大きな差異は無かった。

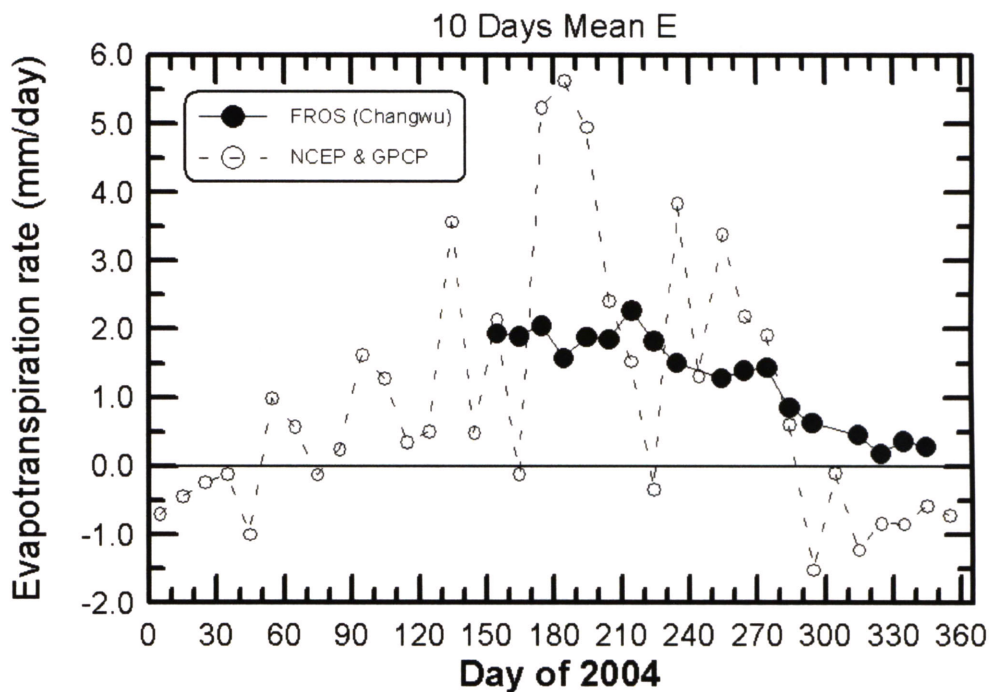


図 2 2004 年における蒸発散量の比較結果 (10 日間平均値)。黒丸 (FROS) は長武試験地で実際に測定された蒸発散量を、白丸 (NCEP & GPCP) は大気水収支法により推定された蒸発散量を、それぞれ示す。

#### 3.2 黄土高原南部への水蒸気流入に関する気候学的特徴

参考のために、黄土高原南部への水蒸気流入に関する気候学的特徴を把握しておこう。ここでは、大気水収支法と同様に、NCEP/NCAR データを用いて東ユーラシアにおける水蒸気の水平輸送量を、気候値 (1979 年 ~ 2003 年間の平均 : Climate shift 以降) と、2004 年の場合とに分けて、それぞれ 5 日間平均値として地図化した。

気候値 (1979 年 ~ 2003 年の平均) から得られた知見を要約すると、以下の 3 点が挙



げられる。

- ・ 7月5日～7月25日頃にかけて、黄土高原南部への水蒸気輸送が増加する。
- ・ 北方域からの水蒸気の流入は、基本的に希少である。
- ・ 水蒸気の起源は、ベンガル湾と南シナ海である。

大和田ら(2005)によれば、5月～7月におけるこの地域への水蒸気流入量の増加には、太平洋高気圧の中国内陸方向への張り出し方が関与している。

2004年の特徴としては、以下の4点が挙げられる。

- ・ 5月下旬～6月上旬には、ベンガル湾から水蒸気が流入していた。
- ・ 6月中旬には、北方域からも水蒸気が流入していた。
- ・ 7月20日～下旬にかけては、南シナ海起源の水蒸気が流入していた。この時期に、長武においては降水量が増加し、地表面が湿潤化した。
- ・ 上記期間以外には、水蒸気は基本的にベンガル湾から流入していた。

#### 4. まとめ

NCEP/NCAR 客観解析データと、GPCPによる降水量データを用いて大気水収支法により推定した黄土高原南部の蒸発散量は、季節変化の傾向としては、タワー観測からの蒸発散量と同様の傾向を示した。しかし、その変動は大き過ぎる傾向にあった。この原因として、NCEP/NCAR データの水蒸気フラックス（収束・発散）の問題が考えられた。

大気水収支法で推定された夏季～秋季の蒸発散量は、タワー観測からの蒸発散量よりも過大であった。今後は、NCEP/NCAR 客観解析データではなく、ECMWF データを利用した解析を行う必要がある。また、土壌水分量の実測に基づく貯留量変化の傾向を解析し、この地域の水収支の季節変化および年々変化の特徴を明らかにしていきたい。

#### 参考文献

- 大和田春樹・大森博雄・松本淳(2005): 中国黄土高原の降雨季における気流系の季節変化について, 地理学評論, 78, 534 - 541.
- Kalnay et al. (1996): The NCEP / NCAR 40-year reanalysis project, Bull. Am. Meteorol. Soc., 77, 437 - 471.
- Kistler et al. (2001): The NCEP / NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation, Bull. Am. Meteorol. Soc., 82, 247 - 267.
- Xie, P., and P. A. Arkin (1997): Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical model outputs, Bull. Am. Meteorol. Soc., 78, 2539 - 2558.