

半乾燥域に存在する灌漑が雲の発生に及ぼす影響

*川瀬 宏明・吉兼 隆生・原 政之 (地球環境フロンティア)

佐藤 友徳 (学振/東大気候システム)・木村 富士男 (地球環境フロンティア/筑波大 生命環境)

1 はじめに

地表面改変による雲や降水の変化を評価することは、地球規模・領域規模の水やエネルギー循環の観点から重要である。近年、都市化や灌漑、森林伐採、放牧といった人為的な土地改変が急速に進行している。中国北部、黄河中流域における巨大な灌漑域 (河套灌区) もその一つである (図 1)。灌漑域は周囲の半乾燥域との間で、大きな地表面状態のコントラストを形成する。

この黄河の灌漑域では、夏季の午後、雲の出現頻度が周辺域より低いことが統計的に指摘されている (Sato et al., 2007)。2005 年 8 月 4 日に衛星で観測された雲の分布を見ると、灌漑域上空で雲が発生していない様子が分かる (図 2)。Sato et al. (2007) は、地表面被覆の違いによって生じる局地循環がこの雲分布に大きく寄与すると考察している。

地表面状態の違いにより生じる対流や雲、降水に関しては、これまでも数値モデルを用いた数多くの研究がなされている (Chen and Avissar, 1994; Avissar and Liu, 1996; Lee and Kimura, 2001)。しかし、理想化した数値実験や理論的な解釈の研究が多く、実際の現象と結び付けた研究はほとんどない。

そこで本研究では、Sato et al. (2007) が典型日とした 2005 年 8 月 4 日とその前後 1 日 (3 日、5 日) の 3 日間を対象とし、実際の地形・気象条件を用いて数値実験を行うことで、灌漑が雲の発生に及ぼす影響を評価した。

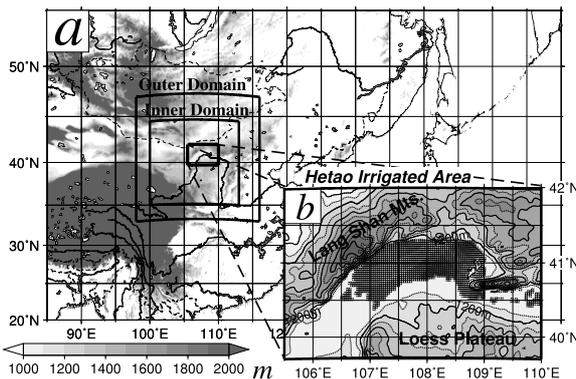


図 1: (a) 東アジアの地図とモデルの計算領域、(b) 解析対象とした黄河流域の河套灌区。ハッチをかけた場所がモデルの中で仮定した灌漑域。

2 使用データ・数値実験

静止気象衛星 GMS の可視画像と軌道衛星 TERRA、AQUA に搭載される MODIS を用いて雲の分布を調べた。

数値実験には NCAR 他で開発された、Advanced Research Weather Research and Forecasting (WRF) Model を使用した。2 重ネスティングを行い、解像度は外側が

15km、内側が 3km とした。モデルの計算領域を図 1a に示す。黄河の灌漑の影響を評価するために、モデルの中に仮定の灌漑域 (図 1b) を設定した。仮想灌漑域の土壌水分を変化させることで、感度実験を行った。土壌水分を固定した実験を 5 本 (体積含水率が 0.1、0.2、0.3、0.4、飽和)、灌漑の影響を考慮せずに、周囲と同様に変動する土壌水分を用いた実験を 1 本行った。土壌水分を固定した灌漑域以外では、初期値に NCEP の土壌水分を用いて、毎ステップ計算した。計算は 2005 年 7 月 1 日から始め、約 1ヶ月間を地表面状態を安定化させるためのスピニアップ期間とした。解析は 8 月 3 日から 5 日の 3 日間を対象に行った。

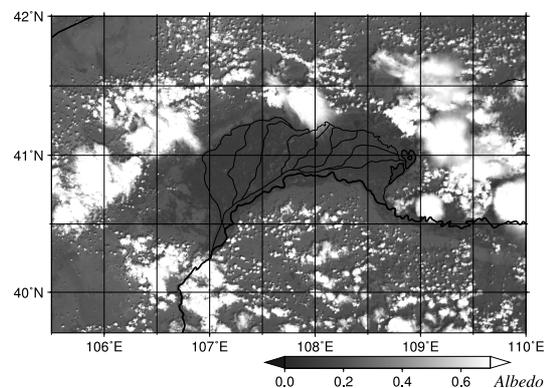


図 2: AQUA/MODIS で観測された灌漑域周辺の雲の分布 (2005 年 8 月 4 日 14 時 10 分)。黒線が河川、太い黒線が黄河を示す。

3 結果・考察

仮想灌漑域に湿潤な土壌 (体積含水率 0.4) を適用した実験 (以下、湿潤土壌実験) で再現された 8 月 4 日 15 時の雲の分布を図 3(上) に示す。灌漑域の周辺では雲が発生しているが、灌漑域では雲が発生していない。これは衛星で観測された雲分布と一致する (図 2)。灌漑域の北の雲は標高の高い山岳に対応して発生している。一方、灌漑域の南側の乾燥域では、灌漑域との標高差がほとんどないにもかかわらず雲が発生している。仮想灌漑域に周囲と同様の乾燥した土壌を用いた実験 (以下、乾燥土壌実験) では、灌漑域の上空にも雲が発生した (図 3(下))。このような傾向は 8 月 3 日と 5 日においても再現された。

湿潤土壌実験では、灌漑域での顕熱フラックスが小さく、周囲の乾燥域と灌漑域との間に明瞭なコントラストが生じている。MODIS から灌漑域と周囲の乾燥地との間で明瞭な温度コントラストが観測される (図省略)。顕熱フラックスが小さい灌漑域では、混合層の発達抑制され、雲が発生しにくくなると考えられる。

図 4 に 3 日平均 (8 月 3 日から 5 日) した、12 時の鉛直風の緯度-高度断面図を示す。鉛直風は 107.5 度から 108.5 度の間で平均し、さらに水平方向に 5 グリッドの移動平均をかけている。

湿潤土壌実験の鉛直流を見ると、灌漑域の上空に顕著な下降流が見られる(図 4a)。また、灌漑域の北の山岳部と南の乾燥域には強い上昇流が見られる。この灌漑域の上空に発生する強い下降気流が、灌漑域の雲を抑制する主要因である。また、灌漑域の周囲の上昇流域は図 3(上)で雲が発生した場所とほぼ一致する。上昇流・下降流は、灌漑域と周囲の山岳域、乾燥域との間で起こる局地循環によって励起されたと考えられる。

一方、乾燥土壌実験では灌漑域の上空に顕著な下降流は発生しなかった。上昇流は山岳域の上空には見られるが、灌漑域と南の乾燥域の間には見られない。山岳が存在するにもかかわらず顕著な山谷風循環が発生しない原因としては、乾燥域の大きな顕熱フラックスが関係していると思われる。モデルの結果から見積もった混合層高度は約 2000m で、周囲の山々よりも高い。このため、乾燥土壌実験では山谷風循環が起りにくい状況にあったと考えられる。

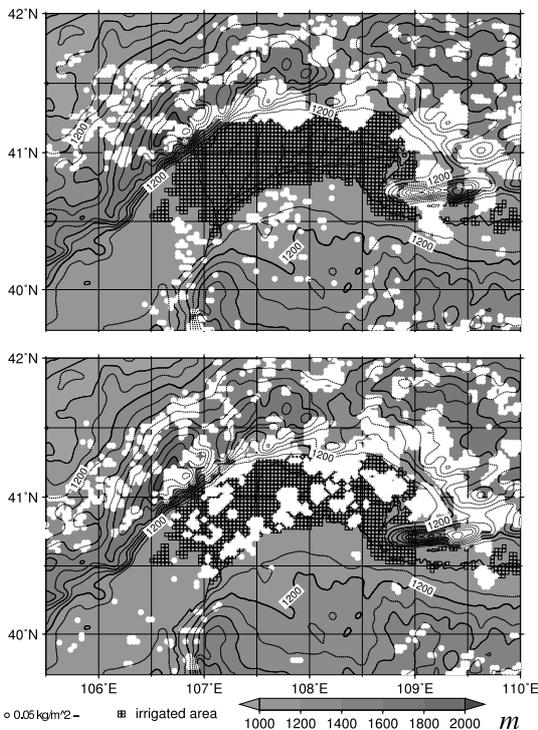


図 3: モデルによって計算された 8 月 4 日 15 時の雲の分布。(上) 湿潤な土壌を仮想灌漑域に与えた実験。(下) 乾燥した土壌を仮想灌漑域に与えた実験。鉛直積算雲水量が 0.05mm 以上のグリッドを雲が発生したグリッドとした。ハッチをかけた領域がモデルの中の仮想灌漑域。

4 まとめ

領域モデル WRF を用いて、黄河の大規模な灌漑域が周囲の雲分布に及ぼす影響を評価した。モデルの中に灌漑域を設定し、その場所の土壌水分を変化させることで感度実験を行った。灌漑域に湿潤な土壌を用いた実験では、観測同様、灌漑域の周囲に雲が発生したが灌漑域の上空に雲が出現しなかった。一方、灌漑域に乾燥した土壌を用いた実験では、灌漑域の上空にも周囲と同様に雲が発生した。

灌漑域に湿潤な土壌を用いた実験では、灌漑域の地表面温度が下がり顕熱フラックスが低下する。その結果、混合

層の高度が低下し雲が発生しにくくなる。また、周囲の乾燥域との間で顕熱フラックスのコントラストを形成する。

鉛直風に注目すると、灌漑域に湿潤な土壌を用いた実験では、灌漑域の上空で顕著な下降流が見られた。下降流は灌漑域と周辺地域との間で起こる局地循環によって励起される。この下降流によって、灌漑域上空の雲の発生が抑制されると考えられる。

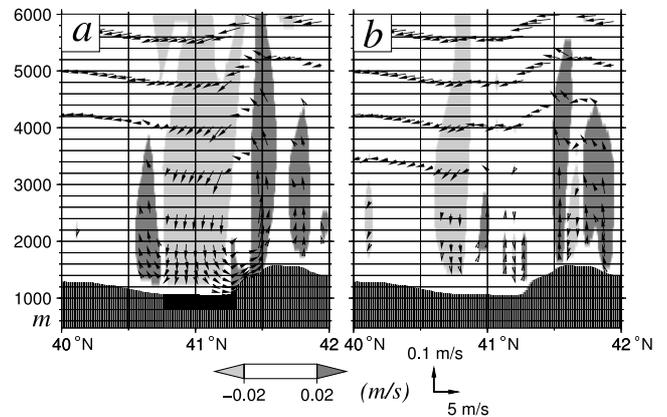


図 4: 3 日平均した 12 時の鉛直風の緯度-高度断面図。東経 107.5 度から 108.5 度で平均し、水平方向に 5 グリッドで移動平均をかけた。シェイドは鉛直風、ベクトルは鉛直風と南北風を示す。ベクトルは 5 グリッドごとにプロットし、鉛直風が 0.02m/s 以下、あるいは水平風が 0.15m/s 以下のものは除いた。地表面が黒い場所がモデルの中で仮定した灌漑域。(a) 灌漑域に湿潤な土壌を用いた実験、(b) 灌漑域に乾燥した土壌を用いた実験。

参考文献

- Avisar, R., and Y. Liu, 1996: Three-dimensional numerical study of shallow convective clouds and precipitation induced by land surface forcing. *J. Geophys. Res.*, **101**, 7499–7518.
- Chen, F., and R. Avisar, 1994: Impact of land-surface moisture variability on local shallow convective cumulus and precipitation in large-scale model. *J. Appl. Meteor.*, **33**, 1382–1401.
- Lee, S. H., and F. Kimura, 2001: Comparative studies in the local circulation induced by land-use and by topography. *Bound.-Layer Meteor.*, **101**, 157–182.
- Sato, T., F. Kimura, and A. Hasegawa, 2007: Vegetation and topographic control of cloud activity over arid/semiarid asia. *J. Geophys. Res.*, to be published.