

黄河流域の河套灌漑地域が夏季の雲の発生に及ぼす影響

川瀬宏明・吉兼隆生・原政之 (FRCGC)、佐藤友徳(CCSR)、
大澤慎吾 (ウェザーニューズ)・木村富士男 (FRCGC/筑波大生命環境)

1. はじめに

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。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。中国北部黄河中流域には、アジアで最大の灌漑域（河套灌区）が存在する（図 1）。河套灌区では、年降水量が 100mm から 120mm と非常に少ないにもかかわらず、黄河の水で灌漑を行うことで、トウモロコシや小麦、ひまわりなどが栽培されている。植生の多い河套灌区は、周囲の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。

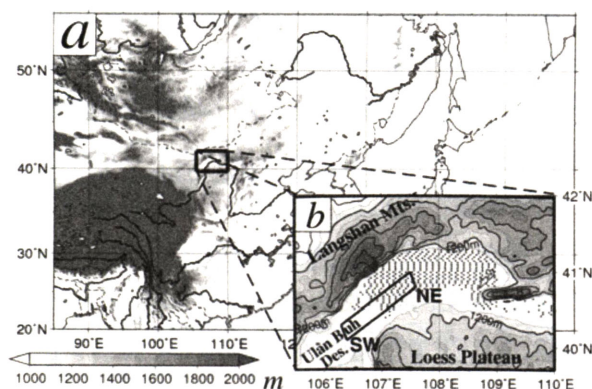


図 1. (a) 東アジアの地図。(b) 河套灌区周辺の地形。点でプロットした領域がモデルの中で設定した仮想灌漑域。

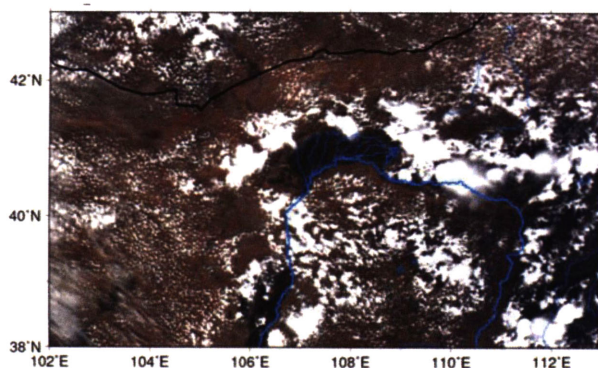


図 2. AQUA 衛星に搭載された MODIS で捉えられた 2005 年 8 月 4 日 14 時 10 分 (LST) の雲の分布。河套灌区は図の中心に位置する。青線が河川を表し、太い青線が黄河を表す。

河套灌区では夏季の午後、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)。衛星 AQUA に搭載された MODIS (Moderate Resolution Imaging

Spectroradiometer) で観測された 2005 年 8 月 4 日の雲の分布を見ると、灌漑域の周囲では雲が多く発生しているにもかかわらず、灌漑域の上空では雲が発生していない様子がわかる (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寄与すると考察している。

地表面が対流や雲、降水に及ぼす影響に関しては、これまでに数多くの研究がなされてきた (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、河套灌区周辺で典型的な雲分布が見られた 2005 年 8 月 4 日を対象に、実際の地形・気象条件を用いて数値実験を行い、灌漑が雲の発生に及ぼす影響を評価した。

2. 数値実験の概要

数値実験には NCAR 他で開発された、Advanced Research Weather Research and Forecasting (WRF) Model (Skamarock et al., 2005) を使用した。2 重ネスティングを行い、外側の解像度を 15km、内側の解像度を 3km とした。初期値・境界値には NCEP global tropospheric analysis data を用いた。灌漑の影響を評価するために、モデルの中に仮想的な灌漑域 (図 2b) を設定し、次の 2 つの数値実験を行った。第一に、仮想灌漑域の体積含水率を 0.4 (飽和に対して約 85%) に固定し、灌漑を仮定した実験 (SFC-WET)、第二に、仮想灌漑域の体積含水率を周囲の乾燥域と同様に与え、灌漑を仮定しない実験 (SFC-DRY)。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 ヶ月間をスピニング期間とした。

3. 結果・考察

図 3 にモデルによって再現された 8 月 4 日 14 時の雲分布を示す。仮想的な灌漑を仮定した SFC-WET では、灌漑域の周辺では雲が発生したが、灌漑域では雲が発生しなかった (図 3a)。これは衛星で観測された雲分布ともよく一致する (図 2)。特に、灌漑域と灌漑域の南西に存在する乾燥域との境界付近では、標高差がほとんどないにもかかわらず雲が発生した。一方、仮想灌漑域に周囲と同様の乾燥した土壌を用いた SFC-DRY では、灌漑域の上空にも雲が発生した (図 3b)。これは、衛星で観測された雲分布と大きく異なる。

モデルで計算された地表面温度を見ると、SFC-WET では灌漑域と周囲の乾燥域との間で大きな地表面温度のコントラストがあることがわかる (図 3c)。灌漑域の北部の山岳部では地表面温度が低い、これは雲や降水によるものである。一方、SFC-DRY では地表面温度の差がほとんど見られなかった (図 3d)。これらの結果から、図 3a、b の雲分布の差は地表面状態の違いが大きく影響していると考えられる。

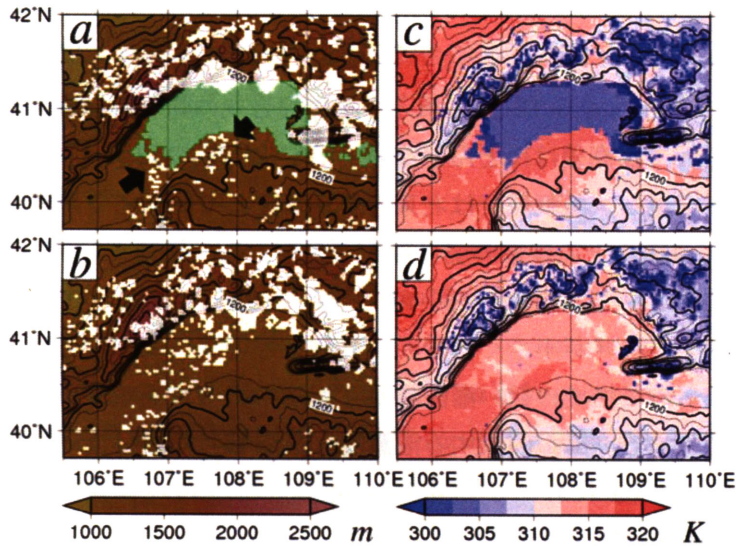


図 3. モデルで計算された 14LT の雲の分布 (a と b) と 12LT の地表面温度の分布 (c と d)。上の 2 枚の図が SFC-WET、下の 2 枚の図が SFC-DRY。緑の領域がモデルの中の仮想灌漑域を示す。

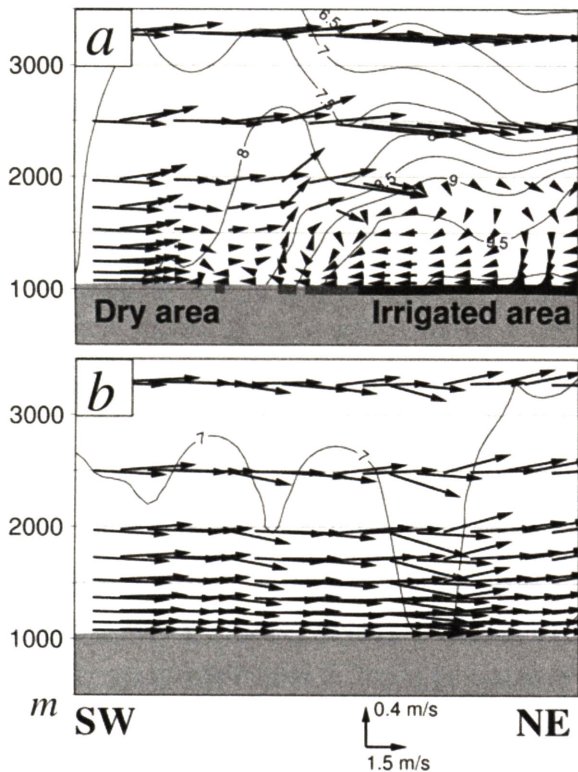


図 4. モデルで計算された 8 月 4 日 14LT の風 (ベクトル) と水蒸気混合比 (g/kg) (等値線) の鉛直断面図。(a) SFC-WET、(b) SFC-DRY。SW-NE 断面は図 1 b に示す。水平方向 5 グリッドごとに移動平均を施している。薄い灰色の領域が地形を表す。黒色の領域は平均したグリッドがすべて灌漑域、濃い灰色の領域は平均したグリッドの一部に灌漑域

が含まれることを表す。

図 4 に、図 1b の SW-NE に沿った 8 月 4 日 12LT の風と水蒸気混合比の鉛直断面図を示す。SW-NE は標高がおよそ 1000m で標高差はほとんどない。SFC-WET の結果 (図 4a) を見ると、乾燥域では南西の風が卓越し、灌漑域では北東の風が卓越していることがわかる。これらの 2 つの異なった風は灌漑域と乾燥域の境界付近で収束する。灌漑域が存在しない SFC-DRY ではこのような風は見られなかった (図 4b)。

土壌が湿潤な灌漑域では顕熱フラックスが小さく、周囲の乾燥域との間に明瞭な熱コントラストが生じる。その結果、相対的に温度の低い灌漑域から温度の高い乾燥域に風が吹き、局地循環 (植生風循環) が発生する。風が収束する灌漑域と乾燥域の境界付近では強い上昇流が起こり、雲が発生する (図 3a において矢印で示した雲)。一方、下降流が卓越する灌漑域では雲の発生が抑制されている (図 3a)。

SFC-WET では灌漑域からの蒸発散により、最下層では水蒸気が多く存在していることがわかる (図 4a)。しかし、下降流が卓越する灌漑域では、湿った空気は上空には運ばれず、灌漑域での雲の形成には寄与しない。灌漑域で蒸発した水蒸気は、植生風循環により周囲の乾燥域に運ばれ、周囲の乾燥域で発生にする雲の形成に寄与する。

一方で、河套灌区の北側には陰山山脈、南側には黄土高原が存在する。このため、河套灌区の周辺では、標高差によって山谷風循環が励起される。この山谷風循環も植生風循環と同様に、河套灌区で下降流を強化し、灌漑域で蒸発した水蒸気を周囲の山岳に運ぶ (図省略)。つまり、植生風循環と山谷風循環の両方の局地循環によって、灌漑域上空では雲の発生が抑制され、灌漑域で蒸発した水は周囲の乾燥域や山岳域に運ばれると考えられる。

4. まとめ

領域モデル WRF を用いて、河套灌漑区が周囲の雲分布に及ぼす影響を評価した。仮想灌漑域を用いた実験では、灌漑域には雲が発生せず、灌漑域と乾燥域の境界に雲が発生した。これは衛星で観測された雲の分布と一致する。灌漑域では地表面温度が相対的に低いため、地表面温度の高い周囲の乾燥域との間で大きな熱コントラストが生じる。その結果、灌漑域から乾燥域に向かって風が吹き、大気下層で植生風循環が卓越する。この植生風循環によって灌漑域と乾燥域の境界付近で強い上昇流が起こり、雲が発生する。また植生風循環は灌漑域で蒸発した水蒸気を乾燥域に運び、乾燥域と灌漑域の境界での雲の形成に寄与する。周囲に山岳が存在する河套灌漑域では、植生風循環に加えて山谷風循環も卓越する。植生風循環と山谷風循環の両方の局地循環の影響で、灌漑域上空では雲の発生が抑制され、灌漑域で蒸発した水は周囲の乾燥域や山岳域に運ばれる。

謝辞

本研究は環境省の地球環境研究総合推進費（B-061（4））による文部科学省の委託事業の支援を受けて実施された。

参考論文

- Avissar, 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. Avissar (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 Meteorol.*, 101, 157-182.
- Sato, T., F. Kimura, and A. S. Hasegawa (2007), Vegetation and topographic control of cloud activity over arid/semiarid Asia, *J. Geophys. Res.*, in press.
- Skamarock, W. C., J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers (2005), A description of the Advanced Research WRF version 2, NCAR Tech. Rep. TN-468, 100 pp.