

機関番号：82706

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20740278

研究課題名（和文） 降水雲の特性に対する地表面の影響の評価

研究課題名（英文） Evaluation of the role of land surface conditions on the property of rainfall systems

研究代表者

山田 広幸 (YAMADA HIROYUKI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主任研究員

研究者番号：30421879

研究成果の概要（和文）：

土壌の性質や植生の状態は、大気に放出される熱と水蒸気の比率を左右するため、雲の性質にも影響を与えると予想される。このような影響を定量的に評価するため、雲解像数値モデルを用いて地表状態を変えた実験を複数実施し、陸面に対する降水雲の応答を調べた。中国大陸上の集中豪雨の事例を用いた実験の結果、陸面状態の変化によって大気境界層の特性が変化し、それに応じて降水システム全体としての形態や降水分布が変化するという結果が得られた。

研究成果の概要（英文）：

Since the soil property and vegetation control the ratio between heat and moisture provided into the atmosphere, it was speculated that the surface conditions may have an influence upon the property of rainfall systems developed over a landmass. To evaluate this influence, a response of clouds to the surface conditions was examined by several numerical experiments with different surface conditions using a cloud-resolving high resolution model. The result of experiments for heavy rainfall cases over the mainland China show that the conditions of an atmospheric boundary layer was modulated according to the change in the evapotranspiration efficiency. The structure of rainfall systems and the rainfall distribution are modulated according to the change in moisture in the lower troposphere.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	200,000	60,000	260,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：

気象学

科研費の分科・細目：

地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：

陸域水循環、大気陸面相互作用、降水雲、降水特性

1. 研究開始当初の背景

雲による降水の生成は、海や陸から蒸発した水蒸気を水に変換して地球表面に戻すという、水循環における基本的なプロセスの一つである。水蒸気が降水になる割合は、大気

中の水の流れを決める重要な要素だが、雲の構造や降水の物理過程の違いにより大きく変動するといわれている。

研究代表者は以前に、雲の特性が地表の状態に依存することを観測研究により突き止

めた。これは、地表が太陽放射で暖められたとき、大気へ放出される熱（顕熱）と水（潜熱）の割合が、土壌の性質や植生の状態に依存することに起因する。その影響を受けた地表近くの大気が、雲に取り込まれることによって、雲の性質にまで影響が及ぶというものである。これまで、雲の性質を決めるのは、大気内の力学的、熱力学的な性質といわれており、陸面との関連性を明らかにしたこの研究は、降水雲の研究に新しい側面を切り開いたと考えられる。しかしこの研究は、チベット高原という特異な環境での観測事例を基にしたものであり、汎用性を高める研究が必要とされた。

2. 研究の目的

陸面による雲への影響は、上記のチベット高原だけに留まらず、地表の加熱によって夕方から深夜にかけて大規模な対流活動が発達する暖候期の中国や米国の大陸平原においても卓越していることが予想される。このため本研究では、このような標高の低い大陸平原を対象として、陸面状態による雲の特性への影響を調べることを目的とする。地表面状態を変えたときに、降水雲の構造と降水特性がどう変化するかを定量的に評価するため、積乱雲内部の物理過程を詳細に再現することのできる高解像度の数値モデルを用いて、陸面の状態（土壌水分や植生）を変えた実験を複数実行し、その出力結果を相互比較することにより、降水雲の特性の違いを明らかにする。

大気－陸面相互作用の研究は古くから行われているが、その多くは地表とそれに近い大気との関係を想定しており、それより上で発達する雲内部の降水過程まで含めた相互作用を議論した研究はほとんどない。その意味で本研究は、大気陸面相互作用や降水特性の理解に貢献すると期待される。さらに、土地の灌漑や都市化などの土地利用の変化が、どのような環境の変化や気候の変動をもたらすかを理解し、その影響評価を行う上で、基礎的な知識にもなるとも期待される。

3. 研究の方法

数値実験は、中国の大陸平原を対象とし（図1）、梅雨期に集中豪雨をもたらした降水システムを対象として行った。このような梅雨前線上の降水システムは、対流圏下層において前線の南側から吹き込む強い南風によって発達することが知られており、その強い南風が、前線の南に広がる大陸南部の平原上で、陸面から熱と水蒸気の供給を得ていることが、研究代表者を含む過去の研究によって既に知られている。数値実験では、この陸面状態を表す「蒸発散効率」を意図的に調節することによって、陸面から大気へ放出され

る熱と水蒸気の比率を変え、大気境界層の物質と、梅雨前線上の雲の構造や降水分布の変化を調べる。蒸発散効率は、その値が低いと熱が放出されやすくなり、値が高いと逆に水蒸気が放出されやすくなる。これは、乾燥した陸面と、水田のように湿った陸面との違いを表現することになる。標準実験(CNTL)では、この値を現実の陸面の平均値をおおむね反映する0.5に設定し、感度実験(B1-B9)では、値を0.1から0.9の範囲で変更した。なお本実験では陸面状態の不均一性は考慮していない。

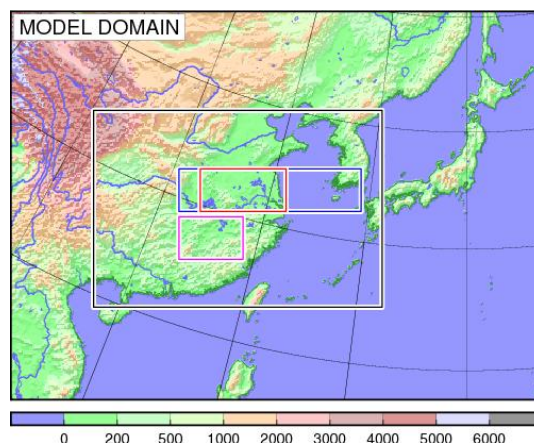


図1 実験領域の標高分布。黒い枠が数値実験の領域全体を示し、青い枠が図3に示す集中豪雨の領域を、赤い枠が降水量の計算領域を、そして紫の枠が図2の地表面フラックスを平均した領域をそれぞれ表す。

数値実験は、名古屋大学で開発された雲解像ストームシミュレータ (Cloud Resolving Storm Simulator: CReSS) を使用した。このモデルは約10年前から開発が始まり、様々な改良を経て、既に中緯度の降水システムをよく再現できるパフォーマンスを有している。実験領域は、梅雨前線帯 (図の青い枠) だけでなく、その南側に広がる大陸平原を含み、そこでの大気陸面相互作用を表現できるように設定している。水平分解能は5kmで、領域は2,700 km x 1,850 kmの範囲である。鉛直方向は標高20kmまで50層で、陸面近くの計算を詳細に行うため、鉛直格子間隔は下層で狭く、上層で広げている。実験は、海洋研究開発機構が所有するスーパーコンピュータ (SX-8R、およびAltix) を利用して行った。計算結果は膨大となるため、大容量のRAID装置を含む専用のサーバーを本研究費で用意し、雲の構造と降水特性の解析はそのサーバーを使って実施した。

実験に使用した集中豪雨の事例は、長江とその北の淮河で大規模な洪水が起きた2003年夏期の期間から複数抽出した。これらの事

例では、集中豪雨は夜間から明け方にかけて起き、それに先行する日中には、前線より南側で晴天域が広がり、陸面加熱が起きていたことを、客観解析データや現地高層観測データを基に、事前に把握している。陸面加熱を正確に再現するため、数値実験は豪雨の約24時間前にあたる、現地時間午前2時（世界標準時の18UTC）を初期時刻として、36時間先まで計算を行った。この計算結果のうち、最初の12時間を除いた、現地時間午後2時から翌日午後2時までの24時間を、降水量および降水分布の判定に使用した。降水量は図1の赤枠の範囲で事例毎に平均し、さらに以下の式を用いて規格化した。

$$R_{NORM} = R_{EXP} / R_{CNTL}$$

ここで、 R_{EXP} は各実験の降水量で、 R_{CNTL} は標準実験の降水量である。標準実験の規格降水量は1となり、それより少なければ1より小さく、大きければ1より大きくなる。

実験事例を複数用いる理由は、事例によって環境場の気流構造が異なり、大気の力学的な特徴である鉛直シア（水平風の鉛直方向の変化）が雲の性質に与える影響も調べ、陸面の重要性とを相対的に評価するためである。対流雲の構造は、鉛直シアの強さによって大きく異なることは、過去の研究でよく知られている事実である。

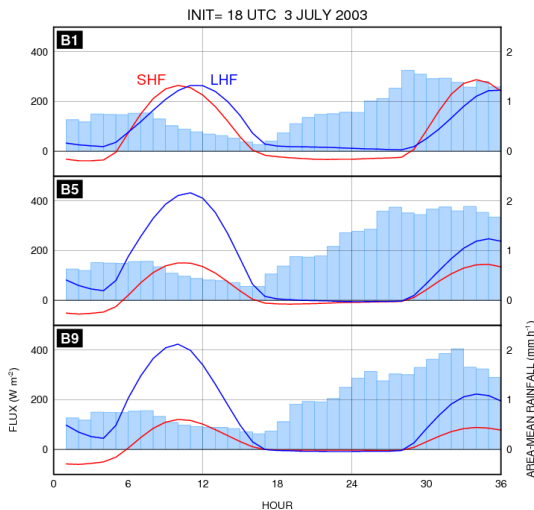


図2 晴天域における地表面の顕熱フラックス（赤線）、潜熱フラックス（青線）と、前線帯における面積平均降水量（棒グラフ）の時系列。2003年7月4日集中豪雨の事例を示す。

4. 研究成果

蒸発散効率の調節によって地表面から放出される熱と水蒸気の比率が変わることを確かめるため、地表面フラックスの時間変化

を図2に示す。領域は図1に示した紫の矩形領域で、前線南部の晴天域に対応する。示す事例は2003年7月4日に起きた集中豪雨のもので、蒸発散効率を0.1, 0.5, 0.9にしたときの実験結果を示す（0.5が標準実験）。乾燥した陸面を想定したB1実験（蒸発散効率0.1）から、非常に湿った陸面を想定したB9実験（蒸発散効率0.9）にかけて、熱の放出を示す顕熱フラックス（SHF、青の線）と、水蒸気の放出を示す潜熱フラックス（LHF、赤の線）の比率が変化しており、大気中に放出される熱と水蒸気の比率が実験毎に変化しているのがわかる。同じ図に示した棒グラフは、前線帯（図1の赤い枠）における面積平均した時間降水量である。蒸発散効率の変化に応じて、降水量とそのピークの時刻が異なっているのが確認できる。

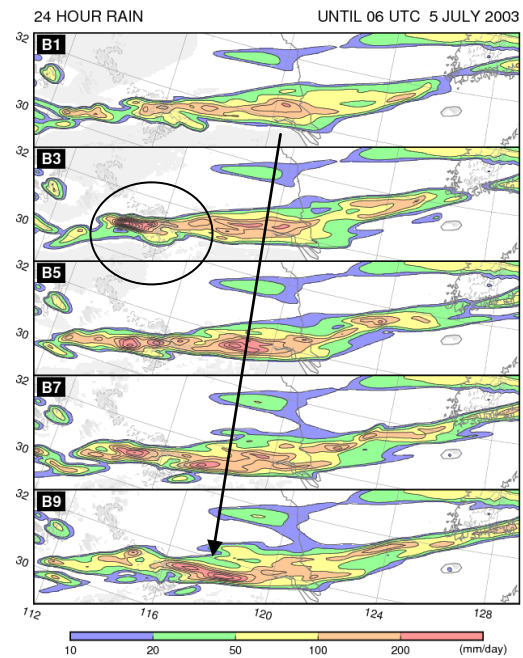


図3 梅雨前線帯における24時間降水量の水平分布。2003年7月4日集中豪雨の事例を示し、上から順に蒸発散効率を0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9に設定した実験結果(B1-B9)を示す。

蒸発散効率の調節によって、梅雨前線帯の降水量分布に変化が出ることを示したのが図3である。図2と同じ2003年7月4日集中豪雨の事例に対し、蒸発散効率を0.1から0.9まで調節した実験結果を示す。標準実験(B5)では長江の下流に200mm/dayを超える降水があり、これは現地の観測データとも整合している。感度実験とを見比べると、2つの興味深い特徴が浮かび上がってくる。一つ目は、長江の下流における降水量のピークが、蒸発散効率の増加と共に上流へ移動することである（図3の矢印）これは、前線の南か

ら吹き込む下層の風が湿ると、前線上で持ち上げられる水蒸気が直ちに降水に変換され、下流に流される前に降りやすくなることによる。もう一つの興味深い点は、これよりさらに上流側（図の左側）にある降水のピークが、B3 実験で極大になっていることである（図 3 の丸印）。この降水ピークは、標高 1,000m 級の大別（ターピエ）山脈の風上側にあり、地形性上昇流によって発達した降水雲によるものだが、水蒸気量の増加に対し非線形に応答している。

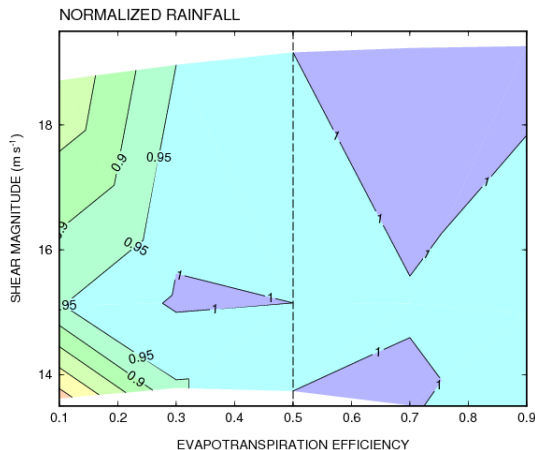


図 4 梅雨前線帯における降水量の、蒸発散効率および水平風の鉛直シア（標高 1 ~ 11km の間で計算）に対する依存性。コンターは規格化した降水量を表す。

降水量の変動に対する、蒸発散効率と鉛直シアの役割を相対的に評価するため、2つの要素に対する規格降水量の依存性を図 4 に示す。全体として、低い蒸発散効率において降水量が減少する傾向が見られるが、蒸発散効率が 0.5 を超えると降水量の変化はほとんどない。これは、梅雨期の大気境界層の湿度がもともと高く、それが飽和に近くなると、陸面からの水蒸気供給が抑制されるためだと考えられる。鉛直シアの依存性を見ると、非線形的な傾向がみられるが、蒸発散効率に対するものに比べると、変動が小さいことがわかる。

以上の結果により、中国大陸上の梅雨期における降水システムの特性に対し、陸面状態は強い影響力を持っていることがわかった。また、鉛直シアのような大気の力学的要因よりも大きな影響力を持っている可能性が示唆されたが、この点については異なる地域や気候を想定した実験によってさらに評価される必要がある。降水量の変動が、蒸発散効率の低い（つまり陸面が乾燥したときに）大きくなる点は注目される点で、これは都市化など経済発展に伴う農地の現象に伴って、将来的に降水量が減少する可能性を示唆し

ている。本研究の成果は、このような人為的な環境変化に対する水循環の変動を見積もる手段として応用できると考えられる。ただしこの点は、陸面状態の不均一性を考慮したさらに詳細な数値実験による、より定量的な評価が必要だと考えられる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 3 件）

- ① Yamada, H., K. Yoneyama, M. Katsumata, and R. Shirooka: Observations of a super cloud cluster accompanied by synoptic-scale eastward-propagating precipitating systems over the Indian Ocean. *Journal of Atmospheric Sciences*, 査読あり, **67**, 2010, 1456-1473.
- ② Yamada, H., Q. Moteki, and M. Yoshizaki: The unusual track and rapid intensification of Cyclone Nargis in 2008 under a characteristic environmental flow over the Bay of Bengal. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 査読あり, **88**, 2010, 437-453.
- ③ Geng, B., H. Yamada, K. K. Reddy, H. Uyeda and Y. Fujiyoshi: Mesoscale Development and Along-Frontal Variation of a Meiyu/Baiu Front and Precipitation Observed in the Downstream Region of the Yangtze River. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 査読あり, **87**, 2009, 423-457.

〔学会発表〕（計 3 件）

- ① Yamada, H., W. Yanase, R. Shirooka, K. Yoneyama, M. Satoh, and M. Yoshizaki: Observation and simulation of the genesis of Typhoon Fengshen (2008) in the tropical western Pacific, *Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology*, 9 November 2009, Tsukuba, Japan.
- ② Yamada, H., B. Geng, H. Uyeda, and K. Tsuboki: Role of the heated landmass on the evolution and duration of a heavy rain episode over a plain in eastern China. *Japan-China Joint Workshop on Cloud and Precipitation*, 26 November 2008, Yokohama, Japan.
- ③ 山田 広幸: 中国大陸上の降水に対する地表面の影響、公開ワークショップ「急激に変化する中国・長江流域の人間活動

と自然の相互作用」、2008年10月31日、
名古屋大学。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 広幸 (YAMADA HIROYUKI)
海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主
任研究員
研究者番号：30421879