

東南アジアモンスーンオンセットに対する陸面の役割

ROLE OF LAND SURFACE CONDITIONS ON THE MONSOON ONSET IN SOUTHEAST ASIA

大楽浩司¹
Koji DAIRAKU

¹正会員 工博 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)

The Asian Summer Monsoon (ASM) onset occurs between late April and early May over inland Indochina, before any transitions occur along the coast. The influence of orography and soil moisture on sub-continental-scale hydrological processes was elucidated by using a regional climate model. The model reproduced many elements of the onset of the Southeast Asia Monsoon (SEAM) associated with land surface conditions, including the early and abrupt onset observed when mountain effects and relatively dry soil conditions were included in the simulations. The nonlinear effects of mountains and ground wetness, combined with realistic increases in precipitation, can modify the hydrological cycle through changes in the surface energy budget. A positive feedback between soil moisture and precipitation increases the moisture source for further precipitation in the transition period.

Key Words: Monsoon Onset, Atmosphere-landsurface Interaction, Regional Climate Model, Southeast Asia

1. はじめに

アジアモンスーンは洪水・渇水を引き起こし、モンスーンアジア地域の経済や人々の生活に大きな影響を及ぼす。それゆえ、モンスーンの予測可能性はこの地域における非常に重要な関心事である。原則的に、平均的な循環場や降水分布は高緯度よりも低緯度において予測可能性が高く、その変動の多くは海面水温やアルベド、土壌水分などの境界条件によって大きく影響を受ける¹⁾。

Fasullo and Webster²⁾は6月から9月の夏季モンスーンの積算降水量について、モンスーン入り (Onset) とモンスーン明け (Withdrawal) の両方と関係があることを示した。東南アジアモンスーンの始まりは農業生産活動にとって非常に重要であり、引き続き夏季インド・東アジアモンスーン活動の前兆と成りうるため、そのより良い理解は非常に重要である。

インドシナ半島の内陸部において、アジアモンスーンに起因する降水活動は4月後半から5月の始めに開始する。これは他の地域よりも早く、また海岸部よりも早い。この地域では5月中旬頃に、発達した夏季アジアモンスーン循環が確立し、引き続いてタイの南側とボルネオの北側の地域の陸上に留まっていた対流活動が突然北進し、南シナ海へ広がる^{3), 4), 5)}。この毎年起こる季節進行は

総観規模スケールの変動の影響を強く受けているが、インドシナ半島において夏季アジアモンスーン循環の確立よりも早く活発な降水活動が見られることは、地域的な影響の重要性を示唆していると考えられる。

土壌水分と降水間のフィードバックの重要性はこれまでも数多く研究、議論されてきており^{6), 7)}、陸域における水循環過程が夏季アジアモンスーンの強度や変動と結びついていることが指摘されている^{8), 9)}。Meehl¹⁰⁾、Goswami¹¹⁾、Yang and Lau¹²⁾、他にも多くの人たちによって陸面状態が海陸の熱的コントラスト形成に重要な寄与をしていることが指摘されている。

これまで行われた研究は主に全球気候モデル (GCM) を用いて、例えば海面水温のような外部条件 (external conditions) と内部のフィードバック (internal feedbacks) について研究し、(特に土壌水分や積雪面積を含む) 内部フィードバック過程の重要性を議論してきた。また、過去に行われたGCMによる研究では、チベット高原がアジアモンスーンの発達に大きな影響を及ぼしていることが示唆されている^{13), 14)}。それに加え、タイ北西部の山岳地域においては顕著な降水の標高依存性が観測されており¹⁵⁾、山岳は降水の励起・強化に大きな役割を果たしている¹⁶⁾。これらの研究から、土壌水分や山岳は東南アジア地域における早く急激なモンスーンオ

ンセットの生起に大きな役割を果たしている可能性が考えられる。

これまでチベット高原や、海面水温、積雪や土壌水分がアジアモンスーンに及ぼす影響は、主にGCMを用いて研究されてきたが、東南アジアモンスーンのオンセットに陸面が及ぼす影響については、必ずしも明らかになっていない。その一つの理由は、モデルの空間解像度が粗いため、インドシナ半島における陸面過程を十分に表現できていないことに因ると思われる。本研究は、GAME再解析Ver.1.5を初期・境界条件とし、地域気候モデルを用いて乾季から雨季への移行期である1998年の4月から5月下旬の期間、陸面の状態を変えた数値実験を行い、その大気・陸域水循環過程の検討を行った。

2. 数値モデルと数値実験

本研究では、地域気候モデルを用いて、インドシナ半島における夏季アジアモンスーン開始期の水循環過程に対する陸面状態の影響の解析を行った。数値モデルは、3次元非静水圧・圧縮モデル（RAMS: Regional Atmospheric Modeling System）¹⁷⁾である。

雲・降水過程は、簡略化したKuo積雲パラメタリゼーションスキーム¹⁸⁾とバルク雲微物理過程、放射過程は雲微物理過程と対応した2ストリーム放射過程¹⁹⁾、陸面過程はLEAF-2²⁰⁾、地形データはGTOPO30、土地利用・土地被覆情報は衛星データ（NOAA-AVHRR）に基づきUSGSによって作成されたものを用いた。海面水温はOISST Ver.2²¹⁾の週毎の観測値を時間方向に内挿して用いた。

GAME再解析データは、 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ の水平解像度で、6時間毎のデータであり、Global Energy and Water Cycle Experiment（GEWEX）、Asian Monsoon Experiment Intensive Observing Period（GAME-IOP）における観測データなどを気象庁の天気予報のための数値解析システムに入力したものである²²⁾。これを本数値実験の初期・境界条件とした。モデルは計算領域の外側5グリッドにおいてGAME再解析データにナッジングさせた。また、対流圏界面より上部でも同様にナッジングした。

水平方向の空間解像度は20kmで、計算領域は経度方向200グリッド（約4,000km）、緯度方向160グリッド（約3,200km）の領域である（図-1）。鉛直座標系は地形に沿う σ_z 座標であり、鉛直方向は35層（高度約23.4kmまで）、鉛直グリッドは最下層100mから最大1,000mまで徐々にその格子間隔を大きくした。

本研究ではモデル内部のカオス的振る舞いによるノイズを低減するために、それぞれ積分開始時刻を1時間ずつずらした5つのメンバーからなる3種類のアンサンブル数値実験を行った。それぞれの実験においては、東南アジアにおける夏季モンスーンの開始期にあたる1998年4月1日から1998年5月25日までの約2ヶ月間の積分を

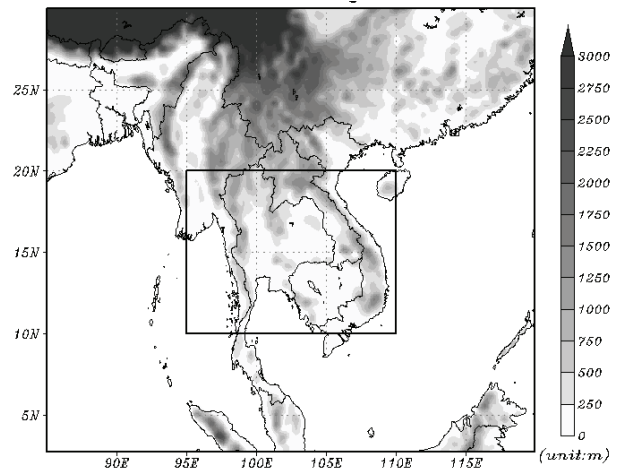


図-1 数値実験の計算領域。図中の実線の四角で囲まれた範囲は観測値、計算結果を空間平均した領域。

行った。標準実験（CTL）では現実的な山岳と水平一様な比較的乾燥した初期土壌水分（飽和度0.35）を与えた。2つ目は山岳を取り除いた実験（NOMNT）で、他の条件はCTLと同じである。3つ目は現実的な山岳を与えて、非常に湿潤な初期土壌水分（飽和度1.0）に設定した実験（WET）である。これらのアンサンブル数値実験から、山岳と地表面の湿潤状態が夏季アジアモンスーンのオンセットに対してどのような役割を果たしているのかを検討する。

3. 東南アジアモンスーンオンセットにおける山岳と土壌水分の役割

(1) 陸域水文過程の変化

モデルの計算結果について、アンサンブル平均した降水を日単位の全球降水データセットGlobal Precipitation Climatology Project（GPCP）²³⁾と比較した（図-2）。観測値と計算結果は図-1の実線で囲まれる領域（北緯10度から20度、東経95度から110度）の陸上で空間平均した。図-2に示される観測による降水は、4月中旬に比較的強い降水イベント（7.5mm/day）を示し、また、5月上旬から中旬に急激な降水の増加が見られる。

CTL実験は観測に見られるモンスーンのオンセット前後における降水の変化は概ね良く再現できていた。NOMNT実験では4月中旬の降水イベントは比較的再現できていたが、5月の降水の急激な増加を全く再現できていなかった。WET実験では、4月のプレオンセット期に過大な降水が生じている。しかしながら、5月中旬の強い降水に関しては比較的よく再現できていた。CTL実験と観測の相違は、モデルの物理過程によって生じた内部循環による系統的誤差と、特に山岳地域で大きい観測の不確実性^{15), 24)}に起因すると考えられる。

図-3は各アンサンブル実験において北緯10度から20度、東経95度から110度の陸上で領域平均した顕熱、潜熱、

表-1 東南アジアにおける水文過程の変化（北緯10度から20度，東経95度から110度における陸上での平均）

Elements of hydrological cycle	CTL			NOMNT			WET		
	4/10-4/30	5/1-5/20	Difference	4/10-4/30	5/1-5/20	Difference	4/10-4/30	5/1-5/20	Difference
Precipitation (mm/day)	2.20	5.04	+2.84 (+129%)	1.92	2.05	+0.12 (+6%)	2.80	4.39	+1.59 (+57%)
Sensible Heat (W/m^2)	62.12	31.69	-30.43 (-49%)	55.08	43.78	-11.3 (-21%)	18.70	19.65	+0.95 (+5%)
Latent Heat (W/m^2)	73.26	76.35	+3.09 (+4%)	74.33	61.59	-12.74 (-17%)	121.70	93.78	-27.92 (-23%)
Soil Mixing Ratio (g/Kg)	11.16	13.72	+2.56 (+23%)	12.49	13.57	+1.07 (+9%)	14.61	14.63	+0.01 (*)
2m Temperature ($^{\circ}C$)	26.84	25.81	-1.03 (-4%)			-0.76 (-3%)	24.46	24.99	+0.53 (+2%)

* less than 1%

注：観測の降水（GPCP）の変化は，1.49 mm/day（4/10-4/30）から5.16 mm/day（5/1-5/20），その変化は+3.67 mm/day（+246%）。
 NOMNT実験の2m気温に関しては，他と比較するためには高度補正が必要となる。混乱を避けるため，表には変化のみ記した。

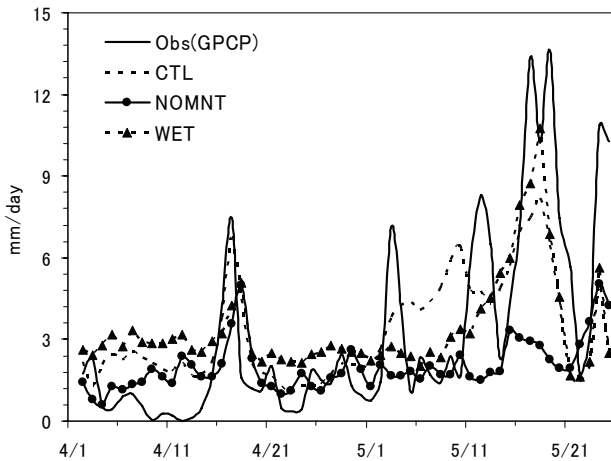


図-2 観測と数値モデルによって計算された降水量の1998年4月2日から5月25日の期間の時間変化。降水量は，北緯10度から20度，東経95度から110度の領域の陸上で空間平均を行った。実線がGPCPによる降水，CTL，NOMNT，WET実験の降水は，それぞれ，点線，丸印付きの実線，三角印付きの点線である。

土壌水分状態を反映し，地表面の蒸発の計算に直接反映される変数である地表面の水蒸気混合比²⁵⁾（以後土壌水分とする）の時間変化である。表-1は，プレオンセットの時期（4月10日から30日）とオンセットの時期（5月1日から20日）の平均とその差を示したものである。図-3aと表-1に示されるように，CTL実験のアンサンブル平均においては，急激な顕熱の減少（ $-30.43 W/m^2$ ， -49% ）と潜熱の若干の増加（ $+3.09 W/m^2$ ， $+4\%$ ），土壌水分の増加（ $+2.56 g/Kg$ ， $+23\%$ ）がみられる。これらの変化は，乾季から雨季に移り変わるこの時期における降水の増加（ $+2.84 mm/day$ ， $+129\%$ ）と地上気温の低下（ $-1.03 ^{\circ}C$ ， -4% ）と一致している。このCTL実験における変化は，ある1地点における観測結果とその絶対値について直接の比較はできないけれども，Todaら²⁶⁾に報告された観測結果と整合的である。ただし，土地被覆の異なる別の観測地点においては，降水，地表の土壌水分が少ない乾季に，植生の蒸散によって潜熱が最大となることが報告されており²⁷⁾，更なる観測と議論が必要である。CTL実験のプレオンセットの降水は，観測の降水（1.49 mm/day）よりもやや過大であるが，観測（+3.67 mm/day，

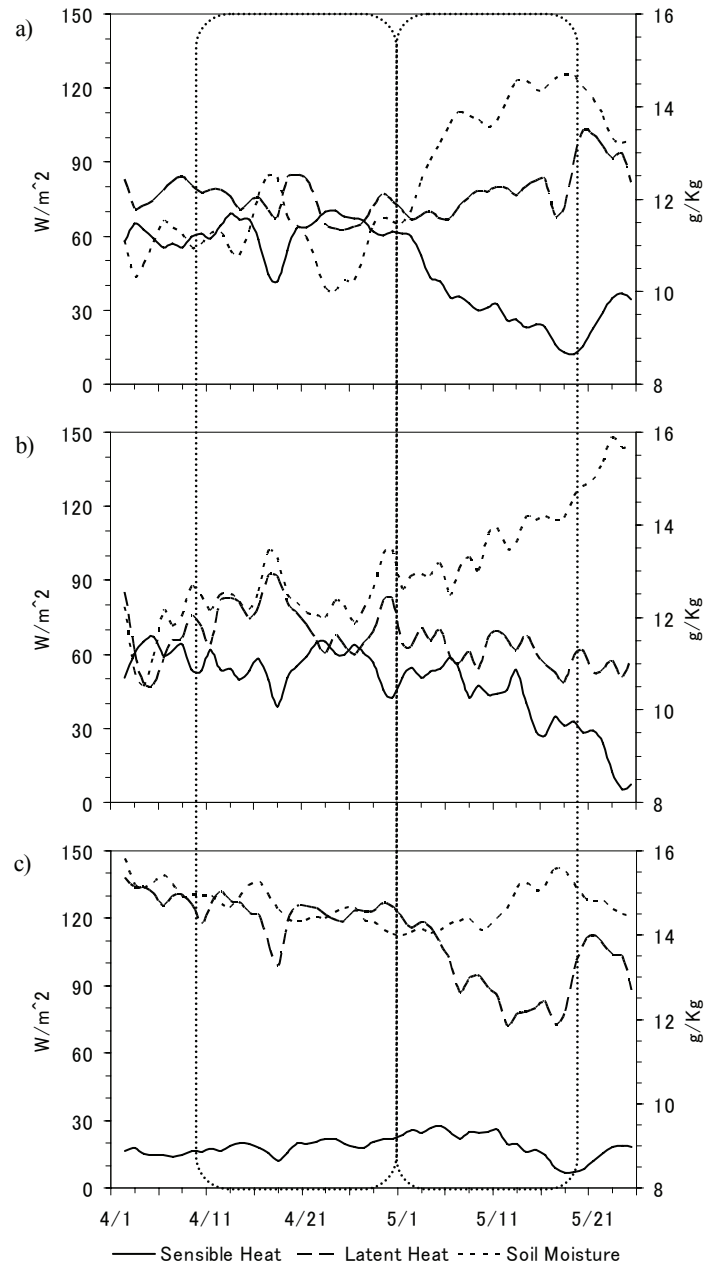


図-3 1998年4月2日から5月25日の期間における，北緯10度から20度，東経95度から110度の範囲の陸上で平均した顕熱，潜熱，土壌水分の時間変化。a) CTL，b) NOMNT，c) WET実験。点線は表-1の2つの期間。

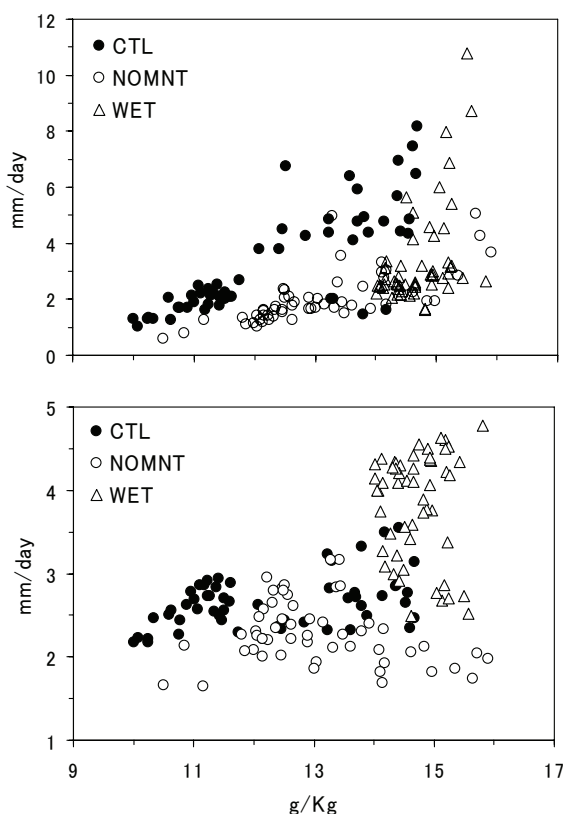


図-4 土壌水分と降水量の関係（上図）と土壌水分と蒸発散量
の関係（下図）。CTL, NOMNT, WETはそれぞれ黒丸、
白丸、三角。図中の各点は、4月2日から5月25日の期間
の日単位の計算結果を、北緯10度から20度、東経95度から
110度の領域陸上で空間平均したもの。

表-2 4月2日から5月25日の期間における、それぞれの数値実験
における降水量と土壌水分、蒸発散量と土壌水分の線
形回帰の傾きと決定係数。

Experiment		CTL	NOMNT	WET
Increment of linear regression	P	1.00	0.57	1.97
	E	0.09	-0.07	-0.06
Coefficient of determination (R^2)	P	0.62*	0.53*	0.25*
	E	0.18*	0.04	0.00

* 1% significance level.

+246%)と同様の大きな変化がみられる。オンセット期
における領域平均降水量はCTL実験の結果が最も観測に
近い。

図-3bと表-1では、顕熱 (-11.3 W/m^2 , -21%) と潜熱 (-12.74 W/m^2 , -17%) がやや減少し、土壌水分が少し増加
している ($+1.07 \text{ g/Kg}$, +9%)。これはNOMNT実験のオン
セット時における弱い降水 ($+0.12 \text{ mm/day}$) と地上気温
の若干の低下 (-0.76°C) と関係している。

図-3cは、ほとんど一定の小さな顕熱 (4月10-30日は
 18.70 W/m^2 , 5月1-20日は 19.65 W/m^2) と湿潤な土壌水分、
潜熱の若干の減少を示している (-27.92 W/m^2 , -23%)。
WET実験においては、プレオンセット期の降水が多い
ため、CTL実験や、観測に比べて4月から5月の降水の相

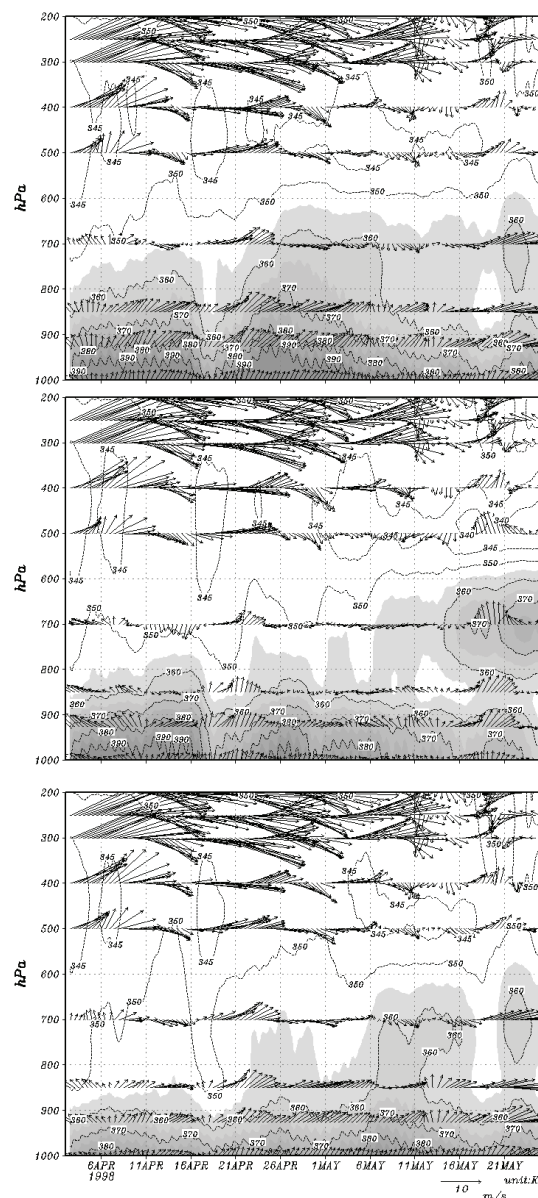


図-5 1998年4月2日から5月25日の期間について、北緯10度から
20度、東経95度から110度の陸上で領域平均した相当
温位・風ベクトルの高度-時間断面。上図がCTL、中の
図がNOMNT、下図がWETを示す。相当温位355K以上
は陰影を付けている。

対的な変化は小さい ($+1.59 \text{ mm/day}$, +57%)。地上気温
は、プレオンセット期にCTL実験よりもずっと低く (4
月10-30日は -2.38°C , 5月1-20日は -0.82°C)、またオン
セット時に地上気温の低下が見られない ($+0.53^\circ\text{C}$,
+2%)。

(2) 降水-土壌水分関係

土壌水分はモンスーンオンセットの強さを大きく変化
させ、海陸の熱的コントラストに影響を及ぼす。図-4と
表-2は、それぞれの数値実験について、4月2日から5月
25日までの陸上における土壌水分と降水、蒸発散の関係
を示したものである。図-4の上図と表-2に示されるよう
に、CTL実験において、土壌水分と降水は統計的に有意

な強い正の相関関係がある（傾き1.00 mm/g/Kg, 決定係数0.62）。NOMNT実験とWET実験の場合も、統計的には有意な正の相関関係がある（1%有意水準）けれども、CTL実験と比べ、あまり明瞭でない相関関係を示している。また、CTL実験においては蒸発散と土壤水分は統計的に有意な正の相関関係が見られるけれども（図-4の下図、表-2）、NOMNT、WET実験では有意な相関関係はみられない。オンセット期において、山岳が降雨-土壤水分関係の強さに大きな影響を及ぼしていることが示唆され、現実的な山岳がある場合に、土壤水分の増加は蒸発散を促進させる傾向が見られた。

図-5は、図-1の実線の四角で囲まれる領域平均の相当温位と風の高度-時間断面を示したものである。CTL実験では、プレオンセット期に対流圏下層において強い対流不安定と南西風が生じている。それは4月中旬の降水や5月上旬の急激な降水の増加と一致している（図-2）。NOMNT実験とWET実験では、特にプレオンセット期に対流不安定と対流圏下層の風が弱い。

4. 結論と考察

数値実験結果は、山岳と雨期開始前の地表面状態が東南アジア夏季モンスーンの突然の始まりに強く影響することを示唆している。これまでの主に再解析データやGCMによる研究と今回の地域気候モデルによるアンサンブル実験結果に基づき、インドシナ半島における夏季モンスーンのオンセット機構の仮説を示す（図-6）。

雨季開始前の乾燥した地表面と日射によって陸上における強い顕熱加熱が生じ、地上気温を高め、海陸の熱的コントラストを強め、強い対流不安定が生じる^{10, 28}。プレオンセット期において地表面が湿潤な状態だった場合には、プレオンセット期の降水を増やし、それが海陸の熱的コントラストを弱め、モンスーン循環を弱める。さらに蒸発冷却で地表面が冷やされ、対流不安定を弱める。

山岳は力学的・熱力学的に、海陸の熱的コントラストによって形成された熱的低気圧がある特定の地域に維持し、強める働きをする¹³。山岳を取り除いた場合、対流圏下層におけるモンスーン循環の強まりと関係する熱的低気圧による上昇流が弱まる（not shown）。地形によって励起された湿潤対流は大気を加熱し、モンスーン循環を強め、熱的低気圧によって引き起こされる収束を強化する。また、乾季から雨季の遷移期の降水は土壤を湿らせ、蒸発散を増やし、それがさらなる降水の供給源となり、土壤水分-降水間に正のフィードバックが働く。

上部対流圏を東進するトラフや対流圏下層における水蒸気流入はこの季節進行に重要な役割を持つと考えられる²⁹。しかし、再解析データを用いて現実的な側方・上部境界条件を与えたにもかかわらず、数値モデルは地形と比較的乾燥した陸面状態を与えた場合に東南アジアモンスーンオンセットによる水循環過程をよりよく再現で

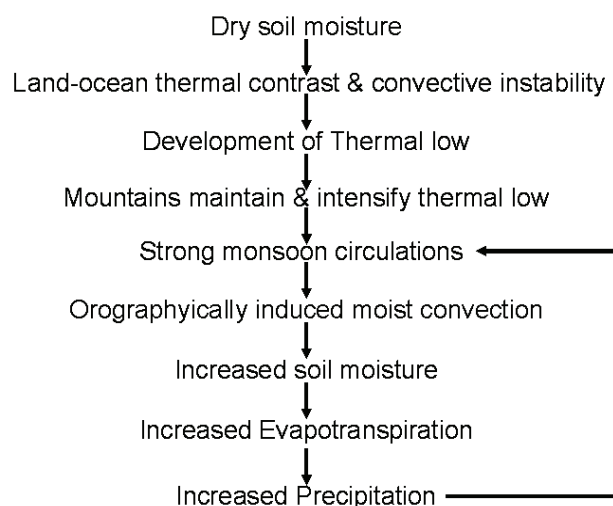


図-6 東南アジアにおける夏季モンスーンの急激なオンセットをもたらす力学、熱力学過程、水文過程の仮説

きた。

対象としたGAME-IOPの1998年は、全球規模の気候システムが1997/1998年に東太平洋赤道付近に最も温かい海面水温のアノマリがみられた状態から推移した。すなわち、全球規模の循環がENSOサイクルの温かいフェーズ（El Niño）によって影響を受けた³⁰。全球降水データセット（GPCP）は、この1998年の東南アジア地域では比較的降水が少なかったことを示している。ENSOに関連した全球規模の循環が東南アジア夏季モンスーンの始まりにどのような影響を及ぼしたのかについてはよくわかっておらず、検討の余地がある。また、1998年夏季アジアモンスーンの始まりの時期において、山岳と内的フィードバックの重要性を示唆する本研究の結果の一般性については、今後さらに研究を進める必要がある。

本研究は、GAME再解析データと高解像度地域気候モデルを用いたアンサンブル数値実験によって、東南アジア地域のモンスーンオンセットにおいて、山岳と地表面の湿潤度を含む非線形の効果によって、現実的な降水の急激な増加がもたらされ、地表面における熱収支の変化を通して、乾季から雨季にかけての遷移期における水循環の変化を生じさせていることを示した。オンセット期の降水は、さらなる降水の供給源として土壤からの蒸発散を増加させることによって、土壤水分と降水間に正のフィードバックを生じさせていると考えられる。

謝辞： 研究を進めるにあたり、首都大学東京大学院都市環境科学研究科の松本淳教授、国立環境研究所の江守正多室長、コロラド大学のRoger A. Pielke, Sr.教授には有益な議論をして頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Charney, J. G. and Shukla, J.: Predictability of monsoons, *Monsoon Dynamics*, Lighthill, J. and Pearce, R. P. eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK., pp.99-109, 1981.
- 2) Fasullo, J. and Webster, P. J.: A Hydrological Definition of Indian Monsoon Onset and Withdrawal, *J. Climate*, Vol.16, pp.3200-3211, 2003.
- 3) Lau, K. -M. and Yang, S.: Climatology and Interannual Variability of the Southeast Asian Summer Monsoon, *Advances in Atmospheric Sciences*, Vol.14, pp.141-162, 1997.
- 4) Matsumoto, J.: Seasonal Transition of Summer Rainy Season over Indochina and Adjacent Monsoon Region, *Adv. Atmos. Sci.*, Vol.14, pp.231-245, 1997.
- 5) Zhang, Y., Li, T., Wang, B. and Wu, G.: Onset of the Summer Monsoon over the Indochina Peninsula: Climatology and Interannual Variations, *J. Climate*, Vol.15, pp.3206-3221, 2002.
- 6) Webster, P. J.: Mechanisms of Monsoon Low-Frequency Variability: Surface Hydrological Effects, *J. Atmos. Sci.*, Vol.40, pp.2110-2124, 1983.
- 7) Emori, S.: The interaction of cumulus convection with soil moisture distribution: An idealized simulation, *J. Geophys. Res.*, Vol.103, pp.8873-8884, 1998.
- 8) Meehl, G. A. and Washington, W. M.: South Asian Summer Monsoon Variability in a Model with Doubled Atmospheric Carbon Dioxide Concentration, *Science*, Vol.260, pp.1101-1104, 1993.
- 9) Minoura, D., Kawamura, R. and Matsuura, T.: A Mechanism of the Onset of the South Asian Summer Monsoon, *J. Met. Soc. Japan*, Vol.81, pp.563-580, 2003.
- 10) Meehl, G. A.: Influence of the Land Surface in the Asian Summer Monsoon: External Conditions versus Internal Feedbacks, *J. Climate*, Vol.7, pp.1033-1049, 1994.
- 11) Goswami, B. N.: Interannual Variations of Indian Summer Monsoon in a GCM: External Conditions versus Internal Feedbacks, *J. Climate*, Vol.11, pp.501-522, 1998.
- 12) Yang, S. and Lau, K. -M.: Influences of Sea Surface Temperature and Ground Wetness on Asian Summer Monsoon, *J. Climate*, Vol.11, pp.3230-3246, 1998.
- 13) Hahn, D. G. and Manabe, S.: The Role of Mountains in the South Asian Monsoon Circulation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, *J. Atmos. Sci.*, Vol.32, pp.1515-1541, 1975.
- 14) Kitoh, A.: Effects of Mountain Uplift on East Asian Summer Climate Investigated by a Coupled Atmosphere-Ocean GCM, *J. Climate*, Vol.17, pp.783-802, 2004.
- 15) Dairaku, K., Emori, S. and Oki, T.: Rainfall Amount, Intensity, Duration, and Frequency Relationships in the Mae Chaem Watershed in Southeast Asia, *J. Hydrometeor.*, Vol.5, pp.458-470, 2004.
- 16) 大楽浩司, 江守正多, 沖大幹, 虫明功臣: 領域気候モデルを用いた東南アジア熱帯山岳地域における降水特性の解析, *水工学論文集*, Vol. 47, pp.79-84, 2003.
- 17) Pielke, R. A., Cotton, W. R., Walko, R. L., Tremback, C. J., Lyons, W. A., Grasso, L. D., Nicholls, M. E., Moran, M. D., Wesley, D. A., Lee, T. J. and Copeland, J. H.: A comprehensive meteorological modeling - RAMS, *Meteorol. Atmos. Phys.*, Vol.49, pp.69-91, 1992.
- 18) Molinari, J.: A General Form of Kuo's Cumulus Parameterization, *Mon. Weath. Rev.*, Vol.113, pp.1411-1416, 1985.
- 19) Harrington, J. Y., Reisin, T., Cotton, W. R. and Kreidenweis, S. M.: Cloud resolving simulations of Arctic stratus. Part II: Transition-season clouds, *Atmos. Res.*, Vol.51, pp.45-75, 1999.
- 20) Walko, R. L., Band, L. E., Baron, J., Kittel, T. G. F., Lammers, R., Lee, T. J., Ojima, D., Pielke, R. A., Taylor, C., Tague, C., Tremback, C. J. and Vidale, P. L.: Coupled Atmosphere-Biophysics-Hydrology Models for Environmental Modeling, *J. Appl. Meteorol.*, Vol.39, pp.931-944, 2000.
- 21) Reynolds, R. W., Rayner, N. A., Smith, T. M., Stokes, D. C. and Wang, W.: An Improved In Situ and Satellite SST Analysis for Climate, *J. Climate*, Vol.15, pp.1609-1625, 2002.
- 22) Yamazaki, N., Kamahori, H., Takahashi, K. and Yatagai, A.: On the GAME reanalysis, *UCLA Trop. Meteorol. Newsl.*, Vol.44, 2001.
- 23) Huffman, G. J., Adler, R. F., Morrissey, M. M., Bolvin, D. T., Curtis, S., Joyce, R., McGavock, B. and Susskind, J.: Global Precipitation at One-Degree Daily Resolution from Multisatellite Observations, *J. Hydrometeor.*, Vol.2, pp.36-50, 2001.
- 24) Xie, P. and Arkin, P. A.: Global Precipitation: A 17-Year Monthly Analysis Based on Gauge Observations, Satellite Estimates, and Numerical Model Outputs, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol.78, pp.2539-2558, 1997.
- 25) Lee, T. J. and Pielke, R. A.: Estimating the Soil Surface Specific Humidity, *J. Appl. Meteor.*, Vol.31, pp.480-484, 1992.
- 26) Toda, M., Nishida, K., Ohte, N., Tani, M. and Musiake, K.: Observations of Energy Fluxes and Evapotranspiration over Terrestrial Complex Land Covers in the Tropical Monsoon Environment, *J. Met. Soc. Japan*, Vol.80, pp.465-484, 2002.
- 27) Tanaka, K., Takizawa, H., Tanaka, N., Kosaka, I., Yoshifuji, N., Tantasirin, C., Piman, S., Suzuki, M. and Tangtham, N.: Transpiration peak over a hill evergreen forest in northern Thailand in the late dry season: Assessing the seasonal changes in evapotranspiration using a multilayer model, *J. Geophys. Res.*, Vol.108, doi: 10.1029/2002JD003028, 2003.
- 28) Kawamura, R., Fukuta, Y., Ueda, H., Matsuura, T. and Iizuka, S.: A mechanism of the onset of the Australian summer monsoon, *J. Geophys. Res.*, Vol.107, doi:10.1029/2001JD001070, 2002.
- 29) Kiguchi, M. and J. Matsumoto, The rainfall phenomena during the pre-monsoon period over the Indochina peninsula in the GAME-IOP year, 1998, *J. Met. Soc. Japan*, 83, 89-106, 2005.
- 30) Anyamba, A., Tucker, C. J. and Mahoney, R.: From El Nino to La Nina: Vegetation Response Patterns over East and Southern Africa during the 1997-2000 Period, *J. Climate*, Vol.15, pp.3096-3103, 2002.

(2006. 9. 30受付)