

日本気象学会誌 気象集誌  
(Journal of the Meteorological Society of Japan)

第79巻 第1B GAME特集号 2001年3月 目次と要旨

論 文

Jianjun Xu · Johnny C. L. Chan: 1998年夏のアジアモンスーン開始期における最初の変化とチベット-熱帯インド洋の熱的コントラストの影響

Jianjun Xu and Johnny C. L. Chan: First Transition of the Asian Summer Monsoon in 1998 and the Effect of the Tibet-Tropical Indian Ocean Thermal Contrast .....241-253

1998年夏のアジアモンスーンの開始は、最初にベンガル湾で5月15日に起こり、ついで南シナ海で5月25日、南アジア(インド)で6月10日ごろに起こった。しかしながらチベット高原の南での対流圏上層(200-500hPa)における気温の南北傾度は、インドモンスーンの開始まで逆転しなかった。この事実は、一般に夏のアジアモンスーン最初の変化といわれているベンガル湾におけるモンスーンの開始には、別のメカニズムが関係していることを示唆している。このメカニズムを観測結果の解析から探ることが、本論文の目的である。

チベット高原上における熱的状態は、顕熱フラック

スと潜熱フラックスの両方によって決まる。このうち顕熱フラックスは、アジアモンスーンの最初の変化よりかなり早い、4月下旬に急激に増加する。一方、熱帯インド洋における熱的状態の変化は、主に潜熱フラックスによって起こる。ここでの潜熱フラックスの急激な増加は、5月中旬に起こっており、アジアモンスーンの開始と同時である。このような潜熱フラックスの増加は、南インド洋からアラビア海を経て起こる暖水の移動、およびベンガル湾での熱帯低気圧発生に伴う西風の強化と同時に起こっている。熱帯低気圧による深い対流活動によって潜熱が解放され、ベンガル湾での夏のアジアモンスーンが始まる。

Yihui Ding · Yanju Liu: 1998年の南シナ海実験計画(SCSMEX)期間中における南シナ海上の夏季モンスーンの開始と発展\*

Yihui Ding and Yanju Liu: Onset and the Evolution of the Summer Monsoon over the South China Sea during SCSMEX Field Experiment in 1998 .....255-276

1998年5月1日から8月31日にかけて行われた南シナ海実験計画(SCSMEX)は、異なった国・地域の気象機関と海洋研究機関の連携と協力による合同観測事業である。SCSMEXの科学的目標は、モンスーン予測の改善をめざして、南シナ海(SCS)上の夏季モンスーンの開始、維持および変動の鍵となる物理過程をさらに理解することにある。SCSMEX強化観測期間(10P)の対流圏上部・下部の大気循環場、外向き赤外放射量(OLR)、および降水量分布の特徴についての解析を行った。解析の結果、以下のことが明らかとなった。

(1) SCSでの夏季モンスーンの開始は北部における初期開始と全SCS海域における全面開始の2つのステ

ージからなっており、初期開始は5月第4半旬に、全面開始は第5半旬に起こった。1998年のSCS夏季モンスーンの開始日は、平年の開始日(5月15日)より、全体的に1-2半旬遅れていた。

(2) SCS北部における開始は地域に限定された現象ではなく、ベンガル湾およびインドシナ半島でのモンスーン開始と同期して起こっていた。総観場で見ると、この開始はスリランカの東方での双子サイクロンの急激な発達とそれに引き続くベンガル湾でのモンスーン低気圧の発達、SCSからの亜熱帯高気圧の2段階の後退などが関与しており、中緯度からの強い寒気流入(cold surge)による引き金も可能性として考えられる。

(3) SCS モンスーンの活動は主としてインドモンスーンの活動に影響されており、特にその強化と北上はインド洋上での赤道西風の強化と東への拡大に大きく影響されていた。

\* この研究は国家基幹研究プロジェクト「南シナ海実験計画」に支援されている。

Yihui Ding · Yan Zhang · Qiang Ma · Guoquan Hu : GAME/HUBEX 強化観測期間の東アジアにおける大規模循環場と総観規模システムの解析

Yihui Ding, Yan Zhang, Qiang Ma and Guoquan Hu: Analysis of the Large-Scale Circulation Features and Synoptic Systems in East Asia during the Intensive Observation Period of GAME/HUBEX .....277-300

本論文では、GAME/HUBEX 強化観測期間の大規模循環場、主要な総観規模システム、降水分布、および大気加熱について解析を行った。その結果以下のことが示された。1) 1998年と1999年の長江・淮河流域における Meiyu 季の開始と維持は、東アジア夏季モンスーンの北進と強化のもとでおこった。2) 両年の Meiyu 季の進行において、中高緯度のバイカル湖の西の領域とオホーツク海上の2つのリッジ及びそれらの間(バイカル湖の領域)の1つのトラフで特徴づけられる循環が存在していた。特に準定常なオホーツクブロッキング高気圧と東シナ海/日本海上の上層渦が対の循環システムを成しており、その下で Meiyu 前線が長江・淮河流域で定常的に維持されていた。3) 西太平洋の亜熱帯高気圧は1998年と1999年の Meiyu 季の到来の前に顕著な西と北方向へのシフトを示し、1998年の Meiyu の降水の集中期には、その南北振動がこの領域の豪雨イベントの変動と密接に関連していた。4) 南風下層ジェットの下層の東風は前線帯の維持に重要な役割を果たしていた。それは長江中下流域の持続的豪雨を起こす主要な要素の1つであった。5) その下層ジェットの形成は1998年と1999年では総観条件が異なっていた。この違いは主に亜熱帯高気

圧の異なる東西方向の位置と夏季モンスーンの活動の違いによるものである。6) Meiyu 前線帯に沿ってメソスケール擾乱が連続して発生した(少なくとも1998年と1999年のそれぞれに2個と3個のメソスケール渦)。それらは主にチベット高原の東側面を起源とし東進した。渦の中心は下層ジェットの軸の北にあり豪雨はその擾乱の南東側で発生した。7) Meiyu 前線に沿って、高湿度低温の状態があり、相対的に乾燥高温の状態が Meiyu 前線の北と南にあり、このようなサンドイッチ状の温度と湿度の状態が Meiyu の維持に重要である。Meiyu 前線に沿って東西方向に温度場は西に低温、東に高温で特徴づけられる。8) 1998年と1999年の豪雨が起きている間の Q1 と Q2 のパターンと強さは似ており、そのことは豪雨域の加熱が主に対流活動による水蒸気凝結過程によるものであることを示している。しかしながら、このエネルギーと水の循環過程がフィードバック効果を通してどのように豪雨イベントに影響しているのかは今のところ明らかではない。大規模場と総観システムに関する上記の結果は淮河流域のエネルギーと水循環の今後の研究の出発点となりうるであろう。

Bollin Zhao · Zhanyu Yao · Wanbiao Li · Jian Yuan · Yong Chen · Huilin Gao · Yuanjing Zhu :

TRMM マイクロ波放射計 TMI を用いた中国における降水量算出と洪水監視

Bollin Zhao, Zhanyu Yao, Wanbiao Li, Jian Yuan, Yong Chen, Huilin Gao, and Yuanjing Zhu : Rainfall Retrieval and Flooding Monitoring in China using TRMM Microwave

Imager .....301-315

TMI データに対して、クラスター分類の手法を用いた地面の乾湿および降水の強弱を推定する手法を開発した。TMI85GHz から計算する散乱指数を用いて、陸上の降水量を推定する手法を開発した。HUBEX (淮河流

域エネルギー・水循環研究観測計画) 期間について、推定した地面の乾湿および降水量は、地上気象レーダー、TMI (2A12)、TRMM/PR (2A25) などのデータと良い一致を得た。1998年夏期の揚子江、淮河周辺の地

面の乾湿に関し、クラスター分類の手法で推定したものの、土壤水分指数 (SWI)、偏波間温度差指数 (PDI)、偏波比 (PRI) を求め、航空機搭載および Radarsat の合成開口レーダーの画像、および雨量計のデータから

計算した Z-index と比較した。4つの指数はどれも、これらのデータと良い一致を得たが、その中で PDI が一番良かった。

Widiyatmi Ipek, 橋口浩之・深尾昌一郎・山中大学・荻野慎也・Kenneth S. Gage・Sri Woro B. Harijono, Sri Diharto・Djojodihardjo Harjono: 1996-1999年におけるブキティンギ・スルボン・ピアクの境界層レーダー観測に基づく赤道域インドネシア上空の3-6日スケール擾乱の研究

Widiyatmi Ipek, Hiroyuki Hashiguchi, Shoichiro Fukao, Manabu D. Yamanaka, Shin-Ya Ogino, Kenneth S. Gage, Sri Woro B. Harijono, Sri Diharto, and Djojodihardjo Harjono: Examination of 3-6 Day Disturbances over Equatorial Indonesia Based on Boundary Layer Radar Observations during 1996-1999 at Bukittinggi, Serpong and Biak

.....317-331

赤道域インドネシアのブキティンギ・スルボン・ピアクに設置された境界層レーダーで1996-1999年に観測された風速スペクトルの特徴は、3-6日周期が卓越しており、それより長周期のものは東西風成分だけで

卓越していた。バンドパスフィルター解析から3-6日モードが約700km/dayの西向き位相速度と約3500kmの東西波長を持ち、ピアクで強い西風の時にインドネシア海洋大陸上空を伝搬することが分かった。

大澤輝夫・植田洋匡・林 泰一・渡辺 明・松本 淳

淳: アジア熱帯域での対流活動と降水量の日変化

Teruo Ohsawa, Hiromasa Ueda, Taiichi Hayashi, Akira Watanabe, and Jun Matsumoto: Diurnal Variations of Convective Activity and Rainfall in Tropical Asia.....333-352

静止気象衛星 GSM-5 の1時間毎の等価黒体温度 ( $T_{bb}$ ) データとバングラデシュ、タイ、ベトナム、マレーシアの1時間ないし3時間降水量データを用いて、アジア熱帯域の対流活動と降水量の日変化を調べた。本研究では、赤外1と水蒸気チャンネルの温度差  $\Delta T_{bb} = T_{bb}(IR1) - T_{bb}(WV)$  が 3K 以下の出現頻度を対流活動の指標として用いた。この指標を用いることで、対流活動と降水量の日変化はほぼ同位相になる。

東経 80-120 度、北緯 0-30 度の領域において対流活動が極大、極小になる時刻を調べた結果、陸上では 17 時 (地方時) に極大、11 時に極小、海上では 14 時に極大、21 時に極小となる格子が最も多く見られた。また、従来日変化の解析においてよく使われてきた調和解析を用いないことにより、深夜・早朝に極大を持つ地域が、午後・夕方に極大を持つ地域と明確に分離

された。この深夜・早朝の極大は、主として山岳風上地域、盆地・谷状地域、及び海岸地域に見られる。従ってこの極大は、地形、あるいは地形に起因する山風、陸風等の局地循環に関連したものであると考えられる。

さらに、降水量データの解析から、この深夜・早朝の極大は降水量の多い観測点で見られることが示された。深夜・早朝に極大を持つ観測点の数は、午後・夕方に極大を持つ観測点の数よりも少ないが、前者の平均日降水量は平均的に見て後者より数倍多い。それ故、全観測点を平均した日変化は、05時と16時にほぼ等しい2つの極大を示す。これらの結果は、対流活動や降水量の深夜・早朝の極大が、アジア熱帯域のエネルギー・水循環において大きなインパクトを与えている可能性を強く示唆するものである。

蔵治光一郎・Punyatrong Kowit・鈴木雅一：タイ・メチャム流域における高度増加に伴う雨量の増加

Koichiro Kuraji, Punyatrong Kowit, and Masakazu Suzuki: Altitudinal Increase in Rainfall in Mae Chaem Watershed, Thailand .....353-363

タイ国チャオブラヤ川上流山岳地帯の降雨量の標高依存性を知るために、広さ3,853km<sup>2</sup>のメチャム(チャム川)流域内にGAME-Tプロジェクトによって設置した13個の雨量計による1年半のデータを解析した。その結果、標高増加に伴って降雨量が増加する傾向が、1998年雨季、1998年~1999年にまたがる乾季、1999年の雨季のいずれでも明瞭にみられた。降雨量の標高による増加率は、2雨季間で2.5倍もの差があり、乾季では著しく小さかった。この増加率の違いには、降雨強度でなく降雨時間の違いが効いていた。標高増加に伴う降雨量増加傾向と降雨の空間スケールとの関係を

解析するため、日降雨量の地点間変動係数(CV)を指標に降雨日を区分して解析を行った。変動係数の大小いずれの区分でも、標高増加に伴う平均日雨量の増加傾向は明瞭であつたが、地点間のばらつきが相対的に小さい、空間スケールのより大きな降雨イベントの方が、標高増加に伴う平均日雨量の増加率が大きいという結果が、2雨季、1乾季に共通して得られた。その原因として、空間スケールの大きい降雨において、雨季では標高増加に伴い降雨時間が長くなること、乾季では標高増加に伴い降雨強度が大きくなることが見出された。

広田知良：タイ気象局農業気象観測所のルーチンデータを用いた熱収支法による蒸発量の季節変化および年蒸発量の推定

Tomoyoshi Hirota: Estimation of Seasonal and Annual Evaporation using Agrometeorological Data from the Thai Meteorological Department by the Heat Budget Models ...365-371

裸地面や芝地の蒸発量の季節変化をルーチン気象データのみを用いて2つの方法で、タイ国のチャオブラヤ川流域内にあるバンコクとチェンマイで推定した。1つは深さ0cmの日平均地表面温度を用いて熱収支法により蒸発量を推定するもので、もう一つは日平均地温を推定するForce-Restore法を用いて、蒸発量を推定するものである。1989年のタイ気象局の農業気象観測所のデータを用いてバンコク(裸地)とチェンマイ(芝地)の蒸発量の季節変化および年蒸発量を推定した。年積算値がバンコクで降水量1320mm、パン蒸発量1560mmに対して推定した蒸発量は深さ5cmの地温を用いたForce-Restore法によるものが1080mmで、日平均地表面温度を用いて熱収支法で解いたものが1140mmであった。チェンマイでは降水量1000mm、

パン蒸発量1540mmに対して推定した蒸発量は深さ5cmの地温を用いたForce-Restore法によるものが760mm、日平均地表面温度を用いて熱収支により解いた方法では815mmであった。2つの方法による蒸発量の推定結果は、ほぼ同じであったが、日平均地表面温度を用いて熱収支により解いた推定結果の方がForce-Restore法によるものよりやや大きい値となった。この推定蒸発量の違いは地表面温度と深さ5cmの地温の観測値の違いに起因し、正確な地表面温度を棒状温度計で測定することが困難であることによる誤差が計算結果の違いに表れていると考えた。モデルによる推定結果は複雑植生地で得られた戸田等(2001)の結果あるいは水田で得られた戸田等(2000)の観測結果と比較的近い値を示した。

楊 大文・S. Herath・沖 大幹・虫明功臣：大気モデルとの結合を念頭に置いた分布型水文モデルの熱帯アジア地域への適用

Dawen Yang, S. Herath, Taikan Oki, and Katumi Musiake: Application of Distributed Hydrological Model in Asian Monsoon Tropic Region with a Perspective of Coupling with Atmospheric Models .....373-385

地球あるいは地域規模の水文循環、その気候変動や環境変化に対する応答を予測することは重要な研究テ

ーマである。この目的のため、水文モデルは改良され、対象とする空間スケールを拡大する方向にある。一方

で、水文過程の高い非線形性と高い空間非一様性のために、水文モデルは空間情報と物理的記述を分布型で表現する必要がある。また、人間の水資源への直接的な影響を示すために、貯水池などの社会基盤施設による水の調節を水文モデルへ導入することも重要である。GBHM (geomorphology based hydrological model) は、河道間隔-斜面分割スキームを用いた水文モデルであり、流域の地形形態特性を用いて水文循環を表現している。GBHM は流域の地形特性を適切に捉えることが可能であり、土壌特性等のその他の地表面特性の空間分布の記述も柔軟に行なうことができる。本研究では

GBHM が GAME-T の主対象領域であるタイのチャオプラヤ川流域に適用された。水文モデルにとって大スケールである領域スケール (regional scale) への適用性を調べることも目的の1つである。流域面積 110,000 km<sup>2</sup> において 1994 年と 1995 年を対象としたシミュレーションを行なった。貯水池 (プミボルとシリキット) 操作も水文モデルへ導入された。16 地点における河川流量時系列 (ハイドログラフ) についてシミュレーションによる計算値と観測値が比較され、検証された。GBHM と大気モデルの結合の可能性についても議論された。

金 元値・新井崇之・鼎信次郎・沖 大幹・虫明功臣: SiB2 モデルの GAME-Tropics 研究領域にある生育期の水田への適用

Wonsik Kim, Takashi Arai, Shinjiro Kanae, Taikan Oki, and Katumi Musiake: Application of the Simple Biosphere Model (SiB2) to Paddy Field for a Period of Growing Season in GAME-Tropic .....387-400

タイの GAME-Tropics 研究領域にある水田の観測データを利用して、Sellers らによって開発された SiB2 モデルと新たな水田スキームが入っている SiB2-Paddy モデルの比較および評価を行った。その結果、日周変動においては、正味放射と潜熱は2つのモデルとも良く観測データと一致したが、SiB2 の潜熱シミュレーション結果にはピークの時間差が生じた。なお SiB2-Paddy モデルを利用した顕熱、地中熱流量と光合成速度のシミュレーションは観測と一致する結果であったが、SiB2 モデルを利用したこれらのシミュレーションは観測と一致しなかった。また、キャノピー、

水および土壌の温度はパラメータを調節した SiB2-Paddy モデルによりよくシミュレートされた。全実験期間の平均エネルギー・水収支においては、潜熱や顕熱のシミュレーションと観測との間に大きな差は認められなかった。また、顕熱と地中熱流量の平均がこれらの値よりはるかに小さいことを考慮すると SiB2 を利用した地表面過程の熱収支評価は有効であると考えられる。しかし、より現実的なシミュレーションのためには潜熱の時間差や温度が正確にシミュレートできる SiB2-Paddy の利用が必要であると考えられる。

桑形恒男・沼口 敦・遠藤伸彦: 夏期のチベット高原中央部における水蒸気量の日変化

Tsuneo Kuwagata, Atusi Numaguti, and Nobuhiko Endo: Diurnal Variation of Water Vapor over the Central Tibetan Plateau during Summer .....401-418

夏期のチベット高原中央部における水蒸気量の日変化を、観測データならびに数値実験によって調べた。高層気象データを用いた解析によって、谷間で日中に可降水量が減少し、逆に山岳域で増加するという、特徴的な可降水量の日変化が見いだされた。このような日変化はモンスーン開始以前にもっとも顕著であり、モンスーンの最盛期においては不明瞭となる。この日変化の水平構造を全球客観解析データおよび GMS-5 気象衛星データによって調べ、上述の高層気象観測結果と整合的な結果を得た。この可降水量の特徴的な日変

化は、起伏地形上で発達する熱的大気循環にもなった水蒸気輸送がもたらしたものと解釈できる。このような可降水量の日変化は、簡単な2次元大気モデルによって定性的に再現された。単純なモデル地形を用いた数値実験によって、チベット高原における条件下で、山岳域における日中の可降水量の増加が最大となる地形の水平スケール (谷の幅に対応) を評価した。その結果、その水平スケールはチベット高原中央部における大規模山岳の南北方向の水平規模 100~300km にほぼ一致するという結果が得られた。

上野健一・藤井秀幸・山田広幸・Liping Liu: モンスーン期のチベット高原上で観測された頻繁で弱い強度の降水

Ken'ichi Ueno, Hideyuki Fujii, Hiroyuki Yamada, and Liping Liu: Weak and Frequent Monsoon Precipitation over the Tibetan Plateau .....419-434

1998年5月から9月にかけて、GAME-Tibetプロジェクトの一環として実施されたチベット高原那曲流域(標高4500-5000m)における降水量の集中観測データを用いて、降水の時空間スケール、形態、強度およびそれらの時間変動について解析した。同流域のモンスーン期(6月中旬から9月上旬)は降水量変動及びGMS/IRデータによる対流活動から明瞭に規定できた。同期間を通じた流域平均降水量は336mmで、そのほとんどが降雨か霰でもたらされ、50%の確率の降雪下限標高はほぼ一定で5000m付近と予想された。6-8月の降水日数と平均日降水量の関係から、チベット高原の降水は他のモンスーンアジア域に比べて降水強度は弱い降水

頻度は高いことが示された。那曲流域で0.25mm以上の日数はモンスーン期中の日数の87%を占めたが、平均時間降水強度は1.27mm/hであった。また、昼と夜の積算降水量には差が見られない一方、降水強度に明瞭な日変化が存在した。すなわち、日中には1mm/h以下の弱い降水強度を伴う降水事例が卓越するのに対し、夜間には3mm/h以上の強度を伴う事例が卓越した。いずれの事例も総観規模の雲域の通過に関連しており、日中は空間スケールの小さな孤立した対流性エコーが、夜間は比較的空間的な広がりを持つ層状性エコーが観測された。これらの観測事実をふまえて日中の頻繁で弱い強度の降水の発生原因に関する考察を行った。

清水収司・上野健一・藤井秀幸・山田広幸・城岡竜一・Liping Liu: チベット高原上における層状性降水のメソスケール構造と特徴

Shuji Shimizu, Ken'ichi Ueno, Hideyuki Fujii, Hiroyuki Yamada, Ryuichi Shirooka, and Liping Liu: Mesoscale Characteristics and Structures of Stratiform Precipitation on the Tibetan Plateau .....435-461

GAME-Tibetの集中観測期間における熱帯降雨観測衛星(TRMM)降雨レーダ(PR)データから、モンスーン期のチベット高原上の降水は昼から夕方にかけて対流的な降水によってもたらされているだけでなく、夕方から夜間にかけての広範囲の層状性降水も大きな比重を占めているという日変化が見られた。

夜間に層状性降水が観測された2つの事例について解析を行った。ケース1では、1998年7月7日と8日の両方で夕方から夜間にかけて層状性の降水が観測された。7月7日では夕方に総観規模の収束が高原の南側で発達していた。この期間の下層風は短い時間で変化していた。特に下層においてメソスケールの収束が強くなった時刻に、降雨量も大きくなっていった。7月8日には総観場で南西風と北風との間に収束帯が見られ、夕方にレーダサイト上空を通過した。8日13

時付近に海拔高度8km以下で西風から北面風への急変が見られた。その境界面は寒冷前線面に相当していた。この前線に伴う降水は層状性で、エコー頂高度も低く、降雨量も7日より少なかった。この2日間の降雨変化はTRMM PRで見られた日変化と対応していた。

1998年8月1日のケース2では、総観場には明瞭な擾乱は見られないが、深夜に時間雨量4mm以上の降水が観測された。このとき直径90kmの層状性エコーがレーダサイト上空に7時間停滞していた。この期間の6km以下の層では北から北東、東へと風が変化していた。特に北東風が強まったときに、下層の収束が強まり、層状性降水が強められていた。

この2例の事例解析から、夕方及び夜間の下層における湿った大気のメソスケールの収束が層状性降水の発達・維持に大きく寄与していることがわかった。

上田 博・山田広幸・堀込淳一・城岡竜一・清水収司・劉 黎平・上野健一・藤井秀幸・小池俊雄: GAME・TIBET IOP中のチベット高原ナチュにおいてドップラーレーダーで観測された対流雲の特徴

Hiroshi Uyeda, Hiroyuki Yamada, Junichi Horikomi, Ryuichi Shirooka, Shuji Shimizu, Liping

Liu, Ken'ichi Ueno, Hideyuki Fujii, and Toshio Koike: Characteristics of Convective Clouds Observed by a Doppler Radar at Naqu on the Tibetan Plateau during the GAME-Tibet IOP .....463-474

チベット高原上での対流雲の特徴を明らかにするために、チベット高原中央部海拔高度 4500m のナチュ市郊外において、GAME-Tibet 特別観測期間の 1998 年 5 月 27 日～9 月 19 日にドップラーレーダー観測を行った。特別観測期間中、日中の対流雲の形成・発達及び夜間にかけての衰退を伴う、レーダーエコー面積とエコー頂高度の顕著な日変化が見られた。エコー頂高度とレーダー反射強度のグリッドデータから客観的に求めた対流雲の面積は、モンスーン入り後に大きくモンスーン入り前に小さかった。10dBZ 以上の対流雲の最大エコー頂高度は海拔 17km に達した。さらに、日中の対流雲に伴う渦がドップラー速度場から多数識別さ

れた。渦は半径 64km のレーダー観測の全領域で観測された。観測期間中に観測された日最大渦度は反射強度 30dBZ 以上のエコー頂高度と正の相関を示した。モンスーン入り後の日最大渦度はモンスーン入り前のそれより大きかった。対流雲のレーダー反射強度及び渦度の特徴をゾンデデータと比較して、日射による上昇流の形成、西風層の降下、下層の鉛直シアの強化、水平渦管の立ちあがり、などの結果、渦度が強化されるというプロセスが推定された。チベット高原中央部ナチュの対流雲は強い日射による強い上昇流を伴う急速な成長、雹・霰の形成及び強い渦度の形成によって特徴付けられた。

藤井秀幸・小池俊雄：チベット高原における地表面の射出効果を考慮した降水量推定アルゴリズムの開発

Hideyuki Fujii and Toshio Koike: Development of a TRMM/TMI Algorithm for Precipitation in the Tibetan Plateau by Considering Effects of Land Surface Emissivity

.....475-483

陸域におけるマイクロ波放射計降水リモートセンシングでは、地表面の多様性が問題となる。本研究では、地上面からの放射に大きな影響を与える土壤水分に着目し、降水と同時に土壤水分を推定することによって地表面の不均一性の影響を考慮したアルゴリズムを提案する。地表面の射出特性は、土壤水分の他に、表面粗度、物理温度によっても変化するため、偏波混合率および粗度高さを用いて地表面粗度の効果を組み込み、さらに、放射伝達方程式に基づき、周波数特性および偏波特性を 2 つの指標 Index of Soil Wetness (ISW) および Polarization Index (PI) を導入することによって物理温度の影響を消去した。本アルゴリズムでは、Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) に搭

載されたマイクロ波放射計 TMI で観測される 85GHz および 10GHz での輝度温度データより ISW と PI を求め、ISW-PI の関係から降水層の光学的厚さと地表面の土壤水分の推定を行う。

アルゴリズムを GAME-Tibet 集中観測期間への適用した結果、推定された降水層の光学的厚さの分布が 3 次元ドップラーレーダによって観測された降水分布と良く一致し、土壤水分においても観測値と比較的良好な対応が見られた。さらに、推定された光学的厚さを GAME-Tibet メソ領域の降水量データと比較した結果、10 日間降水量と良い相関を得た。また、降水の鉛直プロファイルが光学的厚さの推定の影響を及ぼすことが示された。

徐 健青・萩野谷成徳：チベット高原上における熱・水収支の推定

Jianqing Xu and Shigenori Haginoya: An Estimation of Heat and Water Balances in the Tibetan Plateau.....485-504

チベット高原上、チベット自治区内の熱・水輸送を見積もるため、地中における気相の輸送過程と液相の輸送過程を考慮した土壤水分輸送モデルを使用した。入力データはチベット地域にある 14 箇所のルーチン

観測所の気象観測データである。計算結果はチベットに展開した AWS で得られた顕熱・潜熱と土壤水分観測の結果によって検証した。顕熱・潜熱フラックスの日変化、および土壤水分と日射量の季節変化に関する計

算結果は観測結果とよく一致していた。

これら 14 箇所における 1997 年の日変化と季節変化を推定し、以下の結果を得た。標高 3000m 以上の高原上の正味放射フラックスは比較的大きい（年平均  $55-79\text{W}/\text{m}^2$ ）。西チベット（東経 87 度以西）での少ない降水量（例えば、獅泉河の  $55\text{mm}$ ）のところでは、正味放射の大部分（80-90%）は顕熱フラックスとなる。東チベットでは正味放射量の 30-50%が潜熱フラックスとなる。西から東へ潜熱フラックスは徐々に増加し、モンスーン季では顕熱フラックスをも上回る。潜熱フラックス（蒸発）はまた高所であるため比較的低温の地上気温によって制限されている。このことは高原の降水量がそれほど大きくないにもかかわらず、いくつかの大きな河川の源流になっていることに対応している。

比較的大きな正味放射量は制限された蒸発と共に、チベット高原が大気を加熱する役割を果たしていることを示唆している。

気候的な代表地点、拉薩、について 1979 年から 1997 年までの 19 年間の計算を行った。この間の平均正味放射量は  $62\text{W}/\text{m}^2$ 、顕熱フラックスは  $38\text{W}/\text{m}^2$ 、潜熱フラックスは  $24\text{W}/\text{m}^2$  であった。顕熱フラックスは 5 月または 6 月に最大で  $54-76\text{W}/\text{m}^2$  の範囲にあった、潜熱フラックスは 7 月または 8 月に最大となり  $41-83\text{W}/\text{m}^2$  の範囲にあった。年降水量の年々変動は大きく、それゆえ年降水量と年蒸発量の差は降水量の少ない年の  $8\text{mm}$  から降水量の多い年の  $217\text{mm}$  まで大きく変動している。

田中健路・石川裕彦・林 泰一・玉川一郎・馬 耀明：GAME/Tibet IOP98 データを用いたチベット高原・アムドにおける地表面エネルギー収支

Kenji Tanaka, Hirohiko Ishikawa, Taiichi Hayashi, Ichiro Tamagawa, and Yaoming Ma:

Surface Energy Budget at Amdo on Tibetan Plateau using GAME/Tibet IOP98 Data

.....505-517

アジアモンスーンエネルギー水循環観測計画 (GAME) の集中観測期間中、チベット高原東部のアムドにおいて、渦関法に基づく地表面フラックス観測が実施された。本論文では、これらのデータを用いて、地表面エネルギー収支に関する解析を行った。

顕熱フラックスと潜熱フラックスについて、夏季モンスーン入前と夏季モンスーン期間中とで、顕著な相違が見られた。モンスーン突入前は、地表面及び接地境界層は比湿で  $2-4\text{g}/\text{kg}$  と乾燥しており、潜熱フラックスに対して顕熱フラックスの方が卓越している。夏季モンスーンが発達するのに伴い、ほぼ毎日降水が観測されるようになり、顕熱フラックスが減少し潜熱フラックスが増加するという傾向が現れる。そして、夏季モンスーンの終焉にあたる 9 月上旬には、潜熱フラックスが顕熱フラックスを大きく上回るようになる。

地表面における地中熱伝導フラックスを、観測で得

られた地中温度プロファイルを用いて、熱伝導方程式を基に計算を行った。この計算で得られた熱伝導フラックスと観測データの残差（正味放射フラックスから顕熱フラックスと潜熱フラックスを引いた差）とを比較すると、昼間については両者よく一致するものの、夕方、地表面温度が減少するのに伴って、不一致が生じる。日平均値について検討すると、クロージャー比が晴天日の典型的な値として  $0.67$  となり、地表面エネルギー収支が閉じない結果となった。また、春から夏にかけて地中約  $3\text{m}$  までの凍結した土壤水分が融ける際に要する融解熱を試算した。その結果、4 月 20 日～7 月 20 日の期間平均のフラックスとして、約  $30\text{W}/\text{m}^2$ （正味放射の約 20%）の熱量が必要であると算出された。だが、これに対応する  $10\text{cm}$  での地中熱流量の観測値はわずか  $5.7\text{W}/\text{m}^2$  であった。

佐藤 威：チベット高原東部における凍土と積雪の空間的・時間的変動

Takeshi Sato: Spatial and Temporal Variations of Frozen Ground and Snow Cover in the

Eastern Part of the Tibetan Plateau.....519-534

チベット高原東部の季節凍土域内の 3 カ所 (Lhasa, Rikeze, Nagqu) において 1993 年 7 月から 1999 年 3

月まで土壤の凍結深（凍土の深さ）と積雪相当水量の観測を行った。また、この期間の 10 カ所の気象官署

のルーチンデータを解析した。主な結果は次の通りである。

最も凍土が発達するのは Nagqu で、最大凍結深は 160-200cm であった。Nagqu では、凍土は 10 月から 3 月中旬まで発達し、4 月になると表層から融解が始まり 5 月中旬にほぼ消滅した。融解期には一時的に凍土層が地中に存在していた。また、厳冬期を除き、表層土壌の融解・再凍結という日変化が見られた。

ある温度条件における凍土の発達効率  $\alpha$  (最大凍結深と積算寒度の平方根の比) は標高および凍結開始前 (9-10 月) の降水量とともに大きくなる傾向があるが、積雪の多寡とはあまり関係がない。例外時に Lingzi と Qando では低標高であるにもかかわらず  $\alpha$  は大きく、冬期の日射量が少なく凍土が発達しやすいためと考えられる。最大凍結深は Lingzi と Qando を除くと標高とともに大きくなる。

積雪日数は北部ほど多いが、長期間連続して積雪が

存在することは少ない。積雪日数が 2 番目に多い Nagqu では、観測期間中の最大積雪相当水量は 20mm、最大積雪深は 9cm、平均積雪密度は約 0.2g/cm<sup>3</sup> であった。Sogxian と Nagqu の積雪日数の年々変動は似ていた。

94/95, 96/97, 97/98 冬期はほとんどの地点の冬期気温偏差が負であったが、特に 97/98 冬期には、積雪日数が多かった Nagqu と Sogxian の気温の負偏差が他の地点よりかなり大きく、大気と積雪の間の熱交換 (積雪のアルベド効果) の影響と考えられる。夏 (5-9 月) の降水量と Sogxian における前冬の積雪日数の相関は正で、積雪の多い冬の後に土壤水分が増加し夏の積雲対流が活発化するという、大気と積雪の相互作用 (積雪の水文学的効果) と矛盾しない。夏の降水量が多い年の次の冬は暖冬の傾向があるが、夏の降水量と夏の気温の相関ははっきりしない。

高菰 出・高田久美子・山崎 剛・上野健一・矢吹祐伯・萩野谷成徳: GAME/Tibet POP' 97 の観測結果に基づいた共通の入力データによる 4 陸面過程モデルの比較—積雪と土壤凍結過程—  
Izuru Takayabu, Kumiko Takata, Takeshi Yamazaki, Ken'ichi Ueno, Hironori Yabuki, and Shigenori Haginoya: Comparison of the Four Land Surface Models Driven by a Common Forcing Data Prepared from GAME/Tibet POP' 97 Products - Snow Accumulation and Soil Freezing Processes .....535-554

GAME の様々な科学的知見を統合するために、GAME プロジェクトに参加している様々な陸面過程モデルの特性を、共通のデータを用いて比較する必要がある。ここでは GAME/Tibet POP97 データ (1 時間間隔で約 1 月間) を用いて JMA-SiB, CCSR/NIES LAND, MATSIRO, TOHOKU の 4 つの陸面過程モデルを動かすことに成功した。なおこのデータセットは土壤温度、積雪深といったモデル検証用のデータも含んでいた。シミュレーション結果は、モデル間に地中熱流量の差は

小さく、土壤凍結の過程はどのモデルでもよく再現されているといったものであった。ところが気孔抵抗のパラメタライズの差によるボーエン比の大きな差は、GCM あるいは reg-CM といった大気モデルとのカップルを行った際に、大きな予報量の差をもたらすことを示唆している。また、積雪量の予報値の大きな差は、アルベド評価の差に起因していることが明らかになった。

Suxia Liu・Xingguo Mo・Haibin Li・Gongbing Peng・Alan Robock: 中国のにおける土壤水分の空間分布: 地形統計学的特性

Suxia Liu, Xingguo Mo, Haibin Li, Gougbing Peng, and Alan Robock: Spatial Variation of Soil Moisture in China: Geostatistical Characterization.....555-574

中国東部の土壤水分の広域空間特性が、1987 年～1989 年の 99 地点の表層 0.1m と表層 1m の観測データに地形統計学的手法を適用して解析された。標本のペリオグラムには、多くの場合はっきりとしたシルとナ

ゲットがあることが分かった。1 つのナゲット含むことがある球面ペリオグラムモデルは、標本のペリオグラムに良く適合している。ペリオグラム解析の分割間隔を選ぶ定量的方法を使って、平均的なレンジが表層

0.1m では 300-350km, 表層 1m では 500-650km であることがわかった. 表層 0.1m の土壌水分の平均変動係数は表層 1.0m の値より大きく, 前者のレンジが後者の値より小さなことを示している. 夏のレンジは冬の値より小さい. ナゲット効果と空間分散の比を計算することによって, 表層 0.1m の比は表層 1.0m の値より小さいことが分かった. それは, ほとんどの場合前者

の空間分散が後者の場合に比べて, 強い自己相関もっており, 計測誤差については表層 1m のデータが表層 0.1m のデータに比べてかなり大きいことを示している. 全計測日の半数以上で, ナゲット効果と空間分散の比は 20% であり, これらの日の空間相関分散は, 全分散の 80% 以上を説明することができることを示している.

**Yafei Wang · Bin Wang · Jai-Ho Oh: 先行するエルニーニョが夏の東アジアモンスーン循環に及ぼす影響**

Yafei Wang, Bin Wang, and Jai-Ho Oh: Impact of Preceding El Niño on the East Asian Summer Atmosphere Circulation..... 575-588

本論文は, 南アジアモンスーンと ENSO との関係とは大きく異なった, 東アジアモンスーンと ENSO との関係を 1958-98 年について研究したものである.

主要な知見は, (1) 東アジアモンスーンの強さを示す新しい指標 (EAMI) を定義し, 東アジアモンスーンの活動の南北分布を記述できるようにした. EAMI の年々変動は, 1976 年から 1998 の期間においては, Webster and Yang (1992) による広域的なアジアモンスーンの強さの指標と有意な負相関を示す. (2) 夏の 500hPa 面高度偏差と先行する秋と冬の NINO-3 の海面水温との間の有意な正相関が, 東アジアと西部北太平洋の亜熱帯地域と北緯 70 度, 東経 137.5 度を中心とする北東アジアに認められる. 東アジアの亜熱帯地域における強い (弱い) 夏のモンスーンは, 2~3 季節前の NINO-3 の海面水温偏差が, 1.5 以上 (-0.7 以下) の時に起こる傾向がある. (3) 上記の結果は, ENSO が東アジアの夏の

気循環に対して, 時間差をもって影響を与えている可能性を示す. エルニーニョが最盛期を迎えたあとの夏には, 東北アジア域にブロッキング高気圧が発生しやすいつ一方, 西部北太平洋の亜熱帯高気圧は大きく西に張り出す傾向がみられる. このような循環パターンの変位によって, 東アジア亜熱帯地域の夏のモンスーンが強められる. 上述した循環場偏差の発達は, 未曾有の強い 97/98 年のエルニーニョ時には, より顕著にみられ, 1998 年の中国中南部での大洪水の原因の一部は, 強いエルニーニョが時間差をもって与えた影響によるものと考えられる.

熱帯および亜熱帯西部太平洋における大気海洋相互作用以外の, エルニーニョが時間差をもって東アジアモンスーンに影響を及ぼす物理的過程についても考察を加えた.

**要報と質疑**

谷田貝亜紀代: GMS-5 水蒸気チャネルデータによるチベット高原上の可降水量と相対湿度の見積もり  
Akiyo Yatagai: Estimation of Precipitable Water and Relative Humidity over the Tibetan Plateau from GMS-5 Water Vapor Channel Data.....589-598

静止気象衛星 GMS-5 の 6.7μm 水蒸気チャネルの輝度温度 ( $T_{b,1}$ ) と, チベット高原上のゾンデ観測値による相対湿度, 可降水量, 比湿, 温度を, 1995 年夏季について比較した. 6.7μm の波長帯は主に 300 hPa から 600 hPa の大気層からの放射に感度がある. チベット高原は高度が 3,000m から 4,000m なので, 高原上の  $T_{b,1}$  はその上の湿度の情報を持っていると考

えられる.  $T_{b,1}$  と各レベルの気温や比湿等との関係を調べた結果, 高原上では 200 hPa から 300 hPa あたり得水蒸気情報と密接な関係があることがわかった. 次に, チベット高原における  $T_{b,1}$  による対流圏上層の湿度 (UTH) や可降水量の帰帰式を求めた. これにより求められる 1995 年 7, 8 月におけるチベット高原とその周辺における, 400 hPa 以上の高度の可降水量

の分布とその日変化特性も示す。

辻村真貴・沼口 敦・田 立德・橋本重将・杉本敦子・中尾正義：チベット高原における安定同位体組成および圧力水頭変化からみた地中水の挙動

Maki Tsujimura, Atusi Numaguti, Lide Tian, Shigemasa Hashimoto, Atsuko Sugimoto, and Masayoshi Nakawo: Behavior of Subsurface Water Revealed by Stable Isotope and Tensiometric Observation in the Tibetan Plateau .....599-605

チベット高原，那曲（ナチュ）近郊の平坦な草地において，土壌水の圧力水頭観測，土壌，土壌水，および降水の採取などを，モンスーン期の7月末から9月上旬まで約1ヶ月間連続して行い，土壌水・地下水の挙動と土壌水・地下水における水素・酸素安定同位体比の形成過程との関係を考察した。無降雨時には，深度30cmに土壌水のゼロフラックス面がしばしば観測され，蒸発散の影響が深度30cmにまで及んでいることが示唆された。また，8月上旬から9月上旬までの1ヶ月間に，地下水面が深度100cmから55cmにまで上昇し，モンスーン期における地下水涵養が活発に生じて

いることが示された。

土壌水・地下水の水素・酸素安定同位体比は，対象地点における天水線上にプロットされ，土壌水・地下水の涵養源が主に降水であることが示された。また地下水（深度100cmの土壌水）における酸素安定同位体比の平均値は，涵養源と考えられる6月上旬から9月上旬の降水における雨量加重平均値に比較し，3.4%高い値を示した。このことは，本期間における降水の平均27%が，地表面から蒸発していることを示唆している。