MTSAT 近赤外放射情報を用いた 夏季のチャオプラヤ川流域における雲の日内特性

Diurnal Characteristics of Cloud Types over Chao Phraya River Basin in Boreal Summer Season Based on MTSAT Infra-red Dataset

北海道大学大学院工学院 ○学生員 渡部大和 (Yamato Watanabe) 北海道大学大学院工学研究院 正 員 山田朋人 (Tomohito Yamada)

1. はじめに

インドシナ半島は東南アジアモンスーン地域に属し、 1年の中で雨季と乾季が明瞭に存在する。チャオプラヤ 川はタイ国を流れるインドシナ半島有数の河川である。 チャオプラヤ川流域では年降水量の70%以上が雨季に もたらされ、年降水量は約1000mmであるが、同流域 は2011年に未曾有の大洪水に見舞われ、同年の年降水 量は平年の1.43倍に上った。また、この大洪水は乾季 が始まる11月に入っても継続し、長期間に渡る被害を 同流域にもたらした¹⁾。

このようにインドシナ半島では近年においても極端現 象、とりわけ豪雨イベントが発生している。Kanae et al. はインドシナ半島における森林伐採が雨季の降水パター ンに与える影響について NCEP-NCAR (National Centers Environmental Prediction-National for Center for Atmospheric Research)の長期再解析データや地上観測値 を用いて解析したところ、海洋上からの水蒸気供給量が 減少する9月において、森林伐採が降水量の減少に寄与 することを示唆した²⁾。また、原田らは GMS (Geostationary Meteorological Satellite)による雲の有無と いう情報を用い、タイ湾やベンガル湾に面したインドシ ナ半島やマレー半島の海岸域では対流活動の日内変化が 存在することを示した 3。これらの先行研究は大気陸面 相互作用もしくは降雨及び雲の日内特性について議論し たものである。他の地域を含め大気陸面相互作用や日内 特性については全球及び領域気候モデルを用いた多くの 研究が成されてきたが、大気陸面間の結合強度は気候モ デルによる違いが顕著であるとの結果が得られている 4。 一方、大気陸面相互作用に起因する日内特性の再現は気 候モデルにとって困難な現象のひとつである⁵⁾

雲の生成過程を含む大気陸面間の相互作用は日々の水 文気象過程の予測精度を向上させる上で不可欠であるが、 前述したように大気陸面相互作用及び日内特性は気候モ デルへの依存性が無視できない。従って、本研究は人工 衛星により観測される近赤外線情報を基に作成された雲 分類データ^{の、⑦}を用い、チャオプラヤ川流域における雲 の出現に関する日内特性を大気陸面相互作用の観点から 議論するものである。

2 章では使用したデータ及び著者らが開発した雲分類 手法について説明し、積乱雲をはじめとする雲の出現時 刻に関する年々変化について3章において議論を行う。 さらに、4 章では気候値に加え、近年において積乱雲の 出現時刻に明瞭な差があった年の代表年として 2010 年 と 2011 年を対象に複数種の雲の日内特性を明示する。 最後に、まとめを5章に示す。

2. 使用データと解析手法

2.1 使用データ

本研究で使用したデータは、気象衛星ひまわり MTSAT \mathcal{O} IR1(Infra-red 1 10.8 μ m) \geq IR2(Infra-red 2 12.0 μm)の近赤外放射データである。対象期間は 2006 年から 2011年までの6月から8月であり、チャオプラヤ川流 域における雨季の中頃に相当する。MTSAT の観測範囲 は、東経 80.02 度~西経 160.02 度、北緯 59.98 度~南緯 59.98 度であり、観測間隔は1時間に1回である。これ ら2種類の近赤外放射データは全て高知大学のデータベ ースより取得した⁸⁾。また、3章において使用する降雨 のデータとして、TRMM3B42を用いた。TRMM3B42は 3時間ごとの複合データセットである。4章において使 用する 2m 高さ気温、土壌水分量及び比湿のデータはそ れぞれ NCEP-NCAR (National Centers for Environmental Prediction and National Center for Atmospheric Research), AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS) 及び我が国の気象庁によって作成された長期再解析デー タ(JRA-25) を用いた。

2.2 雲分類手法

本研究における雲分類は MTSAT の IR1 と IR2 から得 られる輝度温度情報から二次元アルゴリズムを作成し、 それに基づいて行われた。MTSAT が有する 5 つの波長 帯(可視波長(0.55~0.9µm)、近赤外 1 波長(IR1; 10.3~11.3μm)、近赤外 2(IR2;11.5~12.5μm)、近赤 外 3 (IR3; 6.5~7.0µm)、近赤外 4 (IR4; 3.5~ 4.0µm))のうち、IR1とIR2の波長の間に特に氷と水 に対する吸収特性が異なるという性質があるため、本研 究では IR1 及び IR2 を使用した。それら2 種類の波長に よって得られた輝度温度情報を使用し、雲頂高度によっ て輝度温度が異なるという特性から雲の種類を分類する。 この手法を用いることにより、雲と晴れ(Clear Sky)を区 別するだけでなく、覆っている雲を6種類に判別するこ とを可能にした。6種類の雲の内訳は、 Cb(cumulonimbus): 積乱雲、Mcb(Mutual Cumulonimbus): 積雲、ThCi(Thick Cirrus): 厚い巻雲、TiCi(Thin Cirrus): 薄い巻雲、MC(Middle level cloud): 中層雲、LC(Low



図-1 東経 90 度~110 度,赤道~北緯 25 度,2011 年 6~8 月を対象とした(a) TRMM による降 雨の卓越時刻、(b) MTSAT による積乱雲の 発生頻度の卓越時刻。

level cloud): 低層雲である。この雲分類手法を本研究の 対象である低緯度地域へ適用することの妥当性に関して は Suseno and Yamada と渡部らによって検証されている ^{0,7)}。

2.3 卓越時刻とは

本研究では複数種の雲がどの時刻に出現しやすいのか を評価することによって議論を行う。1 日の中で最も各 雲が出現する時刻を雲の以下卓越時刻と呼ぶこととする。 雲の卓越時刻とは、任意のグリッドにおいて 6~8 月の 期間に雲が発生した回数が 24 時間(1 日)の中で最も 多い時刻を表す。つまり発生頻度が最大値をとる時刻の ことである。また、TRMM3B42 データセットを用いて 降雨量についても同様の解析手法を用いたが、降雨量の 場合は発生頻度の最大値ではなく、降雨量の最大値を示 す時刻を降雨量の卓越時刻と定義した。尚、同卓越時刻 の抽出手法は Yamada et al.などが北米中部における降雨 の日内特性を議論する際に用いた手法を採用した⁵。

3. 2011 年の積乱雲と降雨量の出現卓越時刻及び積乱雲 の出現卓越時刻の年々特性

3.1 2011 年における積乱雲と降雨量の出現卓越時刻

2 章に記述した解析手法を用いてインドシナ半島域に おける積乱雲(Cb)と降雨量の卓越時刻を、結果の一例と して図-1 に示す。期間は 2011 年の 6~8 月であり、値は 全て現地時刻である。図-1(a)は TRMM を用いた降雨量 の卓越時刻を示し、図-1(b)は本研究で用いた雲分類手法 から得られた積乱雲の卓越時刻を示す。これらの結果か ら、カンボジア東部やチャオプラヤ川流域を含むタイ西 部、さらにタイ南部といった地域において降雨量が最大 値をとった時刻と、積乱雲の発生頻度が最も多かった卓 越時刻はいずれも午後10時(LST)前後を示し、タイ湾や アンダマン海といった海上においても両者の卓越時刻は 午前 6 時(LST)前後と、空間分布の一致がみられる。ま た、原田らは積乱雲を含む全ての雲の発生する日内特性 についてタイ湾上で日の出頃(6LST)に雲の発生の最盛期 となることを指摘しているが³⁾、図-1に示す積乱雲の卓 越時刻の結果もこれらと同様の傾向を有する。



図-2 チャオプラヤ川流域における卓越時刻の平年偏 差(2006~2011年)。点は領域の平均値、バーは 標準偏差を表す。



3.2 積乱雲の出現卓越時刻の年々特性

次に、チャオプラヤ川流域のみを抽出し、領域平均し た各年の卓越時刻の値の平年偏差及び標準偏差を図-2 に示す。図-2から明らかなように、2009年、2011年で は6年間の平年値に対してこの流域では30分から1時 間半ほど積乱雲の卓越時刻が早くなる。これに対して 2010年では平年値に対して1時間ほど積乱雲の卓越時 刻が遅い。これらから、4章以降では2010年と2011年 を、卓越時刻の遅い年と早い年の近年の代表年として扱 い議論する。

4. 2010年と2011年の水文気象場の特徴

3章で図示した図-2から、チャオプラヤ川流域におけ る積乱雲の発生卓越時刻は、各年によって1~3時間程 度前後に異なるものの、日内変化という観点では年によ らず卓越時刻はおよそ決まった時刻であることが指摘で きる。この理由として、日内の大気と陸面との熱収支バ ランスが太陽放射の影響に強く依存する、つまり太陽放 射が日内の積乱雲の発生パターンを決めているからだと 推察する。4章では同流域における2010年6~8月と 2011年6~8月の他の水文気象諸量の特徴を挙げる。

4.1 気温、土壌水分量及び比湿の特徴

図-3 に再解析データ NCEP-NCAR の日データを用い たチャオプラヤ川流域における 2m 高さ気温の流域平均



図-4 チャオプラヤ川流域における(a)積乱雲、(b)降 雨量の卓越時刻の流域全体に占める割合。

値の年々変動を示す。これより、積乱雲の卓越時刻が平 年よりも遅く出現する 2010 年 6~8 月における 2m 高さ 気温は平年よりも高く、一方積乱雲の卓越時刻が平年よ りも早い 2011 年 6~8 月では 2m 高さ気温は平年よりも 低いことが見て取れる。さらに、紙面の都合上割愛する が、同期間のインドシナ半島域における土壌水分量、 850hPa 面での比湿及び総降雨量それぞれの平年との偏 差と各年の値を解析したところ、2010年では、平年と 比較して同流域における土壌水分量が 5%程度少ないが、 反対に比湿は 2%程度多かった。加えて降雨量はチャオ プラヤ川上流域では平年程度だが同河川下流域では平年 の1.4 倍の降雨量が存在した。一方、2011年では、同流 域がもつ土壌水分量は平年に比べ 4%程度多く、目つ比 湿は平年とほとんど同等であった。降雨は 2010 年と正 反対にチャオプラヤ川上流域において平年の 1.8 倍の降 雨量がもたらされた。一方、同河川下流域では平年の 1.2 倍程度に留まったという特徴を有した。但し、土壌 水分量のデータは AMSR-E による観測値を、比湿は JRA-25 の長期再解析データを、降雨量に関しては TRMM3B42のデータを使用した。

4.2 卓越時刻を用いた日内特性

(1) 降雨量と積乱雲の卓越時刻の年々特性

図-4 はチャオプラヤ川流域において積乱雲(Cb)及び降水量の同流域内の各グリッドが持つ卓越時刻が同流域全体に対してどれくらいの領域を占めるかを表す。図-4(a)で用いた MTSAT データセットは 0.05 度四方のグリッド解像度を有するため、チャオプラヤ川流域全体のグリッド数は 6000 個である。一方、図-4(b)で使用した TRMM による降水量のデータは 0.25 度四方の解像度を有するため、同流域全体のグリッド数は 240 個である。 縦軸はこれらの総グリッド数のうちそれぞれの卓越時刻が表されるグリッドの割合(%)を示す。 図-4 より、積乱雲の卓越時刻が遅い 2010 年と早い 2011 年のそれぞれの降雨量の卓越時刻は、積乱雲と同 様に 2010 年では早めに降雨量の卓越時刻を迎え、2011 年では遅めの時刻に卓越時刻を示す。これは本研究で用 いた雲分類手法から得られた積乱雲という一種のパラメ ータが降水量とも密接に関係していることを示すものだ と推察される。また、積乱雲の日内発生パターンに則し て降雨量の日内パターンが見られるため、同流域にもた らされる降雨において日内特性を議論することが可能に なると言えよう。

(2) 雲種類毎の卓越時刻

上記と同様の解析を行い、得られた結果を図-5 に示 す。図-5(a)は積乱雲の、図-5(b)~(f)は積乱雲以外の4種 類の雲(Mcb, ThCi, TiCi, MC)と晴れ(Clear Sky)のそれぞ れについての結果である。尚、青色は2010年6~8月、 赤色は 2011 年 6~8 月、緑色は平年値の結果である。図 -5 (f)の晴れを除いては、いずれの種類の雲においても 2011年の方が 2010年よりも前倒しで卓越時刻のピーク を迎えたことが見てとれる。具体的な数値としては、チ ャオプラヤ川流域の卓越時刻の領域平均した値が、Cb については 1.3 時間 2011 年の方が 2010 年よりも早く、 Mcb, ThCi, TiCi, MC のいずれについても順に 0.7, 0.2, 1.3, 1.1 時間 2011 年の方が 2010 年よりも早いという結果を 得た。2010年と2011年の両年に共通して、卓越時刻と いう観点からみると午後 5~9 時にかけて Cb の卓越時 刻のピークを迎え、その後午前 0 時にかけて Mcb の卓 越時刻がピークを迎え、それから明け方にかけて TiCi と ThCi が卓越し、午前中には MC が卓越時刻のピーク を迎えるという雲の日内変化が見られる。つまり、年に よって卓越時刻は数時間前後するものの、種類を問わず 雲の日内で最も出現しやすい時刻はそれぞれの雲ごとに 特徴を維持し続けると考察する。

5. まとめ

本研究は MTSAT の輝度温度情報を元に雲分類手法を 開発し、それによって6年間の高分解能の雲分類データ を作成した。このデータを用いることで、雲の種類別の ライフサイクルとも言うべき日内変化について議論する ことを可能にした。具体的には、チャオプラヤ川流域に おける雨季(6~8月)に注目して積乱雲の卓越時刻を求 めた結果、年によって卓越時刻に2時間程度前後差はあ るものの、概ね毎年同じパターンをもつということがわ かった。さらに、積乱雲の卓越時刻に特徴のあった 2010年と2011年を卓越時刻が遅い代表年と早い代表年 として着目し、積乱雲以外の他の種類の雲についても同 様に卓越時刻の日内特性について議論を行った。その結 果、2010年、2011年及び平年値について、午後6~8時 頃に積乱雲の卓越時刻を迎え、続いて積雲、巻雲が発生 し、午前には中層雲が発生するという雲の発生過程のパ ターンにも類似が見られた。これは、太陽放射による熱 収支バランスによって同流域の雲の日内特性はある程度 拘束される一方、大気陸面相互作用を含めた毎年の水熱 収支及び水循環過程といったいわばその年を代表するロ



図-5 各雲種類の 2010 年と 2011 年の卓越時刻のチャオプラヤ川流域全域に占める各時刻の割合。横軸は卓越時刻(現地時刻)、縦軸はその時刻に雲の発生頻度が卓越した領域のチャオプラヤ川流域全域に対する割合(%)を示す。
(a)は Cb, (b)は Mcb, (c)は ThCi, (d)は TiCi, (e)は MC, (f)は Clear Sky の結果を表す。尚,青色は 2010 年の結果を、赤色は 2011 年の結果を、緑色は平年値の結果をそれぞれ示す。

ーカル現象が各年における日内変化に差異を与えるもの であろう。また、図-4 で示したように、降雨量の卓越 時刻と積乱雲の卓越時刻が同じ時間帯であることがわか る。今後、限定された地域における降雨の日内パターン を雲という観点から解明しうるという可能性を与えるも のであろう。

謝辞:本研究は地球規模課題対応国際科学技術協力 (IMPAC-T)、文部科学省 SOUSEI(C-i-C)/RECCA、及び CREST(Core Research for Evolutional Science and Technology) の成果の一部である。データの取得に関して高知大学名誉 教授、菊地時夫先生に多大なるご協力をいただいたことを ここに記し、心から感謝申し上げます。

参考文献

- Komori, D., S. Nakamura, M. Kiguchi, A. Nishijima, D. Yamazaki, S. Suzuki, A. Kawasaki, K. Oki and T. Oki: Characteristics of the 2011 Chao Phraya River flood in Central Thailand, *Hydrological Research Letters 6* pp.41-46, 2012.
- Kanae S., T Oki and K Musiake: Impact of Deforestation on Regional Precipitation over the Indochina Peninsula, *Journal of Hydrometeorology*, VOL. 2, pp51-70, 2001.
- 3) 原田周平、沖大幹、虫明功臣: GMS-IRデータを用いたイン

ドシナ半島域における対流活動の日内変化の解析、水文・ 水資源学会誌第11巻4号、pp371-381, 1998.

- 4) Koster R. D., P. A. Dirmeyer, Z. Guo, G. Bonan, E. Chan, P. Cox, C. T. Gordon, S. Kanae, E Kowalczyk, D. Lawrence, P. Liu, C. H. Lu, S. Malyshev, B. McAvaney, K. Mitchell, D. Mocko, T. Oki, K. Oleson, A. Pitman, Y.C. Sud, C. M. Taylor, D. Verseghy, R. Vasic, Y. Xue and T. Yamada.: Regions of Strong Coupling Between Soil Moisture and Precipitation, *Science*, Vol. 305, 1138, pp.1138-1140, 2004.
- 5) Yamada J. T., M Lee, M Kanamatsu and H Kanamaru: Diurnal Characteristics of Rainfall over the Contiguous United States and Northern Mexico in the Dyanamically Downscaled Reanalysis Dataset (US10), *Journal of Hydrometeorology*, VOL.13, pp1142-1148, 2012.
- 6) Suseno. D. P. Y., and Y. J. Yamada: Two-dimensional, thresholdbased cloud type classification using MTSAT data, *Remote Sensing Letters*, Vol. 3, No.8, pp737-746, 2012.
- () 渡部大和、山田朋人、D. P. Y. SUSENO: MTSATによる輝度 温度情報から作成した東南アジアにおける雲の気候特性、 土木学会論文集B1(水工学)第57巻、Vol.69, No4 I_306-I306, 2013.
- 8) 高知大学データベース: <u>http://weather.is.kochi-u.ac.jp</u>