

環境条件の診断による局地豪雨の発生予測の可能性について

*竹見哲也・野村昇平¹・草川敬之（京大・防災研）

1. 局地豪雨の発生予測の問題点

夏期に発生する集中豪雨や局地的な豪雨は、前線や台風などの総観規模の外的強制が作用することで発生する場合のみならず、そのような外的強制の影響が弱い静穏な状況下において発生する場合もある。静穏状況において生じる局地豪雨は、一見すると予兆もなく突発的に発生し、時には災害を引き起こす。都市や人口集中地区のような社会基盤が災害に対して脆弱な地域では、大雨による災害の影響は時に人命に係る甚大な事象になりえる。このように局地豪雨は都市型災害を及ぼす極端現象であり、その突発性のためにマスメディア等では「ゲリラ豪雨」と称されて社会問題になりつつある。さらに、地球温暖化の進行や都市ヒートアイランド現象の強化によって、局地豪雨の頻度や強度が増加することが懸念されている。このように短期的および長期的な防災対策の観点から、局地豪雨の発生の予測や監視の技術の確立や影響評価の手法の確立が求められている。

そもそも局地豪雨をもたらす積乱雲（群）は10数kmから数10kmの空間規模しか持たない中小規模の現象であり、その発達は不安定な大気条件であればいつでも起こりうる。すなわち、積乱雲の発生したいがランダム性の高いカオス的な現象であり、その特性自身が発生の予測を困難なものにしているのである。また、発生の初期段階での積乱雲は数km程度の小さい規模であるため、発生の監視には高密度でのリモートセンシング観測を必要とし、さらに強い積乱雲は急発達するため高時間頻度での観測も必要とする。高分解能かつ高頻度での観測が必要なことから、あらゆる場合において積乱雲の発生を監視することは現時点では困難である。

一方、積乱雲が発達する不安定な大気場は数100km規模で広がっているため、積乱雲の発生環境場を把握することは積乱雲その

ものの発生を予測することに比べて容易であると言える。積乱雲の発生しやすい状況と発生しにくい状況の違いを判別することができれば、積乱雲の発生のポテンシャルを定量的に評価することが可能となるであろう。

このようなことから、積乱雲（群）の発生前の環境条件についてはラジオゾンデ観測のデータにより世界各地の局地豪雨などシビアストームについて研究が行われてきた。日本における局地豪雨の環境場の解析は、関東平野での夏期の事例について研究が行われてきた（Yonetani 1975; Taguchi et al. 2002; Kawano et al. 2004）。関東平野は平坦な陸地が100km規模で広がっており、かつ茨城県つくば（館野）においてラジオゾンデ観測が行われているため、局地豪雨をもたらす積乱雲の発生環境場を調べる上では取り組みやすいという利点がある。また、関東平野に地域を絞ることは、背景場としての大気環境場じたいが日本国内であっても東西・南北で大きく変化しているという事実（Chuda and Niino 2005）からも妥当であると言える。

しかし、関東平野のようにラジオゾンデ観測データが利用できるような地域であれば積乱雲の発生環境場の解析が可能となるものの、大気鉛直構造を観測情報から把握できる場所はまだまだ多くはない。日本の人口は平野部に広がる都市域に集中しているため、各都市域での局地豪雨の発生環境場が診断できれば防災情報として役立てることができるであろう。そのためには、利用できる気象情報を出来る限り活用することが必要不可欠である。

近年の観測データの気象予報モデルへの同化技術の発展により、予報計算のための初期値である解析値の表現精度がますます向上しているものと考えられる。特に気象庁のメソスケール数値予報モデルは空間分解能が5kmであるため、その予報計算初期値（メソ客観解析値）は積乱雲の発生環境場を、モデルの有効分解能（格子間隔の6倍～10倍程度）を考慮しても、十分に表現しているも

¹ 現所属：成田国際空港株式会社

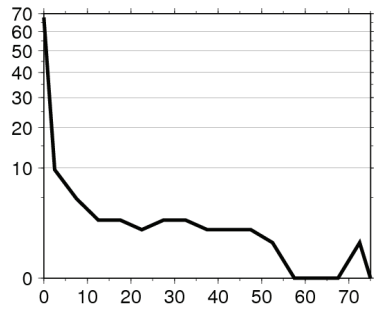


図 1：抽出事例での時間最大雨量の頻度分布．横軸は時間最大雨量(mm/h)，縦軸は頻度(%)．

のと考えられる．メソ現象の環境場の解析においてメソ客観解析値を使った研究には，宮崎県における台風時の竜巻環境場を調べた Sakurai and Mukougawa (2009)や関東平野での夏期の局地降水の環境場を調べた Nomura and Takemi (2011, 以後 NT11)がある．メソ現象の解析におけるメソ客観解析値の有用性については竹見 (2011) にまとめられおり，メソ客観解析値を用いて局地豪雨に関する解析をすることは重要な研究のアプローチのひとつであると言える．ここでは，NT11 で調べられた関東平野における夏期の局地降水の環境条件の解析結果に基づき，局地豪雨の発生予測の可能性について考えてみる．

2. データ

用いたデータは，2002 年から 2010 年の 7 月および 8 月におけるメソ客観解析値である．解析対象としたのは，関東平野の南部を中心とした 100 km 四方の領域である (NT11 の Fig. 1)．局地豪雨に注目するため，総観規模の擾乱の影響の小さい静穏状況を抽出

した．局地豪雨の環境場を調べるために，ここでは以下の 11 種類の指標を算出した．すなわち，対流有効位置エネルギー(CAPE)，対流抑制(CIN)，持ち上げ凝結高度(LCL)，自由対流高度(LFC)，浮力中立高度(LNB)，シヨワルター指数(SSI)，リフティッド指数(LI)，K 指数(KI)，トータル・トータル指数(TT)，950 hPa と 500 hPa 間の気温減率(TLR)，可降水量(PW)である．図 1 に静穏状況における最大時間降水量の頻度分布を示す．また抽出された状況におけるメソ客観解析値の妥当性を館野でのラジオゾンデ観測値と比較して評価した．この比較の詳細は竹見 (2011) を参照されたい．

3. 結果

抽出された静穏条件日 (午前中に降水がなく顕著な総観規模擾乱がない) のうち非降水日 (午後に降水なし)・降水日 (午後に降水あり)・強雨日 (午後に時間雨量 10 mm 以上の雨が降った日) 別に平均した午前 9 時 (日本時間) における K 指数の分布を図 2 に示す．降水日の場合に K 指数が大きな値となり，積乱雲が発生しやすい状況であることを示している．

次に，調べた安定度指数を解析領域で平均し，その領域平均値について非降水日・降水日・強雨日のそれぞれのカテゴリ別に安定度指数の頻度分布を調べてみた．図 3 は，SSI, LI, KI, TT についてその頻度分布をカテゴリ別に比較したものである．降水日のほうが非降水日よりもすべての安定度指数でより不安定な状況を示していることが分かる．また，降水日および強雨日の頻度分布で最も安定側の指数の数値を見ると，非降水日の分布の数値よりもずっと不安定側に位置しているがグラフから読み取ることができる．こ

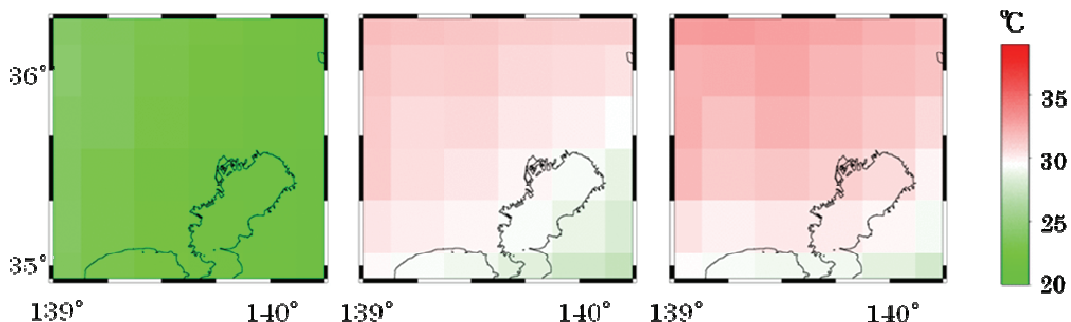


図 2：非降水日 (左)・降水日 (中央)・強雨日 (右) でそれぞれ平均した K 指数の分布．

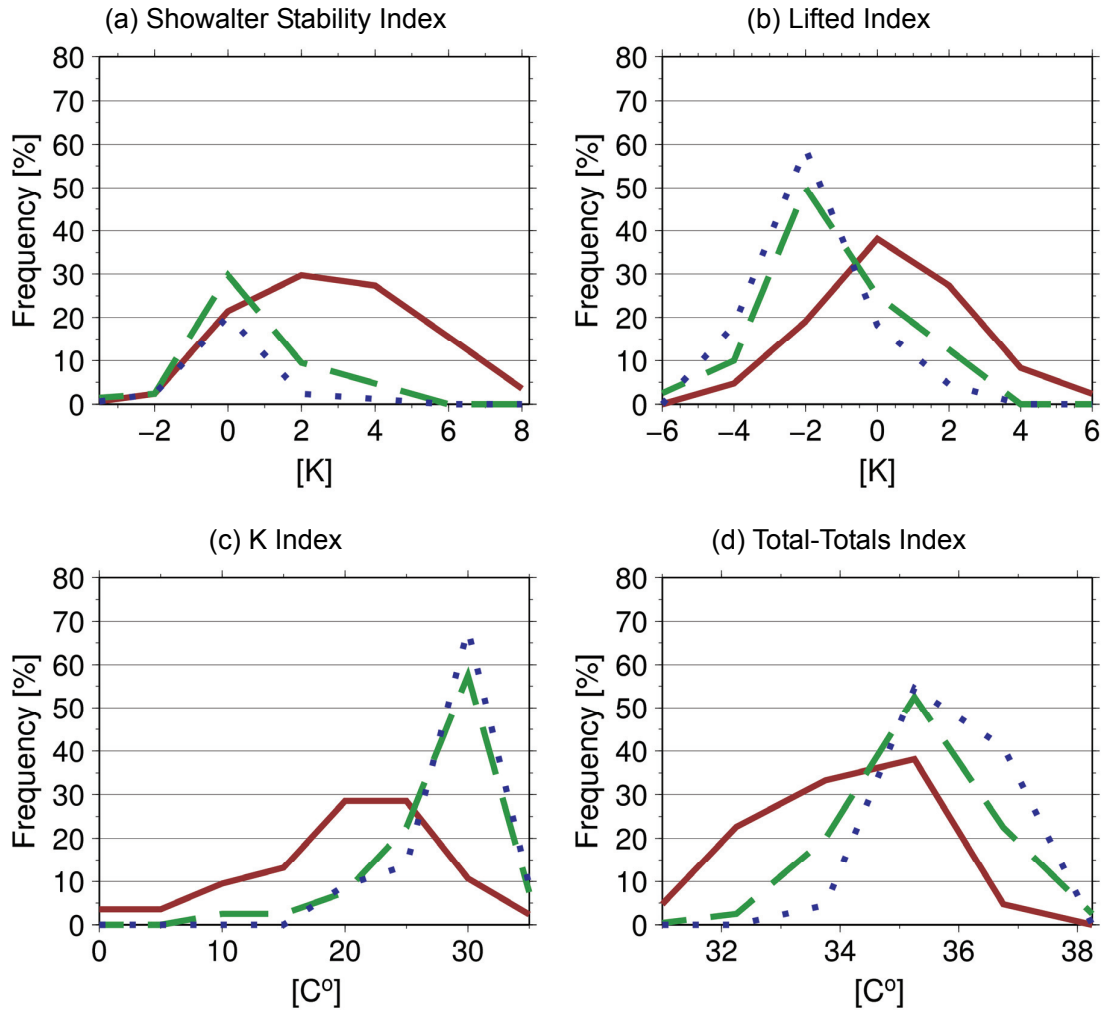


図 3：非降水日（赤）・降水日（緑）・強雨日（青）のそれぞれの場合の安定度指数の頻度分布。(a) SSI、(b) LI、(c) KI、(d) TT を示す。

のことは、指数のある閾値を境にして、降水が生じないような安定側の領域が存在していることが示唆される。すなわち、降水発生の診断および予測に資する情報を読み取ることができる。

このほか、NT11 では降水日と非降水日の安定度指数の違いの統計的な有意性を示している。よって、図 2 や図 3 で見られた降水日と非降水日との差異は有意なものであることが確認できる。

また、図 3 で示した安定度指数以外のパラメータについても、降水日と非降水日とで顕著な違いがあることを確認することができる。ただし、すべてのパラメータで有意な差を示すわけではない。NT11 によると、夏期静穏条件での午後の降水現象については、

KI が最も有意な差を示すことが明らかにされた。

4. まとめ

本研究では関東平野において夏期の午後に発生する局地降水の発生環境場について調べた。特に梅雨前線や台風などの総観規模擾乱の影響が弱い状況下で発生するものに着目した。安定度指数および気温・相対湿度の計算にはメソ客観解析データを使用した。メソ客観解析データは観測データである館野のラジオゾンデデータとよい相関があることを示したうえで、午後の降水の有無のより環境場の安定性の違いについて安定度指数を用いて評価した。

多くの安定度指数が非降水日と降水日とにおいて有意な差異を示した。特に、LFC・SSI・LI・KI・TTに統計的に高い有意差が表れた。最も有意性が高い安定度指数はKIであった。

統計解析の結果から、本研究で対象とした局地降水には中層の冷たい空気と下層の高い相対湿度が大きく影響していることが分かった。すなわち、東京を中心とした関東平野域では、中層の冷氣移流および下層の水蒸気移流により非降水日・降水日の環境場が特徴づけられることが考えられる。

このような環境場の特徴は先行研究でも事例解析によって示唆されている。しかし、多数事例に基づき一般的な環境場についての統計解析による研究はラジオゾンデデータを用いた研究がいくつかあるのみである。一方、本研究では空間的・時間的代表性が高いと想定されるメソ客観解析値を使用し、統計解析により環境場の特徴を明らかにした。

本研究では、関東平野における夏期の局地的な降水現象の環境場の解析におけるメソ客観解析値の有用性もあわせて示している。今回は関東平野を対象としたものの、メソ解析値が観測値とよく一致していることから、ラジオゾンデ観測がないような平野部でもメソ解析値によって局地豪雨の環境場を調べることができることを示している。今後は、大阪・名古屋・福岡など大都市が広がる平野部において、局地豪雨の環境場の解析を勧めるべきである。

さらに、Takemi et al. (2011; 2012), Takemi (2012)でなされたような将来の温暖化実験データを用いて局地的な降水現象の環境場の解析をすることも可能である。「ゲリラ豪雨」による都市型災害の甚大化が懸念されるため、このような将来予測実験データを利用した研究も必要であろう。

本研究の成果から、時刻・場所を特定した局地豪雨の予測は不可能であると考えられるものの、その発生のポテンシャルを評価することにより積乱雲発生の兆候を把握することは可能であると言える。このようなポテンシャルの予報と高密度観測網によるリアルタイムの監視をあわせれば、局地豪雨の発生の予測は可能であり、災害の防止に役立てることができる。このことが実現できれば、もはや「ゲリラ豪雨」という言葉は不用であろう。

参考文献

- Chuda, T., and H. Niino., 2005: Climatology of environmental parameters for mesoscale convections in Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, **83**, 391-408.
- Kawano, K., Y. Hirokawa, and H. Ohno, 2004: Diagnosis of air-mass thunderstorm days using radiosonde data: The summer Kanto area under the Pacific subtropical anticyclone. *Tenki*, **51**, 17-30.
- Nomura, S. and T. Takemi, 2011: Environmental stability for afternoon rain events in the Kanto Plain in summer. *SOLA*, **7**, 9-12.
- Sakurai, K., and H. Mukougawa, 2009: Characteristics of the meso-scale environments of storms associated with typhoon-spawned tornadoes in Miyazaki, Japan. *SOLA*, **5**, 5-8.
- Taguchi, A., K. Okuyama, and Y. Ogura, 2002: The thunderstorm activity observed by SAFIR and its relation to the atmospheric environment over the Kanto area in the summer. Part II: Thunderstorm prediction by stability indices. *Tenki*, **49**, 649-659.
- Takemi, T., 2012: Projected regional-scale changes in atmospheric stability condition for the development of summertime convective precipitation in the Tokyo metropolitan area under global warming. *Hydrologic Research Letters*, **6**, 17-22, doi: 10.3178/HRL.6.17.
- 竹見哲也, 2011: 境界層・雲微物理過程のモデル化に対する局地豪雨の感度実験. 京都大学防災研究所年報, 第54号B, 293-301.
- Takemi, T., S. Nomura, Y. Oku, and H. Ishikawa, 2012: A regional-scale evaluation of changes in environmental stability for summertime afternoon precipitation under global warming from super-high-resolution GCM simulations: A study for the case in the Kanto Plain. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 189-212, doi: 10.2151/jmsj.2012-A10.
- Takemi, T., S. Nomura and Y. Oku, 2011: Environmental Stability for Convective Precipitation Under Global Warming, In *Planet Earth 2011 - Global Warming Challenges and Opportunities for Policy and Practice*, Elias G. Carayannis, Ed., ISBN: 978-953-307-733-8, InTech, pp. 57-72. Available at: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/environmental-stability-for-convective-pre>

precipitation-under-global-warming

Yonetani, T., 1975: Characteristics of atmospheric vertical structure on days with thunderstorms in the northern Kanto Plain. *J. Meteor. Soc. Japan*, **53**, 139-148.