

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 1 日現在

機関番号：12301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23654164

研究課題名(和文) 10秒降水量データを用いた豪雨の微細構造に関する研究

研究課題名(英文) Study on the fine structure of convective cells in developed cumulonimbus clouds using 10-sec rainfall amount

研究代表者

岩崎 博之 (Iwasaki, Hiroyuki)

群馬大学・教育学部・教授

研究者番号：70261823

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：測定原理の異なる二つの雨量計で得られた10秒降水量データを用いて、発達した積乱雲群を構成する対流セルの微細構造を調べた。二つの雨量計で得られた10秒降水量の時間変化には、明瞭な1-2分周期の変動が認められ、多くの場合、その二つの位相は一致していた。この事実は、1-2分周期の変動は測器の測定誤差ではなく、実在の現象であることを意味している。つまり、一般に積乱雲の構成単位と考えられている対流セルの内部には、更に小さな複数の降水コアがおおよそ1km間隔で分布していると考えられる。しかし、降水コアには周期性が認められるが、降水コア通過に伴い地上気象要素が変動する事実は認められなかった。

研究成果の概要(英文)： The fine structure of convective cells in developed cumulonimbus clouds was investigated by measuring the amount of rainfall at 10-s intervals with two different types of precipitation sensors. The time series for 10-s rain intensity obtained from both precipitation sensors exhibited a distinct temporal cycle with a period of 1-2 min, and these temporal cycles were synchronized with each other. These features imply that each convective cell consists of distinct precipitation cores distributed at rather regular intervals of approximately 1 km. Despite this distinct periodic feature, associated variations in surface meteorological parameters were not clear.

研究分野：数物系科学

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：積乱雲 対流セル 微細構造 10秒雨量 降水コア

1. 研究開始当初の背景

これまでの積乱雲の構造についての研究には、1960年代から空間分解能が数100mの気象レーダーのデータが使われ、数多くの成功を収めてきた(e.g., Chalon et al., 1976; Browning and Foote, 1976; Foote and Frank, 1983). その研究の過程で、積乱雲を構成する最小単位は、一対の上昇気流と下降気流に対応した水平スケール数kmの対流セルと考えられてきた。もちろん、その対流セルの内部が一様と信じられていた訳ではなく、幾つかの先行研究では、対流セルの内部構造を示唆する観測データが示されてもいた(e.g., Fig. 2 of LeMone and Zippser, 1980). しかし、これまで対流セルの内部構造を解明する必要性が薄く、更に、手軽に微細構造を調べる測器も存在しなかったため、対流セルの内部構造を積極的に明らかにする研究は見当たらなかった。

しかし、近年、対流セルの内部構造を十分に表現できる数10mという微細格子を使った数値モデルによる積乱雲(群)の研究も行われ始めているが(Noda and Niino, 2005; Rotunno et al., 2009)、対流セルの内部構造が解明されていないので、積乱雲の基本単位が再現できているのか調べられていない。つまり、数値モデルの微細格子化に伴い微細構造を知る必要性が生じている。

また、近年、10秒という非常に短い時間間隔で雨量強度を測定できる測器が販売され、手軽に降水の短時間変動を調べることができるようになった。一般的な積乱雲の移動速度(40km/h)と構造の定常性を仮定すれば、観測間隔10秒は110mの空間スケールに対応するため、1地点の観測から対流セルの微細構造を推定することができる。つまり、近年になって、対流セルの微細構造を調べる必要性と道具が揃ったことになる。

2. 研究の目的

この研究の目的は、第1章で述べたように、10秒降水量という簡便な手法を使って、これまで研究が行われていない対流セルの微細構造の特徴を記述することである。

3. 研究の方法

(1) 2つの10秒雨量計

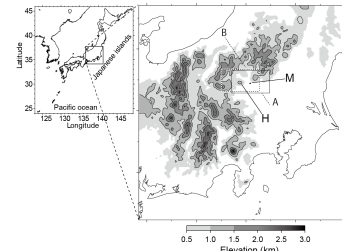
著者が知る限り、10秒降水量データを使った積乱雲の解析は行われておらず、データの信頼性が認知されているとは言いがたい。仮に、1つの測器で観測された10秒降水量から特徴的な対流セルの構造が示唆されたとしても、その測器に固有なノイズである可能性は否定できない。そのため、本研究では、測定原理が異なるパイサラ社の雨滴衝突型雨量計 WXT520 と Parsivel 光学式雨量計との同時観測を行い、10秒降水量の信頼性を高める工夫をした。

(2) 観測

WXT520(雨滴衝突型雨量計)と Parsivel(光

学式雨量計)を群馬県前橋市の群馬大学教育学部屋上に設置した(第1図)。2つの測器は、20cmの間隔で南北に配置し、可能な限り同じ地点の同じ時間の10秒降水量を観測できるように配慮した。

観測期間は2012年7月10日~9月28日である。また、WXT520のみを用いた予備観測を、科研費申請前の2010年に実施しており、その観測結果の解析も合わせて行った。



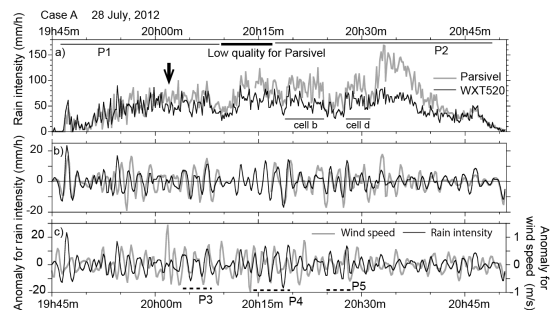
第1図：観測地点の位置。Mが前橋、Hは榛名山山頂の位置を示し、実線・点線枠は気象庁レーダーの解析範囲を示す。

4. 研究成果

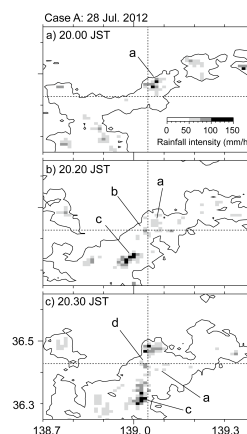
1時間に20mm以上の雨量がWXT520で観測された2012年の4事例(Case A-D)と2010年の1事例(Case D)について解析を行った。

(1) Case Aの微細構造(2012年7月28日)

第2a図と第3図は、WXT520とParsivelで観測された10秒降水量の時系列と気象庁レーダーで観測された降水強度分布の時間変化を示す。



第2図：(a) WXT520とParsivelで観測された10秒降水量の時間変化、(b) 1.5分のバンドパスフィルターを通したWXT520とParsivelによる降水量の時系列、(c) 1.5分のバンドパスフィルターを通したWXT520降水量と風速の時系列。

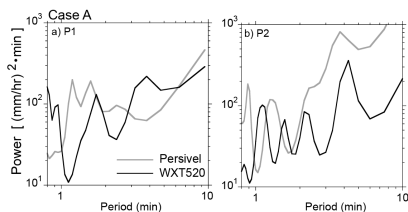


第3図：Case Aの強雨をもたらした積乱雲のレーダー降水強度分布。等値線は、降水強度10mm/hを示している。点線の交点が気象測器を設置した前橋であり、観測領域は第1図の枠Aに対応する。

第2a図に示すように50mm/hを越える強い降水強度は3回(19.53-20.07, 20.12-20.25, 20.27-20.37)観測され,それらの期間は発達した対流セル(群)の通過に対応していると考えられる.しかし,対流セルbとdを除くと,強雨期間に対応する対流セルはレーダー観測からは認められない(第3図).

一方,10秒降水量の時系列を見ると,1-2分の短時間変動が卓越していることが分かる.一般的な雨量計の最小時間分解能は1分なので,この1-2分の短時間変動は,従来の雨量計では検出できない現象である.この短時間変動が,この研究の解析対象である.

先ず,2つの測器で観測された10秒降水量の周期性について調べるが,20.09-20.17のParsivel雨量はデータの品質が悪いため解析から除き,第2a図に示したP1とP2の2つの期間を対象とする.第4図は,MEM法を用いたスペクトル解析の結果である.スペクトル分布はP1とP2で差異は大きい,2つの測器で観測された10秒降水量の時系列には,1-2分周期の強いシグナルが共通して含まれていることが分かる.



第4図: Case Aの期間P1とP2における10秒降水量についての周期解析の結果.

次に,2つの測器で観測された短周期変動の同時性について確認する.もし,この周期性を持つ短時間変動が実在していれば,WXT520とParsivelで観測された変動の位相は一致しているはずである.第2b図は,1.5分のバンドパスフィルターを通した降水量の時系列であり,原理が異なる2つの測器で観測された短周期変動は,ほとんど同位相であることが分かる.但し,第2図に矢印で示された期間は,WXT520雨量とParsivel雨量の位相が逆転している.この期間に観測された1つのParsivel雨量データの品質が悪く,その前後でParsivelセンサーに雨の飛沫が付着していた可能性が強く,その影響により位相が逆転したのかも知れない.

短周期変動に対応する降水コアの空間スケールについて考える.第3図の長寿命の対流セルの移動速度は,5分毎の降水量分布データから30-36km/h(8-10m/s)と見積もられる.降水コアも同じ速度で移動していたと仮定すれば,周期1.5分は750-900mに対応するため,降水コアと降水コアの間隔は1km以下だったと考えられる.もちろん,降水コアの直径は,その間隔よりも小さいことになる.

また,第2c図に示すように,この1-2分の短周期変動と風速はP3-P5の期間で位相が一致しているが,他の期間では明瞭な対応は認

められない.そして,全期間を通じて,風向を含む他の気象要素との対応も認められない.

(2) Case B-Dの微細構造(2012年7月14日,8月17日と9月23日)

2012年には,他に3事例(Case B-D)の強雨が観測された.第5図と第6図は,それらの事例の10秒降水量の時系列とスペクトル解析の結果である.第5図の時系列から分かるように,Case Aとは異なり,各事例とも積乱雲が複数の対流セルで構成されていたか判断し難い.

しかし,Case Aと同じように,1-2分スケールの短時間変動が卓越していることが分かる(第5a,5c,5e図).そして,周期解析の結果には1-2分の周期成分にスペクトルの極大が存在し(第6図),1.5分のバンドパスフィルターを通したWXT520雨量とParsivel雨量の時系列は同位相で変動している(第5b,5d,5f図).つまり,Case Aで認められた1-2分の短周期成分に対応する現象,つまり,個々の対流セルは降水コアから構成されていることが,この3事例についても認められる.

また,この1-2分の短周期変動と地上気象要素との明瞭な対応は認められず(図略),レーダー降水強度分布の時間変化(図略)を基に推定した降水コアの間隔も1km未満と共通していた.

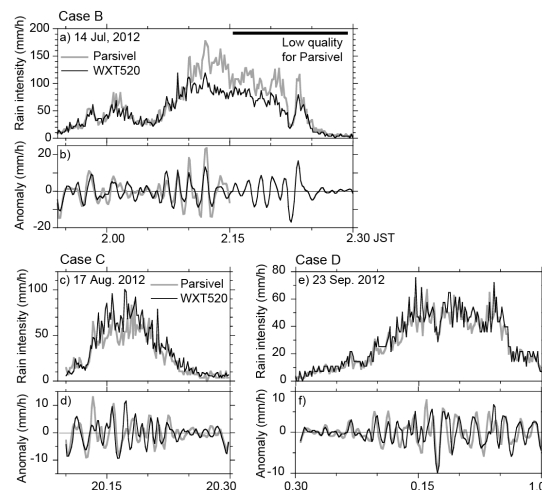
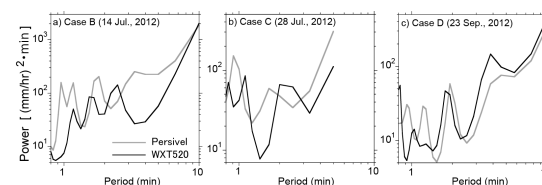


Fig. 5. Same as Fig. 3, but for Cases B, C and D.

第5図: Case B-Dについての(a, c, e) WXT520とParsivelで観測された10秒降水量の時系列,(b, d, f) 1.5分のバンドパスフィルターを通したWXT520とParsivelによる降水量の時系列.

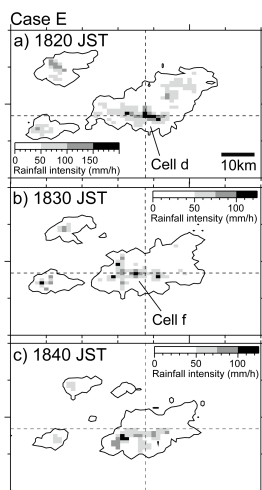


第6図: Case B-Dの10秒降水量についての周期解析の結果

(3) Case Eの微細構造(2010年7月24日)

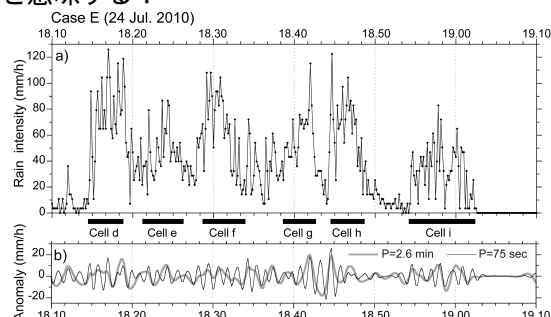
2010年7月にWXT520を榛名山山頂付近

に設置し、1 時間に 34mm の降水をもたらした積乱雲を観測できた。第 7 図は、その積乱雲に伴うレーダー降水強度分布の時間変化である。この積乱雲は複数の対流セルで構成され、その幾つかが観測地点を通過している。

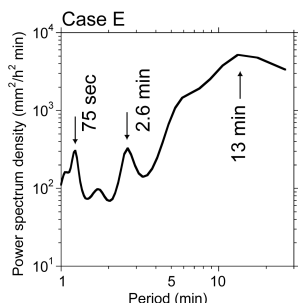


第 7 図: Case E の強雨をもたらした積乱雲のレーダー降水強度分布。等値線は、降水強度 10mm/h を示している。点線の交点が気象測器を設置した榛名山山頂であり、観測領域は第 1 図の枠 B に対応する。

この積乱雲の通過に伴い WXT520 で観測された 10 秒降水量の時系列を第 8a 図に、その周期解析の結果を第 9 図に示す。Case E では対流セルの通過に対応する 13 分の周期変動と降水コアの通過に対応する 1.3 分(75 秒)と 2.6 分の周期変動が認められる(第 9 図)。つまり、Case A-D と同じように、対流セルの内部には複数の降水コアが存在していたことを意味する。



第 8 図: (a) WXT520 で観測された 10 秒降水量の時間変化、(b) 75 秒と 2 分のバンドパスフィルターを施した降水量の時系列。



第 9 図: Case E の 10 秒降水量についての周期解析の結果

第 8b 図に示した 1.3 分と 2.6 分のバンドパスフィルターを使った変動と 10 秒降水量の変動を比較すると、短い 1.3 分の周期変動が

実際の短時間変動と対応するため、ここでは降水コアの通過間隔を 1.3 分と見なすこととする。レーダー降水強度の時間変化から推定した対流セルの移動速度は約 30 km/h (8 m/s) なので、降水コアの間隔は 600m となり、Case A の間隔とほぼ同じ値となっている。

(4) 結論

測定原理の異なる 2 つの雨量計(WXT520 雨滴衝突型雨量計と Parsivel 光学雨量計)から得られた 10 秒降水量データを用いて、発達した積乱雲の対流セルの内部構造について調べ、次の結論を得た。

対流セルに伴う降水には 1-2 分の周期変動が認められた。一般に積乱雲の最小単位は対流セルと言われているが、この解析結果は、その対流セルは、1-2 分周期変動に対応する降水コアから構成されていることを意味している。

1-2 分という周期性が認められることから、降水コアはランダムに分布するのではなく、むしろ等間隔で分布していると考えられる。対流セルと降水コアの移動速度が同じと考えれば、その間隔は 1km 未満と見積もられる。

降水の 1-2 分周期変動に伴って、稀に、風速の変動が認められる場合もある。多くの場合には地上気象要素との対応は認められないため、降水コアは明瞭な循環を伴わないと考えられる。

参考文献

- Browning, K. A. and, G. B. Foote, 1976: Airflow and hail growth in supercell storms and some implications for hail suppression. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **102**, 499-533.
- Chalon, J-P, J. C. Famkhauser and P. J. Eccles, 1976: Structure of an evolving hailstorm, Part 1: General characteristics and cellular structure. *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 564-575.
- Foote G. B. and H. W. Frank, 1983: Case study of a hailstorm in Colorado. Part III: Airflow from triple-Doppler measurements. *J. Atmos. Sci.*, **40**, 686-707.
- LeMone, M. A. and E. J. Zipser, 1980: Cumulonimbus vertical velocity events in GATE. Part I: Diameter, intensity and mass flux. *J. Atmos. Sci.*, **37**, 2444-2457.
- Noda, A. T and H. Niino, 2005: Genesis and Structure of a Major Tornado in a Numerically-Simulated Supercell Storm: Importance of Vertical Vorticity in a Gust Front. *SOLA*, **1**, 5-8.
- Rotunno, R., Y. Chen, W. Wang, C. Davis, J. Dudhia and G. J. Holland, 2009: Large-eddy simulation of an idealized tropical cyclone. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **90**, 1783-1788.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 件)

Iwasaki, H. 2012: Recent positive trend in heavy rainfall in eastern Japan and its relation with variations in atmospheric moisture. *Int. J. Climatol.* **32**, 364-374. 査読有 . DOI: 10.1002/joc.2269

Iwasaki, H. and H. Fujii, 2011: A study on the influence of soil moisture on deep convection around Ulaanbaatar, Mongolia, as an arid environment using AMSR-E soil moisture. *J. Meteor. Soc. Japan.* **89**, 97-109. 査読有 . DOI:10.2151/jmsj.2011-A06

[学会発表](計 3 件)

岩崎 博之, 2011: 暖候期における地上比湿の経年変化の地理的特徴 . 日本気象学会 2011 年秋季大会 ,11 月 17 日 ,名古屋 .

岩崎 博之, 2011: 10 秒降水量データを使った発達した積乱雲を構成する対流セルの微細構造の解析 . 日本気象学会 2011 年秋季大会 , 11 月 17 日 , 名古屋 .

岩崎 博之, 2011: 数値モデルを用いた水蒸気量増加が積乱雲活動の日変化に与える影響に関する研究 . 日本気象学会 2011 年春季大会 , 5 月 19 日 , 東京 .

6 . 研究組織

(1)研究代表者

岩崎 博之 (IWASAKI Hiroyuki)

群馬大学・教育学部・教授

研究者番号 : 70261823

(3)連携研究者

中井 専人 (NAKAI Sento)

独立行政法人防災科学技術研究所

雪氷防災研究センター・総括主任研究員

研究者番号 : 20360365