

梅雨期の集中豪雨のメカニズム

THE MECHANISM OF LOCAL SEVERE RAINFALL IN BAIU-SEASON

守田 治

Osamu MORITA

九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門(〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

1. はじめに

近年梅雨期の集中豪雨に伴う豪雨災害や、台風に伴う豪雨災害が頻発し、甚大な被害につながっている。このような状況下、学問的な要請と社会的な要請から豪雨に関する研究が数多く行われ、その成果として梅雨期に集中豪雨をもたらす降水システムの研究は大いに進捗した。集中豪雨のメカニズムを理解することは学問的な観点のみならず、防災・減災の観点から極めて有用と思われる。

梅雨期の集中豪雨はその降水系によって4つの型に分類できる。それらは:(1)地形性線状降水系(2)寒冷前線に伴うメソβ降水系(3)停滞前線に伴うメソβ降水系(4)マルチセル降水系である。以下の節で(1),(3),(4)の降水系について述べる。

2. 梅雨期における九州付近の環境場

典型的な梅雨期の様相は、華南から日本列島にかけてほぼ東西に伸びる梅雨前線と、その上空の対流圏界面に中心軸を持つ極ジェット、およびその少し南、850hPa面から700hPa面にかけて中心軸をもつ下層ジェットの存在である。日本列島の南東海上には太平洋高気圧が発達しており、その周辺を時計回りに巡る暖・湿気流が高気圧の北西象限で梅雨前線に吹き込む。一方、チベット高原を北西から周り込む乾燥した気流が梅雨前線に向かって流入し、両者は華南から東シナ海

にかけて強い水平風収束場を形成する。また、インドモンスーンに伴うベンガル湾から暖・湿気流がインドシナ半島を越えて華南に流入し、太平洋高気圧周辺の流れと合流して水蒸気フラックスの収束場を形成する。梅雨期には時として台風が発生するが、台風が日本の南西海上から西海上を北上する時、太平洋高気圧との間に強い気圧傾度を生じ、梅雨前線への暖・湿気流の流入が更に強化される。過去の顕著な梅雨期豪雨は、しばしば台風が日本の南西海上に存在する気象状況下で起こっていることに注目すべきである。一方、梅雨前線の性質は東経120°付近を境として、その西と東では大きく異なっている。すなわち、西側では南北の温度傾度は弱い、比湿の南北傾度は大きい、総観規模低気圧の発達には不都合な環境場となっている。このように九州は日本の他地域と較べて、豪雨の起こりやすい環境場となっていることが分かる。

3. 地形性線状降水系

1997年7月上旬、九州北部に停滞した梅雨前線に伴う豪雨のため、九州各地で災害が発生したが、中でも7月10日、出水市境町針原地区で起こった土石流災害は21名もの人命を奪う厳しいものであった。この豪雨は甌島下流に形成される線状降水系が原因となっていることが明らかにされた(新野,守田,1997¹⁾;守田他,1998²⁾。図-1に7月10日11時00分JSTにおけるレーダエコー図を示す。甌島下流に幅の狭い(10~20km)線状降水系が形成され、阿久根や出水にかかってことが分

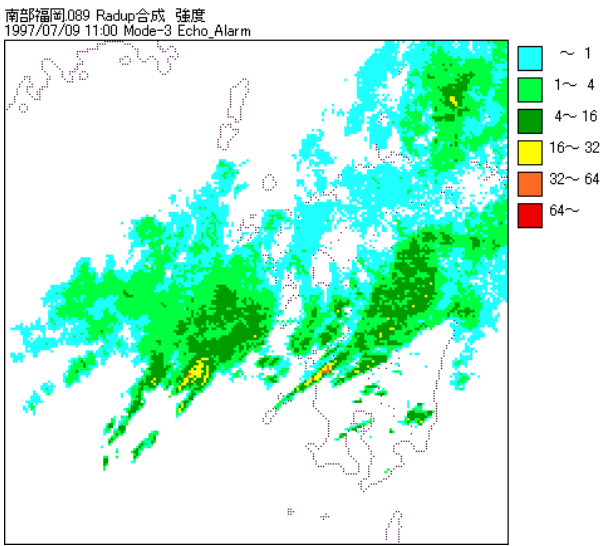


図-1 甌島下流に形成された地形性線状降水系

かる(後にこの降水系は甌島ラインと呼ばれるようになった). 次に, 図-2 に 7 月 9 日 00JST から 11 日

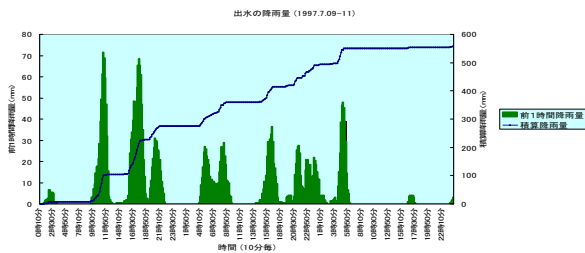


図-2 出水における 1997 年 7 月 9 日~11 日の降雨

24JST の 10 分間降水量と積算降水量を示す. 1 時間最大降水量 60mm~70mm の豪雨が断続的に続き, 2 日間の積算降水量が 550mm を越える豪雨となった. この地域の他の観測点, 阿久根や水俣でも同様の降雨パターンが見られるので, 地形性線状降水系による降雨の典型的パターンと思われる. その後の研究により, ある条件を満たす九州西海上の孤島や九州西海岸の孤峰の下流には同様の線状降水系が形成されることが明らかになり, それらは形成のきっかけとなる地形に基づき弁財天山ライン, 五島ライン, 長崎ライン, 諫早ライン, 西彼杵ラインと呼ばれている. 1999 年から 2001 年の 3 年間に観測された地形性線状降水系の事例を表-1 に挙げる.

発生数は 10 例あり, そのうち総降水量が 100mm を越える, 比較的強い事例は 4 例である. なお, 地形性バンド状降水系の発生は気象庁のレーダエコーデータによって確認した. 一方, 降水量は AMeDAS データによっているので, 強い降水を補足できない可能性は残る. これは地形性バンド状降水系の幅が 10~20km であるのに

対し, AMeDAS 観測点の水平間隔が 10km 程度であることによる. 降雨強度は時として 1 時間雨量 100mm 程度に達することがあるが, 多くは時間雨量 50~60mm の降雨が長時間継続して豪雨災害につながるが多い. 1997 年 7 月 10 日の出水豪雨はその典型例である(守田他,1998). 持続時間は 3 時間から 2 日と幅があるが, これは基本場の風向の定常性に大きく依存している.

発生日時	持続時間	発生点	最大降雨量
1999.06.06.20:52	05:08	五島	013.5mm(大瀬戸)
1999.06.16.03:45	08:30	全九州	162.0mm(釈迦岳)
1999.06.23.15:15	10:07	甌島	240.0mm(釈迦岳)
2000.06.21.00:00	03:20	甌島	005.0mm(阿久根)
2001.06.14.01:00	03:30	長崎	002.5mm(英彦山)
2001.06.18.08:40	21:30	五島	334.5mm(添田)
2001.06.23.18:30	11:40	長崎	061.5mm(大宰府)
2001.06.25.03.:20	11:20	長崎	020.5mm(諫早)
2001.07.05.17:30	12:00	五島	153.0mm(大牟田)
2001.07.11.17:50	09:00	長崎	224.5mm(日田)

表-1 地形性線状降水系の発生事例(1999 年~2001 年)

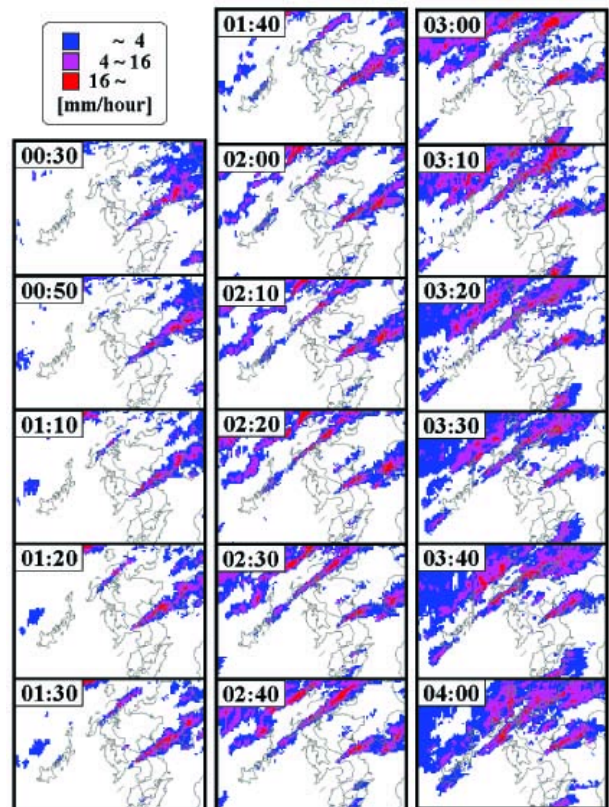


図-3 2001 年 6 月 19 日 (00:30~04:00 JST) のレーダエコー図

一方、降雨強度は地表付近の風速・水蒸気混合比・収束線の有無などに依存する。

福岡県は九州西岸から 150km ほど離れており、地形性線状降水系の影響を受けることは少ないが、表-1 の事例に見られるように 2001 年 6 月 18 日には、五島列島から長く伸びる降水系により添田で総雨量 334.5mm の集中豪雨となった。2001 年 6 月 18 日 00:30 JST~ 04:00 JST のレーダエコーを図-2 に示す。梅雨前線は対馬海峡にあり、前線の南側に長崎ライン、諫早ライン、西彼杵ライン、五島ラインなどの線状降水系が見られる。

地形性線状降水系による集中豪雨は、2003 年 7 月 20 日に熊本県水俣市と鹿児島県菱刈町で起こった。前者は甑島ライン、後者は弁財天山ラインに伴う豪雨であった。

4. マルチセル降水系

(1) 天草豪雨

1972 年 7 月 6 日、天草上島の竜ヶ岳では 1 時間降水量 130mm に達する集中豪雨のため、大規模な土石流が発生し、116 名もの死者・行方不明者を出した。このような大災害をもたらした天草豪雨について簡潔に説明する。1999 年 9 月 24 日、不知火海で台風 18 号による高潮災害が発生し、鎮西町松合地区では 12 名の人命が失われた。この災害の陰に隠れ、大きく報道されることはなかったが、竜ヶ岳町ではいち早く高潮に対する避難警報が出され、地域住民の安全が守られた。30 年も昔の災害の記憶を風化させなかった竜ヶ岳町防災担当者の防災意識の高さは賞賛に値する。

(2) 全球的な気象状況

1972 年はブロッキングが原因となって、全球的な異常気象が起こった年である。強いインドモンスーン、インド亜大陸における春から夏にかけての異常高温・旱魃、イギリスにおける夏の異常低温、米国におけるハリケーン災害、香港における 6 月の豪雨、モスクワ付近の夏の異常高温などが列挙される。7 月の北半球 500hPa 高層

天気図(図-4)によると、ジオポテンシャル高度場は太平洋と大西洋上で正偏差、アジア大陸上で負偏差となっており、偏西風が大きく蛇行している。次に地上天気図(図は省略)によると、太平洋高気圧の中心位置が平年に較べると北に偏していた。梅雨期に西日本を中心として日本各地を襲った集中豪雨もこの基本場と深い関係がある。

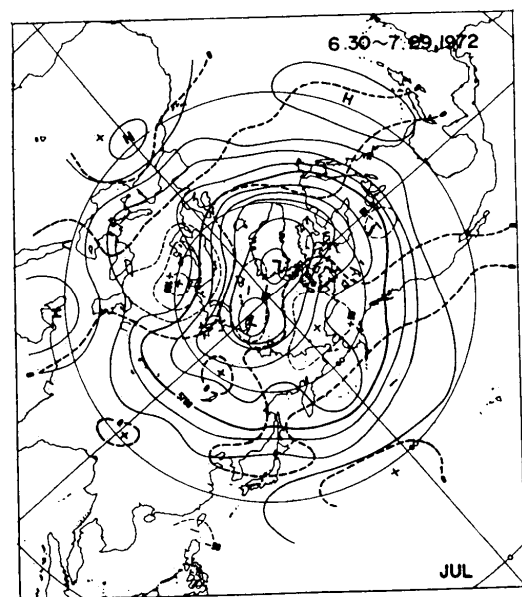
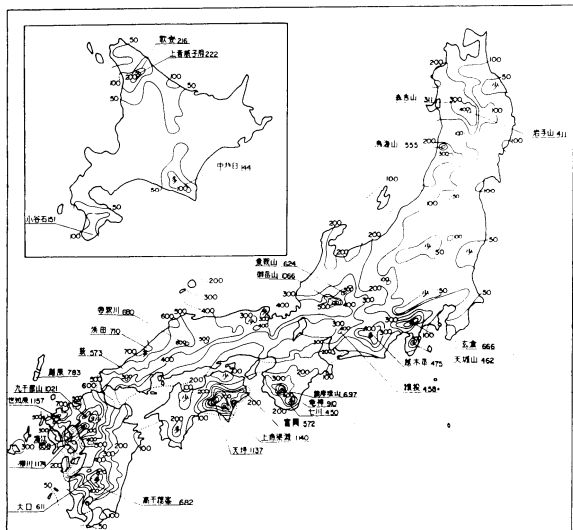


図-4 1972 年 7 月上旬の北半球 500hPa 面におけるジオポテンシャル高度偏差場

(3) 日本付近の総観気象場と降水特性

7 月上旬後半には、日本付近で気圧の谷が深まり、乾燥した北風が対流圏中層から上層にかけて吹き込んだ。その後、オホーツク海上空が気圧の尾根となり偏西風の蛇行が弱まり、同時に日本各地の集中豪雨も終息した。7 月 3 日から 14 日にかけて、日本各地でその地名がつけられた豪雨が発生し(柳川豪雨、土佐山田豪雨、日田豪雨、えびの豪雨、土佐安芸豪雨、天草豪雨、川内川豪雨、島原豪雨、米代川豪雨、北九州豪雨、中国豪雨、近畿地方豪雨、四国地方豪雨、丹沢豪雨、美濃三河豪雨など)、各地で気象災害が発生したが、これらの豪雨は短時間(2~3 時間)のうちに局地的に起こったことが特徴であり、正に集中豪雨の名に相応しい。図-5

に7月3日09時から14日09時にかけての総降水量分布(気象庁技術報告第84号³⁾,昭和47年7月豪雨調査報告の第1.2.6図)を示す.局地的に集中した豪雨



第1.2.6図 7月3日09時～14日09時の総雨量分布(47年豪雨全期間)

図-5 1972年7月3日09時～14日09時積算雨量

の様子がよく分かる.また,気象年報の1時間降水量の順位表には,上位10位の中に1972年の記録が4事例も入っている.ところが日降水量の順位表には,上位20位の中に1972年の事例は1例しかない.このように気象統計の観点からも,短時間に集中した1972年の梅雨期豪雨の特徴がよく現れている.

(4) 九州の気象状況と天草豪雨の詳細

鹿児島における7月4日9時から7月7日21時にかけての風ベクトルと相対湿度の時間高度断面図によると,対流圏下層において南西から南南西の湿潤な大気の流入があるものの,風速は最大8m/s程度で通常の梅雨期に較べて格別強いものではない.また,相対湿度80%以上の湿潤層が800hPa面以下に限定されているのも,この年の梅雨の特徴となっている.すなわち,熱帯・亜熱帯からの水蒸気流入量は,通常の梅雨期と較べるとむしろ少ない.更に特徴的な様相は,300hPa面以上の高層には乾燥した北風の流入があることで,特に7月6日9時以降は北風の流入が500hPa面から600hPa面まで下りてきている.竜ヶ岳では7月1日23

時から弱い雨が断続的に降り始め,7月6日10時までには積算雨量は287mmに達した.特に7月6日には,11時から12時にかけて1時間雨量130mm,10時から13時にかけての3時間雨量は255mmという記録的な豪雨に見舞われた.この集中豪雨の最中,11時50分に土石流が発生した.前述の気象庁技術報告第84号の7月6日の時間別降水量分布図によると,3時頃熊本県と大分県の県境で発生した降水系は,次第に降水強度を強めながら南南西に移動し,竜ヶ岳付近で最大強度となり14時頃に終息した.降水系の水平スケールは20~30km程度であった.竜ヶ岳から見て下層風の風下に位置する4つの観測点(吉無田,津森,御船,柿迫)と竜ヶ岳における7月6日の1時間降雨量の時間変化を見ると(図は省略),各観測点において1時間最大降雨量の出現時刻にずれがあり,降水域が北北東から南南西に移動したことに対応していることが分かる.移動速度はおよそ15km/hrであった(この値はレーダ観測の結果と一致する).レーダ観測によると,このメソスケール降水系の水平スケールは約30kmで,最盛期の12時頃には雲頂高度16kmに達した.

(5) マルチセル降水系

天草豪雨をもたらした降水系は降雨の特徴,降水系の移動,水平スケールなどからマルチセル降水系ではないかと推測される.この降水系はアメリカ合衆国にお

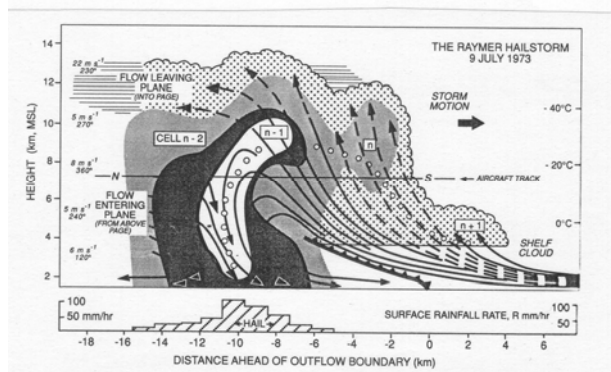


図-6 マルチセル降水系の模式図(Browning et al., 1976より)

ける特別観測中に初めて観測された(Browning et al., 1976⁴⁾). その構造を図-6 に示す. 図中の番号 $n-1, n, n+1$ は対流セルの世代を表しており, 番号の若いセルほど世代が若い. 環境風がシアーを持つため対流セルの上昇流領域と下降流領域にずれが生じ, セルの寿命が長寿命となる. $n-1$ 番目は最盛期のセルであり, 前方に下降流の冷気外出流と環境場の下層風が収束して突風前線(gust front)を形成する. 前線上では強い上昇流が生じ, 新しいセル (n 番目)の形成が始まる. この過程を繰り返しマルチセル型降水系は, 下層風の風上に向かって移動する. マルチセル型降水系が発達する条件として, 対流圏中層において降水系に向かって西方～北方から乾燥空気の流入が必要なため, 梅雨期には起こりにくい気象状況であり, マルチセル降水系は頻繁には観測されない. しかし, ひとたびこの型の集中豪雨が発生すると, 局地的な集中豪雨となり, 加えて発生場所の予想が困難なため大きな災害につながる可能性が高い. レーダデータの解析によると, 1982年7月23日に発生した長崎豪雨もマルチセル型豪雨と推測される.

5. 停滞前線付近で発達するメソスケール降水系

停滞する梅雨前線付近ではしばしば豪雨をもたらす降水系が発達するが, 数多くの事例研究を重ねた結果, これらの降水系は共通する構造を有することが明らかになってきた. 図-7 に1993年8月6日03:00 JSTの気象衛星赤外面像を示す. 特徴的な円形クラウドクラスターが梅雨前線上東西に並んでおり, この直下で1時間降雨量が100mmを越える豪雨が起こった. 円形の雲は積乱雲が対流圏界面に沿って水平に広がったかなど雲であり, 対流活動が極めて活発であることを示している. 一方, レーダ観測によって降水系の下層構造を調べると, 団塊状に広がるレーダエコーの中に幅10km長さ

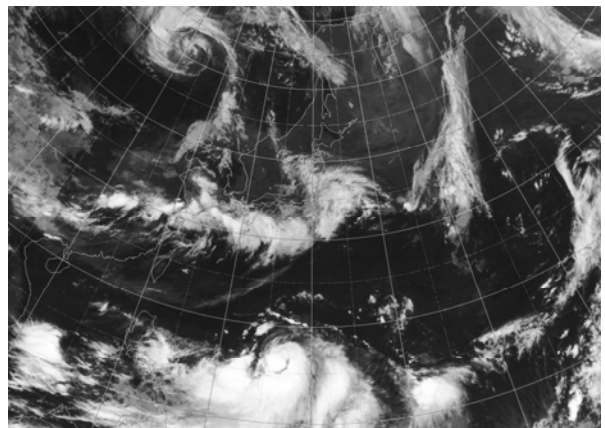


図-7 1993年8月6日03:00 JSTの気象衛星赤外面像
100～200kmのメソβスケール線状構造が見られた. 図-8は2002年6月27日18UTCのTBB(相当黒体放射温度)分布を示す. 中国・華南に温度70℃以下の円形かなど雲が見られる. 擾乱の構造を詳しく調べるために数値シミュレーションを行い図-8と対比できるように

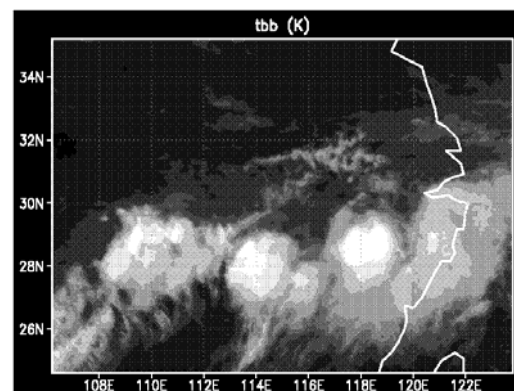


図-8 2002年6月27日18UTCのTBB図

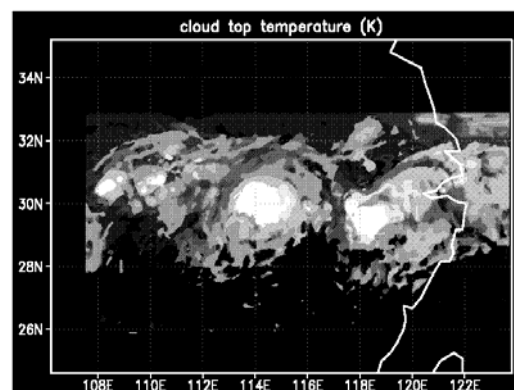


図-9 図-8に対応する数値シミュレーション結果

雲の温度を描いたのが図-9 である。円形かなと雲の発達時間と位置はややずれているものの、円形かなと雲の形状はよく再現されていたので、シミュレーション結果を解析し擾乱の構造を調べた。すると、擾乱の下層部分はメソβ線状構造を確認することができた。分かりやすく表現するならば、この降水系はマッシュルームのような構造をしているといったらよいだろう。マッシュルームの笠に当たるのが円形かなと雲というわけである。その後、停滞する梅雨前線付近の擾乱について数多くの研究を重ねているが、上層雲の形状は環境場の風の分布に大きく依存し、あるときは円形、あるときは楕円形、またあるときはテーパー状(人參雲ともいわれている)であったりするが、下層の構造はメソβ線状構造という共通性があることが分かってきた。このような構造が停滞する梅雨前線付近で発生する擾乱の本質であるように思われる。

6. おわりに

紙面の関係上、寒冷前線に伴うメソβ降水系に関する議論は割愛したが、降水系の構造は前節で述べた停滞する梅雨前線付近で発達する降水系に類似している。大きな違いは、寒冷前線は移動性のため降雨時間が短い(2~3時間)こと、対流活動が激しく1時間降雨量が100mmを越えることがあること、竜巻の発生を伴うことがあることなどである。寒冷前線に伴うメソβ降水系による豪雨事例としては1999年6月29日の福岡豪雨、2003年7月19日の福岡豪雨がある。

近年気象庁のデータ公開が進み、気象衛星画像やレーダーデータなどがリアルタイムで利用できるようになってきた。気象の知識を蓄積した上で、これらのデータを有効に活用すれば、防災・減災に多いに役立つだろう。

参考文献

- 1) 新野宏, 守田治, 1997: バンド状降水雲に伴う大雨-1997年7月10日鹿児島県出水市の土石流に関連して-. 日本自然災害科学会第16回大会予稿集, 1997年10月18日, 関西大学, pp99-100.
- 2) 守田治, 山口榮次, 新野宏, 1998: 1997年7月上旬九州中南部の豪雨解析(1998)-鹿児島県北部出水・阿久根付近の豪雨機構を中心として-, 平成9年度科学研究費補助金研究成果報告書「1997年7月梅雨前線停滞に伴う西日本の豪雨災害に関する調査研究」(研究代表者: 下川悦郎, 鹿児島大学農学部教授), 5-13.
- 3) 気象庁, 1973: 昭和47年7月豪雨調査報告, 気象庁技術報告 **84**, pp249.
- 4) Browning, K. A., J. C. Fankhauser, J.-P. Chalon, P. J. Eccels, R. G. Strauch, F. H. Merrem, D. J. Musil, E. L. May, and W. R. Sand, 1976: Structure of an evolving hailstorm, Part V: Synthesis and implications for hail growth and hail suppression. *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 603-610.

(2007. 10. 26 受付)