

第32回メソ気象研究会・気象災害委員会との共催発表会報告

コンピーナー：石原正仁・加藤輝之（気象研究所）

1. はじめに

2008年夏期に引き続き、2009年梅雨末期にも集中豪雨が発生し、平成21年7月中国・九州北部豪雨では死者30名・負傷者46名を出すなど大きな被害となった。気象学会では、気象災害に関連する活動を強化するために、2009年4月に気象災害委員会が設立された。気象災害委員会の最初の活動として、2009年度秋季大会が2009年の豪雨の被災地である福岡で開催されるということから、メソ気象研究会と共催して、集中豪雨についての話題を取り上げ、発表会を開催することとした。共催発表会は、テーマを「平成21年7月中国・九州北部豪雨と今後の豪雨の監視・予測に向けて」とし、コンピーナーから7名の方に講演を依頼して、秋季大会前日の2009年11月24日（火）に九州大学国際ホールで開催した。秋季大会でのメソ気象研究会としては最大の参加者（120名超）があった。

発表会の前半は、気象災害委員会主体の講演が行われた。平成21年7月中国・九州北部豪雨の実況・災害の状況のみならず、近年の豪雨とそれに伴う災害の発生傾向や豪雨の発生メカニズムについて、一般の方にとって理解しやすいような講演が行われた。また、後半については、メソ気象研究会主体の研究会として、梅雨末期にみられる典型的な集中豪雨のみならず、局地的な豪雨に対する実況監視技術や予測技術についての最新の情報や研究成果が発表され、最後に総合討論が行われた。

平成21年7月中国・九州北部豪雨発生直後に、その発生要因が“湿舌”であるという誤った報道が多くなされた。しかし、気象学で“湿舌”とは、梅雨前線帯などに見られる高度3 km付近の舌状にのびた湿潤な領域を意味しており、前線帯での対流活動で下層の水

蒸気が上空に運ばれた結果として形成されるものであると説明されてきている。原因と結果では意味が全く異なるので、“湿舌”という言葉の利用には注意を払っていただきたい。

2. 平成21年7月中国・九州北部豪雨の予報と実況

松本 積（福岡管区気象台）

今回の豪雨では、複数の大雨現象が短い期間に繰り返し発生した結果、記録的な雨量と大きな災害につながった。特に21日の山口県、24日の福岡県における大雨は、九州付近に大雨をもたらす異なった典型的な総観場のもとで発生していた。これらの特徴的な大雨事例を取り上げ、予報担当者がどのような予報を行い、その結果がどうであったかという検証を含めて説明を行った。

予測の根拠として高層天気図を使用した。簡単のために、大雨の要因である「水蒸気の十分な補給」と「強い上昇流の持続」に絞った解説とした。また、予測としては、天気予報での「激しく降る」のタイミングで議論した。大雨実況については、アメダス雨量の時系列や解析雨量分布の他に、大雨時の特徴的な雲画像を併せて示し、天気図で示す大きな場でのイメージを持てるようにした。

結論として、数値予報では総観場が良く表現されており、大雨の事前予測はある程度できていたが、現在の技術ではまだ不十分な点があることを示した。21日については、顕著現象に対する量的予測が困難であることを、24日については小規模じょう乱の予測が不十分で大雨の開始が予測より早かったことを述べた。その上で、これらの問題の解決のためには、より詳細な監視技術と予測技術の開発が必要とされると締めくくった。

3. 中国・九州北部における近年の豪雨・大雨と災害

早川誠而（緑と花と彫刻の博物館）

自然災害は地震、豪雨、強風などの誘因が素因に作用することによって生じる。豪雨災害では、誘因としての豪雨が、地形、地質、植生、土壌などの自然素因に作用して、洪水、浸水、土石流などの災害が発生する。これらが人間、社会に対する直接の加害力となる。ここでは、これまでの豪雨災害と今回の山口豪雨災害について得られた結果について報告する。

過去の豪雨災害について、前線および台風による大雨災害の変遷について調べてみると（早川 1996）、1950年代では、台風による死者行方不明者の数は豪雨によるものと比べてはるかに多かったが、最近では豪雨による被害の方が多い。これは、台風の予報精度が向上したにも関わらず、大雨をもたらす集中豪雨の予報が困難なためである。また、農地面積の減少や都市・宅地の開発などの人間活動の変遷に伴い災害の発生形態が変化している（張・早川 1998；早川ほか 2001；鈴木・早川 2002）。このように、災害は人間と自然との関わりにおける相互規定関係の中で変化してきた。しかし、災害の歴史では、人間社会が自然現象をコントロール下におき、災害を減少させてきた一方、人間の営み自体が災害を拡大し、あるいは新たな災害を生みだしてきた。

災害を軽減するために、個人が責任を持つことは原則であるが、行政でなければ出来ないことがあり、自己責任でやるべきことと、行政などがやるべきことを明確にする必要がある（早川・鈴木 2002）。また、豪雨のレーダ観測をもとに、①非常に組織化された対流雲（スーパーセル）、②組織化された帯状構造、③組織化された多重セル型、④降雨域の塊（エコークラスター）、に分類し、分解能を考えたレーダデータを用いることによって、竜巻などを伴った非常に激しい擾乱を前もって検出できる可能性を示した（早川ほか 1987, 1989a, b；早川 1996）

今回の山口豪雨についてみると、現地ではこれまでに経験したことの無い異常な豪雨であった。気象庁からはほぼ全域に土砂災害警戒情報が発表され、さらに、豪雨の移動を示すレーダ情報も出されて時々刻々に変化する豪雨域を見ることができた。一般の住民の中にはこれを活用して防災対策を行い、被害を未然に防いだ方もいる。被災した「ライフケア高砂」の建物は溪流出口の正面に位置し、溪流からの水路は建物の

近傍上流での暗渠の出口で直角に曲げられている。豪雨による多量の雨によりマサ土土壌が流動化し、多量の土砂が農道をあふれて直進し、施設の1階に流入し被害となった。施設の立地条件が、今回被災した大きな原因と考えられる。また、田矢島地域の浸水被害は、九田川に注ぐ流域の排水路が整備されていたので、大雨による流域内の多量の水が短時間に集中して川に注いだために起こった。それぞれの地域では、排水の水門を閉めて、下流への影響を少なくすべきところを、地域の被害を軽減するためか、農業用の水門を開けたために、下流域の田矢島地区に多量の水が流れ込み、床上浸水の被害となった。流域を整備するのはよいが、整備すると末端に多量の水が流れ込む結果となることは分かりきっていることであり、これに対する対策が不十分で被害発生となったと考えられる。

このような結果を見れば、対策を講じていけば災害を未然に防ぐことができた側面もある。自治体の防災担当者などは、気象情報を正確にキャッチし、非常に厳しい状況にあることを認識し、住民を避難させるなどの措置をとる必要があった。そのためには、災害を防ぐための情報伝達体制の充実が必要である。我々は、自然災害から逃れることはできないが、地域の危険度、すなわち自分の住んでいるところの危険を前もって認識できる。災害が起きそうな場合を想定して、それなりの対策を考えておく必要がある。災害を軽減するためには、自己の責任でやるべきこと（自主防災）と行政がやるべきことを明確にし、行政は地域の住民と話し合って、災害軽減に努める必要があろう。

4. 近年の豪雨、大雨の発生傾向

藤部文昭（気象研究所）

日本の大雨について、長期変動の観点からレビューし、地球温暖化や都市化との関連を議論した。

1901～2008年の国内51地点の資料によると、降水量100mm以上の大雨日数は22%/(100年)の率で増加する一方、10mm以上および1mm以上の日数はそれぞれ8.7%/(100年)および15.4%/(100年)の率で減少している（ただし、1mm以上の日数の変化率は、観測方法変更の影響の扱い方次第で数値が変わる）。このように、日本では大雨日数が増える一方で少雨日数は減り、無降水日数が増えている。大雨日数の増加は西日本で著しく、無降水日数の増加は全国的に認められる。

大雨の相対的な増加は世界的な傾向である。また、気候モデルによると、今後21世紀末に向けてさらに降水の強さが増すと予測されている。日本の場合、21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度気候モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」における5 km 格子モデル (NHM) のシミュレーションによると、今世紀末までに日降水量100mm 以上の日数は増加し、50mm 以下の日数は減少することが予想されており、過去1世紀に観測されたのと似た傾向の変化が今後も続くという結果になっている。

大雨は主として発達した積乱雲がもたらすものであり、積乱雲活動の変動は大気中の水蒸気量が増減、あるいは水蒸気を集中・上昇させる作用の変化に依存する。地球温暖化による相対湿度の変化は小さく、気温の上昇は水蒸気量の増加を伴うものと認識されており、地球規模の大雨増加は主として水蒸気量の増加によるという見方が有力である。

一方、日本では強雨の増加に対する都市化の影響を指摘する意見もある。都市化による水蒸気量の変化はゼロないしマイナスであるため、もし都市化が強雨を増加させるとすれば、その要因は水蒸気量の増加ではなく、水蒸気を集中・上昇させる作用の活発化にあると考えられる。具体的には、昼間の対流の活発化（混合層高度の増加）に伴う積雲形成の促進や、ヒートアイランド循環の上昇流による都市上空の湿潤化が挙げられ、これらは暖候期の午後に最も強く働く。近年、首都圏の市街地で暖候期の昼間の積雲が多い傾向が見出されているほか、都心部の短時間降水の増加を示唆する結果が得られているが、都市化と大雨との関連については今後さらに検証を進める必要がある。

5. 集中豪雨の発生メカニズムと豪雨の監視・予測の着目点について

加藤輝之（気象研究所）

大雨は発達した積乱雲によってもたらされるが、その積乱雲の寿命は約1時間であり、積乱雲中での降水の生成や地上まで落下する時間を考慮すると、地上に降水をもたらす時間は30分程度になる。よって、1時間から数時間にわたる大雨は1つの積乱雲でもたらされるものではなく、複数の積乱雲によって組織化された降水システムであるメソ対流系によって引き起こされている。メソ対流系を形成するためには、適度の水平風の鉛直シアが必要である。鉛直シアによる大量の下層水蒸気の流入が積乱雲を繰り返し発生させるため

に必要な不可欠であり、鉛直シアがなければ周辺の水蒸気を使い尽くすと新たな積乱雲は発生できなくなる。具体的には、下層3 km 付近までに 20ms^{-1} 程度の鉛直シアがあると、長さ50~100kmの線状に伸びた降水システムが組織化され、鉛直シアがその半分程度なら1時間程度の局地的大雨のように水平スケール20~30kmの降水システムが多数散在するようになる。また、数時間で200mmの降水をもたらす集中豪雨の多くは、線状に伸びた降水システムによってもたらされていることがわかっている（吉崎・加藤 2007）。

メソ対流系を組織化するためには、積乱雲が繰り返し発生する必要がある。積乱雲が風上側に繰り返し発生して線状の降水システムを組織化する場合を、バックビルディング形成と呼ぶ（Bluestein and Jain 1985）。日本で集中豪雨をもたらす線状降水帯の多くは、このバックビルディング形成によって作り出されたものである。また、対流圏下層と中層の風向が同じ場合、バックビルディング形成によって複数の線状降水帯が互いに独立に作り出される一方、下層と中層の風向が異なる場合、異なる位置で発生した積乱雲は重なりながら、その一部が併合することで長さ200kmを超えるような線状降水帯が作り出される。このような発生形態は、バックビルディング形成の中でも、特にバックアンドサイドビルディング型と呼ばれている（瀬古 2005）。

通常、新たな積乱雲は既存の積乱雲からの降水の一部が蒸発して作られる冷気外流出の先端で発生する。積乱雲の雲底高度が高い場合、蒸発量が多くなって強い冷気外流出が作られるため、既存の積乱雲からかなり離れて新たな積乱雲が発生する。そして、降水システムはスコールラインのように速い速度で移動するので、一時的な強雨をもたらすが大雨にはならない。しかし、集中豪雨が発生する時は、下層大気が暖湿なために雲底高度が低く、冷気外流出が弱いために降水システムは移動しにくくなり、降水はほぼ同じ領域にもたらされやすくなる。ちなみに、梅雨期にみられる大雨をもたらす積乱雲の雲底高度は500m程度と非常に低い。

豪雨の発生の可能性を議論するためには、上で述べたように積乱雲の発生・発達・組織化を考えなければならない。そのためには、まず下層水蒸気場の情報として、高度500m付近の相当温位の間をチェックすべきである。相当温位の値が高くなればなるほど、自由対流高度が低くなり、積乱雲の発達高度の目安となる

浮力がなくなる高度が高くなるためである。つぎに、上空（500hPa付近が基準）の低温化を確認し、その要因についても考察すべきである。低温化の要因としては、上空の気圧の谷後面での寒気の流入・圏界面付近の高渦位域の移流にともなう低温化・気圧の谷前面での上昇流にともなう断熱冷却などが考えられる。水平風の鉛直シアについては、梅雨期には基本場として存在するのであまり考慮しなくてもよいが、夏期についてはチェックした方がよさそうである。

6. 集中豪雨における新たな実況監視情報について —Xバンドマルチパラメータレーダネットワーク—

真木雅之（防災科学技術研究所）

災害の発生機構の研究や予測技術の高度化のため、2006年から関東地方にある研究機関と大学が連携して、研究用Xバンド気象レーダネットワーク（X-NET）の構築を進めている（第1図参照）。X-NETの参加機関は、2009年の時点で、防災科学技術研究所、中央大学、防衛大学校、日本気象協会、電力中央研究所、山梨大学である。X-NETの具体的な目的は、ネットワークで結ばれたレーダから降水と風に関する情報をリアルタイムで配信する技術を確立することである。X-NETから得られる情報は、災害をもたらす激しい大気現象の理解やその予測技術の向上、都

市型風水害の軽減に向けた研究に役立つ。X-NETは新しい都市防災システムとして位置付けられ、その特徴として、(1)都市の優れた通信インフラを活かしたレーダネットワーク、(2)既存の研究施設の利用による即効性と経済性、(3)3000万人の住民が生活する首都圏が試験地、(4)エンドユーザ（研究者、国、地方公共団体防災担当者、民間気象関連会社など）とのやりとりを通じた研究開発と実証実験、が挙げられる。

これまで、2008年8月5日の東京都豊島区雑司が谷の局地的な大雨や2009年7月29日の群馬県館林市で発生した竜巻などの観測に成功している。X-NETの研究成果は、国土交通省河川局が2010年から試験運用する現業マルチパラメータ（MP）レーダネットワークへ活かされる。国交省MPレーダ情報の大きな特徴の一つとして、1分毎の雨と風の分布情報がある。この情報は、都市型水害を引き起こす局地的大雨の発生や強風域の監視と予測にとって重要である。大都市圏での雨と風のリアルタイムでの配信は、世界でも初となる試みである。都市型水害のみならず、気象災害、土砂災害、沿岸災害の発生監視や予測研究を加速すると期待される。

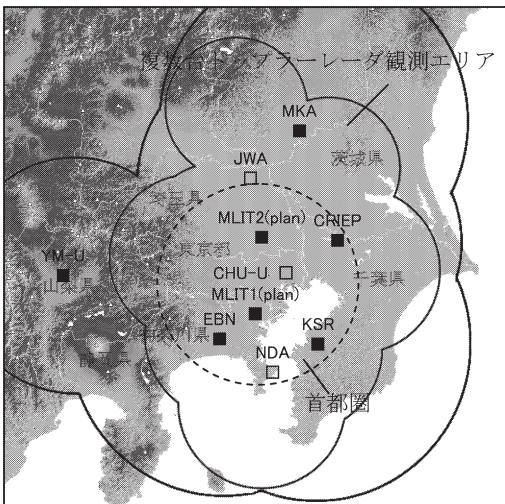
7. 雲解像度4D-VARを用いた局地豪雨の同化・予報実験

川畑拓矢（気象研究所）

気象研究所予報研究部では雲解像度非静力学4次元変分法データ同化システム（NHM-4DVAR）の開発を行っている。NHM-4DVARは、メソ $\beta\sim\gamma$ スケールの対流現象の再現・予報を目的として開発されており、気象庁非静力学モデル（JMANHM）をベースとした水平解像度2 kmの非静力学4次元変分法データ同化システムである（Kawabata *et al.* 2007）。2008年8月5日に東京都豊島区雑司ヶ谷で発生した豪雨事例（雑司ヶ谷豪雨）と2009年8月19日に那覇で発生した豪雨事例（ガープ川事例）についてデータ同化・予報実験を行った。

雑司ヶ谷豪雨の事例では、Global Positioning System（GPS）を用いた水蒸気観測データのインパクトを調べた。同化実験に用いた観測データは、ドップラー動径風、レーダ反射強度、地上観測データ、および準リアルタイム解析（Shoji 2009）によるGPS可降水量（GPS-PWV）およびGPS視線遅延量データ（GPS-SD）である。

GPS視線遅延量とは、各地上観測点からGPS衛星



第1図 X-NETの各レーダの位置と観測範囲。破線の円内は首都圏。■：マルチパラメータレーダ、□：ドップラーレーダ。

方向に見た電波遅延量であり、可降水量を算出する前
のより生データに近い観測データである。衛星方向の
情報であるために、水蒸気、気温、気圧の水平、鉛直
分布に関する情報を含んでいる。水蒸気の観測点直上
の情報しか持っていない可降水量と比較して、情報量
が多く、より詳細な解析が可能と考えられる。一方
で、観測演算子が複雑になるために、非線形性が高い。
このためデータ同化を行い、有効な情報を得られる
かを調べた。

2008年8月5日1100-1130JST（日本標準時）にお
いて10分間ウィンドウによる解析予報サイクルを3回
行った。この結果を用いて、1130JSTを初期時刻と
して、1430JSTまで予報を行った。両者とも対象で
ある降雨システムの発生および1時間30分後の発達・
移動をよく再現できた。しかし、GPS-SDでは発生
後、いったん消滅し、その後再び発生した。これは、
特に発生初期において、GPS-SDの水蒸気分布の再
現が十分でなかったため、評価関数の収束の様子か
ら観測演算子の非線形性に起因していると考えられ
る。今回の結果からは残念ながらGPS視線遅延量同
化の優位性を示すことはできなかったが、より線形な
観測演算子を開発し、より多くの情報を得られるよ
う努めたい。

2009年8月19日のガープ川事例は、約2km四方と
いう非常に小さな強い降水域によって引き起こされ、
その降水域は那覇から沖縄本島南海上に伸びる線状降
水帯の北端に発生した積乱雲によってもたらされたも
のであった。同化実験では1時間の同化ウィンドウを
用い、GPS可降水量のみを同化ウィンドウの最初と
最後の時刻に2回、同化した。この結果を用いて2時
間予報を行い、第一推定値との比較を行った。予報結
果では、那覇より南に延びる線状降水帯の再現性が向
上し、第一推定値よりも北側に降水域を再現できた。

以上のように、雲解像データ同化システムを用い
て、局地的大雨をモデル内に再現することが可能とな
れば、その発生、発達のメカニズムを調べることがで
きる。それらの理解が進むことで、局地的大雨を予報
することが可能となるかもしれない。

8. 全球SVメソアンサンブル予報による豪雨予測 の可能性—平成21年7月中国・九州北部豪雨— 原 昌弘（気象研究所）

世界天気研究計画（WWRP）北京2008研究開発プ
ロジェクトで開発した全球ターゲット特異ベクトル

（SV）法によるメソアンサンブル予報システム
（GSV-EPS）をもとに、日本の梅雨期に適した初期
摂動を計算できるように改良を行い、今年7月の豪雨
事例に適用した。

7月24日九州北部豪雨では、豪雨発生6時間前の7
月24日06UTCを初期時刻として、全球SV法（T63
L40）から初期摂動・側面境界摂動を求めて、水平分
解能15kmのJMANHMにダウンスケールして11メ
ンバーによるアンサンブル予報を行った。その結果、
50mm/（3時間）以上の強雨を九州北部にもたらすメ
ンバーが2つ現れた。この2つのメンバーに共通する
のは高度1km以下で九州の南西海上（1つは台湾付
近）から高相当温位の空気を九州北部へ輸送する初期
摂動場が得られていることである。

7月21日中国豪雨では、豪雨発生12時間前の7月20
日12UTCを初期時刻としてアンサンブル予報を試み
た。しかし、気象庁メソ客観解析の済州島近海高度
1km以下の水蒸気量が気象庁全球客観解析に比べて
3gほど不足しており、1g程度の水蒸気の初期摂
動では補いきれずアンサンブル予報でも良い結果は得
られなかった。そこで、実際に近いと考えられる全球
解析の水蒸気量でメソ解析の値を置き換えた。また境
界層内の水蒸気輸送に直結する風の場合も全球解析で置
き換えた。この修正初期値を用いたコントロールラン
では、山口付近に気象庁全球モデルが予想していた20
mm/（3時間）以上の降水域を表現できた。この修正
初期値に初期摂動をダウンスケールしてアンサンブル
予報を行った結果、50mm/（3時間）以上の強雨を豪
雨発生域にもつメンバーが2つ現れた。強雨をもたら
した初期摂動場を見ると、日本の西海上から黄海に至
る海上の境界層内で相当温位を増大させる摂動が重要
な役割を演じていることがわかった。それが9時間予
想での高度1km以下の東向き水蒸気フラックスを増
大させ、12時間予想での強雨の再現につながってい
た。

1972年の九州南西部の豪雨では、著しい潜在不安定
の出現に2時間程度遅れて豪雨の極大が発生したことが
示されている（Ninomiya and Yamazaki 1979）。
また、2004年新潟福島豪雨では初期条件の水蒸気と浮
力の場を若干修正することにより強い潜在不安定が現
れ豪雨の再現実験に成功している（Yamasaki
2007）。本研究では全球SV法のノルム計算などを調
整し、潜在不安定のスプレッドが大きい初期摂動場を
与えようと試みた。その結果、豪雨を予測したメン

バーではコントロールランに比べて強い潜在不安定が出現していることが確認できた。

9. 総合討論

まず、本発表会が気象災害委員会の最初の活動の場であることを踏まえ、気象災害を防ぐためには今後、気象庁や大学等の研究機関、地方公共団体、住民の3者がどのような関係を築いていくべきかについて議論が行われた。土砂崩れや土石流は地中に大量の水分が溜まることで発生することから、スナップショットのレーダ観測情報のみならず、1日単位等の長期間の積算降水量分布を気象庁のホームページ等で提供してもらえないかという要望があった（なお、同ホームページの気象統計情報 > 最新の気象データ > 降水の状況で、24時間降水量や72時間降水量を提供している）。また、短期間の局地豪雨の名称について、気象庁では局地的大雨と呼ぶことに決めている。気象学会としてもその名称を利用するのか別の名称を考えるべきか議論されたが、結論は先送りとなった（本稿では、局地的大雨に統一した）。最後に、最新の実況監視技術や数値モデルを用いた予測技術の進歩は、それぞれの単独の技術では困難で、やはり観測と数値モデルの研究が協調して研究を進めるべきだということで研究会の総合討論がまとめられた。

謝辞

今回のメソ気象研究会を開催するに当たって、会場の予約・準備・運営をしていただいた九州大学理学研究院の川野哲也助教および学生の方々に感謝します。

参考文献

- Bluestein, H. B. and M. H. Jain, 1985: Formation of mesoscale lines of precipitation: Severe squall lines in Oklahoma during the spring. *J. Atmos. Sci.*, **42**, 1711-1732.
- 早川誠而, 1996: 気象学的側面からみた豪雨と災害. *土と基礎*, **44**(7), 1-5.
- 早川誠而, 鈴木賢士, 2002: 災害の予測と危機管理. *農業*

土木学会誌, **70**, 397-400.

- 早川誠而, 元田雄四郎, 坂上 務, 井田秀治, 1987: 帯状エコーの中で発達した対流雲のレーダーエコーの特徴—1985年6月23日, 北部九州たつ巻発生を主として—. *天気*, **34**, 29-43.
- 早川誠而, 鈴木義則, 前田 宏, 元田雄四郎, 1989a: 1983年9月6日の福岡市における豪雨の特徴. *天気*, **36**, 121-133.
- 早川誠而, 鈴木義則, 前田 宏, 元田雄四郎, 1989b: 1986年7月10日鹿児島市豪雨の特徴解析. *天気*, **36**, 207-213.
- 早川誠而, 鈴木賢士, 山本晴彦, 張 継権, 2001: 気象学的側面から見た最近の豪雨災害. *土と基礎*, **49**(1), 1-4.
- Kawabata, T., H. Seko, K. Saito, T. Kuroda, K. Tamiya, T. Tsuyuki, Y. Honda and Y. Wakazuki, 2007: An assimilation and forecasting experiment of the Nerima heavy rainfall with a cloud-resolving nonhydrostatic 4-dimensional variational data assimilation system. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 255-276.
- Ninomiya, K. and K. Yamazaki, 1979: Heavy rainfalls associated with frontal depression in Asian subtropical humid region (II) Mesoscale features of precipitation, radar echoes and stratification. *J. Meteor. Soc. Japan*, **57**, 399-413.
- 瀬古 弘, 2005: 1996年7月7日に南九州で観測された降水系内の降水帯とその環境. *気象研究ノート*, (208), 187-200.
- Shoji, Y., 2009: A study of near real-time water vapor analysis using a nationwide dense GPS network of Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87**, 1-18.
- 鈴木賢士, 早川誠而, 2002: 1994年から1998年に福岡市ならびに北九州市で発生した豪雨災害の気象学的特徴. *自然災害科学*, **21**, 271-284.
- Yamasaki, M., 2007: A numerical study of rainfall associated with a Baiu front: A case of Niigata-Fukushima heavy rainfall in 2004. *SOLA*, **3**, 57-60.
- 吉崎正憲, 加藤輝之, 2007: 豪雨・豪雪の気象学. 朝倉書店, 187pp.
- 張 継権, 早川誠而, 1998: 山口県における豪雨災害危険度の評価と危険地域の区分に関する研究. *自然災害科学*, **16**, 277-292.