

第39回メソ気象研究会・気象災害委員会との共催発表会の報告

梅雨期の大雨 ～平成24年7月九州北部豪雨～

コンビナー：加藤輝之*・楠 研一**

1. はじめに

2012年7月12日から14日にかけて九州北部では日降水量500 mmを超える大雨となり、各地で土石流や洪水による災害がもたらされた。このように、梅雨期には毎年のように日本列島各地で大雨が発生する。そこで、気象災害委員会との合同企画として、出水期前の防災意識向上も念頭に、第39回メソ気象研究会では平成24年7月九州北部豪雨の話題を中心に「梅雨期の大雨 ～平成24年7月九州北部豪雨～」をテーマとして取り上げた。春季大会前日の2013年5月14日(火)に気象庁講堂で開催し、約150名(うち気象庁関係者約50名)の方に参加していただいた。今回はじめて、気象庁との連携を強め、気象庁関係者が参加しやすくするために、気象庁の後援をえて実施した。コンビナーから6名の方に講演を依頼し、平成24年7月九州北部豪雨についての被害調査や発生要因、気象庁の対応、予測可能性の講演に加えて、梅雨期の大雨における最新の研究や気象庁での予警報発信のための短時間降水予測技術について話してもらった。

また、「メソ気象研究の将来展望・構想」をテーマに取り上げた第35回メソ気象研究会(加藤ほか 2011)で問題提起された、“メソ気象を一般にアピールするためには一般の人に関心を持ってもらうことが重要である”という議論を踏まえて、“どのようにメソ気象の知見を伝達できるか”をキーワードに2名の方から話題提供してもらって全員参加型の総合討論を行った。多くの参加者に問題意識を持っていただくことができ、研究会終了時には有意義で満足できた研究会

だったという多くの感想を聞くことができた。

2. 平成24年7月九州北部豪雨(筑後川、矢部川流域と豊後竹田市)での被害調査

林 泰一(京都大学防災研究所)

平成24年7月の九州北部豪雨では、死者・行方不明32名(福岡県4名、熊本県25名、大分県3名)、負傷者27名、住家の全壊363棟、半壊1,500棟など大きな被害が発生した(消防庁応急対応室 2012)。7月11日から14日までの降水量は熊本県阿蘇市乙姫で816.5 mm、福岡県八女市黒木で649.0 mmに達した(気象庁 2012)。熊本県阿蘇地域では前半の7月11日深夜から12日未明にかけて、福岡県筑後地域では後半の7月14日未明から午前中にかけて、大量の降水を記録した。

京都大学防災研究所では、7月20日に福岡県筑後地域の筑後川流域と矢部川流域、22日に大分県豊後竹田市で発生した洪水の被害の現地調査を行った。矢部川流域の八女市船小屋水位観測所では、7月14日03時頃氾濫注意水位の6.0 m、07時半頃氾濫危険水位の8.4 mを越え、09時頃今回の洪水による最高水位の9.76 mに達した(国土交通省九州地方整備局 2012)。矢部川右岸の柳川市大和町六合ではこの水位の上昇で長さ30 mにわたって堤防が決壊し、田畑が冠水し汚泥に覆われ、田植え後の稲が全滅した。矢部川上流の八女市では、多くの家屋が床上浸水し、とくに川岸の家屋は基礎部分が水流でえぐられて倒壊した被害もかなりの数になった。

豊後竹田市では玉来川が氾濫し、流域の広い範囲で家屋の多くが浸水した。現場での調査の際に、被災家屋の状況の聞き込みや写真撮影がプライバシーに関わるため、断られる場合があった。今後、現地調査に当たっては、気象災害委員会などからの学術的な被害調査であることを証明する文書を受け取っておけば、現

* (連絡責任著者) Teruyuki KATO, 気象研究所,
tkato@mri-jma.go.jp

** Kenichi KUSUNOKI, 気象研究所.

© 2013 日本気象学会

地調査では大変役に立つと思われる。

柳川市では、「防災マップ」、豊後竹田市では「洪水ハザードマップ」を作成し、冊子を各家庭に配布して、危険地域や避難の心得などの情報を広く市民に周知してきた。このため、住民の避難は比較的迅速に行われ、被害の軽減に役立った。

3. 平成24年7月九州北部豪雨の発生要因

加藤輝之（気象研究所）

梅雨期、特に九州での大雨は、700 hPa 付近に現れる湿舌（加藤 2010）に対応する梅雨前線帯の南縁で発生しやすい（例えば、平成21年7月中国・九州北部豪雨）。その位置が下層の暖湿流の梅雨前線帯に流入する場所に当たり、暖湿な空気ほど自由対流高度が低くなり、浮力がなくなる高度（Level of Neutral Buoyancy: LNB）が高くなるため、積乱雲が容易に発生・発達しやすくなるためである。ただ、大雨をもたらす暖湿な空気は梅雨期の平均大気状態に比べて、極端に温度が高く水蒸気量が多いわけではなく、水蒸気の増加量は10～20%大きい程度である。しかし、このわずかな増加量が積乱雲の発達をもたらすことを下層と中層の気温減率や相当温位と LNB の関係から説明した（Kato *et al.* 2007）。

平成24年7月九州北部豪雨発生時の気圧配置をみると、梅雨期の平均的な分布より太平洋高気圧が西側に張り出し、中国大陸から朝鮮半島付近に気圧の谷が存在していた。このような気圧配置では、東シナ海上で強化された気圧傾度力により下層風が強まり、九州に大量の水蒸気が流入することになる。この大量の水蒸気により発生した複数の降水システムが線状降水帯を形成し、平成24年7月九州北部豪雨をもたらしていた。しかし、7月12日0時前後でほぼ同量の水蒸気量が九州北部に流入していたが、0時以前では大雨にはならなかった。それは線状降水帯が停滞しなかったため、そのことを気象庁のウインドプロファイラの風速分布から議論し、降水帯が停滞するには適度の鉛直シアが必要であることを示した。

大雨をもたらすためには、下層1 km 以下に大量の水蒸気が蓄積される必要がある。7月12日の豪雨のケースでは、東シナ海上で12時間に下層1 km の可降水量が約3 mm 増加していた。そのうち、約2 mm は海面からの水蒸気の供給（蒸発）であり、残りは水蒸気フラックス収束による増加であることを気象庁メソ解析とメソモデルの結果から推測した。また衛星雲画

像の輝度温度から、東シナ海上の背の低い雲システムが水蒸気の蓄積（鉛直輸送）過程に寄与していることを示唆した。

豪雨は阿蘇山の麓で顕著であったため、山岳の影響をみるために水平分解能1 km の数値モデルを用いて、山岳域を除去した感度実験を行った。その結果、山岳のせき止め効果で降水の強化されていたことが確かめられたが、線状降水帯の形成に対する山岳の影響は小さいことがわかった。

4. 梅雨期の大雨における台風の遠隔影響

吉田健二（気象庁気候情報課）

台風の遠隔影響（間接影響とも言われる）とは、台風が他のシステム（前線など）と相互作用することで、台風から遠く離れた場所で大雨となる現象である。台風の遠隔影響は重要な現象であるにも関わらず、先行研究が少なく研究が不十分な分野である。その理由としては台風本体に対して注意が向きやすいことや、その頻度が少ない等が考えられる。そこで、梅雨前線が6月から7月にかけて存在する梅雨期の、そして大雨の降りやすい地域である九州を対象として、梅雨期の大雨に対する台風の遠隔影響を調査した。その結果、従来の「台風から暖かく湿った空気が流れこむ」というメカニズムとは異なる、新たなメカニズムを発見した（Yoshida and Itoh 2012）。本発表では、その新しいメカニズムについて、主にデータ解析の結果を基に説明した。

対象とした事例は1999年6月7日の大雨である。九州において日降水量100 mm 以上の地点が55地点となるなど、九州の広い範囲で大雨となった。この時、約2000 km 離れた位置（香港付近）に台風第3号が存在した。等温位面渦位（以降、渦位）を見ると、台風が台湾の南を通過する際、台湾付近に高渦位が出現し、その東では低渦位が形成された。この低渦位の形成は太平洋高気圧の北西への張り出しに対応していた。高渦位と低渦位は、それぞれ低気圧性循環と高気圧性循環に対応するため、その間で南寄りの水蒸気フラックスが大きくなり、九州付近で収束し、大雨をもたらしていた。高渦位と低渦位の間で効率的に水蒸気が運ばれることから、その大きな水蒸気フラックスを“Moisture Road”と名付けた。台湾付近の高渦位は、台風に伴う風が台湾の地形に衝突することによる非断熱加熱によって形成されていた。一方で、低渦位は台風第3号による低緯度からの低渦位移流によって形成

されていた。

これは、従来の「台風から暖かく湿った空気が流れこむ」というメカニズムとは異なり、台風が引き起こす①台風と台湾の地形による高渦位形成、②台風による低緯度からの低渦位移流による太平洋高気圧の張り出し、という2つのプロセスを通じた水蒸気供給という新しい台風の遠隔影響メカニズムである。他の九州の大雨でも似た状況が複数の事例で見られ、1999年6月7日の大雨事例に限られた例ではないことも示された。また、この遠隔影響メカニズムは梅雨期に限らず、梅雨前線のような水蒸気収束を引き起こす擾乱が九州付近にあれば同じメカニズムが働くと考えられる。

5. 平成24年7月九州北部豪雨における現地気象官署の対応

木下 仁 (福岡管区気象台)

本発表では、現地気象官署が「平成24年7月九州北部豪雨」(死者・行方不明者:32名)にどのように対応したのか、主に予測面からその現状について話題を提供した。

この記録的な大雨における降水のピークは12日未明～朝と14日未明～昼前の2回であった。両日の大雨に対して現地気象官署は前日から気象情報などを発表し、土砂災害、浸水害、河川の増水やはん濫への警戒を呼びかけた。また、大雨期間中、各気象官署は能動的ホットラインなどにより災害発生の危機感を地元自治体に直接伝えるなどし、防災対応の支援を行った。

12日の熊本県阿蘇地方を中心とした大雨については、九州における典型的な大雨パターンであった。下層には東シナ海方面から暖湿な気団が入り込み、中上層では中国東北区の寒冷渦の影響も加わりトラフ通過後に低相当温位の空気が侵入した。このため、九州の西海上では対流不安定が顕著となり、11日夜遅くからクラウドクラスターが次々に発生・発達し、阿蘇地方では同日未明から朝にかけて猛烈な雨が降り続いた(木下 2012)。同日07時前には、重大な災害が差し迫り一層の警戒が必要なことを関係機関や住民に伝えるため、気象庁本庁、福岡管区気象台、熊本、大分地方気象台は「これまでに経験したことのないような大雨」という表現を用いて、見出しのみの短文形式による記録的な大雨に関する気象情報(平成24年6月運用開始)を全国で初めて発表した。

14日の福岡県筑後地方を中心とした大雨について

は、下層では東シナ海からの暖湿気の流れ込みが引き続き顕著であったが、上層は九州における典型的な大雨パターン(ジェットストリークの二次循環、チベット高気圧の北東象限など)とは言い難く、前日の予報会報における大雨の可能性についての議論は平行線をたどった。降水が予想されていた明け方前後の時間帯は統計的に大雨に見舞われやすいこともあり、数値予報資料の雨量予測値を担当予報官が上方修正して警報レベルの値で発表したが、上層の環境場が過去の大雨パターンに類似していないという理由で下方修正していれば、見逃しとなるところであった。

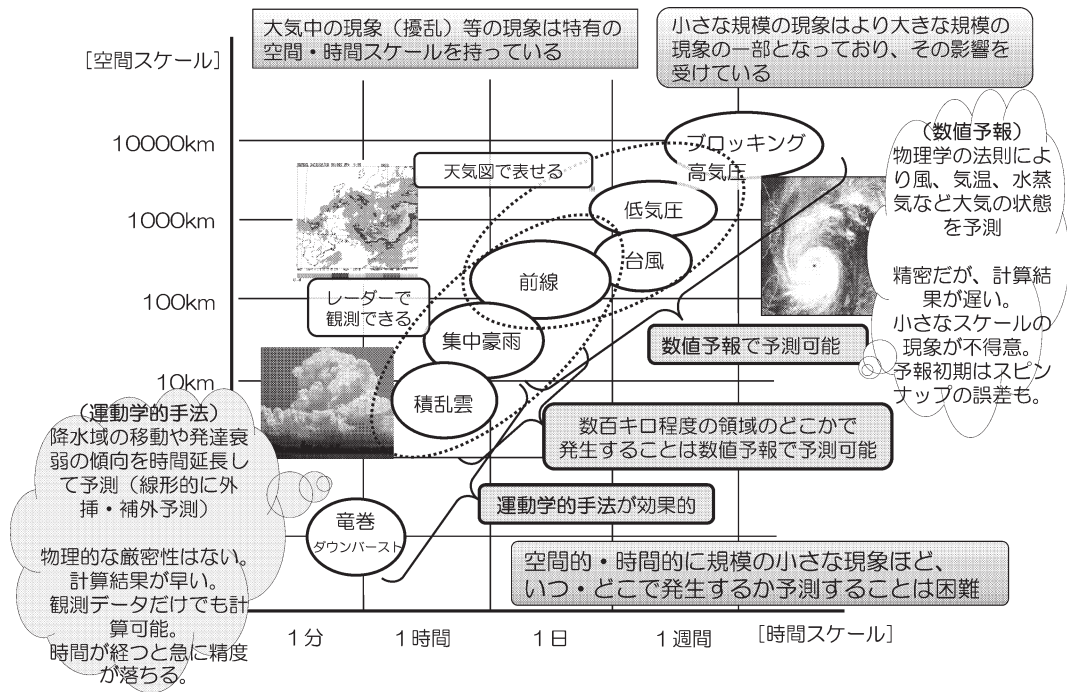
各気象官署が発表した予報プロダクトを検証すると、大雨洪水警報のリードタイムは概ね確保できていたものの、24時間降水量については、両日共に実際の観測値が前日の気象情報において述べた予測値250mmの約2倍にまで達し、顕著な大雨事例に対して高精度の雨量予測を行うことは技術的にまだ困難な状況であることが改めて浮き彫りになった。

また、今回の「平成24年7月九州北部豪雨」の発生後、現地気象官署は各自自治体に対し防災気象情報が有効に利用されていたか聞き取り調査を行った。その過程で「二八豪雨」(昭和28年西日本水害)の事例が突如話題に上った。筑後川を始め九州北部を流れる河川がほぼ全てはん濫し、九州に戦後最悪の水害をもたらしたこの記録的な大雨については、今回の大雨の発生前にほとんど忘れ去られている傾向にあった。今後、防災気象情報を効果的に発表するためにも、このような過去の災害について事前に地域の方々と情報共有を行っておくことが一層求められる。

6. 気象庁の短時間降水予測技術の現状と将来

佐々木 洋 (気象庁予報課)

以前に比べると大雨による災害・人的被害は減少する傾向にあるが、それでも毎年のように大雨による犠牲者や大きな被害が発生している。気象庁では、過去の大雨災害を教訓に関係する防災機関や有識者の方々の意見を聞きながら、防災気象情報の改善や大雨の監視・予測技術(第1図)の向上に努めているところである。本研究会では、降水短時間予報(6時間先まで)や解析雨量、降水ナウキャスト(1時間先まで)といった、数値予報がまだ得意な目先数時間先までの面的な降水予測である運動学的予測技術に基づくプロダクトについて紹介した。これらのプロダクトは、時々刻々変化する雨の状況を直ちに把握するためのもの



第1図 気象情報が扱う現象のスケールとそれに応じた予報手法。

ので、大雨警報などの気象情報の発表のための基礎的資料となっておりとともに、一般の方や民間気象事業者にも公開して大雨時の判断や行動に役立ててもらうことを第一の目的としている。

解析雨量は、面的に瞬間的な降水強度（正確には反射強度）を観測できる気象レーダー（気象庁20基、国土交通省26基）と地点ごとに正確な雨量を観測できる雨量計（気象庁約1300地点、気象庁以外約9000地点）の両方の長を組み合わせて、1 km メッシュという細かさで実況の雨量分布を解析したプロダクトである。以下に紹介する、降水短時間予報、降水ナウキャストも1 km メッシュである。

降水短時間予報は、実況の雨量分布を初期値とし、雨域の移動はパターンマッチングの手法で、雨域の発達・衰弱は地形の効果や直前の降水強度の変化から予測して（補外型予報）、1時間雨量の分布を予報している。補外型予報は予報時間が延びると精度が急速に落ちるため、予報時間の後半には補外型予報と数値予報の降水予報を組み合わせる（結合型予報）。降水ナウキャストは、より迅速な情報として目先1時間以内の雨域の状況を5分毎に予報している。雨域の移動はパターンマッチングの手法で予測し、雨

域の発達・衰弱については地形の効果を取り入れ、強雨域を簡便なモデルに当てはめるなどして予測している。

これらの短時間降水予報技術は、まだまだ精度面で不十分なところもあるが、新たな観測データの利用手法の開発や移動・発達衰弱に関する予測手法の改良など、継続的に精度向上に努めており、大雨時には是非役立てていただきたい。

7. 平成24年7月九州北部豪雨の予測可能性

國井 勝（気象研究所）

アンサンブルカルマンフィルタ（EnKF, Evensen 1994）はデータ同化とアンサンブル予報を融合した手法であり、数値予報モデルへ応用することで、データ同化を通じた初期値改善による決定論的予測の精度向上、およびアンサンブル予報による確率論的予測の提供が期待できる。従来の変分法に基づくデータ同化手法とは異なり、アンサンブル予報に基づく流れに依存した予報誤差情報を解析プロセスに直接取り込むことができるため、局地的大雨や台風等の極端現象の解析精度の向上に有用であると考えられている。また、解析誤差に基づくアンサンブル摂動を生成するため、初

期値に含まれ得る不確実性に基づく予報の信頼性情報も提供することができる。ここでは、気象庁非静力学モデル (NHM, Saito *et al.* 2006) に基づく局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF, Hunt *et al.* 2007) による実験システム (NHM-LETKF, Kunii 2013) を構築し、平成24年7月九州北部豪雨に適用して予測可能性について議論を行った。

非静力学メソ4次元変分法を用いた当時の気象庁現業予報では、7月12日の降水を位置、強度ともに十分に表現することができなかった。一方で、水平解像度15 kmのNHM-LETKFで得られた解析値から、当時の気象庁現業予報と同じ水平解像度5 kmの初期値を作成して予報(ダウンスケール予報)を行うと、九州地方における降水予測が大幅に改善され、持続的な強雨を表現することができた。全51メンバーによるアンサンブル予報に基づく確率予報では、7月12日09時における前3時間積算降水量50 mmを閾値とした場合、24時間予報で50%、18時間予報で70%程度の確率で大雨を捕捉できていたことがわかった。これらの確率予測は、各アンサンブル予報の降水量最大値から見積もられる最悪シナリオと合わせ、災害時の意思決定プロセスに寄与するものと期待される。

上記の実験で得られた降水強度は観測に比べ過小評価であったため、NHM-LETKFによる解析・予報サイクルを用いて水平解像度5 kmによるデータ同化実験を行った。求められた解析値を初期値とした水平解像度1 kmの予報では、水平解像度5 kmでデータ同化を行わないダウンスケール予報に比べ降水強度が改善され、観測とほぼ同等の降水が再現されることがわかった。これは局地的大雨事例への高解像度データ同化の有用性を示唆するものである。

8. 総合討論

8.1 先端研究と一般市民の防災意識をつなげるもの

茂木耕作 (海洋研究開発機構)

総合討論の冒頭5分間、「今日の先端研究の講演について、どの話題を誰に伝えたいと思ったか?」という問いかけに対して、会場にいた150人以上の参加者全員に、隣席の参加者2-3人で意見を述べ合ってもらった。非常に単純な問いかけであるにも関わらず、5分では到底足りない、という状況になったところで、個々の意見を全体に共有してもらって全体討論を行った。

この問いかけの意図は、講演で示された先端研究の知見から、一般市民の防災意識をつなげる出発点として参加者同士の理解の共有度合いを濃いものにした、ということである。同じ講演を生で聴いた参加者同士であっても理解や認識の違いは生まれるものであり、それを埋めることがまず重要である。以下に印象に残った3つの意見を紹介する。

- ・降水ナウキャストの進歩については、まず自分の家族に伝えたい。
- ・数値予報モデルによる予報と降水ナウキャストの使い分けは、現状の利用者にまだ理解されていない場合も多いと感じるので改めて伝える努力をしたい。
- ・豪雨被害の現場状況の報告および現場をまず調査することの重要性は、気象災害に普段関心を持っていない人に伝えたい。

研究などを業務としない一般の参加者も含め、会場からは20分ほど途切れることなく、意見が全体に共有され、示された講演のそれぞれが誰・どこに伝えられるべきなのか、認識を深めることができた。

討論の様子は、Youtube 動画で次のリンクから視聴できるので、是非ご覧頂きたい (<https://www.youtube.com/watch?v=GnrXg3UAP7Q> (2013.05.25閲覧))。

8.2 メソ気象研究および気象庁に対する要望と期待

佐々木恭子 (気象予報士)

民間の気象予報士として現業の予報に携わっている立場として、様々な意見が事前に集まっていたが、ここでは次の一点に絞って話題提供した。

「どんどん進んでいるメソ気象研究および気象庁の数値予報技術に、ついていけないことがもどかしい。だから、何とかしてついていきたい。そのためには情報や新たなデータを提供して欲しい。」

ここで提示したかった要望は、予報データそのものだけでなく、モデルの仕様変更情報やそれに応じたガイダンスなども提供して欲しい、ということである。これに対して、気象庁総務部の隈 健一参事官からは官民連携のため、このようなことに応えていくことは重要との前向きな回答があった。ただし、膨大になってきている気象データを迅速に提供するための技術的課題もあること、また気象庁の最優先課題は高精度のプロダクトを作成することであり、技術支援対応には限界があることもあり、その解決策を相談していく必

要があるとの説明があった。また、全国に9000人近くいる気象予報士の資格を持った人材を各自治体の防災課などの部署に配置・連携する枠組みを作るのはどうか、といった提案も会場から出された。非常に多くの気象予報士がメソ気象研究会の議論に加わり、具体的な要望を表明できたことが、今後の展開につながることを期待している。

謝 辞

今回のメソ気象研究会を開催するに当たって、会場の準備・運営をしていただいた気象研究所の有志の方々ならびに筑波大学連携大学院（気象研究所）の学生のみなさまに感謝します。

参 考 文 献

- Envensen, G., 1994: Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics. *J. Geophys. Res.*, **99**, 10143-10162.
- Hunt, B. R., E. J. Kostelich and I. Szunyogh, 2007: Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter. *Physica D*, **230**, 112-126.
- 加藤輝之, 2010: 湿舌. *天気*, **57**, 917-918.
- Kato, T., S. Hayashi and M. Yoshizaki, 2007: Statistical study on cloud top heights of cumulonimbi thermodynamically estimated from objective analysis data during the Baiu season. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 529-557.
- 加藤輝之, 新野 宏, 吉崎正憲, 石原正仁, 藤吉康志, 斉藤和雄, 坪木和久, 2011: 第35回メソ気象研究会の報告—メソ気象研究の将来展望・構想—. *天気*, **58**, 819-824.
- 木下 仁, 2012: 平成24年7月九州北部豪雨. *天気*, **59**, 848.
- 気象庁, 2012: 平成24年7月九州北部豪雨 (平成24 (2012)年7月11日~7月14日). http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/new/jyun_sokujj20120711-0714.pdf (2013.06.04閲覧).
- 国土交通省九州地方整備局, 2012: 梅雨前線に伴う平成24年7月13・14日出水について (速報版第2報)【矢部川水系, 筑後川水系, 山国川水系, 遠賀川水系, 六角川水系】. http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai_joho/saigai_news/pdf/h24/20120726_01.pdf (2013.06.04閲覧).
- Kunii, M., 2013: Mesoscale data assimilation for a local severe rainfall event with the NHM-LETKF system. *Wea. Forecasting* (under review).
- Saito, K., T. Fujita, Y. Yamada, J. Ishida, Y. Kumagai, K. Aranami, S. Ohmori, R. Nagasawa, S. Kumagai, C. Muroi, T. Kato, H. Eito and Y. Yamazaki, 2006: The operational JMA nonhydrostatic mesoscale model. *Mon. Wea. Rev.*, **134**, 1266-1298.
- 消防庁応急対策室, 2012: 7月11日からの梅雨前線による大雨について (第20報). <http://www.fdma.go.jp/bn/2012/detail/766.html> (2013.06.04閲覧).
- Yoshida, K. and H. Itoh, 2012: Indirect effects of tropical cyclones on heavy rainfall events in Kyushu, Japan, during the Baiu season. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90**, 377-401.