

集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析

津 口 裕 茂*・加 藤 輝 之**

要 旨

日本における集中豪雨の統計的な研究を行うための基礎資料を作成することを目指し、集中豪雨事例を客観的に抽出するとともに、それらの特性・特徴を把握することを目的として統計解析を行った。1995年～2009年の4月～11月の期間を対象として、集中豪雨事例を客観的に抽出する条件を定義し、386事例の集中豪雨を抽出した。抽出した事例の地域・時間特性を解析したところ、関東・東海・近畿・四国・九州地方の太平洋側で多く、7・8・9月に全体の75%以上の事例が発生していた。集中豪雨事例の特徴を見いだすために、集中豪雨をもたらす総観規模擾乱と降水系の形状に関する統計解析を行った。総観規模擾乱は、台風・熱帯低気圧（熱低）本体（32.4%）がもっとも多く、停滞前線、台風・熱低の遠隔、低気圧、寒冷前線の順であった。降水系の形状は、線状の降水系が多く、台風・熱低本体による事例を除いたもののうちの64.4%を占めていた。

1. はじめに

日本では、しばしば集中豪雨が発生する。ひとたび集中豪雨が発生すると、土砂崩れ、河川のはん濫、家屋の浸水などの甚大な災害が発生することがあり、負傷者だけでなく、最悪の場合には死者が出ることもある。このような災害を少しでも軽減し防ぐためには、防災情報の高度化や観測技術・数値予報モデル等の開発を進めていくことはもちろん必要であるが、現象のメカニズムの理解をより深めていくことも重要である。

これまで日本における集中豪雨に関する研究は数多く行われており（たとえば、Kato and Goda 2001；瀬古 2001；津口・榊原 2005；Kato and Aranami 2005；Kato 2006；Tsuguti and Kato 2014 など）、下層の高相当温位気塊の流入、潜在不安定な成層状態、

鉛直シアなどの重要性が明らかになっている。ただ、これまでの研究の多くは事例解析であり、それらの研究から得られた知見が他の多くの事例に当てはまるかどうかは十分に調べられていない。この問題点を解決するためには、集中豪雨に関する統計的な研究を行う必要がある。

一口に集中豪雨といっても、そもそも集中豪雨には気象学的に厳密な定義が存在しないこともあって、その特性・特徴については必ずしも明確にはなっていない。福井（1967, 1968, 1970）は、日降水量が各観測地点の年間降水量の10%を超えるものを豪雨と定義し、それらの時間特性や地域特性について解析している。奥田（1970）は日降水量の階級ごとに大雨日数を求め、それぞれの大雨日数の時間特性や地域特性について解析している。安田（1970）は1時間降水量50 mm以上を強雨と定義し、その時間特性や地域特性について調べている。他にも、二宮（1977）は各観測地点の10分間・1時間・1日間降水量の極値を用いてそれらの地域特性を解析し、豪雨の時間スケールと地域分布の関係について調べている。最近では、Miyajima and Fujibe（2011）が二宮（1977）を拡張した解析を行い、10分間降水量の地域特性について新たな

* (連絡責任著者) 気象研究所予報研究部, 〒305-0052 茨城県つくば市長峰1-1.

E-mail : htsuguti@mri-jma.go.jp

** 気象研究所予報研究部.

—2013年5月7日受領—

—2014年3月5日受理—

解釈を加えている。以上のように、日本における集中豪雨を統計的に取り扱った研究はいくつかあるが、それぞれの研究で集中豪雨の定義が異なっていることもあって（呼び方も豪雨、大雨、強雨など、さまざま）、集中豪雨の特性・特徴をひとまとめにすることは困難である。また、これらの先行研究は主に集中豪雨の気候学的な特性・特徴を述べるにとどまっており、集中豪雨の特性・特徴を理解する上で重要な総観規模擾乱や降水系の形状に関する解析などは十分に行われていない。一方、米国では、Schumacher and Johnson (2006) が米国で発生した集中豪雨の統計解析を行っている。24時間降水量を用いて、各観測地点での再現期間50年の降水量を超えるものを集中豪雨と定義して事例を抽出し、それらの時間・地域特性について解析している。また、それだけの解析にとどまらず、レーダーデータを用いて集中豪雨をもたらすメソ対流系システムの構造の詳細な分類を行い、それらの時間・地域特性についても調べている。

本研究では、日本における集中豪雨の統計的な研究を行うための基礎資料を作成することを目指し、集中豪雨事例を客観的に抽出するとともに、それらの特性・特徴を把握することを目的とする。まず、上述した先行研究を参考に集中豪雨事例を客観的に抽出するための条件を定義し、その条件に従って集中豪雨事例を抽出する。抽出された集中豪雨事例の地域・時間特性について調べるとともに、集中豪雨をもたらした総観規模擾乱と降水系の形状の分類を行い、それらの特徴についても解析する。

以下、第2節では本研究で用いたデータと解析方法について説明する。第3節では集中豪雨事例の客観的な抽出方法と抽出された事例の地域・時間特性について述べる。第4節では、集中豪雨をもたらす総観規模擾乱と降水系の形状の特徴について述べる。第5節で考察を行い、最終節でまとめを述べる。

2. データと解析方法

2.1 解析雨量

集中豪雨事例の抽出には、1995年～2009年（15年間）の気象庁作成の解析雨量（1時間降水量）を用いた。解析雨量は、観測網が粗いものの正確な雨量が得られる雨量計観測と精度が不十分なものの面的に細かい雨量が得られる気象レーダー観測を組み合わせることで、面的にきめ細かく正確な雨量推定値を得られるように開発されたものである（永田・辻村 2006）。

この期間、解析雨量作成の基礎アルゴリズムの大きな変更はなかったが、期間によってデータの水平格子間隔が異なっている。このため、データができるだけ均質になるようにすべての水平格子間隔を5 kmに統一した。5 km格子への変換方法については付録に示す。

2.2 総観規模擾乱の分類方法

集中豪雨をもたらす総観規模擾乱の分類は、吉崎・加藤（2007）を参考にして、以下の6種類とした。

- ① 低気圧（温暖前線を含む）：擾乱からの距離が500 km 以内
- ② 寒冷前線：擾乱からの距離が200 km 以内
- ③ 停滞前線（停滞前線付近・停滞前線の南側）：擾乱からの距離が500 km 以内
- ④ 台風・熱帯低気圧（熱低）本体：中心からの距離が500 km 以内
- ⑤ 台風・熱低の遠隔：中心からの距離が500 km 以上、1500 km 以内
- ⑥ その他（①～⑤に分類できないもの）

総観規模擾乱は、各事例において最大前3時間積算降水量を記録した直前の時刻の地上天気図から判断した。地上天気図に複数の総観規模擾乱が存在する場合には、台風・熱低本体または台風・熱低の遠隔を優先し（たとえば、台風が日本の南海上1000 km にあり、日本列島付近に停滞前線がある場合は、台風・熱低の遠隔に分類）、それ以外の総観規模擾乱についてはもっとも距離が近いものに分類し、重複は無いようにした。

2.3 降水系の形状の分類方法

集中豪雨をもたらす降水系の形状の分類は、台風・熱低本体に属さない集中豪雨事例についてのみ行った。各事例において、最大前3時間積算降水量を記録した時刻の解析雨量の水平分布をもとに、50 mm/3 h 以上の領域の長軸と短軸の比が3対1以上のものを“線状”，その条件に該当しないものを“その他”に分類した。

3. 集中豪雨事例の客観的な抽出とその地域・時間特性

3.1 集中豪雨事例の客観的な抽出

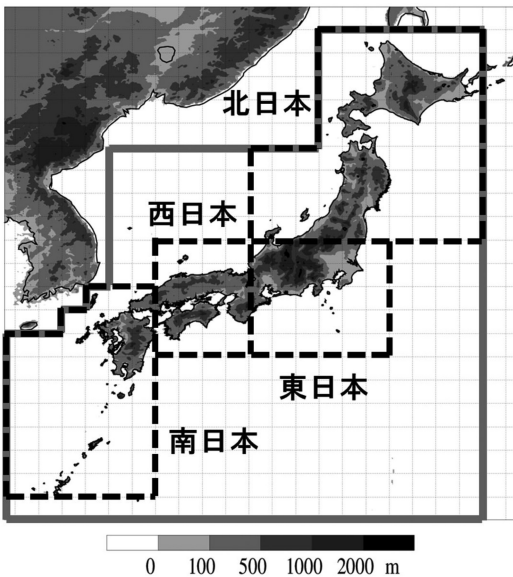
本研究では、集中豪雨の気候学的な特性・特徴を把握することを目的の一つにしていることから、降水量に関係した条件を用いることにする。『はじめに』で述べたように、集中豪雨には気候学的に厳密な定義が

存在しないことから、ここで本研究における集中豪雨の条件を定義する。日本国内で発生し、大きな災害をもたらす、いわゆる“集中豪雨”（近年であれば、2009年中国・九州北部豪雨、2011年7月新潟・福島豪雨、2012年7月九州北部豪雨 など）を想定し、そのような事例での雨の降り方を考えることにする。これまでの数多くの集中豪雨に関する事例解析（たとえば、Kato and Goda 2001；Kato and Aranami 2005；津口・榊原 2005；Tsuguti and Kato 2014 など）によれば、雨の降り方は「短時間に集中して降水が生じるとともに、総降水量でもかなりの降水量になる」ものが多い。また、空間スケールは20 km～200 km程度、時間スケールは24時間程度であることが多いことから、「メソβスケール」の現象であると考えられる。そこで本研究では、「メソβスケールの集中豪雨」をターゲットとし、そのような雨の降り方を可能な限り客観化（数値化）することで、集中豪雨事例の抽出条件を設定する。

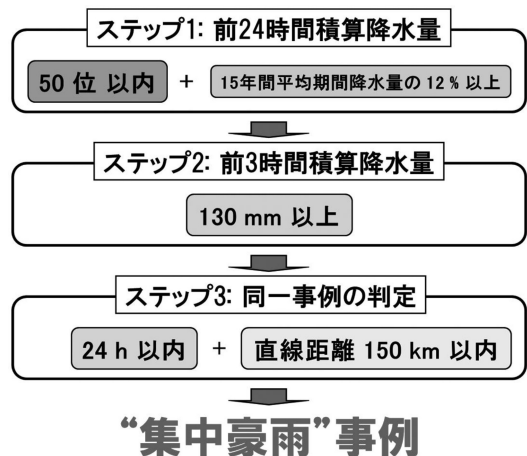
まず、事前処理について説明する。雪による事例を除くために、期間は冬季を除いた4月～11月とし、領域は日本の陸上のみ（5 km格子が11900個）とした（第1図の灰色実線枠内の陸上）。ここで「陸」は、5

km格子内において海陸比が0.5以上であることを条件とした。陸上のみを対象とするのは、海上の解析雨量の精度が陸上と比較して低いことを考慮してのことである。また、対象期間・領域において、4分の1以上の解析雨量データが欠損している格子は解析対象から除外した（42個の格子が該当）。この結果、解析対象となる格子の数は、11858個となった。総降水量としては前24時間積算降水量を、短時間降水量としては前3時間積算降水量を利用した。それぞれの積算降水量は、5 km格子に統一した解析雨量を積算することで作成した。ここで、積算時間の違いで降水量に差が出てしまうことを防ぐために、それぞれ1時間間隔のデータを作成した。

ここから、集中豪雨事例の具体的な抽出条件について説明する。まず、メソβスケールの集中豪雨事例の抽出の基本的なアルゴリズムを説明する。基本的には、各格子点における前24時間積算降水量および前3時間積算降水量がある閾値を超えるかどうかで集中豪雨事例を抽出する。当然であるが、閾値を低く設定すれば抽出される事例数は多くなり、閾値を高く設定すれば抽出される事例数は少なくなる。すなわち、閾値の設定は目的であり、主観的である。本研究では、今後、個別の事例解析が可能であり、なおかつ十分な統計解析が行えるように、目安として1年間で約20事例、解析期間内で約300事例の集中豪雨の抽出を目的とした。そのため、作業仮説としていくつかの閾値の妥当性を調べ、最終的に目的に合致した閾値を決定し



第1図 集中豪雨事例を抽出する領域（灰色実線枠内の陸上）と統計解析を行う地域区分（黒色破線枠内）。地域は、北日本、東日本、西日本、南日本の4地域に区分。陰影は標高を表す。



第2図 集中豪雨事例を抽出するステップのフローチャート。

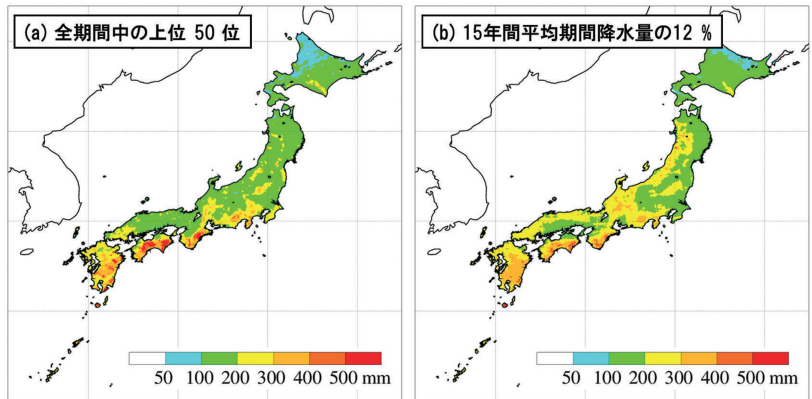
“集中豪雨”事例

た。目的によって他の閾値を採用しなければならないし、その場合には抽出される事例もその数も異なることは言うまでもない。

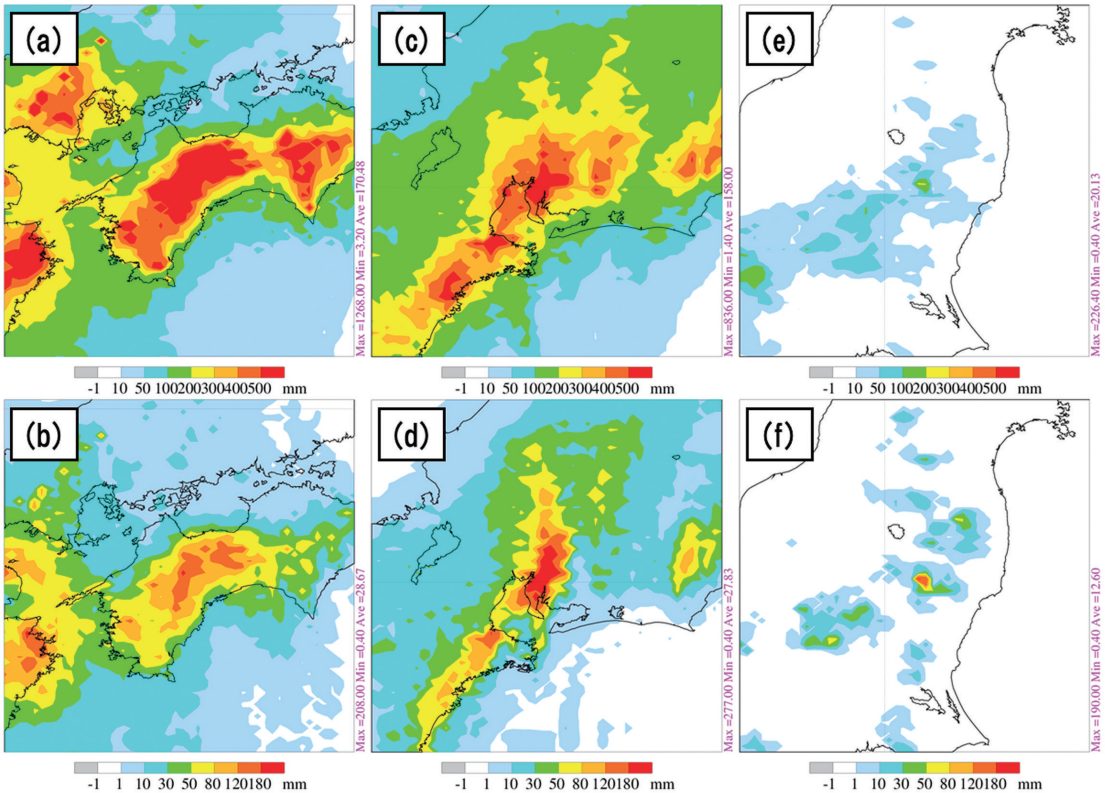
全国同一にすると、四国地方や九州地方では多くの事例が抽出されるが、北海道や東北地方ではほとんど事

集中豪雨事例の抽出は、以下の三つのステップで行った。ステップの流れを第2図のフローチャートに示す。それぞれのステップでの処理の説明と各ステップの結果について、以下に記述する。

ステップ1は、福井(1967, 1968, 1970)を参考にして、24時間降水量の水平分布に大きな地域差があることを考慮して設定した。たとえば、閾値を“500 mm/24 h”のように



第3図 集中豪雨事例抽出のステップ1 (前24時間積算降水量)の各閾値の水平分布。全期間中(1995年~2009年の4月~11月)の、(a)上位50位、(b)15年間平均期間降水量(4月~11月の総降水量の15年間平均値)の12%。



第4図 抽出された集中豪雨事例の降水分布の例。上段が前24時間積算降水量、下段が前3時間積算降水量。(a)・(b)、(c)・(d)、(e)・(f)がそれぞれ同一事例。

例が抽出されないことになってしまう。このようなことを防ぐために、統計期間中における順位（頻度）と15年間平均期間降水量に対する割合（量）で集中豪雨を定義し、各格子（各地域）に相対的な閾値（第3図）を設定した。具体的な処理は以下の通りである。

ステップ1：

5 km 格子ごとに、前24時間積算降水量の全期間中の上位50位以内かつ、15年間平均期間降水量（4月～11月の総降水量の15年間平均値）の12%を超える事例を抽出する。ただし、周囲8格子の平均値と比較して10倍以上大きな値の場合は異常値として除外する。

抽出された事例数は、上位50位以内の条件で562788、15年間平均期間降水量の12%の条件で507763、両者をもとに満たす条件によって330892であった。参考までに、異常値の除外は1326であった。

ステップ2は、3時間降水量が24時間降水量ほどは地域差が大きくないことから、閾値は全格子（全国）で同一とした。

ステップ2：

ステップ1の中で、最大前3時間積算降水量が130 mmを超える事例を抽出する。

抽出された事例数は68674であった。参考までに、閾値を120 mmとした場合は85402、閾値を150 mmとした場合は43298であった。

ステップ3は、本研究で対象とする集中豪雨の時空間スケールがメソβスケールであることから、そのような特徴を捉えられるように設定した。具体的な処理は以下の通りである。

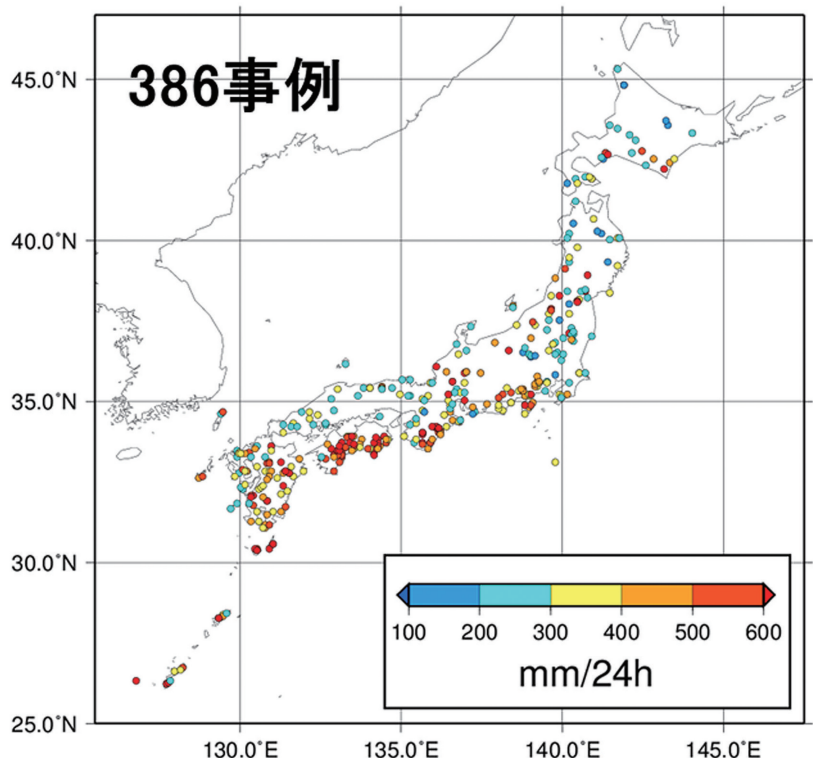
ステップ3：

ステップ2の中で、時間間隔（時間の切れ間）が24時間以内かつ、極大値を持つ格子間の直線距離が150 km以内のものを同一事例と判定する。

格子点のサーチは南西端を始点として行う。また、同一事例と判定された格子点の内、前24時間積算降水量が最大の格子点をその集中豪雨事例の代表点とする（ただし、この方法では複数の地域にまたがる事例が、どれか一つの地域で代表されることに注意が必要）。

以上の条件によって、1995年～2009年の4月～11月の期間で、386事例の集中豪雨を抽出した。ステップ3によって、各事例が含むステップ1・2を満たす格子点数（合計で68674個）は、最大の事例で3359個、最小の事例で1個であった。これらの特徴については、後の項で触れる。参考までに、ステップ3の条件を「12時間以内+100 km以内」とした場合、抽出される集中豪雨は458事例であった。

ステップ1・2・3によって抽出された集中豪雨事例の実例として、前24・3時間積算降水量の分布を第4図に示す。広域に広がる集中豪雨（第4図a・b）、線状に広がる集中豪雨（第4図c・d）、狭域の集中豪雨（第4図e・f）などがみられる。また、抽出され



第5図 抽出された集中豪雨事例の分布。各点は、各集中豪雨事例における最大前24時間積算降水量の点を示す。陰影は前24時間積算降水量を表す。

た集中豪雨事例を逐一確認すると、1998年8月の新潟豪雨 (Kato and Goda 2001)、1999年10月の佐原豪雨 (金井 2002)、2000年9月の東海豪雨 (北島 2002; 森岩ほか 2004)、2001年10月の佐原・鹿嶋豪雨 (津口・榊原 2005)、2004年7月の新潟・福島豪雨と福井豪雨 (Kato and Aranami 2005)、2009年7月の中国・九州北部豪雨 (加藤 2009) といった顕著な集中豪雨事例が含まれていた。このことは、この抽出方法によって、本研究で想定している集中豪雨事例をうまく抽出できたことを示している。

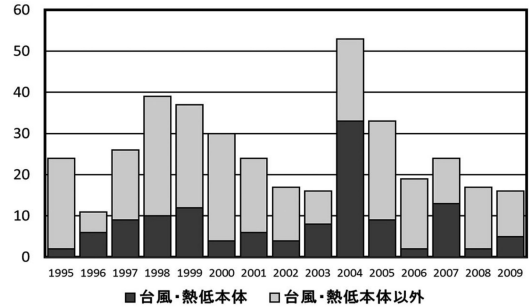
3.2 集中豪雨事例の地域特性

抽出された集中豪雨事例の分布を第5図に示す。地図上の各点は、各事例の中で最大前24時間積算降水量を記録した点を示す。抽出された集中豪雨事例の分布をみると、一般的に集中豪雨の多発地域と認識されている関東・東海・近畿・四国・九州地方の太平洋側で事例数が多くなっていることがわかる。一方で、北海道や東北地方でもある程度の事例数が抽出されている。また、第1図に示した日本列島の標高と比較すると、山岳の斜面地域で事例数が多くなっているようにみえる。各地域の降水量をみると、四国・九州地方では600 mm/24 hを超える事例が数多くみられるが、北海道、東北・山陰地方では300 mm/24 h以下の事例が多くみられる。

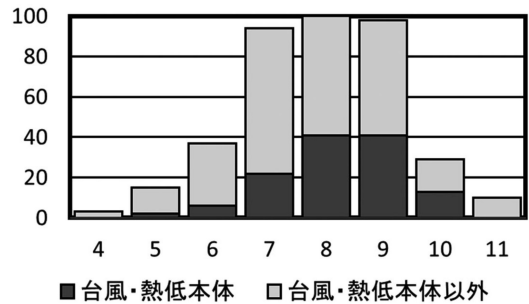
3.3 集中豪雨事例の時間特性

第6図に年別の集中豪雨事例数を示す。15年間で386事例であることから、1年あたりの平均事例数は25.7事例である。事例数をもっとも多いのは2004年(53事例)であり、次いで多いのは1998年(39事例)、もっとも少ないのは1996年(11事例)である。台風・熱低本体による事例数では、2004年(33事例)が他の年と比較して圧倒的に多い。気象庁の統計によると、2004年に日本に上陸した台風は合計10個(6月~10月)であり、1995年~2009年の期間内ではもっとも多かった。一方、台風・熱低本体以外的事例数では、1998年(29事例)がもっとも多く、新潟、栃木・福島、高知での集中豪雨(気象庁 2000)などが発生した年である。

第7図に月別の集中豪雨事例数を示す。事例数は8月(100事例)が最多であり、次いで9月(98事例)、7月(94事例)の順で、7・8・9月の3か月で全体の75%以上を占めている。その中で、台風・熱低本体による事例数は8・9月がともに41でもっとも多く、次いで7月が22となっている。一方、台風・熱低本体



第6図 年別の集中豪雨事例数。横軸は年、縦軸は集中豪雨事例数を示す。濃い陰影は台風・熱低本体、薄い陰影は台風・熱低本体以外の総観規模擾乱による集中豪雨事例数を表す。

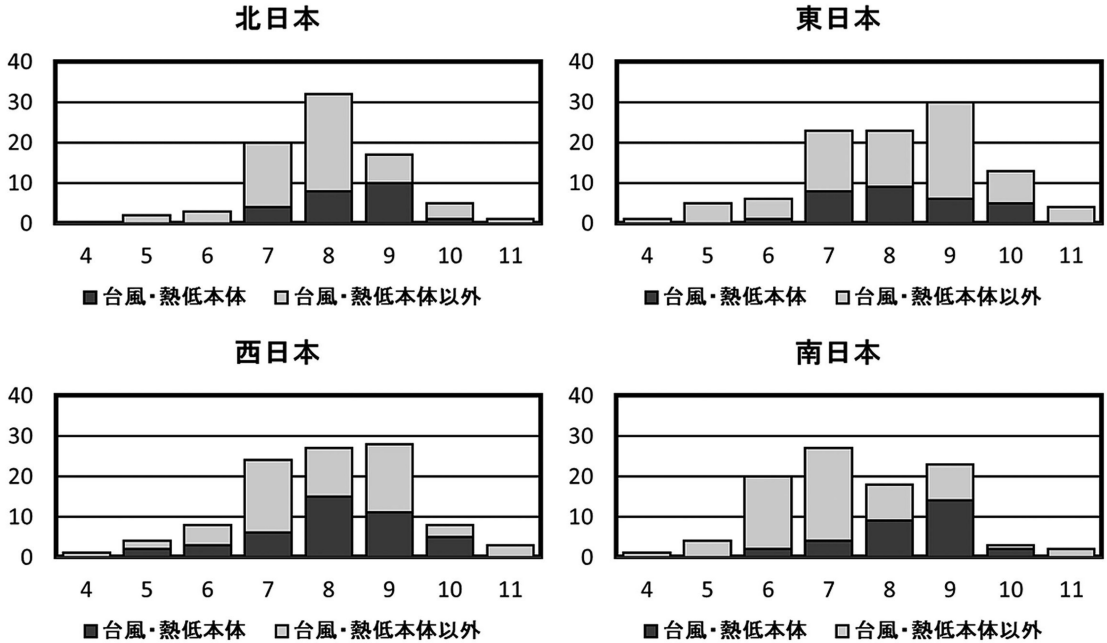


第7図 月別の集中豪雨事例数。横軸は月、縦軸は集中豪雨事例数を示す。濃い陰影は台風・熱低本体、薄い陰影は台風・熱低本体以外の総観規模擾乱による集中豪雨事例数を表す。

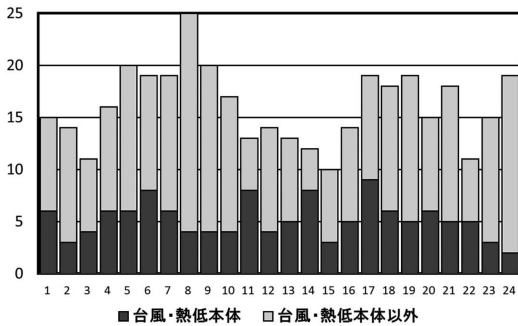
以外的事例数では、梅雨期後半にあたる7月が72でもっとも多い。

第8図に地域別でみた月別の集中豪雨事例数を示す。地域区分は第1図に示す通りである。台風・熱低本体による事例数では、どの地域も7・8・9月に多くなっており、全体での月別の事例数(第7図)とほぼ同じ特徴を示している。一方、台風・熱低本体以外的事例数をみると、北日本は8月(24事例)、東日本は9月(24事例)、西日本は7月(18事例)、南日本は7月(23事例)がもっとも多くなっている。

第9図に時刻別の集中豪雨事例数を示す。その時刻は、各事例において最大前24時間積算降水量を記録した格子における最大前3時間積算降水量を記録した時刻とした。ピークの時間帯は、早朝~朝(04時~10時)であり、2番目のピークは夕方~夜間にみられる。つまり、集中豪雨は朝夜に多く、相対的に昼間に



第8図 地域別（北日本，東日本，西日本，南日本）でみた月別の集中豪雨事例数。横軸は月，縦軸は集中豪雨事例数を示す。濃い陰影は台風・熱低本体，薄い陰影は台風・熱低本体以外の総観規模擾乱による集中豪雨事例数を表す。



第9図 時刻別の集中豪雨事例数。横軸は時刻，縦軸は集中豪雨事例数を示す。濃い陰影は台風・熱低本体，薄い陰影は台風・熱低本体以外の総観規模擾乱による集中豪雨事例数を表す。

少ないという特徴がみられる。その特徴は台風・熱低本体以外の事例数で顕著であり，台風・熱低本体による事例数には時刻別に大きな違いはみられない。このように集中豪雨が朝夜に多いことは，安田（1970）や Schumacher and Johnson（2006）でも述べられており，集中豪雨の一般的な特徴であるように思われる。

また，栗原・加藤（1997）は，降水強度が強いほど降水の日変化が大きいことを示している。その要因やメカニズムはたいへん興味深い，本論文の範疇を超えるものになるので，これ以上は述べないこととする。

4. 集中豪雨事例の特徴に関する統計解析

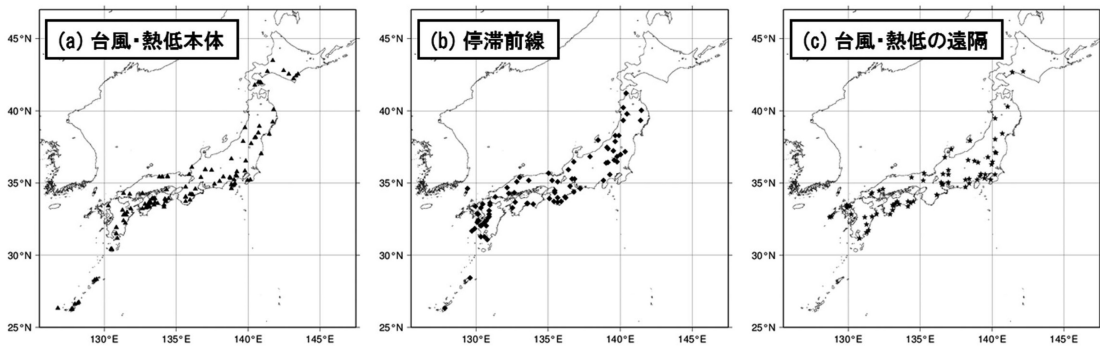
4.1 集中豪雨をもたらす総観規模擾乱

この項では，集中豪雨をもたらす総観規模擾乱の分類結果について述べる。第1表に地域別でみた総観規模擾乱別の集中豪雨事例数を示す。全体で見ると，台風・熱低本体（125事例；32.4%）がもっとも多く，停滞前線（82事例；21.2%），台風・熱低の遠隔（69事例；17.9%），低気圧（55事例；14.2%），寒冷前線（30事例；7.8%）の順となっている。地域別で見ると，すべての地域で台風・熱低本体がもっとも多い。次いで多いのは，北日本では低気圧（14事例）と停滞前線（14事例），東日本では台風・熱低の遠隔（27事例），西日本では停滞前線（21事例），南日本では停滞前線（29事例）となっている。

第10図に総観規模擾乱別の集中豪雨事例の分布を示す。地図上の各点は，各事例の中で最大前24時間積算

第1表 地域別（北日本，東日本，西日本，南日本）でみた総観規模擾乱別の集中豪雨事例数。

	北日本	東日本	西日本	南日本	合計
低気圧	14	19	15	7	55 (14.2%)
寒冷前線	6	8	4	12	30 (7.8%)
停滞前線	14	18	21	29	82 (21.2%)
台風・熱低本体	23	29	42	31	125 (32.4%)
台風・熱低の遠隔	10	27	16	16	69 (17.9%)
その他	13	4	5	3	25 (6.5%)
	80	105	103	98	386

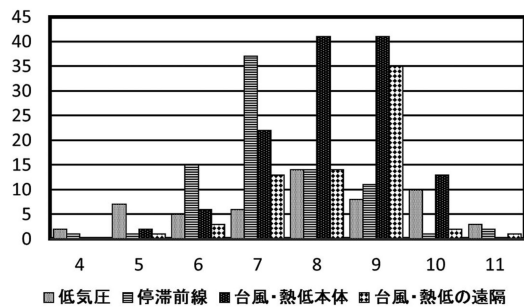


第10図 総観規模擾乱別の集中豪雨事例の分布。(a) 台風・熱低本体，(b) 停滞前線，(c) 台風・熱低の遠隔。各点は、各集中豪雨事例における最大前24時間積算降水量の点を示す。

降水量を記録した点を示す。事例数が多かった台風・熱低本体，停滞前線，台風・熱低の遠隔についてのみ示す。台風・熱低本体では，紀伊半島の南東側，四国地方の東側・南側，九州地方の東側で特に事例数が多い。停滞前線では，紀伊半島の南東側と九州地方の北側・西側で多く，台風・熱低本体と比較すると日本海側での事例数が多くなっている。台風・熱低本体と停滞前線による集中豪雨事例の分布は，福井（1970），奥田（1970），二宮（1977）で示された特徴とよく一致している。台風・熱低の遠隔では，太平洋側で事例数が多く，台風・熱低本体の分布と類似しているようにみえるが，伊勢湾周辺，紀伊半島の南東側，九州地方の西側などで相違がみられる。

第11図に月別でみた総観規模擾乱別の集中豪雨事例数を示す。なお，事例数の少ない寒冷前線とその他は省略してある。第3節で述べたように，8・9月は台風・熱低本体（41事例）がもっとも多い。それ以外の特徴としては，7月は停滞前線（37事例）が多く，9月は台風・熱低の遠隔（35事例）が多くなっている。

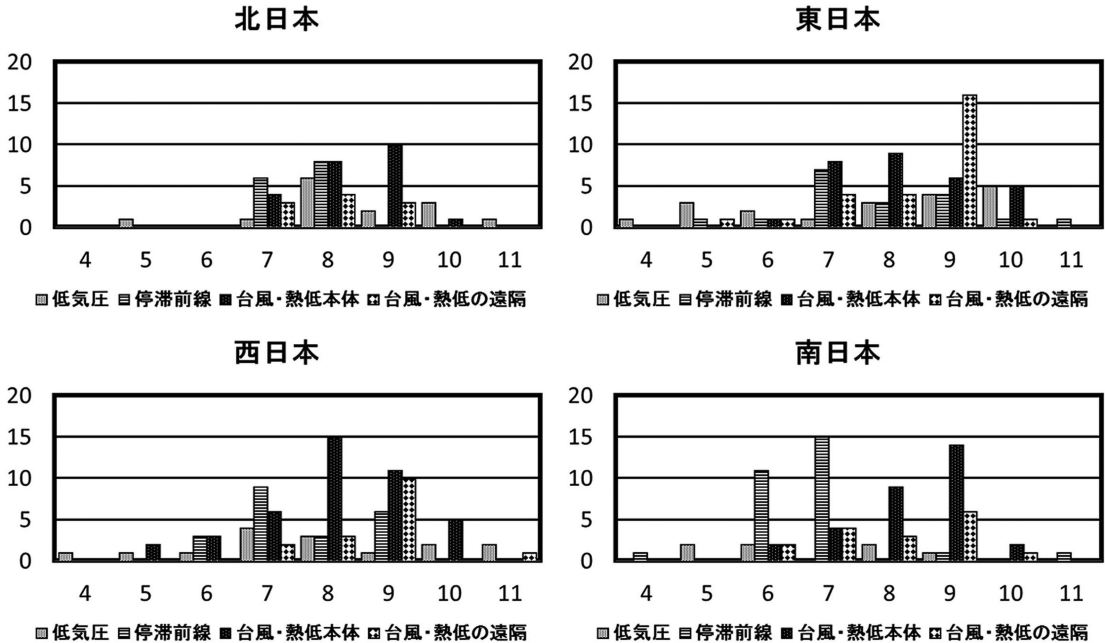
第12図に地域別および月別でみた総観規模擾乱別の集中豪雨事例数を示す。台風・熱低本体以外の擾乱を



第11図 月別でみた総観規模擾乱別の集中豪雨事例数。横軸は月，縦軸は集中豪雨事例数を示す。グラフはそれぞれ，低気圧，停滞前線，台風・熱低本体，台風・熱低の遠隔を表す。

みると，特に東日本の9月に台風・熱低の遠隔（16事例），南日本の6・7月に停滞前線（26事例）が多くなられる。

この項の最後に，総観規模擾乱別にみた集中豪雨事例の面的な広がり（ステップ3の処理によって各事例が含むステップ1・2を満たす格子点数）について述べる。それぞれの総観規模擾乱での集中豪雨事例が含

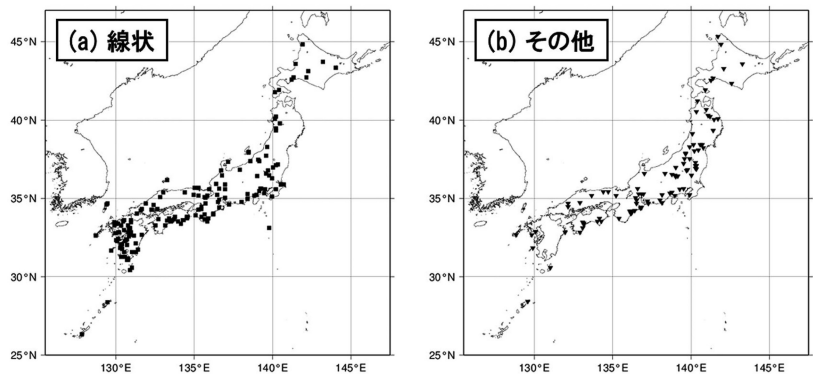


第12図 地域別(北日本, 東日本, 西日本, 南日本)および月別でみた総観規模擾乱別の集中豪雨事例数。横軸は月, 縦軸は集中豪雨事例数を示す。グラフはそれぞれ, 低気圧, 停滞前線, 台風・熱低本体, 台風・熱低の遠隔を表す。

む格子点数の平均は, 低気圧が124.7個, 寒冷前線が68.1個, 停滞前線が169.1個, 台風・熱低の本体が255.2個, 台風・熱低の遠隔が190.3個, その他が35.1個であった。この結果から, 台風・熱低本体による集中豪雨は, それ以外の擾乱による集中豪雨よりも広域にわたる特徴があることがわかる。反対に, 寒冷前線による集中豪雨は, それ以外の擾乱による集中豪雨よりも狭域で発生することがわかる。

4.2 集中豪雨をもたらす降水系の形状

集中豪雨をもたらす降水系の形状としては, 線状のものが圧倒的に多いと言わ



第13図 降水系の形状別の集中豪雨事例の分布。(a)線状, (b)その他。各点は, 各集中豪雨事例における最大前24時間積算降水量の点を示す。

第2表 地域別(北日本, 東日本, 西日本, 南日本)でみた降水系の形状別の集中豪雨事例数。

	北日本	東日本	西日本	南日本	合計
線状	25	38	45	60	168 (64.4%)
その他	32	38	16	7	93 (35.6%)
	57	76	61	67	261

れている（小倉 1991；吉崎・加藤 2007）が、これまでに統計的に調べられたことはない。この項では、集中豪雨をもたらす降水系の形状の分類を行った結果について述べる。なお、第2.3項で述べたように台風・熱低本体による事例は除いて解析した。

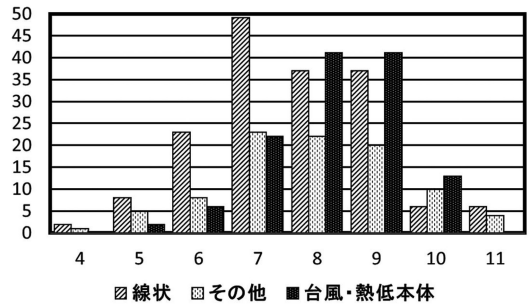
第2表に地域別でみた降水系の形状別の集中豪雨事例数を示す。全体では線状の降水系による集中豪雨の事例数は168であり、261事例中の64.4%を占めている。この結果から、線状の降水系による集中豪雨が「圧倒的に多い」とまでは言えないが、その割合は高く、先行研究を裏づけるものであると言える。地域別にみると、北日本・東日本では線状とその他の数に大きな差はないが、西日本・南日本では線状の割合が高くなっていることがわかる。

第13図に降水系の形状別の集中豪雨事例の分布を示す。地図上の各点は、各事例の中で最大前24時間積算降水量を記録した点を示す。線状とその他の分布を比較すると、線状は近畿・四国・九州地方を含む西日本と南日本で多く、その他は北日本と東日本で多くなっていることがわかる。

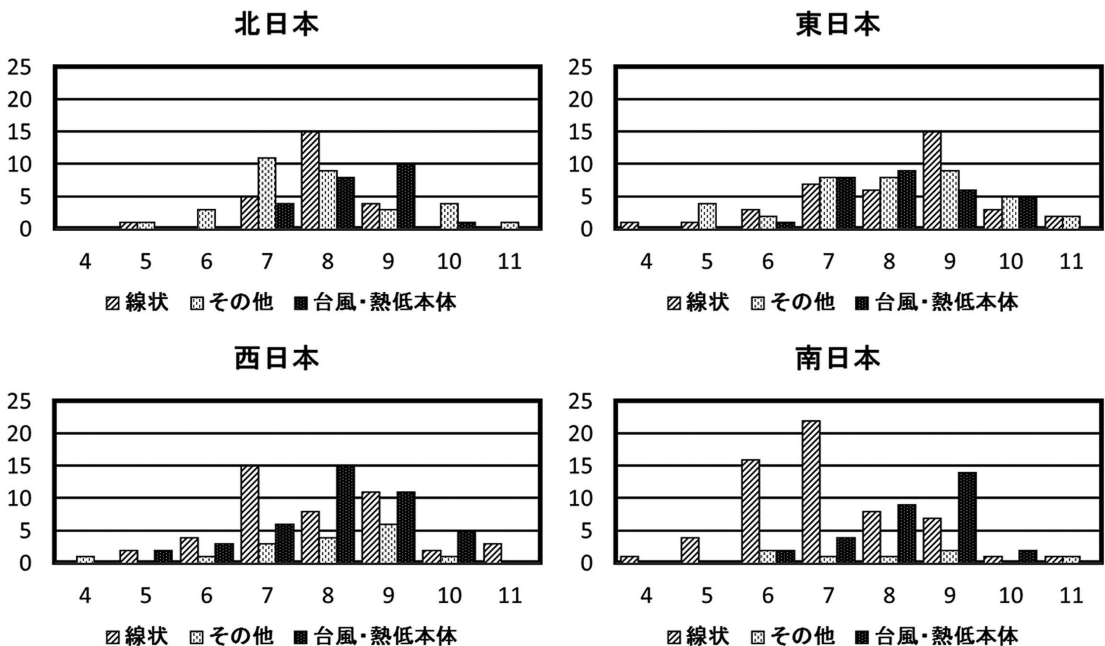
第14図に月別でみた降水系の形状別の集中豪雨事例数を示す。線状では7月（49事例）がもっとも多く、

次いで8・9月（37事例）となっている。これらを地域別でみると（第15図）、特に南日本の6・7月（38事例）が他の月や他の地域と比較して多いことがわかる。また、北日本の8月（15事例）、東日本の9月（15事例）、西日本の7月（15事例）にも線状が多くみられる。

この項の最後に、降水系の形状別にみた集中豪雨事例の面的な広がり（ステップ3の処理によって各事例



第14図 月別でみた降水系の形状別の集中豪雨事例数。横軸は月、縦軸は集中豪雨事例数を示す。グラフはそれぞれ、線状、その他、台風・熱低本体を表す。



第15図 地域別（北日本、東日本、西日本、南日本）および月別でみた降水系の形状別の集中豪雨事例数。横軸は月、縦軸は集中豪雨事例数を示す。グラフはそれぞれ、線状、その他、台風・熱低本体を表す。

が含むステップ1・2を満たす格子点数)について述べる。集中豪雨事例が含む格子点数の平均は、線状が180.2個、その他が69.9個であった。このことから、線状の降水系による集中豪雨の方が、その他と比較して広域にわたる特徴がある。

第3表 総観規模擾乱別-降水系の形状別の集中豪雨事例数。

擾乱の分類		降水系の形状の分類		
		線状	その他	台風・熱低
低気圧	55	33	22	
寒冷前線	30	18	12	
停滞前線	82	62	20	
台風・熱低	本体	125		125
	遠隔	69	45	24
その他	25	10	15	
	386	168	93	125

5. 考察

この節では、総観規模擾乱別に集中豪雨事例を分類した中で、事例数が多かった台風・熱低本体(32.4%)、停滞前線(21.2%)、台風・熱低の遠隔(17.9%)での集中豪雨について、考察を加える。

5.1 台風・熱低本体

台風・熱低本体による集中豪雨事例は、台風・熱低本体が日本列島に接近・上陸する頻度が高い8・9月(1995年~2009年の期間で、接近:8月43個,9月47個;上陸:8月9個,9月13個)に多かった。特に西日本と南日本で多く、第10図aに示すように紀伊半島の南東側、四国地方の東側・南側、九州地方の東側など、海岸に近い東向きの山岳斜面で多くみられた。これらの特徴は、福井(1970)、奥田(1970)、二宮(1977)で言及されており、そのメカニズムは以下のように考えられる。

- ✓ 台風・熱低本体接近時の持続する東寄りの風により、大気下層に暖湿気塊が供給される。
- ✓ その暖湿気塊が東向きの山岳斜面により強制上昇し、降水をもたらす雲が発生・発達する。
- ✓ そのような状況が持続することで、集中豪雨となる。

ただ、台風・熱低本体の集中豪雨といっても、台風・熱低の強さや大きさ、進行速度や進行経路、周囲の気圧配置等により集中豪雨の形態はかなり異なり、上記のメカニズム以外にも重要な要因があると考えられる。今後、詳細な事例解析を行うとともに、多数の事例に基づく統計的な解析を行う必要がある。

5.2 停滞前線

停滞前線による集中豪雨事例は、梅雨期にあたる6・7月に多く、地域別でみると南日本、特に九州地方で多くみられた(第10・12図)。同様の特徴は、線状の降水系の分布にもみられた(第13・15図)。第3表

に、総観規模擾乱別でみた降水系の形状別の集中豪雨事例数を示す。これをみると、線状の降水系による集中豪雨事例は特に停滞前線に伴うものが多い。以上のように、停滞前線に伴う集中豪雨は梅雨期の九州地方で発生することが多く、それらは線状の降水系によってもたらされることが多いことがわかる。

梅雨期に九州で発生する集中豪雨に関しては、これまで数多くの研究が行われており、総合報告として二宮(1979)、吉崎ほか(2005)がある。これらの研究からさまざまな特徴が明らかになっているが、多くの事例で共通してみられる特徴として、南西風による東シナ海付近からの暖湿気塊の供給がある。また、停滞前線は他の擾乱と比較すると移動が小さいことから、同じような環境場が持続しやすいと考えられる。これらの条件がそろい、地形の影響などにより下層の暖湿気塊が自由対流高度まで持ち上げられれば、ほぼ同じ場所で積乱雲が発生・発達することができ、結果として線状の降水系が形成されて集中豪雨をもたらされると考えられる。Kato(2005)は、6・7月を対象に九州における線状降水系(長崎ライン・甕島ライン)に関する統計解析を行い、下層の風向風速による線状の降水系の出現特性について解析を行っている。その中で、南西風が長時間持続することで線状の降水系が形成・維持できることを示している。この結果は、本研究と整合的である。

5.3 台風・熱低の遠隔

台風・熱低の遠隔での集中豪雨事例は、台風期にあたる9月に多く、地域別でみると東日本で多くみられた(第12図)。Wang *et al.*(2009)は、2004年の台風第18号(Songda)の遠隔で発生した大雨の解析を行い、数値実験の結果から台風の循環による日本列島付近への水蒸気の供給が重要であることを示している。また、季節と地域は異なるが、Yoshida and Itoh

(2012) は台風の間接的な影響による水蒸気の供給の重要性について指摘している。このように、台風・熱低の遠隔で発生する集中豪雨では、台風・熱低の影響による大気下層への水蒸気の供給が重要な要因であることがわかっている。しかし、8・9月で日本列島への台風の接近・上陸数に大きな差は無いにもかかわらず、台風・熱低の遠隔での集中豪雨事例数には大きな差がある(東日本では、その差は12事例)。この差については、水蒸気の供給だけでは説明が難しい。

台風・熱低の遠隔で発生した集中豪雨事例としては、2000年9月に発生した東海豪雨(北島 2002; 森岩ほか 2004)と2005年9月に発生した首都圏豪雨(Kawabata *et al.* 2011)がある。このときの地上天気図にみられた特徴としては、日本の南海上に台風本体が存在していることはもちろんであるが、両事例とも日本列島上に停滞前線が解析されていた。本統計解析では、東日本における9月の台風・熱低の遠隔での集中豪雨は16事例あったが、その内の12事例では日本列島上に停滞・寒冷前線が解析されていた。北島(2002)は、東海豪雨時の総観場の解析から、地上付近の傾圧帯の存在の重要性について指摘している。これらから、台風・熱低の遠隔で集中豪雨が発生する場合には、前線(傾圧帯)の存在も重要であると考えられる。また、Ninomiya (2013)は、台風の遠隔で発生した1965年9月の岐阜・福井県の大雨の解析から、中層の弱い短波長のトラフの影響が重要であることを指摘している。台風の遠隔で発生する集中豪雨に関しては、下層だけでなく、中層の擾乱にも着目する必要があるが、本研究では解析できていない。

米国では、台風・熱低の遠隔で発生する集中豪雨を“Predecessor Rain Event (PRE)” (Cote 2007) と呼び、現在、活発に研究が行われている。Galarneau *et al.* (2010)は、PREに関する統計解析と2007年のハリケーン Erin に伴う PRE の事例解析を行い、大気下層の水蒸気の供給だけでなく、下層の傾圧帯の存在や上層のジェットストリークとの位置関係も重要な要因であることを示している。日本で発生する台風・熱低の遠隔での集中豪雨事例のすべてが PRE に当てはまるかどうかは明らかではないが、共通の特徴があるのかもしれない。

6. まとめ

本研究では、日本における集中豪雨の統計的な研究を行うための基礎資料を作成することを目指して、集

中豪雨事例を客観的に抽出するとともに、それらの特性・特徴に関する統計解析を行った。解析から得られた結果を、以下にまとめる。

- ① 集中豪雨事例を客観的に抽出するために集中豪雨の抽出条件を定義した。その条件から、1995年～2009年の4月～11月の期間で386事例の集中豪雨を抽出した。
- ② 集中豪雨事例は、関東・東海・近畿・四国・九州地方の太平洋側で多かった。
- ③ 抽出された集中豪雨事例の時間特性は、以下の通りである。
 - 年別でみると、集中豪雨事例は、1995年～2009年の期間では多数の台風・熱低が日本列島に上陸・接近した2004年にもっとも多かった。
 - 月別でみると、集中豪雨事例は7・8・9月に多く、全体の75%以上を占めていた。
 - 時刻別でみると、集中豪雨事例は相対的に昼間に少なく、朝夜に多かった。
- ④ 総観規模擾乱別に分類した集中豪雨事例の特徴は、以下の通りである。
 - 集中豪雨をもたらす総観規模擾乱は、台風・熱低本体(32.4%)がもっとも多く、停滞前線(21.2%)、台風・熱低の遠隔(17.9%)、低気圧(14.2%)、寒冷前線(7.8%)の順であった。
 - 台風・熱低本体による事例は、紀伊半島の南東側、四国地方の東側・南側、九州地方の東側で多かった。
 - 停滞前線による事例は、紀伊半島の南東側と九州地方の北側・西側で多く、台風・熱低本体と比較すると日本海側で多くみられた。
 - 台風・熱低の遠隔での事例の分布は、太平洋側で多く、台風・熱低本体の分布と類似しているようにみえるが、伊勢湾周辺、紀伊半島の南東側、九州地方の西側などで相違がみられた。
 - 東日本の9月に台風・熱低の遠隔、南日本の6・7月に停滞前線が多いという特徴がみられた。
 - 台風・熱低本体による集中豪雨は、それ以外の擾乱による集中豪雨と比較して広域にわたる。反対に、寒冷前線による集中豪雨は狭域で発生する。
- ⑤ 台風・熱低本体による事例を除いた降水系の形状別に分類した集中豪雨事例の特徴は、以下の通りである。
 - 線状の降水系による集中豪雨事例は台風・熱低本体による事例を除いたもののうちの64.4%を占め

ていた。

- 線状の降水系による集中豪雨は、特に南日本の6・7月（梅雨期）に多いという特徴がみられた。
- 線状の降水系による集中豪雨は、その他のものよりも広域にわたる。

本解析では、総観規模擾乱の分類は旧来の分類を踏襲しており、重層的（複合的）な環境場の分類ができていない。また、降水系の形状の分類については線状とその他の2種類だけであり、多種多様な降水系の形状についてはわかっていない。さらに、降水系の時間的変化や継続時間などの特徴についても調べることができていない。これらについては、今後の課題であると考えている。

今後、本解析の資料を基に、集中豪雨が発生する総観スケールの環境場や降水系のメソスケール的な特徴についての統計解析を進めていく予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、金田幸恵博士（名古屋大学）と廣川康隆さん（仙台管区気象台）には多くの議論をして頂き、数多くの有益なコメントを頂きました。宮城仁史さん（気象庁予報部予報課）には、解析雨量について教えて頂きました。気象研究所のみなさんには、多くの貴重なご意見を頂きました。また、気象庁の多くの職員のみなさんには、研修での講義や講演の際に示唆に富んだ質問・意見を数多く頂きました。以上の方々に深く感謝します。

最後に、有益なコメントをくださった2名の査読

者、担当編集委員の柳瀬 亘博士にお礼申し上げます。

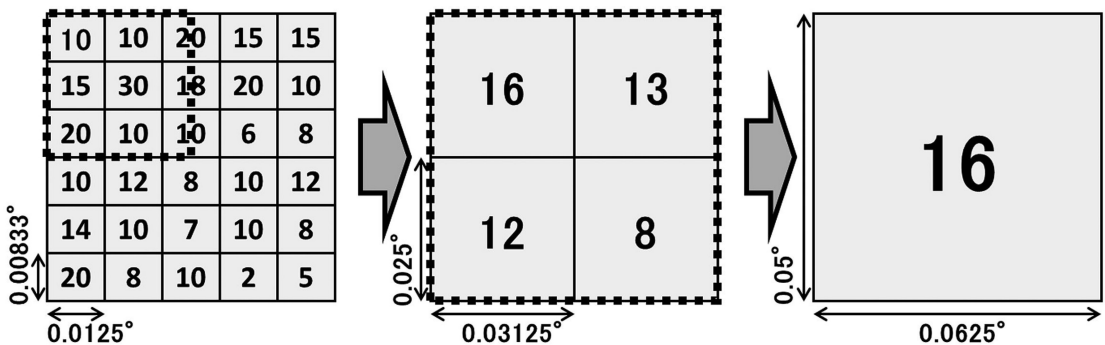
付 録

解析雨量は期間によってデータの水平格子間隔が異なるため、データができるだけ均質になるようにすべの水平格子間隔を5 km に統一した。5 km 格子への変換は Urita *et al.* (2011) の method III と同様の方法であり、以下の手順で行った。

- (ア) 1995年 1 月～2001年 3 月：5 km 格子 データ（緯度：0.05°，経度：0.0625°）のまま利用
- (イ) 2001年 4 月～2006年 2 月：2.5 km 格子 データ（緯度：0.025°，経度：0.03125°）→ 5 km 格子内最大値
- (ウ) 2006年 3 月～：1 km 格子 データ（緯度：0.00833°，経度：0.0125°）→ 2.5 km 格子内平均値 → 5 km 格子内最大値

ここで、括弧内は各格子データが定義されている緯度・経度間隔を示す。

まず、1 km 格子から2.5 km 格子への変換方法を説明する。第 A1 図に示すように、2.5 km 格子には 1 km 格子が単独格子で6個、半分の格子で3個含まれている。2.5 km 格子のデータは 1 km 格子のデータを平均して作成するので、単独格子の重みを2、半分の格子の重みを1として計算する。図に示した例では、以下のような計算を行うことで、2.5 km 格子の解析雨量は16 mm となる。



(a) 1 km 格子 (b) 2.5 km 格子 (c) 5 km 格子

第 A1 図 解析雨量の 5 km 格子への変換の模式図。(a) 1 km 格子，(b) 2.5 km 格子，(c) 5 km 格子をそれぞれ示す。

$$(10 \times 2 + 15 \times 2 + 20 \times 2 + 10 \times 2 + 30 \times 2 + 10 \times 2 + 20 + 18 + 10) \div 15 = 16$$

次に、2.5 km 格子から 5 km 格子への変換方法を説明する。図に示すように、5 km 格子には 4 個の 2.5 km 格子が含まれている。これら 4 個の格子の中で、最大のものを 5 km 格子のデータとする。図に示した例では、5 km 格子の解析雨量は 16 mm となる。

参考文献

- Cote, M. R., 2007: Predecessor rain events in advance of tropical cyclones. M. S. thesis, Department of Atmospheric and Environmental Sciences, University at Albany, State University of New York, Albany, NY, 198pp.
- 福井英一郎, 1967: 日本における集中豪雨の研究 —九州と北海道の場合—. 東京教育大学地理学研究報告, **11**, 83-95.
- 福井英一郎, 1968: 日本の豪雨. 東京教育大学地理学研究報告, **12**, 1-18.
- 福井英一郎, 1970: 日本における豪雨の分布. 地理学評論, **43**, 581-593.
- Galarneau, T. J., Jr., L. F. Bosart and R. S. Schumacher, 2010: Predecessor rain events ahead of tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 3272-3297.
- 金井秀元, 2002: 集中豪雨をもたらす温帯低気圧とそのメソスケール構造に関する研究. 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻修士論文, 73pp.
- Kato, T., 2005: Statistical study of band-shaped rainfall systems, the Koshikijima and Nagasaki lines, observed around Kyushu Island, Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **83**, 943-957.
- Kato, T., 2006: Structure of the band-shaped precipitation system inducing the heavy rainfall observed over northern Kyushu, Japan on 29 June 1999. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 129-153.
- 加藤輝之, 2009: 平成21年7月中国・九州北部豪雨および8月8～10日四国・岡山・兵庫での豪雨の発生要因. 日本気象学会2009年度秋季大会講演予稿集, (96), B307.
- Kato, T. and K. Aranami, 2005: Formation factors of 2004 Niigata-Fukushima and Fukui heavy rainfalls and problems in the predictions using a cloud-resolving model. *SOLA*, **1**, 1-4.
- Kato, T. and H. Goda, 2001: Formation and maintenance processes of a stationary band-shaped heavy rainfall observed in Niigata on 4 August 1998. *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 899-924.
- Kawabata, T., T. Kuroda, H. Seko and K. Saito, 2011: A cloud-resolving 4DVAR assimilation experiment for a local heavy rainfall event in the Tokyo metropolitan area. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 1911-1931.
- 気象庁, 2000: 平成10年新潟, 栃木・福島, 高知の豪雨調査報告. 気象庁技術報告, (121), 170pp.
- 北島尚子, 2002: 2000年9月11-12日の東海地方の豪雨に対する対流不安定と前線強化に伴う循環の役割. 気象研究所研究報告, **53**, 91-108.
- 栗原和夫, 加藤輝之, 1997: 九州の梅雨期における降雨の日変化の特徴. *天気*, **44**, 631-636.
- Miyajima, J. and F. Fujibe, 2011: Climatology of extreme precipitation in Japan for different time scales. *SOLA*, **7**, 157-160.
- 森岩 聡, 渡辺真二, 窪田邦晃, 中條屋 博, 辻川才太, 木下信好, 2004: 2000年9月11日～12日の東海豪雨時における愛知県西部周辺の強雨について. 気象庁研究時報, **56**, 55-69.
- 永田和彦, 辻村 豊, 2006: 解析雨量及び降水短時間予報の特性と利用上の注意点. 平成18年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 9-24.
- 二宮洸三, 1977: 豪雨の時間スケールからみた降水強度極値の地理的分布. *天気*, **24**, 63-70.
- 二宮洸三, 1979: 梅雨前線帯の豪雨. 気象研究ノート, (138), 277pp.
- Ninomiya, K., 2013: Influence of a distantly located typhoon, a weak westerly trough and orography on the intense rainfall on 14-15 September 1965 over Gifu and Fukui prefecture of Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **91**, 489-506.
- 小倉義光, 1991: 集中豪雨の解析とメカニズム. *天気*, **38**, 276-288.
- 奥田 穰, 1970: 日本における大雨の気候学的研究. 気象研究所研究報告, **21**, 323-379.
- Schumacher, R. S. and R. H. Johnson, 2006: Characteristics of U.S. extreme rain events during 1999-2003. *Wea. Forecasting*, **21**, 69-85.
- 瀬古 弘, 2001: 中緯度のメソβスケール線状降水系の形態と維持機構に関する研究. 東京大学理学研究科地球惑星科学専攻博士論文, 136pp.
- Tsuguti, H. and T. Kato, 2014: Contributing factors of the heavy rainfall event at Amami-Oshima Island, Japan, on 20 October 2010. *J. Meteor. Soc. Japan*, **92**, 163-183.
- 津口裕茂, 榎原 均, 2005: 2001年10月10日佐原・鹿嶋に豪雨をもたらしたレインバンドの構造と維持機構. *天気*, **52**, 25-39.
- Urita, S., H. Saito and H. Matsuyama, 2011: Temporal and spatial discontinuity of Radar/Raingauge-Analyzed Precipitation that appeared in relation to the

- modification of its spatial resolution. *Hydrol. Res. Lett.*, **5**, 37-41.
- 安田清美, 1970: 日本における強雨 (50 mm/hr 以上) の気候学的特性. *天気*, **17**, 539-548.
- 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.
- 吉崎正憲, 加藤輝之, 2007: 豪雨・豪雪の気象学. 朝倉書店, 187pp.
- 吉崎正憲, 村上正隆, 加藤輝之, 2005: メソ対流系. 気象研究ノート, (208), 386pp.
- Wang, Y., Y. Wang and H. Fudeyasu, 2009: The role of Typhoon Songda (2004) in producing distantly located heavy rainfall in Japan. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 3699-3716.

Objective Extraction of Heavy Rainfall Events and Statistical Analysis on their Characteristic Features

Hiroshige TSUGUTI* and Teruyuki KATO**

* (Corresponding author) Forecast Research Department, Meteorological Research Institute, 1-1, Nagamine, Tsukuba-city, Ibaraki, 305-0052, Japan.

E-mail: htsuguti@mri-jma.go.jp

** Forecast Research Department, Meteorological Research Institute.

(Received 7 May 2013; Accepted 5 March 2014)
