

四国における停滞性の線状降水帯の統計的抽出

鵜 沼 昂*・村 田 文 絵**

要 旨

2005–2009年の5年間の気象庁降雨レーダー及び気象庁メソ数値予報モデルの高知市上空850hPa面における風を用いて、閾値を30mm/hとした四国地方における降水の風向別頻度分布を作成した。次にその頻度が高い地域において30mm/h以上の降水が2時間以上持続する降水系のうち線状を成すものを停滞性の線状降水帯として抽出した。その結果、低気圧や前線の影響下においてS或いはSW風時に特定の場所に高頻度で発生する南西–北東或いは西南西–東北東の走向をもつ3本のラインを抽出した。このうち南西–北東の走向をもつものは窪川–高知–繁藤ラインと佐喜浜–日和佐ラインでそれぞれ14例と9例みられた。また西南西–東北東の走向をもつものは安芸–魚梁瀬ラインで6例みられた。その他台風に伴うSE風時に現れやすい南–北の走向をもって室戸岬から北に伸びるラインを3例抽出した。

1. はじめに

日本において豪雨が発生する場合、その多くは組織化した積乱雲群によってもたらされる。それらは様々な形態を持つが、停滞した線状降水帯の下で発生していた、という報告は数多くある(吉崎・加藤 2007)。その中には高知市において1998年9月24–25日に発生し大規模な水害を引き起こした豪雨も含まれている。このように停滞性の線状降水帯は日本において豪雨をもたらす代表的なメソ降水系の形態である。本研究では、以上のような停滞性の線状降水帯に着目して議論を進める。

前述した高知市付近に生じた豪雨は南西–北東の走向をもった線状降水帯によって生じていた。高知市周辺においては南西–北東の走向を持つ線状降水帯によって大雨が生じたという報告が昔からある。例えば古くは1972年7月4–6日に高知県大豊町天坪を中心

として豪雨が観測された事例(松尾 1977; 二宮 1977)があり、最近では1997年9月6日に高知市等において浸水被害が発生した事例(松村・清水 1998)、2004年8月17日に高知県大川村と土佐町で土石流が発生した事例(佐々・古川 2005)、2006年9月6日に高知県南国市において時間雨量102mmを観測した事例(水野ほか 2009)などがある。

松尾(1977)は1967–1972年の期間について四国を対象とし、南西気流中で生じた主に7月の大雨を調査した。その結果停滞しやすい南西–北東の走向をもつ線状エコーが高知市付近を含め3本あると述べている。このうちの室戸岬から徳島県南部までの海岸線に沿った線状エコーは2003年7月18–19日に徳島県阿南市などで浸水被害をもたらした線状降水帯(津口・福原 2004)や2008年4月10日に徳島県日和佐において時間雨量90mmをもたらした線状降水帯(依岡 2008)と走向及び発生場所が類似している。また、南西–北東の走向ではないものも知られている。松尾(1977)は低気圧の東進に伴い、温暖前線前面の南東気流中において南東–北西の走向を持った線状エコーが見られることを示している。松長ほか(2004)やUmemoto(2006)は2004年7月31日–8月1日の台風接近時に

* 高知大学大学院総合人間自然科学研究科理学専攻。

** 高知大学教育研究部自然科学系理学部門。

—2010年10月26日受領—

—2011年12月5日受理—

徳島県神山町旭丸において2日間で1000mmを超える雨をもたらした室戸岬から北に伸びる線状降水帯について解析している。

このように四国においては停滞性の線状降水帯が豪雨をもたらす事例が多く、そのいくつかは類似した場所及び走向をもって発生・停滞している。これまで類似事例がいくつかあることは示されてきた(松尾1977;三井ほか2007)ものの、その統計的な調査は行われてこなかった。最近、レーダーエコーから目視で線状降水帯を抽出する試み(田中・佐々2009)がなされたが、10分毎のレーダー画像を1枚ずつ目視で解析していたため、抽出条件が曖昧になりがちであった。一方で九州では甕島ラインや長崎ラインと称される特定の場所で現れる線状降水帯が知られており、その統計的な調査が行われてきた。佐藤(1999)は、レーダーエコーの頻度分布を風向別に分類して南南西と南西の風向の時に長崎ラインに相当する带状エコーの高頻度分布が見られることを示した。Kato(2005)は、佐藤(1999)の解析結果を応用し、甕島ライン及び長崎ラインを抽出した。

同じ地域において高頻度で現れ、停滞する線状降水帯の発生環境場やその維持メカニズムを理解することは、影響を受ける地域の大雨の予測において重要であり、同様の事例を収集することはそれらの発生・維持メカニズムを推定し検証する上で有用である。そこで、本研究ではKato(2005)の手法を応用し、四国地方における発生頻度の高い停滞性の線状降水帯を統計的に抽出することを目的とする。

2. 風向別平均出現頻度分布

2.1 使用したデータ及び解析手法

解析に使用したデータは、2005–2009年の5年間に於ける気象庁1kmメッシュ全国合成レーダー(以下レーダーデータ)および気象庁メソ数値予報モデル(以下MSM)である。以下のような手順でKato(2005)を参考に、6時間毎のデータを作成した。降水分布を代表する下層風は高知市上空850hPaの格子点値を使用し、3時間毎のデータから6時間毎の平均風向データを作成した。風向は45度ずつに区切って22.5度以上67.5度未満ならばNEというように8方位に分類した。そして10分毎のレーダーデータを6時間毎に区切り、同時刻のMSM平均風向データで代表させた(例えば00:00–05:50JSTのレーダーデータは00JSTと03JSTのMSM平均風向と対応させ

る)。風向別にレーダーデータの各格子点の降水強度が閾値以上の場合1、閾値未満の場合0として格子点毎に積算し、それを各風向の全データ数で割って頻度分布を作成した。閾値は30mm/hとした。四国は総観規模スケールの変化に対しては十分小さいため、四国地方の風向をほぼ中央に位置する高知市上空の格子点値で代表させることによる誤差はそれほど大きくないと考えられる。実際、四国にわたって領域平均した風向と高知市上空の風向を比較したところ差がないことを確認している。また、高知市上空の格子点値と、抽出した線状降水帯付近の風向は一致していることを確認している。

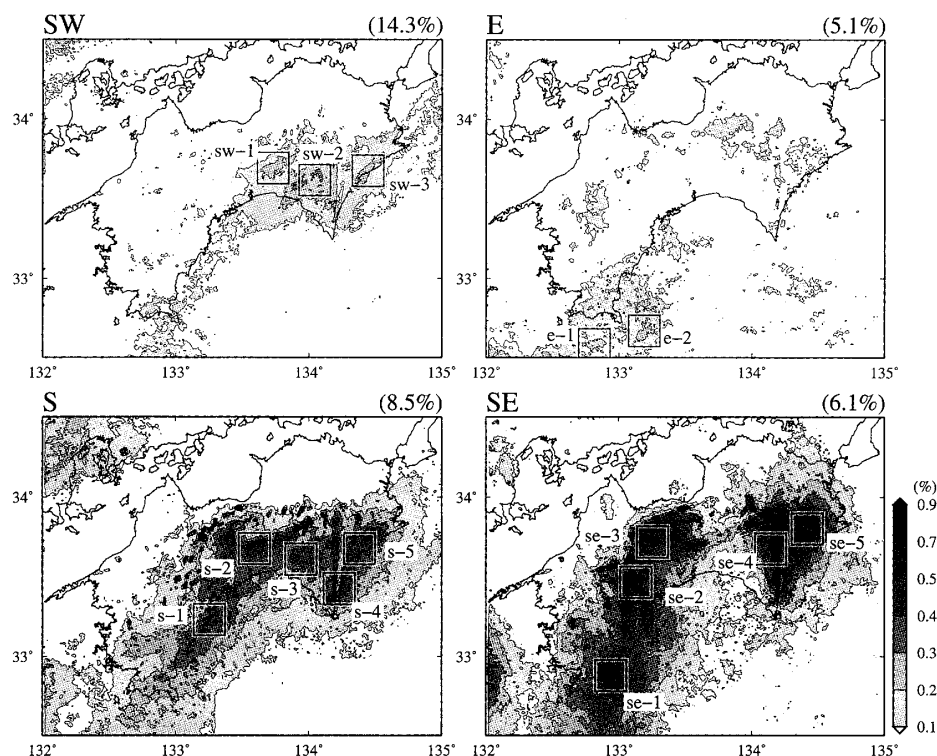
2.2 結果

第1図に降水強度30mm/h以上の風向別平均出現頻度分布のうち、0.1%以上の分布がみられたE, SE, S, SWの風向場を示す。図の右上にある括弧内の数値は各風向のデータ数が全データ数(262,801)に対して占める割合である。また参考のために第2図に四国の地形を示す。S, SEの風向場において室戸岬の北から数度の走向に、室戸レーダーの電波の山岳等による遮蔽効果によると思われる偽の頻度の弱い領域があることに注意を要する。強雨の高頻度域は各風向に対する山岳域の風上地域に集中しており風向依存性が高いことがわかる。SEの風向場において0.9%以上の高頻度域が山岳上を中心に多くみられている。台風中心が四国の西側を通過する場合には、SEの風向場において大雨が生じる。解析期間内に四国に影響を及ぼした台風の内SEの風向場であったものは、約4割であった。九州地方では、停滞する線状降水帯が発生しやすい場所と、降水の平均出現頻度分布における線状の高頻度域が対応していた(佐藤1999;Kato2005)。第1図のSWの風向場において1節で引用した過去の豪雨事例付近に高頻度域が対応しており、南西–北東の走向をもって線状に分布している。またSEの風向場において0.9%以上の高頻度域が室戸岬の北に南–北の走向をもってみられている。従って、佐藤(1999)やKato(2005)と同様の解析が四国においても適用可能であると考えられる。

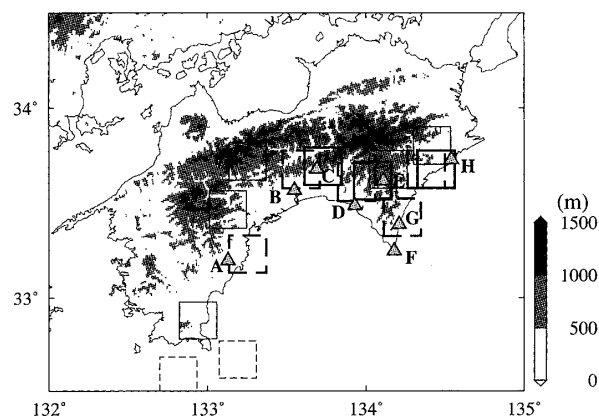
3. 線状降水帯の抽出

3.1 解析手法

降水の風向別平均出現頻度分布(第1図)を用いて停滞性の線状降水帯を抽出する。第1図の領域における全格子点数(57,600)の内、風向別に降水頻度が高



第1図 閾値30mm/hとした降水の風向別平均出現頻度分布。ただし、E, SE, S, SWの風向場のみ。それぞれの図の右上にある括弧内の数値は、全データ数(262,801)に占めるその風向場の割合(%)を示す。図中の矩形は停滞性の線状降水帯を抽出するために設定したもので、風向別に西から順に番号を振っている。



第2図 四国の地形(m)及び関係するアメダス地点(▲印)。アメダス地点はA:窪川, B:高知, C:繁藤, D:安芸, E:魚梁瀬, F:室戸岬, G:佐喜浜, H:日和佐に対応する。第1図のSE, E, SW, Sの風向場における矩形をそれぞれ細実線, 細破線, 太実線, 太破線で示す。

(99パーセンタイル値)を選んで印をつけ、印が10個以上集中した地域に対して、各地域の最も頻度が高い格子点を中心に積乱雲の水平スケールに対応した20 km四方の矩形を設定した。第1図にその矩形の場所を記す。次に各矩形において30mm/h以上の降水強度が矩形内の20格子点以上で検出され、それが2時間以上わたって継続した期間を5年間の中から抽出した。最後に2時間積算した降水量分布が線状のものを停滞性の線状降水帯として抽出した。「線状」の定義は、降水帯の幅と長さの比が1:3以上のものとした。この手法では矩形外で発生する事例は抽出できないが、停滞性の線状降水帯により特に強雨が頻繁にも

たらされる地域を選択したことになる。

3.2 結果

第1表に矩形の場所、抽出条件を満たした期間の開始日時、抽出した矩形内での持続時間/平均降水強度/最大降水強度、高知市上空の風向/風速、線状降水帯の走向、総観場を示す。ここで表記した矩形の記号は第1図に記載したものと対応している。各矩形の位置関係は、第2図に地形及び付近のアメダス地点と共に記載してわかるようにしてある。また、各矩形において同じ走向をもった線状降水帯が2事例以上抽出された場合にそれらの2時間積算降水量分布のコンポジットを第3図に示す。ただし、sw-3については、2事例共sw-2に含まれているため図に示さない。

抽出された全ての線状降水帯の特徴として、九州においてはほとんどの甌島ラインが梅雨期にみられる(田代 2004)が、四国では梅雨期の前後に当たる5, 8, 及び9月に多く、1, 12月の冬季を除く全ての月に発生していた。

SEの風向場において抽出された線状降水帯のほとんどは台風に伴うものであり、降水帯は南-北の走向

い格子点を上から順に2000個(96パーセンタイル値)、高頻度域が少ないEの風向場については500個

第1表 抽出した線状降水帯について、矩形の場所、抽出条件を満たした期間の開始日時、抽出した矩形内での持続時間/平均降水強度/最大降水強度、高知市上空の風向/風速、線状降水帯の走向、総観場を示す。総観場については、低気圧の暖域内を「低気圧」、梅雨及び秋雨前線を「前線」、台風の影響下を「台風」と定義している。

矩形名	発生開始日時 (JST)	持続時間 (分)	平均降水強度 (mm/h)	最大降水強度 (mm/h)	風向 (deg)	風速 (m/s)	線状降水帯の走向	総観場
e-2	2009/09/03 (02:40)	170	21.3	149.5	100.6	5.7	南西－北東	低気圧
se-1	2008/04/07 (09:50)	120	19.9	199.0	149.1	13.1	西南西－東北東	低気圧
se-1	2009/08/09 (09:20)	160	22.4	135.5	133.0	12.0	南－北	台風
se-2	2009/08/10 (00:00)	190	23.8	149.5	135.6	12.1	南西－北東	台風
se-3	2009/08/10 (00:00)	270	23.9	140.5	135.6	12.1	南－北	台風
se-4	2007/07/14 (12:00)	360	20.1	119.5	152.7	29.6	南－北	台風
se-4	2009/08/10 (00:20)	300	18.1	161.5	135.6	12.1	南－北	台風
se-4	2009/08/10 (06:00)	140	34.9	189.0	135.6	8.9	南－北	台風
se-5	2008/08/27 (01:30)	180	9.1	123.5	154.2	6.2	南南西－北北東	低気圧
s-1	2006/09/09 (21:30)	150	11.8	165.5	192.1	13.3	南西－北東	前線
s-1	2006/09/16 (00:10)	340	23.2	197.0	160.9	11.0	南－北	前線
s-1	2008/05/13 (14:00)	160	8.9	171.5	181.1	8.1	南西－北東	低気圧
s-1	2008/06/28 (21:10)	170	26.6	199.0	165.6	8.3	南西－北東	前線
s-1	2008/08/13 (21:40)	120	10.4	179.5	190.1	4.4	南西－北東	低気圧
s-2	2005/05/01 (13:10)	160	17.3	107.5	191.9	15.4	南西－北東	低気圧
s-2	2006/04/11 (08:20)	150	26.6	164.5	163.3	27.6	南西－北東	低気圧
s-2	2006/09/06 (12:00)	180	27.7	189.0	182.7	9.6	南西－北東	低気圧
s-2	2006/09/09 (19:30)	230	10.3	150.5	192.1	13.3	南西－北東	前線
s-2	2007/07/14 (07:00)	260	21.2	156.5	168.7	21.8	南－北	台風
s-2	2007/09/17 (08:30)	140	9.7	185.0	194.1	11.0	南西－北東	低気圧
s-2	2008/05/13 (12:50)	230	11.5	185.0	181.1	8.1	南西－北東	低気圧
s-3	2005/05/01 (15:20)	120	21.3	163.5	191.9	15.4	西南西－東北東	低気圧
s-3	2005/09/06 (19:10)	210	14.8	114.5	165.3	41.8	南－北	台風
s-3	2006/04/11 (08:50)	160	22.4	119.5	163.3	27.6	西南西－東北東	低気圧
s-3	2006/09/06 (14:10)	150	24.0	197.0	182.7	9.6	南西－北東	低気圧
s-4	2005/10/07 (08:50)	170	14.7	199.0	177.2	6.4	南西－北東	前線
s-4	2006/04/11 (09:10)	160	16.5	138.5	163.3	27.6	南西－北東	低気圧
s-4	2006/09/06 (15:40)	140	35.4	199.0	182.7	9.6	南西－北東	低気圧
s-4	2008/04/10 (01:40)	200	21.2	195.0	173.8	6.2	南西－北東	低気圧
s-4	2008/05/29 (00:30)	210	20.3	136.5	189.5	9.7	南西－北東	低気圧
s-5	2005/09/06 (20:00)	190	19.3	199.0	165.3	41.8	南南西－北北東	台風
s-5	2006/09/06 (15:10)	170	29.0	195.0	182.7	9.6	南西－北東	低気圧
s-5	2008/04/10 (02:50)	180	19.0	181.0	173.8	6.2	南西－北東	低気圧
s-5	2008/10/22 (21:40)	140	14.9	128.5	159.7	9.5	南－北	低気圧
sw-1	2006/02/26 (07:00)	150	24.2	134.5	208.0	22.3	南西－北東	低気圧
sw-1	2006/05/07 (12:00)	120	24.6	133.5	229.8	9.1	南西－北東	低気圧
sw-1	2006/05/19 (12:00)	350	15.4	165.5	207.0	19.7	南西－北東	低気圧
sw-1	2008/05/13 (20:30)	210	18.4	199.0	216.6	10.7	南西－北東	低気圧
sw-1	2009/11/11 (00:00)	230	20.7	174.5	217.0	16.5	南西－北東	低気圧
sw-2	2006/09/17 (00:30)	250	19.4	165.5	205.3	6.1	南西－北東	台風
sw-2	2007/03/24 (21:30)	130	18.7	100.5	215.4	20.5	西南西－東北東	低気圧
sw-2	2008/05/25 (01:20)	130	16.1	150.5	237.7	15.6	西南西－東北東	低気圧
sw-2	2008/06/29 (00:00)	360	29.2	199.0	230.4	14.0	西南西－東北東	低気圧
sw-2	2008/06/29 (06:00)	150	15.8	157.5	242.5	15.0	西南西－東北東	低気圧
sw-3	2006/09/10 (00:00)	320	12.7	187.0	213.0	9.6	南西－北東	前線
sw-3	2008/06/29 (00:30)	330	22.4	185.0	230.4	14.0	西南西－東北東	低気圧
sw-3	2008/06/29 (06:00)	170	21.4	156.5	242.5	15.0	西南西－東北東	低気圧

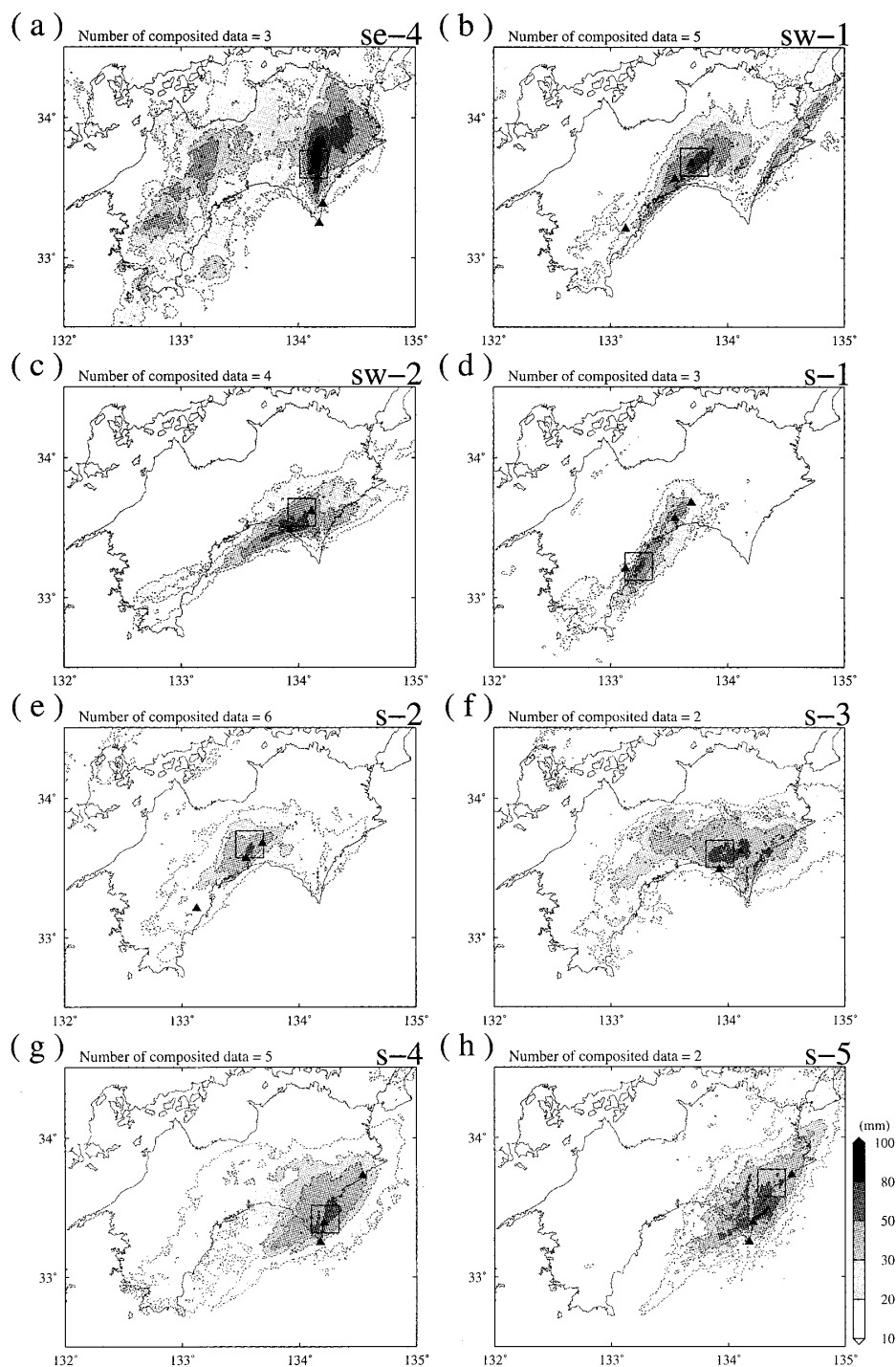
をもつものが多かった。5年間の中で3事例観測されたもの（第3図a）は室戸岬から南－北の走向をもつ

類似した場所に発生していた。また、s-3で2事例抽出された西南西－東北東の走向をもつ線状降水帯（第

ており、3事例全て台風に伴って生じていた。解析期間には含まれていない2004年7月31日－8月1日に豪雨をもたらした事例（松長ほか2004；Umemoto 2006）と線状降水帯の走向と発生位置が類似していた。これらのことから台風接近時に発生する線状降水帯であると考えられる。

SWの風向場においては松尾（1977）が南西気流場において停滞しやすいと述べた3本のラインに対応した、窪川－高知－繁藤ラインに沿ったもの（第3図b）を5例、安芸－魚梁瀬ラインに沿ったもの（第3図c）を4例、佐喜浜－日和佐ラインに沿ったものを2例（図略）抽出した。佐喜浜－日和佐ラインは安芸－魚梁瀬ラインと同じ日時に発生していた。第3図bは二宮（1977）が示した1972年7月5日の事例の降水分布と、降水帯の走向と発生位置が類似しており、繁藤付近において特に降水量が集中している。

Sの風向場において抽出された線状降水帯はSWの風向場で抽出されたものと発生位置及び走向が類似していた。s-1において3例、及びs-2において6例抽出された南西－北東の走向をもつ線状降水帯（それぞれ第3図d及びeにコンポジットを示す）は、sw-1で抽出されたものと



第3図 矩形内に同じ走向で2事例以上抽出した線状降水帯について2時間積算した降水分布のコンポジット図。

3図f)はsw-2で抽出されたものと発生位置及び走向が類似していた。s-4において5例、及びs-5において2例抽出された南西-北東の走向をもつ線状降水帯(それぞれ第3図g及びhにコンポジットを示す)はsw-3で抽出されたものと発生位置が類似していた。一方でSWの風向場と異なる特徴も見られ、

s-1とs-4ではそれぞれ窪川付近と佐喜浜付近に大雨がもたらされている。また、s-2、s-3、s-5の矩形はそれぞれsw-1、sw-2、sw-3の近くに存在しているが、その位置はやや西にずれている。S及びSWの風向場における線状降水帯発生時の総観場は低気圧或いは前線がほとんどを占めていた。

4. まとめと今後の課題

本研究では2005-2009年の5年間に四国において発生した停滞性の線状降水帯を、Kato (2005)を応用した客観的な手法で抽出した。まず30mm/h以上を閾値とした降水の風向別平均出現頻度分布を用いて降水頻度が高い地域に矩形を設定した。そして各矩形内で30mm/h以上の強雨が2時間以上持続した事例のうちで降水帯が線状の形態をもつものを抽出した。その結果、松尾(1977)で示された3本の南西-北東或いは西南西-東北東に走向をもつラインがSW及びSの風向場で高頻度に抽出された。南西-北東の走向をもつラインは、SWの風向場において繁藤付近、Sの風向場において高知や繁藤、窪川付近に大雨をもたらす窪川-高知-繁藤ラインが全14例、SWの風向場において日和佐付近、Sの風向場において佐喜浜付近に大雨をもたらす佐喜浜-日和佐ラインが全9例得られた。またS、SW風向時に魚梁瀬、安芸付近に豪雨をもたらす西南西-東北東に走向をもつ安芸-魚梁瀬ラインが全6例得られた。一方、台風時のSEの風向

場において南-北の走向をもつものが多く、3例得られた。発生時期は、梅雨期の前後に当たる5、8、及び9月に多く、1、12月の冬季を除く全ての月に発生していた。

本研究では、線状降水帯が頻繁に発生する場所が特定されていない場合においても、客観的に停滞性の線状降水帯を抽出出来るようにKato (2005) の手法を改良した。解析期間は5年と短い、過去の調査研究で報告された停滞性の線状降水帯を抽出できており、抽出手法の有効性が示された。

今後は解析期間を拡大して類似事例の収集を行うと共に、数値モデルによる再現実験を行い、四国における停滞性の線状降水帯の発生・維持メカニズムの推定及び検証を行っていく予定である。

謝 辞

気象庁1 km メッシュ全国合成レーダー、及び気象庁メソ数値予報モデルは、京都大学生存圏研究所大気グローバル大気観測データより取得しました。

数多くの有益なコメントをくださいました査読者、担当編集委員の柳瀬 亘氏、京都大学防災研究所の竹見哲也氏、そして高知地方気象台の方々に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 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.
- 松村 哲, 清水栄一, 1998: 下層湿潤気流と冷気の収束による降水強度の概算. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, (85), 7-9.
- 松長高雄, 鈴江浩成, 真鍋恒夫, 2004: 2004年7月31日～8月1日にかけての四国中東部の記録的大雨. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, (104), 36-39.

- 松尾敬世, 1977: 南四国において発生する暖域内スコールライン. *天気*, **24**, 97-104.
- 三井秀夫, 西本健二, 西本 章, 多田一正, 2007: 高知県中部で発生するライン状エコーによる大雨の数値実験. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, (113), 1-4.
- 水野善夫, 谷口典史, 田中滋司, 依岡幸広, 2009: 2006年9月6日の高知県沿岸に発生した線状降水帯について. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, (118), 1-4.
- 二宮洸三, 1977: 四国南部の強雨の事例. *天気*, **24**, 105-112.
- 佐々浩司, 古川訓男, 2005: 台風200415号に伴って高知県大川村で発生した線状降水帯. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, (106), 41-44.
- 佐藤芳昭, 1999: 島原半島周辺の風向別レーダーエコー出現分布. 日本気象学会1999年度春季大会講演予稿集, (75), A158.
- 田中翔太, 佐々浩司, 2009: 四国における線状降水帯の分布. 日本気象学会2009年度秋季大会講演予稿集, (96), P302.
- 田代誠司, 2004: レーダーデータを用いた甕島風下側に形成される線状降水システムの解析. *天気*, **51**, 163-168.
- 津口裕茂, 福原正明, 2004: 豪雨をもたらす線状メソ対流系の発生・維持機構について—2003年7月18, 19日の徳島県南部の豪雨—. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, (104), 32-35.
- Umemoto, Y., 2006: Studies on Orographic Rainbands Based on Combined Wind Profiler-Weather Radar Observations. Doctor thesis, Graduate School of Sciences, University of Kyoto, 111pp.
- 依岡幸広, 2008: 2008年4月10日徳島県で発生した線状降水帯の構造. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, (116), 9-12.
- 吉崎正憲, 加藤輝之, 2007: 豪雨・豪雪の気象学. 朝倉書店, 187pp.

Statistical Analysis of Quasi-stationary Line-shaped Rainfall Systems over Shikoku Island, Japan

Takashi UNUMA* and Fumie MURATA**

* (Corresponding author) Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, Kochi, Japan, 2-5-1, Akebonocho, Kochi 780-8520, Japan.

** Faculty of Science, Kochi University.

(Received 26 October 2010; Accepted 5 December 2011)

新刊図書案内

表 題	編 著 者	出 版 者	出版年月	定 価	ISBN-13	備 考
わかりやすい数値計算入門 第2版	栗原正仁	ムイスリ出版	2011.11	¥2,250	978-4-89641-194-2	
環境科学要論 第3版 現状そして未来を考える	世良 力	東京化学同人	2011.12	¥2,300	978-4-8079-0759-5	
気象業務はいま 2011 守ります人と自然とこの地球	気象庁	研精堂印刷	2011.12	¥2,700	978-4-904263-03-7	
自然災害と防災の事典	京都大学防災研究所 寶 馨 戸田圭一 橋本 学	丸善出版	2011.12	¥7,800	978-4-621-08445-8	
すごい自然図鑑 奇跡のテクノロジーがいっぱい! 昆虫・動物・植物・鳥・魚・細菌・鉱物・気象	石田秀輝	PHP 研究所	2011.12	¥1,900	978-4-569-78200-3	
天気予報のいま シリーズ新しい気象技術と気象学	新田 尚 長谷川隆司	東京堂出版	2011.12	¥2,400	978-4-490-20756-9	

注：表中で定価はすべて本体価格です（特記したものを除く）。