対馬海域で漁船転覆事故を起こした突風を取り巻く降水域の特徴に関する気象レーダー分析

西山 浩司¹・清野 聡子²・石原 大樹³・森山 聡之⁴

¹ 正会員 九州大学助教 九州大学大学院工学研究院環境社会部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

E-mail: nisiyama@civil.kyushu-u.ac.jp

² 正会員 九州大学准教授 九州大学大学院工学研究院環境社会部門 (同上)

E-mail: seino@civil.kyushu-u.ac.jp

³ 学生会員 九州大学大学院生 九州大学工学府都市環境システム専攻 (同上)

E-mail: 2TE15185T@s.kyushu-u.ac.jp

⁴ 正会員 福岡工業大学教授 福岡工業大学社会環境学科 (〒811-0295 福岡市東区和白東 3-30-1)

E-mail: t-moriyama@fit.ac.jp

2015年9月1日午前3時台、対馬海域で発生した突風の影響で漁船が転覆する死亡事故が起こった。しかし、夜間は目視ができず、突風の予測も難しい現状にある。そこで本研究では、対馬事例を含めて、2007~13年に前線活動に伴って陸上で確認された、西日本・東日本の突風事例(54事例)を対象に、気象レーダーの分析に基づいて、突風を取り巻く降水域の特徴を調べた。その結果、突風発生時間の緯度経度0.2度幅の狭い範囲で、80%以上の事例で強い降水強度の領域(80mm/h以上)を捉えた。また、緯度経度1度幅の範囲に拡大すると、発生1時間前に70%程度の事例で強い降水強度を捉えた。従って、前線活動に起因する突風の場合、発生1時間前までであれば、気象レーダーで強い降水強度の領域の接近を監視することで、夜間の突風被害から身を守ることが可能と考えられる。

Key Words: *tornado, wind gust, weather radar, stationary front, heavy rainfall*

1. はじめに

2015年9月1日午前3時台、低気圧と前線が通過している最中、長崎県対馬海域で突風が発生し、漁船5隻が転覆する死亡事故が起こった¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。破壊的な風を引き起こす突風として竜巻が挙げられるが、対馬の突風が現時点で竜巻によるものなのかはわかっていない。対馬海域はイカ漁などの漁業が盛んな地域であることから、今後、竜巻を含めた突風から身を守る方法を提案することが必要である。しかし、突風をもたらす積乱雲自体の予測が難しい現状では、突風発生の予測も当然難しくなる⁶⁾。

また、日本で発生した突風事例の報告・解析例⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾はあるが、主に陸上沿岸部に関するものであり、海上の突風に関しては、目撃例が少なく、その構造、発生メカニズム、発生頻度などの科学的な知見が乏しいことが現状である¹¹⁾。また、対馬転覆事故は夜間に発生したもので、積乱雲や竜巻などの特徴を目視で把握することができない。海上保安庁が実施している竜巻目撃情報の収

集・提供¹²⁾は、昼間有効でも、夜間は情報が得られない。

現在、竜巻を含む突風の危険性を伝達する情報として、気象情報、竜巻注意情報がある。気象情報は、警報や注意報に先立って現象を予告し、注意を呼びかけるもので、突風の発生可能性に関しても情報が出される。今回の対馬事例では、突風発生の前日8月31日16時23分に「大雨と落雷及び突風に関する長崎県気象情報」第4号が発表され、積乱雲の活動と関連する落雷や竜巻などの激しい突風のおそれがあることが明記されていた。一方、竜巻注意情報¹³⁾は、竜巻発生確度ナウキャストで20分後の予測までに発生確度2を示した地域に発表される。しかし、捕捉率(実際に発生した竜巻の中で、実際に予測できた割合)が20~30%程度¹⁴⁾であり、見逃しが多いことが問題である。実際、今回の対馬事例でも竜巻注意情報は発表されなかった。たとえ発表されても、竜巻が目前に迫っていたことを意味する。

また、対馬の転覆事故を引き起こした突風の原因は現時点で不明であるが、積乱雲の活動に密接に関係することから、竜巻以外にも、ダウンバースト、ガストフロン

とも考えらえる。それらのメカニズムに関しては多くの報告がある^{9, 15)}。ダウンバーストは、積乱雲からの激しい雨に伴って発生した強い下降気流で、地面・水面へ衝突して周辺に激しく発散する。ガストフロントは、積乱雲からの出てくる冷氣とその周辺の暖気との境を示す。冷氣が暖気を押し上げて進む際、冷氣層が厚く、温度傾度が大きいほど風速が強くなる¹⁵⁾。

以上のように、3種類の突風が積乱雲の強い降水に伴って発生することが、従来から十分想定されることであるが、多くの突風事例の中で、どの程度の割合で、強い降水が出現するかを調べた報告はない。また、インターネット上で確認できる気象レーダーを利用して、強い降水域の存在を察知して、積乱雲の接近を回避することも、突風から身を守る方法として有効と考えられる。そこで本研究では、気象庁の突風データベース¹⁶⁾に基づいて、2007~13年、西日本・東日本の突風事例を抽出し、気象レーダーを利用した分析に基づいて、突風発生と強い降水強度との関連性を調べた。ここでは、対馬の漁船転覆事故が前線活動に伴って発生したこと、イカ漁が盛んな暖候期に発生する突風から身を守るための知見を得ることを考慮して、前線活動に起因する突風事例を抽出する。

2. 竜巻に対するインタビュー調査

2016年2月25、26日、対馬市の協力の下、氏名非公表を条件に、対馬無線漁協A氏、上対馬漁協B氏、豊玉漁協C氏、上県町漁業関係者(D、E氏)に対して、竜巻も含めた突風の経験や漁船転覆事故の話題などを通して、突風を引き起こす積乱雲のシグナルの察知、夜間の竜巻に対する意識を中心にインタビューを実施した。その回答内容の一部について、表-1にまとめた。

その際、漁船転覆事故の原因が竜巻とは断定できず、ダウンバーストやガストフロントの可能性も排除できないことを話したが、インタビューに対応して頂いた方々は竜巻だろうという認識を持っていたので、「竜巻」をキーワードにして対話を進めた。今回のインタビューでは、漁船転覆事故の現状把握や、今後の系統立てたアンケートの作成のための手がかりを探すことを目的としたので、特に項目を設けず、自由対話の形でインタビューを実施した。そのため、インタビューの回答内容が、全体の意見として扱うことはできないが、転覆事故に対して身近に関わった方々の意見なので、貴重な回答が含まれていると考えられる。

(1) 接近する積乱雲のシグナルの察知

強い風に遭遇した経験について聞いたところ、「急に真っ暗になって風が強くなること、船が傾くような強い

表-1 竜巻に対するインタビュー調査の回答内容（一部抜粋）。

インタビュー先	竜巻に関連するインタビューに対する回答(一部抜粋)
対馬無線漁協組合 A氏	竜巻の目撃情報はある。最近結構竜巻を見ることが多くなった。
	漁師さんの話によると、急に真っ暗になって風が強くなることや、船が傾くような強い風に遭遇した経験がある。
	漁師さんの中には、沖に行って事故に遭ったり、行方がわからなくなったら、帰ってこないと認識している人が多いようだ。
上対馬漁協 B氏	漁師さんは、天気だけで出漁を判断していない。生活の糧を得ないといけないので、天気を見ながら無理しても漁に出ようとすることもある。
	夜間の竜巻発生に対して、どうしていいかわからない。
	雨風が強ければ漁に出ない方がいい。8月31日の出港時(夕方)には風だったが、その後急激に波が高くなり、竜巻と思われる強い風に遭遇した。
	対馬西側に、竜巻を2本確認し、回避したことがある。その際、空が真っ黒になった。
豊玉漁協 C氏	実際に遭遇した漁師さんは竜巻に対して強い恐怖を感じたと思う。
	竜巻が起こった以上、漁師さんには竜巻に遭遇するかもしれないという意識があると思う。
	竜巻当日、携帯でもテレビでも突風に関する情報がなかった。だから安心して漁に出かけた。
	竜巻発生当日、小さい船は早めに港へ帰った。もし、船が漁を続けていた場合、推測だが被害がもっと多かったのではないかな？
上県町漁業関係者 D、E氏	突風被害以降、天候が悪い時には出漁をやめる人も多くなっている。
	夜は何も見えない。竜巻に遭遇したら、結局は、運が悪いと思うしかない。
	積乱雲が近づくと風が強くなって、気温が下がる現象を嫌なほど経験した。冷たい風が来ると、間違いなく、強い風と雨がやってくる。
	昼間に竜巻をよく目撃する。4本も5本も同時に立つ時もある。
	数年前、夜、一度だけ竜巻と思われる非常に強い風に遭遇した。1マイル離れた船は何も影響がなかった。範囲が狭いが、風が強く、10~15分は続いたと思う。横風だったら転覆したかもしれない。すごかった。

風に遭遇した経験がある」、「積乱雲が近づくと風が強くなって、気温が下がる現象を嫌なほど経験した。その時は間違いなく、強い雨がやってくる」、「夜、一度だけ非常に強い風に遭遇し、10~15分は続いた。横風だったら転覆したかもしれない」との話があった。その経験は、竜巻、ダウンバースト、ガストフロントといった突風で、積乱雲が近傍に存在しているシグナルである。これは、夜間目視できなくても経験できることであり、積乱雲の接近を察知することが可能である。

(2) 夜間の竜巻に対する意識

昼間の竜巻に関しては、「2本目撃した」や「4本も5本も同時に立つ時もある」などの目撃情報があるが、竜巻を目視で確認できるため、回避が可能である。しかし、夜間に関しては、「夜間の竜巻発生に対して、どうしていいかわからない」とあるように、目視ができない状況で竜巻回避の対応が難しいことを示している。「夜は何も見えない。竜巻に遭遇したら、運が悪いと思うしかない」、「漁師さんの中には、行方がわからなくなったら、

帰ってこない」と認識している人が多いようだ」という話から、夜間で目視ができない以上、竜巻に出遭ってしまったら運が悪くて、仕方がないというような意識があるとも解釈できる。

また、B氏が回答した「竜巻に対する強い恐怖心」や「竜巻に遭遇するかもしれないという意識」が、C氏が回答した「天候が悪い時には出漁をやめる人も多くなっている」ことに繋がっているとも考えられる。特に、夜間の場合、強い風で積乱雲の接近を察知できても、竜巻がどこに存在するのかかわらず、恐怖心に繋がると考えられる。

一方で、A氏の回答に示すように、「生活の糧のため、天気を見ながら無理してでも漁に出る」ことは、時として止むを得ない場合もある。従って、夜間で周囲が見えない状況下、突風に関する情報が乏しい中でも安全操業できるように、竜巻を含む積乱雲の接近を察知できる有効な手段を提供することが極めて重要であることがわかる。本研究では、気象レーダーを使った手段について次章以降に考察する。

3. 対馬突風事例の気象レーダー分析

2015年9月1日、長崎県対馬海域で竜巻と思われる突風が発生した影響で、5隻の漁船が転覆し、5名が海に投げ出されたり、船内に閉じ込められて、死亡する事故が起こった。図-1に示すように、その海難事故は、午前3時23分から55分の間に、対馬の東側の海域で起こっている。その時、図-2の天気図が示すように、停滞前線上に発生した小低気圧が、九州の西海上を北北東進しながら、対馬海域に接近する気象状況であった。

低気圧が接近する状況下で、対馬を含む、東経129~130度、北緯34~35度の範囲内で、気象庁の気象レーダーで観測される降水強度の分布(図-3)の特徴について調べた。海難事故が発生し始める2時間程度前(1時30分)には、30mm/h以上の降水強度を持つ領域が点在している状況であった。2時になると、50mm/h以上の降水強度を持つ領域が、対馬の東海域でまとまり、2時30分には、同じ海域で80mm/h以上の降水強度を持つ領域が現れていた。2時50分から3時30分までは、80mm/h以上の降水強度のエコーが低気圧性回転を示していることから、北北東進する停滞前線上の小低気圧と関連していると考えられる。そして、3時40分以降はドーナツ状の独特なエコーとなった。

転覆事故を取り巻く強い降水強度の領域が広く分布していることがわかったので、事故との関連を調べるため、転覆時刻における漁船の位置(A-E)を図-3にプロットした。その結果、漁船A、B、Cの場合は、フック状の

図-1 9月1日3時台に発生した突風によって被害に遭った5隻の船の転覆位置(A-E)とその時間。

図-2 突風発生前(当日3時)の停滞前線と小低気圧の存在を示す地上天気図(気象庁)。

表-2 日別で、80mm/h以上のレーダー降水強度を観測した格子数。

年	月	日	格子数	気象状況
2015	9	1	3152	停滞前線・低気圧
2008	7	26	2252	停滞前線の暖域側
2015	9	17	1959	低気圧
2009	9	27	1438	停滞前線
2012	8	23	1391	停滞前線
2008	7	2	1302	停滞前線
2012	8	24	1182	停滞前線の暖域側
2013	7	4	1138	停滞前線の暖域側
2010	7	11	1115	停滞前線
2013	8	22	1067	太平洋高気圧周辺部・台風の影響
2009	7	21	922	停滞前線の暖域側
2009	7	16	920	停滞前線
2014	8	20	788	停滞前線
2011	8	22	641	停滞前線
2011	8	26	634	停滞前線
2015	8	21	608	停滞前線
2012	8	22	606	停滞前線の暖域側
2008	8	16	592	停滞前線
2012	9	14	545	停滞前線
2012	7	13	543	停滞前線

図-3 9月1日1時から4時までの気象庁レーダー（合成レーダー）に基づく降水強度（mm/h）の分布。

強い降水強度領域（80mm/h以上）の近傍で転覆事故が発生していた。一方、漁船D、Eの場合は、ドーナツ状の強い降水強度領域で転覆事故が発生していた。2時50分から3時30分までフックのような形態（図-3の丸い破線）のエコーが見られるが、このようなエコーは、しばしば、スーパーセルに伴って確認できる独特のエコーで、その近傍で竜巻が発生することがある¹⁷⁾。しかし、今回の降水系がスーパーセルであったかどうかは、観測データがないため、現時点で不明である。

以上のように、突風事故が、強い降水強度の領域の存在と関連していることから、積乱雲の活動と密接に関わっていることがわかる。そこで、2008年から2015年の暖候期（7、8、9月）、対馬海域（図-3と同じ範囲：緯度経度1度幅）で、80mm/h以上の強い降水強度を記録した上位20位までの事例を表-2に示す。その結果、対馬突風事例（9月1日）は、期間内履歴第一位を記録する

激しい降水系であった。また、18事例が、停滞前線の活動に伴って発生していることがわかった。

4. 突風事例と強い降水強度との関連性

前章の結果から、対馬事例では、突風の発生が、その近傍に存在する強い降水強度と結びついていた。その結果は、突風が積乱雲の活動と密接な関係を示すもので、十分想定される結果である。しかし、突風の発生が、強い降水強度の出現と、どの程度関係しているのかについては明らかでない。そこで、本章では、気象庁の突風データベースに基づいて、突風事例を抽出し、強い降水強度との関連性を調べる。

(1) 突風事例の抽出とその発生要因

本研究では、突風の種類の中で、積乱雲の活動と関係

する竜巻、漏斗雲、ダウンバースト、ガストフロントに該当する事例を選んだ。多くの事例を抽出するため、西日本・東日本を対象領域として選んだ。また、対象期間として、突風事例の収録方法に変更があった2007年以降、2015年6月時点でデータベースに掲載が完了している2013年までの期間を選んだ。その結果、陸上で183事例、海上で143事例を抽出した。

次に、対象期間中に記録された突風事例がどのような要因で発生したのか、陸上・海上別に、発生頻度とその割合を調べた(表-3)。その際、突風データベースでは、複数の要因を持つ事例が多く存在することから、1事例が1つの要因に対応しているとは限らないことに注意が必要である。そこで本研究では、要因別の発生頻度を次のように計算する。例えば、1つの事例に3つの発生要因「台風・停滞前線・暖気の移流」が含まれている場合、それら3つの要因のカテゴリに対して、発生頻度としてカウントする。つまり、1事例に対して3回カウントすることになる。

その要領で得た結果、陸上では、寒気の移流(26.2%)、前線(29.5%)や暖気の移流(33.3%)に関連する事例が多いことがわかる。海上では、寒気の移流が海上事例中の70.6%を占めていた。これは、主に冬型の気圧配置に該当し、寒候期の主要な気象状況を示す。但し、海上の場合、目撃できない場合も多く、実際に発生している突風はもっと多いと考えられる¹⁾。例えば、台風の場合、発生頻度が1.4%と低く、目撃情報が少ないことを意味している。従って、海上の発生頻度に関しては信頼性が乏しいと考えられる。

そこで本研究では、冒頭の目的に従って、前線活動に起因する突風事例を選択し、目撃例が多く、信頼性の高い陸上の54事例(表-3)を対象にする。その内訳を見ると、40事例が竜巻(漏斗雲も含む)で、残り14事例はダウンバースト、または、ガストフロントである。また、その発生頻度を月別で見ると、7~9月が多く、合計で38事例に達した(図-4)。その時期は、暖湿気流の流入が盛んな時期に相当する。対馬事例も同様の気象状況を示しており、前線・小低気圧に向かって暖湿気流が流入したことが、強い降水を引き起こした要因である。

(2) 前線活動に起因する突風事例の降水強度の特徴

本節では、前線に伴って形成される降水域に対して、突風発生地点から見て、どの程度の範囲を対象にし、どの程度の先行時間を考慮すれば、強い降水強度を捉えることができるかという点に着目して、突風と降水強度との関連性を調べる。ここでは、図-5に示すように、突風発生地点を中心として、3つの範囲(AREA1, AREA2, AREA3)を指定する。各々、緯度経度0.2度、0.5度、1.0度幅の範囲を持つ。また、突風発生時刻は、その時刻前

表-3 対象期間中の要因別の突風発生頻度(陸上・海上)とその割合(%)。

海上 (143事例)	低気圧	気圧の谷	寒気の移流	暖気の移流
	6 (4.2%)	35 (24.5%)	101 (70.6%)	14 (9.8%)
	前線	台風	雷雨	太平洋高気圧
	10 (7.0%)	2 (1.4%)	3 (2.1%)	1 (0.7%)
陸上 (183事例)	低気圧	気圧の谷	寒気の移流	暖気の移流
	24 (13.1%)	27 (14.8%)	48 (26.2%)	61 (33.3%)
	前線	台風	雷雨	太平洋高気圧
	54 (29.5%)	24 (13.1%)	25 (13.7%)	11 (6.0%)

突風事例数

図-4 対象期間中に、前線活動に伴って西日本・東日本で発生した陸上の突風事例(全54事例)の月別頻度。

2015年9月1日2時10分

図-5 強い降水強度を捉えるために設定された範囲。中心が突風発生地点を示す。

表-4 突風発生2時間前から1時間後までの3時間に観測された80mm/h以上の降水強度の格子点数の上位4事例と対馬事例.

D: ダウンバースト G: ガストフロント T: 竜巻					
順位	突風事例	発生場所	発生日時	80mm/h以上の格子点数	突風形態
1	A	兵庫県神戸市	2008年7月28日14時50分	4091	D または G
2	B	高知県安芸市	2008年6月29日2時	3046	D または G
3	C	岐阜県飛騨市	2008年7月27日14時40分	2352	T
4	D	高知県宿毛市	2013年9月4日6時30分	2097	T
対馬突風事例					
	対馬1	長崎県対馬東海域	2015年9月1日3時20分	2896	不明
	対馬2	長崎県対馬東海域	2015年9月1日3時50分	3165	不明

図-6 表-4の事例に対する, AREA1~3で3時間内の80mm/h以上の降水強度を観測した格子点数の時間的推移.

図-7 前線活動に起因する54事例中, AREA1~3で80mm/h以上と50mm/h以上の降水強度を検知した割合(%)の時間的推移.

で最も近いレーダーの設定時刻(10分間隔の気象庁レーダーの利用)とする. また, 突風を回避する時間を確保することを念頭に置いて, 先行時間2時間を考え, 突風発生時間の2時間前から1時間後までの3時間を, 降水強度の推移を見るための時間帯として設定する. 以上の設定下, 対馬海域で最初に突風を経験する時間(3時23分)の1時間10分程度前の降水強度分布(図-5)を例にして, 強い降水強度をどの程度捉えているか見ると, AREA1では50mm/h以上の降水強度域を捉えているが,

80mm/h以上の降水強度域は, AREA2まで広げることによって捉えることができる. さらに, AREA3まで広げると, 強い降水強度域の塊の存在を認識することができる.

最初に, 先に設定した3時間内に記録した強い降水強度(80mm/h以上)の格子点数に基づいて, 対馬事例が, 対象とする54事例と比較して, どの程度の勢力を持った事例なのかを調べた. その結果, 格子点数で上位4事例を示した表-4によると, 54事例中2位の記録を持つ事例(事例B: 高知県安芸市事例)に匹敵することがわか

った。即ち、対馬事例は、前線活動で突風を引き起こしてきた過去の事例（2007~2013 年）の中では、勢力が非常に強い降水系に匹敵することを意味する。

次に、対馬事例と観測格子点数の上位 4 事例を対象にして、3 つの設定範囲内で 3 時間内に、強い降水強度域（格子点数）をどの程度捉えていたかについて、その時間的推移を調べた（図-6）。その結果、AREA1 では、強い降水強度を示す事例でも、突風発生 60 分前で、それを捉えにくくなるが、AREA3 まで広げると、対馬を含めた 6 事例全てで、強い降水強度を捉えていることがわかる。

そこで、3 つの範囲内で、3 時間内に、54 事例中どの程度の割合で強い降水強度域を捉えているかを調べた（図-7）。その結果、狭い AREA1 では、突風発生時間で、80mm/h 以上、50mm/h 以上の強い降水強度を捉える割合は、各々、69.1%、80%であった。しかし、突風発生時刻の 30 分前では、各々、捕捉する割合は 16.4%、23.6%に急減する。AREA2、AREA3 へ範囲を拡大することで、強い降水強度を捕捉する割合が増加するのは自明であるが、その割合がどの程度なのか知ることは、突風を監視する上で重要な知見となる。実際に、80mm/h 以上の強い降水強度を捕捉する割合を見ると、最も広い AREA3 では、発生時間で 81.8%、発生 60 分前で 69.1%、発生 90 分前で 54.5%、発生 2 時間前で 41.8%を示す。このように、発生 90 分前でも 50%以上の事例で強い降水強度を捉えていることがわかる。従って、その結果は、突風発生の 1 時間程度前までであれば、強い降水強度を持つ、まとまった降水域を広い範囲で監視することによって、突風を含む積乱雲の接近を察知することが有効な場合があることを意味する。

5. 結論

2015 年 9 月 1 日 3 時台、長崎県対馬海域で突風が発生し、漁船 5 隻が転覆（5 名死亡）する事故が起こった。対馬海域ではイカ漁などが盛んで、今後、突風から身を守る方法を提案することが必要である。特に夜間は目視ができず、竜巻注意情報などの突風の予測も難しく、地元の漁業者は、どうしてよいかわからない現状にある。そこで本研究では、突風の発生が積乱雲の活動と密接に関係していることに着目して、気象レーダーで積乱雲からの強い降水活動を捉えることで、積乱雲の接近を察知することを考えた。

本研究では、イカ漁が盛んな暖候期に発生する突風から身を守るための知見を得ることに主眼を置いて、2007~13 年、前線活動に伴って発生した西日本・東日本の突風事例を抽出し、気象レーダーを利用した分析に基づいて、突風発生と強い降水強度との関連性を調べた。

最初に、対馬事例を調べた結果、80mm/h 以上を示す強い降水強度の近傍で突風が発生していることがわかった。そこで、突風発生時間の 2 時間前から 1 時間後までの 3 時間に、どの程度の範囲で、全 54 事例中、どの程度の割合で強い降水強度域を捉えているかを調べた。その結果、突風発生時間では、狭い範囲（緯度経度 0.1 度幅）でも、80%以上の事例で強い降水強度の領域（80mm/h 以上）が存在した。このことは、突風の発生地点の近傍に強い降水強度を伴った積乱雲が存在していることを意味する。しかし、突風発生 30 分前には 20%以下の事例しか強い降水強度を捉えることができなかった。一方、対象範囲を緯度経度 1 度幅に拡大すると、発生 1 時間前でも、80mm/h 以上で 70%程度、50mm/h 以上で 80%程度の事例で強い降水強度を捉えることができることがわかった。従って、気象レーダーの情報を活用して、広範囲にわたり、積乱雲に伴う強い降水強度の領域の接近を監視することが、夜間の突風被害から身を守る方法として有効と考えられる。但し、今回調査した事例は前線活動に関するものであり、その他の要因にも適用できるのかどうかの検証が今後必要である。

以上の結果を踏まえて、夜間の突風対策を実際の運用に当てはめてみると次のようになる。1) 前線の通過が予測された際、大雨・突風に関する気象情報を確認して、積乱雲やそれに伴う突風の可能性があることを念頭に置き、2) 前線が近づいてきたら、積乱雲の活発な活動を知らせる雷ナウキャスト・雷注意報、竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報から現況を把握する。3) 最後に、気象レーダーの画像を確認して、強い降水強度の領域が近づいてくる兆候があれば、突風発生の可能性が高くなると考えて、その際に可能な最善の回避行動を取るという流れで運用することになると考えられる。

しかし、強い降水域が接近していることを察知できても、強い降水域に対して、どこで突風が起こるかについての明瞭な知見がない。その状況下、網を上げて帰港する準備をして回避行動に移ることになる。回避までの時間がかかることを考慮すれば、アンカーを海中に固定して漁船を安定化させ、突風から耐えることを選択するのか、強い降水域を避けるように回避するのか、乗組員的意思決定が重要になる。従って、予め、強い降水系の接近を想定した上で、漁業者間で十分な検討が必要である。

また、実際の運用に向けて、情報の伝達・受取の課題も解決する必要がある。携帯の電波が届く海域であれば、携帯端末でレーダー情報を取得して突風発生の危険性を判断することは可能であるが、電波が届かない海域では、漁業無線を駆使して、強い降水強度の領域の接近を知らせる必要がある。即ち、画像の情報ではなく、言葉で危険性を伝える有効な情報伝達方法を十分検討する必要がある。そして、情報を受け取る側の意識も重要で、強い

降水強度域が漁船に接近していることが竜巻などの突風の可能性に繋がっているという認識を漁業者間で共有することが根本的に必要になってくる。

謝辞：対馬市農林水産部水産課海洋保全室の阿比留忠明様には、対馬内の突風被害に関するインタビューを調整して頂き、誠に有難うございました。また、インタビューに協力して頂いた、上対馬漁協、豊玉漁協、対馬無線漁協の関係者、上県町漁業関係者の皆様には大変感謝致します。尚、この研究は、環境省の環境研究総合推進費(S-13)の支援の下で実施されました。

参考文献

- 1) 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 (MA2016-3-37_2015mj0089), pp.1-5, 2016.
- 2) 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 (MA2016-3-38_2015mj0090), pp.1-33, 2016.
- 3) 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 (MA2016-3-37_2015mj0091), pp.1-5, 2016.
- 4) 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 (MA2016-3-37_2015mj0092), pp.1-4, 2016.
- 5) 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 (MA2016-3-37_2015mj0093), pp.1-5, 2016.
- 6) 竹見哲也：ダウンバーストとガストフロント：積乱雲による突風現象, 日本風工学会誌, Vol. 37, No. 3 (No.132), pp. 172-177, 2012.
- 7) 山本晴彦：2006年11月7日に北海道佐呂間町で発生した竜巻災害, 自然災害科学, Vol. 25, No. 3, pp. 403-417, 2006.
- 8) 山本晴彦, 岩谷潔, 高山成, 白水隆之, 土谷安司, 兼石篤志, 原田陽子, 東山真理子：2006年9月17日に宮崎県延岡市で発生した竜巻災害, 自然災害科学, Vol. 27, No. 3, pp. 291-306, 2008.
- 9) Kobayashi, F., Kikuchi, K. and Uyeda, H. : Life cycle of the Chitose tornado of September 22, 1988, J. Meteor. Soc., Japan., Vol. 74, pp. 125-140, 1996.
- 10) 小林文明, 藤田博之, 野村卓史, 田村幸雄, 松井正宏, 山田正, 土屋修一：2002年10月7日横須賀で発生した竜巻—10月6日から7日にかけて各地で発生した突風災害に関連して—, 天気, Vol. 54, No. 1, pp. 53-64, 2007.
- 11) 小林文明, 野呂瀬敬子, 木村孝承：日本沿岸の海上で発生した竜巻の特徴とその評価, 第23回風工学シンポジウム, pp. 169-174, 2014.
- 12) 第七管区海上保安本部：「竜巻」等の目撃情報の収集と情報提供を開始～異常気象から命を守る～, <http://www.kaiho.mlit.go.jp/07kanku/>, 2016年6月時点.
- 13) 瀧下洋一：竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報について—突風に関する防災気象情報の改善—, 測候時報, Vol. 78, No. 3, pp. 57-93, 2011.
- 14) 気象庁：竜巻発生確度ナウキャストとは, <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/toppuu/tornado3-1.html>, 2016年7月1日時点.
- 15) 大野久雄：雷雨とメソ気象, 東京堂出版, 309 pp, 2006.
- 16) 気象庁：竜巻等の突風データベース, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/>, 2016年7月1日時点.
- 17) Houze, R. A. : Cloud Dynamics, International Geophysics Series, Academic Press, Vol. 53, 573 pp, 1993.

(2016. 7. 8 受付)

WEATHER RADAR ANALYSIS ON RAINFALL FEATURES RELATED TO WIND GUST CAUSING A ROLLOVER ACCIDENT OF FISHING BOATS IN TSUSHIMA, NAGASAKI

Koji NISHIYAMA, Satoko SEINO, Daiki ISHIHARA and Toshiyuki MORIYAMA

Rollover accident of fishing boats occurred in Tsushima, Nagasaki Prefecture between 3 and 4 am on Sep 1th, 2015 due to a strong wind gust attack. Actually, if the strong wind gust including a tornado occurs at night, we cannot visually and clearly recognize a dangerous situation such as the approach of the tornado. Moreover, it is extremely difficult to predict the occurrence of the wind gust. Therefore, it is very important to provide a useful tool for recognizing a wind gust event such as tornado attack.

This study investigated rainfall intensity features related to the wind gust events (54 events) caused by frontal activities in Western and Eastern Japan between 2007 and 2013, on the basis of weather radar analysis. From these results, it was found that approximately 80% of the total wind gust events accompanies the distribution of strong radar-based rainfall intensity more than 80mm/h at the timing of a wind gust occurrence within the designated narrow area (the width of 0.2 degree in longitude and latitude) determined in ahead. This implies that the distribution of strong rainfall intensity appear near a dominant wind gust region. Moreover, when the area for the detection of the strong radar intensity was expanded into the width of 1.0 degree in longitude and latitude, it was also found that approximately 70% of the total wind gusts events was detectable in the wide region within an hour before the occurrence of these wind gusts.

These results show that the detection of strong radar intensity distribution using a weather radar is effective for decision-making of the evacuation from a wind gust including a tornado related to frontal activities within an hour before the occurrence of these wind gusts.