

報 文

2007年3月30日、米子市に突風被害をもたらした寒冷前線の特徴

岡崎賢治*

Characteristics of a cold front with damaging wind gusts at Yonago, Tottori Prefecture,
on 30 March 2007

Kenji OKAZAKI

要 旨

2007年3月30日米子市で突風が発生し、民家の瓦が飛ぶなどの被害が出た。この突風の気象学的背景を明らかにするため、各種観測データ及び非静力学モデルを使って解析を行った。その結果、突風が発生する前に下層に冷氣だまりが形成され、その冷氣だまりの上方で強い鉛直シヤーをもつ寒冷前線が接近していたことがわかった。また、このことは突風の起こりやすさの指標として用いられている「ストームに相対的なヘリシティ」の値を大きくさせるのに好都合であることがわかった。

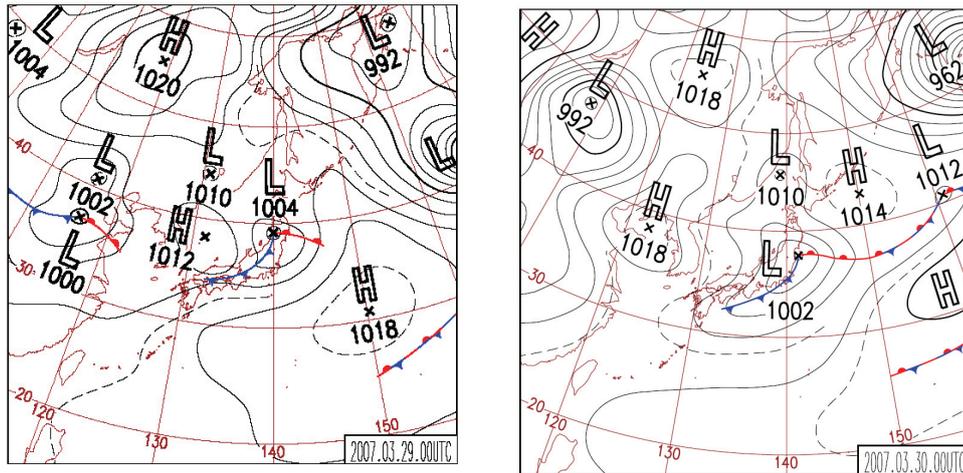
1. はじめに

2007年3月30日0時過ぎから明け方にかけて、低気圧が山陰沿岸を東進し、低気圧からのびる寒冷前線が鳥取県を通過した(第1図参照)。この寒冷前線の通過に伴って米子市付近で突風が発生し、米子測候所では1時35分に西北西の最大瞬間風速26.8m/sが観測された(第2図参照)。またこの突風により民家の瓦が飛ぶなどの被害が出た。災害発生直後の被害調査及び聞き取り調査では、被害域は直線状(最大幅は約200m、長さ2.5km)という(第3図参照)竜巻をイメージさせる報告があったが、岩崎ら(2003)による報告のような日本瓦の伝統的な敷き方に起因する屋根瓦のはがれ方の特徴や、小林ら(2007)が報告しているグラウンド等の痕跡などの報告もなかった。結局漏斗雲などの目撃情報がな

いこともあり、鳥取地方気象台と米子測候所による現地調査(平成19年)でまとめられた災害報告では、現象については「不明」という結論に至った。突風に関してはある一つの地点についてみれば実例が少なく、地域特性などを定量的に検討するのは困難である。しかし、米子市付近は浜田、鳥取にあるウインドプロファイラデータによる考察、及び境、松江の地上観測地点の詳細なデータが使えるなど気象学的背景を考察する上で有利な地域であり、これらのデータを用いて今回の突風の気象学的背景を考察することは大変意義深い。この論文ではアメダス10分値と非静力学メソスケールモデル(以下NHMと呼ぶ)なども用いて、どのようなメカニズムで突風が発生したのかを解析し、突風が起きる前の着目点などを考察した。

* 米子測候所(現岡山地方気象台)

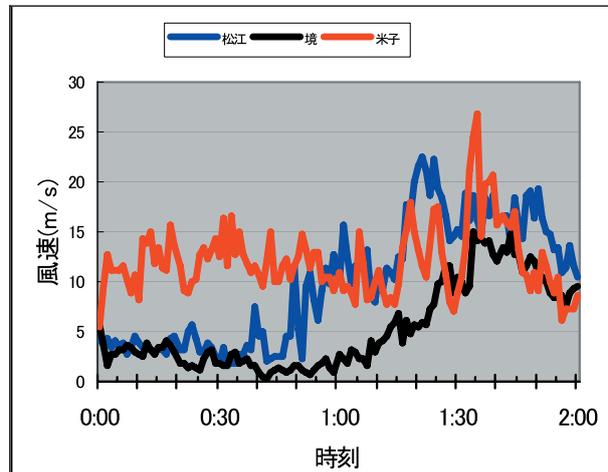
(2008年7月29日受領, 2009年1月15日受理)



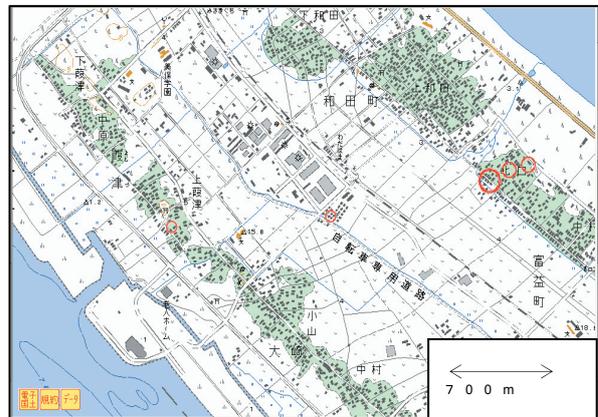
第1図 2007年3月29、30日午前9時の天気図



第3-1図 米子市周辺の地形図



第2図 3月30日の松江、境、米子の最大瞬間風速



第3-2図 災害発生場所 (赤丸で囲った場所)

2. 解析方法

今回のイベントについて通常の寒冷前線の通過と比較して特徴的なことを見出すため、地上気象観測1分値データ、アメダス10分値とウインドプロファイラデータ、高層観測データ、毎時大気解析データを使った。また観測事実及び毎時解析で見られた冷氣だまりについてさらに考察するため、5kmメッシュのモデルでMF5km33と呼ばれるNHMを用いて冷氣だまりの再現を行った。さらに今回の米子の事例の気象学的背景が他の事例と比べてどの程度であったかを探るため、実際に寒冷前線に伴って起きた竜巻の事例についてEHI, CAPE, SReHと呼ばれる突風関連指数を比較した。

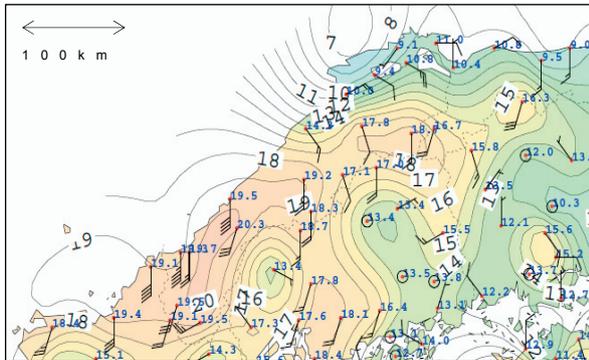
3. 解析結果と考察

3-1. 観測事実からみた考察

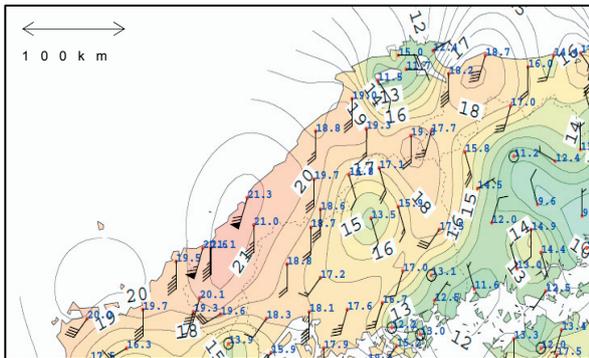
第4図a,b,cは、今回の突風が起きる直前と直後のアメダス気温と風を表示したものである。気温については、標準大気を仮定して100mにつき0.6°Cの減率の補正をしている。寒冷前線の接近及び通過

時を意識しながらアメダス気温・風分布を見ると、寒冷前線の接近前の暖気移流に伴い、山陰西部から気温の高い領域が広がっていた。しかし、暖気は一樣に山陰沿岸を東に広がっていくのではなく、中海や島根半島を避けるように、中海や島根半島の南側で先に気温が高くなっていった(第4図a参照)。第4図bから境の風と米子の風を比較すると、境から松江にかけては弱い東風の場合に対し、米子では相対的に暖気の進入を示す強い南風が吹いている。なお第1図から今回の突風を引き起こした寒冷前線が通過した前日、3月29日早朝にも寒冷前線が中国地方を通過していることがわかる。第5図は29日21時の米子の高層データであるが、地上63mから711mの間は気温が上空に行くほど高くなっており(図中黒丸参照)、また風の場合でも東風の場合になっている。つまり先に説明した寒冷前線の通過及びアメダス地上気温の変化から突風が吹く前に中海を中心とした地域に弱い冷氣だまりが形成されていることが推察される。

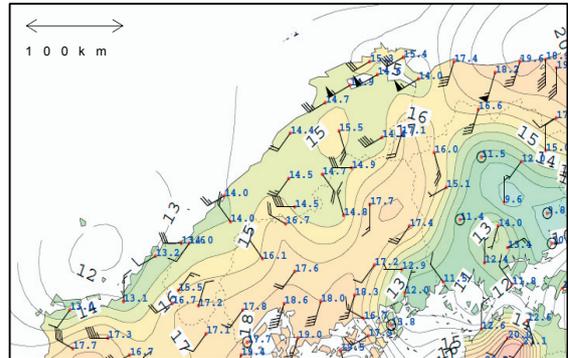
第6図は松江、境、米子の30日0時から30日2時までの気温と気圧データである。境と米子の両地点では寒冷前線通過前に温度差が最大で6°C前後になっており、またその状態が約1時間持続している。これは寒冷前線の接近に伴い、境では米子に対し冷氣だまりが、なかなか壊されずに存在しているのに対し、米子では冷氣だまりの南側をまわるように暖気が侵入した結果であると考えられる。



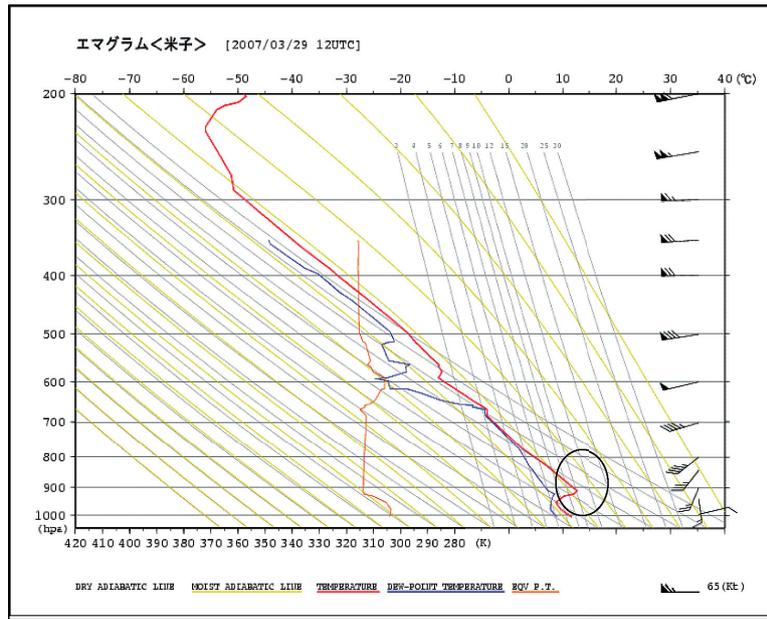
第4図a 3月29日23時10分の気温・風分布図



第4図b 3月30日00時30分の気温・風分布図



第4図c 3月30日01時40分の気温・風分布図

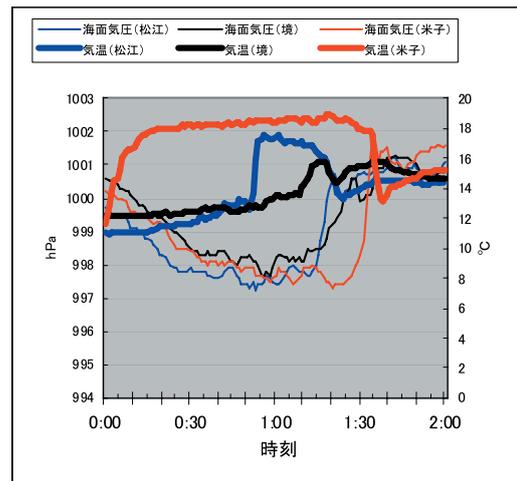


第5図 3月29日21時の米子の高層データ

その一方で第5図から、この逆転層の上の900hPaより上空では南西風が吹いており、既にこの時刻から寒冷前線前面の暖気は冷氣だまりの上を進んでいると推察される。

冷氣だまりの成因についてさらに考察するために、毎時大気解析を使って気温と風の場を表示したものが第7図a,b,c,dである。この図から29日の23時には宍道湖の西側に孤立した冷氣だまりができてることがわかる。そして次の時刻30日の0時にはこの冷氣だまりを南西から進入する暖気が北側と南側から包み込むようにしている。そして1時にはこの冷氣だまりは解消し寒冷前線前面の暖気場の中に山陰沿岸は覆われている。

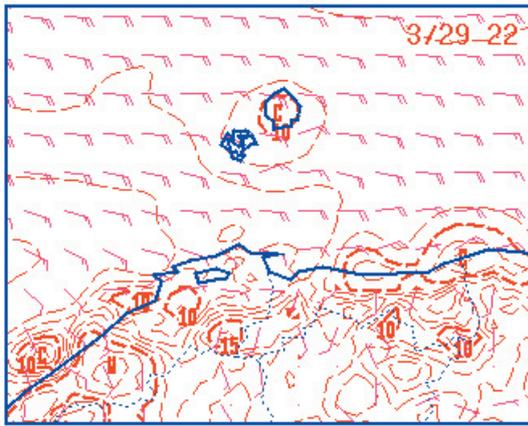
一方、前線の構造の特徴を検討するために示したのが第8図a,bのウインドプロファイラのデータである。ウインドプロファイラデータからみる下層の前線通過のタイミングは浜田では1時頃であるが、この前線構造として下層（高度1km付近）に強い鉛直シヤー（約45ms⁻¹/km）を伴っていることがわかる（図中0時50分頃の○印に着目）。鳥取のウインドプロファイラからは、午前2時頃寒冷前線が通っており、値としては小さくなっているが、やはり下層に明りょうな鉛直シヤーの核を伴って



第6図 松江、境、米子の3月30日00時から02時までの気温と気圧データ

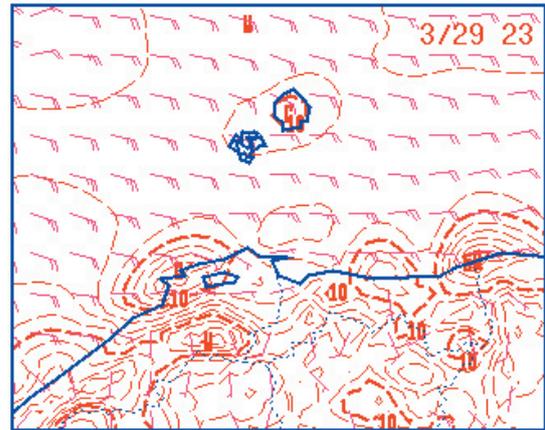
いることがわかる（図中丸印参照）。

つまり上記の観測事実から、米子で突風が吹く前に下層の冷氣だまりが島根半島付近に形成され、この安定層の上を下層に非常に強い鉛直シヤーの核をもつ前線が通過したことが推察される。このことから寒冷前線前面を下層から順調に暖気が入ってくる場合に比べ、冷氣だまりという安定層のため、風が穏やかな場所の上空でいきなり風が強くなり、かつ今回のような下層に非常に強いシヤーの核を



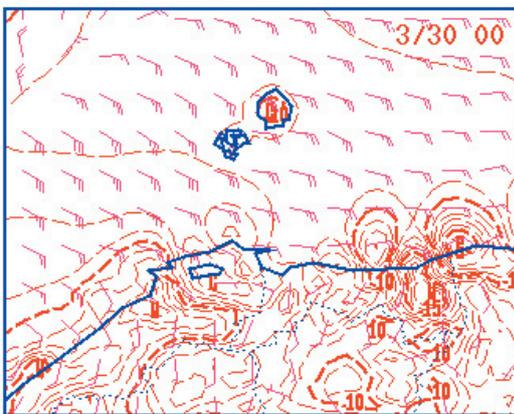
2913<13>Tsfc,Wsfc

第7図a 3月29日22時の毎時大気解析



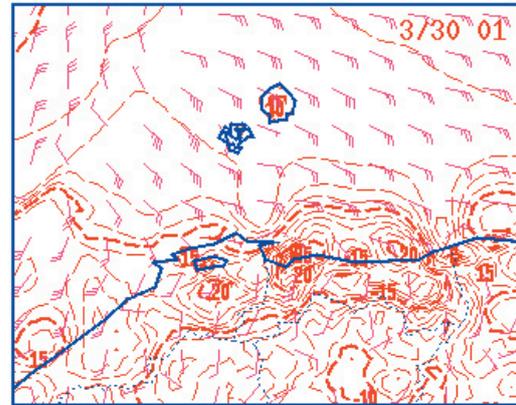
2914<14>Tsfc,Wsfc

第7図b 3月29日23時の毎時大気解析



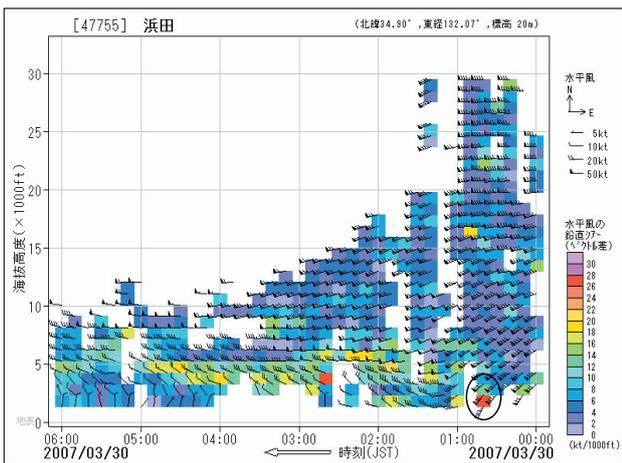
2915<15>Tsfc,Wsfc

第7図c 3月29日24時の毎時大気解析



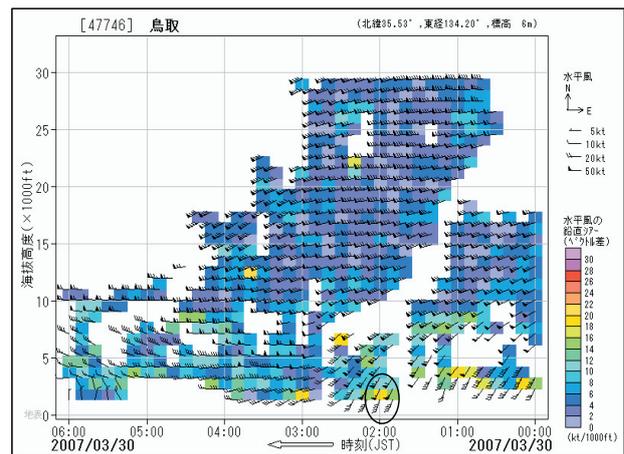
2916<16>Tsfc,Wsfc

第7図d 3月30日01時の毎時大気解析



第8図a 浜田のウインドプロファイルデータ

丸印付近に着目すると、00時50分頃下層に強い鉛直シヤーをもつ寒冷前線が通過していることがわかる。



第8図b 鳥取のウインドプロファイルデータ

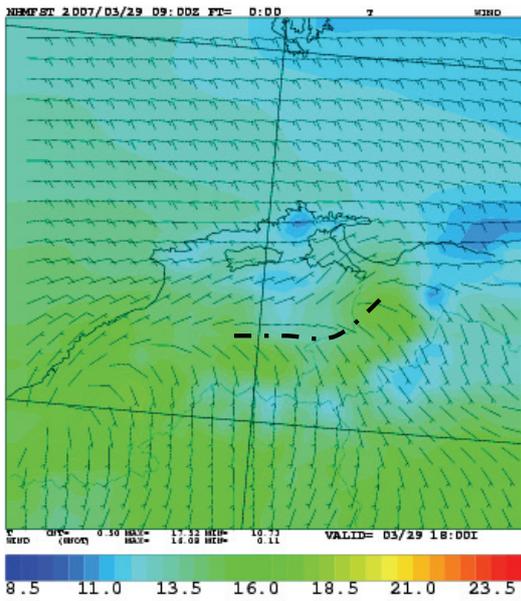
丸印付近に着目すると、02時00分頃下層に強い鉛直シヤーをもつ寒冷前線が通過していることがわかる。

もつ構造の寒冷前線が接近することにより鉛直シヤアの値が非常に大きい場が形成されたことが考えられる。

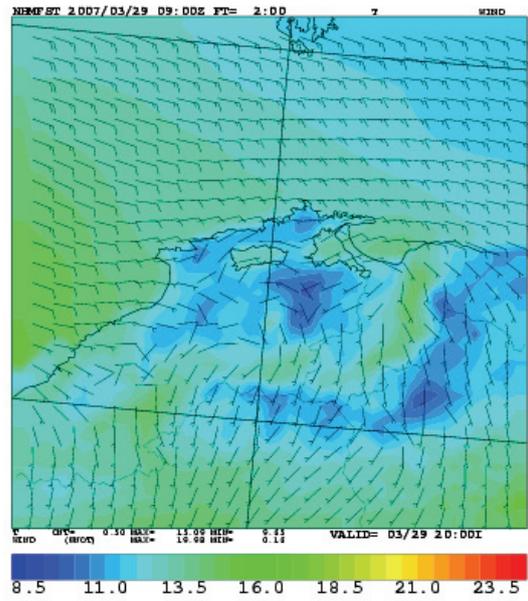
3-2. 非静力学モデル実験の結果と考察

第9図 a,b,c,dはNHMでの再現結果で地上の気温と風を表示したものである。また、第10図は再

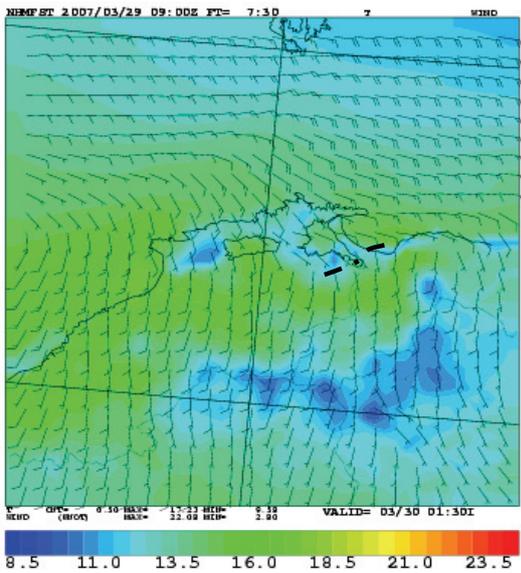
現実験に用いた地形である。これをみると18時には山陰沿岸では宍道湖を中心とした平野部は、海上から東風が入り込んできており10度前後となっている。またその南側の山間部との境のところで南風と東風の明りょうなシヤアが解析できる。その後20時には南風の場合は北に侵入してくるが、宍道湖を中心とした平野部には夜間の冷却も加わり低温



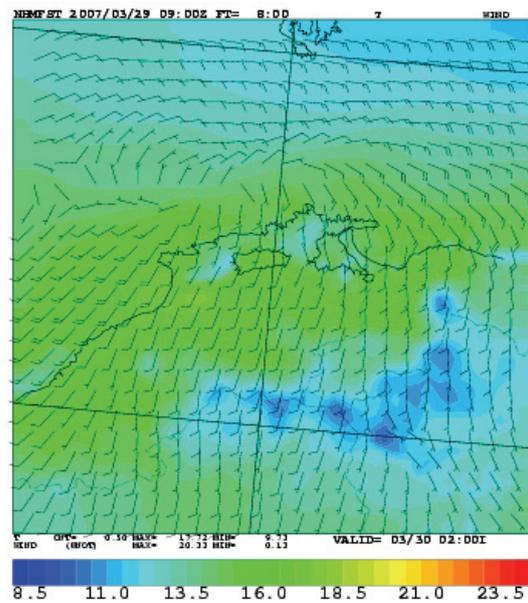
第9図 a NHMでの再現結果 (2007年3月29日18時)
一点鎖線は南風と東風のシヤーライン



第9図 b NHMでの再現結果 (2007年3月29日20時)



第9図 c NHMでの再現結果(2007年3月30日01時30分)
一点鎖線は南風と東風のシヤーライン

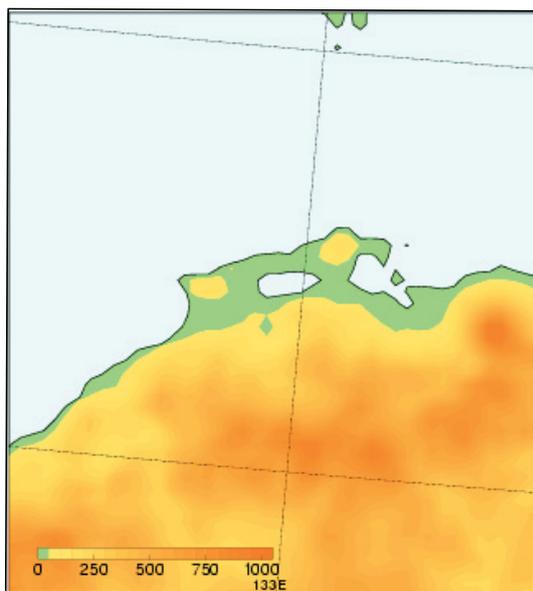


第9図 d NHMでの再現結果 (2007年3月30日02時)

域が取り残されている。突風が起きる直前の30日1時には南風の場合はさらに北に侵入して、全体的に夜間に気温が上昇してきているが、宍道湖を中心とした平野部の低温域はなお取り残されており、東風と南風のシヤーラインは弓ヶ浜半島まで北上している。突風発生後の2時には孤立していた低温域は解消し、平野部を含めて山陰沿岸は全体的に南風の間になっている。この数値実験の結果からも米子付近での冷氣だまりの存在がはっきりしている。また、突風発生直前には下層水平シヤーの存在が孤立した冷氣だまりの中に見られ、突風発生後はそれが冷氣だまりの解消と共に無くなっている。

3-3. 突風関連指数からみた考察

第11図a,b,cは、寒冷前線に伴う竜巻事例のEHI, CAPE, SReHを比較してみたものである。この図は「突風に関する気象情報支援資料」(気象庁予報部・観測部, <http://prfl.fcd.naps.kishu.go.jp/~yohokasb/Severe/index.html>)に載せられているデータ(突風に関連した各種指数の統計値について)をもとに作成した。ここでEHIはエナジーヘリシティ指数と呼ばれ、その物理的意味はスーパーセル又は竜巻の発生しやすさを表し



第10図 モデルでの地形

たものである。(Raumussen and Blanchard,1998)など)このEHIはストームに相対的なヘリシティ(SReH)と呼ばれるファクターとCAPEの相乗効果で評価されている。ここでSReHの物理的意味は鉛直シヤーから発生する水平渦が竜巻の母雲に取り込まれやすい場かどうかを見積もる値であり(第12図参照)、別の言い方をすればEHIは積乱雲に流入する気塊が運び込む回転(渦)の大きさと、その水平渦を傾けて上昇させる効果を評価したものである。米国では、SReHの値と竜巻発生リスクの関係として、

- 150 : スーパーセルが発達するための下限
- 150 ~ 299 : 弱い竜巻 (F0 ~ F1) の可能性
- 300 ~ 449 : 強い竜巻 (F2 ~ F3) の可能性
- 450 以上 : 破壊的な竜巻 (F4 ~ F5) の可能性

が使われている。またEHIについてはEHIの値と竜巻発生リスクの関係として、

- 1.0 ~ : スーパーセル発達の可能性あり
- 2.0 ~ : スーパーセル発達の非常に高い可能性あり
- >4.0 ~ : 顕著な竜巻が発生する可能性が高い

が使われている。

第11図から、米子での今回のイベントではEHIそのものの値は他の竜巻事例に比べてそれほど高くないが、EHIのファクターであるSReHの値が他の事例を抜いて非常に高いことがわかる。なおCAPEについては値そのものに季節的なバイアスがあるため、この値のみを他の竜巻事例と比較して突風のポテンシャルを議論することは問題があると考えられる。SReHは鉛直シヤーによる渦度とストームに相対的な風ベクトルとの内積をある高度について足したものと解釈できる。したがって今回の観測事実に見られたような安定した穏やかな風の弱い部分の上空に急激に風が強くなるような大気状態は、徐々に風が強くなる大気状態に比べて鉛直シヤーを増大させ、大きなSReHの値をもつ可能性が高いとよい。今回の事例の高いSReH

の値もその大気状態を反映したものと考えられる。

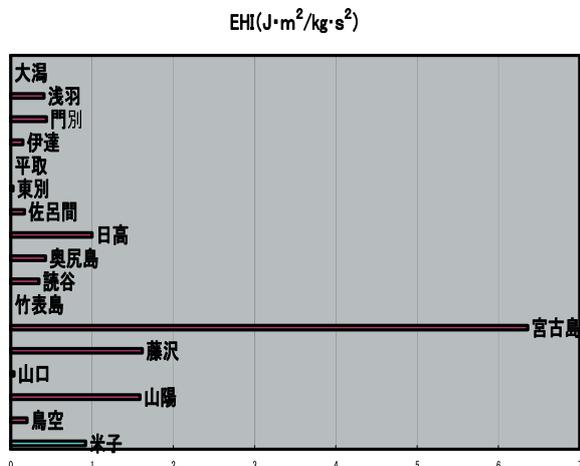
4. おわりに

第 13 図は今回の観測事実、及び NHM による再現実験、そして高い SReH から推察した突風の背景の概念図である。今回の調査では突風がおきた背景として、下層に非常に強いシヤーをもった寒冷前線の構造と、鉛直シヤーをさらに強化する冷気だまりの存在に着目した。突風に関してはある一つの地点についてみれば実例が少なく、地域特性を定量的

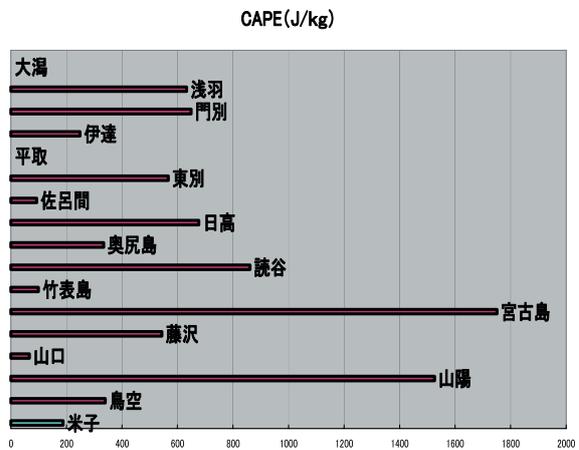
に検討するのは困難であるが、この二つの着目点は今後突風に関する予測を進めていく上で実況監視の一つの項目になると考えられる。

謝辞

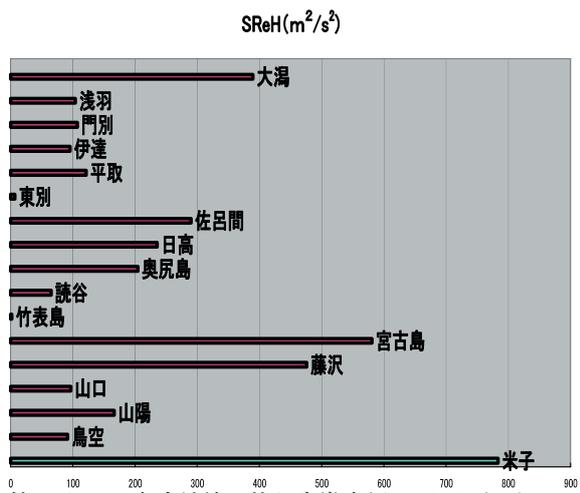
本研究を進めるにあたり、防衛大学地球海洋学科の小林文明先生には有益なコメントを頂きました。また航空自衛隊美保基地の美保気象隊からは気温などの気象データを頂きました。また米子測候所技術課の石川克則さんには文章の校正で、山口雄一



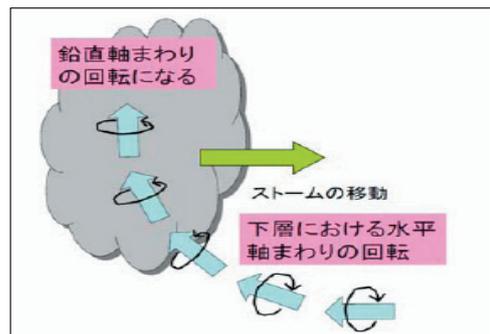
第 11 図 a 寒冷前線に伴う竜巻事例の EHI (エナジーヘリシティーインデックス) (2003 年～2007 年)



第 11 図 b 寒冷前線に伴う竜巻事例の CAPE (2003 年～2007 年)



第 11 図 c 寒冷前線に伴う竜巻事例の SReH (ストームに相対的なヘリシティー) (2003 年～2007 年)



$$SReH = \int_{地上}^{3km} (\mathbf{V} - \mathbf{C}) \cdot \boldsymbol{\omega}_h dz \quad (\text{単位: } m^2/s^2)$$

$$\boldsymbol{\omega}_h = \left(-\frac{\partial v}{\partial z}, \frac{\partial u}{\partial z} \right) : \text{鉛直シヤーによる水平渦度}$$

$\mathbf{V} = (u, v)$: 水平風ベクトル
 \mathbf{C} : ストーム (積乱雲) の水平移動ベクトル

第 12 図 SReH の式と概念図 (本庁予報部と観測部が作成した「突風に関する支援資料」より)

さん、栗塚潤さんには被害調査のまとめで、田邊秀樹さん、森野康久さんには突風指数の調査で大変お世話になりました。最後に本研究を行うにあたりお世話になった皆様に感謝申し上げます。

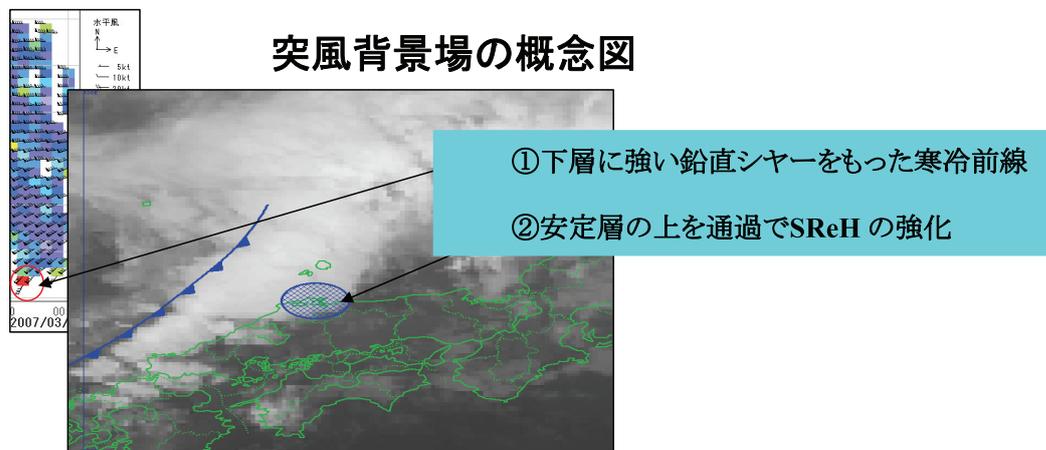
Rasmussen,E.N.and D.O.Blanchard,1998 : A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. Wea.Forecasting,13,1148-1164

参考文献

平成 19 年 3 月 30 日鳥取県米子市で発生した突風について. 鳥取地方気象台 米子測候所 現地調査報告書

岩崎博之・小林和名・勅使河原茜 (2003) : 北側の日本瓦屋根に被害が集中した竜巻の事例解析 . 天気 ,50,919-922

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 (2007) : 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 ,54,53-64



第 13 図 3 月 30 日の突風背景場の概念図

