

# 平成29年台風第21号に伴って神戸付近に形成された 低気圧への中国・四国・近畿地方における大気構造の関与

伊 藤 忠\*

## 1. はじめに

平成29年台風第21号(以後、本文中では「台風1721」天気図中では「台21号」と表記する)が超大型かつ非常に強い勢力で紀伊半島の南東海上を進んだ2017年10月22日深夜から23日未明(以後、日時は日本時間で示す)にかけて近畿地方では全般に強い北寄りの風が吹き、神戸では23日午前0時33分に最大瞬間風速45.9m/sの北北西の風を観測した(大阪管区気象台2017)。神戸での最大瞬間風速としては「ジェーン台風」通過時に次ぐ歴代3位の強風で、「第2室戸台風」の通過時をも上回るものであった(気象庁2017a)。

神戸地方で北寄りの強風といえば「六甲おろし」がある。台風を含む発達した低気圧が紀伊半島から東海地方の南に存在する場合にしばしば六甲おろしが発現する(横田・中島1992;猪野ほか2009;佐々木ほか2015)。横田・中島(1992)は、平成2年台風第21号(台風9021)が紀伊半島に上陸したとき、六甲山地の風下側の神戸のすぐ東側に台風とは別の低気圧が形成されたことを局地地上天気図で示している。彼らは、大阪湾での地上風の収束によって引き起こされた上昇流がおろしに伴う局在した上昇流(internal hydraulic jumpの上昇流とみなせる)をさらに強化しており、このことは六甲山系の風下に低気圧が形成されたことと矛盾しないと述べている。

台風1721が紀伊半島の南東海上を進んだときも六甲おろしが発現し(株式会社ウェザーニューズ2017a;原2018)、六甲山の風下側に台風とは別の局地的な低気圧が形成された(原2018)。神戸が台風の進路の左側にあったにもかかわらず、上述のような強風になっ

たのは六甲おろしの発現のほか、局地的な低気圧が形成され、神戸付近で気圧傾度が大きくなったことが関係したものと考えられる。この低気圧は少なくとも9時間は同じような位置に存続した。気象の空間スケールと存続時間との関係(Orlanski1975)から考えると、この低気圧の存続には、これまで述べられている六甲山周辺の気象のみでなく、中国・四国地方から近畿地方にわたる数100kmスケールの気象も関与したと考えられる。以上をふまえ、中国・四国地方から近畿地方にかけての気象官署およびアメダスの地上観測データおよび気象庁のメソ数値予報モデル(Meso-scale model; MSM)のデータを解析し、この局地的な低気圧に中国・四国地方から近畿地方にわたる大気構造がどのように関わったかについて考察した。

## 2. データの収集について

地上の観測データは、気象官署およびアメダスで観測された値(気象庁2017b)を用いた。台風の中心位置と中心気圧は気象庁発表のものを用いた。地上の等圧線、等温線の描画は筆者の主観解析によるものである。

高層の気温と露点温度は、株式会社ウェザーニューズのウェブサイト「MyWeatherSolution」の「Labs Channel」に気象官署・アメダス地点のエマグラムの形で表示(株式会社ウェザーニューズ2017b)されている気象庁のMSM解析データを読み取って用いた。エマグラムからの読み取りであるので±0.5°C程度の誤差を含む。等値線の描画は筆者の主観解析によるものである。このため、高層図にはある程度の誤差を含むが、大略の気象状況は把握できているものと考えられる。

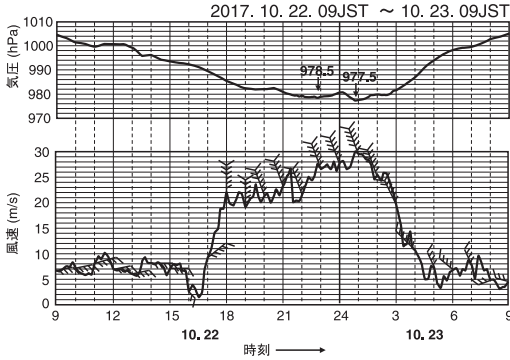
## 3. 台風1721に伴う神戸での気象状況

第1図は2017年10月22日9時から23日9時にかけて

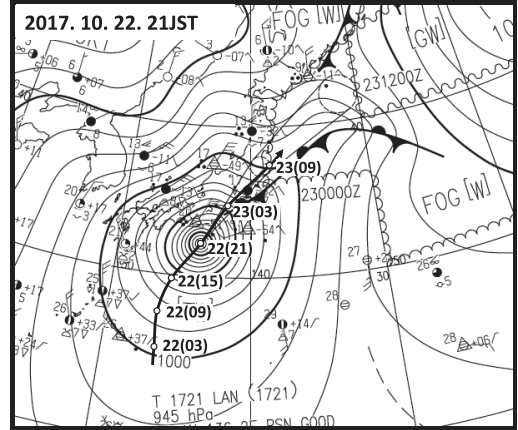
\* Tadashi ITO, 気象予報士会東海支部。

spf927z9@hm.aitai.ne.jp

© 2020 日本気象学会



第1図 2017年10月22日9時から10月23日9時にかけての神戸における気圧(海面気圧)および風向・風速(平均風速)の時系列変化。気圧と風速は10分毎、風向(ビューフォート風力階級を表した矢羽根、北が上)は毎正時のプロットである。



第2図 2017年10月22日21時の地上天気図と台風1721の進路。同時刻の気象庁アジア太平洋地上天気図から台風1721を含む日本付近を抽出し、気象庁台風位置表に示された台風1721の位置を追記。

の神戸における海面気圧と風の状況をプロットしたものである。神戸では10月22日18時ごろ、それまで東寄りだった風向が急に北寄りに変わり、風速が約20m/sに強まった。北寄りの風は22日24時過ぎには約30m/sに達し、ちょうどこの時間帯に最低気圧を観測した。その後も風速20m/sを超える強風状態が23日3時ごろまで持続した。第2図に示したように、この時間帯には、台風1721は四国の南海上(22日15時)から掛川市付近(23日3時)にあった。

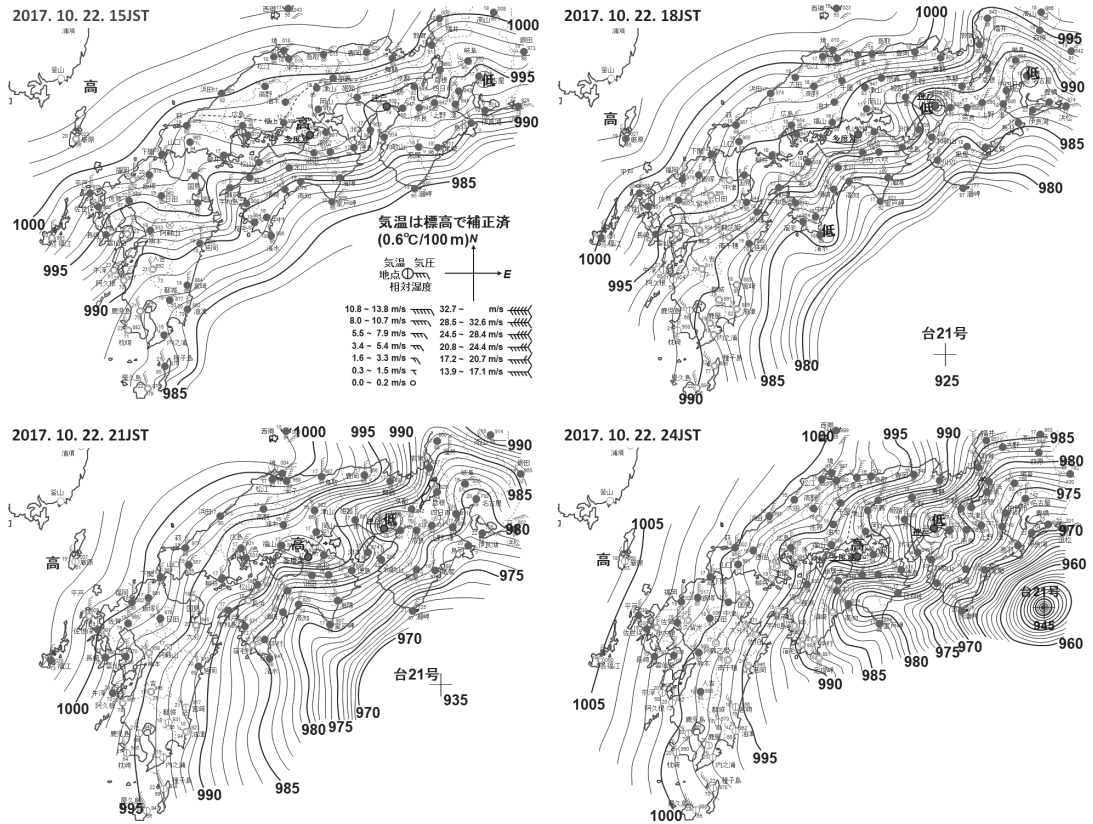
#### 4. 西日本の地上の気圧配置と気温分布

第3図は、10月22日15時から24時にかけての西日本の地上気圧配置図を作成したものである。18時、21時および24時における台風の位置と中心気圧は気象庁台風位置表の確定値(気象庁 2017c)から引用した(第2図と第3図の21時の天気図で台風の中心気圧が異なるのは、速報値(第2図)と確定値(第3図)の違いによる)。15時の時点では、大阪湾から神戸付近にかけて低圧側から気圧の谷が北に延びているが、低気圧として閉じた等圧線で解析されるまでには至っていない。18時以降、神戸付近に閉じた等圧線の低気圧が明確に解析された。図は省略したが、この低気圧は10月23日3時の時点でも存在した。神戸はこの低気圧のすぐ西あるいは南西の気圧傾度の大きい地点に当たっている。この低気圧の形成によって、神戸の風向が東寄りから北寄りに急変し、20m/s以上の強風となった。

第3図でもう1つの特徴的なことは、瀬戸内海から東南東に香川県方面にかけて高圧部が張り出していることである。15時、21時および24時には、この高圧部の張り出した領域内の多度津付近に周囲より0.5hPaから1hPa高い閉じた等圧線で表される高気圧が形成された。

第4図は神戸における平均風速と、多度津と神戸の海面気圧の差との関係を示したものである。神戸の風速と、多度津と神戸の気圧差がほぼ同期して増減している。このことから、神戸における強風が六甲山によるおろし風の効果だけでなく、香川県付近に高圧部が形成され、神戸付近に低気圧が形成された効果が大きく関係したことが示唆される。

第5図は西日本の気温分布を示したものである。なお第5図は、気象官署およびアメダスで観測された地上気温を0.6°C/100mで海拔0mに標高補正し、等温線を描画したものである。第5図を見ると、15時の時点で標高補正した気温17°Cの冷域が瀬戸内海に広がっており、その一部は東に張り出し大阪湾に達している。瀬戸内海の冷域の気温(標高補正值)は時刻を追うごとに下降し、低い所で18時と21時には16°C、24時には15°Cの冷氣塊となった。この冷氣塊の位置は香川県付近の高圧部の位置にほぼ対応している。一方、神戸の北東側には標高補正した気温で18°Cの暖気塊がほぼ停滞して存在した。この冷氣塊と暖気塊の間の気温傾度の大きいところの、暖気塊のすぐ南西に低気圧が

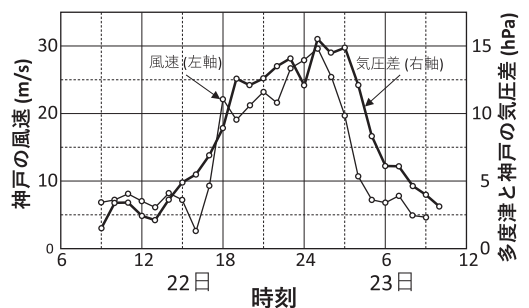


第3図 2017年10月22日15時から24時にかけての西日本の地上気圧配置。台風を中心位置と中心気圧は気象庁台風位置表（確定値）による。このため21時の台風を中心気圧が第2図（速報値）と異なる。気象庁の地上観測値をプロットし、主観解析により等圧線を描画した。実線の等圧線は1 hPa 間隔である。破線の等圧線は、局地的な気圧分布を表示するため、実線の等圧線の値から0.5hPa隔たった値の等圧線である。

形成された。

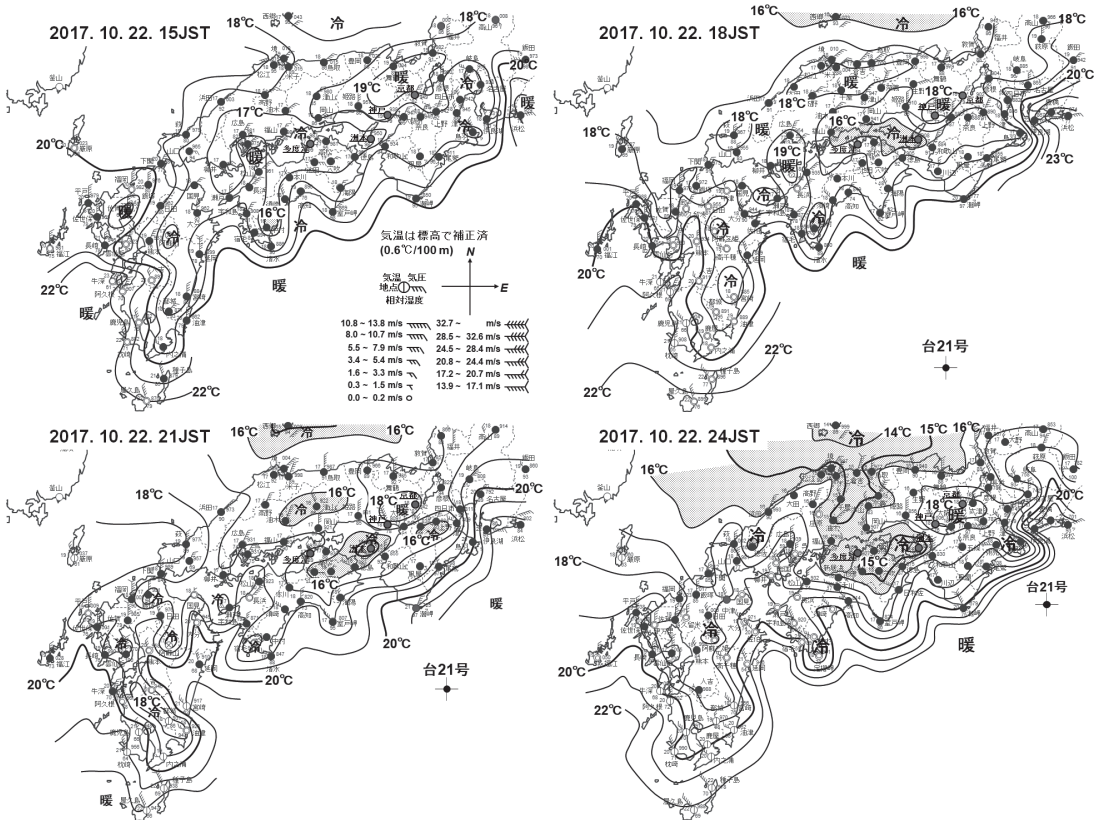
### 5. 瀬戸内海東部の冷気塊と神戸の北東側の暖気塊の成因

第6図は10月22日24時における中国・四国地方の風、温位、および気温の鉛直断面図である。日本海上空の700hPa 高度付近に形成された安定層は瀬戸内海上空では800hPa 高度まで下がり、四国山地の剣山山頂（標高1955m）にほとんど接する状態になっている。このため、日本海からの比較的低温の北寄りの風が中国山地を越えて瀬戸内海に吹き降りると四国山地を越えられず、瀬戸内海に滞留することになる。一方で、地上観測結果によれば（気象庁 2017b）、この冷域内の、例えば多度津では15時から24時にかけて5 mm/h 前後の降水が続いていたことから、降水の蒸発もこの地域の冷却に寄与したかもしれない。ただ、この時間



第4図 2017年10月22日6時から23日12時にかけての神戸の平均風速と、多度津と神戸の海面気圧差との関係。

帯で相対湿度が85%～99%と高い値に維持されていたことから、降水の蒸発による冷却の効果は比較的小さかったと思われる。さらにこの時間帯の時間当たりの

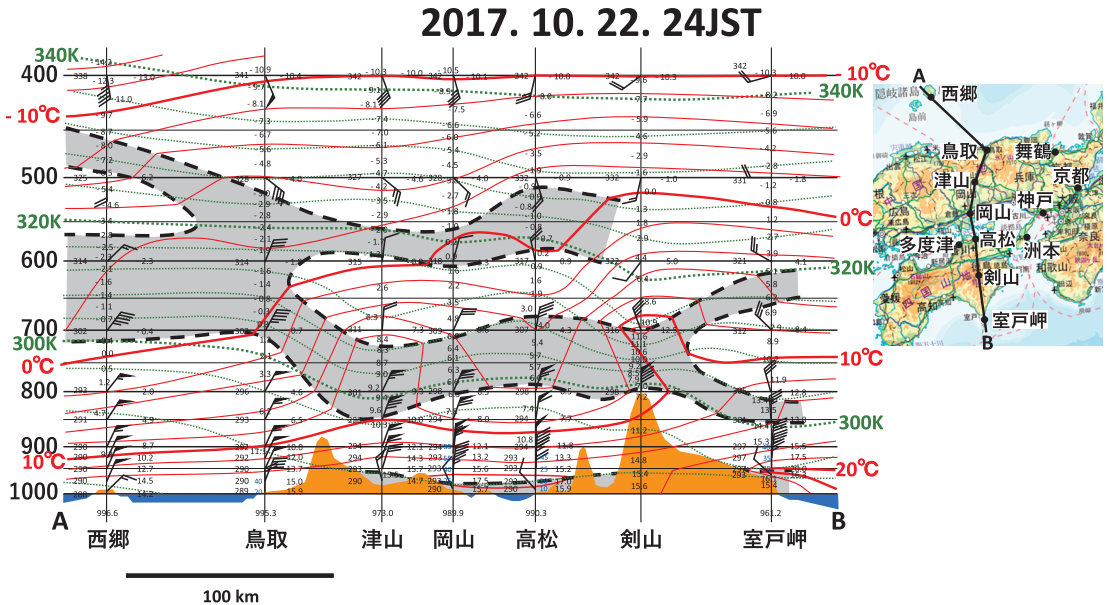


第5図 2017年10月22日18時から24時にかけての西日本の気温分布。気象官署およびアメダスで観測された地上気温を0.6°C/100mで標高補正してプロットした。等温線の描画は筆者の主観解析による。瀬戸内海から近畿にかけての16°C以下の領域を網掛け表示した。

日照時間が0分であったことから、夜になることによる日射量の変化も冷却にあまり寄与しなかったと考えられる。このことから、第5図に見られた16°Cないし15°Cの冷氣塊は主に日本海から中国山地を越えて瀬戸内海に侵入した冷気が蓄積、滞留することによって形成されたものと推察される。第3図に示したように、10月22日24時の時点で台風1721は紀伊半島の南東海上にあったので、西日本では大局的には西側で気圧が高く東側で低い。このため瀬戸内海に溜まった冷気は東側に流れる。これは第5図で冷氣塊が東に張り出し大阪湾に達していたことに対応する。

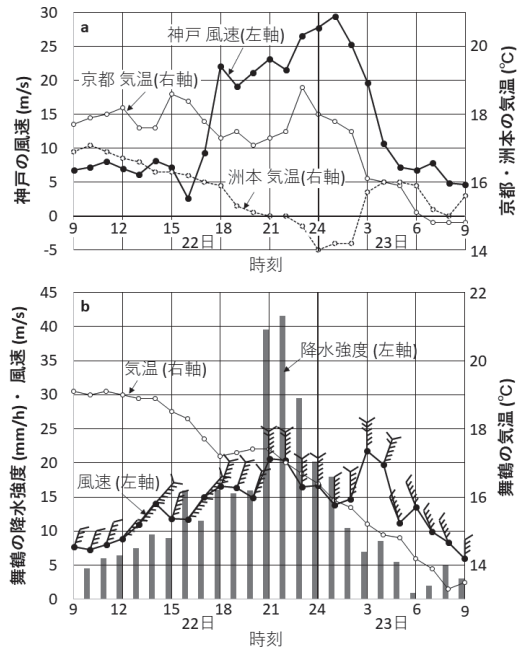
第7図aは、第5図において暖気塊が近くに存在した京都と、瀬戸内海からの冷気が侵入した洲本における10月22日9時から10月23日9時にかけての気温の時系列変化を神戸における風速の時系列変化と対比させたものである。ここでは気温は測定値をプロットしてある。京都の気温は22日午前中から18°C前後の比較的

高い値を示していた。これはおそらく台風1721を東から回り込む暖気が愛知県東部、濃尾平野を通して京都盆地まで入り込んだ結果と思われる。これは、第5図で15時から21時にかけて見られた愛知県東部から延びる気温の尾根からもうかがえる。24時になると、若狭湾からの北西の風によって濃尾平野に冷気が入り、気温の尾根が濃尾平野付近で切り離され、京都盆地の暖気塊が顕著になった。また、神戸での風速が急速に増加した22日18時ごろから洲本の気温が降下している。瀬戸内海からの冷気が東に張り出すことによって大阪湾での気温が下がり京都の気温の高さが際立った。さらに第7図aをよく見ると、京都では22日20時から夜にもかわらず気温が上昇している。すなわち、この加熱は少なくとも日射によるものではない。第7図bは京都の風上の舞鶴における降水強度、風、および気温（測定値）の時系列変化を示したものである。図は省略するが、気象庁衛星画像によれば、台風1721のア



第6図 2017年10月22日24時における中国・四国地方の風(矢羽根), 温位(緑点線)および気温(赤実線)の鉛直断面図. 株式会社ウェザーニューズのウェブサイトにてエマグラム形式で示された気象庁のMSM解析値を読み取って描画した. 太い黒色の破線で囲まれた灰色領域は等温位線の密集度から解析された安定層を示す. 矢羽根の旗, 長棒および短棒はそれぞれ風速50ノット(25m/s), 10ノット(5m/s), 5ノット(2.5m/s)を表す. 断面図の右側の図は, 国土地理院電子国土Webから引用した地図上に各地点の位置を示したものである.

ウターバンドが舞鶴にかかりはじめ, 22日18時ごろから降雨強度が15mm/h以上に強まった. 特に21時ごろには30mm/h以上の激しい雨となり, 風速も北の風約20m/sとなった. 舞鶴における強い北寄りの風が丹波高地によって強制上昇して京都方面に吹き降りたと考え, 丹波高地の平均的な標高800m(二宮書店編集部2013), および舞鶴の気温と露点温度から京都の気温を見積もる. 舞鶴(標高2.4m)における10月22日21時から24時にかけての平均的な気温17°C, 露点温度15°Cの空気(持上凝結高度はHenningの公式(正野1960)により約250mと計算される)が丹波高地の頂上まで上昇すると気温, 露点温度ともに約11.8°Cとなる(乾燥断熱減率=1°C/100m, 湿潤断熱減率=0.5°C/100mと仮定). その空気が京都(標高40.8m)まで乾燥断熱的に下降すると気温約19.3°Cと計算される. この値は10月22日23時の京都の気温18.8°Cに近い. この計算から, 京都において夜間に気温が上昇したのは舞鶴方面からの北寄りの風によるフェーン現象によるものと考えられ, このフェーン現象も京都付近の暖気塊を顕著化するのに寄与したと考えられる.



第7図 2017年10月22日9時から23日9時にかけての時系列. (a) 京都および洲本の気温と神戸の平均風速の時系列変化, (b) 舞鶴における降水強度, 気温および風の時系列変化. 風向の表し方は第1図と同じ.

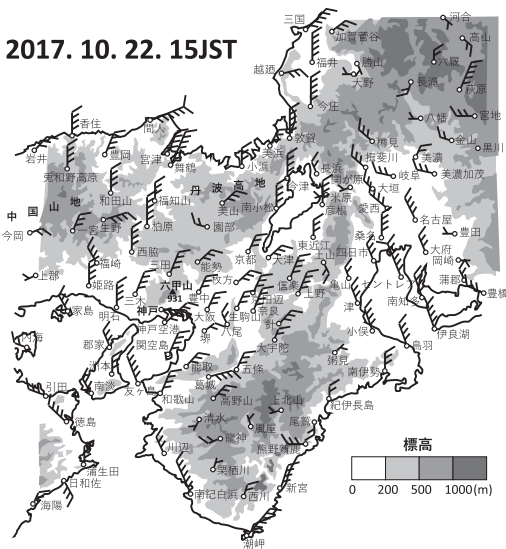
### 6. 神戸付近の低気圧への数100km スケールの大気構造の関与

第8図は、神戸付近に閉じた等圧線で示される低気圧が形成される前の22日15時の近畿地方の風の状況を近畿地方の地形とともに示したものである。中国山地と丹波高地との間の谷筋を通り抜けた風、丹波高地の山越え流が六甲山系を迂回した風および大阪平野からの風が大阪湾で収束している。この収束によって形成された上昇流によって大阪湾での気圧が低下し、第3図で見たように、大阪湾付近に低圧側から北に延びる

気圧の谷が形成されたものと考えられる。第8図で、神戸周辺域の風向に低気圧性循環が見られることから、閉じた等圧線の形成には至っていないものの低気圧が発生し始めていることがうかがえる。18時になると、神戸の風向が北寄りに変わり風速も約20m/sに強まった(第1図)。これは北寄りの風が六甲山系を越えて六甲おろしとなって神戸まで吹き降りたことを示す。

横田・中島(1992)の事例では、大阪湾での風の収束によって引き起こされた上昇流がおろしに伴う局在した上昇流(internal hydraulic jumpの上昇流とみなせる)をさらに強化していると述べている。これを、おろしに伴う局在した上昇流が先にあって、これを大阪湾で収束した風による上昇流が局在した上昇流をあとから強化したと読み取るならば、本稿の事例ではこれとは逆の過程が起こっていたと解釈できる。第8図に示したように、10月22日15時の神戸における風向が東寄りであることから六甲おろしはこの時点では発現していない。また、第3図に示したように、低気圧の形成もまだ明瞭でない。しかしこの時点でも大阪湾で風の収束が明瞭である。すなわち、本稿の事例の場合には大阪湾での風の収束による上昇流がまず先にあって、これにより低気圧循環が始まり、あとから六甲おろしに伴った局在化した上昇流が加わることによって、18時には閉じた等圧線で表される低気圧にまで発達したのではないかと考えられる。

次に、神戸付近の低気圧がどのようにして維持されたかを、特に数100kmスケールの大気構造の観点から考察する。第9図はこれまで述べてきた中国・四国地方から近畿地方にかけての大気構造と神戸付近に形成された低気圧との関係を総括的に示したものである。



第8図 神戸付近に低気圧が形成される前(2017年10月22日15時)の近畿地方における風の状況。矢羽根は各観測地点における風向とビューフォート風力階級を表す。

第1表 1991年から2019年の間で神戸の南東を進行した台風によって神戸で平均風速20m/s以上を記録した事例について神戸と洲本および神戸と多度津の海面気圧差、ならびに岡山県奈義の最大風速(広戸風)との関連。奈義の風速は、神戸で最大風速を観測した時刻直近2時間以内の最大風速観測値で、その風向および観測時刻とともに示した。

年. 月. 日	時刻	台風	神戸		神戸-洲本		多度津-神戸		奈義	
			風向	風速 (m/s)	気圧差 (hPa)	気圧差 (hPa)	時刻	風向	風速 (m/s)	
2009.10.08	3:30	18号	北北西	24.4	-4.5	12.0	4:30	北	16.1	
2012.09.30	14:40	17号	北	22.0	-2.3	7.3	14:00	北東	6.6	
2013.09.16	5:20	18号	北北西	24.9	-4.5	10.9	4:10	北北東	21.0	
2014.10.06	6:30	18号	北	21.1	-7.4	13.6	5:30	北	21.4	
2014.10.13	22:10	18号	北北西	22.0	-5.2	9.8	21:50	北	26.7	
2017.10.23	0:50	21号	北北西	30.1	-7.4	15.7	23:50 (22)*	北	31.0	
2018.09.30	22:20	24号	北西	21.8	-7.6	14.1	21:20	北北東	20.6	
2019.10.12	12:10	19号	北北西	20.2	-3.9	7.2	11:50	北	18.8	

\*神戸で最大風速を観測した日(23日)の前日(22日)

第2図に示したように、台風1721が紀伊半島の南東海上を北東に進むことによって、台風の進路の左側の地域では北寄りの風となった。第6図に示したように、瀬戸内海上空に形成された安定層が四国山地の頂上にはほとんど接するように形成されたため、北寄りの風に伴って中国山地を越えた冷気は四国山地を越えられず瀬戸内海に滞留し、これに伴って香川県の多度津付近に高気圧が形成された。第5図に示したように、瀬戸内海に滞留した冷気の一部は東に張り出し大阪湾に達した。一方、愛知県東部、濃尾平野を通して京都盆地まで侵入していた台風1721の進行前面の暖気は、台風1721が紀伊半島南東海上を進むのに伴って若狭湾方面から濃尾平野に吹き込む北西風によって切り離され、京都盆地には暖気塊が残ることとなった。この暖気塊は、丹波高地を越えたフェーンによってさらに顕著なものとなった(第7図)。これら2つの効果によって、神戸付近では気圧傾度と気温傾度が増加した。この傾圧性の強まった状態によって維持された低気圧が六甲おろしを強めることにより、跳ね水現象(internal hydraulic jump)など六甲おろしに伴った局地的上昇流がさらに強まるという両者の相互作用によって低気圧が維持されたものと考えられる。

### 7. 今回の事例とその他の神戸での強風事例との類似性

神戸の南東を台風が進行し、神戸で六甲おろしを伴った風速20m/sを超えるような強風が吹いたときには今回述べた大気構造が普遍的に形成されたのかどうかを評価するために、1991年から2019年にかけての該当する事例について神戸と洲本および神戸と多度津の



第9図 台風1721が紀伊半島の南東海上を進行したときの中国地方から近畿地方にかけての大気構造と神戸付近の低気圧の形成・維持過程の説明図。

海面気圧差、ならびに岡山県奈義の風速(広戸風)を調査した。

第1表はその結果をまとめたものである。第1表を見ると、神戸の気圧は洲本の気圧より2.3hPaから7.6hPa低く、多度津の気圧は神戸の気圧より7.2Paから15.7hPa高い。また、岡山県奈義において広戸風が観測され、風速が20m/s前後に達していることが多い。広戸風が吹くときは中国山地から瀬戸内海にかけて安定層が見られることが知られている(中村ほか2002;大塚 2006)。中国山地の風下側での強風は北からの冷気を高速に瀬戸内海に送り込み、安定層はこの冷気に「ふた」をする効果をもつので、広戸風の吹く状況は瀬戸内海に冷気を蓄積し、高気圧の形成に寄与したと考えられる。第1表から、神戸の南東を台風が進行し、神戸で20m/s以上の強風が観測されたときには、これまで述べてきた大気構造が中国・四国地方から近畿地方にかけて形成されていたことを示唆する。

また第1表は、広戸風が神戸における強風に先行する傾向にあることを示している。広戸風が神戸における強風をあらかじめ知るための助けとなるかも知れない。この点については今回の調査だけでは不十分なので今後の課題としたい。

### 8. まとめ

台風1721が紀伊半島の南東海上を進んだ2017年10月22日18時から10月23日3時にかけて神戸で平均風速20m/s以上の強風が観測された。このとき、神戸周辺に低気圧が持続して存在した。

本稿の事例の場合には、この低気圧は、大阪湾での風の収束による上昇流によって形成された低気圧性循環が六甲おろしに起因した現象(跳ね水現象など)によって強められることにより形成されたと考えられる。

一方、瀬戸内海に滞留した冷気が安定層によって四国山地を越えられず大阪湾に張り出し、京都盆地に形成された切り離された暖気との間で大きな気温傾度を形成した。この傾圧性の増加が神戸付近の局地的な低気圧の維持に寄与したと考えられる。この低気圧が六甲おろしをさらに強化し、六甲おろしに起因した局地的上昇流を強めるという両者の相互作用によって低気圧が維持されたものと考えられる。

### 謝辞

本調査報告には、一般社団法人日本気象予報士会第10回研究成果発表会(2018年2月24日実施)において、

要旨集には記載しなかったが口頭では触れた内容を含む。同発表会でご討論下さった方々に感謝する。また、株式会社ウェザーニューズにはそのウェブサイトのコンテンツの高層データの利用を許可していただき感謝する。第6図右側の地図は、国土地理院「電子国土Web」<https://maps.gsi.go.jp/#7/34.479392/134.483643/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>から引用し、濃淡を変更したものである。国土地理院コンテンツ利用規約に基づき上記のように出典を明記する。

#### 参 考 文 献

- 原 基, 2018: 2017年10月22日に観測された神戸の暴風について. てんきすと, 110, 8-9.
- 猪野智成, 清原康友, 東 邦明, 永野良紀, 加藤央之, 2009: 六甲山地南麓における寒候期のおろし風の解析. 日本大学文学部自然科学研究所研究紀要, 44, 219-226.
- 株式会社ウェザーニューズ, 2017a: 超大型で強い台風21号について. Wx Files, 43, 1-10.  
<https://jp.weathernews.com/news/19375/> (2020. 6. 8閲覧).
- 株式会社ウェザーニューズ, 2017b: Labs Channel.  
[http://labs.weathernews.jp/EMAGRAM\\_fcst/index.cgi?DISP=LIST](http://labs.weathernews.jp/EMAGRAM_fcst/index.cgi?DISP=LIST) (2020. 6. 8閲覧).
- 気象庁, 2017a: 観測史上1~10位の値 (年間を通じての値).  
[http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/rank\\_s.php?prec\\_no=63&block\\_no=47770](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/rank_s.php?prec_no=63&block_no=47770) (2020. 6. 8閲覧).
- 気象庁, 2017b: 過去の気象データ検索.  
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2020. 6. 14閲覧).
- 気象庁, 2017c: 過去の台風資料, 2017年台風第21号 LAN (1721) 位置表.  
<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/typhoon/T1721.pdf> (2020. 6. 14閲覧).
- 中村みゆき, 上甲 実, 塚本 修, 金森恒雄, 東 克彦, 川田一昭, 木邨 弘, 亀井紀男, 鎌田忠彦, 筆保弘徳, 2002: 那岐山山頂における観測からみたおろし風 (広島風) の発生条件. 天気, 49, 129-139.
- 二宮書店編集部 編, 2013: 高等地図帳2013-2014. 二宮書店, 144pp.
- 大阪管区気象台, 2017: 平成29年10月20日から23日にかけての台風第21号と前線による大雨と暴風について (大阪管区気象台管内: 近畿・中国・四国地方の気象速報).  
[https://www.jma-net.go.jp/osaka/kikou/saigai/pdf/sokuhou/20171023\\_kanku.pdf](https://www.jma-net.go.jp/osaka/kikou/saigai/pdf/sokuhou/20171023_kanku.pdf) (2020. 6. 8閲覧).
- 大塚清敏, 2006: 台風0423号による広島風の大規模発生事例の数値実験. 第19回風工学シンポジウム論文集, 199-204.
- Orlanski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. Bull. Amer. Meteor. Soc., 56, 527-530.
- 佐々木秀孝, 村田昭彦, 川瀬宏明, 花房瑞樹, 野坂真也, 大泉三津夫, 水田 亮, 青柳曉典, 志藤文武, 石原幸司, 2015: 局地風の将来予測の可能性. 気象研究所技術報告, 73, 54-62.
- 正野重方, 1960: 気象力学. 岩波書店, 284pp.
- 横田寛伸, 中島 肇, 1992: 六甲おろしに伴う風下のロール雲. 天気, 39, 469-471.