

令和2年台風第10号に伴って伊勢湾周辺に形成された 線状の降水系周辺のメソ気象場

伊藤 忠*

1. はじめに

令和2年台風第10号(以後「台風2010」と称す)が九州の西の海上を北上し対馬海峡に達した2020年9月7日6時ごろ(以後, 日時は日本時間で表す), 台風2010のアウトーバンドが紀伊半島にかけ, 9時には伊勢湾に線状の降水系が形成された(第5図挿入の気象庁レーダー画像). 台風の移動によるアウトーバンドの東進に伴い, この線状の降水系も伊勢湾地域を東進し, 12時には愛知県東部に達した(第4図). この降水系が通過した岐阜県, 愛知県, 三重県で10分間降水量が15mm(時間当たりに換算すれば90mm/h)前後の強い降水が観測された(気象庁 2020a).

シビアナ降水は, 複数個の積乱雲が100km規模のメソスケールに集合し, 線状に組織化されることによって引き起こされることが多い(小倉 1997). 線状に組織化された積乱雲系による東海地方の豪雨としては, 2000年9月11日から12日にかけて発生したいわゆる東海豪雨(名古屋地方気象台 2000), 2008年8月26日から31日にかけての平成20年8月末豪雨(いわゆる岡崎豪雨を含む)(小倉ほか 2011; Takasaki *et al.* 2019)などがあり, 数年に一度の頻度で発生している(山岸 2012). 津口・加藤(2014)の分類方法によれば, 東海地方で発生したこれらの豪雨は「台風・熱低の遠隔による集中豪雨」に分類される. 津口・加藤(2014)は, 北畠(2002)などを参照することにより, 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述べている. 本稿の対象である線状の降水系は, 九州の西の海上を北上した台風2010に伴って形成されたものであるから台風・熱低の遠隔

に分類される. しかしながら, このとき前線は東海地方から北へ約1000km離れた位置にあった. この降水系は, 停滞することなくゆっくり東進したため, 総降水量としては比較的少なかった. もし, 東海豪雨や岡崎豪雨のときのように停滞性であったならば総降水量も多いものになったと考えられる. なお, 線状に組織化された積乱雲系が形成されたとき, これによる降水系を最近では「線状降水帯」と呼ぶことが多い. 「線状降水帯」は停滞性の降水系を指すので(津口 2016), 本稿事例では, 停滞性の降水系と区別して, 「線状の降水系」という言葉を用いる.

台風を回り込む暖湿流が東海地方に大量の水蒸気をもたらしていたとしても, 東海地方が前線からはかなり離れており, その影響がほとんどなかったと考えられる中で, 積乱雲が線状に組織化され, 各地に短時間ではあったが時間当たりに換算して90mm/h前後に相当する強い降水をもたらしたのは, この地方の地形に関連したメソ気象場が関与したと思われる. 本稿では, その点を中心に調査・考察した.

2. データの収集

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を気象庁のウェブサイト「過去の気象データ検索」(気象庁 2020a)から取得した. 地上の解析図について, 等圧線や等温線は筆者が主観解析し描画した. 気象レーダー画像は気象庁のウェブサイトであるレーダー・降水ナウキャスト(気象庁 2020b)から取得した. 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の「Labs Channel」(株式会社ウェザーニューズ 2020)に気象官署・アメダス地点のエマグラムで表示された気象庁メソ数値予報モデル(MSM: meso-scale model)解析データを読み取って用いた. このため, それぞれに $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 程度の誤

* Tadashi ITO, 気象予報士会東海支部.
spf927z9@hm.aitai.ne.jp

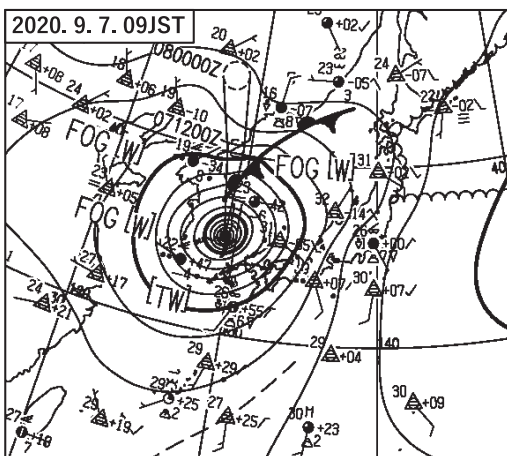
© 2021 日本気象学会

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する。

3. 線状の降水系が形成されたときの総観場

第1図は、伊勢湾周辺に線状の降水系が形成された2020年9月7日9時の気象庁アジア太平洋域地上天気図(気象庁 2020c)から日本付近を抜粋したものである。東海豪雨(名古屋地方気象台 2000)や岡崎豪雨(小倉ほか 2011)の時にはいずれも前線が本州付近にあり、東海豪雨の場合は沖縄の南東海上にあった台風の東側を、岡崎豪雨の場合は九州の南東海上にあった低気圧の東側をそれぞれ回り込む南寄りの風が前線のすぐ南側の東海地方に吹き込む形になっていた。一方、2020年9月7日の場合は、台風2010の南東側を回り込む南寄りの風が東海地方に吹き込んでいたが、前線は本州から約1000km離れた日本海北部にあった。

第2図は、2020年9月6日21時初期値、12時間後の850hPa高度における相当温位と風についての気象庁の数値予報図(FXJP854(気象庁 2020d)からの抜粋)である。数値予報の精度から考えて、この図は2020年9月7日9時の実況をほぼ表していると考えてよい。フィリピンの東海上から本州に向かって北上する相当温位345K以上の暖湿流が見られる。いわゆる「大気の川; atmospheric river」(Gimeno *et al.* 2016)である。東海地方はこの大気の川の中にあり、大量の水蒸気が送り込まれている総観場の中にあった。



第1図 2020年9月7日9時の地上天気図。気象庁アジア太平洋域地上天気図から日本付近を抜粋。等圧線の間隔は4 hPa。

4. 線状の降水系周辺のメソ気象場

4.1 地上の気圧配置および相対湿度分布

第3図は2020年9月7日の9時および12時の近畿・中部・関東地方の海面気圧配置および地上における相対湿度90%以上の領域を示したものである。伊勢湾周辺では8 m/s前後(風力4~5)の南南東の風が吹き、相対湿度が90%以上になっている。すなわち、この時間帯の伊勢湾周辺には、南海上から湿潤空気が集中して送り込まれていたと推定される。

4.2 地上の気温分布

第4図は2020年9月7日10時から12時にかけての地上の気温分布をそれぞれの時刻の気象レーダー画像(気象庁 2020b)と重ねて示したものである。なお、気温は0.6°C/100mで海拔0 mに標高補正してある。線状の降水系のすぐ西側に周囲に比べて気温の低い閉じた等温線で示される冷氣プールが見られ、線状の降水系に追従して東に移動した。

4.3 線状の降水系周辺の大気の鉛直構造

第5図aは2020年9月7日9時の時点の線状の降水系を横切る断面における気温および湿数(気温と露点温度との差)の鉛直分布を示したものである。図では気温を点線、湿数を実線で示してある。奈良上空の



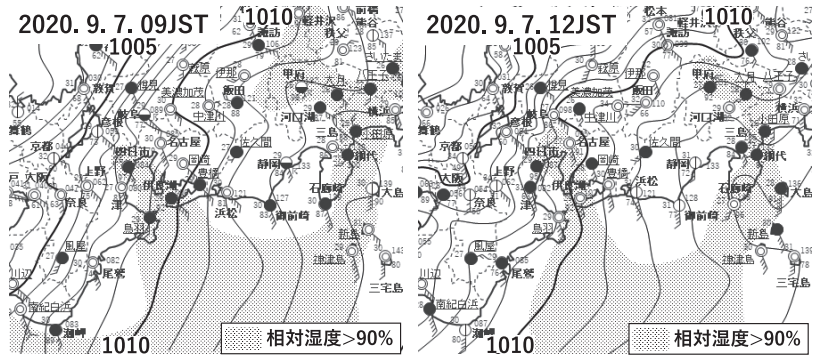
第2図 2020年9月6日21時初期値、12時間後の850hPa高度における相当温位と風の予想図。気象庁の数値予報図(FXJP854)から12時間後(T=12)の部分抜粋。等相当温位線の間隔は3 K。矢羽根について、旗は50ノット(約25m/s)、長棒は10ノット(約5m/s)、短棒は5ノット(約2.5m/s)の風速を表す。

700hPa 高度付近に湿数が 8 K 以上の乾燥域がある。乾燥域は東に張り出し、線状の降水系の位置（伊勢湾上空）の 700hPa 高度付近で湿数が 3 K 程度となっている。この高度より上層および下層は湿数が 2 K 以下の湿潤域となっており、特に 800hPa 高度より下層では湿数 1 K 以下の高湿潤域となっている。第 5 図 b は、第 5 図 a から線状の降水系の位置における気温と湿数を読み取って作成した温位・相当温位・飽和相当温位の鉛直分布図である。西からの乾燥域の張り出しで 600hPa から 750hPa の範囲の高度で相当温位が低くなっているが、大雑把に見れば高度による変化は小さい。

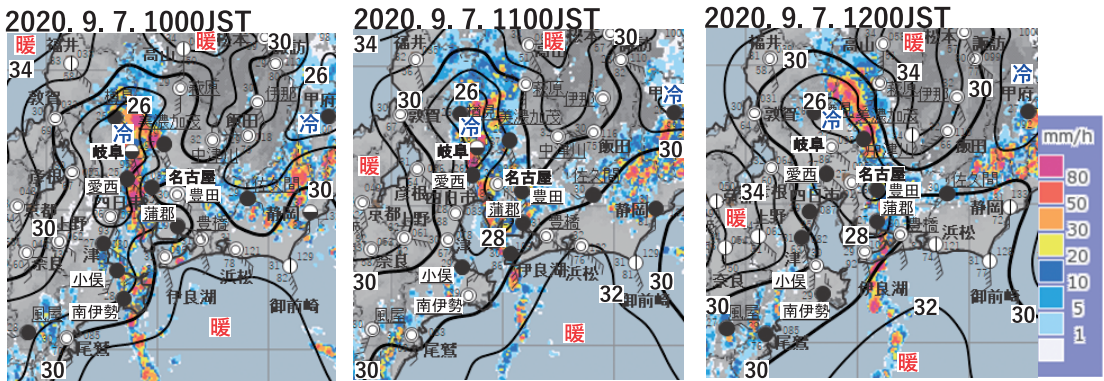
第 5 図 a および b に対応する 2020 年 9 月 7 日 12 時における図をそれぞれ第 5 図 c および d に示す。奈良上空の乾燥域は東に張り出すとともに、線状の降水系の位置（名古屋の東）では 800hPa 高度付近に下降した。名古屋の 800hPa 高度における湿数が 5.8 K であることから、線状の降水系の位置での湿数は 5 K 前後と推定される。すなわち、9 時の時点に比べて 12 時の時点の方がより乾燥した空

気が線状の降水系に接したことになる。地上付近の相当温位は 9 時の時点に比べてあまり変化していないので、800hPa 高度より下層では対流不安定が強まったことになる。

乾燥空気が侵入すると対流雲の発達を抑制する機会が多い（加藤 2007；気象庁 2020e）。本稿の事例の場合、9 時に比べて 12 時の方が乾燥した空気が線状の降水系に侵入している。ところが、気象庁の観測（気象庁 2020a）によれば、9 時前後に線状の降水系の中にあつた岐阜、愛西（愛知県）、小伊や南伊勢（いずれも



第 3 図 2020 年 9 月 7 日の 9 時および 12 時の近畿・中部・関東地方の海面気圧配置（等圧線間隔は 1 hPa）および地上における相対湿度 90% 以上の領域。地点円の右上、左上、下の数字はそれぞれ気圧（小数点以下 1 位）、気温（0.6°C/100m で標高補正）、相対湿度である。風向は矢羽根で示し、羽の数はビューフォート風力階級を表す。各地の天気は日本式天気記号で示す。なお、アメダス地点（地点名に下線）では天気を観測していないが、観測前 1 時間の降水量が 0.5mm 以上の場合には雨、0.0mm の場合で、可視雲画像で雲に覆われていた場合は曇、覆われていない場合は晴として便宜的に表示した。



第 4 図 2020 年 9 月 7 日 10 時から 12 時にかけての地上の気温分布と線状の降水系との位置関係。気象官署・アメダスの気温観測値を 0.6°C/100m で標高補正してプロットし、等温線（2°C 間隔）を筆者の主観解析で描画した。これに気象庁のウェブサイトにある気象レーダー画像を重ね合わせて示す。矢羽根およびアメダス地点（地点名に下線）の天気の表示は第 3 図と同様。

三重県)における10分間降水量の最大値(それぞれ14.5mm, 12.0mm, 16.0mm, 13.5mm)と12時ごろ線状の降水系の中にあった名古屋, 豊田, 蒲郡(いずれも愛知県)(各地点の位置は第4図参照)における10分間降水量の最大値(それぞれ9.0mm, 15.5mm, 14.0mm)とを比べても, 後者の方が特に少ないということはない。すなわち, より乾燥した空気が侵入した12時になっても対流雲は衰えなかったことを意味する。

一方で, 乾燥空気が侵入することによって対流不安定が強化された状況下で豪雨が発生した事例が報告されている(小倉ほか 2011; 二宮 2011)。本稿の事例の場合, 第3図に示したように, 伊勢湾周辺の地上では南南東の風による暖湿流が吹き込み, 高湿度の状態が持続していた。その一方で, 第5図dに示すように,

乾燥域が800hPa高度まで下降し, それより下層で対流不安定が強まった。

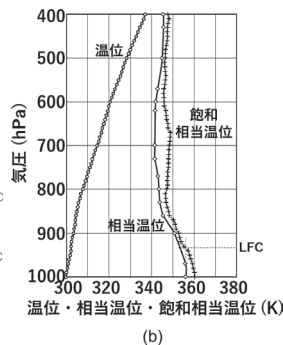
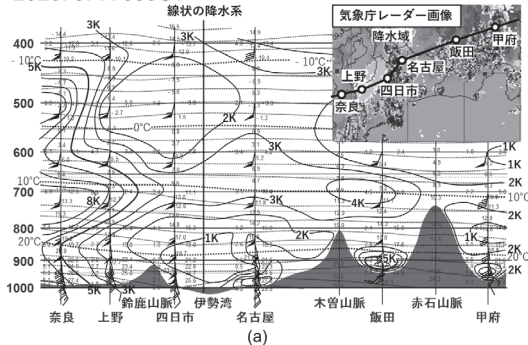
次に, 乾燥域と線状の降水系との水平位置関係を調べた。ここではページ数制限の関係で9月7日12時の800hPa高度における湿数分布を第6図に示す。線状降水帯は帯状の乾燥域の東端に接するように形成された。図は省略したが, 9月7日9時の700hPa高度における湿数分布も同様であった。

次に, 線状の降水系のすぐ西側に形成された冷氣プールの厚さを推定する。第7図は, 9月7日12時における925hPa, 850hPaおよび800hPaのそれぞれの高度での気温の分布を示したものである。伊勢湾周辺は850hPa高度(およそ1500m)より下層で周囲に比べて気温の低い冷域となっている。

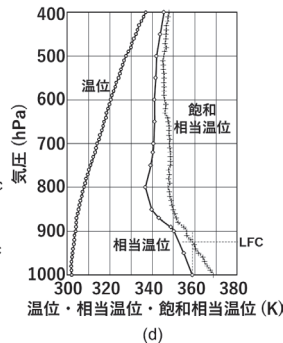
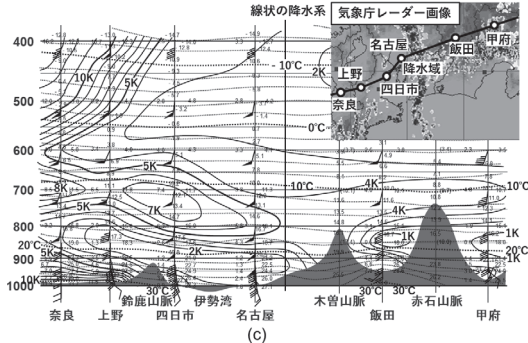
降水粒子が乾燥域まで落下すると蒸発し, この付近

の空気が冷却され沈降する。伊勢湾から濃尾平野にかけては, 西側, 北側および東側が山地(標高は西, 北側が1000~1500m, 東側が2000m以上)によって囲まれており, 南側の伊勢湾口からは南南東の風が吹き付けていたため, 冷気が逸散することなく伊勢湾から濃尾平野にかけての領域に溜まり冷氣プールが形成されたものと考えられる。一方, 800hPa高度では, 伊勢湾周辺は暖域となっている。すなわち冷氣プールの上面の高さは850hPa高度(1500m)程度と推定される。この高さは伊勢湾・濃尾平野を取り囲む山地の高さに相当する。

2020. 9. 7. 09JST



2020. 9. 7. 12 JST



第5図 線状の降水系を横切る断面における気温(点線, 2°C間隔)および湿数(実線, 1K間隔)の鉛直断面図。(a) 2020年9月7日9時, (c) 2020年9月7日12時。断面図から読み取った気温と湿数を用いて計算した線状の降水系の位置における温位・相当温位・飽和相当温位の鉛直分布。(b) 2020年9月7日9時, (d) 2020年9月7日12時。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で示された気象庁のMSM解析データを読み取って各値を計算し, 等値線を主観解析により描画した。矢羽根について, 向きは北を上として風向を表し, 旗は50ノット(約25m/s), 長棒は10ノット(約5m/s), 短棒は5ノット(約2.5m/s)の風速を表す。

5. 線状の降水系の維持機構についての考察

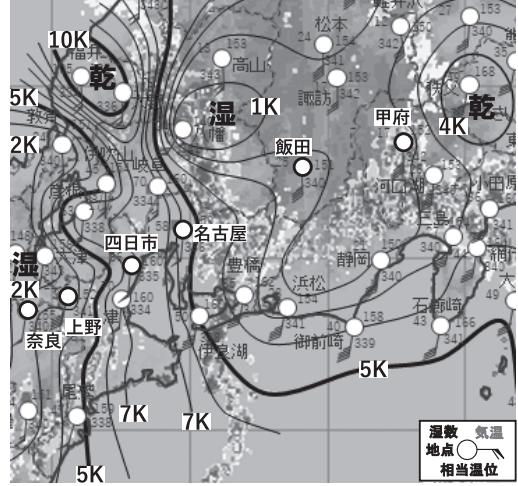
第2図で見たように, 東海地方は南海上からの大気中の川の中にあり, 大量の水蒸気が東海地方に供給され

ていた。第3図からわかるように、伊勢湾周辺の下層は湿潤の状態が持続していた。第5図で見たように、中層域では、線状の降水系の西側に接するように乾燥域が存在したが、9時の時点では線状の降水系の位置で湿数3K程度(700hPa高度)と大きな乾燥度ではなく、大雑把に見れば鉛直方向に大きな変化のない相当温位の分布であった。すなわち最初のうちは、線状の降水系は主に伊勢湾周辺での水蒸気の取束によって維持されていたと推察される。

この乾燥域は12時には、伊勢湾周辺で800hPa高度へと下降し、線状の降水系の位置における湿数が5K程度と乾燥度が増した。しかしながら、下層では依然として水蒸気の供給が続き、対流不安定が強まった。線状の降水系の位置での自由対流高度(LFC; level of free convection)は、第5図bおよびdから、9時から12時の時間帯で920hPa高度(約800m)前後と見積もられる。すなわち、線状の降水系にはLFCが800m前後の暖湿流が吹き込んでいたとみてよい。厚さ約1500mの冷氣プールに、LFCが約800mの暖湿流が衝突すると自発的に上昇することになる。すなわち、低いLFCの暖湿流が線状の降水系自らの降水によって形成された冷氣プールに衝突することによって自発的な上昇が起こり、これが契機となって不安定が顕在化し、中層域の乾燥度が増加しても対流雲が維持されたものと考えられる。しかも、第7図からわかるように、暖湿流は冷氣プールの東側の縁に斜めから衝突する形で吹き付けていた。そのため、上昇流域は冷氣プールの東側に沿って線状に形成されたと推察される。LFCの低い暖湿流が伊勢湾周辺域を取り囲む山岳によって

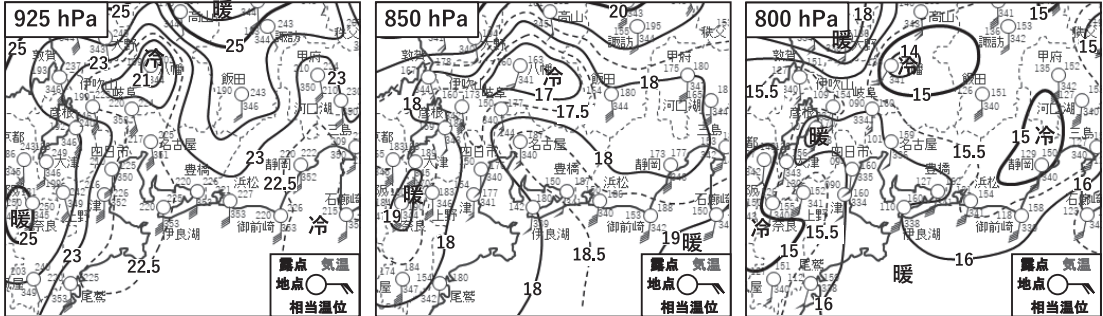
強制上昇したのも対流雲の維持に寄与したと考えられるが、第4図や第7図からわかるように、冷氣プールの東縁に線状の降水域が形成され、しかも第4図に示したようにそれらの位置関係を維持したまま東進したことを考えると、対流雲の維持の主因は冷氣プールの形成にあったと考えられる。

2020. 9. 7. 12JST (800 hPa)

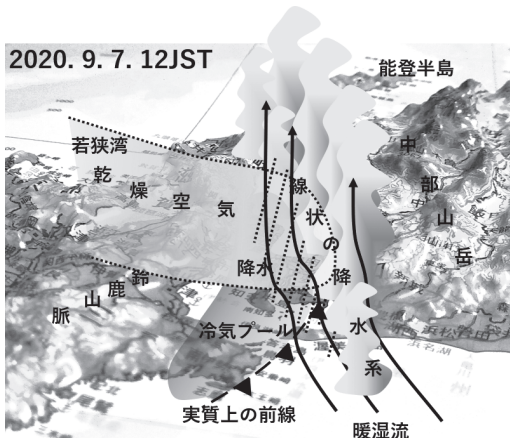


第6図 2020年9月7日12時の800hPa高度における湿数分布と気象庁レーダー画像との重ね合わせ図。湿数の出典は第5図と同じ。レーダー画像は気象庁ウェブサイトより引用。等値線(間隔: 1 K)は筆者の主観解析による。矢羽根については、旗は50ノット(約25m/s)、長棒は10ノット(約5 m/s)、短棒は5ノット(約2.5m/s)の風速を表す。

2020. 9. 7. 12JST



第7図 2020年9月7日12時における925hPa、850hPaおよび800hPaの各高度の気温分布。気温の出典は第5図と同じ。等温線(実線は1°C間隔、破線は補助的に挿入した端数0.5°Cの等温線)は筆者の主観解析による。矢羽根については、旗は50ノット(約25m/s)、長棒は10ノット(約5 m/s)、短棒は5ノット(約2.5m/s)の風速を表す。



第8図 2020年9月7日の線状の降水系周辺の気象場の模式図。背景の立体地図は、株式会社ソウマの2019年度版立体日本地図を同社の許可を得て利用。

以上の調査・考察の結果を図にまとめたものが第8図である。線状の降水系自らの降水によって冷気プールを形成、言い換えれば自らの近傍に実質上の前線を形成し、暖湿流の上昇を増強するという維持機構もっていたと考えることができる。

6. まとめ

台風2010が九州の西の海上を北上し対馬海峡に達した2020年9月7日、台風の南東側を回り込む暖湿流によって下層に大量の水蒸気が東海地方に流れ込み、伊勢湾周辺の下層は湿潤の状態が持続していた。伊勢湾周辺に線状の降水系が見られたが、始めのうち(9時ごろ)は主に下層の水蒸気の収束によって維持されていたと考えられた。線状の降水域の西側に接するように存在した中層の乾燥域は12時には伊勢湾周辺で800hPa高度にまで下降し、下層に強い対流不安定成層が形成された。線状の降水系自らの降水がこの乾燥域内で蒸発することによって形成された冷気が三方を山地に囲まれた伊勢湾・濃尾平野に溜まり、南海上から吹き付ける暖湿流のLFCよりも厚い冷気プールが形成された。冷気プールの東縁に沿って暖湿流が自発的に上昇することによって800hPa高度における乾燥度が增加しても線状の降水系が維持されたと推測される。総観場の前線は東海地方から北へ約1000km離れていたが、冷気プールと暖湿流によって局地的な前線が形成されたと考えられる。このように、線状の降水系自らのシステムで自らを増強・維持する機構によっ

て本稿で取り上げた線状の降水系が維持されたと考えられる。

謝辞

この調査報告は、「令和2年度日本気象学会中部支部研究会オンライン」(2020年12月15～16日実施)で発表した内容に、その後の調査結果を加筆したものである。同研究会でご討論下さった関係者の方々に感謝する。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いた。第8図の背景の立体地図は、株式会社ソウマの2019年度版立体日本地図カレンダーを写真撮影し、同社の許可を得て利用したものである。利用を許可して下さいました両社に感謝する。

参考文献

- Gimeno, L., F. Dominguez, R. Nieto, R. Trigo, A. Drumond, C. J. C. Reason, A. S. Taschetto, A. M. Ramos, R. Kumar and J. Marengo, 2016: Major mechanisms of atmospheric moisture transport and their role in extreme precipitation events. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, **41**, 117-141.
- 株式会社ウェザーニューズ, 2020: Labs channel.
http://labs.weathernews.jp/EMAGRAM_fcst/index.cgi?DISP=LIST (2021. 1. 10閲覧).
- 加藤輝之, 2007: 梅雨前線帯と集中豪雨一積乱雲が発達するための条件一. *天気*, **54**, 395-398.
- 気象庁, 2020a: 過去の気象データ検索.
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2021. 1. 10閲覧).
- 気象庁, 2020b: レーダー・ナウキャスト(降水・雷・竜巻): 甲信地方.
[http://www.jma.go.jp/jp/radnowc/\(2020. 9. 7閲覧\).](http://www.jma.go.jp/jp/radnowc/(2020. 9. 7閲覧).)
- 気象庁, 2020c: アジア太平洋地域地上天気図.
<http://www.jma.go.jp/jp/g3/images/asia/pdf/asas.pdf> (2020. 9. 7閲覧).
- 気象庁, 2020d: 日本850hPa相当温位・風12・24・36・48時間予想図.
http://www.jma.go.jp/jp/metcht/pdf/kosou/fxjp854_12.pdf (2020. 9. 7閲覧).
- 気象庁, 2020e: 令和2年台風第10号における予報の検証(速報). 令和2年9月16日報道発表資料,
https://www.jma.go.jp/jma/press/2009/16a/20200916_kensyou.pdf (2021. 1. 20閲覧).
- 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.

- 名古屋地方気象台, 2000:平成12(2000)年9月11~12日
停滞前線と台風第14号による大雨(東海豪雨). 気象災害
の記録,
<https://www.data.jma.go.jp/nagoya/shosai/chara/saigai.html>, 大雨,
https://www.data.jma.go.jp/obd/bsdb/data/files/sg_history/23000/2000/23000_2000_1_8_4.pdf (2021. 4. 17閲覧).
- 二宮洸三, 2011:1968年8月17日に発生した飛騨川豪雨の
メソスケール降水系. 天気, 58, 305-316.
- 小倉義光, 1997:メソ気象の基礎理論. 東京大学出版会,
215pp.
- 小倉義光, 隈部良司, 西村修司, 2011:「平成20年8月末豪
雨」の天気系, 特にメソ対流系の組織化について. 天気,
58, 201-217.
- Takasaki, Y., M. Yoshizaki, A. Suzuki-Parker and Y.
Watarai, 2019: Sensitivity of quasi-stationary band-
shaped precipitation system to topography: a case
study for 28 August 2008 Okazaki heavy rainfall event.
J. Meteor. Soc. Japan, 97, 453-466.
- 津口裕茂, 2016:線状降水帯. 天気, 63, 727-729.
- 津口裕茂, 加藤輝之, 2014: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. 天気, 61, 455-
469.
- 山岸昌伸, 2012:平成23年台風第15号に関連する9月19
日~20日の名古屋地域の大雨の概要. 平成23年台風第12
号, 第15号による豪雨に関する研究会, 天気, 59, 184.
-