

2021年7月21日に関東地方で発生した線状の雲の再現と発生原因

中西 幹 郎*

1. はじめに

2023年も線状降水帯による災害が後を絶たない年になってしまった。線状という言葉を目にするたびに思わず身構えてしまうが、おそらくほとんど災いのない線状の話題を取り上げたい。

1年延期されて行われた東京オリンピック開会直前の2021年7月21日、オリンピック用に特設された気象庁のポータルサイト（現在は閉鎖）の衛星動画を見ていて、相模湾沿岸に第1図aに示す線状の雲を見つけた。しばらくしてこの雲は消失したが、かわって三浦半島上に一筋、あるいは関東平野の広い範囲にわたって幾筋かの線状の雲が現れた（第1図b）。第1図cは、このとき三浦半島のある場所から南南西方向の空を撮った写真である。

幾筋もの雲は日頃から目にしており、その発生原因は明らかであるが、前二者の一筋の雲の原因は何だろうか。ずっと気になっており、アメダスなどのデータを調べたが、よくわからなかった。今回、Weather Research and Forecasting (WRF) モデル (WRF 2023) を使用して調べたところ、大雑把な解析であるが、原因らしきものが見えたので報告する。

2. 計算の概要

WRF モデルのバージョン4.3.3を日本域に適用した（第2図）。この領域を東西・南北方向に5 km 間隔で455×503個の格子に分割し、鉛直方向は上端50hPaまで45層に分割した。線状の雲を再現するには5 kmの解像度は不十分である。試みに、関東地方周辺を1 km 間隔で401×401個の格子で分割する領域（第3図の赤

枠）を加え、2方向ネスティング手法で計算した。選択した物理過程オプションは

- Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino レベル2.5
- modified Noah-MP (Nakanishi 2023)
- aerosol-aware Thompson-Eidhammer
- Rapid Radiative Transfer Model for GCMs

である。

初期値・境界値は European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) のアーカイブされた予報値 (ECMWF 2023) のうち、3時間ごとと水平0.25° 間隔のものを使用した。計算は2021年7月20日21時から14時間実行した。このとき、先島諸島には台風が近づいていたが、西日本から北日本は高気圧に広く覆われた。

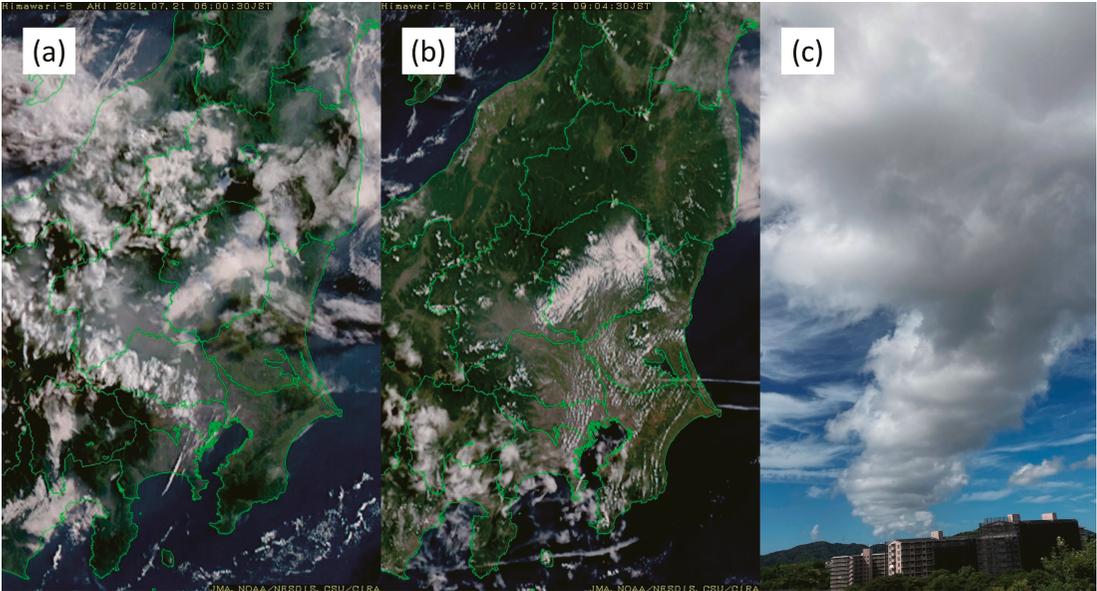
3. 結果

3.1 相模湾沿岸の雲

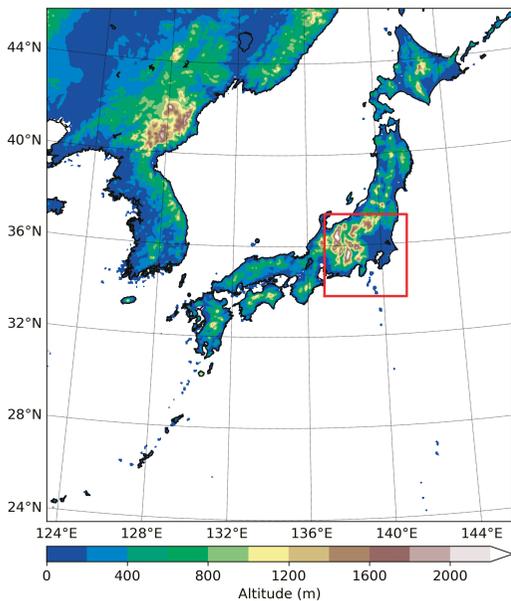
第3図に、21日4時から7時までの1時間ごとの海拔500mにおける風、水蒸気混合比および雲水混合比の水平分布を示す。4時（第3図a）には、太平洋上を南東から吹く風は、大半が標高500m以上の山地の伊豆半島を越えることができず、相模湾上で南寄りの風になる。この風に乗って、伊豆半島南部の湿った空気は、白ハッチで図示される雲を伴って相模湾を北上する（第3図b）。6、7時（第3図c, d）になると、湿った空気とともに雲は相模湾沿岸に到達する。第1図aの衛星画像と比較すると、計算結果の線状の雲は相模湾上での切れ間は明瞭ではないが、ほぼ同じ位置・方向に現れている。実は、JAXA (2023) の画像を見ると、可視画像で雲が確認できる5時過ぎから、雲は相模湾沿岸にあった。念のため、ECMWFの初期値をほかの時間帯に変えて計算してみたところ、やはり時間は遅れるが、湿った空気と雲は同じように北上

* Mikio NAKANISHI, 一般財団法人日本気象協会。
nakanishi.mikio@jwa.or.jp

© 2024 日本気象学会



第1図 2021年7月21日6時 (a)、9時4分 (b) における「ひまわり8号」の可視画像、および9時4分に三浦半島のある場所から撮った南南西の空の様子 (c)。可視画像は東京オリンピック用に気象庁が特設したポータルサイト (現在は閉鎖) からダウンロードした。



第2図 モデルの計算領域。カラーは標高を表す。赤色の枠は2方向ネスティング手法を使って1 kmの格子間隔で詳細に計算する領域を示す。

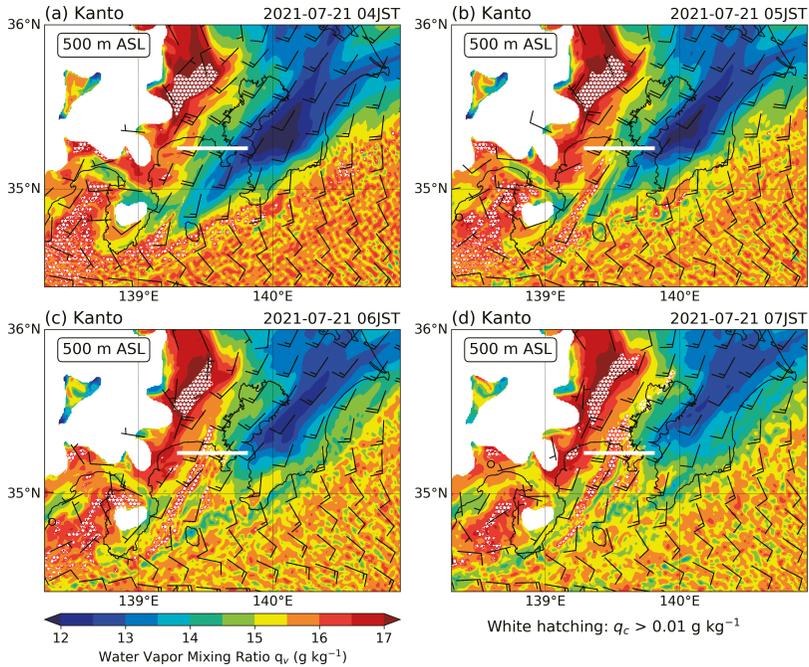
した (図は省略)。時間のずれはあるものの、計算結果は衛星画像と同じ現象を表し、線状の雲は、伊豆半島南部の湿った空気の北上とともに現れた可能性が高いと考える。

第4図に、21日6時から9時までの1時間ごとの北緯35.25°における風、水蒸気混合比および雲水混合比の東西鉛直断面図を示す。6時から8時にかけて (第4図a~c)、東経139.5°前後の海拔500m付近に、一ないし三筋の雲が出現している。衛星画像 (第1図a) もよく見れば、少なくとも二筋の雲が確認できる。

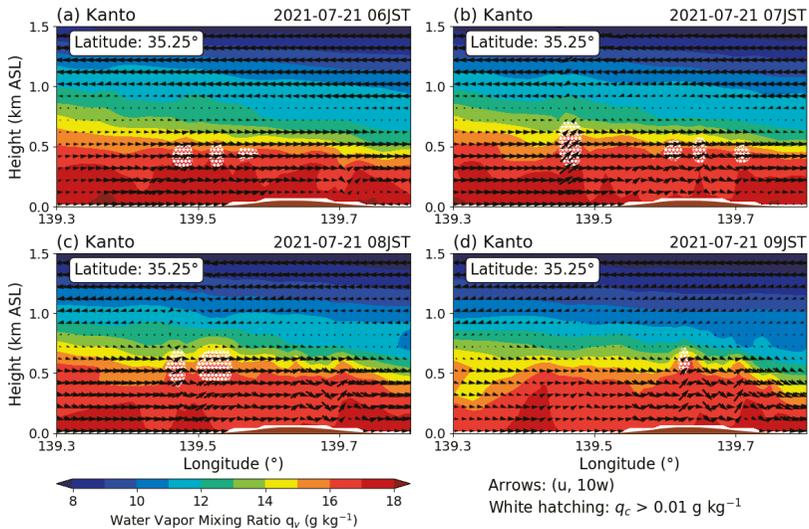
3.2 三浦半島上の雲

第5図は第3図と同様の水平分布図であるが、21日8時から11時までの分布を表す。8時から10時 (第5図a~c) の三浦半島上は、この海拔高度では明瞭な雲はないが、水蒸気混合比の高い線状の分布が確認できる。

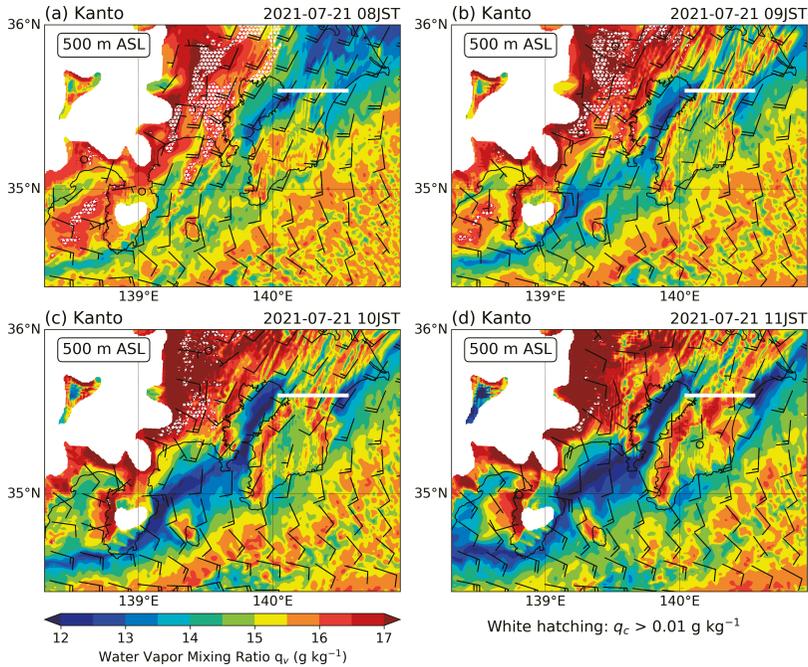
第4図dに戻ると、139.6°付近の三浦半島上空の海拔500mあたりに、第1図bとcの一筋の雲を再現していると思われる雲が見える。この雲は、三浦半島の地形による強制上昇で発生したようである。ただし、第3図と第5図での相模湾上の湿った空気の一連の流れや、第4図の相模湾沿岸の雲の発生高度との一致度から、三浦半島上の雲も伊豆半島南部から運ばれた湿った空気が主な起源とみる。



第3図 2021年7月21日の1時間ごとの海拔500mにおける風(矢羽根), 水蒸気混合比(カラー)および雲水混合比(白ハッチ)の水平分布。(a)4時, (b)5時, (c)6時および(d)7時. 風速の小数点以下は切り捨てて, 矢羽根の長い羽根は 2 m s^{-1} , 短い羽根は 1 m s^{-1} , \circ は 1 m s^{-1} 未滿を表す. 中央付近の東西の白い実線は第4図の鉛直断面の位置を示す. なお, 標高500m以上の地形がある場所は白抜きで表されている.



第4図 2021年7月21日の1時間ごとの北緯35.25°における風(矢印), 水蒸気混合比(カラー)および雲水混合比(白ハッチ)の東西鉛直断面図。(a)6時, (b)7時, (c)8時および(d)9時. 断面の位置は第3図を参照. 風は鉛直断面に沿う風を表す. 茶色の塗りつぶしは地形を表す.



第5図 第3図と同様。ただし、(a) 8時、(b) 9時、(c) 10時および (d) 11時。房総半島付け根の東西の白い実線は第6図の鉛直断面の位置を示す。

3.3 関東平野上の雲

21日8時から10時（第5図a～c）には、東京・埼玉の上空の海拔500mに雲が出現している。第1図bの雲を表しているが、衛星画像のように、幾筋もの線状の雲の形状は明瞭ではない。衛星画像上で測ると線状の雲の間隔は2～3km程度なので、格子間隔1kmのシミュレーションは再現できるかできないかの限界に近いからであろう。この線状の雲はほぼ風向の方向に軸を持って並んでいるので、鉛直シア流中の熱対流によって形成されたものに間違いはない（例えば、小倉1997）。11時（第5図d）には、この雲は海拔500mからはほぼ消えた。現実の雲は幾筋も並んだ線状ではなく、内陸に流れ、一部は消失して分布面積は縮小した（JAXA 2023）。

9時以降（第5図b～d）になると、房総半島の北東部に、海拔500mの高度では雲を伴っていないが、線状の高水蒸気量の分布が現れる。第6図は第4図と同様の、北緯35.6°の東西断面図である。9時以降（第6図b～d）は、房総半島上の対流が激しくなり、10時（第6図c）には房総半島の西側、11時（第6図d）には東側でも海風循環とみられる対流が起り、海拔1000m前後の 대기境界層の上端付近に雲が発生してい

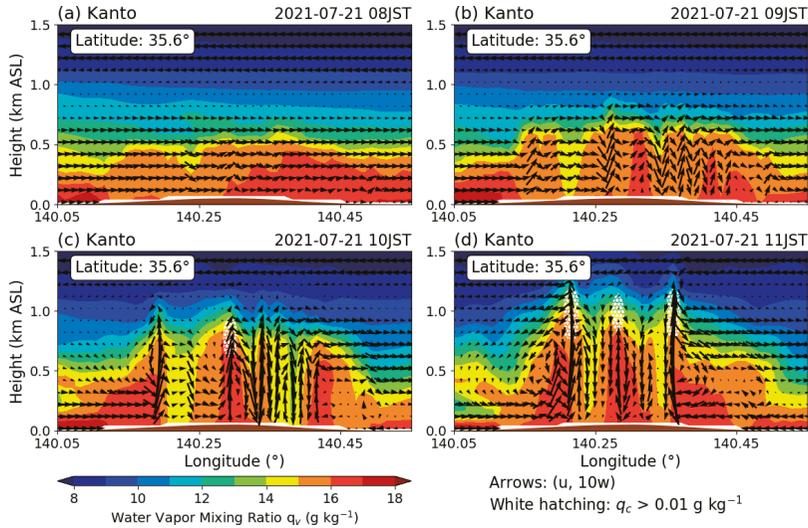
る。第5図とあわせて見ると、この雲は第1図bやJAXA（2023）の画像の雲に対応し、局地循環で現れたものと考えられる。

4. まとめ

晴天の関東平野に、少なくとも三つの起源が異なる線状の雲が現れた。線状の雲という、鉛直シア流中の熱対流あるいは海風などの局地前線に伴う雲を思い出す。東京・埼玉上空と房総半島上に見えていた雲がそれらである。

三つ目の相模湾沿岸や三浦半島上の一筋の雲は、特に前者は周囲に大きな地形の起伏の変化がなく、その発生原因がよくわからなかった。シミュレーションによれば、南からの湿った空気の流入によるものと考えられる。この空気の流入は、伊豆半島が流路を集中させた結果と考えられるので、地形がもたらした現象といえる。

本文では取り上げなかったが、さらにもう一つ、第1図bの衛星画像に気になる雲がある。伊豆大島や銚子上空で東西に走る雲である。これらの雲は時間とともに南に流れていた。海拔およそ7000mより上は関東地方のほぼ全域で北風が吹き、かなりの鉛直シアが



第6図 第4図と同様。ただし、(a) 8時、(b) 9時、(c) 10時および (d) 11時。断面の位置は第5図を参照。

あった。Kelvin-Helmholtz 不安定波（例えば、小倉 1997）に伴う雲の可能性もあるが、上空の鉛直格子間隔が粗いためか、リチャードソン数が0.25以下（ただし、10以下なら海拔6000~7000mに存在する）の空間は見つからず、詳細は不明である。なお、筆者は名前ぐらいしか知らないが、Holmboe 不安定波というものもあるらしい。ご興味のある方は、調べて報告していただけるとありがたい。

5. おわりに

大空や衛星画像を眺めていると、これは何？と興味をそそる雲の分布を見つることがある。この雲の発生原因を調べる時、まずは観測値を使うことを考える。ところが、山深い場所や海上にはアメダス観測点はないし、ましてや高層気象観測点は陸上でも数少ない。このようなとき、WRF モデルに代表される数値シミュレーションが威力を発揮する。ただし、それなりの計算機資源が必要であるが。

重苦しい災害のニュースが多い昨今、いつまで続けられるか分からないが、気楽に読める話題を見つけて

報告したい。

謝 辞

編集を担当してくださった田口晶彦氏、編集委員長の青柳暁典氏には、貴重なご意見をいただきました。ここに深く感謝し、お礼を申し上げます。

参 考 文 献

- ECMWF, 2023: IFS documentation. <https://www.ecmwf.int/en/publications/ifs-documentation> (2023.10.1閲覧).
- JAXA, 2023: JAXA ひまわりモニタ. https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index_j.html (2023.10.1閲覧).
- Nakanishi, M., 2023: Reevaluating the surface energy balance and soil thermal diffusion equations in the Noah multi-parameterization (Noah-MP) scheme. SOLA, 19, 135-141.
- 小倉義光, 1997: メソ気象の基礎理論. 第4章. 東京大学出版会, 55-70.
- WRF, 2023: WRF users' page. <https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/> (2023.10.1閲覧).