

## 熱帯低気圧に類似した地中海低気圧メディケーン Apollo

村田峻亮（京大理）・榎本剛（京都大学防災研究所・JAMSTEC APL）

### 1. はじめに

本研究では 2021 年 10 月 23 日から 11 月 2 日にかけて、イタリア半島やシチリア島を中心に猛威をふるったメディケーン Apollo についてデータ解析や領域大気モデルを用いたシミュレーションを行った。

北緯 30 度より北に位置する地中海で、小型（半径 200km 程度）の熱帯低気圧のような低気圧が発達することがある。この低気圧は地中海のハリケーン（Mediterranean Hurricane）をメディケーン（medicane）と呼んでいる。メディケーンは熱帯低気圧に類似した構造を持ち、強風、豪雨、洪水など様々な被害を地中海沿岸にもたらす。メディケーンは台風などの熱帯低気圧と発生条件が異なる。熱帯低気圧は海面水温が 26.5°C 以上の海域（Gray 1968）で発達するが、メディケーンは海面水温が 20°C 前後でも発達する。メディケーンの発生位置は主に地中海西部とイオニア海であり、活発時期は 9 月から 1 月の秋から冬にかけてで、夏から秋に活発な台風と大きく異なる。

メディケーンは構造や発達過程が事例によって異なり、Miglietta and Rotunno (2019) と Miglietta et al. (2021) は 2 つの事例を比較している。1 つ目の 2005 年 12 月 13 日から 12 月 15 日の事例は、地中海南部で発生し、熱帯低気圧のような構造は弱く、アフリカ大陸やバ

ルカン半島から流入する乾燥空気に海面フラックスにより水蒸気が与えられ、気団変質によりメディケーン下層の相対湿度が上昇して発生・発達した。2 つ目の 1996 年 10 月 6 日から 10 月 10 日の事例は、地中海西部で発生し、完全に熱帯低気圧の構造を持ち、WISHE（wind-induced surface heat exchange, Emanuel 1986）により発達し、バレアレス諸島付近で山岳を越えて吹く北風トラモンタン（Tramontane wind）及びシエルソ（Cierzo wind）が発生し、強い海面フラックスによって発達する。Apollo はアフリカ大陸北部沿岸（地中海南部）で発生したため、2005 年 12 月 13 日から 12 月 15 日の事例を参考にした。

Apollo による主な災害は豪雨や洪水などが報告されている。シチリア中央気象台はリングアグロッサ（Linguaglossa）観測所で 10 月 24 日から 10 月 25 日の 24 時間で 312.2 mm の降水量を記録した。レンティーニ（Lentini）測候所では同じ期間に 279.8 mm の降水量を記録した。この他にアルジェリアやチュニジアでは 136 mm から 166 mm の降水量が記録されている。本稿の構成は以下の通りである。第 2 節では Apollo のトラッキング、第 3 節では再現実験について、最後に第 4 節でまとめと考察を行う。

### 2. トラッキング

メディケーンは熱帯低気圧とは異なりベ

ストトラックデータがないので、欧州中期予報センター（ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts）により作成された、全球大気再解析データである ERA5（Hers et al. 2020）を使用して作成した。ある程度の時間ごとの中心位置を把握するために欧州気象衛星開発機構（EUMETSAT, European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites）から得られた衛星画像とベルリン自由大学から取得した天気図等を用いて目視により作成した進路と、ERA5の再解析データを用いて客観的に特定した進路とを比較した。その結果、Apollo はアフリカ大陸北部沿岸で発生し、シチリア島に豪雨をもたらした後、東向きに進路を取り 11 月 2 日にトルコ内陸に散逸した。

### 3. 再現実験

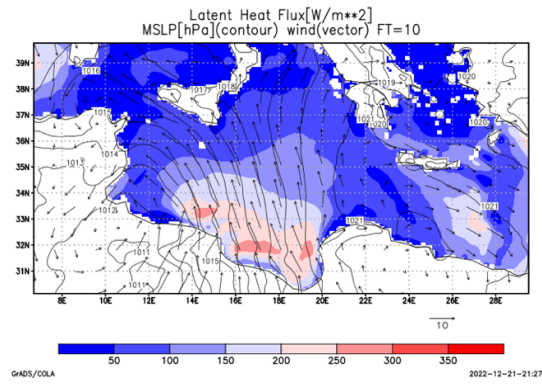
次に米国国立環境予報センター（NCEP, National Centers for Environmental Prediction）の完全圧縮・非静水圧領域スペクトルモデル NCEP MSM（Mesoscale Spectral Model）を用いたシミュレーションを行った。NCEP MSM は親モデル NCEP GSM (Global Spectral Model) からのずれを時間発展させる摂動法を用いている。NCEP の全球予報システム GFS（Global Forecast System）によって作成された解析値を初期値として 27 km に内挿し、Apollo 発生前である 2021 年 10 月 23 日 0000 UTC から 72 時間予報を行い、水平解像度 9 km のデータを 1 時間ごとに出力する。

Apollo が発達した要因について検討する。Apollo の発生した地域では、アフリカ大陸か

ら流入する乾燥空気、またはバルカン半島から流入する乾燥空気が重要である。それぞれの空気が地中海上を通過する際に、海面フラックス（図 1）により水蒸気が供給され気団変質を起こし、メディケーン下層に水蒸気が供給され、結果的に下層の相対湿度が上昇することによってメディケーンの発達に有利な環境が形成される。Apollo 形成前 (FT=10) には主にアフリカ大陸から流入する乾燥空気が下層に水蒸気を供給し、発生後 (FT=60) には主にバルカン半島から流入する乾燥空気が下層に水蒸気を供給する（図 2）。

次に Apollo の発達にどの程度の影響を与えるのか検討するために、下層に供給される水蒸気を減らした（海面フラックス制限した）実験を行う。海面フラックスを標準実験より 90%減少させて実験を行った。標準実験のときと同様に、ピーク時間での流入するフラックスを見つめる（図 2）。アフリカ大陸から流入する乾燥空気に与えられる海面フラックスは標準実験と比べ 50%程度まで減少、バルカン半島から流入する乾燥空気に働く海面フラックスのピークが標準実験と比べ 50%程度まで減少している。

a)



b)

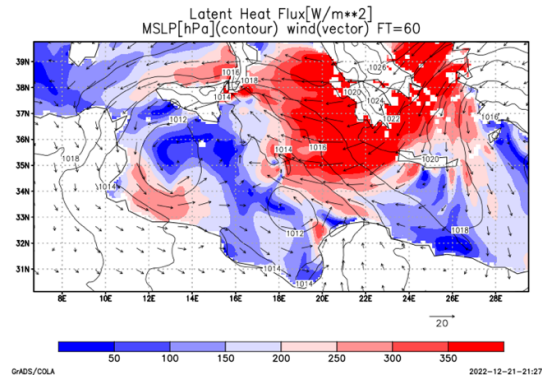
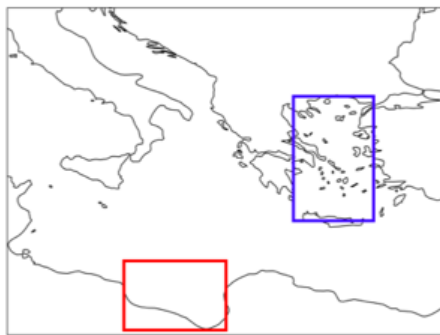
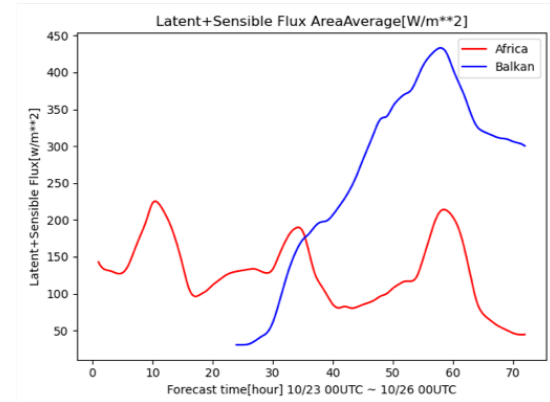


図 1: 標準実験での海面からの潜熱フラックス ( $W/m^2$ )。上向きを正。a) Apollo 発生前 (FT=10) のピーク時。b) Apollo 発生後 (FT=60) のピーク時。コンターは平均海面気圧、ベクトルは風速を示す。

a)



b)



c)

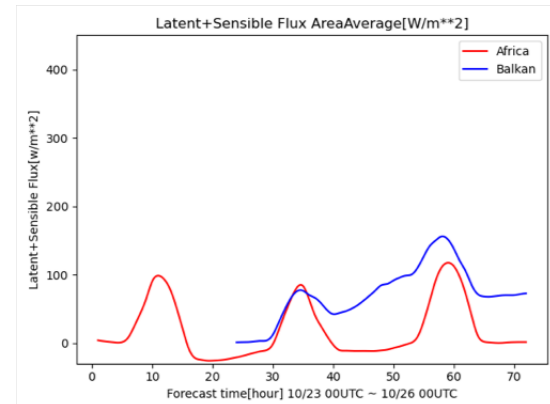


図 2: 顕熱と潜熱フラックスの正味の領域平均 ( $W/m^2$ )。a) 平均した領域。b) 標準実験。c) 海面フラックス制限実験。

標準実験と海面フラックス制限実験で、Apollo の発達の変化を明確にするため、中心付近の平均海面気圧、低気圧領域内の最大風速と総降水量の比較を行った。中心付近の平均海面気圧、最大風速はそれぞれ低気圧領域が現れた 10 月 24 日 0000 UTC から確認している。図 3 は中心付近の平均海面気圧の日変化を表す。バルカン半島から流入した乾燥空気に海面フラックスが最もよく働いた時刻

(FT=60) から数時間後で、標準実験では中心気圧が減少していたが、それ以外の時間帯ではあまり変化が見られなかった。図 3 は最大風速の日変化を表す。バルカン半島から流入した乾燥空気に海面フラックスが最もよく働いた時刻 (FT=60) で大きく変化したが、それ以外の時間帯では標準実験、海面フラックス制限実験ともに差は見られなかった。

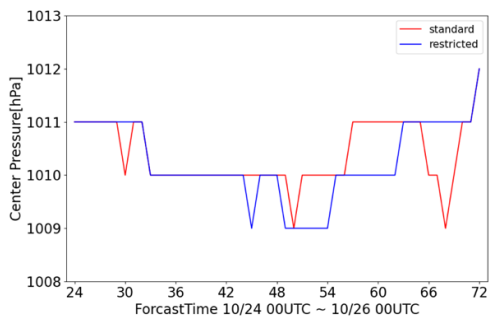


図 3: 中心付近の平均海面気圧 (hPa) の日変化。赤線は標準実験。青線は海面フラックス制限実験

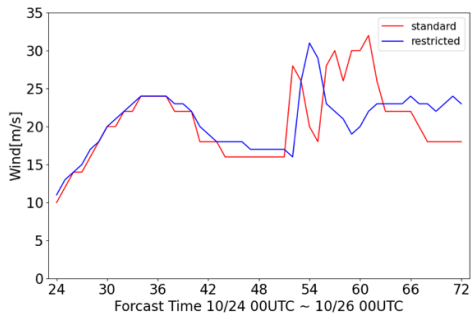
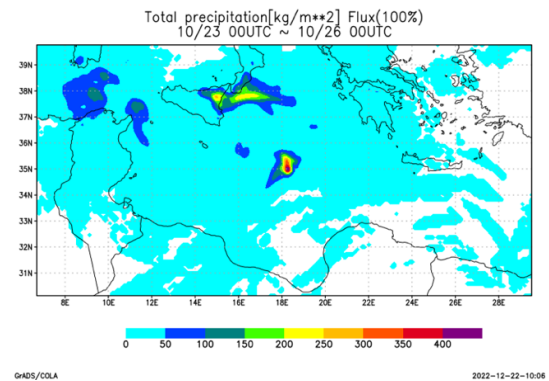


図 4: 低気圧領域内の最大風速 (m/s) の日変化。赤線は標準実験。青線は海面フラックス制限実験。

図 5 は標準実験の総降水量、海面フラックス制限実験の総降水量を表す。総降水量は 10 月 23 日 0000 UTC から 10 月 26 日 0000 UTC

までの合計を取っている。Apollo は様々な地域で降水や豪雨をもたらしており、標準実験ではシチリア島東部で 300 mm 近くの降水量を示しており、10 月 24 日から 10 月 25 日に記録した降水量、約 280 mm を再現できている。海面フラックス制限実験ではシチリア島東部で 200 mm ほど降水量が減少していることがわかる。このことから海面フラックスを制限することで、降水量が減少することがわかった。チュニジアで発生した降水量はうまく再現できておらず、アフリカ大陸北部で降水が発生している。

a)



b)

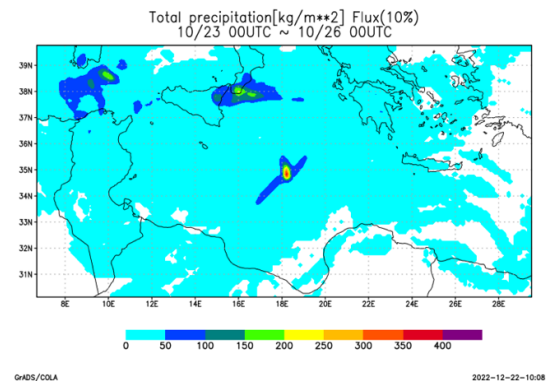


図 5: 10 月 23 日 00UTC から 10 月 26 日 0000

UTC の 72 時間の総降水量 (mm)。a) 標準実験及び b) 海面フラックス制限実験。

#### 4. まとめと考察

中心気圧があまり変化しなかったのは、もともと下層に含まれる水蒸気が働いた可能性があるため、下層にどの程度水蒸気が存在するか確認した (図 6)。どちらの実験でも下層に水蒸気を含んでいることがわかる。FT=60 では広範囲で水蒸気量が減少していることがわかるが、中心付近の水蒸気量の差が見られないため、乾燥空気が流入する以前に相対湿度を上昇させる要因があったと考えることができる。

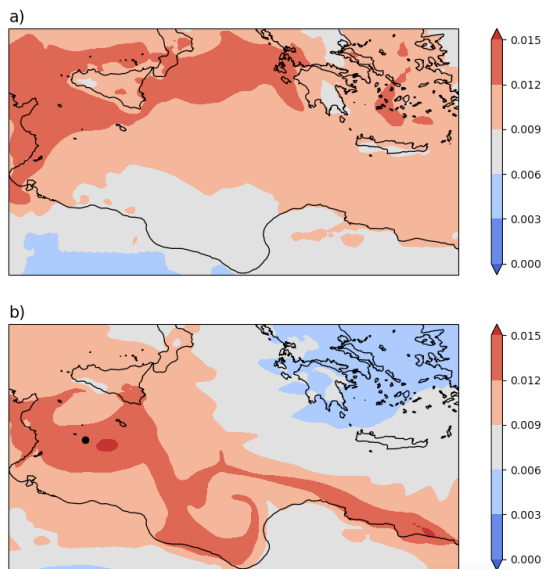


図 6: 海面フラックス制限実験での 2m の比湿 (kg/kg)。a) Apollo 発生前 (FT=10)。b) Apollo 発生後 (FT=60)。黒点は Apollo の中心位置。

以上から Apollo の発生・発達にはアフリカ大陸、バルカン半島から流入する乾燥空気

が気団変質を起こすことによって Apollo 下層に水蒸気が輸送されて相対湿度が上昇し、発達に有利な環境になった。実験の比較では中心気圧、最大風速はあまり変化が見られなかったが、総降水量は 200 mm 程度の変化が見られた。

#### 参考文献

- Emanuel, K. A., 1986: An Air-Sea Interaction Theory for Tropical Cyclones. Part I: Steady-State Maintenance. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **43**, 585–605.
- Gray, W. M., 1968: GLOBAL VIEW OF THE ORIGIN OF TROPICAL DISTURBANCES AND STORMS. *Monthly Weather Review*, **96**, 669–700.
- Miglietta, M. M., and R. Rotunno, 2019: Development mechanisms for Mediterranean tropical-like cyclones (medicanes). *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, **145**, 1444–1460.
- Miglietta, M. M., D. Carnevale, V. Levizzani, and R. Rotunno, 2021: Role of moist and dry air advection in the development of Mediterranean tropical-like cyclones (medicanes). *Q J R Meteorol Soc*, **147**, 876–899.

#### 謝辞

NCEP RSM は NCEP の Henry Hann-Ming Juang 博士のご厚意より提供されました。ERA5 は <https://cds.climate.copernicus.eu>、天気図はベルリン自由大学 <https://www.met.fu-berlin.de> から取得しました。