

T0422 号の通過に伴い関東南部で生じた強風のメカニズム

益子 渉（気象研）

1. はじめに

2004 年は 10 個もの台風が日本列島に上陸し、強風、大雨、高潮などさまざまな被害をもたらした。その中で台風 0422 号は、関東沿岸を通過時に、台風の進行方向後面左側の中心近傍において強風が観測され、顕著な風害をもたらしたのが特徴であった。その強風のメカニズムについて、数値モデルによるシミュレーション結果を用いて考察する。

2. 台風 0422 号の概況

台風 0422 号は、関東から東海地方の南岸に停滞する前線へ向けて北上し、10 月 9 日 16 時頃に中心気圧 950hPa、最大風速 40ms^{-1} という強い勢力で伊豆半島に上陸した。台風は上中層のトラフ前面に位置し、強い南西風のジェット気流の影響により、時速 70km という速い速度で北東進し、衰弱しながら関東平野を通過していった。台風が関東平野通過時には観測結果から以下のような特徴をもっていたことが分かった。台風中心は東京湾上を通過したにもかかわらず、関東平野の下層は台風中心近傍を含め広く寒気に覆われ、気温は約 17 度となっていた（図 1）。南よりの風を伴った暖域は房総半島のごく一部にしか入らず、暖域と寒気場の境界において温度傾度だけでなく、顕著なシアラインを形成していた。この下層の冷氣は、台風接近前から前線が関東南岸に停滞していたため、北東気流によりもともと存在していたものであるが、厚さは 1km 以下であったことが館野の高層データや水戸、熊谷のウィンドプロファイラーのデータから分かっている。そして、その寒気場内の風向は、台風通過時において一定の吹き込み角で台風中心を回る一般的な台風循環とは大きく異なっており、台風北側の気塊が台風の西側を通過、台風後面へ吹き出すように向いていた。

その寒気場にあたる台風の進行方向後面左側においては数十 km スケールで強風となっており、アメダスの 10 分平均風速では 20ms^{-1} 前後の強風となっていた。特に、平塚沖 1km の相模湾上に設置された地上気象観測装置においては 1 分平均で 38.4ms^{-1} という非常に強い風が観測された。

このような特徴は、台風 0422 号とほぼ同じ進路をとったにもかかわらず、下層に寒気が存在しなかった台風 0511 号においてはみられなかった。

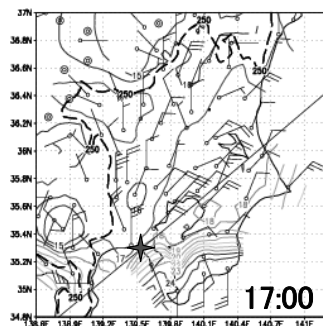


図 1. アメダスによる風、気温の分布。10 月 9 日 1700JST。長い矢羽根が 5ms^{-1} 、旗が 25ms^{-1} 、点線は標高 250m の等値線を、実線は台風の経路、星印は推定される台風中心位置を示す。

3. 数値モデル

気象庁非静力学モデル（Saito et al., 2001）をベースにして開発した 2way 多重移動格子モデル（Mashiko and Muroi, 2003）を用いて再現実験を行った。モデル概要を表 1 に示す。2 重格子にして最内側のドメインの水平格子間隔を 2km にして実験を行った。初期値は気象庁メソ解析値、境界値には気象庁 RSM 予報値を使用し、24 時間積分を行った。両ドメインとも降水過程としては氷晶まで含む雲物理過程を陽に扱い、対流のパラメタリゼーションは使用していない。

表 1. モデル概要

Domain	A	B
Dimension (x,y)	501x401	451x529
Area coverage (km^2)	3000x2400	900x1056
Vertical levels	50	50
Horizontal grid size (km)	6	2
Time step (s)	18	9

4. 数値モデルによって再現された台風進行方向後面左側の強風の構造

水平格子間隔 2km の最内側のドメインの結果を用いて解析する。関東平野上陸時の台風の構造に関して、台風は北東気流によってもともと関東平野に存在していた下層の低相当温位域（冷氣層）の上に南側からのり上げる構造になっていた。

高度 250m における風速分布を見ると、下層の寒気場内の風向は観測と同じように、台風北側の気塊が台風の西側を通過、台風後面へ吹き出すように向いている。そして、強風域のピークは、台風中心が相模湾に入り台風後面から下層の冷氣が相模湾沖に流出するのに対応していた（図 2）。図 2 から明らかなように、冷氣の流れは台風中心と関東平野西方の山岳の影響により、台風西側で流路幅が狭まる流れを形成している。台風西側の冷氣に対応した下層の強風の極大は高度約 250m にあった。台風が上陸する前ではこのような風の場合はみられず、主に進行方向右側で強風となっていた。また上陸後でも、高度約 1km 以上では台風進行方向後面の強風域は見られず、主に進行方向右側で強風となっていた。

強風が観測された相模湾沖を起点としたトラジェクトリ一解析により、下層の冷氣は関東西方の山岳に沿って南下しながら加速していることが分かった（図 3）。特に、狭まった流路の出口にあたる台風の進行方向後面では、下降し広がりながらさらに大きな加速が加わり、相模湾沖で風速の極大域が形成されていた。

図 4 に 296K の等温位面高度の時間変化を示す。相模湾沖で最も強い風がみられた図 3 の左から 4 番目の気塊（TR-4）の軌跡も合わせて示してある。時間と共に冷氣が相模湾に流出している様子が分かる。また、特に 17:12 と 17:18JST では丹沢山付近で等温位面高度の南向きの負の勾

配が大きく、TR-4 は 1718JST 頃にそこを下降し加速しながら通過している。この冷氣層の高度の勾配による気圧傾度力によって丹沢山付近で気塊が加速されていたと推察できる。これは図4における海面気圧を示すコンターが丹沢山付近で密であり、また冷氣に対応して凸をした形をしており、それにほぼ直行するようにTR-4の軌跡が示されていることから明らかである。

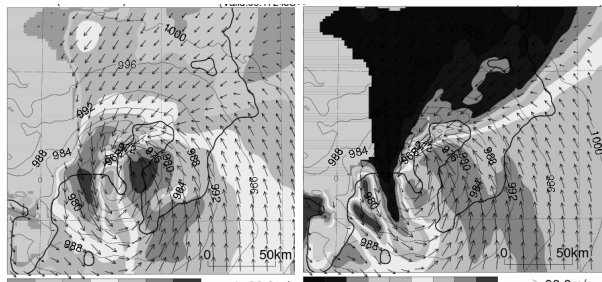


図2. 2km格子モデルによる1724JSTの高度250mにおける(a)風速と(b)温度の分布. コンターは海面更正気圧、灰色は地形を示す。

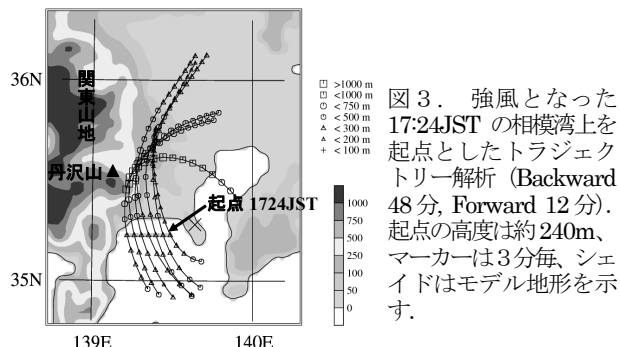


図3. 強風となった17:24JSTの相模湾上を起点としたトラジェクトリー解析(Backward 48分, Forward 12分). 起点の高度は約240m、マーカーは3分毎、シェイドはモデル地形を示す。

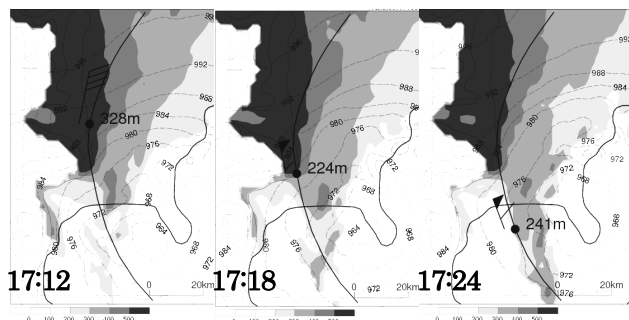


図4. 等温位面高度($\theta=296K$)の時間変化. 実線はTR-4の軌跡. その時刻の風速、高度を合わせて示す. 破線のコンターは海面気圧.

5. 強風の力学的メカニズム

山岳に沿って南下してきた冷氣が、台風進行方向後面左側において、どのような力学的メカニズムによって加速されたのか定量的に評価する。まず、相模湾沖で最も強い風を伴っていたトラジェクトリー (TR-4) について、水平方向の運動方程式の各項を数値モデルから直接出力した。式(1)右辺第3項の摩擦項は、乱流混合以外に、数値拡散の効果も含めている。

$$\frac{DV}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P - f \mathbf{k} \times \mathbf{V} + \mathbf{Fr} \quad (1)$$

式(1)右辺第1項の気圧傾度力(PGF)の効果を診断するためにMahrt(1982)に従い、以下のように分解する。

$$PGF(z) = g \frac{d}{\theta_0} \sin \alpha - \cos \alpha \frac{g}{\theta_0} \frac{\partial(\bar{d}h)}{\partial s} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_{amb}}{\partial s} \quad (2)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{h} \int_z^h (\theta_0 - \theta) dz$$

ここで、 d は環境場と冷氣層の温位の偏差、 α は地形の傾斜、 h は冷氣層の厚み、 θ_0 は冷氣層における平均温位である。第1項は冷氣層が受ける地形の傾斜の効果 (PG_{slope})、第2項は冷氣層の厚みの水平勾配または水平温度傾度によるもの (PG_{depth})、第3項は大規模場による気圧傾度力の効果 (PG_{large}) を意味する。実際の各項の計算方法はParish and Cassano (2003)を参照した。

図5に結果を示す。運動方程式に関して、気圧傾度力の項が支配的であり、それによって粒子が加速されていることが分かる。丹沢山付近を通過する1712~1718JST頃に大きな加速があり、それは気圧傾度力とも対応する。つまり、丹沢山付近における気圧傾度力は相模湾上での強風域形成に大きく寄与していたと言える。その気圧傾度力を式(2)によって分解したのがb図であるが、大規模場による PG_{large} が卓越している。これは、台風中心が関東南部に接近したため、関東平野では南方向へ大きな気圧傾度力がはたらいていたためである。一方、 PG_{depth} は PG_{large} に比べて全般に小さな値であるが、丹沢山付近では 10^2 のオーダーになり、 PG_{slope} の効果も加わって、1718JST頃大きなPGFが生じる結果となっている。つまり、山岳に沿って南下する冷氣は台風の気圧場が作り出す気圧傾度力で加速を受け、またその冷氣の流れは関東西方の山岳と台風の位置関係により流路幅が狭まる流れを形成し、その出口にあたる丹沢山付近で冷氣が発散的に広がり下降する (PG_{depth} が正の効果) ことで台風後面の相模湾沖に強風域が形成されたと結論づけられる。これは一般に“gap flow”と呼ばれるメカニズムと同等である。

関東山地を除いた実験や地表面温度を変えた感度実験から、台風と山脈の位置関係と下層の冷氣の存在が“gap flow”の形成において非常に重要であることが分かった (図略)。

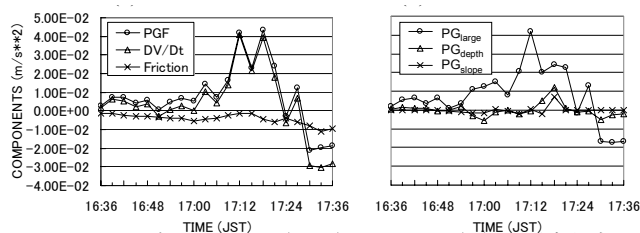


図5. トラジェクトリー (TR-4) における (a) 運動方程式の各項の風向に沿った成分と、(b) 式(2)における気圧傾度力の各項の時系列。

<参考文献>

- Mahrt, L., 1982: Momentum balance of gravity flows. J. Atmos. Sci., 39, 2701-2711.
- Parish, T. R., and J. J. Cassano, 2003: Diagnosis of the katabatic wind influence on the wintertime Antarctic surface wind field from numerical simulations. Mon. Wea. Rev., 131, 1128-1139.