

台風気圧分布の歪みと超傾度風を考慮した高潮推算

Albena Dimitrova Veltcheva*・河合弘泰**

高潮推算に用いる台風の気圧分布としては、従来から Myers の気圧分布がよく仮定されてきたが、この気圧分布によって台風 9918 号による高潮を推算すると、周防灘の西部では観測値を大きく下回った。周防灘は東西に長い内湾であり、台風 9918 号はその周防灘を南北に横切ったため、台風を中心付近の気圧や中心の前方で吹く風が高潮推算において重要となる。九州に上陸した台風の気圧分布は、陸上地形の影響によって歪んでおり、中心の前方に気圧の低い部分が広がる傾向がある。このような気圧分布の歪みと、台風を中心付近の超傾度風を考慮することによって、周防灘西部でも観測値に近い海上風や高潮偏差が得られた。

1. はじめに

台風 9918 号は八代海や周防灘に顕著な高潮を発生させ、日本では伊勢湾台風以来の高潮災害をもたらした。高潮推算に用いる台風の気圧分布としては、従来からよく Myers の分布が仮定されてきたが、この分布によって高潮を推算すると周防灘西部で観測値を大きく下回り、例えば苅田では 2.1 m の観測値に対し推算値は 1.3 m であった。また、海上風の風速についても観測値を大きく下回っていた。そこで、苅田で観測風と合うように推算風を補正すると、観測値に近い高潮偏差が得られた(河合ら, 2000a, 2000b)。しかしながら、このような補正は、過去の台風に対する追算には有効であるものの、これからの台風の予測には使えない。

ところで、これまで高潮推算では、台風が中心が南北に長い内湾の西方を北上し、中心の右方で吹く南風が湾奥に顕著な高潮を発生させる場合を対象にすることが多く、このような条件では従来からの方法でも比較的良好な精度が得られていた。ところが、周防灘は東西に長く、台風 9918 号の中心は周防灘を南北に横断した。この高潮は主として、台風を中心の付近における気圧低下や、その前方で吹く東寄りの海上風によって引き起こされたものと考えられる。また、この台風は、九州北部を横断している間に気圧分布が変形した可能性もある。したがって、台風の気圧分布の歪み、中心の前方で吹く風の特徴などを明らかにし、周防灘西部においても高潮の推算精度を向上させる必要がある。

2. 気圧分布の歪み

(1) Myers の分布による気圧の推定誤差

九州の周辺に来襲し周防灘にも影響を及ぼした代表的な台風としては、台風 9918 号の他に、9117 号、9119 号、9307 号があり、これらのコースは図-1 の通りである。こ

れらの台風が来襲した期間に西日本約 70 地点で観測された毎時の気圧データを整理した。

Myers の気圧分布は次式により表される。

$$p(r) = p_0 + (p_n - p_0) \exp \left[-\frac{r_0}{r} \right] \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 r_0 は最大風速を与える半径、 p_0 は中心気圧、 p_n は無限遠方の気圧である。Myers の分布による気圧の推定誤差 Δp_i は次式によって定義した。

$$\Delta p_i = p_i^{obs} - p_i^{Myers} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 i は観測地点の番号、 p_i^{obs} は観測気圧、 p_i^{Myers} は Myers の気圧分布にあてはめた場合の気圧である。

この推定誤差 Δp_i を、台風を中心を原点に前方、右方、後方、左方の 4 象限に分けて平均した結果を図-2 に示す。台風 9918 号と 9119 号では、中心の前方において実際の気圧が Myers の分布による推定気圧より低くなっている。また、これら 2 つの台風ほど顕著ではないが、9307 号、9117 号でも同様な傾向が見られる。なお、この図の作成にあたっては、なるべく台風の中心に近いところの気圧分布を評価するために、台風の中心からの距離が $3r_0$ 以下の点だけに絞った。また、各時刻の各象限におい

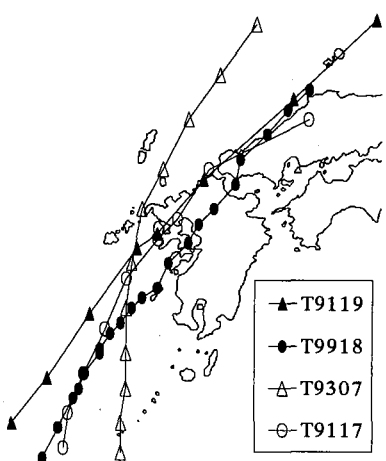


図-1 九州周辺に来襲した台風の経路

* M.Sc. (独法) 港湾空港技術研究所海洋・水工部高潮津波研究室
** 正会員 工修 (独法) 港湾空港技術研究所海洋・水工部主任研究官

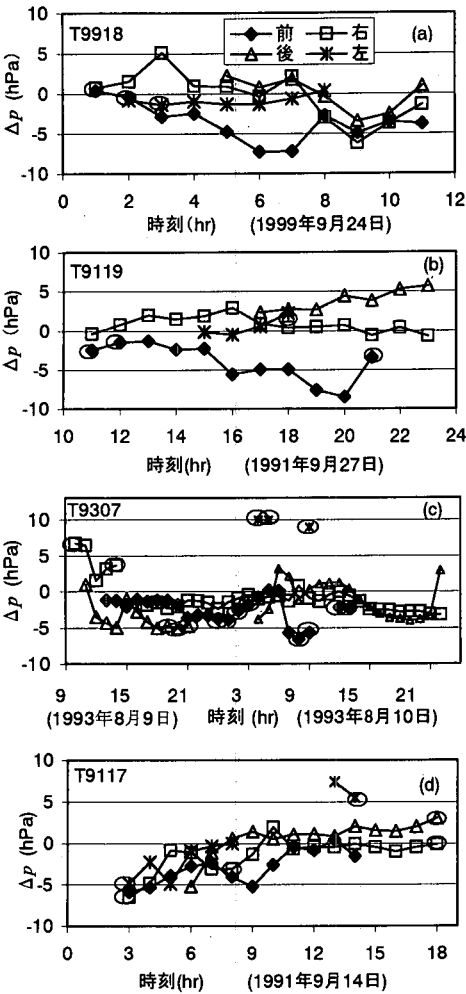


図-2 各象限における気圧の推定誤差

て該当該地点が1地点しかないものについては、図中に○印をつけた。

(2) 歪みのモデル化

野中ら (2000) は気圧分布の歪みを表現するために楕円型分布を提案しているが、本研究では気圧分布の歪みをさらに細かく評価するため、台風の中心からの距離 r と角度 θ (台風の進行方向を 0 deg, 反時計回りを正と定義) の関数、

$$p(r, \theta) = p_0 + (p_n - p_0) \exp \left[-\frac{r_0(\theta)}{r} \right] \dots \dots \dots (3)$$

により与える。半径 $r_0(\theta)$ は 2 次の項までのフーリエ級数、

$$r_0(\theta) = \bar{r}_0 + r_{01} \cos(\theta - \alpha_1) + r_{02} \cos(2\theta - \alpha_2) \dots \dots (4)$$

により与える。ここに $\bar{r}_0, r_{01}, r_{02}$ は半径, α_1, α_2 は位相であり、観測値から最小 2 乗法により求める。気圧分布に歪みがない場合 ($r_{01} = r_{02} = 0$) には式 (1) になる。

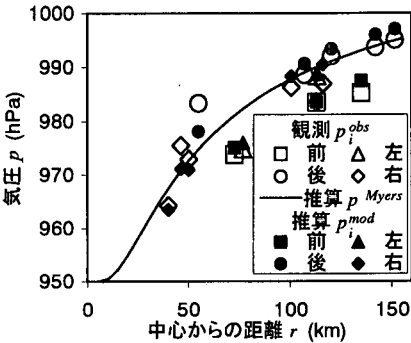


図-3 気圧の推定精度

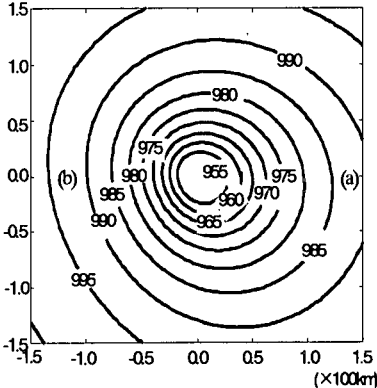


図-4 歪みを考慮した気圧分布

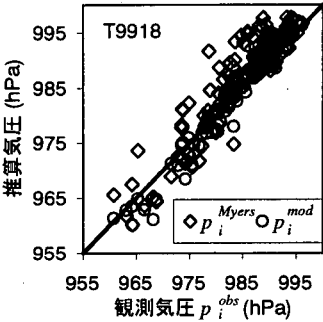


図-5 気圧の推定精度 (全時刻)

(3) 歪みのモデルの精度

図-3 は、1999 年 9 月 24 日 7 時(台風 9918 号の中心が周防灘を通過する 1 時間ほど前)を例として、観測気圧と推算気圧を示す。Myers の分布による推算気圧 p^{Myers} に比べ、歪みを考慮した推算気圧 p^{mod} は、何れの象限においても観測気圧に近い値を再現している。

図-4 は、図-3 と同時刻について式 (3), (4) による気圧分布を示したものである。台風の中心の前方 (図の a の方向) では等圧線の間隔は膨らみ、後方 (b の方向)

は狭まっている。この例では、 $\bar{r}_0=57.6$ km, $r_{01}=13.5$ km であり、前方では等気圧線の間隔が式 (1) で評価する場合よりも約 2 割広くなっている。気圧分布に歪みがあると、同心円の気圧分布を仮定した場合に比べて、気圧勾配の分布が変化し、その結果として海上風の分布も変化する。その変化量については後述する。

図-5 は、台風 9918 号の来襲期間に全地点で観測された気圧とその推定気圧を示す。他の時刻についても気圧の場が精度良く再現されている。

3. 海上風の分布

(1) 超傾度風を考慮するための風速低減係数

本研究では、海面抵抗の影響の及ばない自由大気における平面的な風の場合、藤井・光田 (1986) のモデルにより推算した。また、台風の眼のすぐ外側では、眼の三次元構造に起因して、自由大気の風速 U_c を超える海上風が生じており、超傾度風 (super gradient wind) とよばれている。ここでは、藤井・光田 (1986) によるモデルを導入し、その風速 V_{super} を、

$$V_{\text{super}} = C_1(x) U_c \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$C_1(x) = C_1(\infty) + [C_1(x_p) - C_1(\infty)] \left(\frac{x}{x_p} \right)^{k-1} \times \exp \left\{ \left(1 - \frac{1}{k} \right) \left[1 - \left(\frac{x}{x_p} \right)^k \right] \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

により与える。ここに $x=r/r_0$, $x_p=0.5$, $k=2.5$, $C_1(\infty)=2/3$, $C_1(x_p)=1.2$ である。なお、従来のモデルでは超傾度風が考慮されておらず、風速低減係数 C_1 には x によらない定数 $0.6 \sim 0.7$ がとられていた。

気圧分布の歪みと超傾度風の範囲との関係は明らかにされていないが、本研究では半径 $r_0(\theta)$ に応じて変化するものと仮定する。図-6 は、図-3, 4 と同時刻について、中心の前方の風速低減係数 $C_1(x)$ を示す。 r_{0M} は歪みを考慮しないときの半径であり、歪みを考慮した場合には平均半径 $\bar{r}_0$ に相当する。気圧分布の歪みの考慮により、中心の前方では風速係数 $C_1(x)$ の大きい領域が広がる。

(2) 気圧分布の歪みと超傾度風による海上風の変化

図-7 は、図-3, 4, 6 と同時刻について、推算風速の平面分布を示す。(a) は Myers の分布による推算風速、(b) は気圧分布の歪みのみを考慮した推算風速、(c) は超傾度風のみを考慮した推算風速、(d) は気圧分布の歪みと超傾度風の両方を考慮した推算風速である。

また、(e) は (b) と (a) の差、すなわち超傾度風を考慮しない条件の下で気圧分布の歪みが推算風速に及ぼす影響を示す。台風の中心の前方では、風速が小さくなるところと大きくなるところがあるが、その変化は絶対値として小さい。一方、(f) は (c) と (a) の差、すなわち気圧分布の歪みを考慮しない条件の下で超傾度風が推

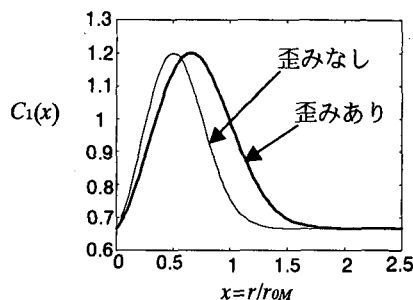


図-6 気圧分布の歪みと風速低減係数

算風速に及ぼす影響を示す。超傾度風の考慮によって特に台風の中心から $10 \sim 70$ km の範囲で推算風速が大きくなっている。さらに、(g) は (d) と (c) の差、つまり超傾度風の状態で気圧分布の歪みがもたらす風速の変化を示す。これによって、中心の前方では最大で約 10 m/s の差が生じている。

最後に (h) は (d) と (a) の差、すなわち気圧分布の歪みと超傾度風の両方が推算風速に及ぼす影響を示す。必ずしも、気圧分布の歪みのみの影響 (e) と超傾度風のみの影響 (f) の線形重ね合わせにはなっていない。

図-8 は、荻田における風速の変化を示す。観測値が得られたのは 7 時まででそれ以降は欠測している。また、気圧分布の歪みを考慮した風速は、四つの象限で気圧データの得られた 5 時以降のみを示している。風速がピークとなった 7 時について見ると、従来の推算値 V_{Myers} と気圧分布の歪みのみを考慮した推算値 V^{mod} との差は小さい。超傾度風のみを考慮した推算値 V_{super} はこれらよりもやや大きな値になっているが、まだ観測値を大幅に下回っている。気圧分布の歪みと超傾度風の両方を考慮した推算値 $V_{\text{super}}^{\text{mod}}$ は、これら 2 つの効果をそれぞれ独立に考慮して線形的に足し合わせるよりも大きな推算値になり、観測値にも近い値となっている。したがって、海上風の推算精度の向上には、気圧分布の歪みと超傾度風の両方を考慮する必要がある。

図-9 は、荻田以外の地点も含む、陸地の影響が小さいと考えられる風向時について、観測風と推算風を比較したものである。気圧分布の歪みと超傾度風の考慮により海上風の推定精度が向上している。

4. 気圧分布の歪みと超傾度風が高潮に及ぼす効果

前章までに述べた気圧分布の歪みと超傾度風を考慮して高潮を追算した。気圧分布の歪みは 9 月 24 日 4 時まで無視し、それ以降は 5 時以降の毎時における歪みのパラメータ値を内挿して与えた。計算格子の配置やその他の計算上の仮定は河合ら (2000a, 2000b) と同じである。

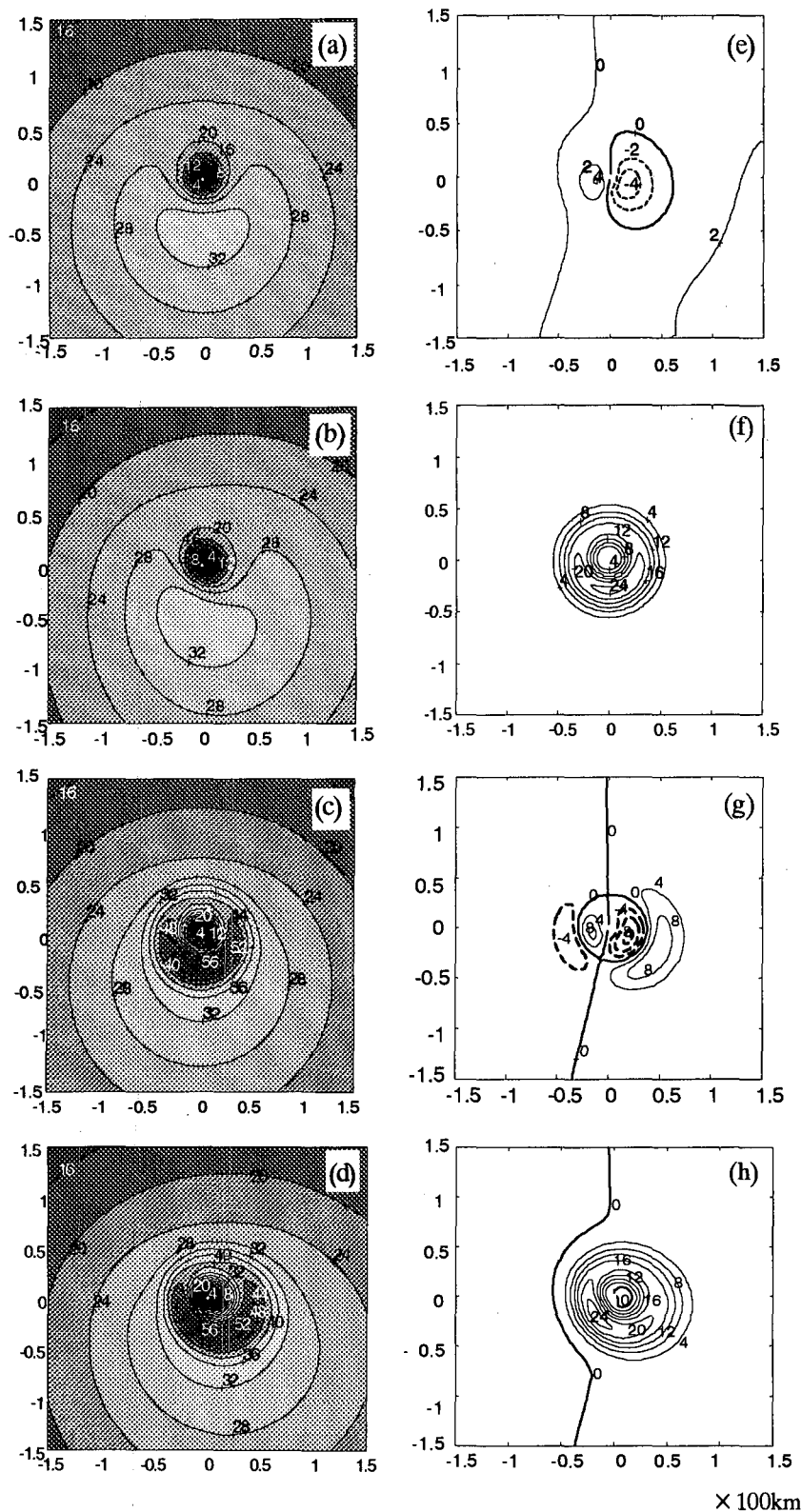


図-7 台風モデルによる推算風速の比較 (図の右側が台風の進行方向)

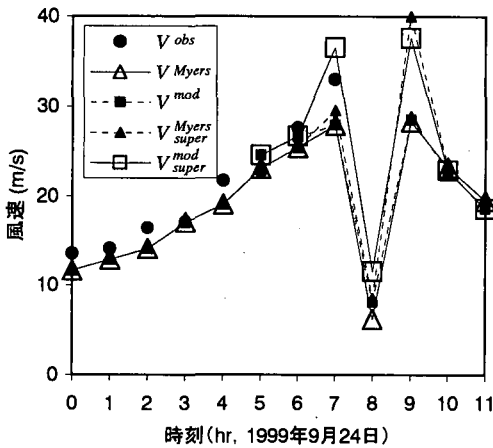


図-8 推算風の比較 (荻田)

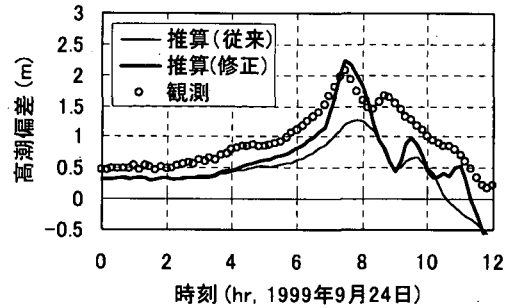


図-10 潮位偏差の経時変化の比較 (荻田)

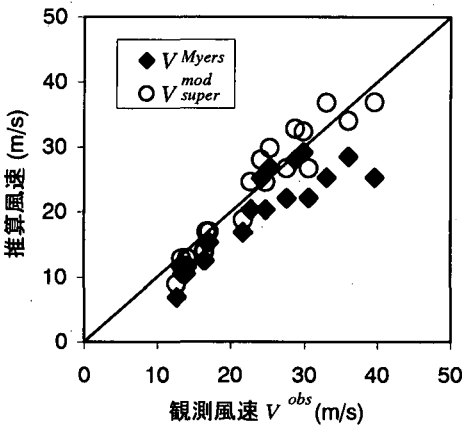


図-9 推算風の比較 (周防灘)

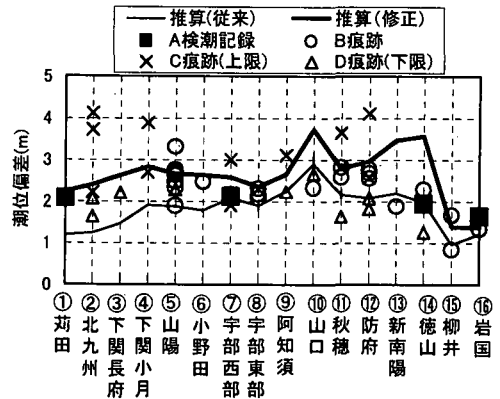


図-11 潮位偏差の比較 (周防灘西・北岸)

図-10 は、荻田における高潮偏差の変化を示す。気圧分布の歪みや超傾度風を考慮することによって、高潮偏差のピーク値も概ね再現されている。ただし、ピーク後の推算値は観測値に比べて急速に減少しており、この原因の一つとしては台風の眼の後方で吹く陸風の過大評価が考えられる。

図-11 は周防灘の西・北海岸について示したものである。現地調査の詳細については、河合ら(2000b, 2000c)を参照されたい。気圧分布の歪みと超傾度風を考慮することによって、従来の方法では過小評価していた周防灘西部でも、検潮記録や現地調査の結果に近い高潮偏差が得られている。

5. おわりに

台風の気圧分布の歪みや超傾度風を考慮することによって、周防灘西部の高潮の推算精度を高めることがで

きた。今後は、他の台風や他の海域についても、気圧分布の歪みの評価や高潮の再現性の検証を行いたい。また、台風の眼の後方で吹く風（特に陸風となる場合）についても検討したい。

なお、本研究は運輸施設整備事業団基礎研究制度によるものであり、関係各位に謝意を表したい。

参考文献

- 河合弘泰・平石哲也・佐藤孝夫・大川郁夫 (2000a): 台風 9918 号による九州沿岸と瀬戸内海西部の高潮の特性, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 321-325.
- 河合弘泰・平石哲也・丸山晴広・田中良男 (2000b): 台風 9918 号による高潮の現地調査と追算, 港研資料, No. 970, 43 p.
- 河合弘泰・平石哲也・丸山晴広・田中良男・古屋正之・石井伸治 (2000c): 八代海と周防灘における台風 9918 号の高潮・波浪災害の特性, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 306-310.
- 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・伊藤吉孝 (2000): 拡張型確率的台風モデルを用いた波高の極値推定システム, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 271-275.
- 藤井 健・光田 寧 (1986): 台風の確率モデルの作成とそれによる強風のシミュレーション, 京都大学防災研究所年報, 第 29 号, B-1, pp. 229-239.
- Velitcheva, A. D. and H. Kawai (2002): Investigation of the Typhoon Pressure and Wind Field with Application for Storm Surge Estimation, Report of Port and Airport Research Institute, Vol. 41, No. 2 (in printing).