

回答

藤 部 文 昭*

孟 (1997; 以下 M97) のコメントの要点は次のように集約できよう。

1. 原論文(藤部, 1996; 以下 F96)の基礎方程式やそれに基づく計算式は単純すぎ、現実の風系には適合しない [前文および第 1, 2, 4 節の一部].
 2. F96が台風の移動速度と一般風を別々に扱ったのは、不合理である [第 1, 2 節の一部].
 3. 風速分布を座標変換で計算する方法は不適當である [第 1 節].
 4. Blaton の式に基づく計算方法は正しい [第 3 節].
 5. 現実の台風の風速分布にとっては表面摩擦の効果が重要である [第 4 節].
- 以下、これらについて回答させて頂く。

1. F96 論文の目的と意義

M97のコメント全体を貫く思想として、計算結果の現実への適合性すなわち“現実の台風に伴う複雑な風を忠実に表現できること”を最優先する価値観が読み取れる。F96に対する疑問や批判の多くはこの価値観に由来している。しかし、気象学においては現実適合性だけが唯一絶対の価値基準ではない。

F96のねらいは、台風の移動によって風速分布が非対称になるカラクリを、基本的な視点から考え直してみることだった。それと言うのも、①風速の計算方法がいろいろあり、もとの方程式が同じなのに出てくる答が違う¹⁾、②台風進路の左右の風速差ができる理由について、解説書の説明にバラつきがある²⁾…のが実情だからである。台風の右側で風が強いことは重要な防災知識であり、科学に興味のある子なら小学生でも知っている。なのに、気象のプロが正解を知らないと

か、うまく説明できないというのでは、情けないではないか？ これは現象の物理的理解の問題であって、現実適合性とは次元の違う話である。

M97は、F96の使った基礎方程式が現実と比べて単純すぎるから、いろいろな計算方法の是非を検討しても無意味だと言う。これは現実適合性と物理的理解の問題とを混同した論理である。現象の理解にとって、方程式の解きかたに矛盾がないかどうかは重要である。早い話、「どうして台風の右側は風が強いのか？」と聞かれたとき、「とにかく事実は強いんだ、理由などどうでもよい」などと答えて済まされるだろうか？

F96を書いたもう1つの理由は、簡便な計算式が実際に使われているからであった。その具体例は、台風そのものの解析のほか、高潮のシミュレーションやドップラーレーダーの解析など数多い³⁾。これらの利用者は、計算式が現実の風系の忠実な表現ではなく、第1近似を与えるに過ぎないことを、ちゃんと承知している(と思う)。それでも簡便な式が使われるのは、彼らの研究にとって十分役立つからである。計算式の利用価値は目的に応じて変わるものであり、複雑であればあるほど良いというものではない。この点もやはり、現実適合性の問題とは分けて考えなければいけない。

以上のように、M97は計算結果の現実適合性とらわれすぎ、問題点を取り違えていると言わざるを得ない。風工学の立場から見れば現実適合性が最重要なのは分かるが、F96にはこれとは別の観点からの目的と

¹⁾ 「計算方法によって答が食い違う」のを示したこと自体が、F97のポイントの1つである。

²⁾ “台風の渦に移動速度が重なる”という説明と“台風の渦に一般風が重なる”という説明がある。

³⁾ 利用例の中には、F96で検討されたものよりさらに大ざっぱな計算方法を使っているものもある。例えば台風の移動速度をそのまま加えるとか、移動速度の半分を加えるなどである。

* 気象研究所予報研究部。

—1997年2月27日受領—

—1997年6月27日受理—

意義があることを理解してほしい。

2. 移動速度と一般風の扱い

M97は、F96の基礎方程式について“台風の移動速度と一般風を分けて扱ったのは不合理だ”と言っている。この点は、著者自身もF96の弱点だと思っている。

M97が言うように、台風の移動速度は本当は基本場と台風との相互作用によって決まるものであり、風速分布もこの相互作用の中で実現されるものであろう。F96が移動速度と一般風を別々に与えたのは、こうした状況を簡略化した便宜上の処置なのだが、厳密に傾度風バランスする解は求まらなかった(次節参照)¹⁴。このことは、問題設定の“無理”を象徴している。

ただし、これはF96だけの問題ではない。従来多くの研究(Yoshizumi, 1968; 藤井・光田, 1986など)でも、一般風がないのに台風が移動するという(物理的に無理な)設定になっている。原著者が意識しているかどうか分からないが、孟ほか(1993, 1996)とて例外ではない。F96ひとりが変な式を使ったわけではないことを理解してほしい。

M97は計算式と数値予報結果との比較を薦めているが、著者も同感である。実際のところ、秋の台風が偏西風帯を高速で進む際には、程度の差はあっても軸対称な構造は崩れ、気圧分布や移動速度も非定常になっている¹⁵。こういうときに計算式を使うのはもともと無理だろうが、あえて風速分布を求めてみた場合、そ

れが数値予報で表現される風速分布とどの程度合うのかを調べておく価値はあろう。

3. 座標変換による計算方法の是非

この点については、M97の議論に基本的な誤解がある。“台風と一緒に動く座標上の傾度風を求める”とは、一般的な座標変換に他ならず、“台風を川の中の渦に例える”こととは関係がない。

座標変換による解法の本当の問題点は、移動速度と一般風速が等しくない限り、傾度風バランスが厳密には成り立たないことである(F96のp. 674左下)。しかし中心付近では傾度風バランスがほぼ成り立っており、次節の式(1)などに比べて問題は少ない¹⁶。F96が座標変換による解を“力学的に見て最も合理的”であると書いたのは、これを根拠にしたものだが、その当否については力学の素養のある方からのご意見をぜひうかがいたいと思う。

4. Blatonの式に基づく計算方法の是非

まず確認しておきたいのは、Blatonの式そのものは正当であって、もし流跡線の曲率を正しく与えれば、座標変換で求めたのと同じ結果が出てくる点である(F96のp. 678左上)。F96が問題にしたのは、Blatonの式の使い方である。

M97には、Blatonの式が

傾度度が非常に強いためであり、直感的な考察(高橋, 1944)とも合っている。

¹⁷ 式(1)で計算した風速分布は、移動座標系で等圧線を横切る成分を持ち、傾度風バランスから大きくズレている。もしBlatonの式から出発して力学的に矛盾の少ない解を求めようとすれば、もっと手の込んだ方法が必要である。F96が“的確に計算することが難しく…”と書いたのは、このことに他ならない。

¹⁸ 台風の中心付近は遠心力が非常に強いので、摩擦効果による風向・風速のわずかな変化が遠心力に反映し、力のバランスがガラリと変わってしまう。この点を考えると、最初から摩擦を入れた方程式を解くShapiro(1983)のやり方が、方法論の点ではすぐれているように思える。その代わりにShapiro(1983)の計算は地上風だけを扱っていて、風の鉛直分布を考えていない。またどの方法も気圧分布に合う風速分布を診断的に求めたに過ぎず、気圧場へのフィードバックは入っていない。

¹⁴ 本稿でいう“傾度風バランス”とは、移動座標系(=台風と一緒に動く座標系)でのつり合いを指す。なぜなら傾度風バランスは定常状態を前提にしており、それは移動座標系でしか成り立ち得ないからである。なお移動速度と一般風速が等しければ、自明なバランス解が存在する(F96の式(13))。

¹⁵ M97は“台風9119の移動速度が25ms⁻¹近く”だったと言うが、これは台風が日本海へ進んだ後の値である。この台風は九州へ上陸したところから眼が崩れ始めるとともに気圧分布の非対称化が進み、北日本を通る際には気圧分布がナベ底形になって、最盛期の台風とは非常に違った状況になっていた(藤部, 1993)。こういう場合に今回の計算式が使えないのは当然である。この点は、最盛期の台風を前提とする他のすべての式についても言えることである。

¹⁶ 中心付近の風速分布は、台風が静止している場合の風速分布に移動速度が重なった状態になり、一般風には関係しない。このことは、台風の渦をあたかも剛体のように見なせることを意味する。これは中心付近の気

$$\frac{1}{r_t} = \frac{1}{r} \left(1 - \frac{C \cos \theta}{v}\right) \quad (1)$$

だと書かれている (v は風速, C は台風の移動速度, r と θ は気圧中心からの距離と方位角, r_t は流跡線の曲率半径) が, これは正しくない. Blaton の式は, 正しくは

$$\frac{1}{r_t} = \frac{1}{r_s} + \frac{1}{v} \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (2)$$

である (ϕ は風向, r_s は流線の曲率半径). (1) は (2) で $r_s = r$ と仮定した場合に導かれる式であるが, この仮定は F96 で指摘したように不合理である.

$r_s = r$ がなぜおかしいかと言うと, これは“流線が円形”であることを意味するからである. 台風が止まっていればそれで良いが, 台風が動いている場合には, その前面では風向は中心から離れる成分を持ち, 後面では中心に向かう成分を持つので, 流線は円形からズレる. 式 (1) はこのズレを無理やり 0 と置いているため, 力のバランスが変になる⁷⁾.

M97 には, 式 (1) が上記とは“全く別の観点から”も導かれたと書かれている. しかし, その導出においては $v_r = 0$ (v_r は速度の r 成分) に相当する仮定が使われている (孟ほか (1993) の式 (13) から (15) に至る部分). $v_r = 0$ も“流線=円形”を意味することになりはなく, 実質は上記と同じである.

M97 は式 (1) に摩擦効果を加えて計算した結果が実測と合うことを主張している. しかし, 計算の根拠が変でも答が合えば良い…とはまさか言えまい. 少なくとも著者は, そこまでプラグマティックにはなれない.

5. 表面摩擦の効果

台風の風に対する表面摩擦の重要性については著者も同感である (だからと言って“摩擦を考えない議論は無意味”というわけではない. これは第1節で書いた通りである). F96 には摩擦や地形効果の話は書かれていないが, これはそれらが論文のテーマではないからである. この回答文でも摩擦への深入りは避ける.

ただ, 摩擦を入れた計算にもいろいろな方法がある点をコメントしておきたい. Yoshizumi (1968) と孟ほか (1993) はまず摩擦がない場合の式を導き, これに

境界層の補正を加えているのに対し, Shapiro (1983) は地上風だけを対象にし, 摩擦を入れた方程式を一気に解いている. これらについても相互比較を行い, 摩擦効果についての理解を進めていくことが望まれる¹⁸⁾.

6. おわりに

M97 のコメント内容に対しては批判的にならざるを得なかったが, コメントを頂いたこと自体はたいへんありがたいことであり, 孟氏に感謝したい. 実のところ, この回答に書いた事柄の中には, コメントを契機として認識し直すことのできた部分が少なくない.

台風進路の左右の風速差は身近で重要な問題なのに, なぜ今まであまり議論にならなかったのか不思議である. 力学に堪能な方からもご教示を頂き, この問題への理解をさらに深めることができるよう願っている.

参考文献

- 藤部文昭, 1993: 台風9119による東北地方の強風の特徴—洞爺丸・第2室戸台風との比較—, 天気, **40**, 403-412.
- 藤部文昭, 1996: 移動する台風の風速分布を表す計算式について, 天気, **43**, 671-680.
- 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, **29 B-1**, 229-239.
- 孟 岩, 1997: 「移動する台風の風速分布を表す計算式について」に対するコメント, 天気, **44**, 637-640.
- 孟 岩, 松井正宏, 日比一喜, 1993: 台風に伴う強風場を求めるための解析モデルの提案, 日本風工学会誌, **57**, 1-14.
- 孟 岩, 松井正宏, 日比一喜, 1996: 中立時の大気境界層における強風の鉛直分布特性 その2 台風時の強風, 日本風工学会誌, **66**, 3-14.
- Shapiro, L. J., 1983: The asymmetric boundary layer flow under a translating hurricane, J. Atmos. Sci., **40**, 1984-1998.
- 高橋浩一郎, 1944: 移動しつつある気圧の場に伴う風に就いて, 気象集誌, **22**, 19-21.
- Yoshizumi, S., 1968: On the asymmetry of wind distribution in the lower layer in typhoon, J. Meteor. Soc. Japan, **46**, 153-159.

Reply

Fumiaki Fujibe*

**Forecast Research Department, Meteorological Research Institute, Tsukuba 305, Japan.*

(Received 27 February 1997 ; Accepted 27 June 1997)

「短報」欄への「コメント」と「回答」の掲載について

「天気」編集委員会

海外の学術雑誌では、誌上で掲載論文に関する質疑応答が活発になされていますが、これまで日本気象学会の雑誌の中で掲載論文に関する質疑応答がなされることは極く稀にしかありませんでした（数少ない例としては、気象集誌, Vol. 66, 179-186など）。しかし、誌面上での質疑応答は、真摯な討論を通して気象学の発展に寄与するだけでなく、会員相互間のコミュニケーションを活発にする上でも望ましいと考えられます。

97年1月に孟岩会員から「天気」に、本誌第44号に掲載された藤部文昭会員の論文に対する意見が寄せられました。現在の投稿規定や投稿案内によると、短報は「コメント」と「回答」を掲載する欄としては位置づけられておらず、孟会員も当初、藤部会員の論文に対する意見を「会員の広場」のようなコーナーに掲載することを念頭に置いて投稿されました。しかしながら、「天気」編集委員会では「コメント」と「回答」は本来「短報」欄に掲載すべきではないかと考え、孟会

員に「短報」欄への投稿を前提に、表現や内容の整理改稿をお願いしました。

孟会員の改訂原稿は、「天気」編集委員会が拝見し、内容的に十分天気掲載を検討する価値があるとの判断を下したため、藤部会員に孟会員の「コメント」に対して「回答」を寄せる意志があるかどうかを確認しました。こうして提出された藤部会員の「回答」は孟会員の「コメント」と共に、査読者を依頼して内容の妥当性を検討していただき、その意見をもとに「天気」編集委員会で検討して、孟会員と藤部会員に改訂を依頼しました。このような手続きを経て、「天気」編集委員会では97年6月27日に「コメント」と「回答」を受理し、本号「短報」欄に掲載することにした次第です。

「天気」編集委員会では、98年1月号に掲載される投稿案内で「短報」欄の項を然るべく改訂し、今後とも「天気」に掲載された論文に対する「コメント」の投稿を歓迎していきたいと考えています。会員の皆様のご協力をお願いいたします。