

観測点の密度の違いによる発散量の計算値の比較*

青 木 孝**

要 旨

梅雨末期集中豪雨特別観測の資料を使い、福岡・鹿児島・啓風丸のつくる三角形の領域の発散量を、この3点の観測値から求めた場合と、さらに熊本、長崎、福江を加えた6地点の観測値を考慮して求めた場合との比較を行なったところ、両者の差は無視できない大きさであった。

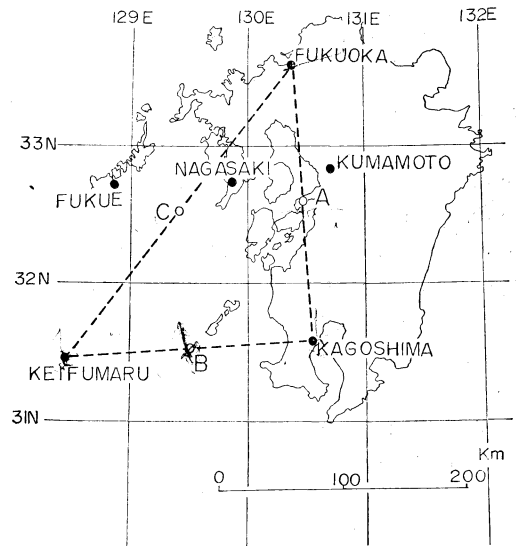
1. はじめに

気象現象の総観的な解析の際に発散量を計算する場合が多い。発散量の計算方法は渡辺(1958)が紹介しているように数多くあるが、そのひとつに3地点の風を用いるBellamy法がある。この方法では風の分布を線型と仮定しているが、Schmidt and Johnson(1972)が示したように、この仮定は必ずしも許されない。

Schmidt and Johnson(1972)はルーチンの観測網の資料を用いたが、ここでは、それより密な1970年と1971年に行なわれた梅雨末期集中豪雨特別観測資料を使い、福岡・鹿児島・啓風丸(31.5 N, 128.5 E)がつくる三角形の領域(面積は $2.2 \times 10^4 \text{ km}^2$)についての発散量を、福岡・鹿児島・啓風丸の3地点の観測値から求めた場合(以下では一次近似という)と、さらに熊本・長崎・福江を加えた6地点の観測値を考慮して求めた場合(以下では二次近似という)の比較を行なった(第1図参照)。

なお、吉住(1972)はいろいろな観測点数で計算された鉛直速度の値を比較し、3点の実測風を基にして地点間を直線的に内挿して計算した発散量には系統的な誤差を含みやすいことを指摘しているが、領域の面積はこの報告の場合に比べ1桁くらい大きい。

Kurihara(1961)による上層風の誤差をもとに中山(1968)はBellamy法の誤差をみつかり、発散の計算値が誤差範囲内にあることが多いことを報告している。観測点の密度が大きくなると、より詳細な風の分布が得られるが、誤差の入る可能性も多くなる。本文では観測値には誤差がないことを前提として計算を行ない、観測



第1図 高層観測点と計算に使用した三角形

点の密度の相異による発散量の相異を吟味した。

2. 発散量の計算方法

発散量の計算方法としては風の空間微分を直接計算せずに、ここでは領域の平均の発散量を

$$\text{div } \mathbf{V} = \frac{1}{S} \int V_n ds$$

によって計算した。Sは福岡・鹿児島・啓風丸がつくる三角形の領域の面積、 V_n は風速の辺に対する法線成分、dsは辺に沿っての線分である。一次近似ではBellamy法と同じように観測点の間の風を直線的に補間し、二次近似では福岡と鹿児島の間を結ぶ線上の midpoint をA、同様に鹿児島と啓風丸、啓風丸と福岡についてそれぞれB・Cとして(第1図参照)、A・B・Cでの風を下記のように求め、観測点間を二次補間した。

* Comparison of Divergences computed by varying Densities of Observation Stations

** T. Aoki 東京管区気象台
—1973年2月21日受理—

風の東西成分を u , 南北成分を v , 任意の点 (たとえば本文では三角形の重心) を原点にした観測点の座標を X, Y とすれば, 各観測点での u, v を二次の微分量まで Taylor 展開すると,

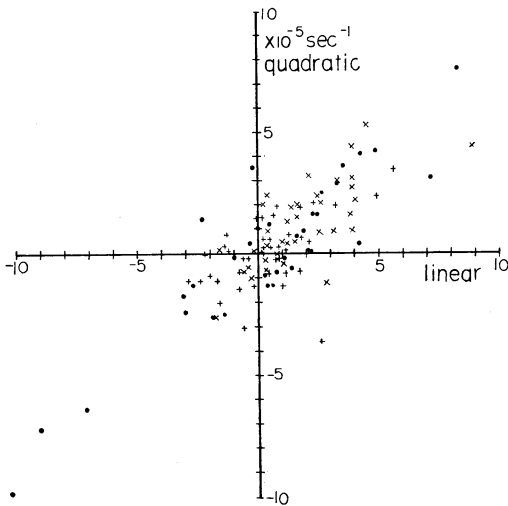
$$u = u_0 + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_0 X + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_0 Y + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right)_0 X^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)_0 Y^2 + \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}\right)_0 XY$$

$$v = v_0 + \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_0 X + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)_0 Y + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}\right)_0 X^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)_0 Y^2 + \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y}\right)_0 XY$$

と表わされる。ここで添字 0 をつけた量が未知数であり, 福岡・鹿児島・啓風丸・熊本・長崎・福江の 6ヶ所の観測点について u, v, X, Y を与えると上の二式についてそれぞれ六つの連立一次方程式ができる。それを解いて A・B・Cの座標 X, Y を与えれば, A・B・Cでの u, v が求められる。方程式を解く時には啓風丸の位置の移動, また, Matsumoto and Ninomiya (1963)によれば気球の移動による発散量の誤差も無視できないので, 気球の流された距離を補正した。

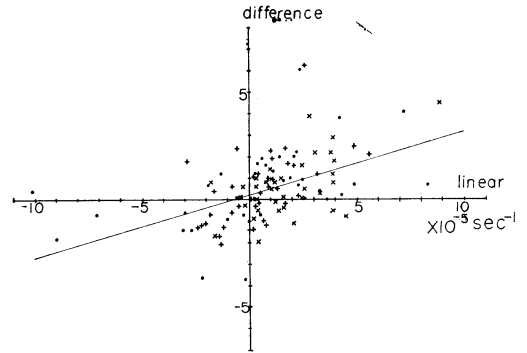
3. 一次近似および二次近似による発散量の比較

850 mb (36例), 500 mb (41例), 200 mb (34例) の合計 111 例について, 前節の方法で計算した一次近似および二次近似による発散量を, 第 2 図に示した。高さに



第 2 図 一次近似 (横軸) および二次近似 (縦軸) で計算した発散量の比較

● : 200mb, + : 500mb, × : 850mbを表わす。



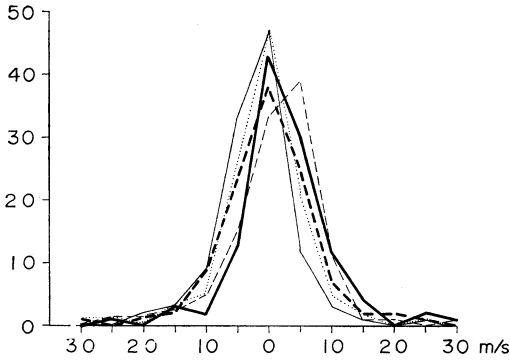
第 3 図 一次近似の発散量 (横軸) に対する, 一次近似と二次近似との発散量の差 (縦軸) 記号は第 2 図と同じ, 細い実線は回帰直線を表わす。

よる特徴の大きな変化はみられない。一次近似の方が二次近似に比べ絶対値が大きい傾向がみられるので, 一次近似と二次近似による発散量の差の, 一次近似の発散量に対する分布を第 3 図に示した。図中の細い実線は最小自乗法による回帰直線 $y = 0.3x + 0.2$ で, 発散のときは二次近似に比べ一次近似の方がより大きな発散量となり, 収束のときは二次近似に比べ一次近似の方がより大きな収束量となる傾向がみられる。しかし, 一次近似による発散量のある値に対する, 二次近似との差の回帰直線による推定値の標準偏差は $1.5 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$ であり, 直線をはさんで $3.0 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$ のひろがりがある場合は, 発散量の大きさを考えると回帰直線を補正值として使うことはできない。全体としてみると差の絶対値の平均値 $1.2 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$ (第 1 表) は, 一次近似による発散量の絶対値の平均値 $2.1 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$ の 57% の大きさであり, 一次近似および二次近似による発散量の差は無視できない。

第 1 表 発散量の絶対値の平均および差の絶対値の平均 (単位は 10^{-5}sec^{-1})

括弧内の数字は, 一次近似および二次近似の発散量については絶対値が $3 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$ 以下, 二者の差については $2 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$ 以下のものの割合。(単位は%)

	850	500	200mb	全体
一次近似による発散量	2.1 (72)	1.4 (93)	2.9 (68)	2.1 (78)
二次近似による発散量	1.6 (86)	1.1 (95)	2.4 (74)	1.6 (86)
上の二者の差	1.1 (86)	1.2 (80)	1.4 (85)	1.2 (84)



第4図 福岡の東西成分の展開式の各項の大きさの頻度分布

太い実線： $\frac{\partial u}{\partial x} X$ ，太い破線： $\frac{\partial u}{\partial y} Y$ ，細い実線： $\frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} X^2$ ，細い破線： $\frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} Y^2$ ，点線： $\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} XY$ ，それぞれ850 mb, 500 mb, 200 mb の合計を表わす。

福岡の風の東西成分を二次の微分量まで Taylor 展開したときの、一次および二次の微分量の各項の大きさの頻度分布（第4図）によれば、各項ともほぼ同じ大きさであり、二次の微分量を含む項が一次の微分量の項に比べて省略することはできない。また、福岡と鹿児島の中点（第1図のA）での風の、一次補間および二次補間による推定値の差の絶対値の平均（第2表）は、東西成分・南北成分ともに約 $2 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ である。福岡と鹿児島風の風が同じと仮定し、中点Aでの風の東西成分が福岡と鹿児島島の平均より $2 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ 大きいとすると、三角形領域の発散におよぼす影響は $1.2 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$ である。こ

第2表 福岡と鹿児島の中点での風の一次補間と二次補間による推定値の差の絶対値の平均（単位は $\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）

括弧内の数字は、風速差が $3 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ 以下のものの割合（単位は%）

	850	500	200mb	全体
東西成分	2.2 (75)	1.9 (78)	2.7 (68)	2.2 (74)
南北成分	1.8 (75)	1.2 (90)	2.2 (68)	1.7 (78)

のために、一次近似および二次近似による発散量に大きな差が生じた。

4. むすび

通常の高層観測点がつくる三角形領域の面積に近い、福岡・鹿児島・啓風丸 (31.5 N , 128.5 E) がつくる三角形領域について、観測点間の風を直線的に補間したときの発散量と、二次補間をしたときの発散量との比較を行なった。両者の差は無視できない大きさである。しかし、観測点が北にかたよっており、二次補間でB点の推定値が妥当でない場合もありうる。また、二次補間に使用した点と観測点と同じであるため測風誤差の影響を除くことができないため、この結果からは直線的補間の方が誤差が大きいとはいえない。今後さらに二次補間の問題点やより合理的な発散量の計算方法について検討してみたい。

この報告に際し、指導いただいた仙台管区気象台山下洋子報官、助言をいただいた気象研究所吉住禎夫研究官、数値計算について指導いただいた気象庁長官秘書能登正之技官、高層資料について教示いただいた気象庁高層課伊東光彦技官、鈴木剛彦技官、製図と資料のまとめをしていただいた須永櫻夫人、以上の方々に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) Kurihara, Y. (1961): Accuracy of winds-aloft data and estimation of error in numerical analysis of atmospheric motions. J. Meteor. Soc. Japan, **39**, 331-345.
- 2) Matsumoto, S. and K. Ninomiya (1963): Errors in numerical analysis using three observing stations. J. Meteor. Soc. Japan, **41**, 299-304.
- 3) 中山 章 (1968): 総観的立場から見た雲, 気象研究ノート, **96**, 176.
- 4) Schmidt, P. J. and D. R. Johnson (1972): Use of approximating polynomials to estimate profiles of wind, divergence, and vertical motion. Mon. Wea. Rev., **100**, 345-353.
- 5) 渡辺次雄 (1958): 近代気象調査法, 215, 技報堂.
- 6) 吉住禎夫 (1972): 運動学的方法による鉛直速度の評価について, 日本気象学会秋季大会予稿集, **22**, 112.