

「夏季晴天日の濃尾平野における地上風収束域の 汚染質と雲分布(常松展充・甲斐憲次：2003)」に 対する質疑とコメント

二 宮 洸 三*

要 旨

常松・甲斐(2003)による「夏季晴天日の濃尾平野における地上風収束域の汚染質と雲分布」の地上風収束の計算に基本的な誤りがある。これについて指摘し、著者の御意見を伺いたい。

1. 質疑に至る経緯

常松・甲斐(2003)論文(以下TK03と略記)を熟読しても第3節の(1)および(2)式についての記述が理解できないので、著者に次の質問を御訊ねした；

「この論文の第2図と(1)，(2)式について、詳しく、御説明下さい。1地点の収束を求めるには2地点の風を使うのでしょうか？ また(2)式は具体的にはどのように使うのでしょうか？」

この質問に対して、第1著者から速やかに下記の御説明を頂いた；

「2地点の風のU成分とV成分から発散収束を求めています。その求めた値は、両地点の中間地点の値とします。また、2地点間の距離によって、求めた発散収束の値に重み付けをしました。

例えば、Aという観測地点と、Bという観測地点があるとします。A点における風のU成分は5m/s、V成分は2m/sとします。またB点における風のU成分は3m/s、V成分は4m/sとします。両地点間の東西方向の距離を8km、南北距離を5kmとします。A地点のほうがB地点よりも緯度・経度ともに大きいとします。

まず、発散収束の式から(これは二宮の著書から習得しました) $-1.50E-04$ の値が求まります。

この値はA地点・B地点の中間地点の緯度経度における値としますが、その際に2地点の距離の大きさによってその値に重み付けをする作業を行いました。それが(2)式ということになります。つまり、距離二乗補正と同じことをしました。この例では、東西距離が8kmで南北距離が5kmですので、その絶対距離は9.4kmです。これを(2)に当てはめて、0.0112という値を得ます。最後にこの値を先ほどの発散収束の値にかけて $-1.69E-06$ という最終的な答えが求まります。

このような手順の計算を、すべての観測地点間(すべての2地点間)について行いました。いずれも、求めた発散収束の値は2地点の中間地点におけるものと仮定して発散収束を求めました。

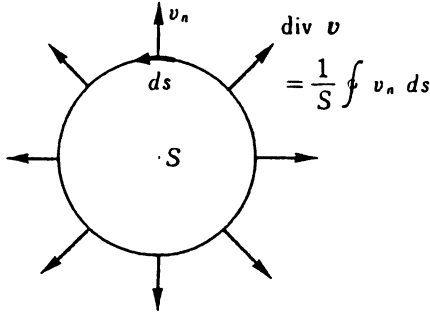
このように、少し可笑しげな計算方法を採用した大きな原因は、この論文を書いた当時は、各観測地点の風のU、V成分を空間内挿する技術を持っていなかったことです。現在その技術をようやく習得しましたので、濃尾平野上に格子点を設置し、その各格子点に各観測値を空間内挿して、発散収束の計算をやり直してみました。その結果、名古屋市北部に明瞭な収束域が形成されている様子が見られました。」

以上の著者からの御説明により、TK03の具体的計算手順を知る事ができた。

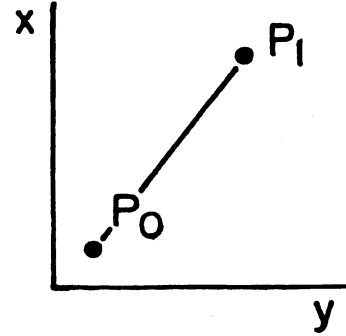
しかし、この計算手順は基本的に誤っている。その理由を以下に述べ、著者の御見解をお聞きしたい。

* 地球フロンティア研究システム、
nmiya@jamstec.go.jp

—2003年8月21日受領—
—2003年12月12日受理—



第1図 微小面積Sについて定義される2次元流の発散の定義.



第2図 観測点P₀(x₀, y₀)とP₁(x₁, y₁)の配置図.

2. 水平風の収束・発散の定義と計算

水平風の発散(負号なら収束)は, ある微小面積Sの境界を横切って流出する風を面積Sで除算した数値として定義される(第1図). 式で書けば,

$$\text{div } V = \oint v_n ds / S \tag{1}$$

となる. ここでv_nは面積Sの外周に対する風の法線成分, dsは外周に沿う線素分, ∫は外周を一周する線積分を示す. 明らかに発散の次元は, s⁻¹である.

平面上で面積Sを定義するには, 最小限3点(Sは3角形になる)が必要である. 2点では面積が定義できないから2地点のデータでは原理的に発散は計算できない.

(1) 式を微小正方形について書けば,

$$\text{div } V = \partial u / \partial x + \partial v / \partial y \tag{2}$$

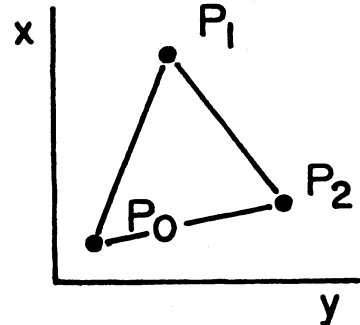
となる. このことはどの書物にも記されている.(御返信によれば二宮(1998)を参考にされたとの事であるが, そこでは上記の事柄が詳しく説明されている.)

ではTK03が2地点データのみで計算された発散は何であろうか? これについて第2図によって議論する. 2地点P₀(x₀, y₀), P₁(x₁, y₁)を取りu, vを1次のテーラー級数で展開すれば,

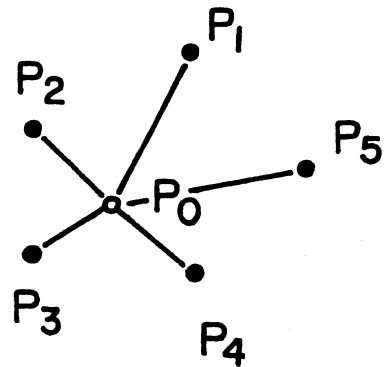
$$(u_1 - u_0) = (\partial u / \partial x) (x_1 - x_0) + (\partial u / \partial y) (y_1 - y_0) \tag{3}$$

$$(v_1 - v_0) = (\partial v / \partial x) (x_1 - x_0) + (\partial v / \partial y) (y_1 - y_0) \tag{4}$$

となる. 従ってTK03では,



第3図 観測点P₀(x₀, y₀), P₁(x₁, y₁)とP₂(x₂, y₂)の配置図.



第4図 (9)式により観測点P₁, P₂, P₃, P₄とP₅のデータから格子点P₀上のデータを求める場合の模式図

$$\begin{aligned} & (u_1 - u_0)/(x_1 - x_0) + (v_1 - v_0)/(y_1 - y_0) = \\ & (\partial u/\partial x) + (\partial v/\partial y) + \\ & (\partial u/\partial y)(y_1 - y_0)/(x_1 - x_0) \\ & + (\partial v/\partial x)(x_1 - x_0)/(y_1 - y_0) \end{aligned} \quad (5)$$

を計算した事になり、発散は正しく計算されていない。

御返信によれば、TK03では風速の内挿ができないため2点を使ったとのことであるが、風速を格子点に内挿しない場合には第3図の様に3点のデータを使えばよい。P₂ (x₂, y₂) のデータも使えば、(3) および(4) 式に加えて、

$$(u_2 - u_0) = (\partial u/\partial x)(x_2 - x_0) + (\partial u/\partial y)(y_2 - y_0) \quad (6)$$

$$(v_2 - v_0) = (\partial v/\partial x)(x_2 - x_0) + (\partial v/\partial y)(y_2 - y_0) \quad (7)$$

が使用される。(3), (4), (6) および(7) 式を連立させて、 $(\partial u/\partial x)$, $(\partial u/\partial y)$, $(\partial v/\partial x)$ および $(\partial v/\partial y)$ を求めれば、それらから発散が求まる。同時に相対渦度の鉛直成分、

$$\xi = (\partial v/\partial x) - (\partial u/\partial y) \text{ も求まる。}$$

この計算は、

$$u = ax + by + c, \quad v = dx + ey + f \quad (8)$$

を3点について連立させて係数を求めることと同等である。2地点では係数は決定されないから、発散と渦度も計算できない。この事からも2地点データから発散は求められないことが説明される。

なお、緯度経度座標（風の南北成分、東西成分は緯度経度座標で用いられる）を使う場合には発散の計算式はx-y座標での式とは異なる。（小領域の場合には大きな誤差はない。）

あるいは、三角形領域の各辺に対する風速の法線成分を求め(1)式の定義によって計算しても発散は計算できる。

3. 重み付けの誤解

まず、御返信の説明では、TK03の(1), (2)式は全くの誤りである。Rの次元は長さ、単位はkmであるからTK03の(1)式で得られた発散の次元は、(s⁻¹/km²)となる。これは発散の次元ではない。そして1km=1000mであるから、[m, k, s]単位系で書けば得られる発散はE-12になるはずである。ここでは、

誤りである(1)式の計算を更に誤ったため一見妥当なE-6が得られている。

より基本的に、TK03では、「重み付け」の意味を全く誤解しておられる。「重み付け」は第4図に模式的に例示した様に、周りの観測点P₁, P₂, P₃, P₄, P₅, のデータから、格子点P₀におけるデータを求める(内挿する)時に、下記の様を使用するものである；

$$u_0 = \sum W_i \cdot u_i / \sum W_i \quad (9)$$

ここで、観測点P_iのデータに付せられる重み係数W_iは格子点P₀と観測点P_i間の距離の関数として与えられる。(9)式で分母 $\sum W_i$ があるからu₀はu_iと同一の次元を持つ。そもそも「重み付け」は内挿計算の途中で付せられるものであり、最終結果としてはTK03の(1)式の形式は考えられない。発散計算は差分計算であり、内挿計算ではないからTK03の(1)式は誤りである。この問題についてTK03は引用した中井(1982)を誤解しておられる。

なお、重み係数は、本来はデータの統計的性質に拠り決定されるべきものであり、万有引力、クーロン力、放射強度などの様に距離逆2乗であるべき物理的根拠は無い。中井(1982)の使用した重み係数の形式だけでなく、Cressman(1959)および、Barnes(1964)による形式も広く利用されている。

4. 結び

第1著者からの御返信では、風速を内挿して再計算したところ、ほぼTK03とほぼ同じ発散分布が得られたとのことであるが、もし同じ発散の数値と分布が得られたら、全くの偶然か、或いは、再計算が誤りであるかの何れかであろうと思われる。

TK03の両著者がこのコメントを検討し応答下さるよう御願います。もしTK03に誤りがあると判断されたならば、是非再解析の上、再投稿して頂ければ幸いです。

参考文献

- Barnes, S. L., 1964: A technique for maximizing details in numerical weather map analysis, *J. Appl. Meteor.*, **3**, 396-409.
- Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis scheme, *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367-374.
- 中井公太, 1982: アメダス風から計算された関東地方の発散の主成分分析, *研究時報*, **34**, 115-126.

二宮洗三，1998：気象予報の物理学，オーム社，202pp.
常松展充，甲斐憲次，2003：夏季晴天日の濃尾平野にお

ける地上風収束域の汚染質と雲分布，天気，50，527-
537.

Comment and Discussion on “Pollutants and
Cloud Distribution near the Surface Wind Convergence Zone
in the Noubi Plain on the Summer Sunny Days”
by Nobumitsu TSUNEMATSU and Kennji KAI

Kozo NINOMIYA

Frontier Research System for Global Change. Syowa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama 236-0001, Japan.

(Received 21 August 2003 ; Accepted 12 December 2003)
