

付 録

縦軸に渦度，横軸にレーダからタマゴの距離をとり，事例毎に各 PPI スキャンで得られた渦度の最大値の平均をプロットしたところレーダからタマゴの距離が大きいほど，捉える渦度の絶対値が小さくなるという結果を得た (Fig. 12).

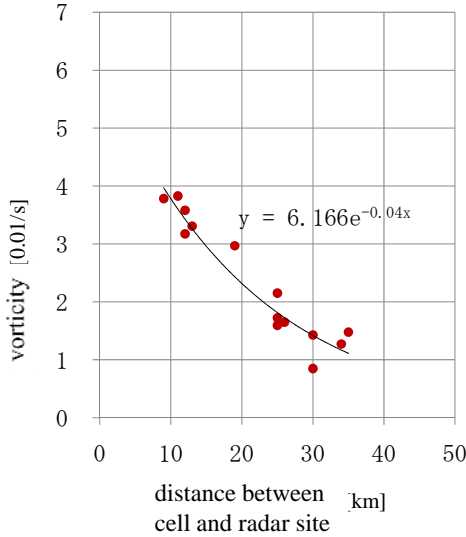


Fig. 12 Radars at the place distant from baby-cell observed smaller vorticities

そこでレーダからタマゴの距離が異なる時，同じ現象でも異なる渦度を検出してしまうと考え，レーダからタマゴの距離を用いて観測された渦度の値を補正する式を考案した．レーダからの距離によって観測される渦度が異なる原因はレーダが水平方向にビーム幅を持ち，対象のタマゴから遠く離れたレーダでは，渦管を粗い空間分解能でしか捉えることができないからであると推測される．渦管が中心で渦度の最大値（最小値）をとり，中心から離れるに従って小さくなるという特性を持つことから，渦管内の渦度の平面分布が指数関数で表せると仮定し，レーダからタマゴの距離大きい時，観測される渦度が小さくなることを数学的に示す．渦の中心の渦度を ζ_0 [1/s]，渦管の中心からの距離を r [km] とすると渦度 $\zeta(r)$ [1/s] は，

$$\zeta(r) = \zeta_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot r) \quad (\zeta_0, \alpha = \text{const.}) \quad (\text{A.1})$$

と表せる．ここで，レーダからタマゴまでの

距離を l [km]，渦管観測時のビーム幅の水平の広がり を $2R$ [km]，ビーム幅を φ [度] すると，観測される渦度 ζ_{obs} [1/s] は以下の式で求めることができる．

$$\zeta_{\text{obs}}(r) = \zeta_0 \cdot \frac{\int_{-R}^R \zeta(r) dr}{2R} \quad (\text{A.2})$$

$$R = l \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

$\varphi=1.1$, $\zeta_0=1$, $\alpha=1$ と仮定すると $l=10, 20, 30$ [km] の時， ζ_{obs} はそれぞれ 0.918, 0.844, 0.778 と算出される．これにより，レーダからタマゴの距離が大きい時，観測される平均的な渦度が低くなることが示された．Fig. 11 のグラフを指数近似すると，以下の式で近似することができた．

$$\zeta(l) = \zeta_0 \cdot \exp(-0.04l) \quad \zeta_0 = 0.0617 \quad (\text{A.3})$$

正確にはタマゴの渦管中心の渦度は事例によって異なるので，以下のように，11[km]地点で観測した渦度を 12 [km]地点の渦度に変換することで補正を行う手法を考えた．

$$\begin{cases} \zeta_{\text{obs}}(l_1) = \zeta_0 \cdot \exp(-0.04 \cdot l_1) \\ \zeta(l_2) = \zeta_0 \cdot \exp(-0.04 \cdot l_2) \end{cases} \quad (\text{A.4})$$

$$\zeta(l_2) = \zeta_{\text{obs}}(l_1) \cdot \exp(-0.04 \cdot (l_2 - l_1))$$

この補正については，客観的証拠はあるものの，多くの事例で検証を行う必要がある．従って，変換を行うことで新たな知見を得ることができそうな場合にのみ，適宜補正を施した．その中でも距離補正を行うことによって渦度が定義した異常値の域に達してしまう場合がある．しかしながら，異常値除去はノイズを除くことを目的としており，ノイズはレーダからタマゴの距離にかかわらず生じるので，補正により異常値の範囲に達した渦度はノイズではないと判断し，正常値として扱うこととした．また，1 事例だけではあるが 2 台のレーダからの距離がそれぞれ異なる事例でこの距離補正式を用いて補正を行った．事例 14 は 2 台のレーダで解析した事例であり，タマゴと田口レーダとの距離は 30 [km]，六甲レーダとの距離は 11 [km]であった．タマゴは

時間経過につれ、移動するので本来レーダとタマゴとの距離 l [km] は、時間によって変化させる必要があるが、本研究では簡単のため定数で与えた。田口レーダでの補正渦度を、実際に六甲レーダで得た観測渦度と比較するため、今回は $l=11$ [km] 地点での渦度に補正した。およそ同時刻、同高度の渦度の図を比較したものを Fig. 13 に示す。左から六甲レーダ、補正後の田口レーダ、補正前の田口レーダの渦度である。補正後の図は補正前と比較して、渦度の分布がより明確に表れていた。補正式

の精度については、検証の必要性があるものの、レーダからタマゴの距離が大きい時は、渦度の値が大きくなるような適当な補正を施すことで、低い渦度でしか捉えていなかった現象をより正確に表現できるという結果を得た。また距離補正は防災の観点においても非常に重要な課題であり、レーダからの距離が大きいタマゴの危険性予測をする際、渦度に適切な補正を施すことでデータをより有効に活用でき、高精度な危険性予知が可能になると考えられる。

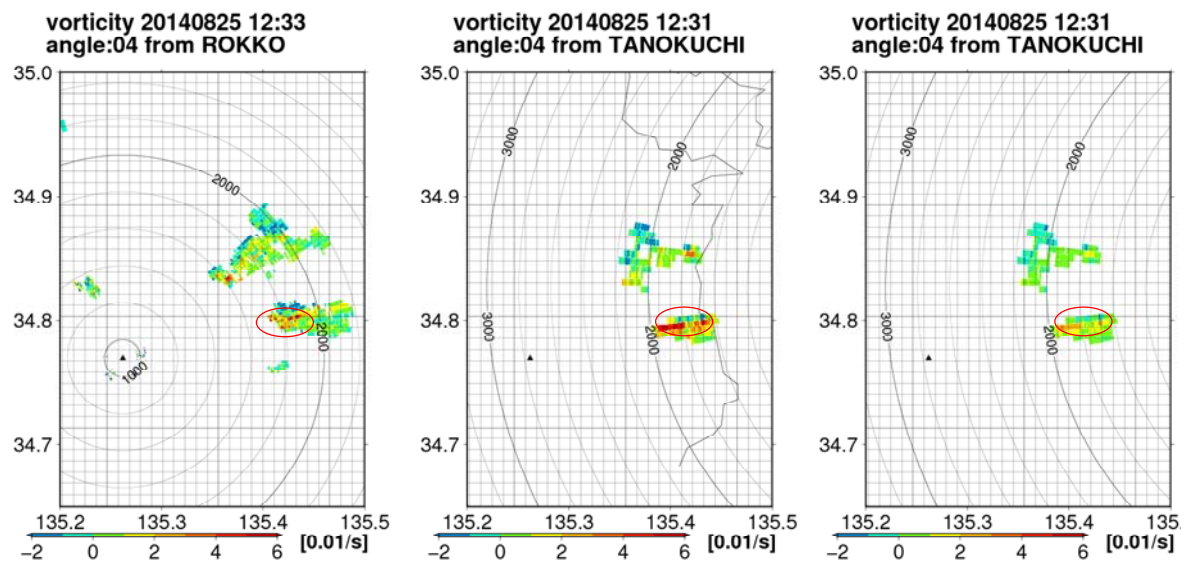


Fig. 13 Left; observed by radar at Rokko, middle; observed by radar at Tanokuchi (after correction), right; observed by radar at Tanokuchi (before correction)