



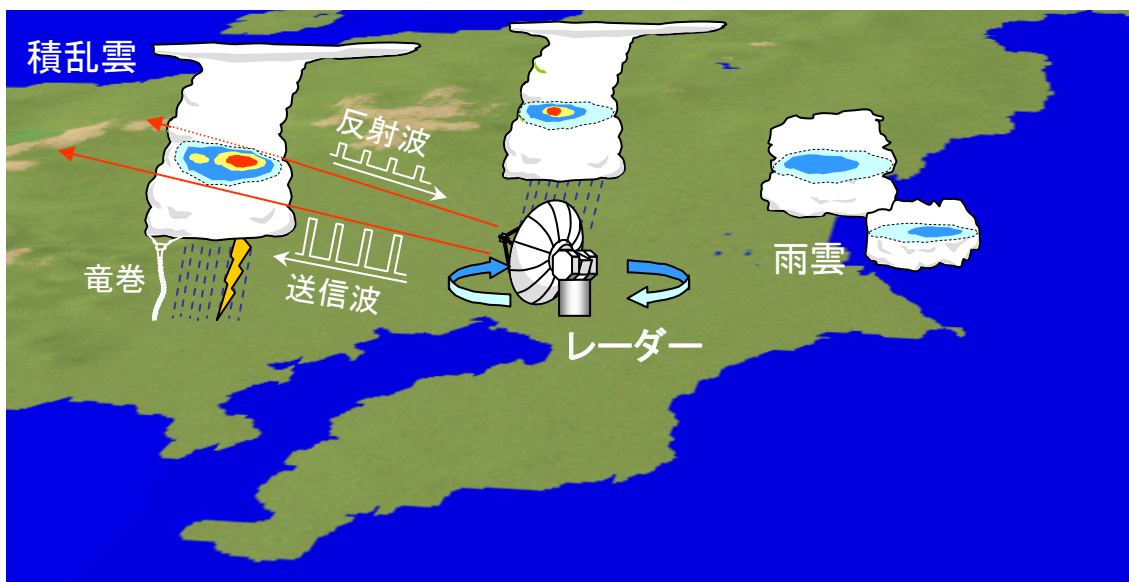
ドップラーレーダーによる解析について

1. ドップラーレーダー観測のしくみ

レーダーは電波を細くビーム状にして送信し、雲の中の降水粒子(雨、雪、あられ、ひょう)に反射されて戻ってきた電波を受信することで降水や風の情報を得ることができる装置です。電波は光よりも雲の中を透過しやすいので、光すなわち眼では見ることのできない雲の内部の様子を教えてください。

送信してから受信するまでの時間差は、レーダーと反射物との距離で決まります。そのため、この時間差を測れば反射物(降水粒子)までの距離を知ることができます。アンテナを水平方向に回転させれば、周囲の雲をほぼ水平に切った断面を捉えることができます。アンテナの仰角(上下の方向)を変えた観測を行うことで、立体的な情報を得ることができます。

また、受信する電波の強さは、降水粒子の数や大きさによって変化します。また受信する電波の周波数は、降水粒子の動きによって変化します。これらを使って、降水の強さや風の情報が推定できるのです。



レーダー観測のイメージ図



2. ドップラーレーダーで観測できるもの

<反射強度:降水の強さの情報>

雲の中に含まれる降水粒子(雨、雪、あられ、ひょう)の数が多いほど、また粒子が大きいほど、反射されて戻ってくる電波の強さは大きくなります。この電波の強さの情報を「反射強度」(単位はdBZ)と呼びます。

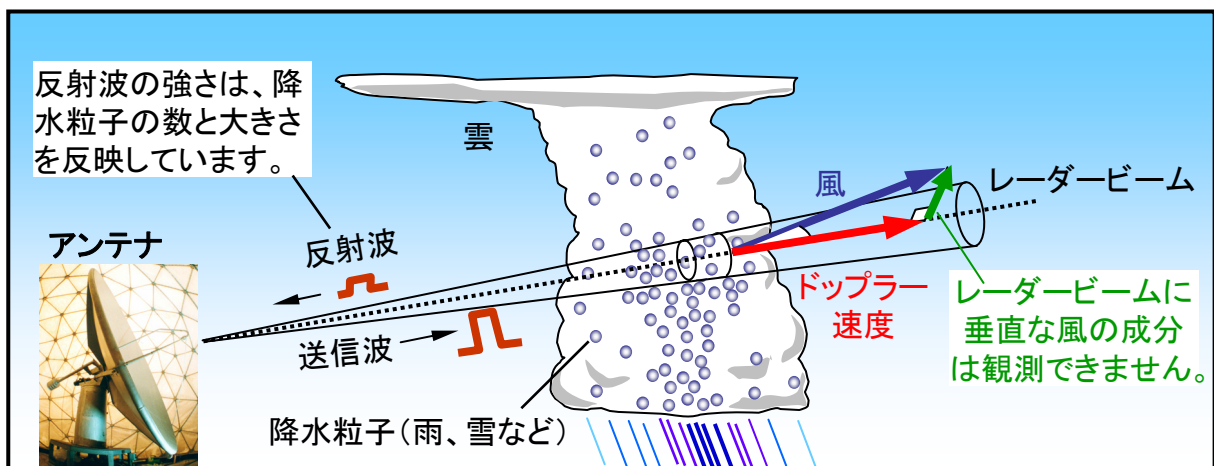
反射強度が大きい場合は雨が強い場合に相当します。雨の強さである降水強度を求めるには、厳密には粒子の数と大きさを知る必要がありますが、経験的な関係式を用いることで、反射強度から「降水強度」(単位はmm/h)が推定できます。レーダー観測では、このようにして「降水強度」の分布を観測することができます。

通常は、降水は雨であると仮定して、降水強度を推定しますが、強い反射強度の場合にはこの仮定がなりたないことがあります。たとえば、反射強度で55dBZは降水強度では約100mm/hに相当しますが、これほど大きな反射強度の場合は、雨ではなく「ひょう」である場合もあります。

今回行った解析では、ひょうを降らせるような激しい気象現象であるため、降水強度ではなく反射強度を単位として図を作成しています。

<ドップラー速度:風の情報>

動いている降水粒子から反射されて戻ってきた電波(受信波)の周波数は、送信した際の周波数からずれて観測されます。受信波の周波数は、降水粒子がレーダーに近づくときには高くなり、逆に遠ざかるときには低くなります。この現象はドップラー効果と呼ばれます。そして、周波数の変化から降水粒子のレーダービーム方向の速度を求めることができます。それをドップラー速度(単位はm/s)と呼びます。降水粒子は小さいので、風に流されて移動していると考え、「降水粒子の水平方向の動き」=「大気の水平方向動き(=水平風)」となるため、ドップラー速度から「風の情報」を得ることができます。



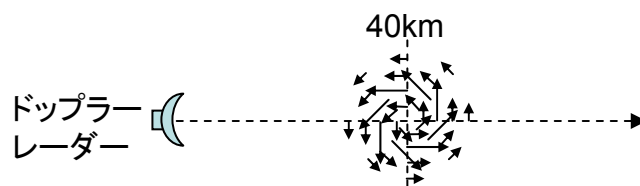
気象研究所ドップラーレーダー(背景はレーダーを覆うドーム)



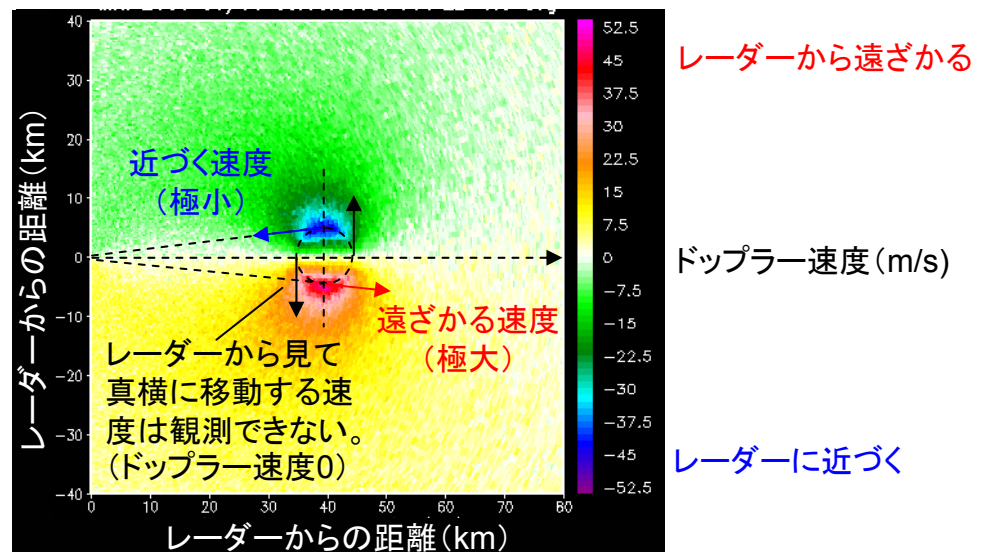
ドップラーレーダーによる解析について

しかし、ドップラー速度はその場所での風そのものではなく、レーダーに向かって近づくか遠ざかるかの成分でしかありません。そのため、風の情報を取り出すにはさまざまなテクニックを利用しています。

では、大気中に渦があった場合、ドップラーレーダーではどのように見えるのでしょうか。実は、上から見ると左右に並んだ「近づく速度が大きい領域」と「遠ざかる速度が大きい領域」のペアとして観測されます。これがドップラーレーダーで観測される「渦のパターン」です。このパターンは、一様風がある場合でもほとんど同じように観測できます。



例えば、レーダー(左端の中央)から40kmの距離に、直径10kmで最大風速50m/sの渦があるとすると、観測されるドップラー速度のパターンは以下ようになります。



ただし、「渦のパターン」があったとしても、必ずしも本当の渦があるとは限らないことから、渦の有無の判断には、時間的・空間的な連続性なども加味する必要があります。



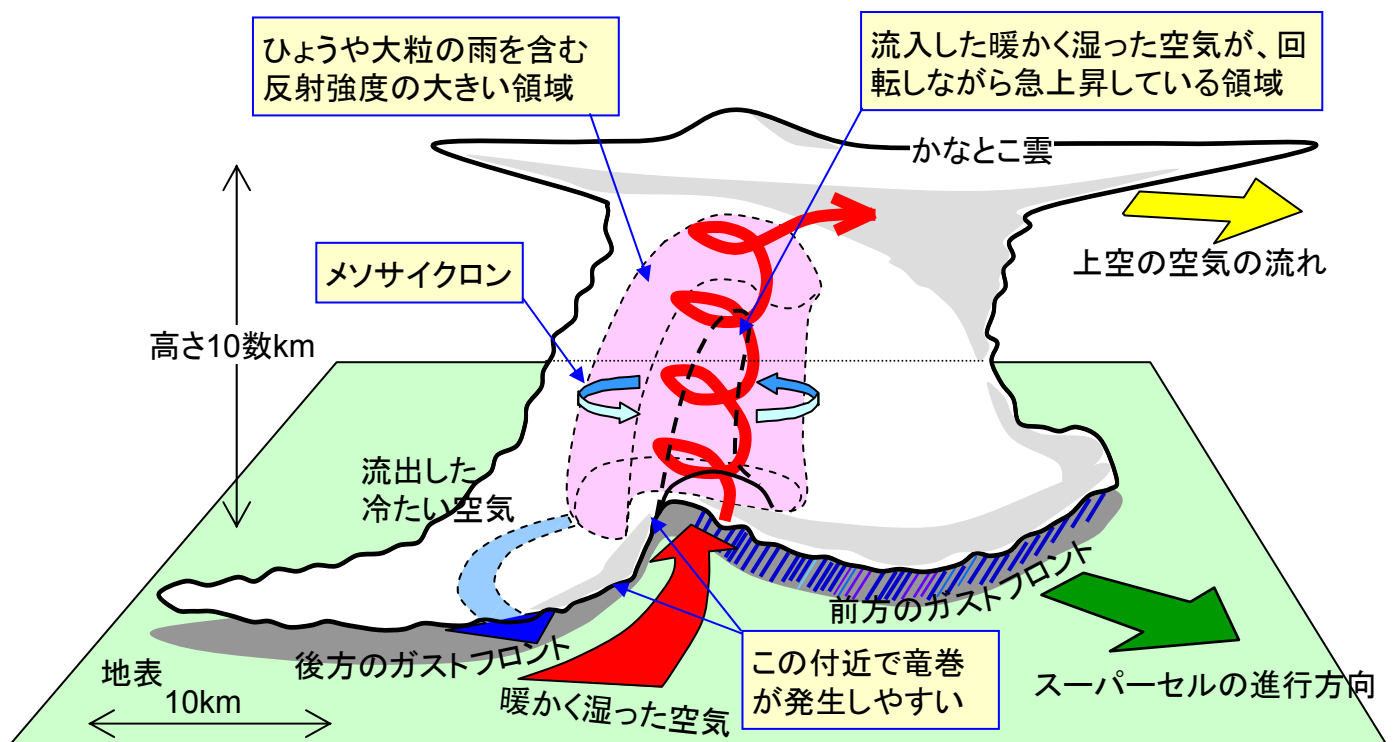
3. スーパーセルの構造

スーパーセルは、内部の上昇流域に、一定以上の渦度(渦の強さ)のメソサイクロン(小低気圧)をもつ積乱雲です。典型的なスーパーセルの構造を例に下図を説明します。

メソサイクロンでは回転の遠心力と釣り合うために中心の気圧が低く、地表付近の空気が吸い込まれます。地表付近においてスーパーセルの進行方向の右側から流入した暖かく湿った空気は、メソサイクロンの中心で急上昇します。この時、含まれていた水蒸気は凝結し雲粒になります。雲粒が成長して、雨粒やひょうが生成されます。

生成されたひょうや大粒の雨の多くは図のピンクに示す領域において落下したり、あるいは強い上昇流に支えられて空中にとどまります。

スーパーセルの進行方向の左側や後方では、落下した雨やひょうが周囲の空気を冷やすため冷気が周囲に流出します。流出した冷気と地表の暖かく湿った空気がぶつかる位置にはガストフロント(突風前線)が形成されます。メソサイクロンの中心付近と後方のガストフロントでは竜巻が発生しやすいと言われています。



スーパーセルの概念図



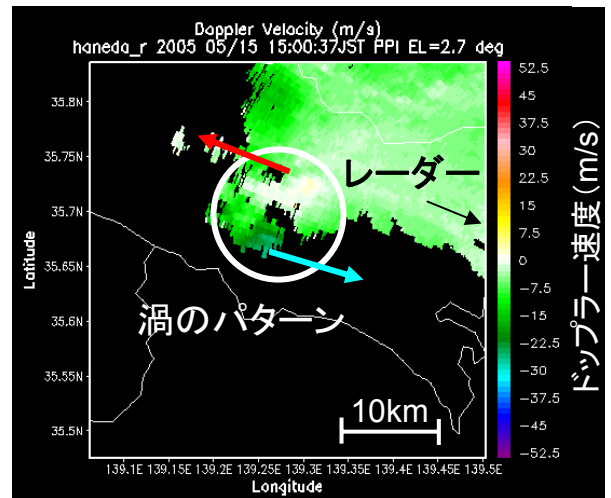
4. ドップラーレーダーで捉えられるスーパーセルの特徴

メソサイクロン

スーパーセルの水平断面を、ドップラー速度で観測すると、メソサイクロンに対応して渦のパターンが見えます。

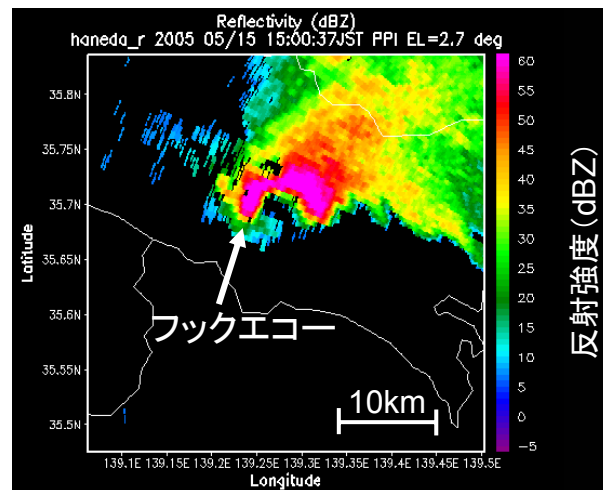
(右図の例では、レーダーは図の右方向から観測しています。)

メソサイクロンの自動検出は、この渦のパターンについて一定の基準値を満たし、時間・空間的に連続して存在しているものを捉えるアルゴリズムです。



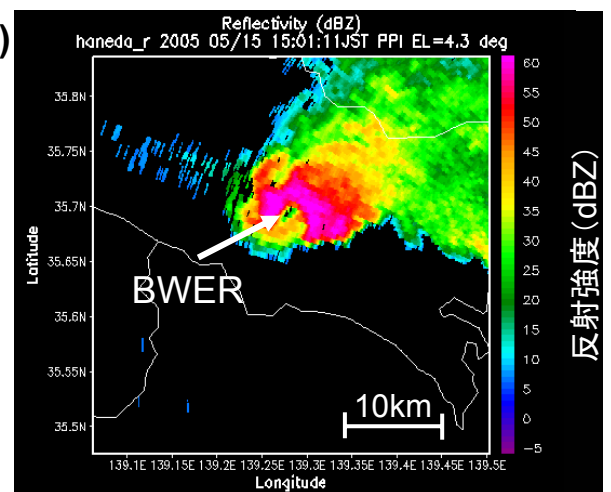
フックエコー

スーパーセルの下層の断面を、ドップラーレーダーの反射強度で観測すると、降水のある領域の形状がフック状(鉤針型、釣針型)に見えます。このような形状の反射強度の分布をフックエコーと呼びます。



BWER(バウンデッドウィークエコーリージョン)

スーパーセルの中層の断面を、反射強度で観測すると、中心の強い上昇流の領域では、降水粒子が少ないため反射強度が弱く見えます(つまりドーナツの穴のように見えます)。周囲に比べて中の反射強度が低い領域を、BWER(Bounded Weak Echo Region: 境界のある弱い反射強度の領域)と呼びます。





5. 参考文献

小倉義光, 1994: お天気科学, 森北出版.

Bluestein, Howard B., 1993: Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes, Volume II Observation and Theory of Weather Systems, Oxford University Press.

Wallace, John M. and Hobbs, Peter V., 2006: Atmospheric Science - An Introductory Survey, second edition, Academic Press.