

気象研究所非静力学モデルによる層積雲の数値シミュレーション

永戸久喜・吉崎正憲・加藤輝之・斉藤和雄 (気象研・予報), 真野裕三 (気象研・気候)

1 はじめに

科学技術庁海地費による「雲が地球温暖化に及ぼす影響解明に関する研究」(略称 JACCS)では, 下層の層積雲の生成・維持機構を解明するために, 航空機による熱収支観測を実施している. 1997年1月に冬季の東シナ海で行なわれた観測では, 雲水量や雲粒計分布等の雲物理量及び雲層における放射フラックスが測定されている(真野ら,1997; 浅野ら,1997).

今回観測されたような, 冬季に暖かい海上への大陸からの寒気の吹き出しによって生じる海洋混合層内の気団変質については, これまでにも多くの研究がされている. 数値実験による研究については, Nakamura and Asai(1985)などが挙げられる. 彼らは『2.5』次元モデルにより理想化された状況で混合層の発達を再現し, 熱収支・運動量収支解析によって大規模場と対流の相互作用について調べた. しかし, 三次元モデルを用いた現実的な実験はこれまであまり行なわれていない.

本研究では航空機観測された層積雲について, 三次元非静力学モデルを領域モデルにネストすることによって再現実験を行なった. その結果について観測データとの比較を中心に報告する.

2 航空機観測の概要

航空機観測は1997年1月22日12-14JST頃に鹿児島県西方の東シナ海上で行なわれた. 図1は当日1230JSTのGMS-5の可視画像である. 当日は日本の東海上で低気圧が発達して大陸からの寒気移流が強まり, 日本海はもとより観測が行なわれた東シナ海上にも明瞭な筋状雲が発生していた. 観測によって得られたのは, 放射フラックス及び雲水量・雲粒サイズの雲物理量である.

3 数値モデルの説明

モデルは気象研究所非静力学メソスケールモデル(MRI-NHM)の完全圧縮バージョン(斉藤・加藤,1996)を用いた. 水平方向は格子間隔は南北・東西共に2km, 格子数は 122×122 とした. 鉛直方向は可変格子とし, 格子間隔は地表付近では40m, 雲層付近では150m, モデルトップでは1,900mとなるようにした. 鉛直格子数は38層で, モデルトップは約21kmである. 時間間隔は10秒とした.

初期値及び境界値は気象庁領域モデル(RSM)の予報値を用いた. RSMの水平格子間隔は約20kmである. 図2に今回の実験に用いた(a)RSMの領域,(b)MRI-NHMの領域及び地形を各々示す. 1月21日21JSTを初期値とするRSMの予報値にMRI-NHMを1ウェイでネストした. MRI-NHMの初期値にはRSMの9時間予報値を, 境界値にはRSMの3時間ごとの予報値を内挿して用いた.

今回の実験ではMRI-NHMにおいては氷晶過程を含む雲物理過程を用い, 放射過程は気象庁日本域モデル(JSM)の放射スキームをメインに, 雲の放射部分を雲水量及び雲氷量から直接計算する方法に改良したもの(山本・里村,1994)を導入した.

4 数値実験の結果

図3にMRI-NHMの計算結果として、観測が行なわれた時刻とほぼ同じ1月22日1230JST(6時間30分予報値)の鉛直積算雲水量(LWP)の水平分布を示す。図1との比較によると、観測された雲とほぼ同じ走行で雲域が再現されていることがわかる。雲の走行に沿った雲水量(LWC)の航空機観測データとモデルの計算値の比較(図4)によると、雲水量は計算値の方が少ないものの、そのオーダーや雲の分布している高度範囲などがよく一致している。

図5には主に雲域を含む領域を平均した各物理量の鉛直プロファイルを示す。ここで破線、実線はそれぞれ30分予報値、7時間予報値のプロファイルを示す。比較すると、時間と共に混合層が発達し、上部に雲層が形成されていることがわかる。鉛直風は雲底下部で上昇流となっている。図6には空気の加熱率熱の領域平均値の鉛直プロファイルを示す。平均した領域は図5と同じであるが、ここでは7時間予報値のみ示す。太実線・細実線・点線・破線・一点鎖線は局所時間変化・領域平均スケールの移流(大規模移流)・格子スケール以下の移流(対流輸送)・凝結・蒸発による潜熱・放射の成分をそれぞれ示す。雲の上下層で加熱・雲層上部では弱い冷却となっており、定常状態ではない。各成分間の関係は、主に大規模移流に対してその他の成分が逆符合となっている。層別に見ると、雲底下層では対流輸送による加熱が大規模移流による冷却を上回る。雲層下部では対流・凝結・放射による加熱が移流による冷却を上回り、雲層上部では逆に対流・蒸発・放射による冷却が移流による加熱を若干上回る。雲頂より上では大規模沈降場による加熱が卓越している。

これまで見た結果はNakamura and Asai(1985)の結果とほぼ一致するが、鉛直風のプロファイルが今回は雲底下層で上昇流となっているのに対して、上記実験では全層で下降流となっていること、そして対流輸送成分が雲層内で逆符合となっている所が異なっている。これは上記実験ではほぼ定常状態となっていて、対流が混合層の発達を抑制するセンスに働いているのに対して、本実験では混合層が発達中で対流輸送がそれに寄与しているためと考えられる。

5 まとめ

三次元非静力学モデルを領域モデルにネストすることにより、現実的な条件で層積雲をよく再現することが出来た。今後は他のケースについても同様の実験を行ない、運動量収支などについてもさらに詳しく調べるとともに、モデル及び各種スキームのパフォーマンスチェックに役立てたい。

謝辞

RSM データは気象庁予報部より頂きました。また放射スキームについては気象研究所環境・応用気象研究部の山本哲さんが開発されたものを移植させて頂きました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- Nakamura, K. and T. Asai, 1985: A numerical experiment of air mass transformation processes over warmer sea. Part 2: Interaction between small-scale convections and large-scale flow. *J. Meteor. Soc. Japan*, **63**, 805-827.
- 真野裕三, 村上正隆, 塩原匡貴, 1997: 雲内部での放射フラックスの測定について. 日本気象学会 1997 年春季大会予稿集, F312.
- 浅野正二, 超 鳳正, 内山明博, 真野裕三, 村上正隆, 高山陽三, 深堀正志, 1997: 層積雲の微物理特性の測定: 雲内実測とリモートセンシングとの比較. 日本気象学会 1997 年春季大会予稿集, G317.
- 斉藤和雄, 加藤輝之, 1996: 気象研究所非静水圧ネスティングモデルの改良について. *天気*, **43**, 369-382.
- 山本 哲, 里村雄彦, 1994: 非静力学モデルへの放射スキームの導入. 日本気象学会 1994 年春季大会予稿集, A103.

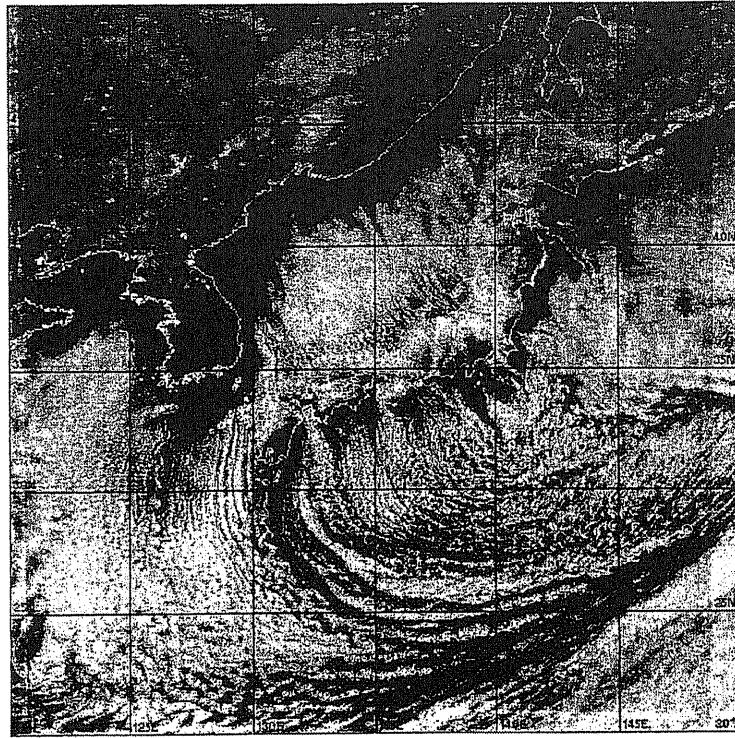


図1 GMS-5 可視画像. 日時は1997年1月22日1241JST.

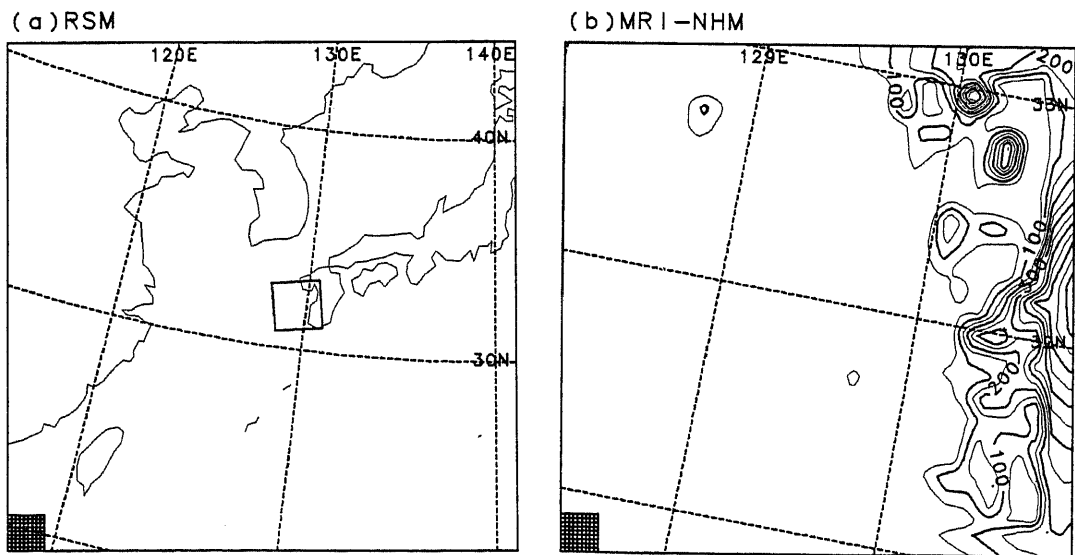


図2 数値モデルの計算領域. ただし (a)RSM,(b)MRI-NHM. (a) 内の点線で囲んだ領域は MRI-NHM の領域を示す. (b) 中のコンターは MRI-NHM の地形を示す. コンター間隔は 50m. 両図の左下隅の格子は各々のモデルの格子点の一部を示す.

LWP gm^{-2}

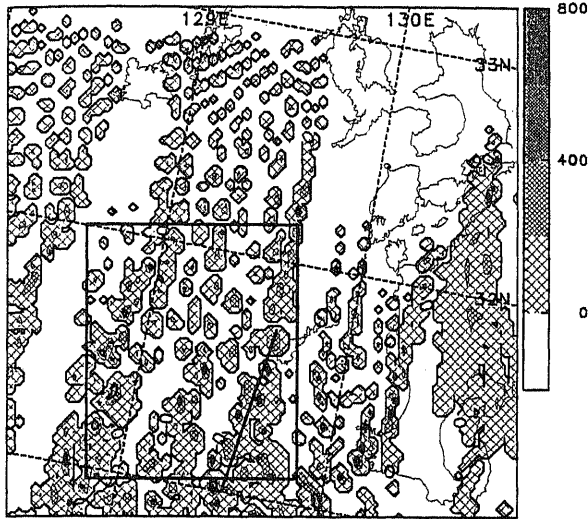


図3 鉛直積算雲水量の水平分布. コンター及びハッチの間隔は 200gm^{-2} . 1月22日1230JST(6時間30分子報値)の時刻の値を示す. 図中の直線は図4で鉛直プロファイルを求めた領域を, 四角形で囲まれた領域は, 図5,6で平均した領域を各々示す.

LWC gm^{-3}

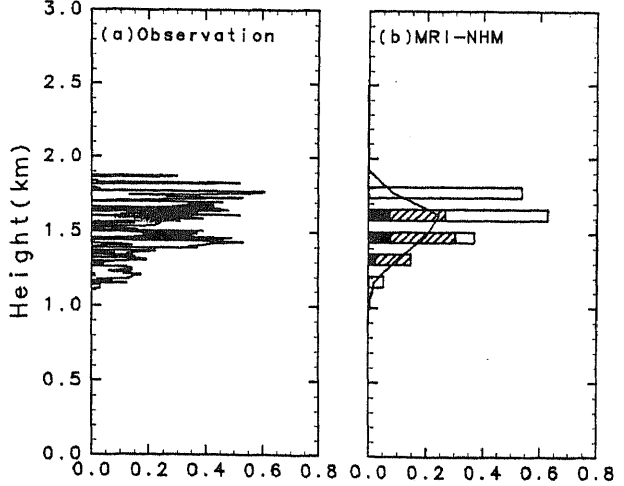


図4 雲水量の鉛直分布.(a) 航空機観測データ(KING 雲水量計), (b)MRI-NHMの計算値.(b)の折れ線は図3の直線領域の平均値を, 棒はその中の三地点のプロファイルを各々示す.

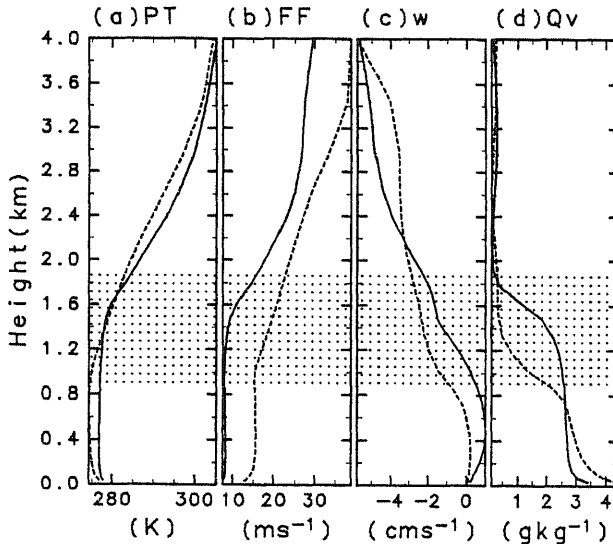


図5 各物理量の領域平均量の鉛直分布. 平均した領域は図3中に示す. (a) 温位, (b) 水平風速, (c) 鉛直風速, (d) 水蒸気量の分布を表す. 各図の点線と実線はそれぞれ30分子報値, 7時間予報値を示す. ハッチングした領域は雲域を示す.

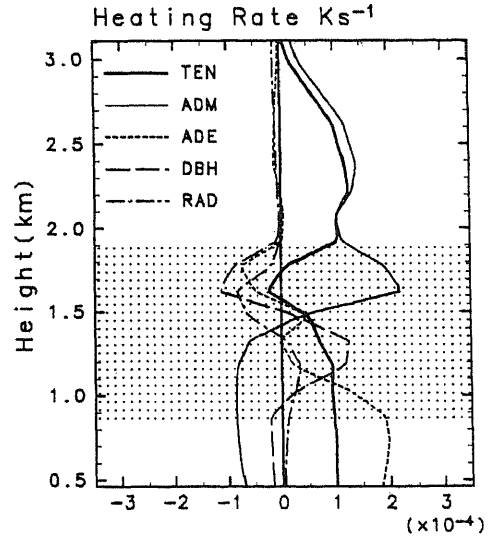


図6 7時間予報値による加熱率の各成分の領域平均量の鉛直分布. 図5と同じ領域で平均した. 太実線, 細実線, 点線, 破線, 一点鎖線はそれぞれ局所時間変化, 領域平均場の移流, 格子スケール以下の移流, 放射以外の非断熱加熱, 放射の寄与を表す. ハッチングした領域は雲域を示す.