

冬季中緯度における雲量の季節内変動特性

佐藤令於奈¹・西憲敬²・向川均³ (¹福岡大院理, ²福岡大理, ³京大防災研)

1. はじめに

冬季北半球中緯度における循環場の季節内変動では、位相の動かない定常ロスビー波によって形成されるテレコネクションパターン (Wallace and Gutzler, 1981) や、ブロッキング高気圧、および熱帯からのロスビー波列の伝搬が重要な役割を果たすことが知られている (向川・馬淵, 2012)。

中緯度域では、ロスビー波は概ね、対流圏中層に最大振幅をもつ、等価順圧な鉛直構造を有する (前田, 2013)。そのため、中緯度では、定常ロスビー波に伴い、対流圏上層での高圧偏差が正 (負) のときには、地表付近では高温 (低温) 偏差傾向となることは確かである。

しかし、地表面付近の温度偏差には、長波放射や短波放射も大きな影響を及ぼすため、定常ロスビー波の高度場偏差のみが、地表面付近の温度偏差の季節内変動を規定する要因ではない。また、長波放射や短波放射は雲量と関連することが知られているため、地表面付近の温度の季節内変動を理解するためには、定常ロスビー波に伴う雲量変動の実態を明らかにすることが重要である。

そこで本研究では、冬季北半球中緯度における、雲量の季節内変動について、統計的解析を行った。特に、雲量変動と高度場変動との位相関係に着目する。

昨年 (2016 年度) の発表では、東経 125°~140°、北緯 30°~40°の日本周辺における季節内変動では、500hPa 高度場の低下時に全雲量が極大となる有意な位相関係が存在することを示した。また、この位相関係は、高度場の季節内変動成分に伴うトラフの東方に雲量の極大が位置すること、この空間位相を維持してシステム全体が位相東進することによって理解できることを示した。

また、日本周辺で全雲量極大域の西方にトラフが存在する位相関係は、ユーラシア大陸東端が平均場の傾圧性が特に大きな経度帯に位置することで説明可能であることも明らかにした。すなわち、傾圧性の大きな経度

帯では、トラフ前面で南風に伴って大規模上昇流が生じ、その結果、全雲量も極大となると考えられる。

今回の発表では、解析領域を経度方向に拡張し、北緯 35 度における季節内変動成分の高度場と雲量との東西位相構造の経度依存性について、統計的に解析を行った。

2. データ

本研究では、信頼のおける長期間の雲量データとして、International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) による D1 雲量データを使用した。水平解像度は 280km、時間解像度は 3 時間である。また、The European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) ERA-Interim の上層雲量 ($0.45 \geq \sigma$)、中層雲量 ($0.8 \geq \sigma > 0.45$)、下層雲量 ($1 \geq \sigma > 0.8$)、ジオポテンシャルを使用した。緯度経度格子点間隔は 2.5°、時間間隔は 24 時間のものを使用した。期間はいずれも 1984-2008 年における 25 年間の 1、2 月である。すべての物理量の時系列について、15-30 日周期帯を抽出する band-pass フィルターを施した。これ以降の記述は、断らない限りすべて 15-30 日周期帯についての解析結果である。

3. 解析結果

北緯 35 度における、全雲量と高度場との東西位相関係について調べるため、ISCCP 全雲量と 500hPa 等圧面高度場 ($\Phi 500$) との同時相関解析を行った。この相関解析では、ある経度における ISCCP 全雲量と、その点から東西にそれぞれ 60 度の幅をもった経度域における $\Phi 500$ との間で、同時相関係数を算出した (図 1)。また、ある年の時系列と、その翌年の時系列とは独立であると考え、自由度は解析に用いた年数に等しい 25 とした。この自由度は、時系列が本来有するものよりも十分少ないため、有意検定はかなり厳しめと考えられる。

前節で述べた、日本付近の領域よりも 5°ほど西側にあたる、東経 120°付近では、

ISCCP 全雲量が極大を取るときに、その西方(東方)で $\Phi 500$ は有意な負偏差(正偏差)を示す。また、西経 $120^{\circ}\sim 60^{\circ}$ でも同様に、ISCCP 全雲量の極大域の西方に $\Phi 500$ の負偏差が位置していた。一方、東経 $0^{\circ}\sim 70^{\circ}$ では、ISCCP 全雲量の極大付近に、 $\Phi 500$ の負偏差が位置していた。また、東経 $120^{\circ}\sim$ 西経 110° 、西経 $60^{\circ}\sim$ 東経 0° では、有意性は認められなかったものの、ISCCP 全雲量の極大の西方に $\Phi 500$ の正偏差が位置する位相関係が見出された。

次に、冬季北半球の中緯度帯での季節内変動において、このように雲量と $\Phi 500$ の東西位相関係が経度依存する理由を検討した。一般的に、雲量の季節内変動を引き起こす要因として、総観規模擾乱の通過頻度の変化や、梅雨などの前線活動の変化、高気圧に伴う下降流による下層雲量変動など、様々なものが考えられる。このため、冬季中緯度において雲量と高度場の東西位相関係に経度依存性が強いことは、雲量変動の機構も経度方向に異なることを示唆している。そこで、ERA-Interim 再解析データの上層雲量・中層雲量・下層雲量を用いて ISCCP 全雲量と同様の解析を行い、雲量の季節内変動の生成機構の経度依存性について吟味する。

まず、ERA-Interim 再解析データにおける雲量データの品質を確認するため、ISCCP 全雲量と ERA-Interim 再解析データの全雲量を比較した。その結果、両者に大きな差異はなく、ERA-Interim 再解析データに含まれる雲量データは信用できると考えられる。

図 2a に、上層雲量と $\Phi 500$ の季節内変動成分について行った同時相関解析の結果を示す。ほとんどの経度で、上層雲量の極大域の西方(東方)に、 $\Phi 500$ の負(正)偏差が位置している。また、この位相関係は、東経 120° および西経 $120^{\circ}\sim 60^{\circ}$ で統計的に有意である。

等価順圧なロスビー波の位相構造を考えると、 $\Phi 500$ の正偏差の東方で上層雲量が極大となる位相関係が卓越する要因として、ロスビー波に伴う高気圧性偏差の西方での南風の卓越が考えられる。中緯度対流圏上層では、等温位面の高度は北ほど概ね高くなるた

め、高気圧正偏差の西方で生じる南風は上昇流を伴う。このようにして生じる大規模上昇流が、上層雲量の極大を形成していると考えられる。

図 2b に、中層雲量についての解析結果を示す。ほとんどの経度帯で、中層雲量極大域付近に $\Phi 500$ の負偏差が位置する。この関係は、東経 $0^{\circ}\sim 120^{\circ}$ および西経 $140^{\circ}\sim 0^{\circ}$ にかけての経度帯で有意である。東経 120° では中層雲量の極大域の西方に $\Phi 500$ の負偏差が位置するという有意な位相関係が認められる。

一方、下層雲量と $\Phi 500$ との位相関係は、上層雲量や中層雲量と比較すると、経度依存性が大きい(図 2c)。東経 $180^{\circ}\sim$ 西経 120° では、下層雲量の極大域の西方に $\Phi 500$ の正偏差が位置し、この位相関係は有意である。

次に、ISCCP 全雲量と $\Phi 500$ との位相関係が有意であった経度帯について考察する。まず、東経 $0^{\circ}\sim$ 東経 90° の経度域では、ISCCP 全雲量と $\Phi 500$ との位相関係は、中層雲量と $\Phi 500$ の位相関係と一致していた。また、東経 $90^{\circ}\sim 120^{\circ}$ では、ISCCP 全雲量と $\Phi 500$ との位相関係は、上層雲量と $\Phi 500$ の位相関係、中層雲量と $\Phi 500$ の位相関係、下層雲量と $\Phi 500$ の位相関係すべてと一致していた。北米大陸付近に当たる、西経 $120^{\circ}\sim$ 西経 60° の経度域では、ISCCP 全雲量の極大の西方およそ 10° のところに $\Phi 500$ の負の相関係数の最大値が位置する。同じ経度域で、上層雲量では、雲量極大の西方およそ 20° のところに $\Phi 500$ の負の相関係数の最大値が位置し、ISCCP 全雲量と比べると $\Phi 500$ のトラフ中心までの距離が大きい。反対に、下層雲量では、雲量極大の多少西側ではあるが、すぐ近くに $\Phi 500$ の負偏差の中心が位置しており、ISCCP 全雲量と比べると、中層雲量の方が $\Phi 500$ のトラフ中心までの距離が小さい。

また、東太平洋上で ISCCP 全雲量の極大の西方に $\Phi 500$ の正偏差が位置する位相関係は、下層雲量と $\Phi 500$ との位相関係と一致する。このため、東太平洋上では、全雲量変動はほぼ下層雲量変動で説明できると考えられる。

一方、日本周辺に認められた特徴的な位相関係について考察する。東経 120° 付近にお

いて、上層雲量と中層雲量では、雲量と $\Phi 500$ との間に次のような特徴的な位相関係が見出された。すなわち、図 2a および図 2b の東経 90° 付近に着目すると、上層と中層雲量の極大域付近に、 $\Phi 500$ の負偏差が位置し、この位相関係は有意である。また、東経 120° までの経度帯では、雲量基準点が東にずれるに従って、徐々に $\Phi 500$ 負偏差域は雲量極大域の西方に位置するようになる。実際に、東経 90° で $\Phi 500$ の負偏差が大きくなる事例を調べると、東経 $90^\circ \sim 120^\circ$ の領域で上層・中層雲量が一斉に増大していた(図は示さず)。

また、このような雲量の変動形態は、他の経度帯では認められない。このため、この経度域には、広範囲に同期した雲量変動をもたらす特異なメカニズムが存在することが示唆される。

4. まとめと考察

ISCCP 全雲量・ERA 上層・中層・下層雲量を用いて、北緯 35° における雲量と $\Phi 500$ の季節内変動成分の東西位相構造の経度依存性について解析を行った。

ISCCP 全雲量では、東経 $0^\circ \sim 120^\circ$ および西経 $120^\circ \sim 60^\circ$ で、雲量の極大域の西方に、 $\Phi 500$ の負偏差が位置し、この東西位相関係は統計的に有意である。すなわち、ユーラシア域および北米域で、全雲量と高度場との間に統計的に有意な関係が存在する。

さらに、ERA-Interim 上層、中層、下層雲量を用いて、ISCCP 全雲量と同様の解析を行った。その結果、東経 $0^\circ \sim 120^\circ$ および西経 $120^\circ \sim 60^\circ$ の経度域で、上層雲量と $\Phi 500$ および、中層雲量と $\Phi 500$ との間に有意な位相関係が存在することが明らかになった。ただし、上層雲量ではその極大域の西方に $\Phi 500$ 負偏差が位置するのに対し、中層雲量ではその極大域付近に $\Phi 500$ 負偏差が位置する。

また、このような位相関係の生成機構について考察した。その結果、上層雲量と $\Phi 500$ との位相関係は、はロスビー波に伴う南風に起因する大規模上層流による雲量増大で説明可能である。また、中層雲量の極大域が $\Phi 500$ の負偏差付近に存在する要因を考える。トラフの中心付近で雲生成のための上昇流が存在するには、凝結過程を伴うような、非

断熱過熱が必要である。しかし、中緯度ロスビー波に特有な等価順圧な鉛直構造を考えると、層別雲量の極大域と高度場との位相関係が、高度によって異なることには疑問が残る。さらに、雲量の季節内変動成分の振幅が小さい経度域では、上昇流の変動が大きい場合でも雲量変動は小さくなる可能性もある。今後は、海陸分布や、相対湿度の経度変化も考慮して解析を行う必要がある。

また、東経 $180^\circ \sim$ 西経 120° および西経 $40^\circ \sim$ 東経 0° の海洋上では、下層雲量の極大域の西方に $\Phi 500$ 正偏差が位置しており、その位相関係は有意であった。このことは、北太平洋東部では、対流圏上層に最大振幅を有するロスビー波に伴って、下層雲量が有意に変動することを意味している。このような下層雲量の変動機構についても、さらなる解析が必要である。

さらに、東経 90° で $\Phi 500$ の負偏差が存在するときに、その東側の東経 $90^\circ \sim 120^\circ$ の経度域で、上層と中層雲量が一斉に極大となることが見出された。この経度域は総観規模の低気圧が良く発達する領域であり、このことは、低気圧の通過頻度の変動で理解できる可能性がある。今後は、東経 90° 付近で $\Phi 500$ のトラフが深まる場合について事例解析を行い、鉛直流の鉛直分布なども含めて、より詳細な解析を行う予定である。

引用文献

- Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 784–812.
- 向川均・馬淵未央, 2012: 冬季極東域の気温変動と関連する大気循環の特徴, 京都大学防災研究所年報 第55号B 平成24年6月
- 前田修平, 2013: 平成24年度季節予報 研究テキスト 季節予報作業指針 ~基礎から実践まで~, 気象庁 地球環境・海洋部, 気候情報課

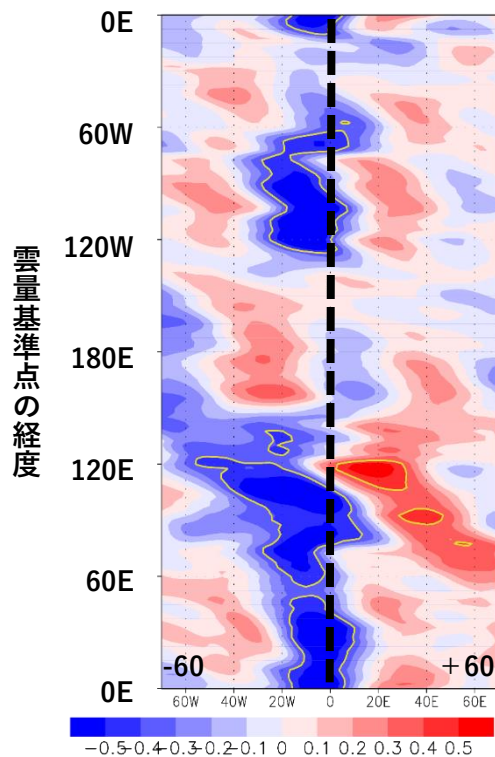


図 1: 北緯 35 度における ISCCP 全雲量と $\Phi 500$ の同時相関係数. 縦軸が ISCCP 全雲量の基準点の経度, 横軸が雲量基準点から $\Phi 500$ までの経度差 (黒破線は経度差 0). 黄色等値線の内側に危険率 5% で統計的に有意な領域を示す.

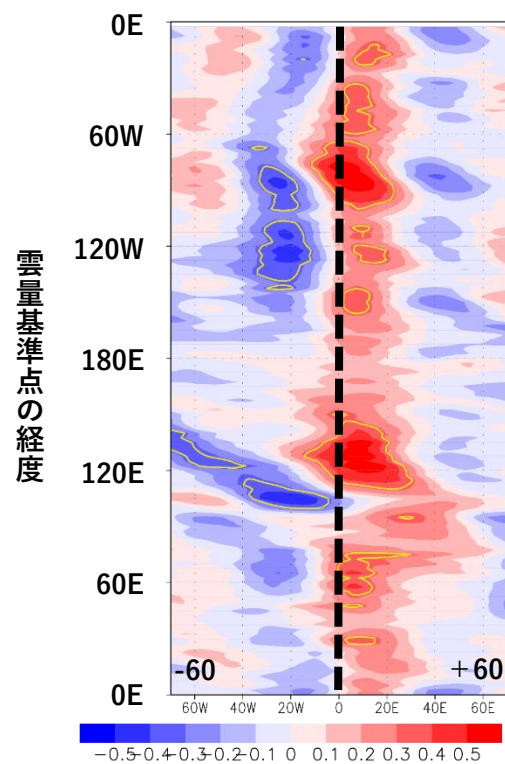


図 2a: 図 1 と同様. ただし, ERA 上層雲量に対する解析結果.

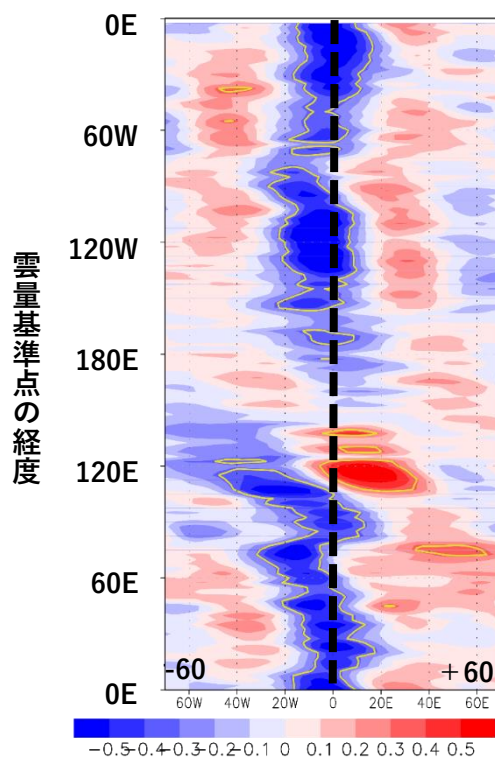


図 2b: 図 1 と同様. ただし, ERA 中層雲量に対する解析結果.

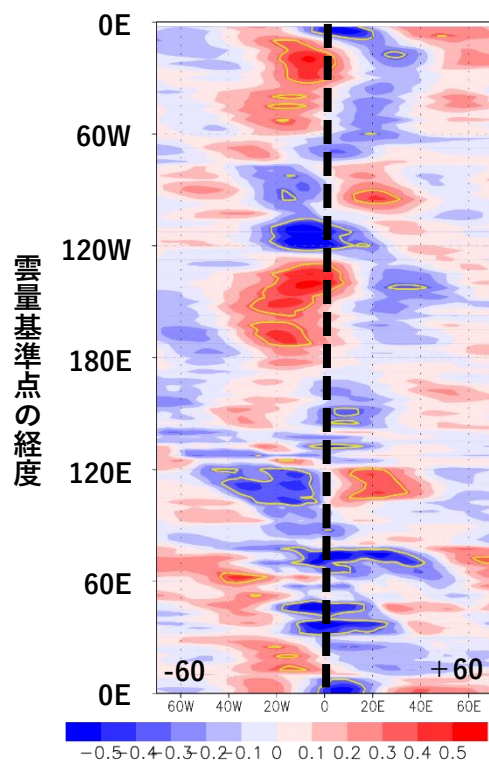


図 2c: 図 1 と同様. ただし, ERA 下層雲量に対する解析結果.