

# Seasonal Variation of the Atmospheric Hydrologic Cycle in Polar Regions and the Relation with Annular Modes (極域における大気水循環の季節変化および環状モードとの 関係について)

大気海洋圏環境科学専攻 気候モデリング講座 博士後期課程3年

大島 和裕 (指導教官 山崎 孝治)

## はじめに

大気から極域表面への淡水フラックス (降水量と蒸発量の差:  $P - E$ ) の季節変化は、積雪や海水、氷床に影響を与えるため、極域水循環において重要な要素である。 $P - E$ は、極域への水蒸気輸送によってもたらされ、北極海では淡水フラックス、南極大陸では氷床の涵養量である。

北極域での  $P - E$  は北半球の夏 (JJA) に大きく、南極域では南半球の冬 (JJA) に大きい (図1)。前者は夏に水蒸気量が多くなることに起因する。後者は水蒸気量の季節変化とは逆であり、一見奇妙な季節変化である。この理由として冬に擾乱活動が活発なためであると指摘されている (Yamazaki, 1992, Bromwich et al. 1995)。しかし、明確な解析はなされていない。

環状モード (北極振動: AO, 南極振動: AAO) は極域と中緯度の気圧のシーソー的な変動であり、大気循環で卓越する変動モードである。この AO/AAO は各極域の大気循環と関連しており、また水蒸気輸送とも関連していることがわかって

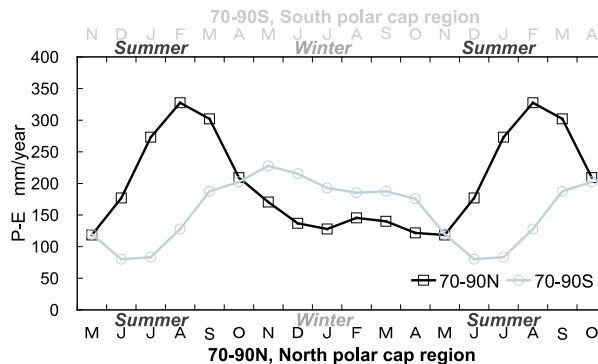


図1: 北極と南極の領域 (70° よりも極側) における  $P - E$  の季節変化。上下の軸はそれぞれ北極域 (□) と南極域 (○) に対応する。

いる (Roger et al., 2001, Bore et al., 2001)。

本研究では、両極域における  $P - E$  の季節変化に対して、水蒸気量と擾乱活動の季節性のどちらが効果的であるかについて調べた。また極域水循環の経年変動及び環状モードに伴った水蒸気輸送、 $P - E$  および降水量 ( $P$ ) の偏差の水平パターンを水蒸気フラックス (MF) の定常成分と非定常成分の2つの役割に注目して解析をした。

## データと解析

大気の詳細データは23年間(1979-2001)のECMWF40年客観解析データを用いた。 $P-E$ は水蒸気フラックスから大気水収支法によって見積もった。

$P-E$ の季節変化はMFの非定常成分( $\overline{q'v'}$ )に大きく依存する(Oshima and Yamazaki, 2004)。よって $P-E$ の季節変化を極域(67.5°, 70°N/S)で東西平均した $\overline{q'v'}$ ( $\langle\overline{q'v'}\rangle$ )に置き換えることができる。 $\overline{q'v'}$ は非定常擾乱に湿った低緯度から乾燥した高緯度へと水蒸気を運ぶので、フラックスの大きさは比湿の南北経度( $\partial\bar{q}/\partial y$ )と擾乱活動に関連すると考えられる。そこで水蒸気量の指標を850hPaにおける $(\partial\bar{q}/\partial y)_{850}$ 、擾乱活動の指標を南北風の分散( $\overline{v'^2}_{850}$ )と定義した。この2つの指標を用いて線形回帰と余弦関数近似をすることで各々の影響評価を行った。

AO, AAOとMF,  $P-E$ および $P$ との関連については相関、回帰分析を行った。AO, AAO indexはNOAA CPCで配布されているものを用いた。

## 結果

$\langle\overline{q'v'}\rangle$ と $(\partial\bar{q}/\partial y)_{850}$ の相関は北極域では強く( $r = -0.83$ )、南極域では弱い( $r = -0.28$ )。また、 $\langle\overline{q'v'}\rangle$ と $\overline{v'^2}_{850}$ の相関は北極域ではあまり強くないが( $r = -0.56$ )、南極域では強い( $r = -0.83$ ) (図は省略)。この結果極向きMFの季節変化は、北極域で主に水蒸気の効果、南極域で擾乱活動の効果の影響を受けていることがわかる。2つの効果と一緒にすると、両極域における $\langle\overline{q'v'}\rangle$ は、 $(\partial\bar{q}/\partial y)_{850}$ と $\overline{v'^2}_{850}$ との平方根( $v$ の標準偏差)の積と強い相関を持つ( $r=0.78$ , 図2)。すなわち $\langle\overline{q'v'}\rangle$ は、 $(\partial\bar{q}/\partial y)_{850}$ と $\overline{v'^2}_{850}$ を用いて式(1)のように線形回帰で表され、更に各々の季節変化を余弦関数で近似すると式(2), (3)のようになる。

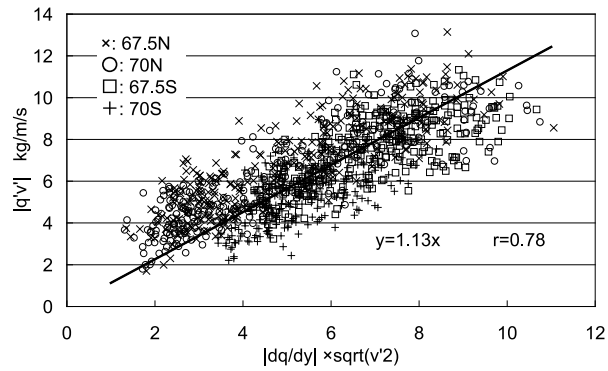


図2: 北極域と南極域(北緯および南緯, 67.5°と70°)における $\langle\overline{q'v'}\rangle$ と $|(\partial\bar{q}/\partial y)_{850}|$ と $\sqrt{\overline{v'^2}_{850}}$ との積の散布図。実線は線形近似, マークはそれぞれの緯度を示す。

$$\langle\overline{q'v'}\rangle \approx 1.13 \left| \left( \frac{\partial\bar{q}}{\partial y} \right)_{850} \right| \times \sqrt{\overline{v'^2}_{850}} \quad (1)$$

$$\approx (a_0 - a_1 \cos t)(b_0 + b_1 \cos t) \quad (2)$$

$$= a_0 b_0 \left\{ 1 - \frac{a_1 b_1}{2 a_0 b_0} + \left( \frac{b_1}{b_0} - \frac{a_1}{a_0} \right) \cos t - \frac{1}{2} \frac{a_1 b_1}{a_0 b_0} \cos 2t \right\}. \quad (3)$$

ここで、 $a_0$  は  $|(\partial\bar{q}/\partial y)_{850}|$  の年平均値、 $a_1$  はその振幅である。 $a_1$  は  $|(\partial\bar{q}/\partial y)_{850}|$  の季節変化をフーリエ変換をした余弦関数の波数1成分の係数で決定する。 $b_0$  と  $b_1$  は  $\sqrt{v^2_{850}}$  について同様な係数である。夏冬のピークを決める係数である  $b_1/b_0 - a_1/a_0$  は、北極 (70°N) で大きな負の値 (-0.61) となるので、 $\langle\bar{q}v\rangle$  は夏のピークとなる。一方、南極 (67.5°S) では  $b_1/b_0 - a_1/a_0$  が小さな正の値 (0.10) をとるので、 $\langle\bar{q}v\rangle$  は冬のピークとなる。この近似によって、 $\langle\bar{q}v\rangle$  が北極域で夏、南極域で冬に大きいことを説明できた。

AO や AAO が正のときに高緯度で東向き、極向き MF の偏差、中緯度で西向き、赤道向き MF の偏差となる (図 3, 4)。また南極大陸の内陸に相当する 75° S 以南の相関は弱く、南極振動とは関連していないことがわかった。AO が正のときの水蒸気フラックスの水平パターンは、北太平洋上で高気圧性循環、北大西洋上で低気圧性循環の偏差になり、大西洋中緯度では高気圧性の循環偏差となる。これは太平洋でアリューシャン低気圧が弱まり、大西洋でアイスランド低気圧が強まる大気循環の偏差に対応している。AAO が正のときには南極大陸のまわりで東向き、中緯度で西向きの MF 偏差となる。また中緯度では AAO に伴う高気圧偏差に対応する高気圧性循環の偏差も見られる。このように環状モードに伴った MF の偏差は対流圏下層の風の偏差と一致している。またこの MF の偏差は定常成分との関連が強いことがわかった。大西洋域での AO に伴った  $P-E$  の偏差は北ヨーロッパやアイスランドで正、南ヨーロッパで負となり、グリーンランドの南側で負、その更に南側で正となる。この  $P-E$  の偏差は極向き MF の定常成分の偏差に対応している。この対応関係は大西洋域だけでなく、他の領域でも同様の関係がみられる。

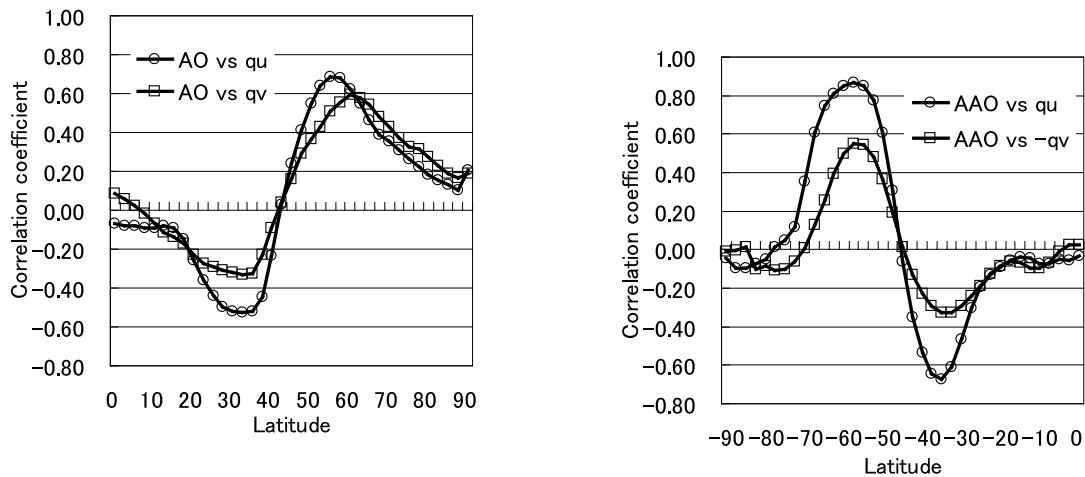


図 3: AO/AAO インデックスと東向き (□) および極向き (○) 水蒸気フラックスとの相関係数の緯度分布。図 4: 図 3 と同様、AAO インデックスについて、緯度分布。

### まとめ

北極域での  $\langle\bar{q}v\rangle$  の夏ピークは、 $|(\partial\bar{q}/\partial y)_{850}|$  の相対的な振幅が  $\sqrt{v^2_{850}}$  の相対振幅よりも大きい結果である。一方、南極域での  $\langle\bar{q}v\rangle$  の冬ピークは、逆に  $\sqrt{v^2_{850}}$  の相対的な振幅が  $|(\partial\bar{q}/\partial y)_{850}|$  よりも大きいのである。ゆえに極域における  $P-E$  の季節変化の要

因が、北極域では水蒸気量の季節性、南極域では擾乱活動の季節性であると概念的に評価することが出来た。

AO/AAOに伴ったMFの偏差は、AO/AAOに伴った対流圏下層の風の偏差に対応する。また $P-E$ の偏差は、定常成分の極向き水蒸気フラックスの偏差と対応していることがわかった。

以上、本研究によって得られた極域における大気水循環の季節変化の要因解明および環状モードと水蒸気輸送や降水との関連は、極域全体の水循環とその経年変動の評価にとって有益な結果であると考えられる。

## 参考文献

- Boer, G. J., S. Fourest, and B. Yu, 2001: The Signature of the Annular Modes in the Moisture Budget. *J. Clim.*, **14**, 3655-3665.
- Bromwich, D. H., F. M. Robasky, R. I. Cullather, and M. L. V. Woert, 1995: The Atmospheric Hydrologic Cycle over the Southern Ocean and Antarctica from Operational Numerical Analyses. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 3518-3538.
- Rogers, A. N., D. H. Bromwich, E. N. Sinclair, and R. I. Cullather, 2001: The Atmospheric Hydrologic Cycle over the Arctic Basin from Reanalyses. Part II: Interannual Variability. *J. Clim.*, **14**, 2414-2429.
- Oshima, K., and K. Yamazaki, 2004: Seasonal Variation of Moisture Transport in Polar Regions and the Relation with Annular Modes. *Polar Meteorology and Glaciology*, **18**, 30-53.
- Yamazaki, K., 1992: Moisture Budget in the Antarctic Atmosphere. *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.* **6**, 36-45.

## 論文および学会発表

### <博士論文>

大島和裕, Seasonal Variation of the Atmospheric Hydrologic Cycle in Polar Regions and the Relation with Annular Modes (極域における大気水循環の季節変化および環状モードとの関係について), 北海道大学大学院 地球環境科学研究科 大気海洋圏環境科学専攻 博士論文, 2005年2月.

### <投稿論文>

Oshima, K. and K. Yamazaki, 2004, Seasonal Variation of Moisture Transport in Polar Regions and the Relation with Annular Modes. *Polar Meteorology and Glaciology*, 18, 30-53.

Oshima, K. and K. Yamazaki, Moisture and Eddy Activity Effects for Seasonal Variation of  $P - E$  over Polar Regions. (In preparation)

Oshima, K. and K. Yamazaki, Interannual Variation of the Atmospheric Hydrologic Cycle in Polar Regions and the Relation with Annular Modes. (In preparation)

### <学会発表>

大島和裕, 山崎孝治, 水蒸気輸送と環状モードの関係, 日本気象学会 2004年春季大会, 2004年5月. (東京)

大島和裕, 山崎孝治, 北極振動と水蒸気輸送との関係, 日本気象学会北海道支部第1回支部研究発表会, 2004年6月. (札幌)

大島和裕, 山崎孝治, 極域における水蒸気輸送の季節変化, 日本気象学会 2004年秋季大会, 2004年10月. (福岡)

Oshima, K. and K. Yamazaki, Seasonal Variation of Moisture Transport in Polar Regions, GCCA5, November 2004, (Tsukuba)

Yamazaki, K. and K. Oshima, Seasonal Variation of the Atmospheric Hydrologic Cycle in Polar Regions and the Relation with Annular Modes, CliC First Science Conference, April 2005. (Beijing, China)

山崎孝治, 大島和裕, 極域における大気水循環と環状モード, 日本気象学会 2005年春季大会, 2005年5月. (東京)

大島和裕, 山崎孝治, 極域における  $P - E$  の季節変化の要因, 日本気象学会 2005年春季大会, 2005年5月. (東京)