南極沿岸におけるコヒーレントな水位変動の力学

大気海洋圏環境科学専攻 極域大気海洋学講座 博士課程2年 草原 和弥(指導教官:大島 慶一郎)

1. 背景と目的

南極海は海氷の存在や南極底層水形成の場という観点から気候変動・地球温暖化に対して、 大きな役割を担う海域である。インド洋・太平洋・大西洋の三大洋を唯一直接連結しているこ とは物理的にだけでなく、化学・生物的な移流・拡散に対しても、その変動は大きなインパク トをもっている。しかしながら、南極海は海氷域に位置することから観測は非常に限られたも のとなっている。そのなかにあって、南極沿岸の水位観測は比較的長期かつ連続的に行われて おり、南極海の海洋変動のよいモニターになっている可能性がある。特に日本の昭和基地では 1966年から水位観測が行われ、最も長期連続したデータを取り続けている。しかし、それらの 水位変動が南極海のどのような循環を反映したものなのかも含め、南極海の海洋循環やその変 動に対する理解は十分なされていない。基礎的な物理量である水位・流量変動を理解すること は、南極海の海洋・海氷が気候変動・地球温暖化に与える役割を考える上でも基礎的な研究と なる。

南極振動(AAO, SAM などと呼ばれ、波数ゼロで特徴づけられる南半球の大気の支配的な変動) は南極海において、大気・海洋・海氷に大きなインパクトを与えている。Hall and Visbeck(2002) は大気海洋海氷結合モデルを用いて、AAO が正のフェイズ(つまり、高緯度側において大気圧 は負の偏差、低緯度側では正の偏差の状態)のとき、東向の風応力の強化・北向のエクマンドリ フトの増加・高緯度側(南極沿岸)における発散場の形成・南極周極流(東向)の強化などが起こ ることを示した。南極海沿岸における水位変動は10日~100日程度の周期帯においてコヒーレ ントに変動することが知られており、その変動はAAO と強い負の相関関係にある(Aoki, 2002; Hughes *et al.*, 2003)。

南極海の水位及び流量変動は定性的に理解されているものの、定量的・力学的な理解はほと んどされていない。本研究は南極海における水位・流量変動のメカニズムを理解することを目 的としている。

2. モデルおよびデータ

球面順圧モデルを使用した。モデルの水平解像度は経度方向に 1°、緯度方向に 0.5°である。 北限の壁は赤道であり、南緯 30°~0°には粘性を緩やかに加させた粘性境界領域を設けた。モ デルに与えた風応力は ERA40 の地上 10m 風から計算した。海洋に入力される応力の計算に海 氷の効果は考慮していない。モデル海底地形は ETOPO5 から計算した。モデルは順圧的な時 間変動成分に着目するため、各グリッドにおいて一年の移動平均を引いたアノマリーを外力と して駆動した。解析には 1994 年~1999 年の六年間の毎日の日平均値を使用した。

南極沿岸の水位データは Syowa, Mowson, Davis, Casey, Faraday の五地点 (場所は Fig. 2 に 示している)を使用した。水位データは気圧補正、潮汐成分除去を行い、毎日の水位データを 作成し、解析に利用した。

3. 結果

観測 (五地点) 及びモデル (沿岸 360 地点) の水位変動に対して EOF 解析をすると、コヒーレントな水位変動が主成分であり、その寄与率はそれぞれ 76%、79%であった。Fig. 1 に観測及びモデル沿岸の第一モードの時系列を示す (Fig. 1 上及び中)。順圧モデルは南極沿岸のコヒー

レントな水位変動をよく再現した。モデル内において主成分であるコヒーレントな変動との相 関係数の水平分布図 (Fig. 2) から、その水位変動は南極沿岸の陸棚及び陸棚斜面に捕捉されて いることがわかった。

南大洋の大気変動は波数ゼロの AAO により特徴づけられている。上記の陸棚及び陸棚斜面に 捕捉された水位変動はコヒーレント(波数ゼロ)な風応力による強制陸棚波 [Gill and Schumann, 1974] であると考え、地形及び風応力を単純化した解析解を求めた。地形は指数関数で近似し、 風応力は南極沿岸の岸沿い方向成分を周極的に平均したものである。コヒーレントな風応力が 作用する場合を考えるので、求める解析解は沖方向と時間の関数になる。解析解による水位は沖 方向のモードと~200日周期帯のフーリエ成分から計算した解の重ね合せによって表現される。 解析解は減衰項なしの場合と減衰項ありの場合(ダンピングタイムスケール20日、5日、1日) を求めた。周波数毎に対する観測との一致を調べるため、観測水位と四つの強制陸棚波の解の 沿岸水位に対して、パワースペクトル解析及びクロススペクトル解析を行った。Fig. 3 は上から 観測と四つの強制陸棚波の解の振幅 (a)、観測との二乗コヒーレンシー (Squared Coherency:b) と位相差(c)を示している。強制陸棚波の解は減衰項が弱い解程、長周期で振幅が大きくなり、 観測水位との位相差が大きくなる。観測水位の振幅は減衰項のタイムスケールが五日の強制陸 棚波の解と95%の信頼限界の範囲で一致している。観測との二乗コヒーレンシーは200日以内 の周期帯においてどの減衰項の係数の場合とも高い値を示しているが、その観測との位相差は 減衰項の係数の違いにより大きく異なっている。観測との位相差は五日のタイムスケールの減 衰項を含む強制陸棚波の解のみが10~200日においてほぼゼロを示している。振幅と位相差か ら観測の水位変動の大きさ及び位相は減衰のタイムスケール五日を考慮した強制陸棚波により 説明できる。観測の南極沿岸水位変動は10日~200日の周期帯において5日のダンピングタイ ムを考慮した強制陸棚波の解の足し合わせで説明できる (Fig. 1下)。

学会発表

[1] <u>草原 和弥</u>、大島 慶一郎: 南極沿岸におけるコヒーレントな水位変動の力学. 日本海洋学会 春季大会, 横浜, 2006 年 3 月.

[2] <u>草原 和弥</u>、大島 慶一郎: 南極沿岸におけるコヒーレントな水位変動の力学. 第 28 回 極域気水圏シンポジウム,東京, 2005 年 11 月.

[3] <u>草原 和弥</u>、大島 慶一郎: 南極海における周極的な水位・流量変動. 日本海洋学会 春季大会, 東京, 2005 年 3 月.

論文

[1] <u>K. Kusahara</u> and K. I. Ohshima: Dynamics of the coherent sea level variation around Antarctica, *Geophysical Research Letters*, (*submitted*)

[2] <u>K. Kusahara</u>, K. I. Ohshima and K. Katsumata (2003): Two-layer model of wind-driven circulation in the Antarctic Ocean, *Polar Meteorol. Glaciol*, **17**, 36-47,



97/01 97/03 97/05 97/07 97/09 97/11 98/01 98/03 98/05 98/07 98/09 98/11 Fig. 1: 200 日のハイパスフィルターをかけた南極沿岸の時系列 (1997 年~1998 年)。上から順 圧モデルの第一モード、観測の第一モード、解析解による強制陸棚波の水位をそれぞれ表して いる。単位は cm。図の見やすさのためモデルと解析解にはそれぞれ+10,-10 を足してある。



にはそれそれ 200 日のハイバスフィルターを施した。コンター間隔は 0.1 毎である。太破線は 水深 3000m の等深線を表す。水位観測地点 Syowa, Mawson, Davis, Casey, Faraday の位置を地 点名の頭文字に をつけたもので記してある。



Fig. 3: 観測第一モードと四つの強制陸棚波の 解 (減衰項なし、スピンダウンタイムスケー ルが 20 日、5 日、1 日) のパワースペクトル (a) と観測水位の第一モードとのクロススペ クトル (b, c)。(a) はそれぞれの振幅 (単位は cm²·day⁻¹)、(b) と (c) は観測との二乗コヒー レンシーとその位相 (単位は rad) を示してい る。パワースペクトルの図には 95%の信頼限 界の誤差バーを示した。二乗コヒーレンシー の図には 95%の信頼限界を破線で示した。位 相の正は解析解が観測より先行していること を表す。線種は図中に示した。横軸は周波数 (cpd) と周期 (day) である。