

南極海域における水位・流量変動に関する研究

大気海洋圏環境科学専攻 極域大気海洋学講座
博士課程1年 草原 和弥 (指導教官: 大島 慶一郎)

1. 背景と目的

南極海は海水の存在や南極底層水形成の場という点において気候変動・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・生物学的な輸送に対しても、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、南極海は極域海水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、もっと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・海水が気候変動・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、波数ゼロの大気下層から上層までに及ぶダイナミックな大気場の変動。)は南極海において、大気・海洋・海水に大きなインパクトを与えている。Hall and Visbeck(2002)は大気海洋海水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 indexと強い負の相関関係にある(Aoki, 2002; Hughes *et al.*, 2003)。

南極海の水位・流量の水位・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。本研究は観測データ(水位)と全球順圧モデルの結果との比較・考察をおこなうことにより、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

南極海の海洋変動は一年以内の周期帯においては順圧応答が卓越していることが観測および数値実験からわかっている。一年以内の現象に着目するため、本研究では球面座標のプリミティブ順圧モデルを使用した。モデルは(i)現実的な全球モデルと(ii)緯度方向のみに高解像度化および地形を理想化した一次元モデルの二つを使用した。本研究では変動場に着目するため、風応力は一年平均場を差し引いた時間偏差として与えた。

全球モデル(i)のモデル領域は北極海を除く全球とした。水平解像度は経度方向に 2.25° 、緯度方向に 0.5° とした。外力はERA40から補間・計算した現実的な風応力を与えた。モデルに与えた海底地形データはETOPO5からガウス型の重み(影響半径400km)を考慮して計算した。また、計算された水深が1500m以下の海域はモデルの水深は1500mとした。

緯度一次元モデル(ii)の水平解像度は緯度方向に 0.05° とした。外力はERA40から計算した帯状平均風応力を与えた。実験は南極沿岸斜面を指数関数(水深50m~4000m)に理想化した実験と水深一定(4000m)の2ケースを行った。

AAO index は <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/> から毎日の値をダウンロードして利用した。

Syowa, Mawson, Davis, Casey, Faraday の沿岸 5 地点と Kerguelen, Crozet の島 2 地点の合計 7 地点の水位データを利用した。水位データは気圧補正後、潮汐成分除去 (主要 8 分潮を調和解析) し毎日の値を作成した。モデルは 1990 年~2000 年の 11 年間駆動した。解析期間はスピンアップおよび移動平均操作のため、最初 1 年と最後の 1 年を除いた 1991 年~1999 年の 9 年間とした。

3. 結果

Syowa, Mawson, Davis, Casey, Faraday, Kerguelen, Crozet における観測水位とモデル水位の時系列を Fig.1 に示す (ただし、観測データの値は 0.5 倍してある。時系列は 11 日~101 日のバンドパスしたもの。以後の時系列の図も同じフィルター操作を施したものである。)。全 7 地点において、水位変動の大きさは全球モデルは観測の半分程度であるが、観測水位とモデル水位の時系列は変動パターンにおいて非常に一致している。モデルは観測の水位変動をよく再現するものである。モデル内部においても観測において見られるコヒーレントな水位変動が再現されている (Aoki 2002, Hughes *et al.* 2003)。その水位変動の水平的な広がりをつめるため、AAO index とモデルの各グリッドとの同時相関係数を計算した (Fig.2)。南極沿岸の数百 km の限られた局所的な領域において ~ -0.6 という強い負の相関関係がある。これは AAO index が正の時に東向の風応力が強化され、それに伴い北向のエクマン輸送が形成された結果、南極沿岸の水位が下がることに対応している (Hall and Visbeck 2002)。また太平洋海域において地形に捕捉されるように比較的高い負の相関関係領域が拡大している。南極海の水位変動は海底地形に大きく影響を受けていることが示唆される。

全球モデルでは十分に評価されていない南極沿岸斜面の効果を調べるために、緯度方向に高解像度化し、斜面を十分解像できるモデルを経度方向に帯状平均した風応力を用いて駆動した。数値実験は南極沿岸の海底地形を指数関数によって理想化した (水深 50m~4000m) "地形あり" と水深 4000m 一定の "地形なし" の 2 ケースを行った。また、現実的な水位変動と比較するために、南極沿岸 5 地点の水位を平均したものを作成した。モデル 2 ケースと観測水位のスペクトル解析の結果を Fig.3 に示す。上から三つのパワースペクトル、観測水位とモデル 2 ケースのコヒーレンスと位相である。パワースペクトルをみると "地形なし" では観測水位の変動の大きさを説明できないのに対し、"地形あり" では ~ 40 日程度においてその変動の大きさは観測水位と同程度である。クロススペクトルをみると 10 日~100 日の周期帯においては "地形あり" が "地形なし" よりコヒーレンスが常に高く、位相は "地形あり" の場合のみ観測と一致している。これらのことから、10 日~100 日の観測の水位変動は "地形なし" の力学では十分説明できず、南極沿岸の斜面の存在によって増幅・調整されていることが示唆される。

Fig.4 は Kerguelen の観測水位とその近辺の風応力カールから算出されるエクマン収束・発散による水位の時系列を示す。Kerguelen における水位変動はエクマン収束・発散の変動大きさ、パターンと一致している。各グリッドにおける水位とローカルなエクマン収束・発散から計算される水位の相関係数を計算すると、Kerguelen, Crozet の緯度帯において高い相関係数がみられ、ローカルなエクマン収束・発散にによってその変動は説明されることが示唆される。

以上に議論した周極的な水位変動は大きな流量変動を伴うものである。Fig.7 はドレーク海峡における流量と AAO index の時系列である。ドレーク海峡通過流量は 20~30 Sv にものぼる幅をもっている。この流量変動は Hall and Visbeck (2002) に示されたように AAO index の変動と対応している。

4. まとめ

南極海における周極的な水位・流量変動に着目し、観測データと順圧モデルの結果を比較した。観測とモデル結果が一致したことから、南極海の10日～100日の水位変動は順圧で決まっていることがわかった。南極沿岸の水位変動は南北のエクマン輸送と沿岸斜面の存在が重要である。沖(島)の水位変動は沿岸とはことなり、ローカルなエクマン収束・発散によって決まっている。周極的な水位変動に伴う流量は20～30Svである。

学会発表

草原 和弥、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.

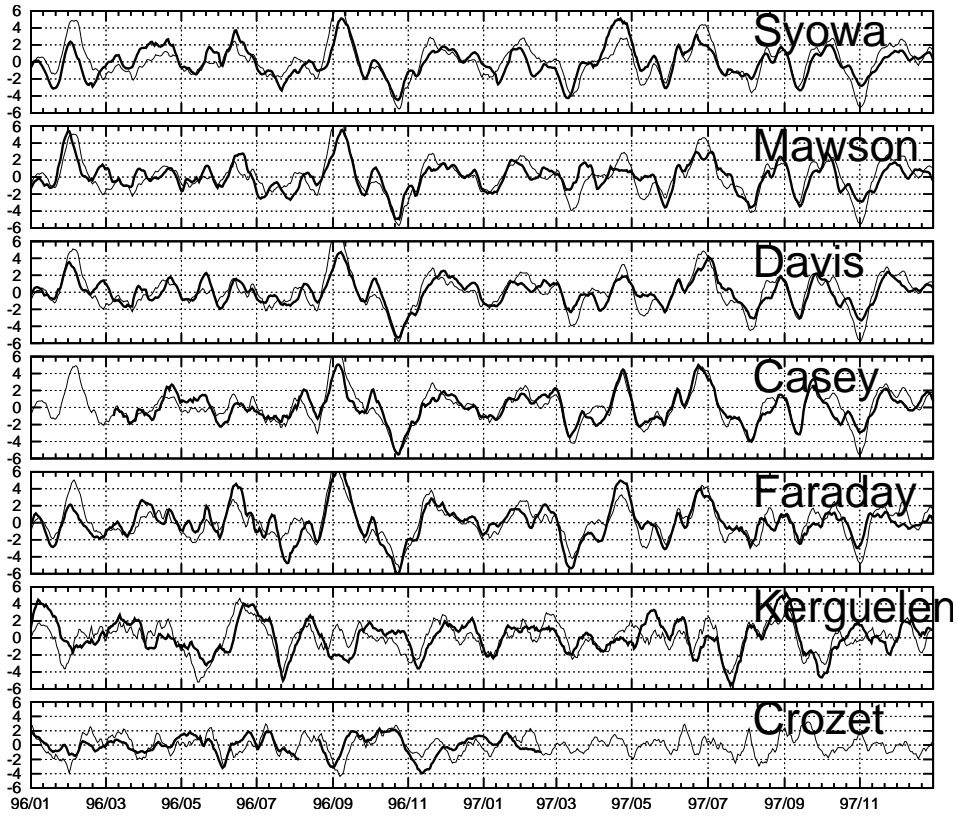


Fig. 1: 細線がモデル結果、太線が観測水位を示す。単位は cm。ただし、観測水位データは0.5倍してある。地点名は各グラフの右上に記した。上5地点が南極沿岸、下2地点が島である。期間は1995~1996年の二年間である。

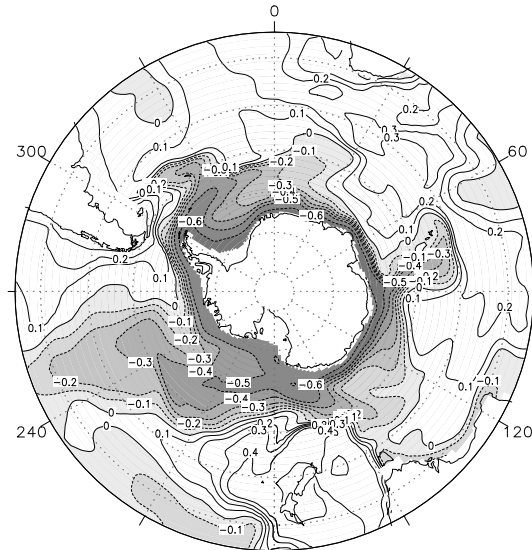


Fig. 2: AAO index とモデル各グリッドにおける相関係数 (11日~101日のバンドパスしたもの)の水平分布図。負の値に応じて影を掛けてある。

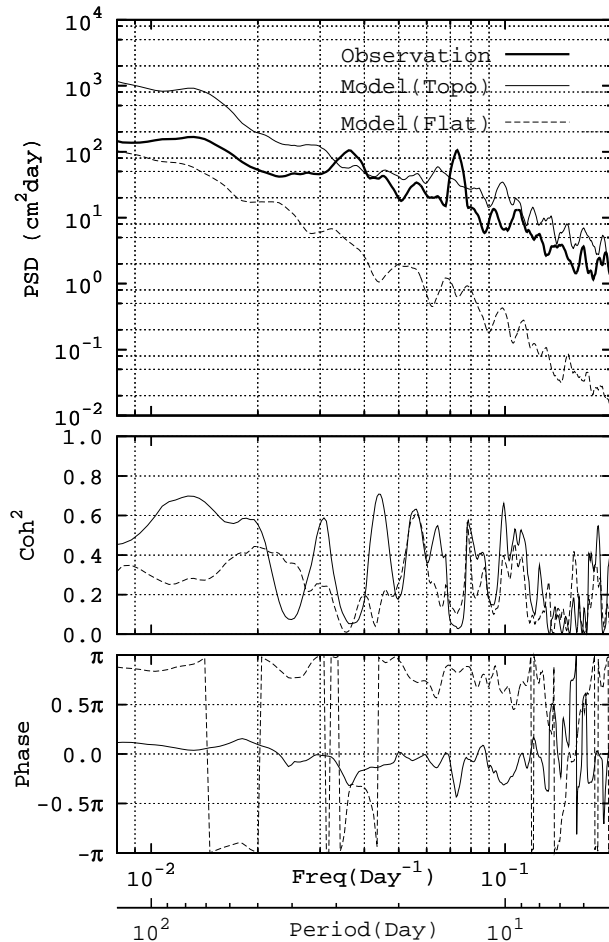


Fig. 3: 上:パワースペクトル。実線は観測、細い実線は”地形あり”モデル、点線は”地形なし”モデルを示す。下の二つは観測とモデル2ケースのクロススペクトルのコヒーレンスと位相。実線が”地形あり”モデル、点線が”地形なし”モデルを示す。

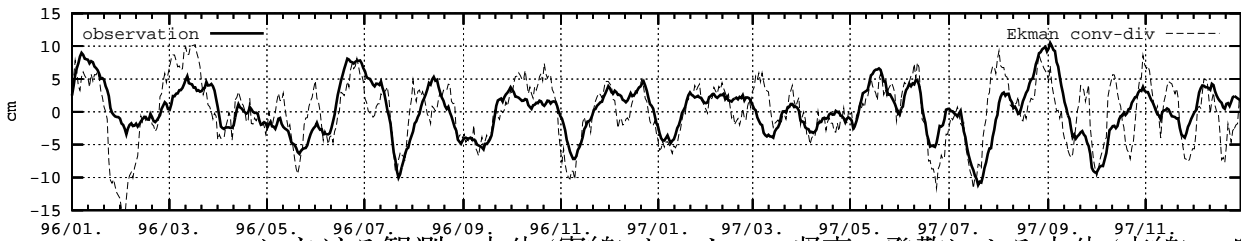


Fig. 4: Kerguelen における観測の水位 (実線) とエクマン収束・発散による水位 (点線) の時系列。単位は cm。

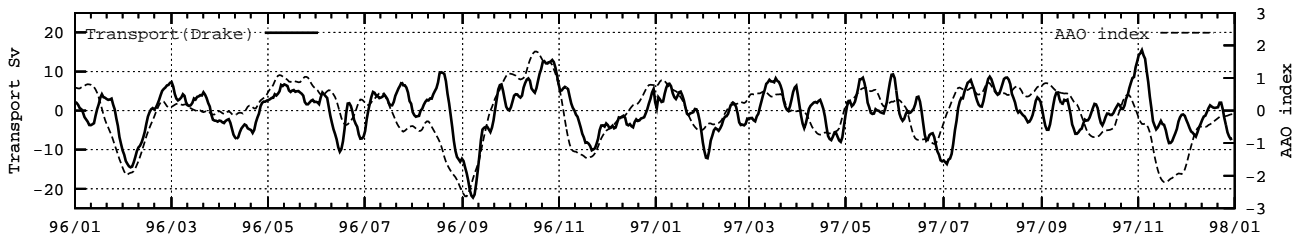


Fig. 5: モデル内のドレーク海峡通過流量と AAO index の時系列。左の縦軸は流量のスケール (単位: Sv)、右の縦軸は AAO index の指数を示す。