

周期的な風応力によって駆動される 2 層海洋循環の長周期変動特性

Low-frequency variability of a two-layer ocean forced by periodic winds

阪本 敏浩[1]

Toshihiro Sakamoto[1]

[1] 東大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ.

北太平洋の観測データにみられる大規模な海洋物理現象の経年・10 年スケール変動のメカニズムを明らかにするために、様々なレベルの数値モデル研究が行われている。そのうち少数の素過程を抽出するシンプルモデルを用いた研究は、大気との相互フィードバックに着目するものと海洋の内部過程に着目するものとに大別される。本研究は後者に分類されるが、確率過程を含まない地球流体モデルの時間発展を非線形力学系とみなし、その大域的な性質（ここでは可能な時空間スケール）を探る立場から海洋力学に寄与することを目的とする。今回は風応力が 1 年周期で変化する場合の 2 層亜熱帯循環の振舞を数値的に調べた。この数値実験結果から、亜熱帯循環の構成要素である黒潮の長周期・非周期変動に対しても一つの制約条件を提供できるのではないかと期待される。

一辺 1000 km の正方形領域を 25 km 間隔に分割したグリッド上で、2 層準地衡流渦度方程式を粘着境界条件のもとで静止状態から数値積分した (2004 年合同大会と同じ)。ただし、風応力の強さが 1 月に最大、7 月に最小となるように周期 1 年で時間変化させた。風応力の平均振幅が制御パラメータである。他の固定パラメータには亜熱帯循環を近似する値を与えた。過渡現象が減衰した後、流れ場に関連した大域的あるいは局所的な力学量の時系列データを記録し、それらのパワースペクトルを計算した。ここではエネルギー時系列データに基づく結果を示すが、流線関数の最大値や固定点での流線関数の値を用いても同じ結果が得られた。

モデル循環はいくつかの遷移を経て、外力の振動数 1 cycle per year (cpy) で変動する渦のない状態から連続スペクトルに特徴づけられる状態へ移行した。応答振動数はしばしば不連続的に変化しながら外力の強さとともに増加する。振動数 $1/n$ cpy ($n=3, 4, \dots$) の n -サイクル成分だけでなく、 $2/19, 2/17, 2/15, 2/13, 3/10, 4/13$ cpy などの有理振動数成分も現われた。カオス状態および準周期状態は n -サイクル間の狭い区間にみられた。応答振動数は全体として「悪魔の階段」(devil's staircase) 状に分布している。このようにモデルは非周期変動を含む一連の低周波応答を示したが、最も基本的な分周成分である 2-サイクルは実現しなかった。2-サイクルが原理的に存在しないのか、それとも不安定サイクルのため (あるいは特別な初期条件のため) に現われなかったのかは不明である。

このモデルには 1 cpy よりも大きい自然な振動数 (ロスビー海盆モード波や慣性再循環の時間スケール) が存在する。同じモデルで風応力が時間によらない場合、応答の振動数はこれらのモード波の振動数にロックされ、外力の強さとともに周期倍化を中心とする分岐列によってカオス状態へ移行する。これは外力の強さとともに応答の主振動数が増加する本研究結果とは異なる。二つの結果を比較すると、時間スケールをもつ強制による共鳴と、大規模な波動の不安定による周期倍分岐とがせめぎあっているように見える。外力の振動数を制御パラメータとすることによって、大規模な波動を含む亜熱帯循環の不安定と共鳴現象との関係にさらに迫ることができよう。

最後に海洋力学および海洋気候変動の問題に戻ると、周期 1 年の風応力場のもとでは、海洋循環の変動の時間スケールには明瞭なカットオフが存在することを本実験結果は示唆している。すなわち、3 年より長い時間スケールをもつ変動は海洋内部の非線形過程によって生じうるが、3 年より短い時間スケールの経年変動、特に 2 年周期の振動は非常に不安定である。そのような現象を維持するためには他の外的要因 (例えば大気海洋間の相互フィードバック効果など) が必要であると考えられる。