

学 位 論 文 題 名

Mesoscale variability along the east coast of
India revealed in satellite data and OGCM

(衛星データと海洋大循環モデルによるインド東岸に沿う
中規模変動の解明)

学位論文内容の要旨

Since mesoscale features like meanders have great importance in nourishing the coastal fisheries, satellite data analyses and numerical modeling study were carried out for the east coast of India. This region is well known for seasonal winds, summer monsoon and winter monsoon. During winter monsoon (December-February), the winds blow along the coast from the northeastern direction. Winds from the southwestern direction dominate the east coast during summer (June-September). As for the inter-monsoon periods, the East India Coastal Current (EICC) flows northeastward in spring (March-May) caused by anticyclonic wind-stress curl over the Bay of Bengal, when mesoscale activity and biological productivity are high. The EICC turns southwestward due to cyclonic wind-stress curl in fall (October-November). Hence, the present study mainly focused on the inter-monsoon periods and tried to explain the possible mesoscale variability mechanisms in the inter-monsoon EICC.

A relatively clear sky in the inter-monsoons permits satellite remote sensing of sea surface temperature (SST) and Chlorophyll-a (Chl-a), whose patterns were verified against geostrophic velocity and hence Sea Surface Height Anomaly (SSHA) in altimeter data: i.e., phytoplankton grows in colder and nutrient richer water bounded by the seaward meanders in the geostrophic velocity patterns. During the spring inter-monsoon period, productive locations are identified as low in SSHA. Progression of meanders in the coastal current was revealed and compared with an eddy-resolving Ocean General Circulation Model (OGCM), ACOM2.0 (Australian Community Ocean Model 2.0), which is capable of modeling wind-driven general circulation and each stage of the meander growth. The numerical solutions spun-up with the climatology forcing data provided insight for baroclinic instability in the EICC as the key mechanism for the observed meander growth, while meanders are initiated by isolated mesoscale rotations propagating westward. The OGCM results were analyzed for

potential vorticity and energy transfer between the mean and eddy fields to prove the baroclinic instability.

The characteristics of instability were further analyzed with the aid of two and half layer models, by following linear stability theory and a nonlinear quasi-geostrophic local model for the coastal region. This analysis again confirmed that baroclinic instability plays a key role for the meander growth and eddy generation. The baroclinically unstable meanders have a wavelength of 500~700 km, grow in one month and propagate downstream of the coastal current at several kilometers per day. The instability in this temporary western boundary current is not strong enough for the meanders to detach an eddy.

The upwelling favorable southwest monsoon wind supports the summer period to be the most nourished season for the east coast of India. From fall to early winter (October-December), a cyclonic wind stress curl together with downwelling-favorable northeasterly monsoon winds provides a southwestward EICC. No persistent meander was observed in either of the altimeter data or OGCM. It is noted, however, that the Chl-a maps showed strips of high productive regions along the coastal belt with high in SSHA. Both hydrographic data and OGCM proved that the coastal current has a narrow (~100 km) core in the upper 100-m layer and does not support baroclinic instability, as also proven by the quasi-geostrophic local model. Increased stratification in the Bay of Bengal caused by high precipitation and river discharge might be the reason for the narrow coastal current. The local model suggested a chance for barotropic instability in the coastal current.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 池 田 元 美

副 査 教 授 久保川 厚

副 査 教 授 大 島 慶一郎

副 査 講 師 中 村 知 弘

副 査 准教授 升 本 順 夫 (東京大学大学院

理学系研究科)

学 位 論 文 題 名

Mesoscale variability along the east coast of India revealed in satellite data and OGCM

(衛星データと海洋大循環モデルによるインド東岸に沿う
中規模変動の解明)

申請者は、人口が急増する諸国に面し、また環境問題も深刻になりつつある南アジア熱帯域の海洋に注目した。自らの母国であるインドと沿岸海洋はそのような熱帯域の代表であり、この深刻な課題に取り組んだことを研究の動機として評価し、将来の地球環境問題に取り組む姿勢に期待している。

インド東海岸域は漁業が急速に発展しているが、その基礎となる海洋循環は季節変動するモンスーンに応答し、特に100km程度の流れ場を決める中規模現象については、未だ明らかにされていない状態であった。この課題に取り組むには、まず現象を把握し、その上で海洋物理モデルを利用した中規模現象の再現、さらに同現象の鍵となる力学過程を詳細に解明することが要求される。申請者は、この研究課題を選択した後、研究計画を立案し、着実に解析を進めることにより現象の核心に迫る成果をあげた。まず季節変動する風に応答する1000km以上の大きな海洋循環の場を求め、次に中規模現象を示す海洋の蛇行と渦を人工衛星データから読み取ること、さらに海洋大循環モデルによって異なる季節の状態を再現した上で、簡略化した力学モデルも使うことにより沿岸海流の不安定について理論的な解明まで行った点で、大変高く評価される。

よく知られているようにモンスーンは季節によって完全に方向を変える大気現象である。インド東岸が面しているベンガル湾では、この大気変動に伴い、春から夏にかけて時計回り海洋循環、秋から冬にかけては反時計回り循環となる。主な要因は風

応力のcurlであり、インド東岸に沿う風による変動は二次的である。申請者は海洋大循環モデルを用いて、この大循環季節変動を正確に再現した。

人工衛星データのうち主に海面高度計データによって中規模現象を含めた循環場を求め、春から夏にかけては北東方向に流れる沿岸海流が東から伝播してくる弱い渦を取り込んで蛇行することを見出した。蛇行は数少ない赤外画像と可視画像に現れた水温とクロロフィル分布によっても再確認されている。蛇行は500km程度の波長を持ち、まず沿岸海流が東からやってくる渦によって攪乱された後、1ヶ月の間に振幅を増大させながら下流に伝播する。一方で秋から冬にかけては南西方向に流れる沿岸海流に蛇行は現れなかった。次に海洋大循環モデルをインド周辺だけ高解像度とし、中規模現象を表せるよう改良することにより、春から夏にかけて蛇行する沿岸海流だけでなく、秋から冬にかけてほぼ直進する場合も再現した。数値解を解析することにより、蛇行は傾圧不安定を主たる要因としており、海面下200m程度の厚さを持つ層の沿岸海流とその下の層の間で傾圧不安定に特有な変動場の位相差を示していること、また位置エネルギーをその源としていることを明らかにした。秋から冬にかけて蛇行が現れないのは、密度成層が強いことに加え、沿岸海流が細いことためであることも示した。

申請者はさらに沿岸海流を理想化した線形安定モデルと準地衡流モデルを利用し、蛇行の発達、伝播速度、力学過程、そして沿岸海流速度と幅に対する安定性の感度について、詳細に究明した。これらの結果は観測と大循環モデルの示す中規模現象を確認し、保証するものであった。

顕著な季節変動を持つインド東岸に沿う海流の中規模現象まで解明したことによって、海洋生態系変動、物質循環、さらにはエルニーニョなどの経年変動への応答や、気候変動に伴う海洋環境の変動を精密に予測する基盤を提供したことは高く評価できる。また理想化したモデルなど新たな手段に挑戦し、身に付けたことも合わせ、研究に対する熱意を感じる。今後これらの課題の解明に取り組み、顕著な成果をあげるであろうと期待される。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。