

Numerical Modeling of a Coupled Physical-Biogeochemical System in the Java Sea

(ジャワ海の物理・生物・地球化学システムに関する数値モデル)

学位論文内容の要旨

Three-dimensional coupled hydrodynamic-biogeochemical model has been applied to the Java Sea in order to analyze: (1) tidal current and mixing quantities; (2) tide- and wind-driven current, (3) nutrients cycle and carbon fluxes, and (4) biogeochemical response to the anthropogenic impact. The model retains the high horizontal and vertical resolutions and is forced by the boundary conditions taken from a global model, monthly climatological mean wind, rivers discharge, solar radiation and riverine input of nutrients. The biogeochemical model is consisted of nitrate, ammonium, phosphate, phytoplankton, zooplankton, pelagic detritus, benthic detritus, and carbonate system. We considered the nutrient benthic fluxes and used cohesive sediment processes for benthic detritus at the bottom boundary layer.

A combination of a three-dimensional hydrodynamic tidal model and in-situ measurements provides the structures of barotropic tides, tidal circulation and their relationship with turbulent mixing in the Java Sea, in order to understand the impact of the tides on material distribution. The simulated tidal elevations are in good agreement with the data for the K_1 and M_2 constituents. The features of the K_1 and M_2 tides also are quite similar to the previous reports. The modeled tidal current seems to be reasonable compared with the observation. Model results showed that an intensification of K_1 tide caused by resonance effects makes large mixing occur in the Java Sea. On the other hand, M_2 tide has rather significant role for transport by residual flow as suggested by previous research.

Before investigating the coupled physical-biogeochemical system in the Java Sea, we have tested the model performance through the small scale model of Jakarta Bay. Model results of Jakarta Bay shows that the physical model results are much better than the physical model of the Java Sea. Comparison between model results and field observation of nutrients and chlorophyll *a* are also comparable each other where the model results could reproduce the basic condition of ecosystem in Jakarta Bay. Model results also revealed that physical processes have a direct impact on temporal and spatial distributions of ecosystem compartments.

Move on the Java Sea, the calculated tide- and wind-induced current shows that the monsoon wind is dominant that controls the seasonal (monsoonal) flow pattern in the Java Sea. Therefore, the Java Sea is influenced by tidal mixing vertically, but horizontally material transport is under monsoonal flow pattern regime. The calculated surface chlorophyll *a* seems good agreement with the satellite data. Model results of nutrients annual budget suggested that the regeneration/excretion processes is the main source of nutrients in the entire Java Sea, while the adjacent seas and riverine input are less. However, the nutrients riverine input has an important role for the production along the coastal region/near rivers mouth. In addition,

the standing stock of nitrogen is much higher than phosphorous, implying that the Java Sea is somewhat phosphorous limited.

Anthropogenic impact is mostly occurred in the coastal region/near rivers mouth (e.g.: Jakarta Bay -JB and South Kalimantan-SK) due to higher nutrient riverine input. Primary production is higher in JB and SK and also affects to the air-sea CO₂ fluxes in there. However, JB and SK are still in oversaturation condition against the atmospheric CO₂, because riverine input (indirectly from the red-field ratio) will produce more TCO₂. Tidal exchange, in this case, produces daily fluctuations of the CO₂ fluxes. Sensitivity analysis study shows that phytoplankton maximum uptake rate is the most sensitive parameter for the phytoplankton biomass, while atmospheric CO₂ and total alkalinity is more sensitive to the CO₂ flux. Overall, the entire Java Sea is the source of atmospheric CO₂ of 0.004 – 0.005 mol C/m²/year, but relatively small compare to the equatorial Pacific upwelling region.

学位論文審査の要旨

主査	教授	池田元美
副査	教授	南川雅男
副査	准教授	山中康裕
副査	准教授	鈴木光次
副査	教授	柳哲雄(九州大学応用力学研究所)

学位論文題名

Numerical Modeling of a Coupled Physical-Biogeochemical System in the Java Sea

(ジャワ海の物理・生物・地球化学システムに関する数値モデル)

申請者は、ますます大きな問題になりつつある熱帯域の人為起源の海洋環境破壊に注目した。自らの母国であるインドネシアは人口増加が顕著であり、開発や違法な森林伐採の影響は海洋にまで及びつつある。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たい。

海洋環境の変化を数値モデルによって解明、予測する基盤には、まず海洋流れ場の仕組みを理解し、モデルで取り扱うことが要求される。申請者は、物理現象を決める重要な要素である潮汐流を数値モデルによって求め、モデル結果を真摯にデータと比較した。ほぼ日周期を持つK1潮汐がジャワ海地形によって共鳴を起こし、中央で最大の流速となることによって鉛直混合が盛んになる。一方、半日周期のM2潮汐は残差流を作り出し、物質輸送に影響することを明らかにした。生態系モデリングを行う研究者は、とにかく物理モデルに手を触れないことも多いが、申請者は自らモデルを選んで目的に合わせた設定を行い、潮汐データとの比較まで行った点で、大変高く評価される。

さらに物理モデルに生態系・物質循環モデルを結合して、ジャワ海の生態系の季節変動を明らかにする数値モデルを作成した。まずこのモデルを検証するため、ジャカルタ湾に応用したところ、南東からのモンスーンが支配する期間において、湾の上流に流れ込む河川からの栄養塩のため、湾内のクロロフィルが高くなることが再現された。

次にジャワ海に応用した結果では、潮汐による鉛直混合とモンスーンによる水平輸送が主たる物理過程であり、ジャワ海中央部で鉛直一様な物質分布となること、また生産性は南東モンスーンの期間に高いことが再現された。熱帯域の特徴である迅速

な生物生産のため、植物プランクトンはすぐに分解して再生産を盛んにする。河川水を通じて流入する人為起源物質を含んだ栄養塩の影響は沿岸域に留まる。カリマンタン島からの流入は北西モンスーン期の降水によって増加し、沿岸の生産性を上昇させる。窒素系栄養塩が概ね高いため、ほとんどの海域でリン系栄養塩が生産性を支配する。大気への二酸化炭素フラックスは、ジャワ海の高い生産性のため熱帯海洋の平均よりは小さいものの、大気に二酸化炭素を放出する。このフラックスは海洋アルカリ度によって大きく変わるので、正確なデータが必要である。

人為影響が大きい熱帯海洋の代表とも言えるジャワ海の生態系変動と物質循環の解明に取り組み、物理モデルと生態系・物質循環モデルを結合したモデルを構築することによって、季節変動など基本的な描像を明らかにしたことは高く評価できる。また観測船に乗りデータ採集に参加したこと、試料を実験室で分析したことも合わせると研究に対する熱意を感じる。さらに、このモデルに現場の観測データを合わせて用いることにより、人為起源汚染の影響をさらに解明することができると期待される。

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。