

D-0802 SEA-WP海域における広域沿岸生態系ネットワークと環境負荷評価に基づく保全戦略

(2) SEA-WP海域の海洋物理・低次生態系モデル開発と検証

(独) 海洋研究開発機構・地球環境変動領域

短期気候変動応用予測研究プログラム・ダウンスケール沿海変動予測研究チーム・宮澤泰正(チームリーダー)

物質循環研究プログラム・海洋生態系研究チーム・笹井義一(主任研究員)

<研究協力者>

(独) 海洋研究開発機構・地球環境変動領域

短期気候変動応用予測研究プログラム・ダウンスケール沿海変動予測研究チーム・Li-Feng Lu(特任研究員)

東京工業大学大学院情報理工学研究所

Aditya R. Kartadikariya (博士課程学生)

平成20～22年度累計予算額：21,132千円(うち、平成22年度予算額：7,294千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] SEA-WP海域における生物幼生分散を通じた「広域的沿岸生態系ネットワーク」の実態を、幼生分散数値シミュレーションによって解明することを可能にするため、SEA-WP海域の現実的な海洋循環を表現する海洋物理モデルおよびこれに結合する海洋低次生態系モデルを開発した。具体的には、「入れ子手法」という効率的なモデル詳細化の手法を用いて、SEA-WP海域全体の海流や渦変動を解像する海洋物理モデル(IPモデル)、及び日本最大のサンゴ礁を有する石西礁湖を主対象とする海洋物理モデル(YAEYAMAモデル)を開発した。これらのモデルの特徴は、従来、個別に計算していた海洋大循環と潮汐を同時に計算し、外洋と沿岸海洋の相互作用をより正確に表現できることである。これらのモデルを、潮位、流動、水温、塩分等の現場観測データによって詳細に精度を検証した。解析の結果、インドネシア多島海では潮汐の効果により水塊の鉛直混合が促進されていることを確認し、さらに、潮流による水平混合が水塊の水平分布に影響を与えていることを新たに示した。またシミュレーションは、セレベス海における内部潮汐変動の強弱が、背景となる密度成層の季節変動によって変化することを表現していた。YAEYAMAモデルにおいては、石西礁湖内部では潮汐による海流変動が卓越する一方、石西礁湖の南北においては大規模な海上風及び中規模渦変動が局所的な海流変動に大きく影響していることがわかった。さらに、SEA-WP海域全域を対象として、IP海洋物理モデルと結合する海洋低次生態系モデルを開発した。海表クロロフィル分布を示す衛星海色データとモデルの結果との比較により、モデルが低次生態系の季節変動を表現することを確認した。感度実験結果を衛星及び現場の観測データで検証することにより、SEA-WP海域に適した植物プランクトン最大成長速度、最適光強度、栄養塩半飽和濃度定数等を決定した。

[キーワード] SEA-WP海域、海流変動、生物幼生分散、海洋大循環モデル、海洋低次生態系モデル

1. はじめに

当サブテーマは、SEA-WP海域における生物幼生分散を通じた「広域的沿岸生態系ネットワーク」の実態を幼生分散数値シミュレーションによって解明することを可能にするため、基礎となる海洋物理・生態数値モデルを開発しその精度を検証することを目的としている。SEA-WP海域の幼生分散は、基本的には海流や風などによって受動的に輸送されることによって生じると考えられるので、幼生分散シミュレーションのためにSEA-WP海域の現実的な海洋循環を表現する海洋物理モデル開発がまず必要である。また、沖縄・宮古島・石垣島の栄養塩環境とサンゴの分布の関係を調べた最近の研究¹⁾によれば、栄養塩濃度が上昇するとミドリイシ属のような造礁サンゴ類は減少傾向を示し、替わって海藻類が増加する傾向があると報告されている。そこで、サンゴの幼生分散過程の定量的な評価にあたっては、海水流動による物理的な移流拡散過程の評価とともに幼生自身の挙動に対する水域環境の影響評価が重要になる。実際の幼生分散過程の定量的な評価にあたり、その具体的なモデル要素の一つとして、栄養塩分布の再現にとって最も重要な海洋一次生産（植物プランクトンの挙動）を表現する低次生態系モデルの開発が不可欠となる。

SEA-WP海域のサンゴ礁は、大規模な風系変動や大気による加熱冷却によって生じる日周期以上の長周期流動（海洋大循環）と、潮汐によって生じる日周期、半日周期程度の短周期流動（潮流）の双方が重要である海域に位置することが多い。当サブテーマにおいて最終的な解析の対象としたインドネシア多島海と八重山諸島もそうした海域のひとつである。大洋スケールの範囲で海洋大循環と潮流を同時に計算するのは、効率的ではない。そこで当サブテーマでは、広領域の低解像度モデル内部に狭領域の高解像度モデルをはめ込む「入れ子手法」によって、対象海域を段階的に高解像度化し、潮汐外力は高解像度モデルのみに導入する方針を採用した。低次生態系モデルは、「入れ子手法」によって構築した全種類の解像度の物理モデルと結合するのではなく、最初に中解像度の物理モデルと結合し、SEA-WP海域全体での再現性を確認することにした。

平成20年度は、太平洋とインド洋の双方を水平1/3度格子で解像する＜太平洋－SEA-WP海域－インド洋＞広域海洋循環モデル(IP1)、及びSEA-WP海域を水平1/9度格子で解像する中解像度モデル(IP2)を開発した。同時に、八重山諸島海域のみを水平1/60度、水平1/300度、及び水平1/900度で解像する多重入れ子モデル(それぞれYAEYAMA1, 2, 3)を開発した。平成21年度は、IP2モデル内においてさらにインドネシア多島海を1/36度で解像するIP3モデルを開発し、YAEYAMAモデルにおいては波浪モデリングとの結合を検討した。平成22年度において、IP3モデル内に潮汐外力を導入し、海洋大循環と潮流の同時シミュレーションを実現した。YAEYAMAモデルでは潮流の再現性向上を目的として地形をさらに高精度化し海底摩擦のモデル化を改良することによって石西礁湖での海流再現性を向上させることに成功した。低次生態系モデルは、SEA-WP海域における沿岸海域と外洋のたまかな特徴を再現するべく設計し、IP2モデルと結合させ、その再現性を検討した。モデルパラメータは、特にインドネシア多島海での変動再現に適するように決定することとした。

2. 研究目的

SEA-WP海域における幼生分散シミュレーションを可能とするための、＜太平洋－SEA-WP海域－インド洋＞広域海洋循環モデルと、それに基づくSEA-WP海域高解像度入れ子モデルの開発を行う。モデルの高精度化のため、潮汐・河川・波浪等、沿岸海域で重要となる外力の効果を検討する。さらに、SEA-WP海域循環モデルに低次生態系モデルを統合することにより、幼生分散シミュレ-

シヨンの基礎となる海洋物理・低次生態系モデルを構築し、モデル結果を検証する。低次生態系モデルの開発にあたっては、モデルの複雑化を最小限にとどめつつ、沿岸海域と外洋の栄養塩分布の違いを表現できるモデルの構成を検討する。

3. 研究方法

(1) SEA-WP海域高解像度モデル

太平洋及びインド洋 (30S-62N, 35E-70W) を水平1/3度、鉛直46層で解像する低解像度海洋大循環モデル(IP1)を開発した。さらに、SEA-WP海域内の海流やそれに関連する渦の変動をさらに詳細に表現するべく、同モデル内部 (24S-42N, 90E-168E) に水平1/9度、鉛直46層の中解像度モデル(IP2)を「入れ子手法」によって埋め込んだ。最終的に、インドネシア多島海を詳細に解像するべく水平1/36度の高解像度モデル(IP3)を入れ子手法によりIP2内部 (13S-8N, 109E-134E) に構築した(図1)。入れ子手法とは、数値流体モデルの計算領域の側面の境界条件を外側の低解像度の数値流体モデルの計算結果から補間して逐次与える手法である。入れ子手法の採用により、すべての領域を高解像度で計算する場合に比べて計算量が相当に節約でき、かつ興味のある海域について周囲の広範な流体運動の影響を導入しつつ十分な高解像度で計算することが可能となる。

基本となる数値流体力学モデルは、水平鉛直3次元の大規模な海水運動を記述する「海洋大循環モデル」である。海洋大循環モデルは、海水の水位、水平流速、水温、および塩分の輸送方程式を同時に解く数値流体モデルであり、主にコリオリ力の影響による地球流体特有の運動を効率的に表現することができる。海洋大循環モデルは、海洋物理学分野で広く使われている「プリンストン海洋モデル(POM)」のうち水温・塩分輸送・混合過程等を独自に高精度化した「JCOPE2モデル²⁾」を基盤として作成した。

地球規模の大規模な海水運動は、主として海上風による海面応力、海面における熱および淡水の交換による浮力注入(外力)によって駆動される。海洋大循環モデルにおいては、これらの外力を、過去の大気の状態を正確に再現する「大気再解析データ」に含まれる海面の大気温度、風速、湿度、雲量等から「バルク公式」と呼ばれる一連の経験式によって計算して与える。大気再解析データとして、世界の大気海洋科学分野で広く使われている米国国立環境予報センター(NCEP)及び国立大気科学研究センター(NCAR)作成の6時間間隔データを用いた。

海洋物理シミュレーションにおいては、まず太平洋・インド洋広域モデル(IP1)を20年間駆動した。この段階では、静止状態かつ水温・塩分の気候学的平均状態を初期状態とし、1993年～2007年のNCEP/NCAR再解析データから算出した月平均大気データから算出した外力を用い、海水運動の気候学的平均状態を作成した(「スピニアップ計算」)。気候学的平均状態を初期値として、1992年10月から2010年6月までの大気現況を表現する6時間間隔外力によってモデルを駆動した。SEA-WP海域モデル(IP2)は同様なスピニアップ計算を5年間行った後、6時間間隔外力によって1992年10月から2010年6月までモデルを駆動し、水位、水平流速、水温、及び塩分の3次元日平均データを保存し、解析に用いた。インドネシア多島海のIP3モデルは、2004年のみの計算を行い、解析に用いた。

(2) 八重山諸島海域高解像度モデル

一方、SEA-WP海域のうち特に南西諸島の一部である八重山諸島周辺海域を詳細に解像する海洋

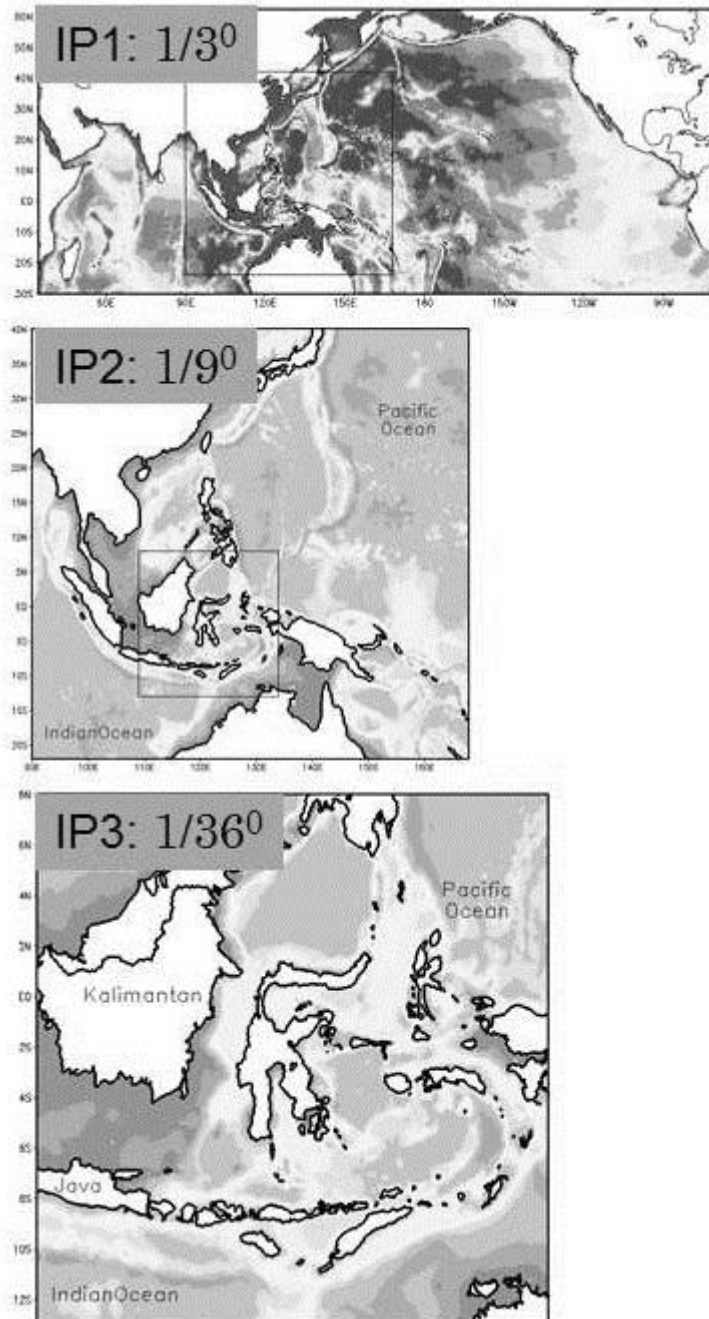


図1 IP1:太平洋及びインド洋低解像度モデル、IP2:SEA-WP海域中解像度モデル、IP3:インドネシア多島海高解像度モデルの範囲。濃淡は海底地形を示す。

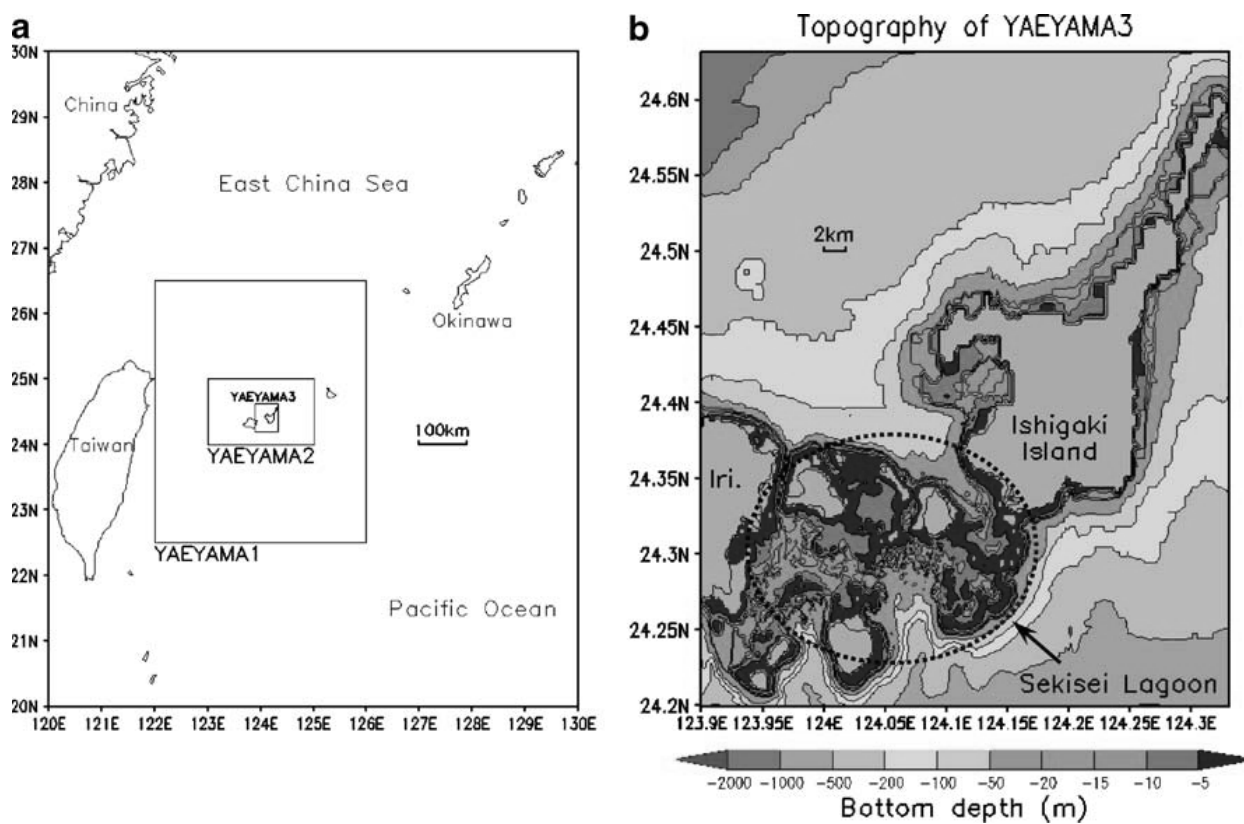


図2 (a) YAEYAMA1、YAEYAMA2、YAEYAMA3モデルの範囲。YAEYAMA1は八重山諸島全体を包含する。
 (b) YAEYAMA3の海底地形。'Iri'は西表島を示し、'Sekisei Lagoon'は石西礁湖を示す。

循環モデルも開発した。このモデルは、水平1/60度(YAEYAMA1)、水平1/300度(YAEYAMA2)で八重山諸域を解像する多重入れ子モデルであり、さらに「石西礁湖」と呼ばれる日本最大のサンゴ礁については水平1/900度(約123m)の格子間隔で解像するモデル(YAEYAMA3)を開発した(図2)。

YAEYAMA3モデルは、上述の多重入れ子手法によって海洋再解析データ²⁾を側面境界条件として用いることで黒潮やその周辺の渦など外洋影響を適切に表現し、また潮汐、海上風や大気海洋間の熱交換など可能な限り現実的な外力を導入しており、さらに潮汐変動により干湿応答し海流の計算範囲を変える従来にない多機能モデルである。

同モデル開発においてさらに重要なことは、過去数年間にわたり、東工大灘岡研究室により同モデルの対象海域である「石西礁湖」において水温、塩分、海流、漂流ブイ軌跡、栄養塩、さらにサンゴ幼生分布等の集中観測が実施されており、同観測データによるモデルの詳細な検証が可能であることである。本研究では、2003年5月～8月にかけて実施された集中観測³⁾がサンゴ幼生の産卵期間である2003年5月12日から始まる1週間程度の期間を含むことから、2003年5月12日から5月21日までの期間を対象に高解像度モデルYAEYAMA3の計算を実施した。モデル計算結果の検証の際、上述の三井ら(2004)³⁾の観測結果のうち、幼生分散にとって特に重要な表層の海流および水温分布観測の再現性に着目して詳細な検討を行った。平成20年度に基本的なモデルをすべて構築した。21年度は波浪モデルとの結合について検討し、22年度は、地形の再現性及び海底摩擦のモデル化の観点から潮汐の再現性について再検討した。

(3) 低次生態系モデル

海洋の低次生態系の挙動を記述する比較的簡明な海洋生態系モデルである栄養塩(Nitrate; N)、植物プランクトン(Phytoplankton; P)、動物プランクトン(Zooplankton; Z)、有機物粒(Detritus; D)の4要素から成るモデルコード(NPZDモデル)を基に開発した。現在の先端的な海洋生態系モデルは多くの過程を含み複雑化しているが、SEA-WP海域への本格的な適用例はきわめて少なく、海洋生態系モデルの構築にあたり不可欠な、信頼できる生物パラメータの蓄積が不十分であることをふまえ、モデル構築の第一歩として生物パラメータ数が少ない簡明なモデルを選択している。NPZDモデルでは、海洋循環に伴う栄養塩(N)の供給と海面からの光に応じて植物プランクトン濃度(P)が増減する。植物プランクトンの捕食を通じて動物プランクトン濃度(Z)が変化し、各プランクトンの死亡や排泄とともに有機物粒子(D)濃度が変化する。有機物粒子(D)が最終的に分解し再び栄養塩(N)に変換されることで生物過程に伴う物質循環が完結する。平成21年度は、全球規模の大循環モデルで用いられているNPZDモデル⁴⁾を実装した。平成21年度は、河川流出等陸上影響を陽に入れることができるようにモデルを改良した。新しいモデル変数として、沿岸海洋で重要な浮遊土砂(suspended sediment; SS)を導入し、栄養塩(N)を、硝酸塩(nitrate; N03)、アンモニウム(ammonium; NH4)、リン酸塩(phosphate; P04)に詳細化した。合わせて、有機物粒子(D)を溶存態有機物(dissolved organic matter; DOM)と懸濁態有機物(particulate organic matter; POM)に詳細化した。結果として従来モデルの4変数は8変数となった(図3)。平成22年度は、衛星海色データ(表面クロロフィル濃度に対応)とシミュレーション結果を比較しつつ、植物プランクトン最大成長速度、最適光強度、栄養塩半飽和濃度定数、等の主要パラメータの値を決定した。

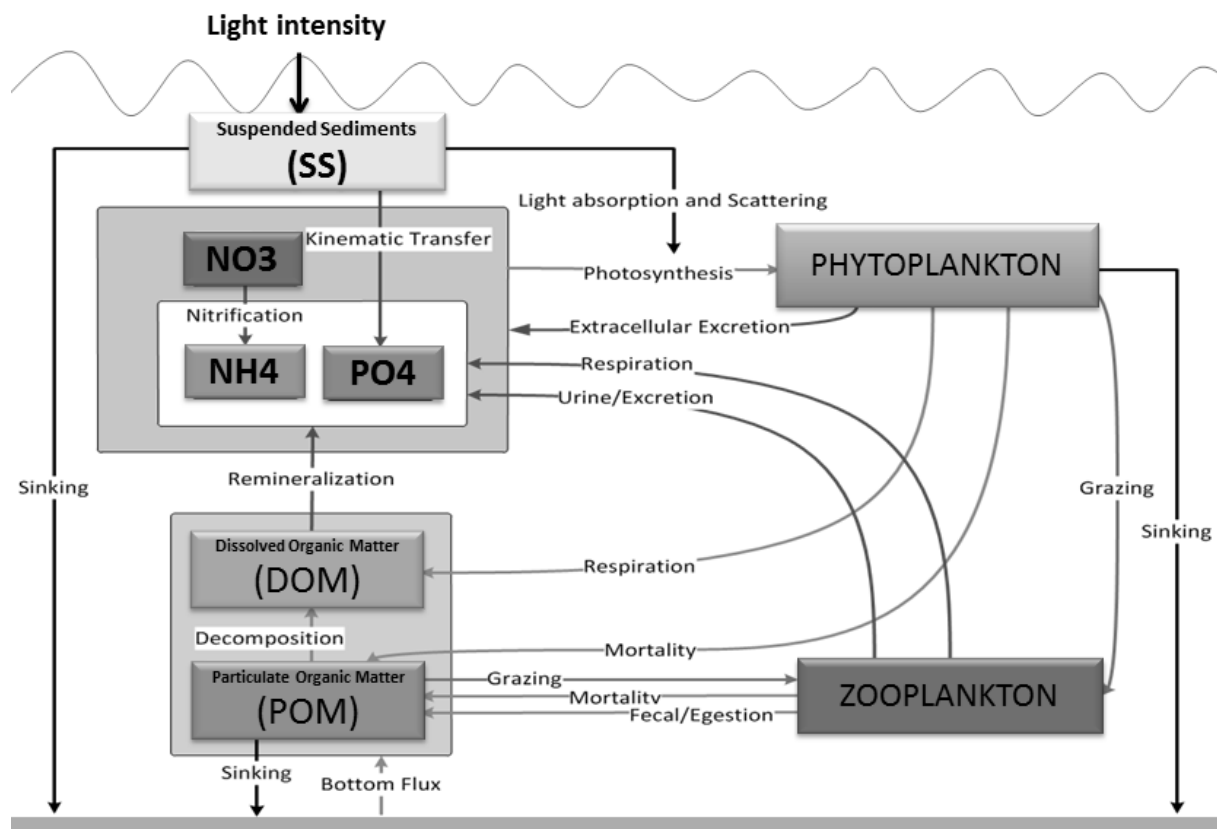


図3 低次生態系モデルの概念図。SS:浮遊土砂 (suspended sediment)、NO3:硝酸塩 (nitrate)、NH4:アンモニウム (ammonium)、PO4:リン酸塩 (phosphate)、DOM: 溶存態有機物 (dissolved organic matter)、POM:懸濁態有機物 (particulate organic matter)、PHYTOPLANKTON:植物プランクトン、ZOOPLANKTON:動物プランクトン、の8コンパートメントによって構成されている。

4. 結果・考察

(1) SEA-WP海域高解像度モデル

IP1-2海洋モデルシミュレーションにおいて、ENSOやダイポールモード等、太平洋及びインド洋の気候変動に伴う海洋変動や、ブイ観測を再現するような海流変動を表現できた。ブイ観測海流データとIP2モデル結果の相関は0.51-0.59であった。水平1/9度格子のIP2入れ子モデルでは、SEA-WP海域内の海流やそれに関連する渦の変動を外側のIP1モデルと比べさらに詳細に表現することができた。特に、従来未知であったインドネシア多島海の渦変動の様相が初めて明らかになった。特にロンボク海では、毎年2月頃に、季節風の変動に伴う海水の湧昇・沈降によって生ずる直径数100kmの巨大な渦変動が表現された。1993年～2004年のシミュレーション結果から、ロンボク海の渦変動には顕著な経年変動がみられることがわかったが、この経年変動は、局所的な季節風変化よりもむしろインドネシア通過流と呼ばれる、太平洋とインド洋を結合する大海流の変動によって生じ、太平洋全体の気候変動現象であるENSOと密接に関係していることが示唆された。

さらに、入れ子状に構築したIPモデル群の、本研究における最終目標であるインドネシア多島海を水平1/36度(3km)格子で解像する高解像度海洋大循環モデルの結果について、観測データによる検証と解析を進めた(図4)。本モデルの大きな特徴は、海洋大循環モデルに従来導入されることのなかった潮汐外力を導入した点である。計算結果は、76-92%の精度で主要潮汐4分潮の水位変動観測値を再現した(図5、6)。また、係留ブイで観測された流速データに見られる、比較的長周期(季節～経年変動)から短周期(日内変動)までの変動をよく再現していた(図7、8)。水塊特性(水温・塩分の鉛直分布)についても種々の現場観測データと比較した場合、観測されている特徴を良好に再現した(図9、10、11、12)。潮汐外力を入れた場合と入れない場合を比較すると、潮汐外力を入れたほうが水塊の再現特性が向上した。これは、潮汐による短周期流速変動の効果によって水平・鉛直の水塊混合がより現実的に表現されたためである(図13、14、15)。さらに、海洋大循環モデルで表現される密度成層の季節変動により、密度成層の潮汐に対する応答である内部潮汐変動の強弱が変化することがわかった(図16、17)。以上の結果は、インドネシア多島海の時況変動を現実的に再現するためには、潮汐と、大気外力で駆動される海洋大循環の相互作用が重要であることを示している。

(2) 八重山諸島海域高解像度モデル

水平1/60度(約2km)格子からはじめ、最終的に水平1/900度(123m)格子まで詳細化したYAEYAMA1-3モデルを用い、サンゴ幼生産卵期であった2003年5月12日から5月21日の期間において石西礁湖とその周辺海域のシミュレーションを行った。YAEYAMA3モデルで表現された平均の表層流は、潮汐残差流による礁湖内の南西部で卓越する南西向きの流れと、礁湖の南の海底斜面を流れる南西向きの強い流れによって特徴づけられる。潮汐変化に伴って礁湖内部の島の間狭い海峡部では強い振動流が表現され、一方、礁湖の南では南西向きの強い流れが計算期間を通じて強化されたことがわかった。三井ら(2004)³⁾によって設置された礁湖内各地の係留ブイにおける表層流観測結果と比較したところ、礁湖の内部を中心に比較的良好な再現精度(説明分散0.6程度)が確認された。三井ら(2004)の漂流ブイ観測を再現するべく計算流速を用いてブイに対応する仮想粒子を流したところ、礁湖南の強い流れの存在を支持する観測結果と同様の結果を得ることができた。礁湖南の強い流れの変動要因は、局所的な風による駆動に加え、八重山諸島海域に周期的

に到来する直径100km以上の渦によるものであることがモデル結果と衛星観測データの比較検討から初めて明らかになった⁵⁾。三井ら(2004)によって報告されている2003年6月下旬の暖水波及も同様の渦によって生じたものであり、モデルによって再現できていることを確認した。

「石西礁湖」と呼ばれる日本最大のサンゴ礁について水平1/900度(約100m余り)の格子間隔で解像するモデル(YAEYAMA3)について種々の検討を行った。石西礁湖内では、海面水温が観測に比べて1°C程度高めに計算される高温バイアスがあったが、波浪モデルを海流モデルに組み込んで双方向結合したところ、海面水温の高温傾向が大幅に改善された(図18)。双方向結合では、波浪モデルで計算される砕波のエネルギーが海流モデル内の乱流エネルギーの表面の境界条件に用いられるので、砕波によって注入された乱流エネルギーが表層の混合を促進したため海面水温の高温バイアスを解消しているとみられる。また波浪応力によって新たに駆動された表面の海流成分が鉛直シアを増加させ乱流エネルギー増加に寄与しているとも考えられる。しかし、現場の波浪観測と比べた場合、波浪の振幅がやや過大評価される傾向があり、外洋波浪モデルから与えている波浪の外部境界条件、及び波浪モデル内部の波浪減衰過程を、再検討する必要があることがわかった。

礁湖内部で卓越する潮汐流変動を現実的に再現するため、陸岸および海底地形を再検討し、より正確な地形を導入した。観測結果と比較した場合潮位変動が過大評価される傾向があったことから、浅海域における潮汐流の摩擦効果⁶⁾を導入した。その結果、現場観測と比べた表層の流動再現特性が礁湖の外縁部で向上した(図19)。

(3) 低次生態系モデル

モデルの海面クロロフィル計算結果は、海色衛星データ(SeaWiFS)にみられる亜寒帯域と沿岸域における高濃度および亜熱帯域での低濃度の傾向を再現(図20、21)し、河川流出が顕著なジャワ海(図22)、及びメコン川河口域(図23)での高濃度を再現するとともに、濃度の季節変化をある程度表現できた。クロロフィル分布を決定する最も重要な機構である光合成成長に関わる光制限と栄養塩制限のパラメータ感度実験を行い、現時点で最適と考えられるパラメータ値を決定した。

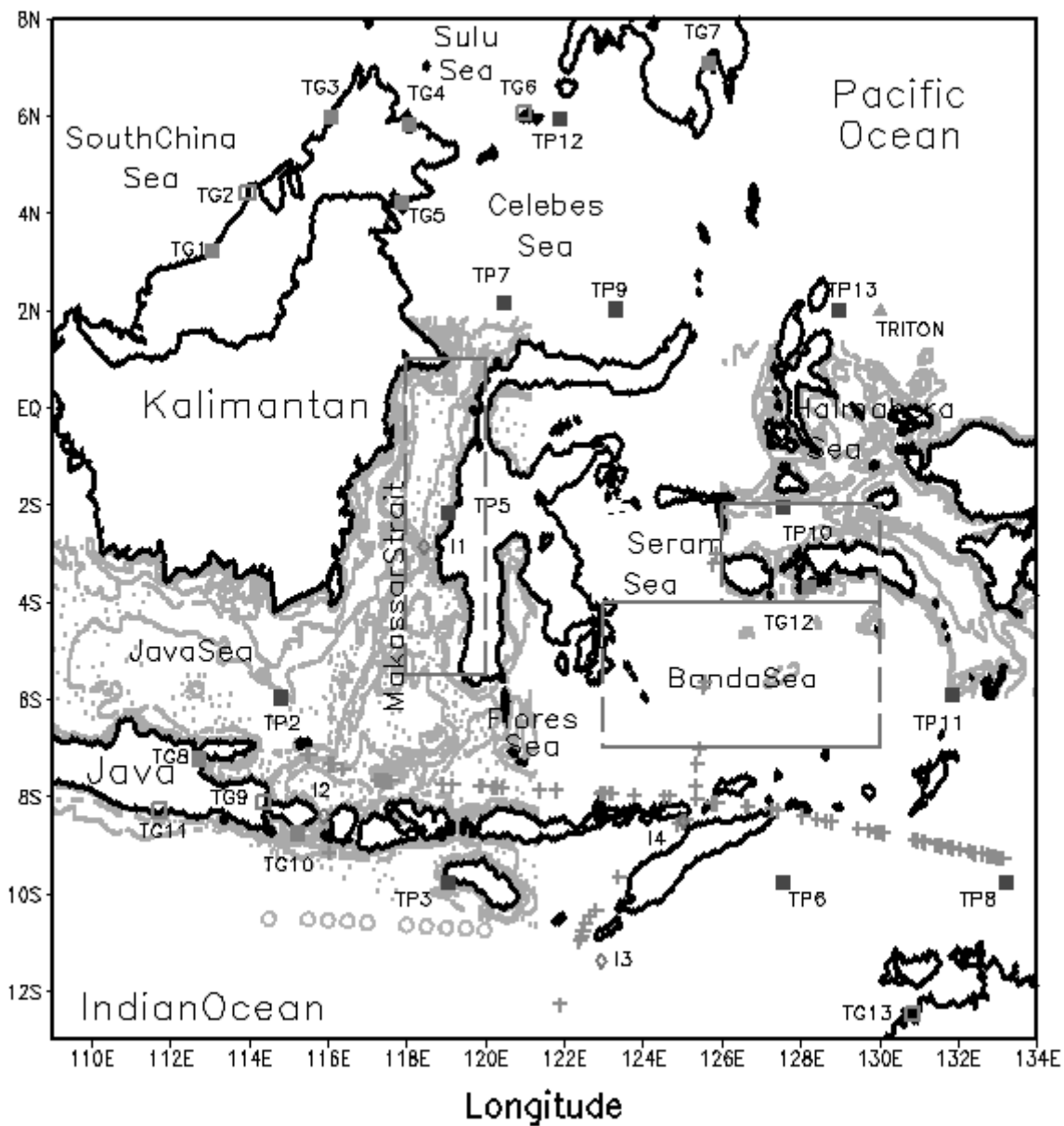
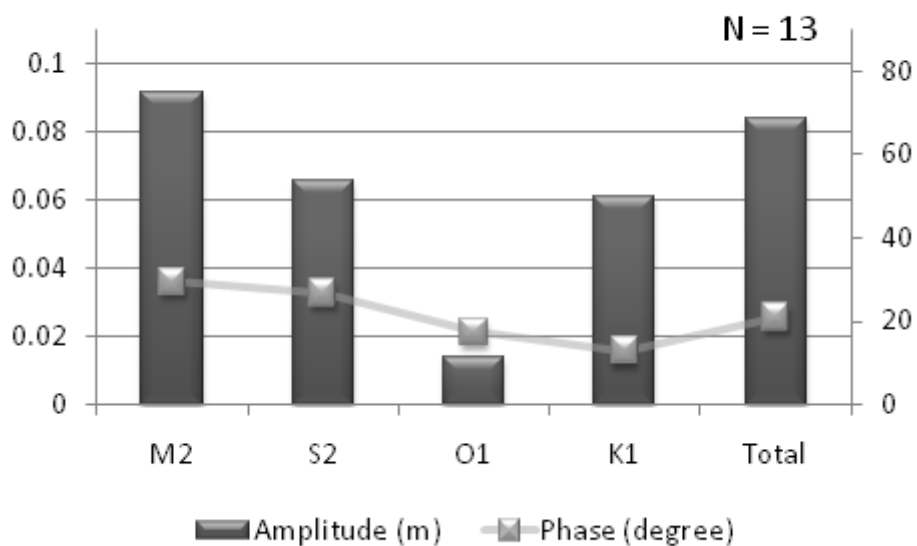


図4 IP3モデルの地形と観測データ点。箱形点：潮位観測点(現場潮位計‘TG’及びTopex/Poseidon衛星‘TP’)。三角点：トライトンブイ‘TRITON’。ダイヤモンド形点：INSTANTプロジェクト流速観測点。十字形点：XBT観測点。○点：JAMSTEC観測船‘みらい’観測点。

(a). Tide gauge vs IP3-tide



(b). T/P crossover vs IP3-tide

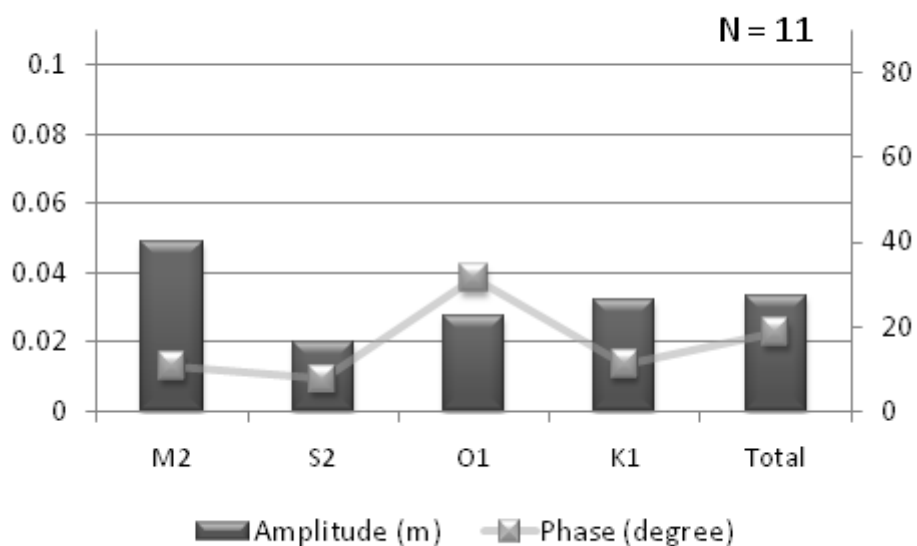


図5 IP3モデル4分潮成分 (M2, S2, O1, K1) の現場潮位観測 (a) 及び、Topex/Poseidon衛星観測 (b) に対する平均二乗残差。Nは観測データ数を表す。Amplitude: 振幅。Phase: 位相。

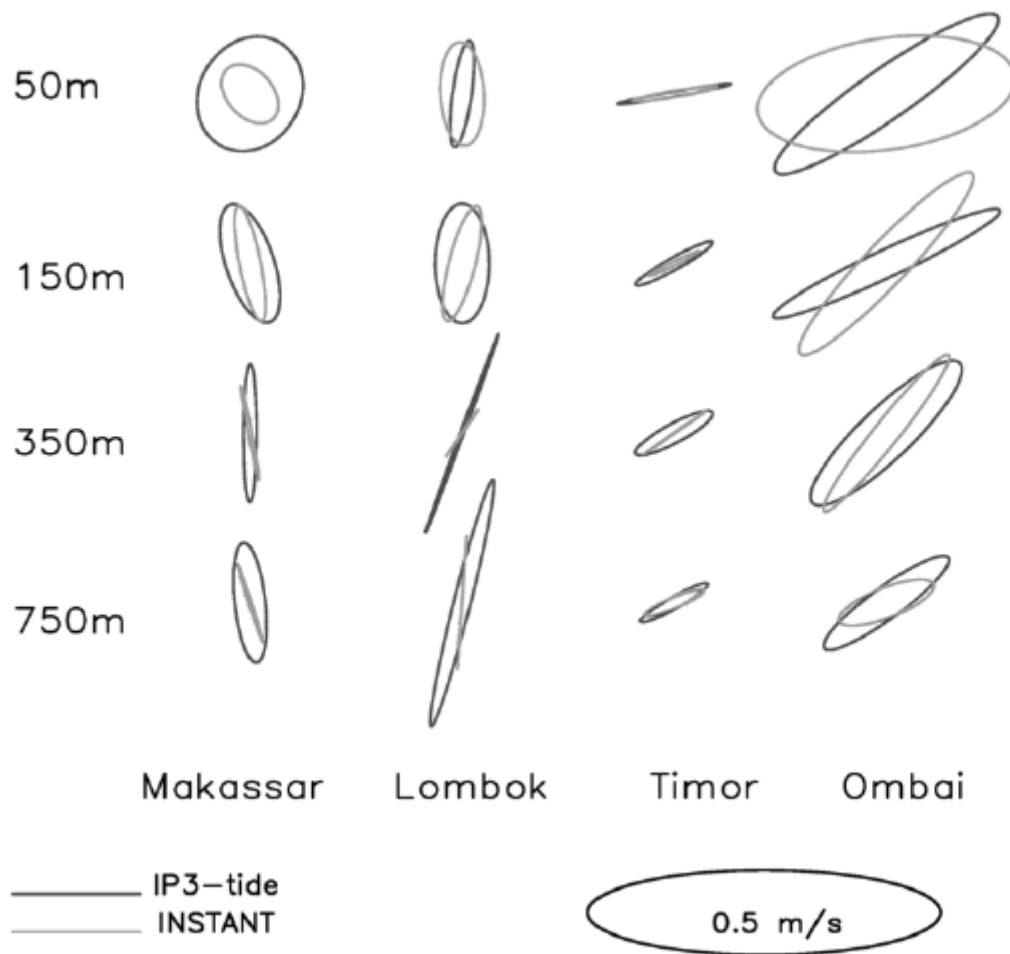


図6 INSTANTプロジェクト4観測点の各水深における、4分潮成分の潮流楕円の比較図。IP3-tide: モデル。INSTANT: 観測。

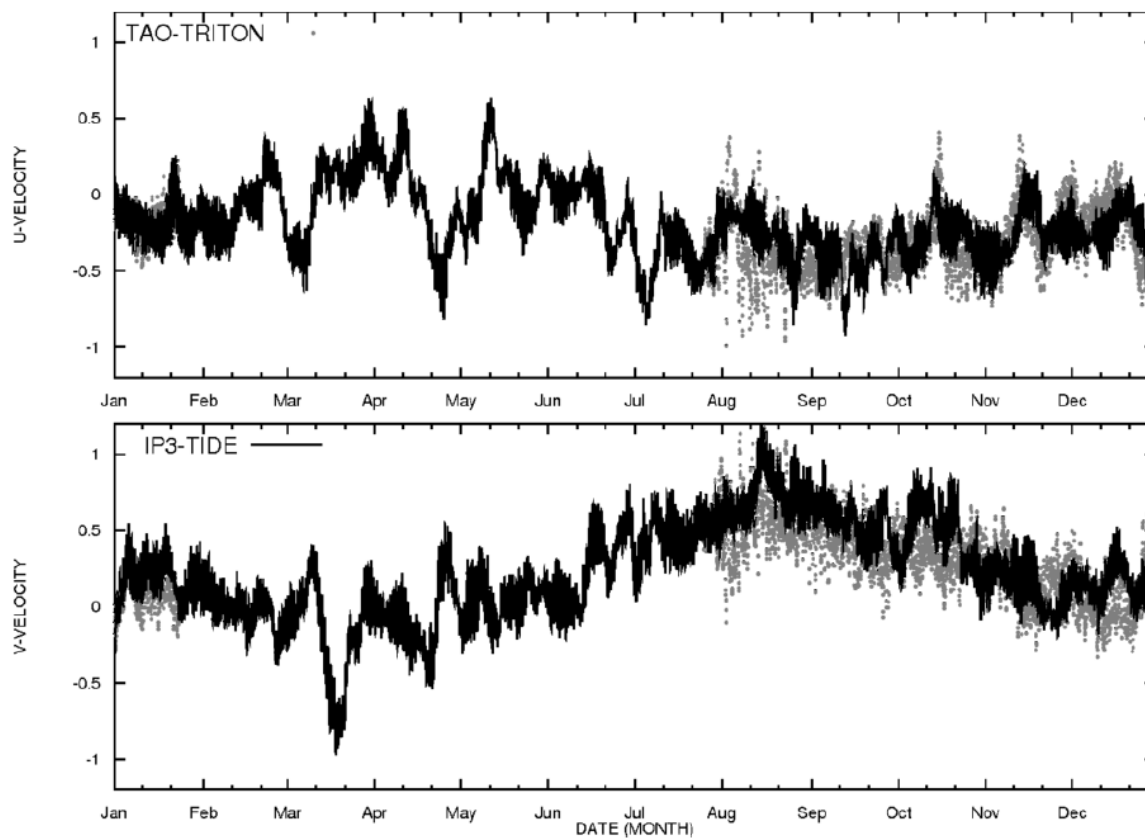


図7 TAO-TRITONブイ地点 (2N, 130E) における2004年の海面下1.5mの流速 (m/s) 時系列。上：東西流速。下：南北流速。TAO-TRITONブイ観測値を灰色点、IP3モデル流速値を黒点によって示す。

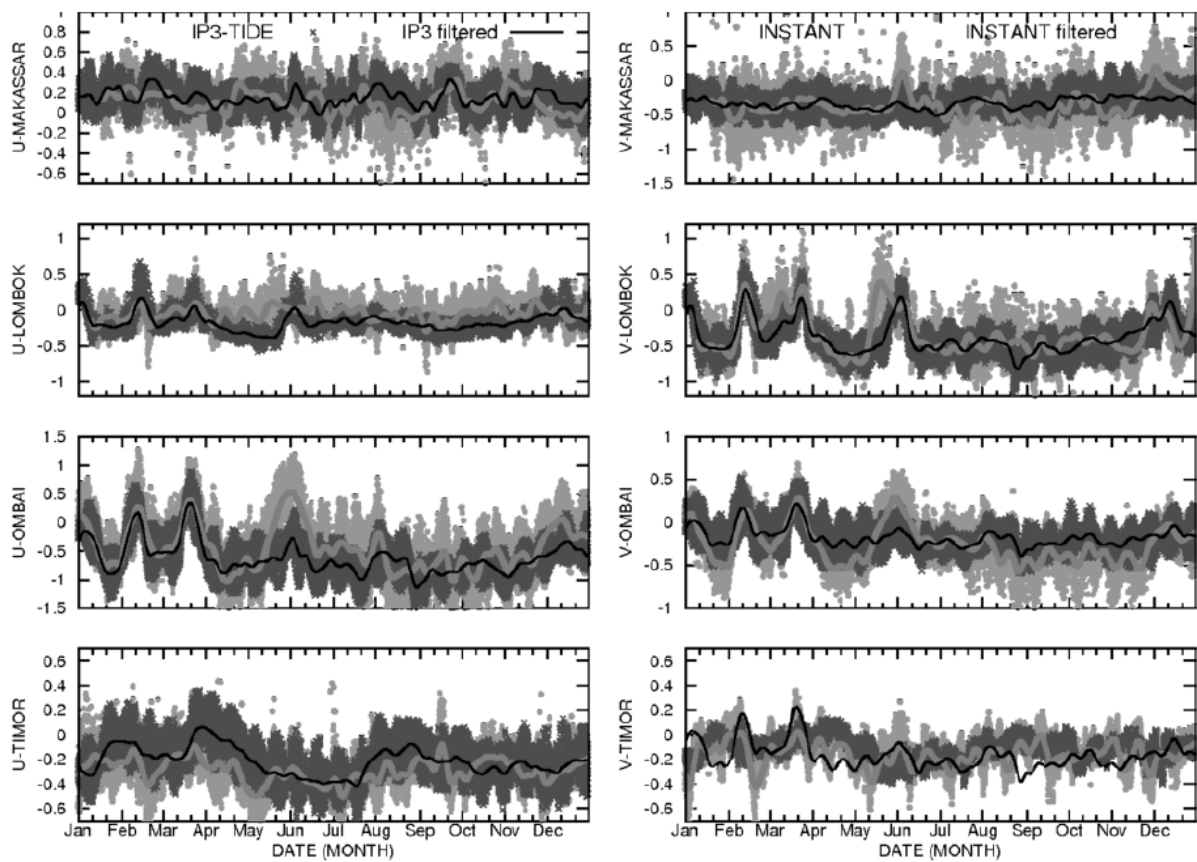


図8 INSTANT4観測点における50m深東西流速（左）、南北流速（右）の時系列。IP3-tide:モデル。INSTANT:観測。Filtered: 7日-365日周期バンドパス成分。

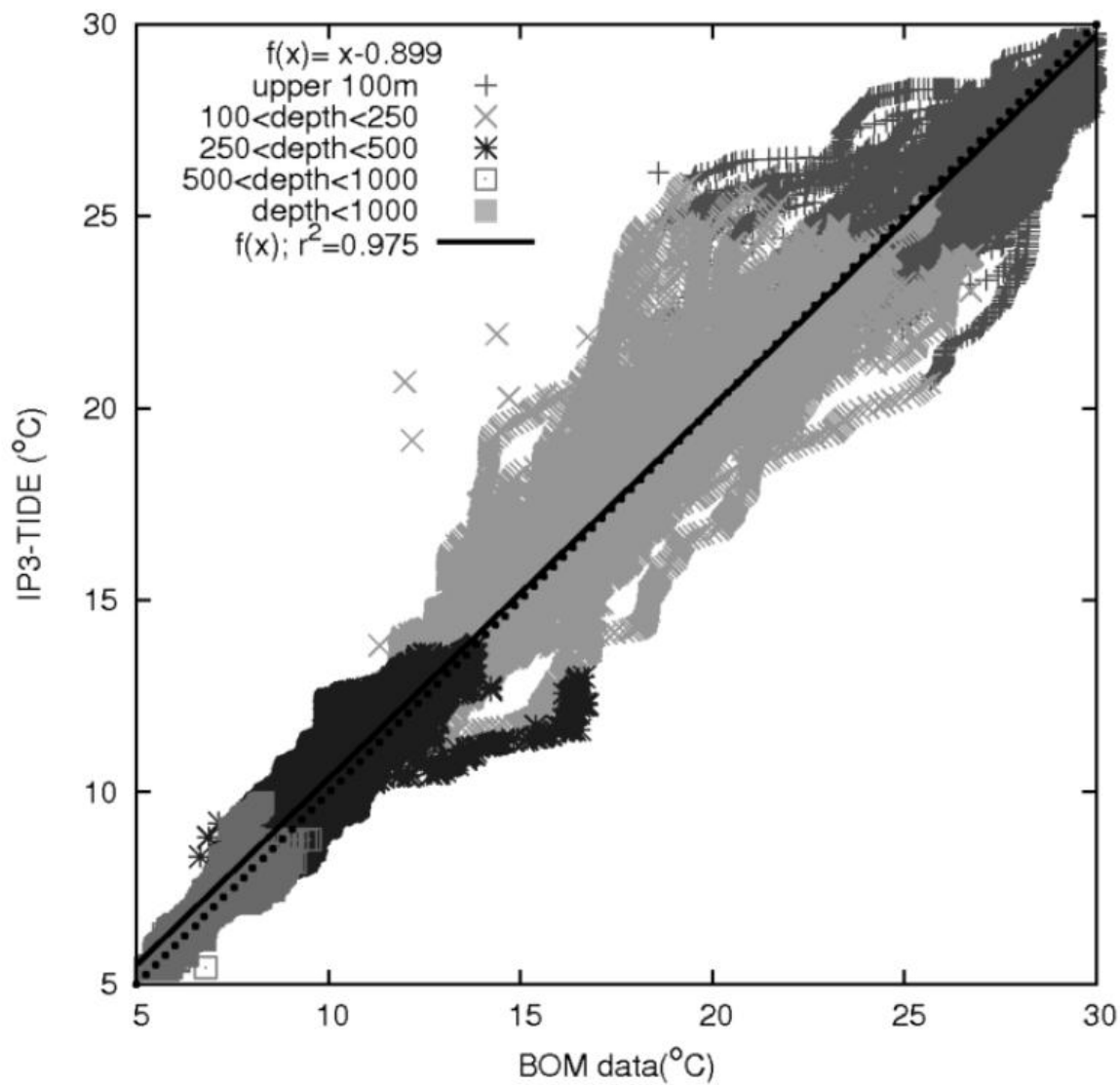


図9 オーストラリア気象局 (BOM) によるXBT水温観測 (BOM data) とモデル (IP3-TIDE) の比較図。

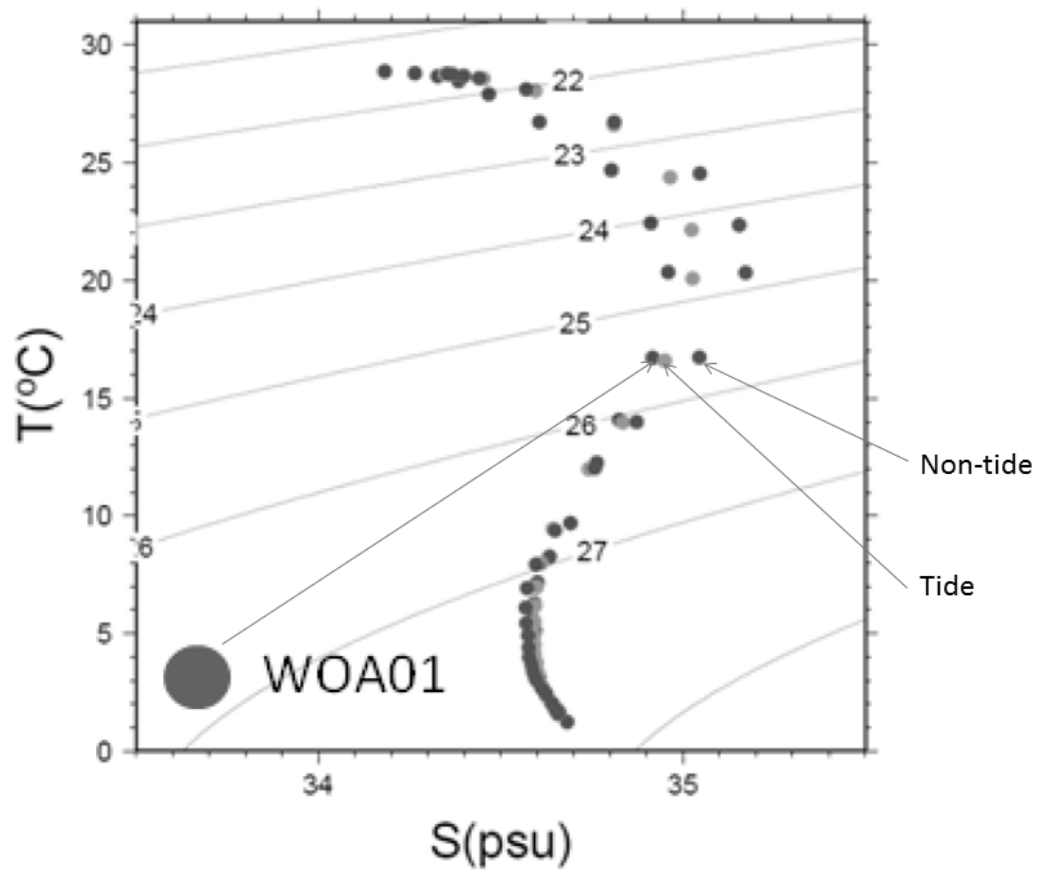


図10 Halmahera海における水塊特性 (TSダイアグラム) の比較。WOA01: World Ocean Atlas 2001 気候値。Tide: 潮汐ありモデル。Non-tide: 潮汐なしモデル。

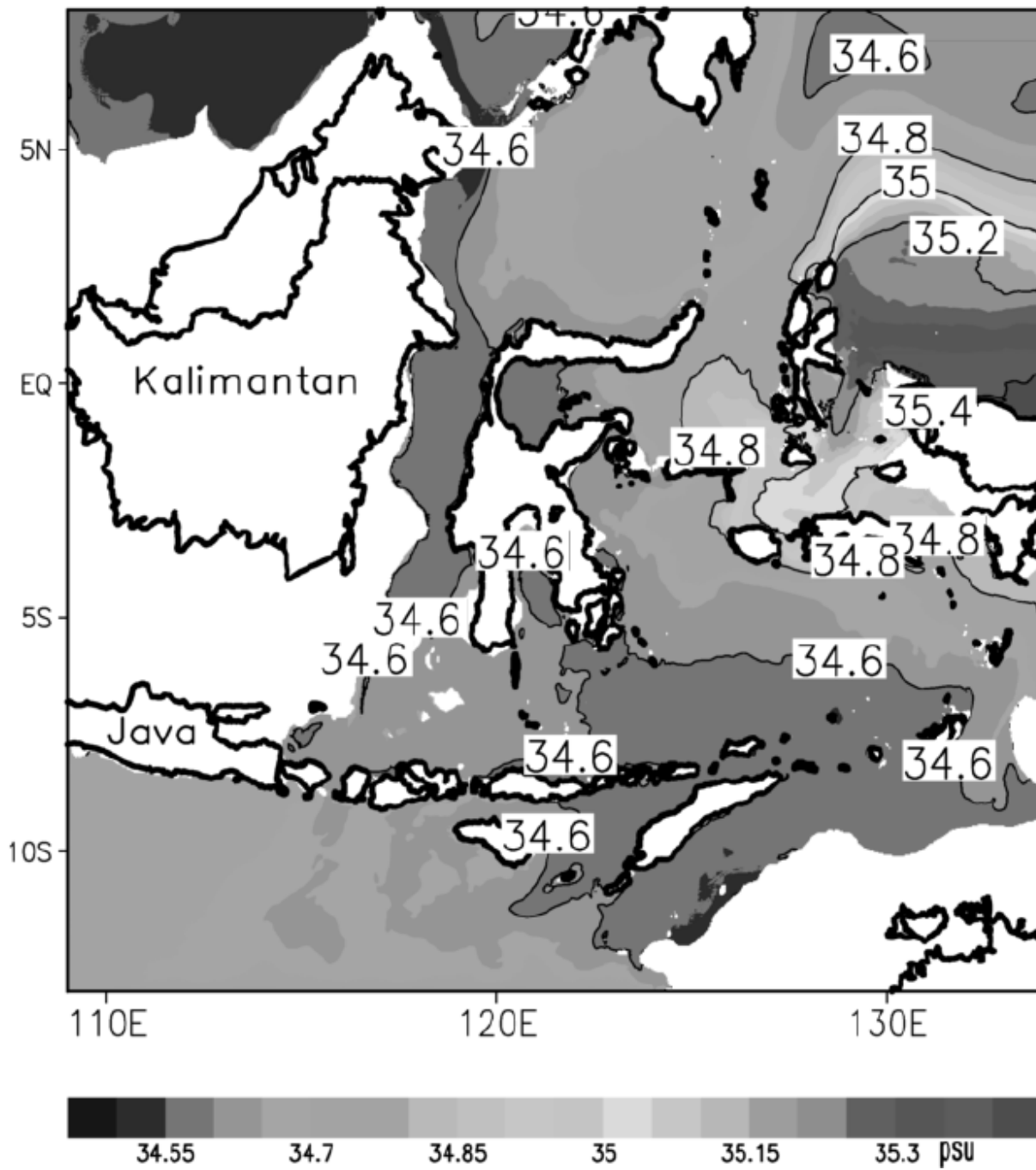


図11 潮汐なしモデルの、150m深年平均塩分分布。

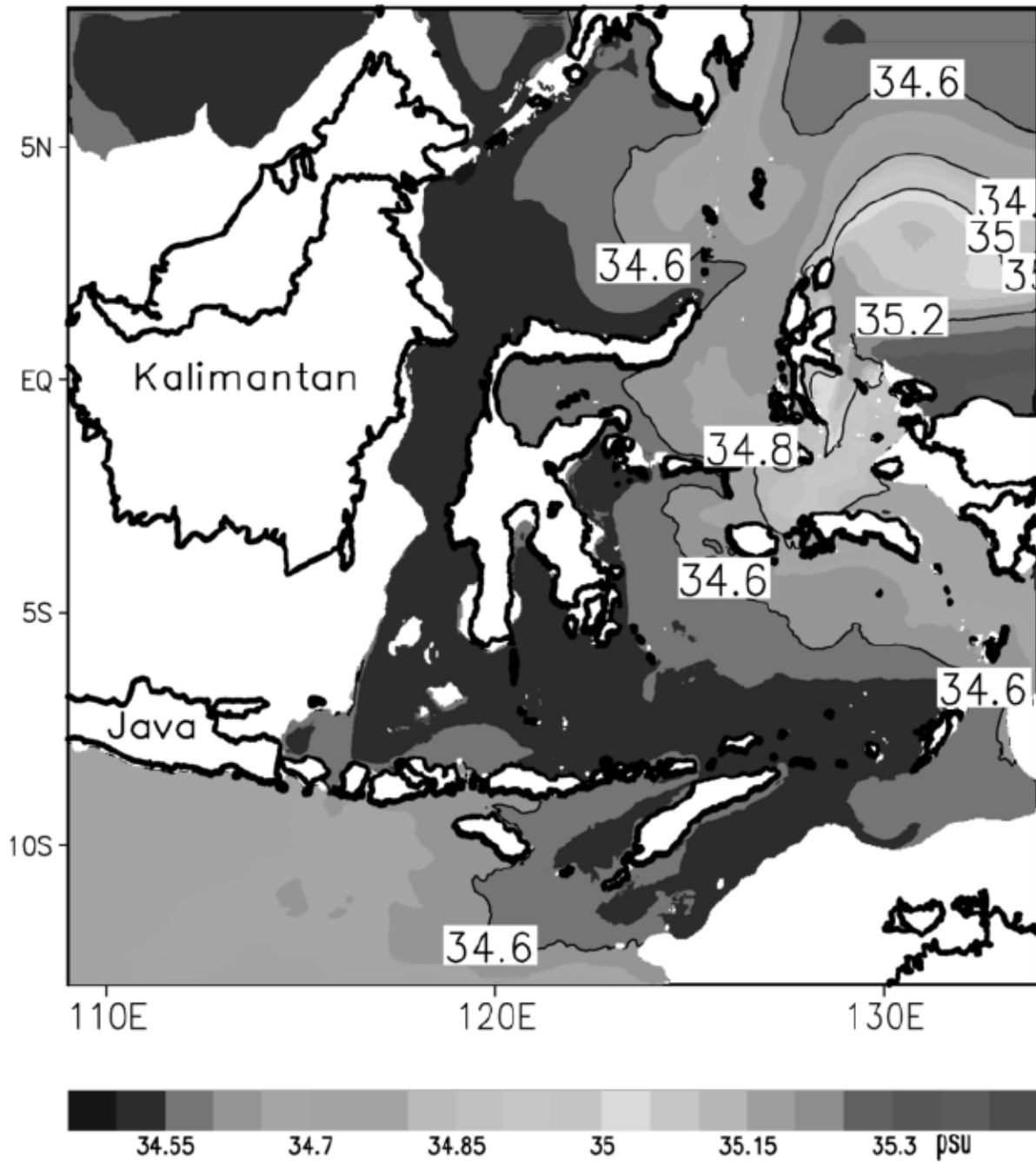


図12 図11と同様。ただし潮汐あり。

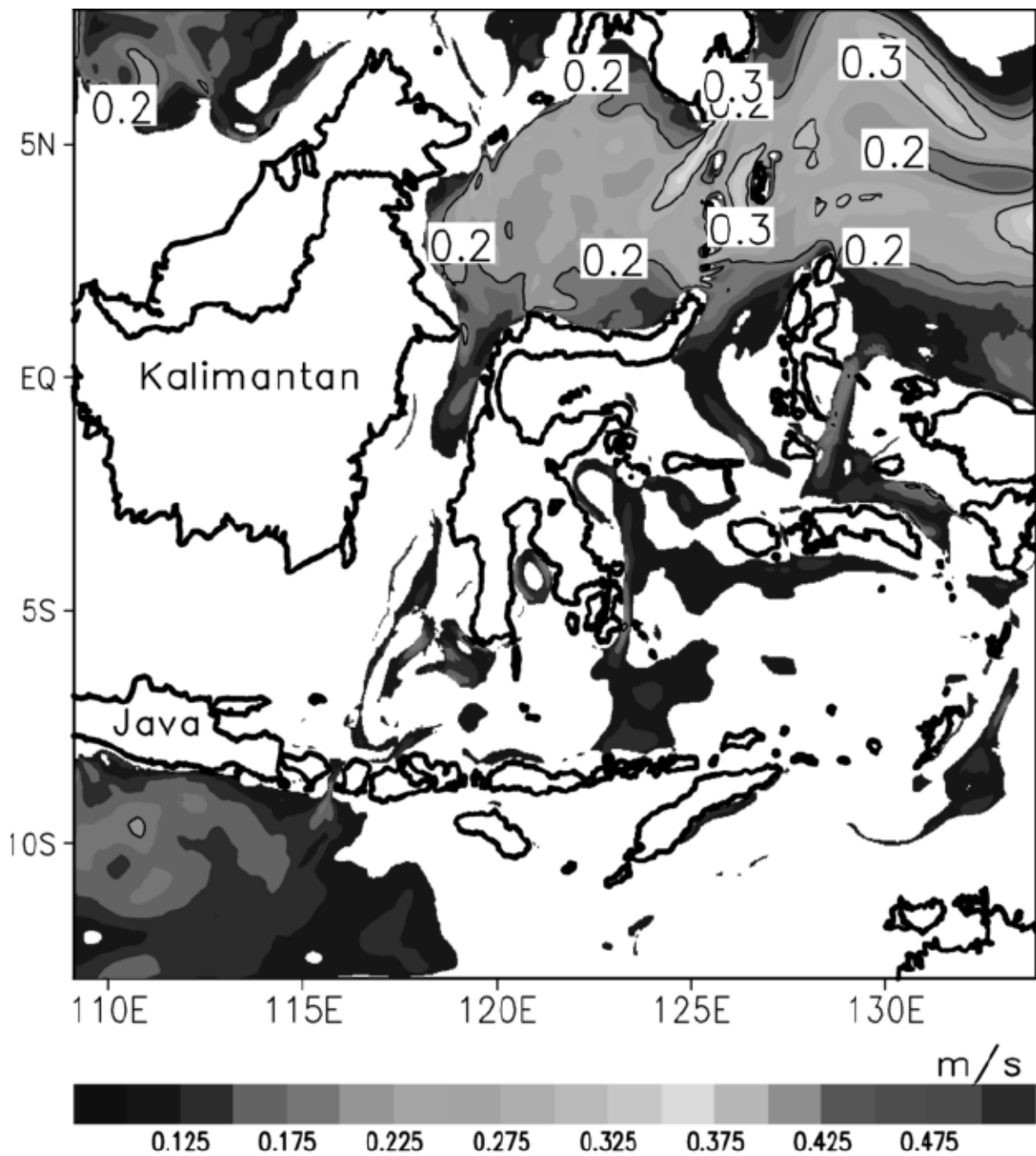


図13 潮汐なしモデルの、150m深の流速変動（平均二乗値）。

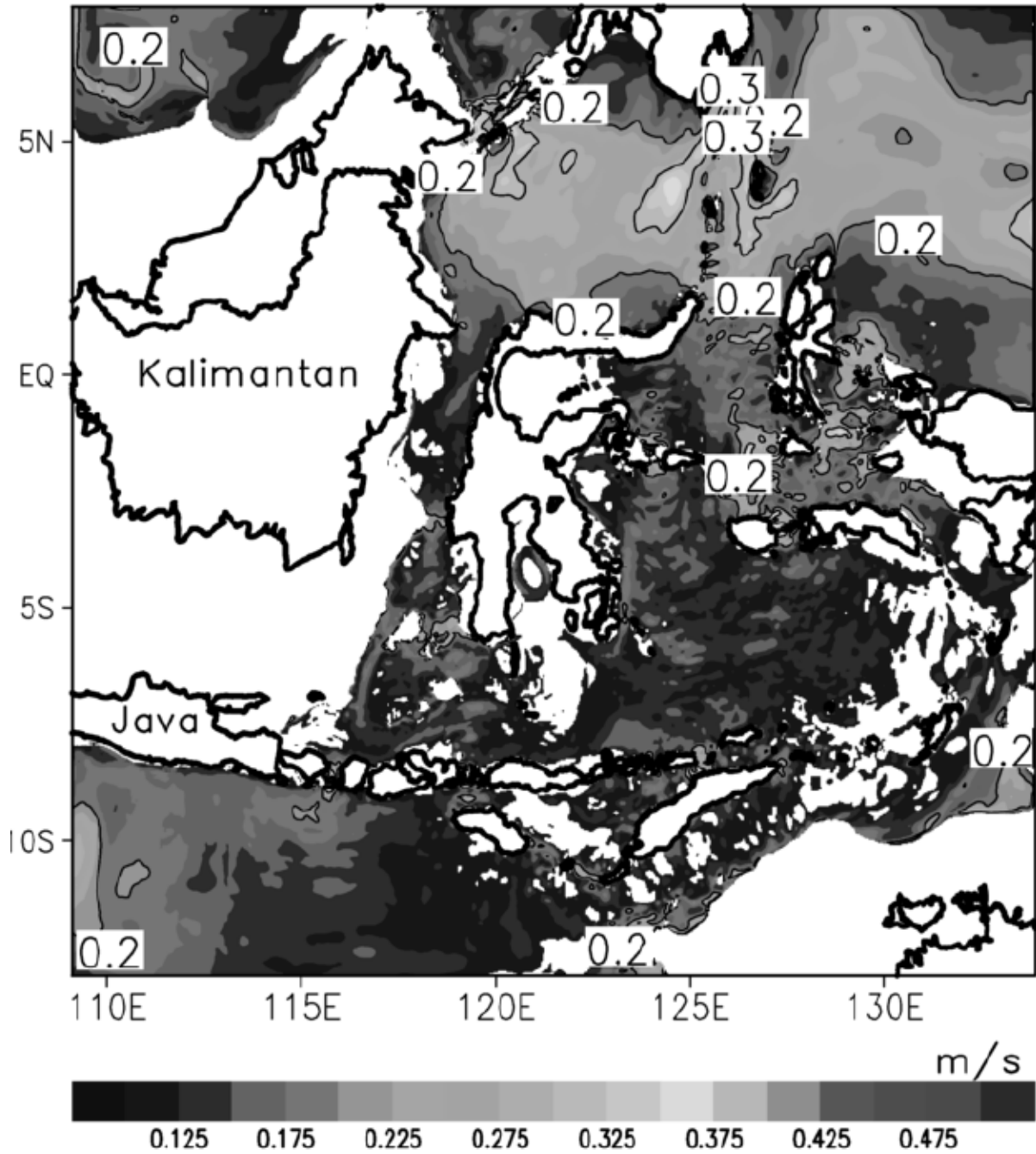


図14 図13と同様。ただし潮汐あり。

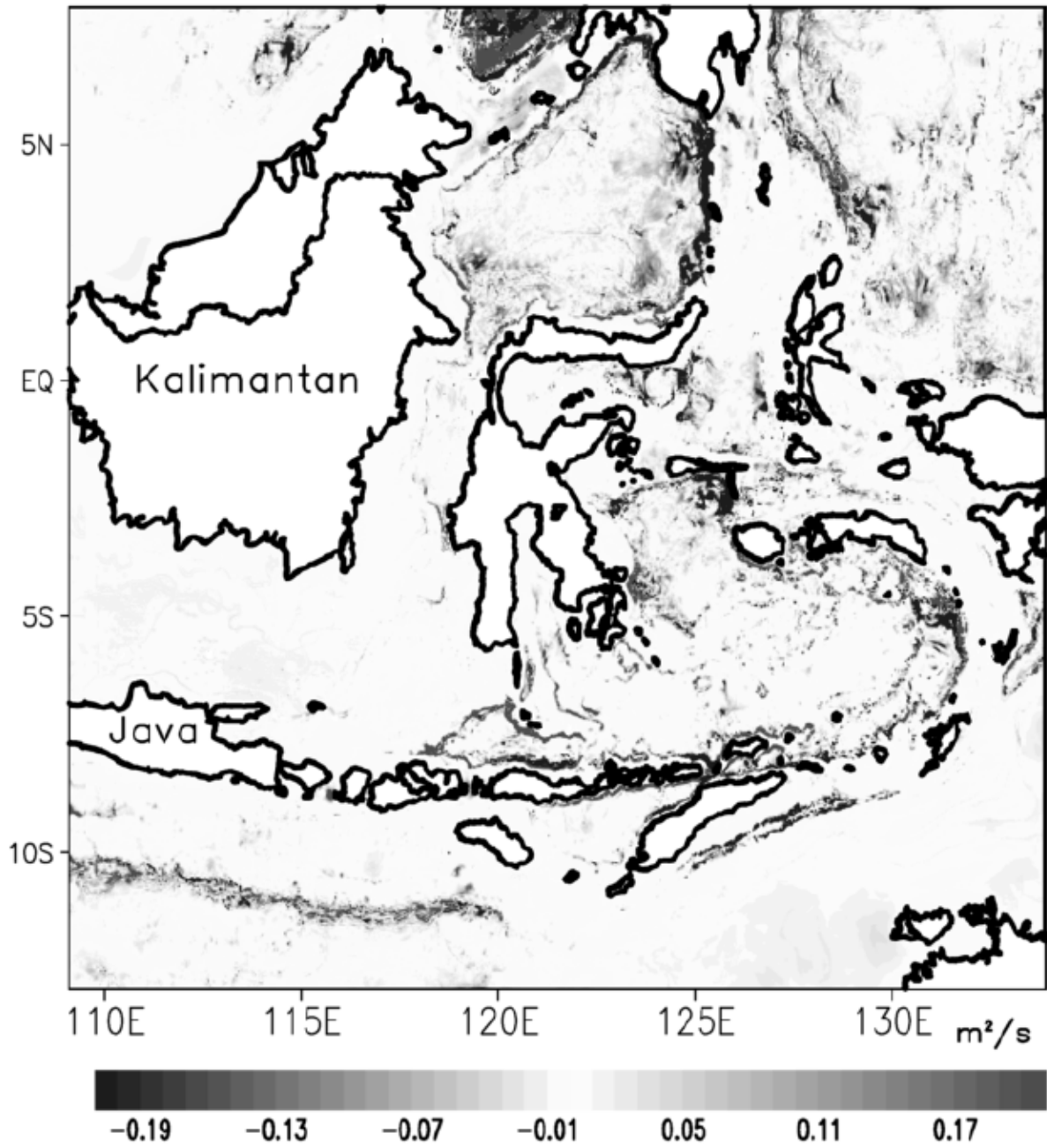
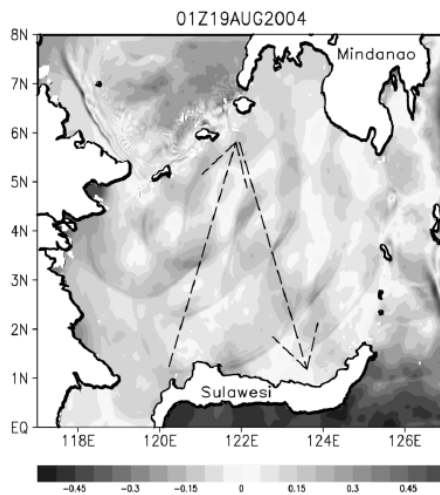


図15 潮汐ありとなしの場合の鉛直粘性係数年平均値の差。

(a) Normalized snapshot surface elevation



(b) Internal tide perturbation

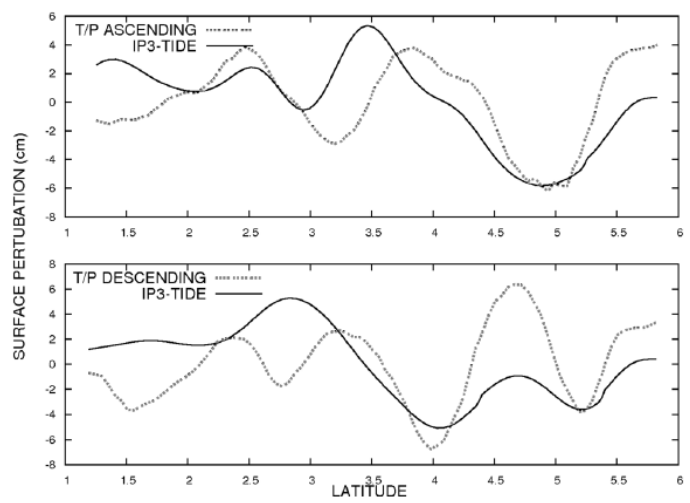


図16 (a) 2004/8/19 01AM(UTC)のモデル水位の瞬間値。2本の矢印付き点線はTopex/Poseidonの軌道を示す。(b) 同時刻の、Topex/Poseidon衛星軌道水面上での、モデル(IP3-TIDE)と衛星(T/P)の内部潮汐成分の比較。

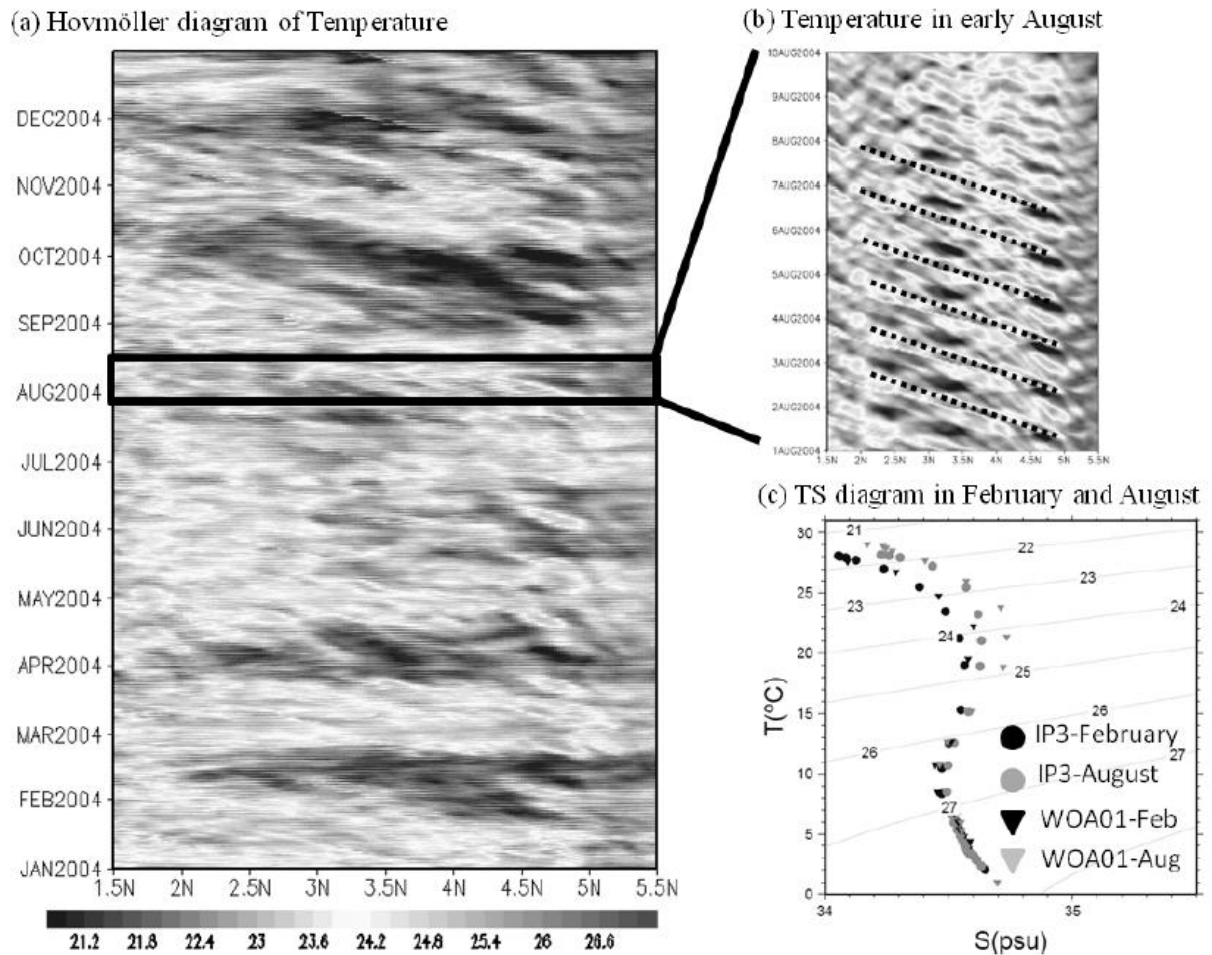


図17 (a) 内部潮汐による変動を示す、1.5-5.5N、121E線上における、80m深のモデル水温の時間変化。(b) (a)の拡大図。大潮期。(c) セレベス海における年平均水塊分布 (TSダイアグラム)。IP3-February : モデルの2004年2月平均。IP3-August : モデルの2004年8月平均。WOA01-Feb : World Ocean Atlas 2001気候値 (WOA01) の2月期。WOA01-Aug : WOA01の8月期。

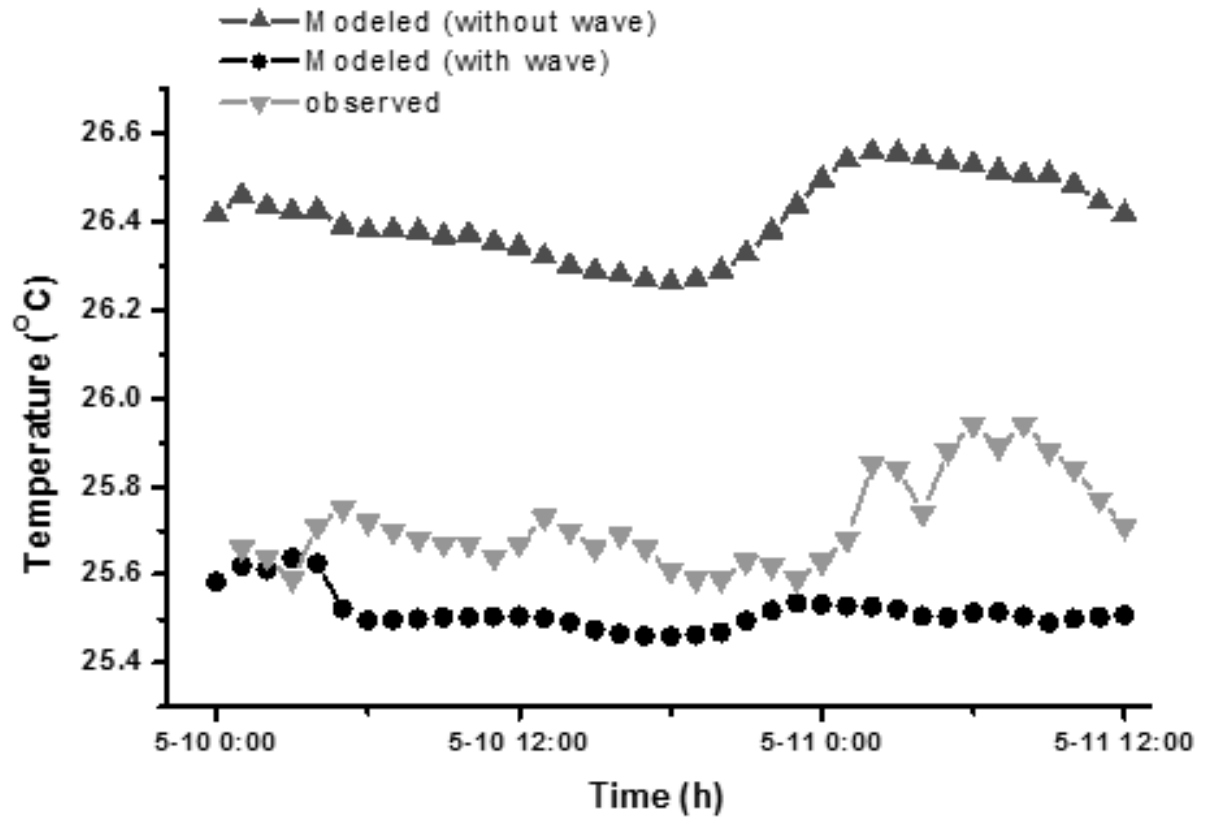


図18 2003年5月の石西礁湖中央部における表面水温の時間変化。Modeled(without wave)：波浪なしモデル。Modeled(with wave)：波浪ありモデル。Observed：観測。

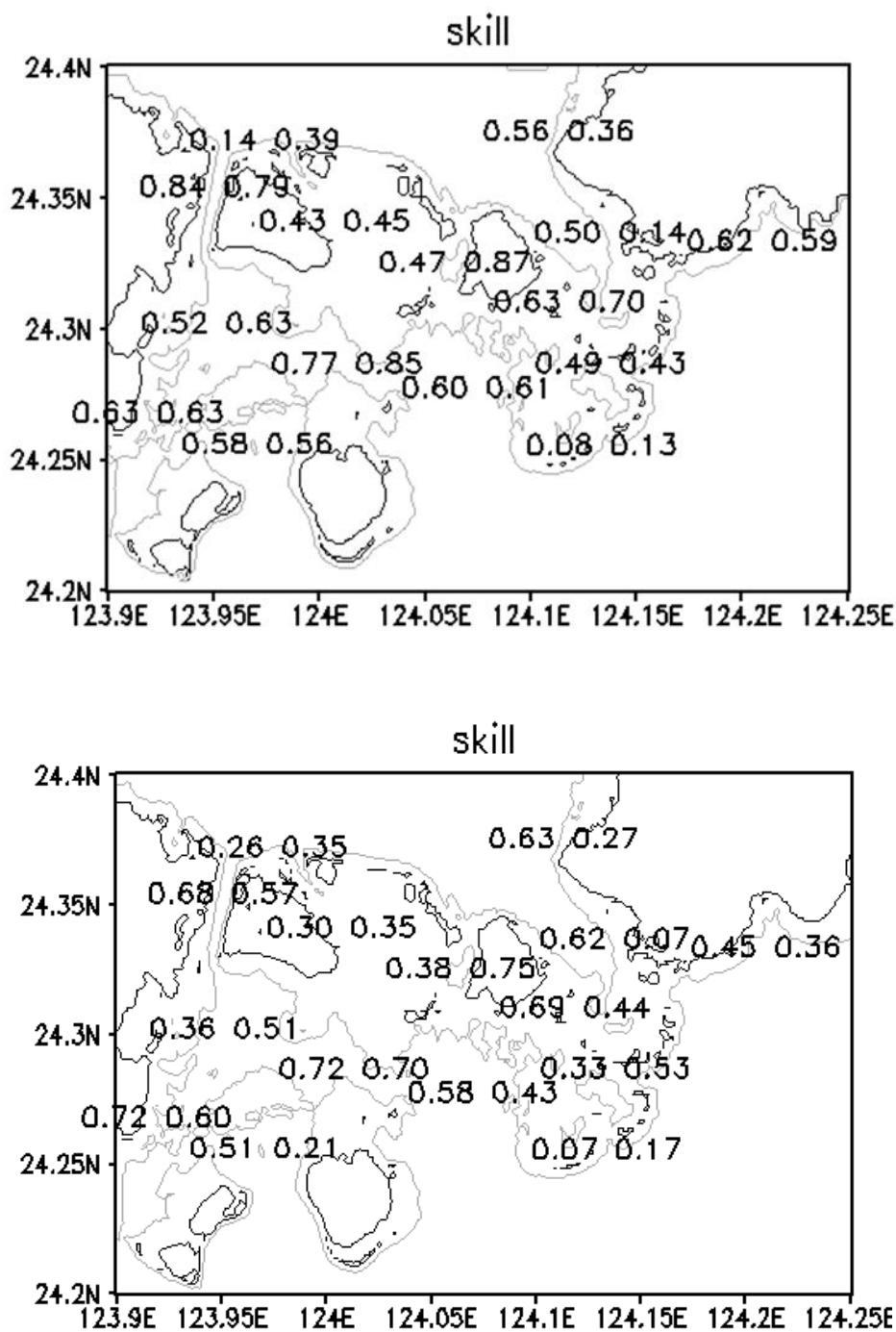


図19 2003年5月12日～5月21日におけるYAEYAMA3モデル計算結果と各観測点における表面流動観測を比較した場合のスキル（左数字：東西流速、右数字：南北流速）。1に近ければ近いほど再現性が高い。上：従来計算結果。下：海底摩擦項を改変した場合の計算結果。石西礁湖の外縁部で再現性が向上した観測点が見られる。

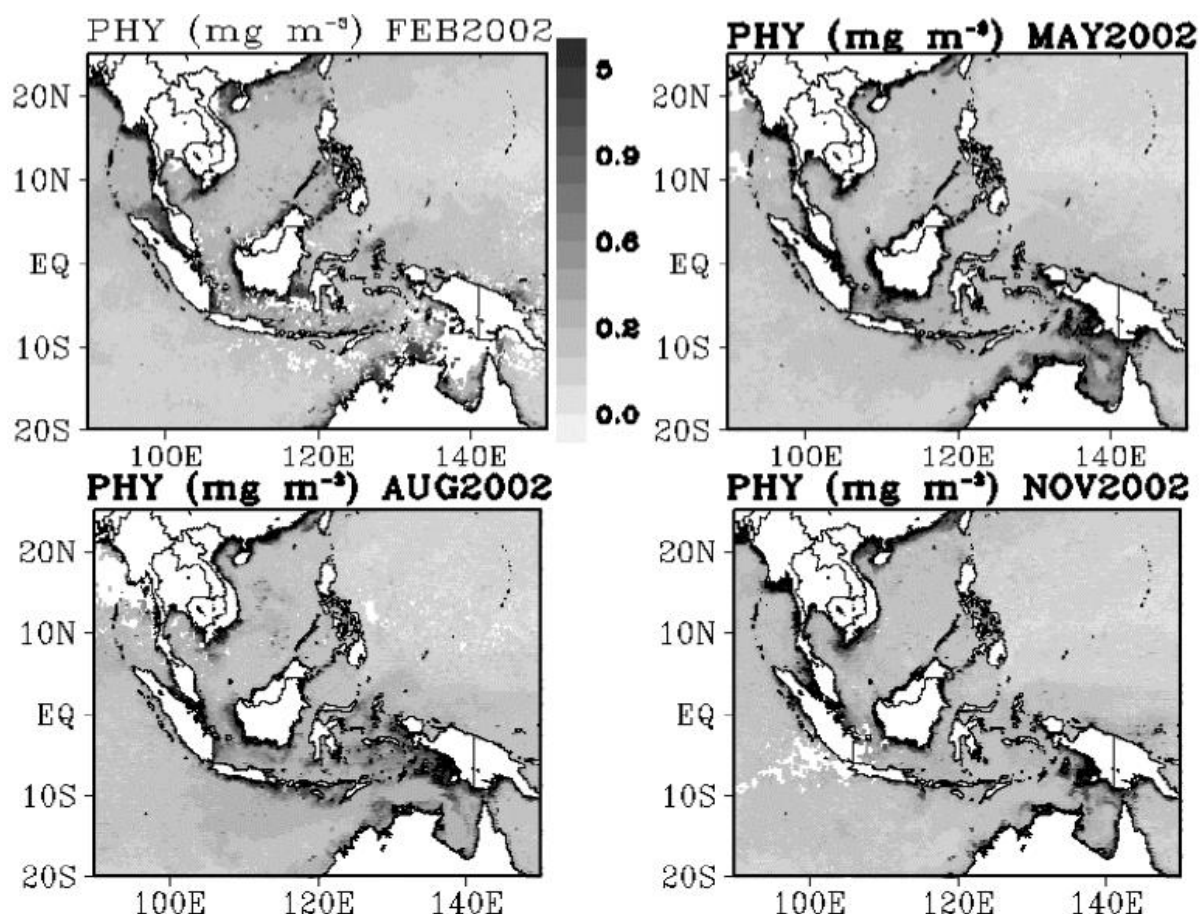


図20 SeaWifs衛星観測から求められた、2002年2, 5, 8, 11月平均の表面クロロフィル濃度。

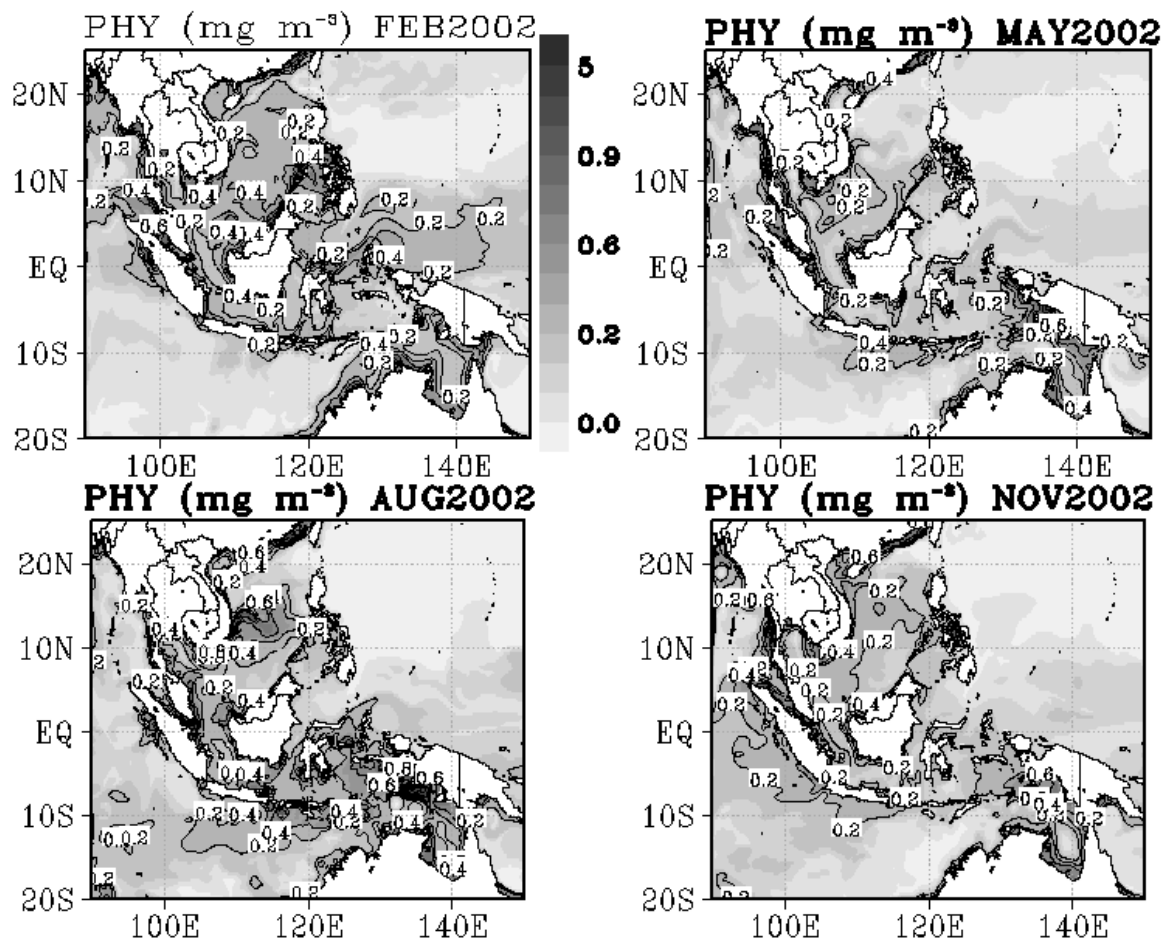


図21 図20と同様。ただしIP2結合低次生態系モデル結果。沿岸海域と外洋における濃度差及び季節変化が再現されている。

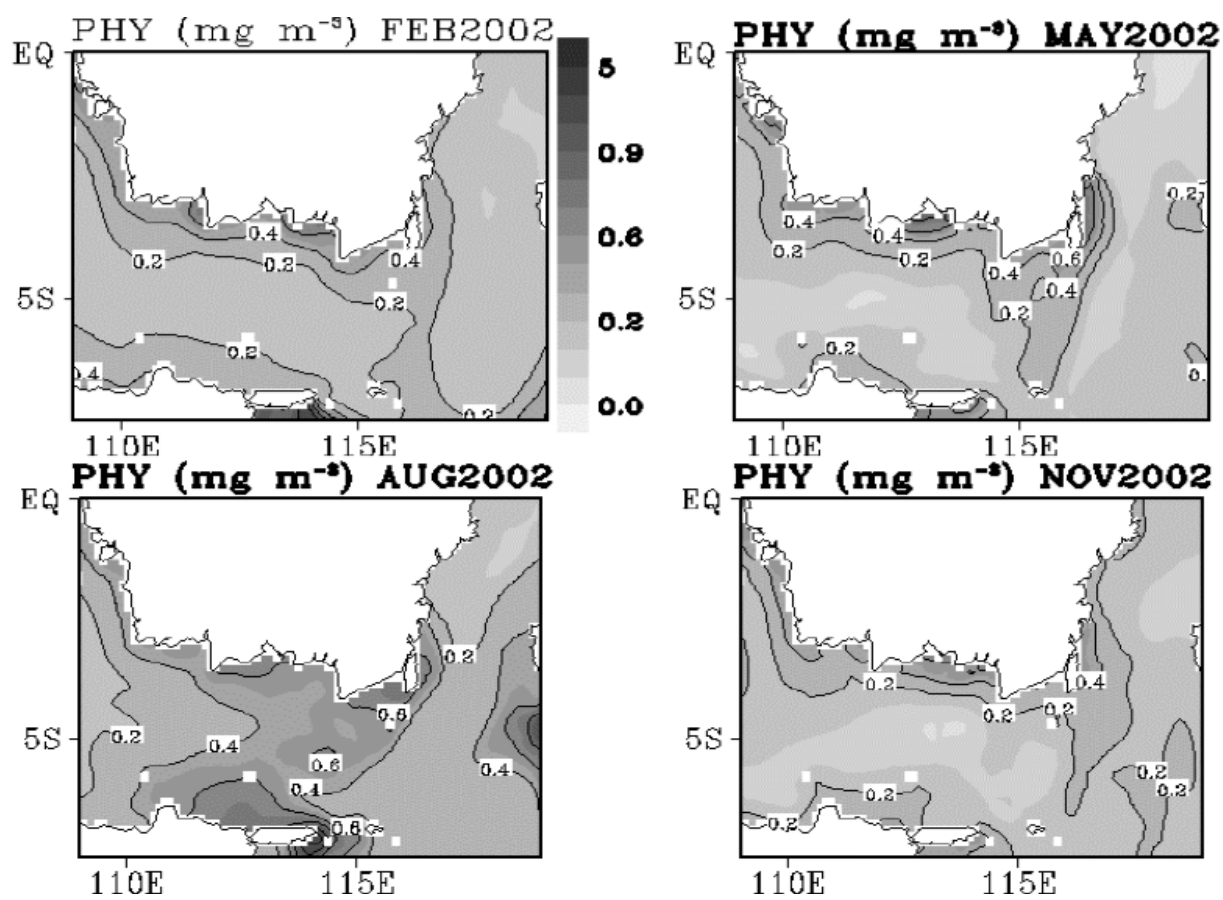


図22 図21と同様。ただしジャバ海の拡大図。河川水流出による濃度変化が表現されている。

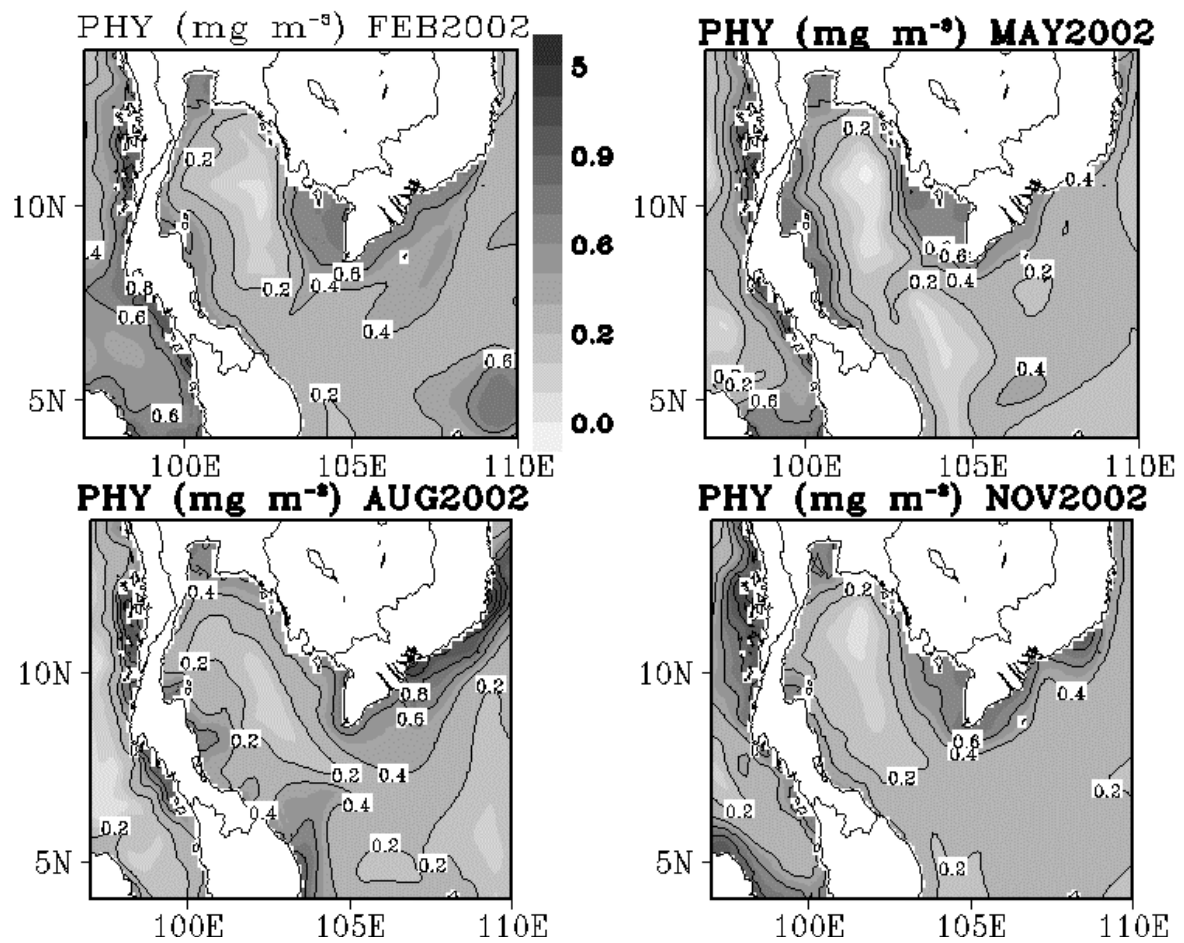


図23 図22と同様。ただしメコン川河口部の拡大図。同様に河川水流出による濃度変化が表現されている。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

インドネシア多島海を詳細に解像する水平1/36度(3km)間隔のIP3モデル、及び八重山諸島海域を水平1/900度で詳細に解像するYAEYAMA3モデルを開発し、従来、同時に計算されることのなかった海洋大循環と潮汐を同時に表現することに成功した。その結果、インドネシア多島海及び八重山諸島海域では、大規模な海上風と海面の加熱冷却で駆動される、長周期で変動する海洋大循環と、潮汐で駆動される短周期の潮流の双方が海域の海流変動や水塊形成にとって重要であることを示すことができた(成果は国際誌投稿済)。

低次生態系モデルについては、河川からの栄養塩・土砂流入といった陸岸影響の導入、及び沿岸海洋と外洋の異なる特徴の表現、という当初の目標を達成した⁵⁾。

(2) 環境政策への貢献

IPモデルおよびYAEYAMAモデルの高度化により、SEA-WP海域全体、及び国内有数のサンゴ礁である石西礁湖を中心とした八重山諸島海域での海流再現精度が向上し、より現実的な幼生分散計算が可能となり生物保護区の科学的な設定等に貢献できる。また、SEA-WP海域の低次生態系モデルが開発できたので、今後、サンゴ幼生分散過程に低次生態系の変動を組み込むことが可能となり、環境影響評価等に対する、より多様な科学的知見の提供を実現しうる成果となった。

6. 引用文献

- 1) 金城孝一、比嘉榮三郎、大城洋平(2006)：沖縄県のサンゴ礁海域における栄養塩環境について、沖縄県衛生環境研究所報、40、pp.107-113.
- 2) Miyazawa, Y., R. Zhang, X. Guo, H. Tamura, D. Ambe, J.-S. Lee, A. Okuno, H. Yoshinari, T. Setou and K. Komatsu (2009): Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, *J. Oceanogr.*, 65, 737-756.
- 3) 三井順、灘岡和夫、鈴木庸彦、三井順、熊谷航、石神健二、波利井佐紀、Enrico C. Paringit、田村仁、安田仁奈、飯塚広泰、濱崎克哉、木村匡、上野光弘(2004)：沖縄・石西礁湖における海水流動および濁質・熱・サンゴ幼生輸送特性解明のための総合的観測と解析、海岸工学論文集、51、1055-1059.
- 4) Sasai, Y., A. Ishida, H. Sasaki, S. Kawahara, H. Uehara and Y. Yamanaka (2006): A Global Eddy-Resolving Coupled Physical-Biological Model, Physical Influences on a Marine Ecosystem in the North Pacific, *SIMULATION* 82: 467-474, doi:10.1177/0037549706068943.
- 5) Lu, L.-F., Y. Miyazawa, W. Cui, and K. Nadaoka (2010): Numerical study of surface water circulation around Sekisei Lagoon, southwest of Japan, *Ocean Dynamics*, doi:10.1007/s10236-010-0270-x. 60, 359-375.
- 6) Arbic, B.K., J. F. Shriver, P.J. Hogan, H.E. Hurlburt, J. L. McClean, E.J. Metzger, R. B. Scott, A. Sen, O.M. Smedstad, A.J. Wallcraft (2009): Estimates of bottom flows and bottom boundary layer dissipation of the oceanic general circulation from global high-resolution models. *J. Geophys. Res.*, 114, C02024. doi:10.1029/2008JC005072.

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上发表

<論文(査読あり)>

- 1) Lu, L.-F., Y. Miyazawa, W. Cui, and K. Nadaoka (2010): Numerical study of surface water circulation around Sekisei Lagoon, southwest Japan, *Ocean Dynamics*, 60 (2), 359-375.
- 2) Sasai, Y., A.R. Kartadikaria, Y. Miyazawa, and K. Nadaoka (2011): Marine ecosystem simulation in the Indonesian Seas, *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry - Marine Environmental Modeling & Analysis*, Eds., K. Omori, X. Guo, N. Yoshie, N. Fujii, I. C. Handoh, A. Isobe, and S. Tanabe, 11-17, TERRAPUB.
- 3) Kartadikaria, A.R., Y. Miyazawa, S. Varlamov and K. Nadaoka (2011): Ocean Circulation for the Indonesian Seas Driven by Tides and Atmospheric Forcings: Comparison to Observational Data, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2011JC007196 (in press).
- 4) Kartadikaria A.R., K. Nadaoka, Y. Miyazawa (2011): A numerical study on larval dispersal around the Southeast Asia and West Pacific (SEA-WP) regions using an Indo-Pacific ocean circulation model, *Proc. of International Session in Conference on Coastal Engineering, JSCE*, 2 (in press).

<その他誌上发表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) Lu, L.-F., Y. Miyazawa, H. Tamura, S.M. Varlamov and K. Nadaoka (2010): An application of POM to wavecurrent interaction study around the Yaeyama Islands, Japan, 2nd International Workshop on Modeling the Ocean, May 24, 2010, Norfolk, USA.
- 2) Lu, L.-F., Y. Miyazawa, H. Tamura, S.M. Varlamov and K. Nadaoka (2010): Numerical modeling of wave-current interaction around Yaeyama Islands, The Oceanographic Society of Japan fall meeting in 2010, September 9, 2010., Abashiri, Japan.
- 3) Sasai, Y., A.R. Kartadikaria, Y. Miyazawa and K. Nadaoka (2010): Marine ecosystem simulation in the Indonesian Seas, International Symposium on Modeling and Analysis of Marine Environmental Problems, September 22-23, 2010, Ehime University, Matsuyama, Japan [Invited].
- 4) Sasai, Y., A.R. Kartadikaria, Y. Miyazawa and K. Nadaoka (2010): The influence of river discharge on marine ecosystem in the South East Asia and West Pacific (SEA-WP) region, 日本地球惑星科学連合2010年大会、2010/5/23-28、幕張.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。