

学 位 論 文 題 名

A Marine Ecosystem Modeling Applied
to the Subarctic Time Series Observation

(亜寒帯観測地点における海洋生態系に関するモデリング)

学位論文内容の要旨

亜寒帯北西太平洋海域では、海面水温や表層栄養塩濃度などの季節変化が亜寒帯北東太平洋海域に比べて大きいことが観測などから知られている。この季節変動の大きさは、同海域の高い生物生産性を物語っており、生物生産量の変化はこの海域における水産資源や大気との CO₂ 交換量などに大きな影響を与えられ考えられる。この点からも、気候変動に対する海洋生態系の応答、また生態系に連動した物質循環のメカニズムを定量的に把握することは極めて重要であると言える。

亜寒帯北太平洋を対象とした海洋生態系モデルを用いた研究としては、例えば Kawamiya et al. (1995, 1997) がある。彼らは硝酸、アンモニア、粒子状有機窒素、溶存態有機窒素、植物プランクトン、動物プランクトンの 6 コンパートメントから成る生態系モデルを鉛直 1 次元海洋混合層モデルに結合させて Ocean Station Papa (北緯 50 度, 西経 145 度) での窒素循環を再現した。しかし、ケイ素から成る殻を作る珪藻が優占種となる北西太平洋の物質循環を再現するためには、生態系モデルで珪藻と非珪藻植物プランクトンのコンパートメントを分類し、また窒素だけでなくケイ素の循環も導入する必要がある。カイアシ類の季節鉛直移動を導入した Kishi et al. (2001) や、低次と高次の生態系をリンクする鍵となるオキアミ類を導入した NEMURO (North pacific Ecosystem Model Used for Regional Oceanography; Eslinger et al, 2000) を基に、Yamanaka et al. (2001, submitted) はカルシウムと炭素の循環も導入した 15 コンパートメント生態系モデルを用いて Station A7 (北緯 41.5 度, 東経 145.5 度) における物質循環を再現した。

本研究では上記の 15 コンパートメント海洋生態系モデルを用いて亜寒帯北西太平洋時系列観測地点 KNOT (Kyodo North pacific Ocean Time series, 北緯 44 度, 東経 155 度) での物質循環の再現を行なった。このモデルでは植物プランクトンは珪藻、非珪藻小型植物プランクトンの 2 種、動物プランクトンは小型動物プランクトン、カイアシ類、オキアミ類の 3 種に分類される。まず、気候値データおよび KNOT 時系列データをモデルの境界条件として用いることで、KNOT 時系列観測で見られた生態系の季節変化の特徴、つまり、表層栄養塩濃度や海水の CO₂ 逃散度が有する顕著な季節性、そしてクロロフィル濃度の鉛直積算値の小さな季節性が再現された。基礎生産量の顕著な季節性も再現されたが、その結果は年間を通じて観測値よりも大きく、特に夏季には 50% 程度の過大であった。また、4 月に観測が行なわれていないことから現実の春季珪藻ブルーム期を厳密に推定することは不可能だが、5 月から 6 月にかけての表層ケイ酸濃度の急減を考慮すると、ブルームのシ

ミュレーション結果は現実よりも1ヶ月ほど先行して起こっていると考えられる。エクマン湧昇速度や珪藻のケイ素/窒素取り込み比、珪藻の光合成速度、カイアシ類による珪藻捕食速度など幾つかのパラメータは生態系のシミュレーション結果に対して大きな感度を有した。殆どのパラメータは同じく北西太平洋に位置する定点 A7 と同じ値を用いることが可能だが、幾つかのパラメータについては修正を余儀なくされた。

次に、毎日もしくは毎週のデータをモデルの境界条件として用いることで、KNOTにおける生態系の年々変動を再現した。季節変動に対する年々変動幅は年間最大混合層深度では45%、表層栄養塩濃度やクロロフィル濃度の鉛直積算量の年間最大値では25乃至35%に相当した。海面水温の年間極小値は ENSO イベントや Pacific Decadal Oscillation と連関している可能性があるが、KNOT ではその明瞭な関係は再現されなかった。混合層深度の年間最大値、表層栄養塩濃度の年間最大値、そして年平均基礎生産量の間には正の相関が見られた。このことは、混合層深度の年間最大値の年々変動が分かれば、観測が比較的困難である生態系の年々変動を大まかに推定することが可能であることを示唆している。従って、生態系の年々変動解明のためには長期に亘る混合層深度の測定が強く望まれる。また、風速の強化、混合層深度の発達、海面水温や日射量の低下などのような低気圧の通過に伴う物理場の突発的な変化は生態系の変動を強く引き起こした。1994年6月中旬の強い低気圧の通過中には、基礎生産量は40%、カイアシ類による珪藻の捕食は60%低下した。その後、低気圧によって励起された鉛直混合の発達による表層への栄養塩の供給は、珪藻の基礎生産量を1ヶ月以上にも亘って増加させた。珪藻の年間基礎生産量に対するこの低気圧の寄与は、通過時1週間に0.7%の減少、通過後1ヶ月に1.2%の増加、正味0.5%の増加であった。また、他年の台風の通過による事例の解析を通じて、基礎生産量の増減に対する低気圧の寄与の大きさはその時期に大きく依存することが分かった。つまり、珪藻がケイ酸律速下にある晩春から夏にかけては低気圧の通過により珪藻の基礎生産量に増加が見られるが、その他の時期にはその量に顕著な増加は見られない。海水のCO₂ 逃散度は表層全炭酸濃度の増加に伴って急増し、1994年の年間最大値を記録した。また、1998年と1999年の生態系のシミュレーション結果を比較することにより、春季珪藻ブルームの時期は表層水の成層化の時期と密接に関係することが分かった。

今後は観測とモデリングが相補的に同時進行することにより、この海域での生態系の年々変動の解明が飛躍的に進むものと期待される。そのためには、上述の理由により混合層深度の年間最大値の年々変動を知ることが必要である。また、モデルに導入されている生態系パラメータのより厳密な較正のためにはプランクトンの存在量など生態系項目の高頻度かつ長期的な観測が不可欠である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 池 田 元 美
副 査 教 授 乗 木 新 一 郎
副 査 助 教 授 山 中 康 裕
副 査 助 教 授 谷 本 陽 一
副 査 教 授 岸 道 郎 (大学院水産科学研究科)
副 査 総合研究官 野 尻 幸 宏 (独立行政法人国立環境研究所)

学 位 論 文 題 名

A Marine Ecosystem Modeling Applied to the Subarctic Time Series Observation

(亜寒帯観測定点における海洋生態系に関するモデリング)

本研究では、鉛直1次元海洋生態系モデルを用いて、西北太平洋の亜寒帯観測定点 KNOT (北緯44度、東経155度)における物質循環の観測値の再現および考察を行った。KNOT時系列データで得られた水温や塩分、日射量および気候値の風応力をモデルの境界条件として、1998年および1999年における生態系の季節変動の特徴に注目して再現を行った。すなわち、観測された表層における栄養塩濃度や海水中CO₂分圧は、東太平洋や亜熱帯域に比べて、大きな季節変動を持つ。モデルではこれらの季節変動の再現に成功した。しかしながら、基礎生産量に関しては、年間を通じて観測値よりも大きく、特に夏季には50%以上の過大であり、その原因については今後の研究課題となった。また、珪藻による春季ブルームについて、観測に比べて、約1ヶ月早いモデルの結果が得られた。これは、混合層の成層化が観測よりも早く起こってしまうことによる。但し、ここでの観測事実は、3月および4月に観測が行われていないので、表層中の栄養塩濃度からの間接的な証拠に基づいている。そのため、さらなる観測がより良いモデルの再現のために必要である。

毎日もしくは週平均の水温や風速、日射量のデータ(塩分については1998年および1999年の観測値)をモデルの境界条件として、1982年から1999年までの18年間について計算を行った。得られた年々変動について、季節振幅に対する年々振幅の比は最大混合層深度で45%、クロロフィル量や基礎生産などは25~35%であった。混合層深度と表層栄養塩濃度の年間最大値や年平均基礎生産量との間に強い正の相関が見られた。このことは、混合層深度の年間最大値の年々変動を知ることで、直接的な観測が比較的難しい生態系の年々変動を大まかに推定できることを示している。

また、ストームの通過に伴う物理場の突発的な変動は生態系に多大な影響を及ぼした。1994年6月中旬の強いストームの通過中、混合層は急激に深まり、植物プランクトン及び動物プランクトン濃度は薄められた。珪藻による基礎生産量は、悪天候による影響も含めて、約40%低下した。さらに、カイアシ類による珪藻の捕食は、捕食速度が珪藻とカイアシ類の濃度の両方に依存するため、約60%と大幅に低下した。ストームの通過後、珪藻は速やかに回復したのに対して、カイアシ類の回復は遅れた。結果的に、珪藻の年間基礎生産量はストームの通過により約0.7%増加したことが見積もられた。1998年と1999年の生態系の比較により、春季珪藻ブルームの時期は表層の成層化の時期と密接に関係することが分かった。また、年間基礎生産量は、混合層深度によってほぼ決まり、成層化の時期には依らないことも示された。

今後は観測とモデリングが相補的に同時進行することにより、この海域での生態系の年々変動の解明が飛躍的に進むものと期待される。そのためにも、長期に亘る混合層深度および生物化学項目の測定が強く望まれる。

審査員一同は以上の研究成果を高く評価し、また研究者として研鑽を重ねており、その研究に対する態度も誠実かつ熱心であること、取得単位を満たしたことをあわせ、申請者が博士(地球環境科学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。