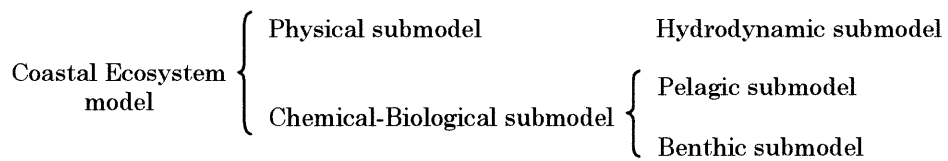


論文の内容の要旨

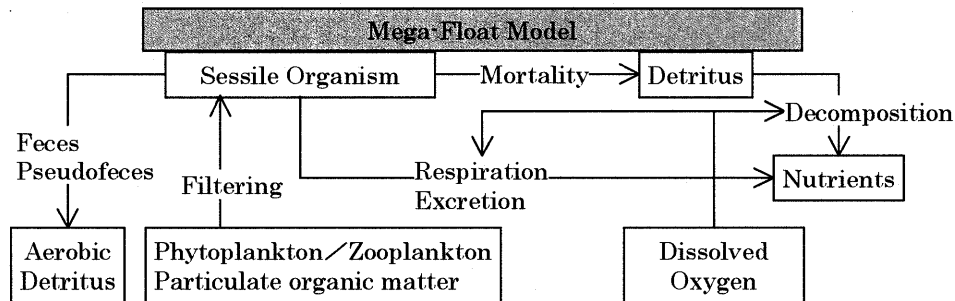
論文題目 数値シミュレーションによる超大型浮体式構造物の
海洋生態系への影響に関する研究

氏 名 北 澤 大 輔

海上に超大型浮体式構造物を設置する場合、それが周辺の海洋生態系に及ぼす影響について事前に調査しておく必要がある。このような環境影響調査を行う場合、生態系モデルを用いた数値シミュレーションによる方法は有効な方法の一つであると考えられており、以前より浮体の設置による流れ場の変化や太陽光の遮蔽効果などに関する数値シミュレーションが行われている。しかし、浮体周囲の生態系の実海域計測データが極めて少ないため、観測結果と計算結果との比較による数値モデルの検証は充分に行われていない。このような経緯から、本研究室を含む大学研究員グループは、数値モデルの妥当性検証のためのデータ取得を目的として、東京湾横須賀市追浜沖に係留された Phase-I 浮体（長さ：300m・幅：60m・深さ：2m・喫水：0.5m）と Phase-II 浮体（長さ：1000m・幅：60～121m・深さ：3m・喫水：1m）周囲の海洋環境計測を行った。その結果、特に Phase-II 浮体直下において付着生物の活動による影響と思われる水質の変化が見られ、付着生物による新しい生態系の創出効果が思



(a) Coastal ecosystem model



(b) Modeling of sessile organism

図1 沿岸の生態系モデル(a)と付着生物モデル(b)

いの外大きいことが明らかとなった。従って、本研究では、この様な浮体直下における水質変化を再現することに重点を置くこととし、以下に示す3つの目的を設定した。

- ・ まず、東京湾に生態系モデルを適用した数値シミュレーションを行い、現状の生態系の再現性について検討する。ただし、観測結果と計算結果との直接的な比較により生態系モデルの検証を行うために、極力現実に近く、時々刻々変動する境界条件を用いた数値シミュレーションを行う。
- ・ 付着生物モデルを組み込んだ生態系モデルを用いて Phase-I 浮体、あるいは Phase-II 浮体を設置した数値シミュレーションを行い、浮体直下で観測された水質の変化を再現する。
- ・ Phase-I 浮体・Phase-II 浮体・仮想の超大型浮体式構造物を設置した数値シミュレーションを行い、浮体周辺海域の水質の変化・付着生物の活動に関するフラックス・湾内の物質循環への影響について予測する。

本研究で用いる生態系モデルは、海水の流れや水温・塩分などを計算する物理モデルと、化学物質の濃度や生物量を計算する化学・生物モデルとから構成される(図1(a))。さらに、化学・生物モデルは、海水中の生態系を対象とし

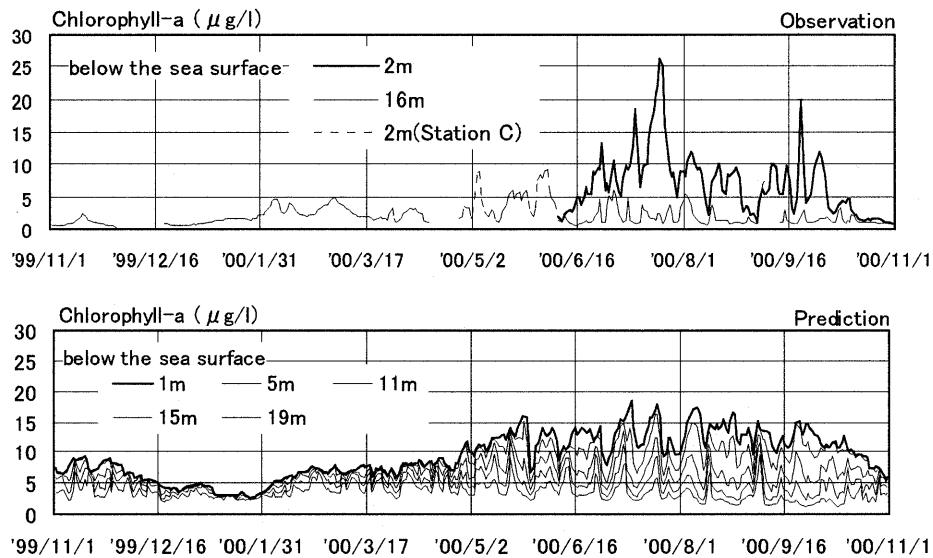


図2 1999年11月1日から2000年10月31日までのPhase-II浮体東端におけるクロロフィルa量の時系列変動

た浮遊系モデルと、堆積物中の生態系を対象とした底生系モデルとに大別される。一方、浮体による影響を考慮に入れる場合には、浮体底面における摩擦・熱や塩分などのフラックスの遮断・付着生物の活動を組み込んだ数値シミュレーションを行う。図1(b)に付着生物モデルの詳細について示す。付着生物はプランクトンや懸濁態有機物を濾過・摂取し、糞や擬糞を排出する。また、付着生物の排泄やその死体の分解に伴って、栄養塩類が排泄され、酸素が消費される。

まず、浮体を設置した計算を行う前に、付着生物モデルを含まない生態系モデルを用いた数値シミュレーションを行い、現状の生態系の再現性について検討する。一例として、Phase-II浮体が設置されていた1999年11月1日から2000年10月31日までの期間を対象として、数値シミュレーションを行った結果を示す。図2に計算対象期間の浮体外(Station E)におけるクロロフィルa量の時系列を示す。ただし、2000年5月以前は浮体外でクロロフィルa量の計測が行われていないため、浮体下(Station C)における計測結果を示している。夏季に見られるクロロフィルa量の大きな変動は十分に再現されていない

ものの、年間変動については観測結果と計算結果とでおおよそ対応している。その他の変数についても観測値と計算値との比較を行った結果、物理モデルの変数については年間変動から数日スケールの変動まで再現され、化学・生物モデルの状態変数については数日～数週間スケールの変動は十分に表現されないものの、年間変動についてはおおよそ再現されることが明らかとなった。

次に、水質が悪化しやすい夏秋季を対象として、生態系モデルに付着生物モデルを組み込んだ数値シミュレーションを行った。浮体近傍の水質の変化に関する詳細な情報を得るため、浮体周辺海域を細かい格子で分割し、その外側の海域を粗い格子で分割する局所格子細分化法を用いた。図 3 に、2000 年 9 月 12 日の Phase-II 浮体下 (Station C) と浮体外 (Station E) におけるクロロフィル a 量・リン酸態リン・アンモニア態窒素の鉛直分布を示す。この時期は植物プランクトンの光合成が比較的活発であるために、浮体外においては表層でクロロフィル a 量の値が大きく、海面下 8m 付近から深くなるにつれてクロロフィル a 量の値が急激に小さくなる。逆に、光合成に利用される栄養塩については、表層で濃度が低くなり、底層で濃度が高くなる鉛直分布を示している。一方、浮体下においては、浮体底面から海面下 5m 付近までにおいて、クロロフィル a 量が減少し、リン酸態リンとアンモニア態窒素の濃度が上昇する様子が再現されている。これは、主に浮体底面に付着している生物が植物プランクトンなどの懸濁態有機物を摂取し、リン酸態リンやアンモニア態窒素を排泄するためである。また、付着生物による酸素消費速度については、観測値が $7.1 \sim 65.6 \text{gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$ (付着生物 1gC あたりでは $104.7 \sim 147.2 \text{mgO}_2/\text{gC}/\text{day}$) であるのに対し、計算値は平均して $27.7 \text{gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$ (付着生物 1gC あたりでは $125.2 \text{mgO}_2/\text{gC}/\text{day}$) であり、観測されたデータの範囲に含まれている。従って、Phase-II 浮体直下で観測された水質の変化が、付着生物モデルを組み込んだ数値シミュレーションによって再現され、付着生物モデルの有効性が示されたと考えてよい。ただし、付着生物の機能をさらに正確に把握するためには、浮体直下の水質変化の計測のみではなく、付着生物の濾過・摂取速度や栄養塩の排泄速度などのフラックス調査も併せて行う必要がある。

さらに、Phase-I 浮体・Phase-II 浮体と追浜沖・羽田沖に設置された仮想の

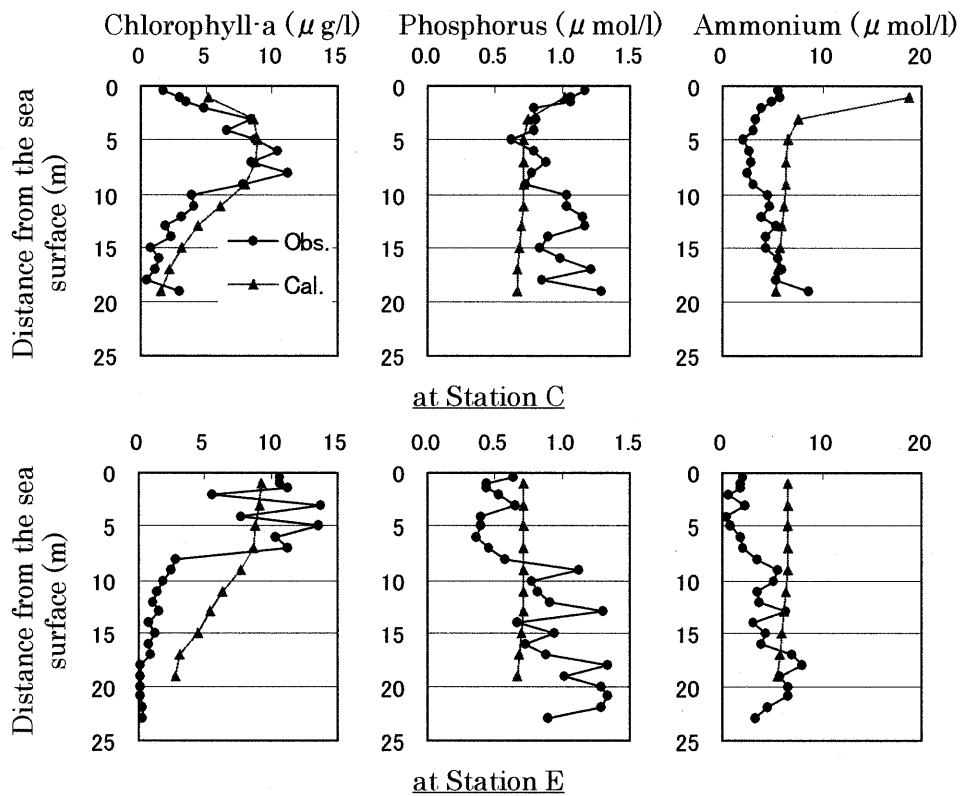


図 3 浮体下 (Station C) と浮体外 (Station E) におけるクロロフィル a 量・リン酸態リン・アンモニア態窒素の鉛直分布 (2000 年 9 月 12 日)

超大型浮体式構造物 (長さ 5km・幅 1km・喫水 3m) の海洋生態系への影響を予測した。その結果、浮体直下では主に付着生物の存在によって化学的酸素要求量と溶存酸素量が減少した。富栄養化海域である東京湾においては、通常化学的酸素要求量の増加と溶存酸素量の減少が懸念されているため、化学的酸素要求量と溶存酸素量の減少は、それぞれ海洋生態系への正の影響・負の影響であると考えられることができる。また、浮体の設置による全リンや全窒素の濃度変化は比較的小さいものの、それらの構成に注目してみると、リン酸態リンやアンモニア態窒素は増加し、有機態のリン・窒素は減少している。表層の栄養塩濃度の上昇が湾内の光合成を促進させる可能性も考えられたが、浮体周辺海域で植物プランクトンが増加する様子は見られなかった。これは、表層における栄養塩濃度の上昇が直接的に光合成速度の増大に結びつかないか、あるいは光

合成が促進されたとしても、生産された有機物が再び付着生物に利用されるためであると考えられる。一方、付着生物に関するフラックスと湾内の他の地点における類似のフラックスとを比較したところ、単位面積あたりの付着生物量が非常に多いこともあり、付着生物に関するフラックスはかなり大きいことが示された。また、追浜沖と羽田沖に仮想浮体を設置した数値シミュレーション結果より、海水の流れが遅い海域では浮体の影響が大きくなることも示された。

以上の検討内容をまとめると、本研究では以下の様な結論が得られた。

- ・ 極力現実に近い境界条件の下で数値シミュレーションを行い、観測結果と計算結果との直接的な比較を行ったところ、東京湾における現状の水質は生態系モデルによりほぼ再現されることが分かった。ただし、数日～数週間スケールの変動については十分に再現されておらず、光合成過程のモデル化などに改良を加える必要があると考えられる。
- ・ 付着生物モデルを組み込んだ数値シミュレーションを行ったところ、浮体直下における水質の変化が再現され、付着生物モデルの有効性が示された。ただし、付着生物モデルの精度をさらに向上させるためには、浮体直下の水質変化の計測のみではなく、付着生物の濾過・摂取速度や栄養塩の排泄速度などのフラックス調査を行う必要がある。
- ・ Phase-I 浮体・Phase-II 浮体や仮想の超大型浮体式構造物を設置した数値シミュレーションを行ったところ、浮体直下では付着生物による有機物の浄化作用が見られるが、同時に溶存酸素量の減少も見られた。また、付着生物の活動に関するフラックスは、湾内の他の海域における類似のフラックスに比べて非常に大きくなっていった。さらに、浮体による影響の程度は浮体の規模や設置海域によって異なることが明らかとなり、浮体の設置条件については十分に検討する必要があると思われる。

今後の課題としては、生態系モデルや付着生物モデルの精度を向上させるとともに、付着生物の海底への落下に伴う底質の変化についての調査を進めていく必要がある。また、超大型浮体式構造物の海洋生態系への影響について調査する場合、現状の生態系を基準とするのではなく、望まれる生態系を基準として影響を定量的に予測し・評価につなげていくことが重要であると考えられる。