メガフロート・フェーズⅡ浮体の海洋生態系に与える影響に関する研究

学生員 北 澤 大 輔* 正 員 藤 野 正 隆**
正 員 多 部 田 茂**

A study on the environmental effects of Phase・Ⅱ Mega-Float model on marine ecosystem

by Daisuke Kitazawa, *Student Member* Masataka Fujino, *Member*
Shigeru Tabeta, *Member*

Summary

Simulation study by means of coastal ecosystem model is conducted to examine the various effects of Phase・Ⅱ Mega-Float model on marine environment in Tokyo Bay. As several results of field measurement around Phase・Ⅱ Mega-Float model, some local impacts on marine chemical-biological environment were found; the amounts of chlorophyll-a and dissolved oxygen decrease, and the nutrient concentration increases under the floating structure. These phenomena are thought to be caused by the sessile organisms adhering to the floating structure, and are reproduced adequately by improving formulation of the biological processes related to the sessile organisms. Finally, the impacts of Phase・Ⅱ Mega-Float model on the surrounding marine environment are discussed.

1. 緒 言

海上に超大型浮体式構造物を設置する場合、事前に浮体が周辺の海洋生態系に与える影響を調査し、評価しておく必要がある。筆者ら大学研究員グループは、平成11年7月から平成12年10月にかけて横須賀市追浜沖に係留されたメガフロート・フェーズⅡ浮体(長さ:1000m、最大幅:121m、深さ:3m、喫水:1m)周囲で、流れ場・水温・塩分・クロロフィルa量・溶存酸素量・栄養塩濃度等の計測を行った。その結果、沿岸海域における実現象を把握するのに有効なデータが得られるとともに、浮体が特に海洋化学・生物環境に対して局所的な影

響を及ぼすことが分かった。

一方、浮体の海洋生態系への影響を定量的に把握するための有力なツールとして、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が試みられている。これまでも、例えば夏季の定常的な東京湾に仮定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が行われ、浮体が周辺の海洋生態系に与える影響について議論された²⁾³⁾⁴⁾。しかしながら、これらの数値シミュレーションは仮定の条件のもとで行われたものであるため、観測結果と計算結果との直接的な比較・検討には至らず、数値モデルの妥当性の検証がなされたとはいえ難いのが現状である。この様な経緯から、筆者らはリアルタイムシミュレーションによって浮体周辺の海洋環境を再現し、観測結果と計測結果との直接的な比較により数値モデルの検証を行う方法を、メガフロート・フェーズⅠ浮体周囲の数値シミュレーションに適用したり、その結果、浮体直下の流れ場などの海洋物理環境についてはほぼ

* 東京大学大学院工学系研究科博士課程

** 東京大学大学院新領域創成科学研究科

Fig.1 Coastal ecosystem model. Boxes represent the compartments considered in the ecosystem model, and arrows show the flows of carbon, nutrients, and oxygen. Modeling of sessile organisms is omitted in this figure.

再現されたが、クロロフィル a 量や栄養塩濃度などの海洋化学・生物環境については観測結果と計算結果とでいくつかが異なる点が見られた。また、この様な相違が生ずるのは、浮体に付着する生物量の推定精度が低いためであると考えられた。

従って本論文では、まずメガフロート・フェーズⅡ浮体周囲で得られた計測データを用いて、リアルタイムシミュレーションによる数値モデルの検証を行うことを第一の目的とする。さらに、3通りの付着生物の取り扱い方法を用いて、浮体が周辺の海洋環境に与える影響について調査することを第二の目的とする。

2. 数値モデル

2.1 物理モデル

潮汐流や密度流を計算する物理モデルは、筆者らが以前から用いてきたものであるため、ここでは具体的な定式化については示さずに概要のみを述べることにする⁶⁾。まず、支配方程式は、静水圧近似を用いた運動方程式、連続の式、水温・塩分の移流・拡散方程式、海水の密度

と水温・塩分を関係づける状態方程式とする。ただし、支配方程式に含まれる鉛直渦動粘性係数と鉛直渦動拡散係数については、夏季の密度成層の効果を取り入れるために、勾配型リチャードソン数に依存した成層化関数を用いて評価する。陸地との境界では、境界に垂直な流速成分を 0 とし、境界に平行な成分に対しては free-slip の条件を課す。開境界では、正弦状に変動する潮位を入力するが、開境界で生じる反射波を防ぐために日野の無反射スキームを用いる。また、水温・塩分については外洋のそれらの値に固定する。海底境界では摩擦、海面境界では風応力と熱・塩分フラックスの交換を考える。熱フラックスは、太陽からの短波放射・海面からの長波放射・潜熱輸送・顕熱輸送の 4 つの要素を合計したものであり、塩分フラックスには降水・蒸発による淡水の流入の効果が考慮されている。

2.2 浮遊系・底生系結合モデル

本研究で用いた化学・生物モデルについても、筆者らが以前より用いてきたものであるため、ここでは簡単な説明にとどめておく⁴⁾⁷⁾。Fig.1 に浮遊系・底生系結合モ

Fig.2 Modeling of sessile organisms and the interactions between sessile organisms and other compartments.

デルで考慮される状態変数 (□で囲まれた変数) と状態変数間における炭素・栄養塩・酸素の流れを示す。ただし、現場における計測結果等から、以前より用いていたモデルに以下の機能を追加する必要があると考えた。

- 植物プランクトンの光合成を制限する栄養塩として、リン・窒素の他に珪素を追加した。これは、メガフロート・フェーズII浮体周囲の栄養塩計測結果より、珪酸塩濃度が植物プランクトンの光合成を律速している可能性が示唆されたためである。なお、定式化の方法についてはリンや窒素を考慮する方法と同様である。
- 底生系における栄養塩循環を考慮することとした。以前より行ってきたシミュレーションにおいては、海底からの栄養塩溶出速度が湾内のいかなる地点においても同様であるとしてきたが、実際は海底堆積物の状態が好氣的か、あるいは嫌氣的かによって大きく異なるはずである。定式化の方法としては、浮遊系における栄養塩循環のモデル化と同様に、栄養塩に関わりのある炭素フラックスに換算係数を乗じることによって栄養塩フラックスを求める方法を用いた。

定式化の基本方針としては、浮遊環境における化学物質や生物は基本的に流れ場に依存するため、それらの時間変化は移流・拡散方程式で記述できるものとし、底生環境における化学物質や生物は定在するものとした。

2.3 付着系モデル

メガフロート・フェーズI浮体周囲の海洋環境シミュレーションを行ったときに用いた付着系モデルをFig.2(a)に示す。付着生物はプランクトンと懸濁態有機物(POM)を摂取することによって増加し、呼吸・排泄・糞と擬糞の排出・死亡によって減少する。付着生物の呼吸と排泄に伴って栄養塩の排出と溶存酸素の消費が行

われ、糞・擬糞・死体は直ちに海底の好気性デトリタスに輸送されるものとした。このモデルを用いたシミュレーション結果によると、浮体直下のクロロフィルa量の低下や栄養塩濃度の上昇が再現されなかった。この原因の一つとして、まず付着生物量の見積もりが正確でないことが挙げられた。付着生物量はメガフロート・フェーズI浮体に付着した生物量の計測結果より決定されたが、付着している生物の半数以上は死亡しているとの報告²⁾を考慮したため、付着生物量を計測値の半分程度に見積もった。この他の原因として、以前より用いていたモデルでは死亡した付着生物が直ちに海底に輸送されることになっていたが、死亡した付着生物がそのまま浮体直下にデトリタスとしてとどまり、さらにバクテリアによる分解を受けて栄養塩として再生する可能性も考えられる (Fig.2(b))。従って本研究では、Fig.2に示した2通りの付着系モデルを用いた数値シミュレーションを行った。

2.4 計算領域と離散化

本研究では、最小幅 60m のメガフロート・フェーズII浮体を設置する計算を行うため、浮体周辺海域は少なくとも 60m 幅の格子で分割する局所細分化格子法を採用する必要がある。Fig.3 に東京湾と浮体周辺海域の格子分割方法を示す。水平方向には、浮体周辺海域を 60m 幅の正方格子で分割し、浮体から離れるに従って 180m・540m・1620m の正方格子で分割した。また、鉛直方向には、不等間隔に全部で 15 層に分割するマルチレベルモデルを用いた。なお、図中の Station C は浮体縁部から内側に約 20m 入った浮体直下の計測場所であり、Station E は浮体端部から約 2m 外側に出た場所である。運動方程式や移流・拡散方程式などの支配方程式の計算は、各変数を正方格子に対してスタッガードに配置し、有限差分法で離散化することによって実行した。

Fig.3 Modeling of Tokyo Bay and of the sea area adjacent to Phase-II Mega-Float Model

2.5 計算条件

2.4 で述べたような局所細分化格子法を用いた数値シミュレーションを行う場合、格子数が増大することとタイムステップの制限が厳しくなることにより、季節変動をも含めた長期間の計算を行うには多くの時間を費やすこととなる。従って、本研究における計算対象期間は、付着生物の活動が活発となり、その結果浮体による影響が大きくなると予測される夏季から秋季に着目することとし、2000年8月1日から9月30日の2ヶ月間とした。

ただし、浮体周辺における海洋環境の季節変動を把握

し、かつ観測結果との直接的な比較による数値モデルの検証を行うために、細分化を行わない格子を用いたリアルタイムシミュレーションを行った (Case 1)。計算対象期間は1999年11月1日から2000年10月31日までである。開境界における海面変位は、約半月周期の潮汐に伴う海水流動の変動を考慮するため、主要4分潮の重ね合わせとして与えた。また、水温や化学・生物変数については、公共用水域水質データより推定された月ごとの平均値を用いたが、成層の効果を考慮するため水平方向には同じ値、鉛直方向には異なる値を与えた。東京湾に流入する河川は主要6河川 (Fig.3) を考慮し、流量と水温や有機物・栄養塩濃度などの値については、1996年と1997年の流量年表・公共用水域水質データより推定された月ごとの平均値を与えた。気象条件については、風速・風向・日射量・気温・大気圧・相対湿度は、メガフロート・フェーズII浮体上で30分おきに計測されたデータを与え、降水量・雲量は1996年と1997年の気象庁月報より推定された月ごとの平均値を与えた。数値シミュレーションは、海洋環境変動がある程度定常となるまで4年間行い、4年目の計算結果について観測値との比較・検討を行った。

局所細分化格子法を用いて浮体を設置する計算を行う場合は、Case 1の計算結果の中から2000年8月1日のものを取り出して、細分化された格子にそれぞれの変数を補間することによって初期値を設定した。また、境界条件については、Case 1の計算に用いた計算条件のうち、2000年8月と9月に相当する条件を与えた。浮体の喫水は1mとし、浮体底面における摩擦については海底摩擦と同様の方法で考慮に入れた。

本研究において行った計算条件をまとめると以下のようになる。まず、局所細分化格子法を用いて浮体を設置しない計算 (Case 2) を行った後、付着生物の取り扱いに関して、

- ・ 計測された付着生物の約半数が生存しているとした場合 (Case 3)
- ・ 計測された付着生物のすべてが生存しているとした場合 (Case 4)
- ・ 計測された付着生物の約半数が生存し、付着生物の死体がデトライタスとして浮体直下にとどまるとした場合 (Case 5)

の3通りの計算を行った。なお、付着生物量については、1997年7月と10月にメガフロート・フェーズI浮体の4ヶ所で計測された生物量⁸⁾の平均値 $1265\text{g}/0.09\text{m}^2$ を 1m^2 あたりの炭素量に変換した値 $394\text{gC}/\text{m}^2$ を参考にした (一般に二枚貝やウニ・ヒトデ類など顕著な殻をもつものでは、湿重量の6~8%が有機物量、有機物量 $\times 0.4$

Fig.4 Vertical profiles of averaged current velocity at Station E (Observation: October 12, 2000 · October 23, 2000. Prediction: September 1, 2000 · September 30, 2000)

が炭素量であると概算される⁹⁾。従って、Case 3 と Case 5 における付着生物量の初期値は 195gC/m^2 、Case 4 における付着生物量の初期値は 390gC/m^2 とした。

3. 数値モデルの検証

3.1 物理モデルの検証

Fig.4 に Station E における各層の平均流速・流向と鉛直方向に平均したものとを示す。図中の置点脇に示されている数字は海面からの距離を表す。観測結果は2000年10月12日から23日、計算結果は2000年9月の1ヶ月間の平均値である。また、計算結果については、防波堤等により影響を受ける局所的な流れを再現するために行った Case 2 の結果を示している。観測結果・計算結果ともに、鉛直方向に平均した流れはおおよそ東方に 30mm/s となっている。また、表層における流向が南東方向で、底層に向かうにつれて反時計回りにずれていく様子も一致しているが、計測結果では海面下 10m 付近で顕著な流向の変化が見られるのに対し、計算結果ではあまり明瞭には再現されていない。さらに、計算結果について、第1層では風の影響を受けるために流れの様子が表層の他の層とは異なったものとなっており、また底層では海底地形の影響を受けて流れ場は複雑になっているようである。

Fig.5、6 にそれぞれ1999年11月1日から2000年10月31日における水温と塩分の時系列を示す。計測結果・計算結果ともに、Station E の海面下 1m から海面下 19m まで 2m ごとの位置における値を示しているが、海面下 11m の水温の計測データは不良であると思われるためここでは省略している。水温は年間を通して約 10°C から 28°C まで変動しており、また水温成層は $5\sim 10$

月頃まで発達し、7～8月に上層の水温と下層の水温との差が最大で約 10°C に達している。塩分については、底層では季節にかかわらず約 $32\sim 33\text{psu}$ ではば一定しているが、表層では夏季に低くなり冬季に高くなる季節変動を示している。表層塩分の計測結果については、電気伝導度センサーへの生物付着の影響によりやや観測精度が低いことにも注意する必要があるが、計算結果よりも表層塩分の変動が大きい。これは、本研究の河川と降水量に関する境界条件に関して、2000年の時々刻々変動するデータがまだ公表されておらず、過去の1月ごとの平均値を用いているために、計算結果では表層の塩分変動が実際よりなだらかになっているものと考えられる。

3.2 化学・生物モデルの検証

Fig.7 に 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6月7日以前のデータについては、Station E における観測データが存在しないため、参考データとして浮体の影響を受けている Station C における観測結果を示す。クロロフィル a 量が夏季に多く冬季に少ない季節変動を示し、かつおおよそ $0\sim 25\mu\text{g/l}$ の範囲で変動している様子は観測値と計算値とで一致している。しかし、観測値では7月頃にクロロフィル a 量が急速に上昇しているのに対し、計算値では5月から10月にかけてクロロフィル a 量が多い状態が続いている。この様な相違の原因としては、数値モデルでは植物プランクトンが比較的低い日射量でも最適な光合成を行うように設定されていることや、内湾域と外洋域の境目付近に位置する当該海域における植物プランクトンの群集構造が複雑であることなどが考えられ、光合成のモデル化やパラメータの設定についてさらなる検討を行う必要がある。

Fig.5 Time histories of water temperature observed at Station E of Phase-II Mega-Float model moored off Oppama (November 1, 1999 - October 31, 2000)

Fig.7 Time histories of chlorophyll-a observed at Station E of Phase-II Mega-Float model moored off Oppama (November 1, 1999 - October 31, 2000)

Fig.6 Time histories of water salinity observed at Station E of Phase-II Mega-Float model moored off Oppama (November 1, 1999 - October 31, 2000)

Fig.8 Time histories of dissolved oxygen observed at Station E of Phase-II Mega-Float model moored off Oppama (November 1, 1999 - October 31, 2000)

次に、Station Eにおける溶存酸素量の時系列を Fig.8 に示す。溶存酸素量の季節変動に注目してみると、基本的に海水への溶解度の増す冬季に増加し、夏季に低下する傾向を示している。ただし、観測結果では8月下旬頃に溶存酸素量の急激な増大が見られるが、計算結果ではそのような様子は見られない。この観測結果における溶存酸素量の急上昇の時期は、確かに植物プランクトンの光合成が盛んな時期ではあるが、観測されたクロロフィル a 量と溶存酸素量との間に明確な対応は見られないため、有機物の分解による酸素消費量と再曝気などの他の要因も含めて再検討を行う必要がある。

Fig.9 に 2000 年 9 月 12 日 13:00 における Station E のクロロフィル a 量、リン酸態リン、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、珪酸態珪素の鉛直分布を示す。まず、上層のクロロフィル a 量については、計算値がやや大きいものの定量的にはほぼ一致しているが、海

面下 8m 付近からクロロフィル a 量が急激に低下する様子は再現できていない。このような海面下 8m 付近の濃度の変化は、クロロフィル a 量の急変現象には及ばないものの、栄養塩の鉛直分布にもわずかに見られるため、浮体設置海域において見られる海面下 10m 付近を境とした成層構造を正確に再現する必要がある。次に、栄養塩濃度は基本的には表層で低く、海底に向かうにつれて上昇する鉛直分布となっている。これは、同時期に表層で活発に行われる光合成によって栄養塩が消費されるためであると考えられ、クロロフィル a 量の鉛直分布とも対応している。また、5 種類の栄養塩のうち、特に珪酸態珪素の濃度は上層で低く、下層で高い顕著な鉛直構造をなしているが、これは珪酸塩以外の栄養塩が表層付近で比較的速やかに再生されるのに対し、珪酸由来の有機物は分解速度が遅く、海底に沈降した有機物から再生されるためであると推測される。数値シミュレーション

Fig.9 Vertical profiles of chlorophyll-a, phosphate, ammonia, nitrite, nitrate, and silicate at Station E at 13:00 on September 12, 2000

Fig.10 Horizontal distributions of residual current around Phase-II Mega-Float model on September 30, 2000

においては、有機物の分解による栄養塩の再生速度はすべて同じであるとしているために、珪酸態珪素の顕著な鉛直構造が再現されていないものと考えられる。

4. 浮体の海洋生態系に与える影響

4.1 浮体周辺海域の残差流

Fig.10 に浮体を設置しない場合 (Case 2) と浮体を設置した場合 (Case 3) の2000年9月30日0:00から12時間25分間 (当該海域で卓越するM₂分潮の周期に相当する) の表層の残差流を示す。Fig.4 で示したように、浮体設置海域は東方に向かう流れが卓越しているが、浮

Fig.11 Vertical profiles of water temperature, chlorophyll-a, phosphate, ammonia, silicate, and dissolved oxygen at Station E at 13:00 on September 12, 2000

体直下では、海水と浮体底面との間の摩擦によって流速が極めて小さくなっている様子が分かる。しかし、浮体を設置した場合の周辺海域における流れ場は、浮体を設置しない場合とほとんど同様のパターンを示しており、浮体による影響は小さいと考えられる。

4.2 浮体直下の濃度分布

Fig.11 と Fig.12 に Station E と Station C における 2000 年 9 月 12 日 13:00 の水温、クロロフィル a 量、リン酸態リン、アンモニア態窒素、珪酸態珪素、溶存酸素量の鉛直分布を示す。ここで、亜硝酸態窒素と硝酸態窒素については浮体による影響がほとんど見られなかったので省略した。水温については浮体による影響は確認できないが、その他の項目については浮体直下でクロロフィル a 量と溶存酸素量の低下、栄養塩濃度の上昇が見られる。浮体直下でクロロフィル a 量が低下する原因として、植物プランクトンが遮光効果によって光合成できないことも挙げられるが、植物プランクトンが付着生物によって過・摂取されることが主要因であると考えられる。このことは、有効層でかつ海面下 5m より深い位置では浮体による影響が見られないことから推測さ

れる。また、浮体直下において栄養塩濃度が上昇するのは、付着生物の排泄や死体の分解に伴う栄養塩の溶出によるものと考えられる。付着生物は、本来沈降してより深いところで分解されるべき有機物を体内に取り入れ、浮体直下に留めておくという役割を果たしている。このような表層における栄養塩の高濃度化は、植物プランクトンの光合成を促す可能性があり、栄養塩の溶出フラックスなどについてのより詳細な調査が必要である。最後に、溶存酸素量が浮体直下で低下するのは、付着生物の呼吸や有機物の分解によって酸素が消費されるためであると考えられる。ただし、上層の溶存酸素量は計算結果でおよそ 2mg/l 程度低下しているものの、貧酸素状態とはなっておらず海洋生物に大きな影響を及ぼすには至っていないと推測される。

4.3 付着生物の取り扱い方法による相違

Fig.13 に 2000 年 9 月 12 日 13:00 における Station C のクロロフィル a 量、アンモニア態窒素、溶存酸素量の鉛直分布を示す。ここでは、栄養塩の中で浮体による影響が最も顕著であったアンモニア態窒素について取り上げ、その他の栄養塩については省略することとする。

Fig.12 Vertical profiles of water temperature, chlorophyll-a, phosphate, ammonia, silicate, and dissolved oxygen at Station C at 13:00 on September 12, 2000

Fig.13 Vertical profiles of chlorophyll-a, ammonia, and dissolved oxygen at Station C at 13:00 on September 12, 2000

なお、計算期間中の付着生物の平均存在量は Table 1 に示すとおりであり、Case 3 と Case 5 では炭素量で約 180gC/m^2 、Case 4 ではその約 2 倍の 377.7gC/m^2 である。まず、クロロフィル a 量については、付着生物量が多い Case 4 の上層の値が Case 3 と Case 5 に比べて若干小さくなっているものの、その差は非常に小さい。これは、表層における植物プランクトン量が相当低下しており、付着生物による有機物摂取が制限されるためであ

ると考えられる。アンモニア態窒素については、Case 3 では上層の値が約 $10\mu\text{mol/l}$ であるのに対し、Case 4 および Case 5 ではその約 1.5 倍の $15\mu\text{mol/l}$ 程度となっている。この原因としては、Case 4 では付着生物の量が多いために排泄量も多くなっていること、Case 5 では付着生物の排泄に加えて、付着生物の死体の分解に伴って栄養塩が再生されていることが考えられる。次に、溶存酸素についてみてみると、上層の値が Case 3 では約 4mg/l

Table 1 Averaged values of sessile organisms biomass and of oxygen consumption velocities in the simulated period

	Case 3	Case 4	Case 5
Averaged Biomass (gC/m ²)	181.6	377.7	183.3
Respiration (mg/m ² /day)	24.9	41.0	22.4
Decomposition (mg/m ² /day)	0.0	0.0	15.9
Total (mg/m ² /day)	24.9	41.0	38.3

であるのに対し、Case 4 と Case 5 では約 3mg/l となっているのが分かる。ここで、浮体直下における単位面積当たりの酸素消費速度を算出してみると (Table 1)、付着生物による排泄・呼吸に伴う酸素消費量は付着生物が多く存在する Case 4 で最も多く 41g/m²/day、Case 3 と Case 5 ではそれぞれ 24.9g/m²/day、22.4g/m²/day となっている。Case 3 および Case 4 における浮体直下の酸素消費速度は前述のもので全てであるが、Case 5 ではこの値にバクテリアによる付着生物の死体の分解に伴う酸素消費速度 15.9g/m²/day が加わるために、合計すると 38.3g/m²/day となる。従って、Case 3 に比べて Case 4 と Case 5 で酸素消費速度が大きくなる結果となり、表層における溶存酸素量が低下したものと考えられる。また、本研究室による 2000 年 8 月 28 日の計測結果¹⁰⁾によると、酸素消費速度は 54.4~82.9g/m²/day となっており、Case 4 および Case 5 の計算結果の方が現実に近いものと考えられる。しかしながら、計算結果は計測で得られた値よりもやや小さな値を示している。さらに、本研究では計算期間が 2 ヶ月間と短いために、付着生物の海底への脱落による底生生態系への影響についてはほとんど見られなかった。しかし、Fig.13 の溶存酸素量の鉛直分布を見ると、Case 5 の下層の溶存酸素量が Case 3 や Case 4 に比べてやや高くなっているのが分かる。これは、Case 5 では付着生物の死体が浮体直下で分解されることで海底への負荷が減少し、バクテリアによる有機物の分解に伴う酸素消費速度が小さくなったためである。

4.4 浮体の海洋生態系への影響

ここでは、浮体による影響が最も大きいと考えられた Case 5 の計算結果について検討する。Fig.14 に 2000 年 8 月 31 日の 1 日平均の植物プランクトン、アンモニア態窒素、溶存酸素量について、浮体を設置しない Case 2 の計算結果からの変化の割合の水平分布を示す。Fig.14 で示したように、浮体直下では植物プランクトンと溶存酸素量が減少し、アンモニア態窒素は増加している。当

Fig.14 Variations of phytoplankton, ammonia, and dissolved oxygen when Phase II Mega-Float Model is installed. The numbers in these figures (V) are calculated by the following equation.

$$V = (\text{Case 5} - \text{Case 2}) \times 100 / \text{Case 2}$$

該日は南よりの風が卓越し、表層の流れはやや北向きであったために、浮体の影響を受けた表層海水は浮体北方に向かい、防波堤にぶつかった後は西方へ流れていく。浮体による影響は浮体から遠ざかるにつれて急激に小さくなっている様子が分かる。特に、浮体直下の高栄養塩の海水が周辺に広がることによる光合成の活発化が予測されたが、元々栄養塩が豊富に存在する東京湾では光合成が栄養塩による制限をあまり受けていないために、栄養塩濃度の上昇が一次生産量の増加に結びついていないようである。また、浮体外側で光合成が活発化されて植物プランクトン量が増加したとしても、再び浮体

直下に戻ると付着生物による摂取を受ける可能性も考えられる。いずれにせよ、本計算結果からは、浮体による影響は浮体周辺に限られ、東京湾全体に大きな影響を及ぼすことはないと考えられる。

5. 結 言

本研究で得られた結論を以下にまとめる。

- ・ メガフロート・フェーズII浮体周辺海域を対象としてリアルタイムシミュレーションを行い、観測値と計算値との直接的な比較による数値モデルの妥当性の検証を行った。海洋物理環境については、浮体周辺海域の残差流や水温・塩分変動特性に関して、計測値と観測値とは良好に対応していた。次に、海洋化学・生物環境については、まずクロロフィル a 量と溶存酸素量の季節変動は定量的に概ね再現されているが、夏季に見られたそれらの値の急変動は表現できていないことが判った。また、クロロフィル a 量や栄養塩の鉛直分布については、分布パターンが定量的にほぼ一致していたものの、海面下 10m 付近を境とした成層構造に伴う濃度の急変現象は再現されておらず、成層構造を正確に表現する必要があると考えられる。一方、底生系モデルに関しては、観測データが不足しているためにモデルの妥当性が十分に検証されていない。従って、今後は底生環境に関する観測データの取得に努めることが重要であると考えられる。
- ・ 3通りの付着生物の取り扱い方法を用いて、メガフロート・フェーズII浮体が周辺の海洋環境に与える影響について調査した。浮体直下におけるクロロフィル a 量と溶存酸素量の低下、および栄養塩濃度の上昇は比較的良好に再現されていた。また付着生物の取り扱い方法による浮体直下の濃度変化の違いは顕著には見られなかった。しかし、酸素消費速度の計測結果との比較によると、計測された付着生物が全て生存しているとした場合、及び付着生物の死体が浮体直下に留まるとした場合の方が一致度は良いようである。ただし、本研究における付着系モデルの検証は、浮遊環境の観測結果からの間接的な検証にとどまっており、底生系モデルの精度をさらに向上させるためには、付着生物の生態についてのさらなる知見の蓄積が望まれる。従って、今後は付着生物の生態に関する現場調査・室内実験を行い、得られたデータを用いて付着系モデルの検証を行うことが重要であると考えられる。一方、浮体による影響は浮体設置海域付近に限られることが示され、付着生物より排泄された栄養塩が光合成の活発

化には結びついていないようであった。

以上に述べたように、底生系・付着系モデルの精度向上のためにはさらなる観測データの蓄積が必要であるため、現在は底生生物や付着生物に関する調査を開始しており、その成果については近いうちに公表する予定である。また、今後の課題としては、本研究で用いた生態系モデルを、仮想の超大型浮体式構造物周辺の数値シミュレーションに適用し、浮体の大型化および設置海域の特性と浮体が海洋環境に与える影響との係わりについて検討を行う予定である。

なお、本研究の一部は、運輸施設整備事業団の平成 11 年度運輸分野における基礎的研究推進制度による委託研究として、また現地海洋計測はメガフロート技術研究組合との共同研究として実施したものである。

参 考 文 献

- 1) 藤野正隆、多部田茂、加藤孝義、北澤大輔、松岡謙介、雪浦聖子：メガフロート・フェーズII浮体周囲の海洋環境の計測、日本造船学会論文集、第 190 号、2001
- 2) メガフロート技術研究組合：生態系環境影響評価方法の調査 Ⅰ.環境因子に関する調査 報告書、1998
- 3) 経塚雄策、胡長洪、長谷美広行、肥海昭雄：超大型浮体式海洋構造物が東京湾の水質と生態系に及ぼす影響について、日本造船学会論文集、第 181 号、1998
- 4) 北澤大輔、藤野正隆、多部田茂：超大型浮体が東京湾の浮遊生態系に及ぼす影響に関する研究、日本造船学会論文集、第 188 号、2000
- 5) D. Kitazawa, M. Fujino and S. Tabeta : Simulation Study of Coastal Ecosystem around a Very Large Floating Structure in Tokyo Bay, The 8th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, 2001
- 6) 藤野正隆、多部田茂、北澤大輔、金井大：東京湾内の海洋物理環境のリアルタイムシミュレーションに関する研究、日本造船学会論文集、第 186 号、1999
- 7) D. Kitazawa, M. Fujino and S. Tabeta : Predictions of Coastal Ecosystem in Tokyo Bay by Pelagic-Benthic Coupled Model, 20th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 2001
- 8) メガフロート技術研究組合：生態系の実海域計測—浮体モデル計測— 総括編 報告書、1998
- 9) 玉井恭一：マクロベントスの分布と生産、沿岸の環境圏(平野敏行監修)、フジ・テクノシステム、pp.244-253、1998
- 10) 秋山圭介：超大型浮体構造物の付着生物による溶存酸素濃度の変化に関する研究、東京大学大学院新領域創成科学研究科修士論文、2001