

衛星を用いたマウンド魚礁の 湧昇効果評価の可能性

POSSIBILITY OF EVALUATION OF UPWELLING EFFECT GENERATED BY A
MAN-MADE SEA MOUNTAIN USING A SATELLITE

熊谷幸典¹・鈴木達雄²・橋本 牧³・本田陽一⁴・今井康貴⁵・高橋正征⁶

Yukinori KUMAGAI, Tatsuo SUZUKI, Osamu HASHIMOTO, Yoichi HONDA, Yasutaka IMAI,
Masayuki Mac TAKAHASHI

¹東京大学大学院修士卒 総合文化研究科 (〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1)

²フェロー 株式会社アッシュクリート (〒151-0062 東京都渋谷区元代々木町30-13)

³水産庁漁港漁場整備部 (〒100-8907 東京都千代田区霞が関1-2-1)

⁴正会員 株式会社ジオスケープ (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-2-5)

⁵佐賀大学助手 海洋エネルギー研究センター (〒849-4256 佐賀県伊万里市山代町久原1-48)

⁶高知大学大学院教授 黒潮圏海洋科学研究科 (〒783-8502 高知県南国市物部乙200)

Possible enhancement of nutrient availability in the euphotic zone was challenged by lifting up subsurface nutrient-rich water in a coastal area. Man-made sea-mount was designed to enhance the rate of upwelling on continental shelf area. Since 1995, a project has been carried out for six years to build up a depth of 80m off Nagasaki Prefecture of Kyushu Island. During the research period, the availability of clear data sets of ocean color satellite images was about 4% of all scenes taken in this study area by the SeaWiFS sensors. Patchy areas of higher chlorophyll-a concentrations than the surrounding water were occasionally observed in the square area of about 10km * 10km where the sea-mount was built in summer. The geophysical locations occurring the high chlorophyll a patches corresponded with the area predicted by a mathematical simulation model.

Key Words : SeaWiFS, Sea-mount, Chlorophyll, local scale, upwelling

1. はじめに

1995年から2001年の6年間に渡り、長崎県生月島沖にて、海底に構造物（マウンド魚礁）を構築し、潮汐流による湧昇効果を利用して海域を肥沃化する実証実験が行われた（図-1）。マウンド魚礁設置後には、海域肥沃化効果の検証が必要であるが、海水中の植物プランクトンのクロロフィルa濃度分布を指標にして評価を行うことが有効である。

人工衛星によるリモートセンシングは、ある空間分解能で数100～数1000kmの範囲を同時に測定し、数日～数週間の時間分解能で繰り返し測定が可能である¹⁾。可視域リモートセンシングは、大気状態に大きく左右されるために時間分解能は悪くなるが、広域面積把握力と数週間～数ヶ月の時間分解能では、現在のところ他にかなう測定法はない¹⁾。

しかし、マウンド魚礁による湧昇効果は、比較

的小規模であると予想される。リモートセンシングのデータにも、マウンド魚礁以外の大きな影響が混入するため、肥沃化効果の検証にはなんらかの工夫が必要である。

今回は、生月島沖のマウンド魚礁の検証を通して、リモートセンシングを用いた肥沃化の検証方法についての考察を行う。

2. 方法

(1) 検証対象海域について

マウンド魚礁の設置場所は、長崎県北部に位置する生月島の北方5kmの沖合（北緯33.472度、東経129.430度）の水深約82mの海底である。1996年8月22日から9月24日に行われた定点一低水深連続観測などの事前調査によると、設置場所の海域は、底

が砂泥で、中層、下層ともに海水が南西－北東方向へ流動する傾向が強い²⁾。

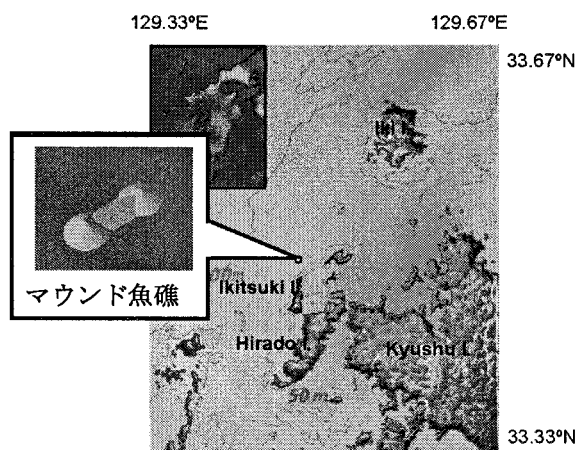


図-1 生月島沖のマウンド魚礁

(2) 効果海域の推定

表-1 移流拡散シミュレーションの諸条件

項目	条件
計算領域	
水平方向	82048.0m × 54355.5m
水深方向	120m
計算格子幅	
水平方向	500m～2000m
水深方向	10m
境界条件	
陸岸	フリースリップ
開境界	水位指定
海底摩擦係数	0.0026
渦動粘性係数	
水平方向	10.0 m ² /s,
鉛直方向	0.01 m ² /s
拡散係数	1.0m ² /s

マウンド魚礁周辺は潮汐流の影響を強く受けている。そこで、マウンド魚礁の効果影響範囲を確認するために潮汐流のシミュレーション計算を行った。流動計算は静水圧近似を用いない3次元計算とし、CIP法による差分法を用いた。また、マウンド魚礁の影響を受けた海水の移流拡散の履歴を確認するために、マーカー粒子による移流拡散計算を行った。

なお、鉛直密度分布は1996年8月のマウンド魚礁周辺観測で得られた値をモデル化し、全領域に適用した。開境界には短周期海洋潮汐モデル（国立天文台³⁾）によりあらかじめ求めた水位を与えた。その他の諸条件は、表-1の通りである。

マウンド魚礁設置地点の水深10m位置に60秒おきにマーカーを発生させ、2005年8月14日から16日の3日間の流れを図示したものが図-2である。マウンド周辺の海水は、マーカーの色が濃いものほど、マーカー発生日から時間が経っていない。この結果から、マウンド周辺の海水は、南西－北東方向へ流動すると推定される。

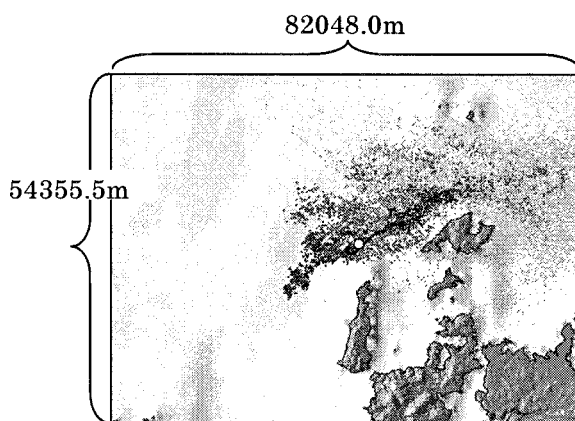


図-2 移流拡散シミュレーションの結果

衛星データの解析のため、シミュレーションの対象とした海域から、図-3の海域を検証海域として抽出し、さらに、16の矩形に分割した。シミュレーションの結果から、図-3のNo. 6, No. 7, そしてNo. 10にマウンド魚礁の効果が出ると考えられる。

(3) 衛星海色センサーSeaWiFSについて

衛星データは、SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field-of-View Sensor)のデータを用いる。SeaWiFSは、米国のOrbView-2に搭載された海色センサーで、海面の分解能は1.13kmである。同じ海域を観測する頻度は、約3日に2回であるが、雲のかかった日は観測できないことから、時間分解能はそれより低下する。

SeaWiFSは、マウンド魚礁設置前の1997年12月から、現在に至るまでの当該海域のデータを網羅している。

衛星データは、NASA DAAC がWEBサイトにて配布している 1997年から2004年までのSeaWiFSのLevel2クロロフィル濃度分布データを用いた。

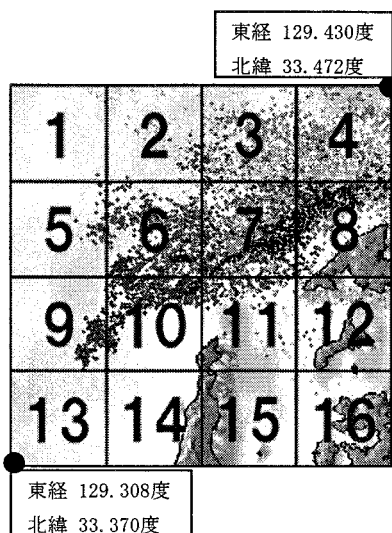


図-3 検証対象海域（中心がマウンド魚礁）

(3) 有効データの抽出

今回は、採取したデータのうち、雲のかかっていない領域が200ピクセルより多いものだけを用いた。また、現場海域では見られないと思われるクロロフィルa濃度の上限（ $7\text{mg}/\text{m}^3$ ）と下限値（ $0.04\text{mg}/\text{m}^3$ ）の入ったピクセルは集計から除外した⁴⁾。

また、時間的な偏りを減らすため、7日以上離れていないデータがある場合は、データ数の多い（つまり、雲の少ない）シーンを選び、それ以外は集計からは除外した。

(4) 評価手法

当該海域は、気候の影響など、マウンド魚礁が与えるよりも大規模な影響も受けている。そこで、今回はマウンド魚礁の影響のみを抽出するため、マウンド魚礁の影響を受けないと考えられなおかつ、陸地からの影響も受けにくい海域を対照海域として特定し、その海域との相対値で、効果海域の動きを見ることにする。

今回は、マウンド魚礁からみて潮汐流に直角でさらに陸域の影響の少ない、No. 2の海域を対象海域とする。

3. 結果

(1) 有効データ数

図-4に有効データが得られた測定日を示す。

有効データとして得られた数は、1997年12月から、2004年12月までの2,588日のうち、145日であった。さらに、そこから7日より日が近い情報は削ったので、今回扱ったデータ数は、102日であっ

た。これは、全観測日数の約4%になる。マウンド魚礁が完成したのは、2000年6月である。設置前のデータ数は、21シーン、設置後のデータ数が81シーンであった。

マウンド魚礁による肥沃化効果が出るのは、表層で栄養分が不足しやすい夏季であると考えられる。

しかし、今回は、マウンド魚礁設置前の夏季のデータがわずか2日しか取れなかったため、設置前の夏季の評価は困難である。

そこで、今回は設置後のデータのみを用いて、季節ごとのクロロフィルa濃度分布の違いをみることにした。

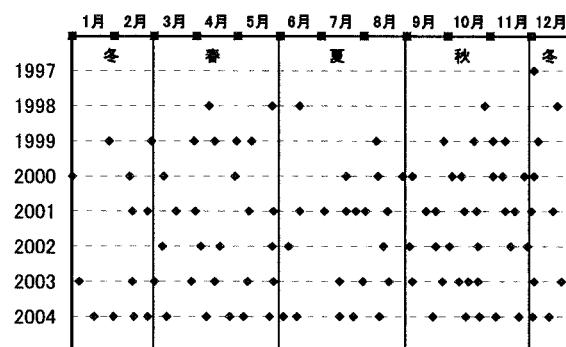


図-4 有効データが得られた測定日

(2) 季節ごとのクロロフィルa濃度比

マウンド魚礁設置後のデータを季節ごと（3月から5月が春季、6月から8月が夏季、9月から11月が秋季、12月から翌年2月が冬季）に分類し、それぞれの効果海域（No. 6, No. 7, No. 10）と、対照海域（No. 2）とのクロロフィルa濃度の比の度数分布をとると、図のようになった（図-5）。

成層が発達する夏季は、どの効果海域でも、濃度比が1.4倍を越える頻度が他の季節と比べて、高かった。一方、鉛直混合が促進される冬季は、濃度比が1.0倍よりも低くなる頻度が、最も高かった。

以上より、成層が発達する時期に対象海域に対する効果海域のクロロフィルa濃度比が高くなる日が多く出現する傾向が見られた。

4. 考察

(1) 取得データ数

有効データは4%と、平均して1ヶ月に1から2シーン程度となる。そのことから、季節ごとの変化を見ることはできるが、日単位の変化を追うことは難しいと言える。マウンド魚礁による肥沃化効果の検証を考えると、今回のように、季節ごとの違

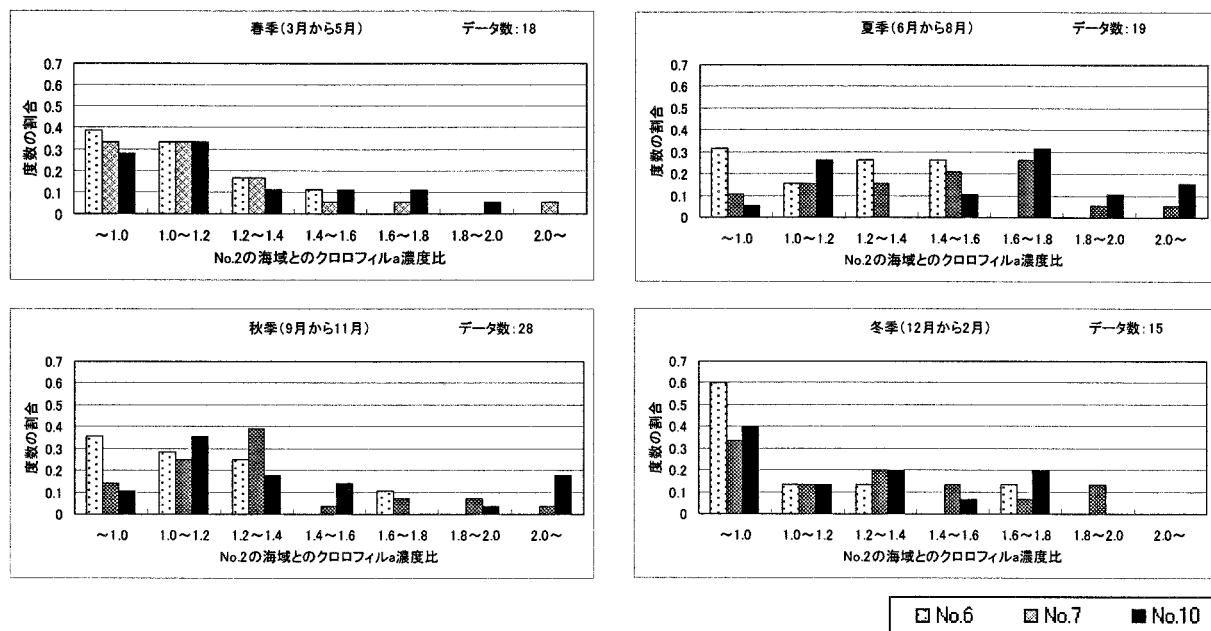


図-5 季節ごとの対象海域に対する、効果海域のクロロフィル a 濃度比の頻度

いをみたり、またマウンド魚礁設置前後のクロロフィル a 濃度の分布傾向をみたりするには十分な時間分解能であると考えられる。しかし、その反面、今回のように欲しいデータ（例えば、マウンド魚礁設置前の夏季のデータ）が得られない可能性があるというデメリットもある。

それでも、船舶などによる計測と比べ、広範囲のクロロフィル a 濃度分布を把握しやすいこと、また、過去にさかのぼってデータを取得可能であることなどから、衛星データの利用は非常に有効であるといえる。

(2) 生月島における肥沃化効果について

夏季には成層強度が強くなり、低層の栄養塩が有光層に添加されにくくなるため、マウンド魚礁による湧昇により添加される栄養塩の効果が対照海域と比較して現れやすいと考えられる。今回の検証によって、シミュレーションからマウンド魚礁により肥沃化効果が現れると予測された海域において、対照海域に対するクロロフィル a 濃度の相対値が、夏季に高くなる傾向が得られた。

シミュレーションの予測と一致していることと、湧昇効果が強調させると予測される夏季において特に、その効果が出ていることから、今回の傾向がマウンド魚礁によるものであるという可能性が考えられる。しかし、その反面、設置前の状況を把握できなかったことなどから、今後も継続した検証が必要である。

(3) まとめ

現在の衛星海色センサーの時間分解能は、1ヶ月に1,2日、空間分解能は、約1kmである。その性能でマウンド魚礁による局地性湧昇の現象を把握するためには工夫が必要である。

今回の生月での検証では、設置前のデータが不足していたことから、設置前後の比較はできなかったが、季節ごとと海域ごとの比較から、肥沃効果らしい傾向を検出することができた。しかし、当然のことながら、リモートセンシングデータのみでは結論は出せない。シミュレーションなど他の手法による検証結果などと情報を補完しあうことにより、リモートセンシング技術は、マウンド魚礁のような比較的小規模な現象の把握においても効果を発揮するといえる。

また、今回は海色センサーとして、SeaWiFSを用いたが、そのほかにも、OCTS（1996年11月から1997年6月まで）や、MODIS（2002年5月から）といった海色センサーのデータ、水温分布データも利用可能である。検証の対象となる海域によってはそれらのデータを組み合わせることも有効であると考えられる。

参考文献

- 1) GSFC, The marine resources experiment program (MAREX)., NASA, 120pp., 1982
- 2) (社)マリノフォーラム 21., 平成 8 年度 マウンド魚礁造成システムの開発に関する報告書（要約）, 13 頁, 1997
- 3) Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe, Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global

Model and a Regional Model around Japan, Journal of Oceanography, 56, 567-581, 2000
4) O'Reilly J. E. S. Maritorena. B. G. Mitchell. D. A.

Siegel. K. L. Carder. S. A. Garver. M. Kahru. And C. McClain, Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS, J. Geophys. Res. 103, 24937-24953, 1998