

ビデオ画像を用いた 表層海洋環境の計測について

SEA SURFACE WATER ENVIRONMENTAL MEASUREMENT USING VIDEO IMAGE

鈴木高二朗¹・竹田 晃²
Kojiro SUZUKI and Akira TAKEDA

¹正会員 工修 (独)港湾空港技術研究所 沿岸環境領域 (〒239-0831 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

²国土交通省 四国地方整備局松山港湾・空港整備事務所 (〒791-8058 愛媛県松山市海岸通2426-1)

New methods of sea surface current and water quality measurement using video images are introduced.

1) Using the wide images taken by the video installed on top of the high building, the front of the Tokyo bay mouth was observed. The movement of the front is clearly observed by the stack image taken from the video images. From the stack images of the foam left by the ship, we can also estimate the velocity at the monitoring site.

2) In order to estimate the water quality, we use the wake (the foam) left by the ship. The normalized R/B and G/B ratio were proportional to the concentration of the chlorophyll *a* measured by the water quality observation system installed on the ferry boat, "Tokyo-wan ferry Kanayamaru".

Key Words : Video image, current, water quality, Tokyo bay mouth, foam left by ship

1. 序 論

海の映像から海洋の様々な現象を捉える方法は、衛星を用いたリモートセンシングの分野で多く研究されており、クロロフィル a や濁度の分布など、広範囲かつ精細で、定量的なデータが得られるに至っている。しかし、衛星リモートセンシングによる海色モニタリングでは移動衛星を用いるため、同一地域を撮影するサンプリング間隔は長くなり、さらには天候によって映像を得られない場合もあり、全く情報が得られない日も多い。

しかし、ビデオカメラならば、霧の影響を受けて撮影できない場合もあるが、衛星リモートセンシングに比較すれば格段に多くの映像を撮影することができる。また、衛星には及ばないものの、高所にカメラを設置すれば10km以上の広範囲な海域を撮影することができる。

このようなビルなど高所からのビデオ動画像による海洋環境の観測としては砕波帯の水理現象の観測が精力的に行われており¹⁾、時間平均画像による汀線の位置や砕波帯の水深の推定などが行われている。また、このような解析をするために、画像の地図上の座標への変換方法や誤差なども十分に検討が行われている。

しかし、砕波帯以外の場所でのビデオカメラを用いた

観測は、これまでのところ衛星リモートセンシングに比較すると極めて限られていた²⁾。その原因としては、撮影できる範囲に比較して費用がかかり過ぎるといった問題点があったものと考えられる。

一方最近、監視カメラやそのハウジングなどの技術の進展が著しく、大容量ハードディスクやブロードバンド通信による遠隔地からのカメラの操作やデータ保存、あるいは安価なPCによる画像解析など、連続的な観測を実施する上で魅力的な材料が増えている。

そこで本研究では、ビデオ画像によって得られる特徴的な海洋現象を抽出し、特にビデオの得意とする広範囲で動的な現象の抽出方法について検討することとした。

また、高所からのビデオ画像だけでなく、船舶からの簡易な水質の推定手法についても検討することとした。

2. 高所からの撮影によるフロントの観測

(1) ビデオによる東京湾口のフロント観測

図-1は、2005年1月18日に千葉県鋸山ロープウェイ株式会社山頂駅(標高329m)で撮影した東京湾口の映像であり、東京湾フェリーが航行する久里浜一金谷航路の中

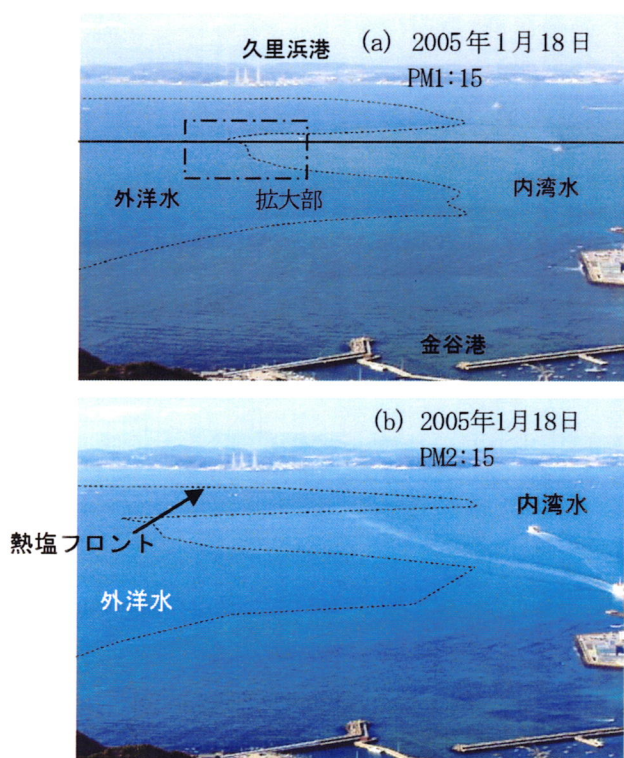


図-1 千葉県鋸山ロープウェイ山頂駅で撮影された東京湾口の湾口フロント（2005年1月18日） カラー映像では内湾水は緑がかった色、外洋水は藍青色をしている

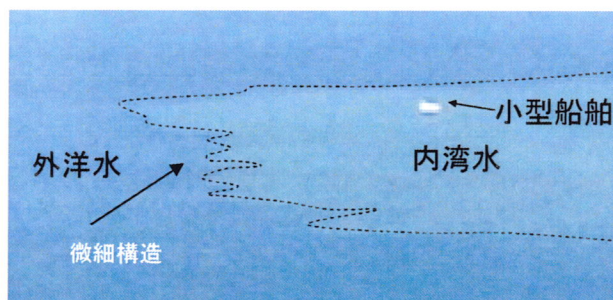


図-2 フロント部の微細構造

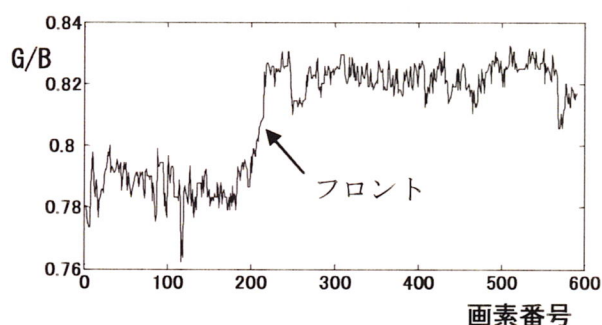


図-3 図-1(a) 黒線部のG/B分布

心に撮影している。(a)はPM1時15分、(b)はPM2時15分の映像である。撮影はSONY製のDVハンディカム（DCR-PC300K）で、1s間隔のスムーズインターバル録画で保存し、その中から映像をCanopus製ビデオキャプチャード（DV-Raptor RT Light）で取り込んでいる。

図-1には冬季東京湾口でよく見られる湾口フロント³⁾が見られる。内湾水は外洋水よりも白っぽい色であり、

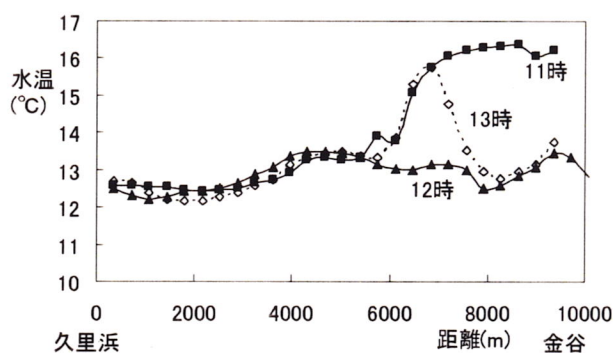


図-4 図-1が撮影された時間帯にフェリーで観測された水温分布 12時頃のデータでは東京湾側を航行したためフロントを通過しておらず、水温が低い

フロントは点線のような複雑な形状をしている。下げ潮だったため、外洋側にフロントが移動している。さらに、図中の破線部を拡大してみると、図-2のようにソルトフィンガーのような凹凸も見られる。なお、カラーの映像では、外洋水と内湾水はそれぞれ青色、緑色に偏った色をしている。

映像は通常、R(赤)、G(緑)、B(青)の輝度値に分けられ、それぞれ0～255までの範囲の値をもっている。

図-3は、図-1(a)の黒実線部のG/B分布である。フロント部で大きく変化しているのが分かり、その位置の抽出が容易であることが分かる。

図-4は、同時帯に東京湾フェリー“かなや丸”によって計測された表層の水温である。フェリーは神奈川県久里浜港を出港した時は外洋側を、千葉県の金谷港を出港したときは東京湾側を航行するため、金谷港を出港したPM12時にはフロントを通過しておらず、水温が低くなっている。このようにビデオ画像観測では、より面的な観測ができるため、船舶を用いた観測と組み合わせることによりフロントの形状のような複雑な海洋構造の動きを把握することが可能である。

図-5は、図-1の黒線部を抜き出し、時系列に並べたものである。フロント①が潮流（下げ潮）により徐々に外洋側へ移動していることが分かる。

また、図-5には船舶が通り過ぎるとその後に、航跡波②と航跡の泡③が徐々に移動しているのが分かる。航跡波は外洋側と内湾側の2方向に進んでいるのに対し、航跡の泡は潮汐（下げ潮）によって1方向（外洋側）に移動している。

航跡の泡はその場の流れの速さ（図-5の場合は外洋へ向かう速度）によって移動しているものと考えられ、流れ場が一樣であると仮定すると、泡の描いた白線の傾き、この場合は距離（距離）/時間（縦軸）をとれば、流速を求めることが可能である。

通常、船舶搭載型のADCPでは、サイドローブの影響で表層数mの流速を計測することができない。東京湾フェリーに搭載したADCPの場合も、フェリーの喫水を考慮すると表層から10m以深から流速が計測されており、極表層の流速は計測できていない。そのような意味で極表層

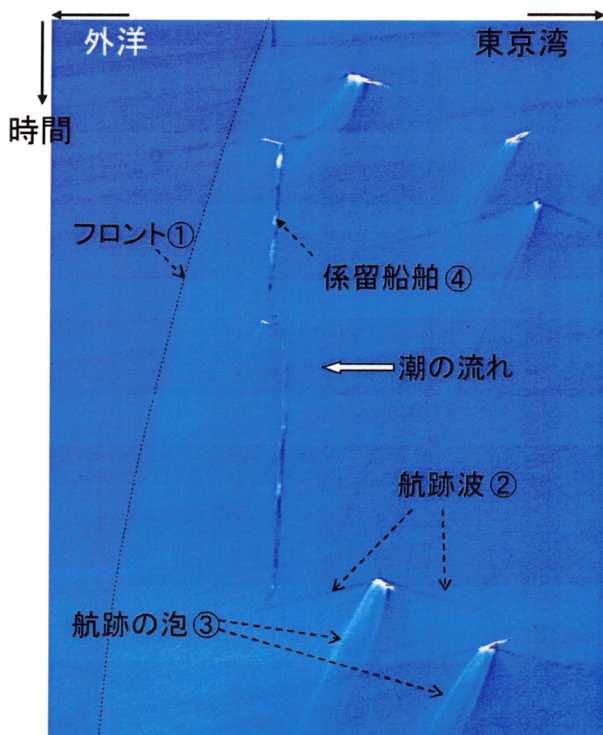


図-5 図-1の黒線部を取出し、縦軸に並べたもの

の流速を計測できる本手法は有益な観測手法だと言える。船舶が多く航行する場所であれば、航跡の泡の移動量を上記のようにして求めることで、その場の潮流楕円や残差流を推定できるものと考えられる。ただし、流速データを得るにはあらかじめ基準点を設けて座標変換する必要がある。今回の画像解析では基準点測量を行っていないため座標変換をしていない。

なお、図-5では③のような航跡の泡とは異なった④のような白い線が見られる。これはちょうど黒線部分に係留していた船舶があり、それが徐々に潮で流されていたことを示している。

また、フロントの傾きが、航跡の泡の傾きよりも小さく、移動速度が若干遅いことも分かる。湾口フロントが熱塩フロントの性質を示し、海水がフロント部で沈降し、その影響でフロント部の流速が小さくなっているものと推測されるが、より詳細な検討が今後必要である。

(2) 河口フロント

熱塩フロントだけではなく、河口フロントや潮汐フロントなども、色の違いが明瞭である。

図-6は、(a)2004年3月と(b)2004年4月16日の久里浜湾口の映像である。久里浜湾には平作川があり、大量の降雨の後には濁度の高い河川水で湾全体が満たされるようになる。(a)はちょうどそのような河川出水のあった次の日の映像である。一方、(b)は前日に降水は無かったものの、低気圧からのうねりにより、久里浜湾に隣接する野比海岸で漂砂が発生し、それが東京湾へ向かう潮汐（上げ潮）によって久里浜湾口を横切った時の状況を示している。

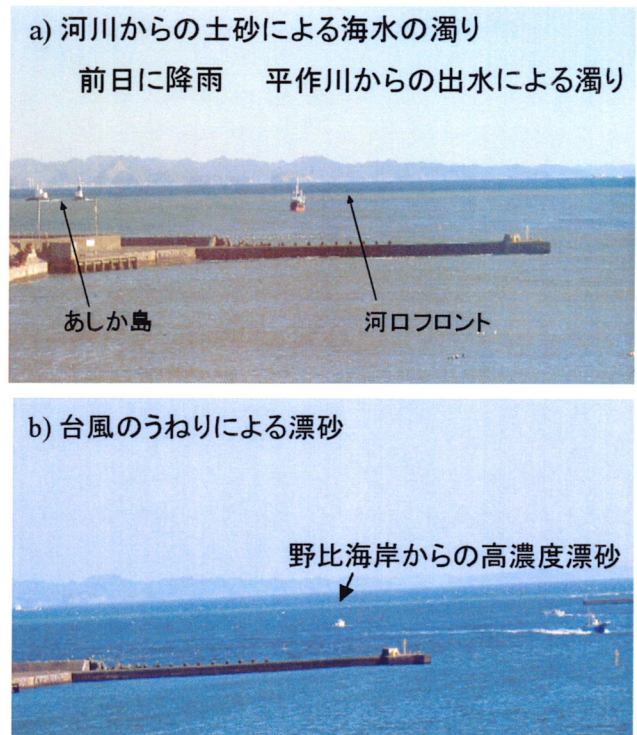


図-6 久里浜湾口の河口フロントと野比海岸からの漂砂

このように湾スケールのフロントの挙動ならば、ビデオ画像によって、その面的な形状や動的な挙動を捉えられるものと考えられる。

(3) 高所に設置したカメラによる映像と空の光の反射

このように高所に設置したビデオカメラを用いれば、広範囲な映像を取得することが可能である。しかしながら、水質自体を推定するのは、カメラが海面を斜めに見るため空からの光の反射率が大きくなり、難しくなる。

図-6は、俯角と光の反射率⁴⁾の関係を示したものである。俯角が小さいと反射率が大きく、20度ではP偏光（S偏光）で約20%（3%）になっている。海水の色から水質を推定するには、天空光の反射を海水そのものの色と分離することが望まれるが、そのためには俯角を大きくして見る必要があるものと考えられる。

図-7は、330mの高所にカメラを設置した場合の、カメラからの距離と反射率の関係である。距離が離れるに

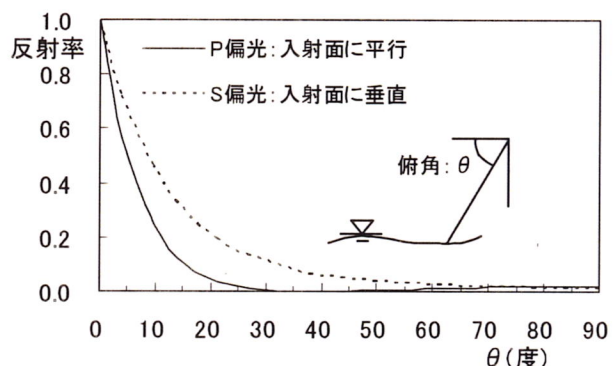


図-6 俯角と反射率

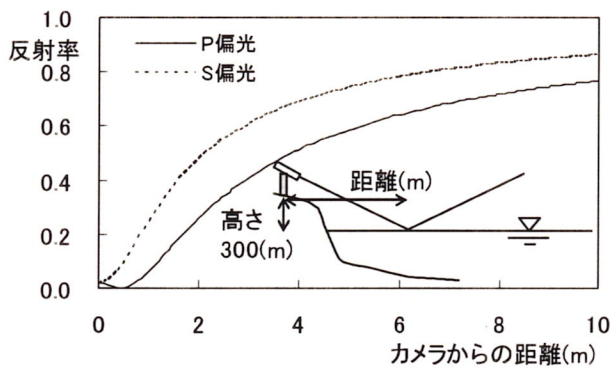


図-7 カメラからの距離と反射率

したがって、反射率が大きくなり、P偏光では1kmほどで20%、6kmでは80%にも達している。330mの高所に設置したとしても反射率が大きいので、陸上に設置したカメラから水質を推定するのは難しいものと考えられる。

3. 波による海色の特徴

図-6で示したように俯角が大きくなれば（水面を直角に近い角度で見るならば）、太陽や空からの光の反射率が小さくなり、相対的に海色が見やすくなる。図-8はその模式図である。

図-9は2004年5月21日に港湾空港技術研究所屋上から撮影した久里浜湾の映像であり、台風2号の影響によりうねりが入っている。久里浜湾内は平作川の出水とうねりによる底質の巻き上げで、水の色は茶褐色であった。

図-10は、図-9の黒線部の輝度の平均値 $((R+G+B)/3/256)$ と赤青比R/Bである。波が切り立った部分は、天空光の反射率が小さくなるため輝度値が小さくなるのに対し、R/B値は水の色を反映してその他の部分に比較して大きくなっている。

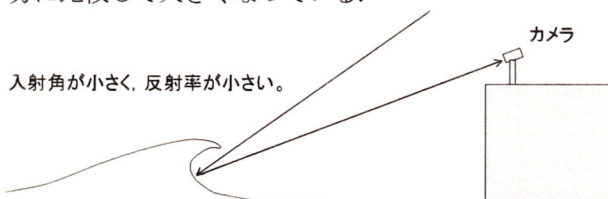


図-8 波面を見る場合の角度（水面を直角に近い角度で見る場合がある）

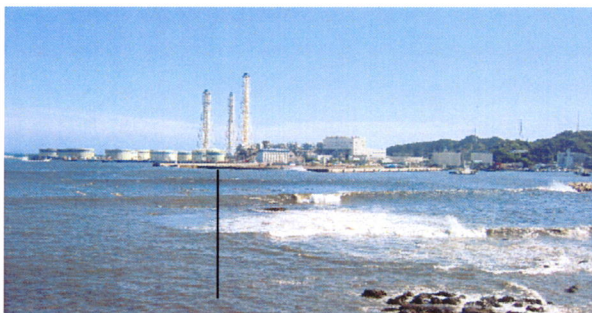


図-9 台風のうねりが来襲したときの久里浜湾

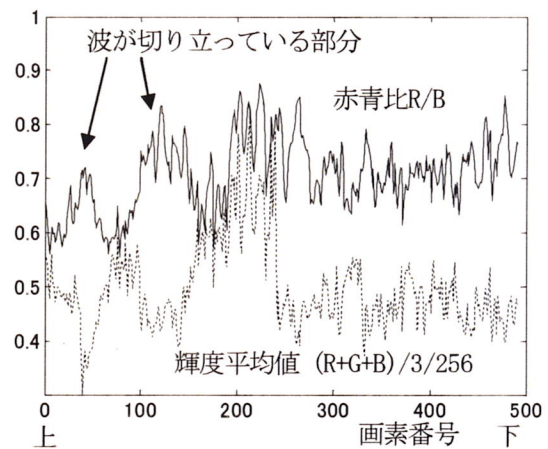


図-10 うねりと赤青比、および輝度平均値

4. 砕水画像による水質推定

(1) 砕水画像の原理

通常海を何気なく見ているだけでは、天空光の反射の影響などで、海が濁っているのかどうかなどよく分からない。しかし、図-11のような船の航跡にできる泡の色を見ると、海水が濁っているかどうかといったことがよく分かる。特に赤潮が発生している時に、船の後ろの航跡を見ると、何如に海水が赤いのがよく分かる。

そこで本研究では、船舶の後ろにできる泡の色から水質を簡易に推定する手法を検討することとした。なお、ここでは航跡の水塊のように何らかの形で気泡が取り込まれた水塊の画像を“砕水画像”とよぶことにする。

図-12は、なぜ航跡を見ると海水そのものの色が分かるのかを示した模式図である。まず、航跡部は波打っているため、図-10のように水面がカメラの視線と直角に近い角度で見られることにより天空光の反射が小さくなり、海水本来の色を抽出しやすくなっているものと考えられる。また、航跡の泡（白色）を通して海水を見ることになり、泡の白色で基準化された海水本来の色が抽出できているのではないかと考えられる。



図-11 船の後ろにできる航跡

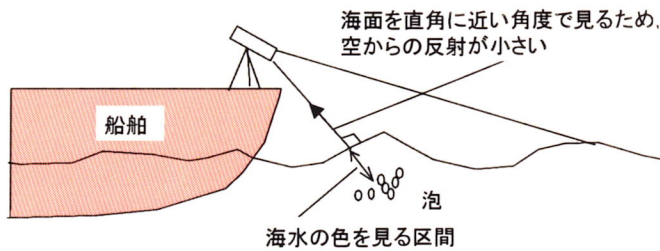


図-12 航跡の色の原理を示す模式図

(2) 砕水画像の平均、最大輝度、最小輝度画像

しかし、航跡の画像は、泡や海面が複雑に揺れ動くため、そのデータと水質データを直接結びつけるのが難しい。そこで、ここでは図-13のように航跡画像の1分間平均をとった画像(a)や1分間の画像から最大輝度値を抽出した画像(b)、最小輝度値を抽出した画像(c)を作成し、水質データ等と比較することとした。

図-14は、隅田川を航行するシーバスからその航跡をハンディーカムで撮影し、その映像の1分平均をとったものである。赤、青、緑の輝度値(a)を見る限りでは、傾向が全く分からないが、その比（赤青、緑青比）をとると、いずれも下流になるにつれて小さくなる傾向にある。高濁度の河川水が、河口に近くなるにつれて濁度が小さくなっていったのではないかと推察される。

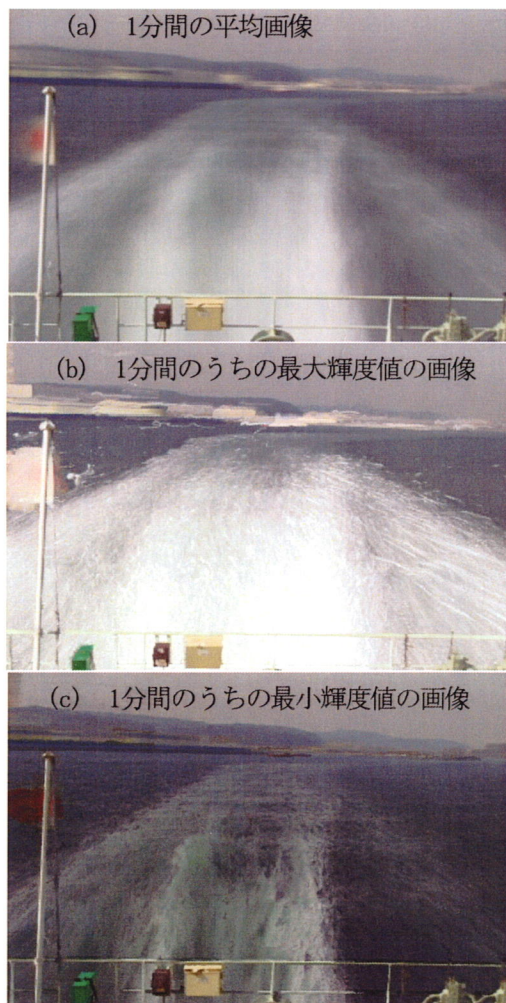


図-13 航跡の砕水画像の画像処理例

(3) 砕水画像の輝度値パターンと最大輝度による基準化

より定量的に水質を捉えるために、東京湾フェリーの船尾から砕水画像を撮影し、別途フェリーで計測されているクロロフィルaとの比較を行った。対象としたのは、2005年1月20日、1月28日、7月25日、7月27日、9月8日の映像であり、7月はクロロフィルaが大きく、赤潮も発生していた。

図-15は、図-13(a)に示されるような平均値の画像から得たR/B、G/Bとクロロフィルaの比較であり、相関が良くないことが分かる。

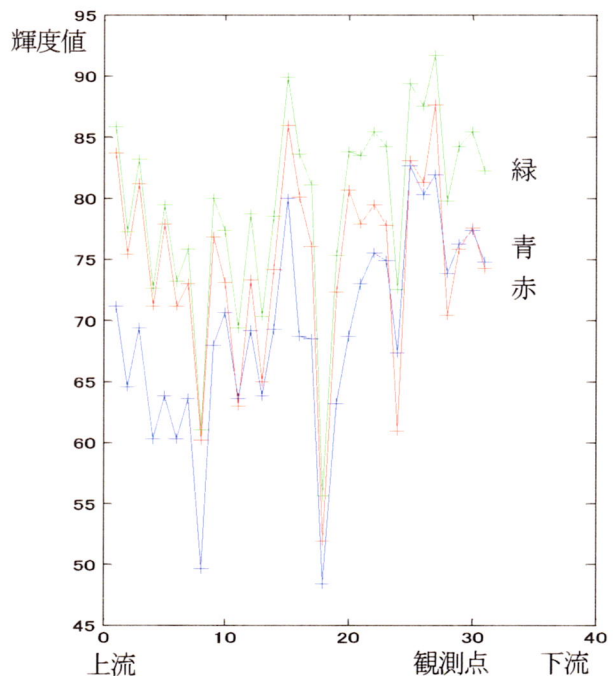


図-14(a) 航跡の泡の1分間平均値の輝度値（上流から下流にかけて隅田川で撮影）

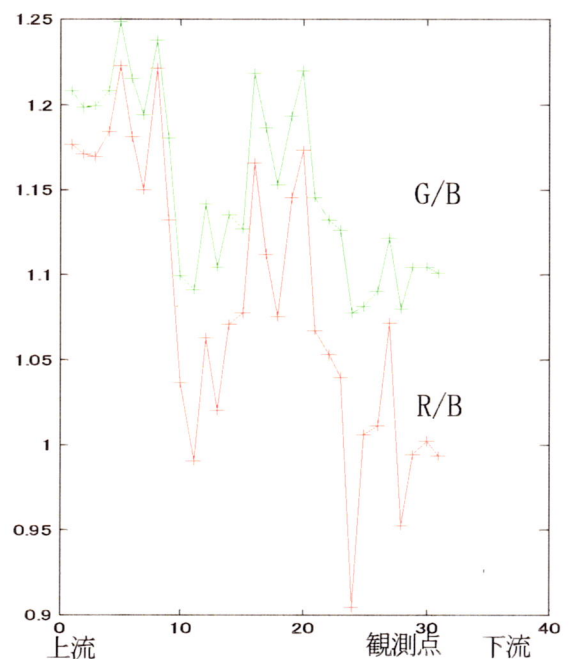


図-14(b) 航跡の泡の1分間平均値の緑青(G/B)、赤青(R/B)比 上流から下流にかけて小さくなっている

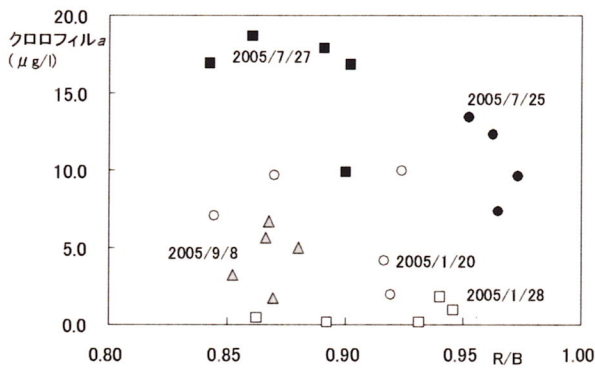


図-15 平均画像のR/Bとクロロフィルa

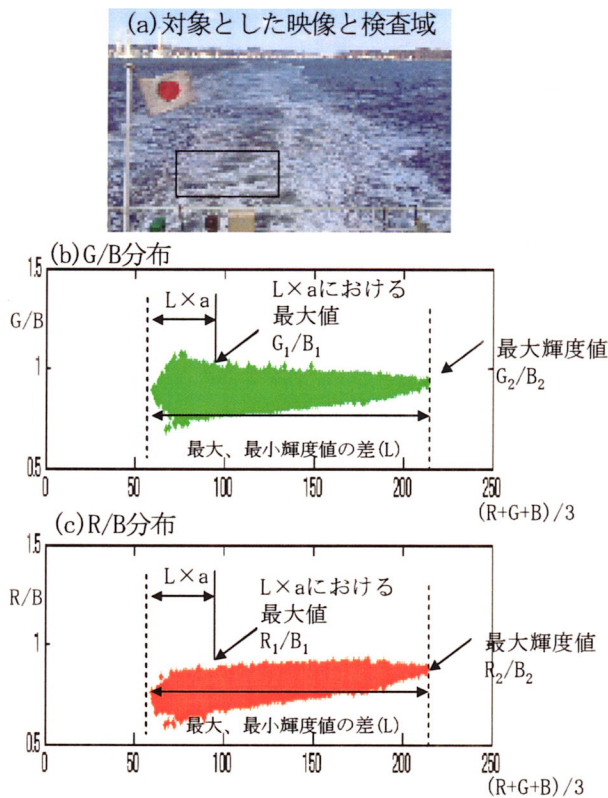


図-16 (a)の検査域での輝度値とG/B, R/B分布
(1秒間30フレーム中の全データを対象とした)

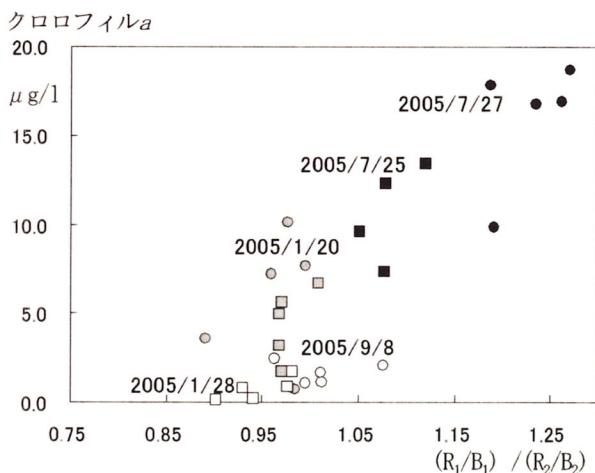


図-17 クロロフィルaと $(R_1/B_1)/(R_2/B_2)$ 分布

この原因は、空の色が日時によって違うために起きている。晴れの日には全般に空の色が青く、R/B、G/Bは小さくなる。一方、くもりの日には全般に空の色が白っぽい色になるため、R/B、G/Bが大きくなる傾向にある。

図-16は、1秒間(30フレーム)のデータに対して、輝度値 $(R+G+B)/3$ とG/BとR/Bの分布を示したものである。G/B、R/Bは輝度値が大きくなるとある一定の値 $(G_2/B_2, R_2/B_2)$ に収束する傾向にある。輝度値の最大は、海表面に出た泡で発生している。泡は白く見えるものの、R、G、Bに分解するとR/B、G/Bは日によって異なっており、晴天の日には全体に小さくなる傾向にある。

そこで、ある輝度値 $G_1/B_1, R_1/B_1$ を、輝度が最大となる $G_2/B_2, R_2/B_2$ を基準値として割ることによって正規化し、空の色の影響を受けないようにした。なお、輝度値 $G_1/B_1, R_1/B_1$ は、最小輝度値から a 倍の位置 $(L \times a)$ の値を用いることとした。ここで、 L は輝度の最大値と最小値の差である。

図-17は、 $a=0.20$ とした場合の $(R_1/B_1)/(R_2/B_2)$ とクロロフィルaとの関係を示したものである。基準値で正規化したことによって、 $(R_1/B_1)/(R_2/B_2)$ とクロロフィルaとに比例関係が見られる。

R/B、G/B値は、クロロフィルaだけではなく濁度によっても変化するものと考えられ、濁度との関係も含めることでより精度の高いクロロフィルaや濁度推定ができる可能性がある。さらに今後、こうした砕水画像による水質測定を砕波帯などの泡を含む水塊にも試す予定である。

5. 結 論

ビデオ画像を用いた2種類の表層海洋環境の計測方法について検討した。(1)高所に設置したビデオカメラにより、湾口フロントや河口フロントなどの面的な形状や動きが計測できること、船舶の航跡の動きを追跡することで対象海域の流速を推定できる可能性があることが分かった。(2)船の航跡にできる泡を含んだ砕水画像から、水質を簡易に推定する手法を検討した。最大輝度値でのR/B、G/Bを用いて正規化することで、クロロフィルaをうまく推定できることが分かった。

謝辞： 本調査を実施するにあたり、東京湾フェリー株式会社、鋸山ロープウェイ株式会社の方々から多大なご協力を頂いております。

参考文献

- 1) Lippmann, T.C and Holman, R.A.: Quantification of Sand Bar Morphology: A Video Technique Based on Wave Dissipation, Journal of Geophysical Research, Vol.94, C1, pp.995-1011, 1991.
- 2) 特許08-030765 “水域モニタリングシステム”
- 3) 鈴木高二朗・竹田晃：東京湾口フェリーによる海洋環境の2003～2005年の観測結果とその特性、港空研資料予定、37p, 2006
- 4) 杉森康宏・坂本亘：海洋環境光学、東海大学出版会、356p, 1985.