

船舶搭載海洋蛍光ライダーによる海洋水質調査

Ocean Survey by Ship-borne Oceanographic Fluorescence Lidar

篠野雅彦¹、樋富和夫¹、山之内博¹、森永勤²、村山利幸²、山岸進²M. Sasano¹, K. Hitomi¹, H. Yamanouchi¹, T. Morinaga², T. Murayama² and S. Yamagishi²¹海上技術安全研究所¹National Maritime Research Institute²東京海洋大学²Tokyo University of Marine Science and Technology**Abstract**

We have developed an oceanographic fluorescence lidar for observation of marine water quality with a pulsed laser of 355 nm wavelength.

An ocean survey has been operated in the coastal sea area in Japan by the lidar system mounted on a research vessel. The observation data by ship-borne lidar is consistent with the CTD sensor data, and the lidar observation results show the continuous fluorescent quality change of sea surface water from Tokyo Bay to the open ocean. Additionally, marine plankton concentration profiles are obtained at the open ocean area from the sea surface to around 10 m depth.

1. はじめに

海水中のプランクトンは、栄養塩、日光、水温等の条件により、海洋有光層で3次元の密度分布を持つ。この海洋プランクトン密度分布情報を得るための手法として、衛星搭載海色センサーによる海表面観測や、海洋調査船のCTDセンサー等による鉛直分布観測等が一般的である。しかし、衛星から観測できる海域は、日中の晴れた海表面のみである。また、調査船からのCTDセンサーや採水器による鉛直分布観測は、観測点で停船する必要があるため、連続的に広域を観測することが難しい。海洋ライダーは、この問題点を補うことのできる観測手法である。昼夜や気象条件等に関わらず、連続的に観測できる。また、船舶や航空機に搭載し、高速移動しながらの観測が可能である。海表面だけでなく、海面下の鉛直分布情報も得ることができる。我々は、波長 355 nm の UV パルスレーザーで励起し、波長 404 nm の水ラマン散乱光と、波長 450 nm 付近の蛍光を観測する海洋蛍光ライダーを開発した。また、この装置を船舶に搭載し、東京湾周辺の海洋水質調査を行った。

2. 海洋蛍光ライダー観測法

海洋蛍光ライダーで海水を観測する際の、観測波長 λ のライダー方程式は、

$$P_{\lambda}(Z) = P_0 \frac{C_{\lambda} A S(Z) \beta(Z, \lambda_0 \rightarrow \lambda)}{(n_w H + Z)^2} T_{\lambda_0}(Z) T_{\lambda}(Z), \quad (1)$$

$$T_{\lambda}(Z) = T_{\lambda}^{surface} \cdot \int_0^Z \exp(-\alpha(z, \lambda)) dz, \quad (2)$$

となる。ここで、 P_0 はパルスレーザー初期強度、 C_{λ} は観測波長 λ のライダー装置定数、 A は受光面積、 Z は海面からの距離、 $S(Z)$ は重なり関数、 λ_0 はレーザー波長、 $\beta(Z, \lambda_0 \rightarrow \lambda)$ は波長 λ に関するレーザー励起発光の後方散乱係数、 n_w は水の屈折率、 H は海面から受光部までの距離、 $T_{\lambda}(Z)$ は光の透過率、 $T_{\lambda}^{surface}$ は海面透過率、 $\alpha(z, \lambda)$ は波長 λ に関する消散係数を表す。海洋蛍光ライダー観測では、蛍光波長 λ_{FL} に関する観測強度 $P_{\lambda_{FL}}(Z)$ と、水ラマン散乱光波長 λ_{WR} に関する観測強度 $P_{\lambda_{WR}}(Z)$ との比をとることで、多くのパラメータを相殺することができる。

$$\frac{P_{\lambda_{FL}}(Z)}{P_{\lambda_{WR}}(Z)} = \frac{C_{\lambda_{FL}} \beta(Z, \lambda_0 \rightarrow \lambda_{FL})}{C_{\lambda_{WR}} \beta(Z, \lambda_0 \rightarrow \lambda_{WR})} \cdot \frac{T_{\lambda_{FL}}(Z)}{T_{\lambda_{WR}}(Z)}, \quad (3)$$

さらに簡単のために、 $T_{\lambda_{FL}}^{surface} \approx T_{\lambda_{WR}}^{surface}$ 、 $\alpha(z, \lambda_{FL}) \approx \alpha(z, \lambda_{WR})$ と近似すれば、

$$\frac{P_{\lambda_{FL}}(Z)}{P_{\lambda_{WR}}(Z)} \approx C \cdot \frac{\beta(Z, \lambda_0 \rightarrow \lambda_{FL})}{\beta(Z, \lambda_0 \rightarrow \lambda_{WR})}, \quad (4)$$

となつて、ライダー装置定数比 C を決め、蛍光も水ラマン散乱光も、散乱角分布はほぼ等方であると仮定することで、深さ Z における蛍光/水ラマン散乱光ライダー信号強度比が、プランクトンおよびその分解物の濃度を表す式となる。また、ライダー装置定数比 C が観測位置や時間経過で変動しなければ、船舶の姿勢や海面の波浪の影響で $T_{\lambda}^{surface}$ が変動したとしても、時間的にも空間的にも、連続して観測可能であることを表わしている。

3. 海洋蛍光ライダーによる海洋水質調査

このライダー装置を、東京海洋大学附属海洋調査船「青鷹丸」に搭載し、2007年5月28日から6月1日までの5日間、東京湾および相模湾海域の海水観測を行った。この調査船には、海洋蛍光ライダー以外にも、CTD センサーや、採水観測機等が搭載されており、観測データを比較することが可能である。

蛍光ライダー観測は1 Hz の繰り返しで行い、船舶の移動速度は約10ノットであった。また、約20箇所の定点でCTD観測を行い、その際には停船した。一定のライダー装置条件で観測された2波長蛍光ライダー信号について、深さ方向に全て積分することで海面表層ライダー信号強度とし、蛍光/水ラマン光ライダー信号比をとったものをカラープロットとしてFig.1に示す。東京湾中央部から湾口に移動するにつれて、海水の蛍光性が徐々に下がっていることがわかる。また、湾口において、内湾と外洋の海水によって形成された潮目の位置が、海水の蛍光性の違いとして観測されていることも確認できる。

東京湾内では透明度が低いため、蛍光ライダー観測による海水蛍光性鉛直分布を得ることは困難であった。一方、湾口の潮目通過後は、海水の透明度が高く、蛍光ライダー観測による鉛直分布が得られた。観測地点10のCTD観測と、その直後の蛍光ライダー観測データ、および観測地点11のCTD観測と、その直前および直後の蛍光ライダー観測データを、Fig.2に示す。2つの観測装置による鉛直分布の観測結果は、深度10m程度まで、傾向が一致していることがわかる。

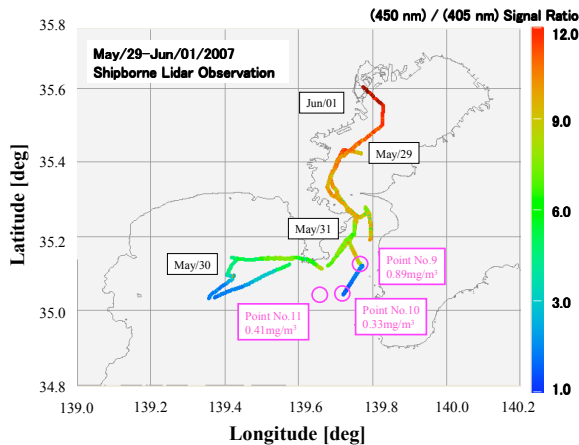


Fig.1 Color plot map of integrated lidar signal ratio of fluorescence to water Raman scattering in Tokyo Bay and Sagami Bay area.

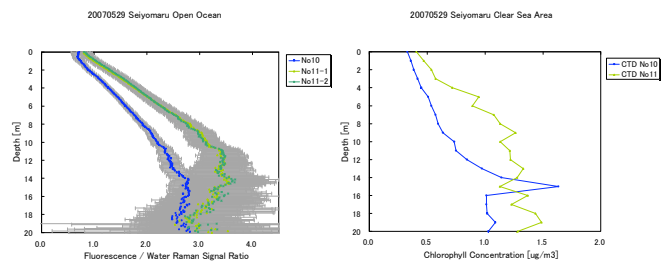


Fig.2 Vertical profile observation by oceanographic fluorescence lidar and CTD sensor (blue plot: observation point No.10, green plot: observation point No.11).

4. まとめ

今回の船舶搭載蛍光ライダー観測により、海水の蛍光性を調べることで、水質調査および潮目の位置観測等を行うことができた。今後、さらに観測を進め、沿岸海洋観測に役立てる予定である。

謝辞 本研究において、文部科学省科学研究費補助金の支援に深く感謝いたします。