OLS 可視・熱赤外画像に見られる漁船の分布と海面温度の関係

Relationship between the fishing fleet lights and SST distribution observed by OLS visible/infrared imagery

伊藤 涼*・長 幸平*・下田 陽久*・坂田 俊文*

Ryo ITO, Kohei CHO, Haruhisa SHIMODA and Toshibumi SAKATA

Abstract : The OLS (Operational Linescan System) sensor on board the DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) can observe the lights in the night. A nighttime OLS visible-near infrared (VNIR) channel image was overlaid on the simultaneously corrected OLS thermal infrared (TIR) channel image for the area around Japan. The OLS composite image showed a clear relationship between the location of fishing fleet lights detected by the VNIR channel and the sea surface temperature (SST) distribution observed by the TIR channel. Many fishing fleets were located at the cold side of boundary area of warm current and cold current. Since some types of fishes are likely to gather in certain sea temperature zones, the OLS composite image may provide useful information for the fishing fleets monitoring as well as for the marine resources management.

1. はじめに

200海里時代を迎え、国際的な規模での漁業・海洋資源の管理と合法的な操業が必要となり、的確な漁海況情報の収集が国際的にも求められている。我が国では、国内の漁船の操業状況については、各船舶からの報告が義務づけられているが、外国漁船に関する情報は充分とは言えずその操業状況の把握が急務となっている。

米国の軍事気象衛星 DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) に搭載された OLS (Optical Linescan System) センサは夜間の光の分布を観測するセンサとして知られている。スルメイカ漁、サンマ漁等では夜間漁船に照明を点灯し漁を行っており、OLS を用いることによりこうした漁船の光の分布を検知することができる。また、魚は、漁種により定まった水温範囲で生活しており、良い漁場となる潮境、暖

冷水の渦が海面温度分布から推定できることが知られている。為石¹⁾は、NOAA 海面温度画像を漁船からの操業報告と対応させることにより、マイワシ群が沖合いから沿岸水域への移動に暖水ストリーマを利用し、そこに漁場が形成されるメカニズムを明らかにした。また、アカイカ、スルメイカの漁場分布は、暖水渦の変動および形成が密接に関係していることも過去に報告されている²⁾⁻⁵⁾。そこで、本研究では、この OLS センサの可視チャンネルが捉えた漁船の明かりの分布と同時に観測された OLS 熱赤外チャンネルが捉えた海面温度分布の関係を解析し漁海況情報としての OLS データの有効性を検証した。

2. DMSP/OLS の概要

DMSP は地上833km を約101分で周回する太陽同期の極軌道衛星で気象衛星 NOAA 衛星と類似の軌道を描く。1機の衛星は1日2回地球上の同一地点を通過する。DMSP は米国空軍により、常時2機の運用体制がサポートされており、1日4回同一地点の観測が可能となる。現在は F12、F13及び F14の3機が運用されている。DMSP は全球的な雲の分布の観測を主目的とした OLS やマイクロ波放射計 SSM/I 等、表1に示した6つのセンサを搭載している。

*東海大学情報技術センター

Tokai University Research and Information Center

〒151-0063 渋谷区富ヶ谷2-28-4

2-28-4, Tomigaya, Shibuya-ku, Tokyo, JAPAN

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 37, NO. 4, 1998

表 1 DMSP の仕様

軌 道	太陽同期極軌道
高 度	833km
周 期	101分 (14.1周/日)
軌 道 傾 斜 角	98.8°
死 角	極点の周囲2.4°
データ送信速度	1.024Mbit/秒
送 信 周 波 数	2252.5MHz 226MHz
搭 載 セ ン サ	OLS (可視熱外センサ) SSM/I (特殊マイクロ波センサ/イメジャー) SSM/T (特殊マイクロ波センサ/温度) SSMT/2 (特殊マイクロ波センサ/湿度) SSJ/4 SSIES
そ の 他	米国空軍が管理 常時2機の稼働をサポート

表 2 OLS の仕様

チャンネル	波 長 帯	分 解 能		観測幅	データ長
		fine	smooth		
可視チャンネル (昼間用)	0.40-1.10 μ m	0.55Km	2.7Km	3000Km	6 bit
可視チャンネル (夜間用)	0.47-0.95 μ m	—	2.7Km		6 bit
熱赤外チャンネル	10.0-13.4 μ m	0.55Km	2.7Km		8 bit

OLS は約3,000km の観測幅を持つ、可視・熱赤外センサである (表 2 参照)。OLS の可視チャンネル (正確には可視近赤外チャンネル VNIR) は、昼間用と夜間用とがあり、両者を切り替えて使う。昼間用の可視チャンネルは、分解能が0.55km、センサ感度が $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Watts/m² strad である。一方、夜間用の可視チャンネルは分解能が2.7km、センサ感度が、 $10^{-5} \sim 10^{-9}$ Watts/m² strad である。それぞれ64階調で記録される。また、熱赤外チャンネル (TIR) の分解能は、昼夜を問わず0.55km で、190K°～310K°の範囲を256階調で記録される。また、分解能0.55km のデータを高分解能モード (fine-mode) データと呼び、それを平均化して実効的な分解能を2.7km としたもの、及び夜間の可視データ (分解能2.7km) を低分解能モード (smooth-mode) データと呼ぶ。OLS センサの夜間可視画像は、都市の明かり、オーロラ、焼畑の火などを捉えるユニークな画像として知られている⁶⁾⁷⁾⁸⁾。OLS データは、

NOAA National Geophysical Data Center (NGDC) が、データ配布のサービスを行っている。OLS データは1979年から写真による配布が行われてきたが、1992年9月8日からはデジタルデータによる配布も行われるようになった。

3. 解析対象領域・解析対象データ

解析対象領域は、図 1 に示した日本周辺の東経130°～145°、北緯30°～45°の範囲である。この領域は、黒潮の分流と親潮の潮境や、対馬海流と東シナ海流の潮境が形成される海域を含み、漁獲量が多く、海洋生物資源の管理の観点からも重要な領域である。衛星データは1992年11月14日観測のOLS データおよび NOAA/AVHRR データを使用した。この時期はスルメイカの南下時期にあたり、OLS 可視データからは漁船の分布を多数確認することができる。

図1 対象領域¹¹⁾¹²⁾

4. 解析手法

本研究では、夜間に観測された OLS/VNIR データから抽出した漁船の分布情報を海面温度分布、200海里漁業水域情報等と統合することによって OLS データによる漁海況情報抽出の有効性の検討を行った。

4.1 OLS 可視データからの光の分布域の抽出

まず、1 周回分の OLS データから対象である日本周辺の領域を抽出し、地上基準点を用いて等緯経度座標に変換した。画素サイズは NOAA/AVHRR データと同じ 1.1km とした。

OLS/VNIR データは、光の明るいところを強調し、漁船の光の分布を確認しやすくするための 2 値化処理を行った。しきい値を 31 とし、31 以下を 0 に、それ以上の値は 1 とした。しきい値は漁船の光の中心点が消えない値で、雲などの反射による明かりを消去できる値として、目視判読により決定した。結果を図 2 に示す。2 値化処理することにより、月の光の反射によって薄暗く光る雲が除去され、漁船や都市などの人工的な光の分布領域が良好に抽出できている事がわかる。

4.2 OLS/TIR データによる海面温度の選定

OLS/TIR のデータ値 D は以下の式により観測輝度温度 T_B に変換できる。

$$T_B = \frac{D \times (310 - 190)}{255} + 190 \quad (1)$$

通常、NOAA/AVHRR では熱赤外 2 チャンネルのデータを用いて大気補正を行うが、OLS は熱赤外チャンネルを 1 チャンネルしか持たない。そこでまず、OLS データと同じ日に観測された NOAA/AVHRR の 2 チャンネルデータを用いて大気補正を行い NOAA/AVHRR 海面温度データを作成した。次にこの海面温度データをトゥルースデータとして OLS/TIR の観測輝度温度を簡易的に大気補正することにした。なお OLS と NOAA/AVHRR の観測時間には約 1 時間ほどのずれがあるが、2 時期の海面温度分布パターンに大きな変化は見られなかった。

NOAA/AVHRR データの大気補正は、熱赤外域の ch 4 と ch 5 の観測輝度温度を用いる Sprit-Window

図2 OLS/VNIR 画像の 2 値化処理

法⁹⁾を使用して処理を行った。ここで使用した大気補正式を式(2)に示す。

$$SST = B \times x_4 + C \times x_5 + D(x_4 - x_5) \{ \sec(SZA) - 1 \} + E \quad (2)$$

但し、

SST：海面温度

x_4 ：チャンネル4の観測輝度温度

x_5 ：チャンネル5の観測輝度温度

SZA：衛星天頂角

$B = 3.457148$

$C = -2.443474$

$D = 0.314312$

$E = 0.901819$

なお、この日のNOAAの軌道では、1周回分のデータで対象領域全体をカバーすることができなかったため、2周回分のNOAA/AVHRRデータを最大値合成で統合し、対象領域のNOAA/AVHRR海面温度データを作成した。最大値合成したのは、以下の仮定に基づいている。

1. 雲は海面より温度が低いいため、最大値合成することによって、2時期の画像がオーバーラップしている領域では雲域の影響が少ないほうのデータを抽出できる。
2. 海流等による海面温度パターンの有意な変化はこの2時期の観測時間（18：13～19：51）の間には無い。

図3 OLS 観測輝度温度と NOAA 海面温度の関係

図4 OLS/TIR 海面温度画像

OLS 観測輝度温度データと NOAA/AVHRR 海面温度データの比較を行った結果を図3に示す。ここでOLSの観測時間は20：30、NOAA/AVHRRの観測時間は18：13と19：51である。横軸がOLSの観測輝度温度、縦軸が Sprit-Window 法により求めた NOAA/AVHRR 海面温度である。両者の関係は重相関係数 0.9341 で回帰直線は式3のようになった。

$$y = 1.3143x - 1.2117 \quad (3)$$

ここで、 y は NOAA/AVHRR 海面温度、 x が OLS 観測輝度温度である。

式(3)を利用し、各画素ごとに OLS 観測輝度温度を簡易的に補正して OLS 海面温度を求め、画像化した。結果を図4に示す。

4.3 海面温度データとの統合

ここで、以下のようにして、OLS/VNIR データと OLS 海面温度データの合成を行った。まず、2 値化処理した OLS/VNIR データの明るい部分に255の値を与え、それ以外の部分には OLS/TIR データにより推定した海面温度データの 0℃ から 25.4℃ までを 0.1℃ おきに 0 から 254 までの整数で表現し、両者の合成画像の作成を行った。次に合成画像をシェードカラー表示し、各画素の情報を容易に判別できるようにした。VNIR データの光の部分には、黄色を割り当てた。また、海面温度データは、合成したときに光の分布が確認しやすく、かつ、温度変化が容易にわかるように寒色系から暖色系に連続的に色を選択し（但し黄色は除

図5 OLS/VNIR と TIR 合成画像

図6 OLS/VNIR と TIR 合成画像拡大

外), 連続階調で表示した。結果を図5に示す。白～緑～青～赤へ変化する連続階調にすることによって, 海面温度の連続的な変化と海面温度の対応関係の認識が容易に, かつ光の分布も確認しやすくなった。

4.4 200海里漁業水域データとの統合

1994年11月1日～9日の9日間のOLS夜間可視画像から, 以下のようにして光の分布域を抽出・合成し, それに領海や200海里的漁業水域を重ね解析した。まず, 9日間で雲の少なかった合計10シーンの2値化画像データを加算処理し, 11階調の画像を作成した。1シーンのみで光の分布が確認された場合, 値は1とし, 2シーンの場合2, 10シーンの場合で10となっている。さらに作成した11レベルのデータを赤～黄色の連続階調でシェードカラー表示し光分布の頻度を色で表現した。観測日によっては観測されない海域や雲に覆われた海域がある点は考慮する必要があるが, 漁船の出現頻度を捉える目安にはなる。これに100万分の1日本周辺地図, 領海と漁業水域の境界線のデータと各国の漁船が海上保安庁に取り締まりを受けた海域のデータ(海上保安庁発行の海上保安白書¹³⁾から抜粋)を合成し, 漁船分布画像を作成した。結果を図10に示す。

図7 領域 a の海面温度ヒストグラム

5. 解析結果

5.1 合成画像が示す漁場と海面温度の関係

今回使用した OLS データの観測時期である11月は, サンマなどが産卵のために南下する時期に対応する。図5を見ると, 親潮域の潮境や日本海側で海面温度15度付近に漁船が広く分布していることがわかる。また, 画像上では漁船が集中して分布している海域が多数確認できる。

次に日本北部の海域を拡大した画像を図6に示す。図6のa海域は銚子沖の海面温度約20°Cの黒潮分流と約15°Cの親潮の潮境の海域である。この海域では潮

図8 漁海況情報 (1994/11/1～1994/11/15)
 < 漁業情報サービスセンター提供 >

図9 漁海況情報と OLS 画像の合成

図10 200海里漁業水域と OL/VNIR 合成画像

境の低温である親潮側に多数の漁船が集中していることが確認できる。この領域のヒストグラムを図7に示す。横軸が推定海面温度、縦軸が画素数である。黒いグラフがこの領域の海面温度ヒストグラム、白いグラフが漁船の明かりが検出された海域の海面温度ヒストグラムである。このグラフからも、約15°Cを中心とした冷水の親潮側に漁船の光の分布が集中していることが確認できる。つまり、グラフ上で16°C前後の度数が少ないことから、おそらくこの温度付近でフロントが形成されており、フロントの冷水側の15°C前後の水温が幅広くなっているところに漁場が形成されていることを示唆している。日本海側のb海域では暖水に巻き込まれた帯状の冷水に沿って漁船が列をなして入り込んでいる様子を確認することが出来る。図8は漁業情報サービスセンターが週間で発行している太平洋漁海況速報と日本海漁海況速報であり、図6のOLSデータと同時期のものである。この漁海況情報は、日本国籍の各漁船が漁をしている緯度経度を漁業情報サービスセンターに無線で報告し、それを同センターで漁船や商船等から送られてくる表面水温データとNOAA/AVHRR海面温度画像より求めた表面温度分布図にプロットしたものである。この漁海況情報にはサンマ・スルメイカ・カツオ等の漁を行った海域が記号で記されている。当時の漁海況情報に記されている漁場を図6の日本北部拡大画像にプロットしたものを図9に示す。当時サンマ棒受網漁船が操業していた位置(三角印)がOLSで捉えた光の分布と重なった。この海域の光の分布がサンマ棒受網漁船の操業によるもので、この海域に実際にサンマの漁場が形成されていたことが確認できた。また、サンマ棒受網漁船と同様にb海域ではアカイカ・スルメイカの南下期を捉える漁船の操業が確認できた。これらの結果は、OLSのVNIR・TIRデータ統合利用の有効性を示唆している。

5.2 200海里漁業水域と漁場の関係

海岸の低潮線や湾口等に引かれる直線の集合として領海法で定められた基線から12海里(約22km)の水域を領海と呼び、基線から200海里(約370km)内の水域を200海里漁業水域という。日本の周辺海域には好漁場も多く、日本の漁船以外にもロシア、韓国、中国、台湾といった近隣諸国等の漁船が多数操業している。このため、「外国人漁業の規制に関する法律」、「漁業水域に関する暫定措置法」等により、200海里漁業水域内等

における正常な漁業秩序の維持や水産資源の適切な保存及び管理が図られている。しかし、これらの外国漁船の中には、自船の水揚げ量を増加させるため、日本の漁業水域等において不法操業を行うものが跡を絶たない。そのため、海洋生物資源の枯渇等につながる恐れが懸念され、これらの取り締まりが課題となっている。

図10の解析結果から、1994年11月に山陰沖合いから九州西岸にかけての西日本周辺海域でスルメイカ漁等が盛んに行われていたことが推測される。画像からは光の分布の出現頻度が確認でき、それから良い漁場を推定することもできる。また、日本海側では漁業水域の境界域でも漁が盛んに行われ、中国、韓国の漁船が過去に取り締まりを受けている海域でも漁船の光の分布が捉えられている事がわかる。以上よりOLSデータおよびその統合利用は、情報量の少ない諸外国の漁船の分布や操業状況の把握および海洋生物の資源管理に有効であると考えられる。

6. まとめ

OLS/VNIRデータは夜間に漁を行っている漁船の光の分布を捉えることができる。本研究では同データを海面温度分布データと統合利用することにより、広域にわたる海面温度の分布と夜間に漁を行っている漁船の光の分布の対応関係を検証した。解析結果は、潮境や暖水渦等の周辺に漁場が形成されるというこれまでの定説を裏付けた。また、200海里漁業水域データとの合成画像は、この水域における漁船の無秩序な操業状況をよく捉えていた。OLSデータは、漁場形成機構の解明と情報が少ない諸外国の漁船の分布や操業状況の把握および海洋生物の資源管理に役立つものと期待される。

7. 謝 辞

本研究を進めるにあたり、漁業情報サービスセンターの為石日出生博士、北海道大学水産学部の斎藤誠一助教授に資料提供や、貴重なアドバイスをいただいた。またOLSデータの入手、処理に際しては、NOAA/NGDCにいろいろ協力いただいた。記して感謝します。

(受付日1998.5.11, 受理日1998.7.16)

参考文献

- 1) 為石日出生, 暖水ストリーマーと漁場の形成, 海洋科学, Vol. 25, No. 2, pp.105~111, 1993
- 2) 為石日出生, 衛星の登場と新しい漁業形成, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 11, No. 2, pp. 126~136, 1993
- 3) 為石日出生, 赤外画像から見た渦動の生成・成長と漁業, 空と海, Vol. 8, pp.1~13, 1986
- 4) 新谷久夫, 北部日本海沖合域におけるスルメイカの特性と漁場形成について, 水産海洋研究会報21, pp.44~48, 1972
- 5) 奈須, 奥谷, 小倉, イカ(その生物から消費まで), 成山堂書店, pp.69~239, 1996
- 6) Colwell R.N 編, Manual of Remote Sensing Second Edition, American Society of Photogrammetry, pp.664-670, 1983
- 7) Woodruff T., Sullivan, III, A 10km resolution image of the entire night-time Earth based on cloud-free satellite photograph in the 400-1100nm band, Int. J. Remote Sensing, vol. 10, No. 1, pp. 1-5, 1989
- 8) 中山, 田中, 菅, 「DMSP 全球夜間映像の作成と夜の光分布に関する地理学的考察」, 日本リモートセンシング学会, Vol. 13, No. 4, pp.1-14, 1993
- 9) McClain, E.P., William, W.G., Walton, C.C Comparative Performance of AVHRR-Based Multi-channel Sea Surface Temperature, Journal of Geophysics Research, Vol. 90, pp.11587-11601, 1985
- 10) 「米国軍事気象衛星 DMSP 概要」, コンカレント日本(株), 1994
- 11) 「高等地図帳」, 二宮書店, 1995
- 12) 杉森康広, 「海洋のリモートセンシング」, 共立出版, pp.18, 1982
- 13) 大蔵省印刷局, 「海上保安白書」, 海上保安庁, 平成7年度版, pp.105-109, 1995
- 14) 伊藤, 長, 下田, 坂田, 「OLS 可視・赤外画像に見られる漁船の分布と海面温度の関係」, 日本写真測量学会平成7年度秋季学術講演会発表論文集, pp. 147-15, 1995
- 15) 伊藤, 長, 下田, 坂田, 「データフュージョンによる海洋現象の解析」, 第3回リモートセンシングフォーラム資料集, pp.59-6, 1996
- 16) Cho, K., Ito, R., Shimoda, H., Sakata, T., Fishing Fleet Lights and Sea Surface Temperature Distribution Observed by DMSP/OLS Sensor, International Journal of Remote Sensing, in print, 1998