119 地球観測衛星「みどり(ADEOS)」による海の流れの可視化

鳥羽良明[○]・田中 佐・吉田和雄・村上 浩

(宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センター)

Flow Visualization of the Sea by Using the Advanced Earth Observing Satellite (ADEOS) "Midori"

Yoshiaki Toba, Tasuku Tanaka, Kazuo Yoshida and Hiroshi Murakami

Abstract

Some example of flow visualization of the sea by using the Advanced Earth Observing Satellite (ADEOS) "Midori" are presented. These include: (1) North-south flow pattern of the Kuroshio Extension, which was affected by slopes of the Japanese Trench, observed using Ocean Color and Temperature Scanner (ADEOS/OCTS), (2) Detailed structure of upwelling off Peru for non-El Niño event, observed using ADEOS/OCTS, (3) Flow visualization of the coastal current in the Isahaya Bay, Kyushu, before and after closing of the bay mouth, observed using Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer (ADEOS/AVNIR), and (4) Flow visualization of longitudinal vortices formed in the wind-wave boundary layer, observed using ADEOS/AVNIR.

1. はじめに

「みどり(ADEOS)」は1996年8月打ち上げられたわが国の地球観測衛星で、8つのセンサーを搭載し、種々画期的な観測を行っていたが、1997年6月30日、太陽電池パドルの事故で機能を停止した。ここには「みどり」で得られた海の流れの可視化に関する興味深い4つの事例を紹介する。

本講演は、可視化情報学会誌 Vol. 18, No. 69 (1998年4月)に掲載された口絵と同様の題材であるが、掲載されていない関連する画像を補足しつつ、さらに海洋流体物理学的な解釈を与えるものである。したがって、ここでは図は省略する。

2. 黒潮システムの日本海溝斜面の影響を受けた南北流パターン (海色海温走査放射計 ADEOS/OCTS による)

衛星の赤外放射計による海面水温 (SST) データは、海の極表層 (数 $10\mu\text{m}$) の水温であるため、日射などによる短時間の変化もあって、必ずしも流れの構造と対応しないこともある。これに対して、ADEOS/OCTS によるクロロフィル a の濃度は、海洋表層 30m 程度までの平均的な植物プランクトン濃度を表わしているため、「みどり」の SST 画像とクロロフィル a 画像の両方を組み合わせて見ると、流れの様子がよりよく分かる。SST 画像では、水温の高いところが黒潮・黒潮続流の流れであり、クロロフィル a 画像では、黒潮はプランクトンの少ないところに当た

る。北方には、春にプランクトンが増殖した親潮水がある。どちらも日本列島および雲は黒く見える。ADEOS 搭載の NASA 散乱計によって、海上風ベクトルの分布も同時に知ることができる。

黒潮システムが、1997 年春、2 月下旬と 4 月下旬と 2 回、特殊な南北流パターンを示した。海底地形を参照して画像を詳細に見ると、伊豆海嶺西斜面で北上し、海嶺を東にあふれ出した流れが東斜面 (日本海溝西斜面) に沿って南下し、次に日本海溝東斜面に沿う形でまっすぐ北上し、北緯 3 度付近まで達してからヘアピンのような形で南下し、北緯 3 度付近からようやく東進している。

さらに詳細に見ると、日本海溝の西斜面 (本州の東側) は北海道の南から全体に南向き、東斜面は全体的に北向き、そしてその東にも、同じ程度の波長で、南向き、北向き、南向きの流れが順次誘起されているように見える。

このような黒潮システムの流路の南北流パターンは、新しい発見であり、次のように推論された。すなわち、黒潮に深い流れが来て、海底地形に影響を受け、地球流体力学的に海嶺・海溝に沿った南北流が生じた。その際、陸棚斜面を含む海溝の幅と、海洋現象の特徴的なスケールを決める内部変形半径とがちょうど共振条件のようになって、その東側に同じ波長で幾つかの南北流が誘起されたのではないかということである。

黒潮が 1997 年春に、特に深くなったのではないかと推測されること (ある程度海洋観測資料による裏付けがある)、エルニーニョが今世紀最強の規模になっ

たこと、黒潮続流の緯度が 1996 年 12 月から 1997 年夏にかけて非常に南に偏っていたことは、まだ明らかではないが、大規模大気海洋相互作用の表われとして、連動したひとつながりの現象であることが予想される。(Toba, Y. and H. Murakami, 1998 参照。)

3. エルニーニョでないときのペルー沖湧昇の微細構造 (ADEOS/OCTS による)

低緯度で貿易風が通常に吹いているときには、ペルー沖で下層の低温の海水の湧昇が存在する。その一例を示す。クロロフィル a 画像を見ると、湧昇はバーストにも似た非定常現象であることが伺われる。しかし、ごく表層に日射で暖まった密度の小さい層があるためか、この湧昇は海面そのものには達していないようで、SST にはこの微細構造は表われていない。

SST 画像で、ペルー北部の北東から南西に向かう海岸に沿って、暖水が南西向きにやって来たのが見える。これは 12 月で、この時期に起こる季節的なエルニーニョかもしれない。それに対応した構造はクロロフィル a にも表われている。しかし、この暖水のコアでは、プランクトンが少なく、いっぽう周辺部は薄く広がっているからか、湧昇水と同程度のプランクトンが見えている。

4. 風波混合層の縦渦の可視化 (高性能可視近赤外放射計 ADEOS/AVNIR による)

1997 年 4 月 10 日の韓国タンカー事故による流出油の海面上の挙動を見るため、たまたま AVNIR を海域ゲインにしたため得られた非常に貴重な画像がこれである。Ch. 1 (0.42-0.50 μm), Ch. 2 (0.52-0.60 μm), Ch. 3 (0.61-0.69 μm) の合成画像を見ると、沿岸域を占める黄海からの濁った水が見えている。これに対して、Ch. 4 (0.76-0.89 μm) の画像では、縞模様のみが卓越して見えているが、海水中の光の消散係数からして、表層 0.5m 程度の現象のみを見ていることになるから、この縞模様はごく表層の現象であることが分かる。

この海域は水深 100m 以下で、流れは弱く沿岸を東から北東方向へ廻り込んでい。この日風は西南西から 7m/s で吹いており、1km 程度のスケールの細かい縞模様は風の方角にそっていると見られる。島の後方には、特徴的な乱れとともに、50km にも及ぶ静かな水面としての島のウエークが見える。細かい縞模様は下方の黄色い水の部分から引っぱり出されたように見えるところもあり、黄色い水によって可視化されていることから、風波の有義波高の 5 倍程度の厚さを持って風下に流される、風波下の特殊な乱流境界層

(DBBL, Toba, Y. and H. Kawamura, 1996) に生じた縦渦構造 (Langmuir 循環に対応) が可視化されたものと考えられる。鈴木靖の波浪モデルによる個人的情報によると、この時点での有義波高はおそらく数 10 cm 以下であったと推定されるから、この縦渦構造のもともとのスケールはずっと小さいはずであるから、1km 程度までの縞模様は、それが組織化されたものとみなされる。この組織化には、大気境界層の縦渦も関与しているのかもしれない。

この細かい縞模様に直角な、数 km のスケールの縞模様は、DBBL 下端に生じた不安定波 (密度成層があれば K-H 波) とみなされる。

5. 諫早湾締切り前後の流れの可視化 (ADEOS/AVNIR による)

諫早湾奥の 1997 年 4 月の締切前である 1996 年 12 月 14 日、および締切後の 1997 年 5 月 27 日の AVNIR 画像を示す。この程度のスケール (湾の幅約 7km) ではコリオリの力がきくので、締切前の画像では、透明度の低い (白っぽい) 湾内水は下げ潮時に湾の堤防の口を右側に片寄って流出し、口の左側内部に圧力の低い部分が生じ、浅い湾の中はまだ下げ潮中であるが、湾の外側が上げ潮になってくると、外側の透明度の高い水が口の左端から流入し、その流れの縁にシア不安定の波が生じているのが見えていると解釈される。また、外側が上げ潮になっているために、湾の口から流出した水は、ジェットが押戻されたように、扇形が膨らんだ形になっている。

締切後の画像では、干上がった海の部分と、河川水の流入状況とが見える。

参考文献

- 1) 鳥羽良明・田中 佐・吉田和雄: 地球観測衛星「みどり(ADEOS)」による海の流れの可視化。可視化情報学会誌 Vol. 18, No. 69 (1998 年 4 月)。
- 2) Toba, Y. and H. Murakami, 1998: Unusual behaviour of the Kuroshio/Kuroshio Current System from winter 1996 to summer 1997 revealed by ADEOS-OCTS --- Suggestion of topographically forced alternating-jet instability. To be published in J. Oceanogr.
- 3) Toba, Y. and H. Kawamura, 1996: Wind-wave coupled Downward-Bursting Boundary Layer (DBBL) beneath the sea surface. J. Oceanogr. 52, 409-419.