

資料

海面状態による衛星赤外画像上にみられる
見かけの海面水温上昇*

中村重久**

Sea state in relation to apparent high sea surface temperature
in the satellite infrared imagery*

Shigehisa NAKAMURA**

Abstract: Apparent high temperature of the sea surface observed in the infrared imagery of the NOAA satellites is studied in relation to sea state and/or sea surface waves. First, a conceptual model is introduced which suggests that the solar beam and the radiation on the sea surface could concentrate just neighbor the infrared sensor mounted on the satellites if the sea state is agitated and wave facets could be mirrors reflecting the solar beam to form a focus just neighbor the satellite. Considering the pixel size of the satellite thermal imagery, no possibility is for application of Cox-Munk's statistical theory in this case. A synoptic view is more appropriate for the model. Examples of the satellite infrared imageries are introduced for realizing the model is reasonable at understanding what informing the thermal imageries.

1. 緒言

人工衛星によって得られる赤外画像は、海面温度分布のモニタリングにひろく利用されている。超高解像度のAVHRR画像を利用した研究成果は、すでに多数にのぼり、ここで紹介するいとまがない程である。

一方で、人工衛星赤外画像のAPT（自動画像変換）を、実時間受信をパーソナル・コンピュータを用いて実行し、その画像の実用性も研究されている（たとえば、NAKAMURA, 1990, 1992, 1993a, 1993b）。

本文では、人工衛星NOAAの赤外画像（APTによる）を利用して、局所的海面温度の異常な上昇が、海面状態とくに海面波と関連があることについて、その要点を述べる。

2. 海面状態

はじめに、海面は平坦で、海面温度は海という黒体からの放射によって定まるものとする（正確には、灰体の放射と言うべきであるが、ここでは本質的なことではない）。この場合、単純な太陽光の海面反射があるかどうかのみを考えればよい。基本的には、たとえばSTEWART（1984）や日本リモートセンシング研究会編（1996）に記述されていることにしたがって考えればよい。

しかし、実在の海面は必ずしも平坦ではない。人工衛星から視るかぎり、地球の表面（近似的に球面）の一部である。

ここで、たとえば13時 JST 頃の人工衛星の可視画像を、本州南端付近の受信局で得たとすると、東シナ海に南北に長い楕円型の sun glitter が認められることがある。これは、かつて COX and MUNK (1954) が、航空機から見下した、海面の波群からの太陽光の散乱状態の写真を統計理論によって解析しようとした例と基本的に同等である。異なるのは、航空機が人工衛星であり、その高度が互に異なることである。さらに、航空機からの写真

* 1995年6月15日受理 Received June 15, 1995

** 京都大学防災研究所附属白浜海象観測所, 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田2347-7

Shirahama Oceanographic Observatory, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Katada-Hatasaki, Shirahama, Wakayama, 649-22 Japan

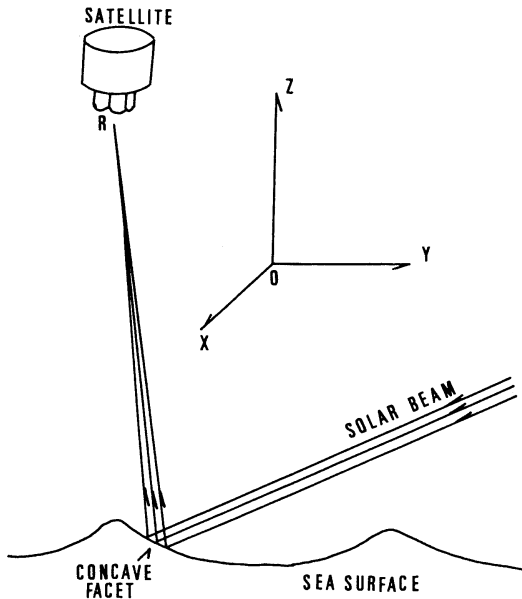


Fig. 1. A conceptual model of the solar beam and the radiation on the agitated sea surface on which the concave facets could act as mirrors with the foci just neighbor the sensor mounted on the satellite.

では、Cox and MUNK (1954) の場合、少くとも個々の波が弁別できた。しかし、人工衛星の可視画像では、情報源の海面は AVHRR で約 1 km 平方以下は弁別できない。ATP では約 4 km 平方以下は弁別できない。これは、画像上のピクセルの寸法によって定まる。したがって、Cox and MUNK (1954) の統計理論がそのまま、人工衛星の可視画像に適用できるとは考え難い。

さらに、人工衛星の赤外画像についてみても、画像上のピクセルの寸法で、海面からの情報は制限される。本文で対象とする ATP では、約 4km 平方が 1 ピクセルの占める海面に相当するので、個々の波をとらえ、上記の Cox and MUNK (1954) の統計理論をそのままではあてはめるわけにはいかない。

結局、最初から検討をすることが必要になる。

そこで、Fig.1 のように海面が波立っていて、波面の一部が凹面鏡のようになり、太陽光が波面で反射して、人工衛星の赤外線センサーに焦点を結ぶ様になったとしよう。海上の強風域や台風域から出たうねりは、その良い例と考えることができる。

海面が平坦ならば、海面放射によって、人工衛星の赤外線センサーは海面温度に対応した情報を受け取るはずである。したがって、海面が波立って Fig.1 のような

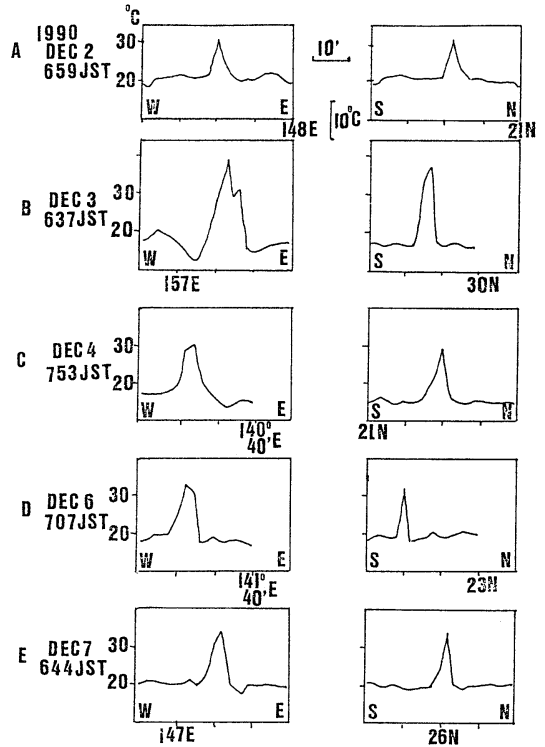


Fig. 2. Examples of apparent high sea surface temperature observed in the infrared thermal imageries of the NOAA satellites.

A) 1990 Dec. 2nd-06 h 59 m JST, B) 1990 Dec. 3rd-06h 37m JST, C) 1990 Dec. 4th-07h 53m JST, D) 1990 Dec. 6th-07h 07m JST, E) 1990 Dec. 7th-06h 44m JST. (Thermal patterns along the longitude and the latitude are shown).

条件を満しているときには、その情報は海面放射の増加としてあらわれることになる。この増加分を、本文では、海面状態と関連づけてみようとするわけである。問題は総観的問題となる。

人工衛星の赤外画像の 1 ピクセルの情報で何がわかるのであろうか。

3. 人工衛星赤外画像上の海面水温異常

ここで、人工衛星赤外画像を直接受信 (APT) した例について、海面水温異常の例を示す。受信局は、京都大学防災研究所附属白浜海象観測所 (概位: $33^{\circ}42'N$, $135^{\circ}21'E$) である。ここでは、人工衛星 NOAA の ATP 赤外画像を対象とした。

たとえば、画像のピクセルを調べていくと、海上の一部に、局所的に周囲の海面温度より $10^{\circ}C$ 以上も高い海域 (ピクセル) が認められる。そのような海域における周

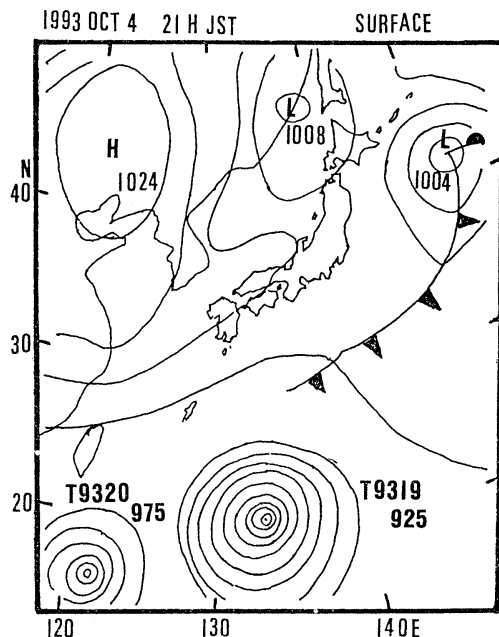


Fig. 3. Weather chart (surface) at 21h JST on 1993 Oct. 4th in which the two typhoons, T9319 and T9320 are included.

辺の海面温度と局所的高温部の分布には、一定の特徴がある。いくつかの画像の例について、その局所的高温部周辺の海面温度の東西方向分布（緯度沿い分布）および南北方向分布（経度沿い分布）をFig. 2に示した。それぞれの画像、それぞれの時刻で、上述の局所的高温部の地理的位置は一定しているわけではない。

この海面温度の異常高温は、画像受信時の走査線に原因するもので、受信装置または受信状態等によるものである可能性も含まれる。しかし、正常な受信状態で、正常な受信画像中のピクセルに対しては、異常高温は、現象としては異常であっても、情報としては正常であると解さなくてはならない。

ここで、Fig. 2をみると、いずれの日時の例でも、周辺海面水温と異常高温の極値との差は 10°C 以上である。そして、異常高温域は、面積としては、およそ $20 \times 10\text{ km}^2$ とみられる。なお、この場合には、受信装置の表示する海面温度を、そのまま正しいものとして読みとった。ただし、相対的な温度差に変るところはない。

ところで、気象庁の地上天気図によれば、1990年11月30日に台風9028号が紀伊半島南西岸に上陸した後北上した。その後、12月2-7日は比較的穏やかで移動性高気圧の影響下にあった。したがって、海面状態は、強風域を脱して、うねりが卓越する状況にあったものと考えら

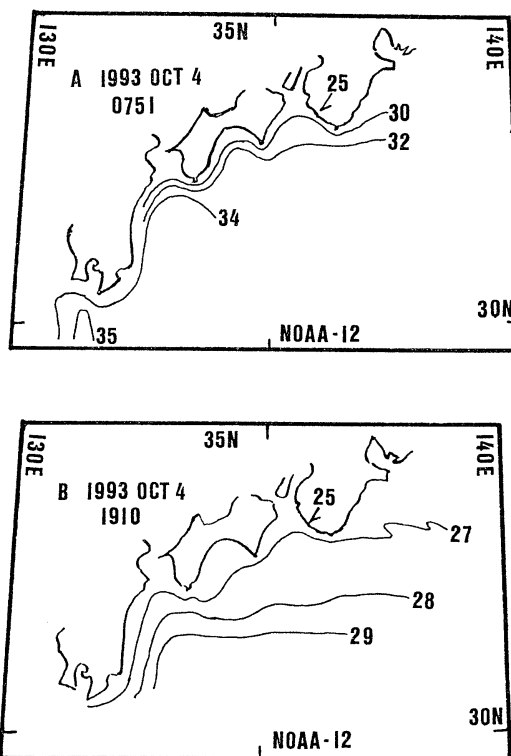


Fig. 4. Sea surface thermal patterns.

- A) 1993 Oct.4th-07h51mJST (apparent sea surface temperatures for the contours of 30, 32, 34 and 35°C and the reference is 25°C observed at the offshore tower station).
- B) 1993 Oct.4th-19h10mJST (apparent sea surface temperature for the contours of 27, 28 and 29°C and the reference is 25°C observed at the offshore tower station).

れる。すなわち、太陽放射あるいは海面放射が凹面状波面から人工衛星の赤外線センサー付近を焦点とする様な状態が出現していたものと解釈して妥当であると考えられる。このことから、Fig. 1に示す状況が現象として認められる可能性は高いことになる。

4. 遠隔台風と海面水温異常

台風は、一般に、北西太平洋赤道域で発生し、その後、北上して、中緯度帯に位置する日本列島に影響を及ぼす。このような台風の一例がFig. 3に示した台風9319および9320号である。この2つの台風は、図中では 20°N 付近にあって、日本列島からみれば、遠隔台風と言ってよい。

1993年10月4日7時51分JSTの衛星画像 (cf. Fig. 4

上段)では、西日本南沖の海面温度が異常に高くなった。とくに、九州南沖では海面温度が35°C以上となった。これが、10月4日19時10分 JSTには、西日本南沖で、海面温度は3~5°C低下した (cf. Fig. 4 下段)。

ちなみに、紀伊半島南西岸沖合の京都大学海洋観測塔の観測記録によると、Fig. 4の例に対応する時刻の表面水温は、7時51分 JSTには24.5°C、19時10分 JSTには25.0°Cであった。衛星画像で対応点での海面温度が共に25°Cであるから、観測塔を中心とした西日本南方沖の海面温度は、海面水温とみなしてもよさそうである。しかし、10月4日の朝の海面温度が、それから約11時間後に3~5°C低下することに十分な理解を得るためには、それ以前の海面温度の情報も必要である。

この場合、Fig. 4 Aの画像で、急に海面温度が高くなり、Fig. 4 Bでは、10月3日の状態に戻ったことが確認されている。すなわち、Fig. 4 Aは、海面温度と太陽放射による海面状態の情報とが重ねあわせであらわれたものと解釈できる。これが、たとえ、原理的に、Cox and MUNK (1954)の理論の適用の対象とはならなくても、画像のピクセル単位の情報にもとづく総観的な解釈には、Fig. 1のような力学的背景を考える必要がある。

このような問題に関連して、海面における電波の後方散乱や前方散乱に関する研究が、近年、わが国の内外で多くみられるようになったが、そこでは、対象海域の波のアンサンブルを考えたり、ブラッグの散乱理論の応用を考えている様なので、本文の問題とは別のものとしてみるべきであろう。ここでは、その詳細については述べないこととする。

また、衛星画像上の海面水温が対応海域の実測海面水温と異なることは、かなり以前から指摘されていた。その原因として、これまでに、衛星搭載のセンサーと対象海面との間の大気または大気中の水蒸気などの影響が考えられ、いろいろと検討されてきている様であるが、物理的には十分なものとは考え難い。

衛星赤外画像の利用にあたっては、電波伝搬の問題も

考えられるが、これは、本文の対象としては考慮する必要がない程度の影響とみて差支えないであろう。

5. 結 言

人工衛星NOAAの赤外画像 (APT)において、時折、局所的海面温度の異常な上昇が認められる。本文では、これを、対象海域の海面状態、とくに、海面波と関連しているものという仮説に立って検討し、その要点を記した。衛星の赤外画像でCox and MUNKの統計理論をそのまま適用するのは正しくない。総観的にみた海面状態と衛星赤外画像との対応関係を考えることが必要である。海面状態、とくに、海面波との関係について、概念的モデルを導入し、衛星赤外画像にあわられる見かけの海面水温上昇が説明できることを、いくつかの例によって示した。

文 献

- COX, C.S. and W.H. MUNK (1954) Statistics of the sea surface derived from sun glitter, *J. Mar. Res.*, **13**, 198-227.
- NAKAMURA, S. (1990) Satellite monitoring of storm runoff, *Proc. 5th Conf. on Urban Storm Drainage*, Vol. 2, 639-645.
- NAKAMURA, S. (1992) Satellite thermal variations of Kuroshio in relation to storm floods, *Proc. of PORSEC '92 in Okinawa*, vol. 2, 835-840.
- NAKAMURA, S. (1993a) Satellite thermal monitoring of storm flood spreading around Kuroshio flow, *Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, 43-1 (373), 31-39.
- NAKAMURA, S. (1993b) Satellite monitoring of storm flood spread as a land-ocean interaction, *IEEE Proc. Internat. Geosci. Remote Sensing Symposium*, Vol. 1, 203-205.
- 日本リモートセンシング研究会編 (1996) 図解リモートセンシング, 社団法人日本測量協会, 308p.
- STEWART, R.H. (1984) *Methods of satellite Oceanography*, Univ. Calif. Press, Calif., 360 p.