

資 料

人工衛星による高度計測と海洋潮汐*

中 村 重 久**

A note on oceanic tides in relation to satellite altimetry*

Shigehisa NAKAMURA**

Abstract: A note is presented on oceanic tides in relation to satellite altimetry. Methods of satellite oceanography are noted first briefly for those who are not familiar with the satellite but interested in satellite oceanography. Recent research activity is introduced for the problems especially on detection from satellites in a form of rush notes. A remark is added to notify about the northern envelope of satellite orbit in relation to expected merits for gravity detection and for tidal modelling of the Arctic Ocean as one of the sea area in the high latitude.

1. 緒 言

近年, 世界的な傾向として, 海洋学でも, 1990年代に, 何を, どのような方法で, どのような方向に向けて研究すべきかが語られるようになった。これは, MUNK and WUNSCH (1982) の論文がひとつの契機となったとみてよいであろう。一方で, 急速な技術革新の流れの中にあつて, 海洋学研究のあるべき方向を模索する時期に来ていともみえる。

本文では, はじめに, これまでに衛星を利用して海洋のどのような問題を研究の対象として考えてきたか, その要点を述べる。ここではその詳細に立ちいることなく, 海洋と人工衛星との関連にいささかの関心のあるものの立場に立って記述することとする。つぎに, 人工衛星による海洋潮汐の観測研究の方向および限界について, 最近の研究例, とくに, 北極海を例にとり, 予想される問題点について述べることにしたい。

2. これまでの海洋研究への人工衛星の利用

人工衛星によって得られたデータが海洋の諸問題の解

明の目的で利用されるようになって以来, その方法にも得失があることも指摘されるようになってきた。たとえば, 海洋学への人工衛星(以下, 衛星と略記)の利用と関連した諸問題を STEWART (1984) は, 簡潔に記している。この場合, 大気や海面付近の特性をとらえるために電磁波を利用しなくてはならない。そのために, 電磁波の大気中での散乱, 吸収も考える必要がある。海洋生物学研究でのひとつの指標として, たとえば, クロロフィルに着目するならば, 可視光についての計測も必要である。赤外線計測によって海面温度分布を知ることができる。ラジオなどの通信電波を利用すれば, 大気中や海面での電波の散乱と風速との関係を知ることができる。合成開口レーダ(SAR, Synthetic Aperture Rader)を用いて海洋波の観測を考えることもできる。海中観測塔で観測された海洋波と SAR とについて SHEMDIN (1988) は特集を出している。さらに, 人工衛星の高度を計測することによって, 逆に, 海面の形状やジオイドを調べ, 表面流の推定に利用することも可能と考えられる。しかも, 人工衛星によって, 海中の情報を利用した海洋トモグラフィの不足を補うことも考えられる(たとえば, MUNK and WUNSCH, 1982; 中村, 1987)。

いづれにしても, これまでの海洋研究で, 人工衛星を利用して海洋潮汐を調べることは考えられた例がなかったと言ってもよいであろう。1981年以来, 海洋潮汐の研究への人工衛星利用やその得失が語られるようになった

* 1989年1月17日受理 Received January 17, 1989

** 京都大学防災研究所附属白浜海象観測所
〒649-22 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田畑崎
Shirahama Oceanographic Observatory, Disaster
Prevention Research Institute, Kyoto University,
Katada-Hatasaki, Shirahama, 649-22 Japan

(CARTWRIGHT and ALCOCK, 1981)。これには、SCHWIDERSKI (1978) が、全地球的海洋潮汐の数値モデルを発表したことが関係している。この数値モデルの妥当性の検証に、人工衛星を利用することは、時代の流れの中で当然考えられうることであろう。

3. 海洋潮汐の諸問題

海洋潮汐の力学的研究の最近10年間の進展については、アメリカのNOAA（国立海洋気象局）が1988年総括を試みている。これはまもなく出版物として世にあらわれることであろう。

ここでは、著者の知る範囲で最近の海洋潮汐の研究の新しい側面を述べることにする。CARTWRIGHT (1988) は、人工衛星による海洋潮汐の検討について論じた。さらに、SCHWIDERSKI (1988) および SCHWIDERSKI and MAURIN (1988) は、人工衛星 GEOSAT による高度計測データを利用して、より高い精度で、平均海面・

潮汐・海洋の動力学的変動のモデルをつくることに努力している。MAZZEGA (1988) は人工衛星による海面高度計測とそれともなう問題点を検討した。とくに、MAZZEGA and JOURDIN (1988) は北大西洋東部海域での衛星 SEASAT による高度計測データを利用して海洋潮汐の問題を検討している。

さきにも述べたように、1988年現在、最も優れた海洋潮汐モデルは SCHWIDERSKI (1978) によるものと考えられる。彼は、世界中の大洋に対して、地殻に海洋の荷重がかかった場合の効果も考慮にいれて、緯度・経度いづれも 1° の網目で計算している。計算結果の一例として、北極海の M_2 潮に対する等潮時線図 (Fig. 1) と等潮位線図 (Fig. 2) とを、ここに示した。

一方で、人工衛星による高度計測にもとづく海洋潮汐の検討がどこまで可能かという限界も検討されるようになってきている (たとえば、ANDERSON *et al.* 1988)。とくに、ANDERSON *et al.* (1988) のように人工衛星

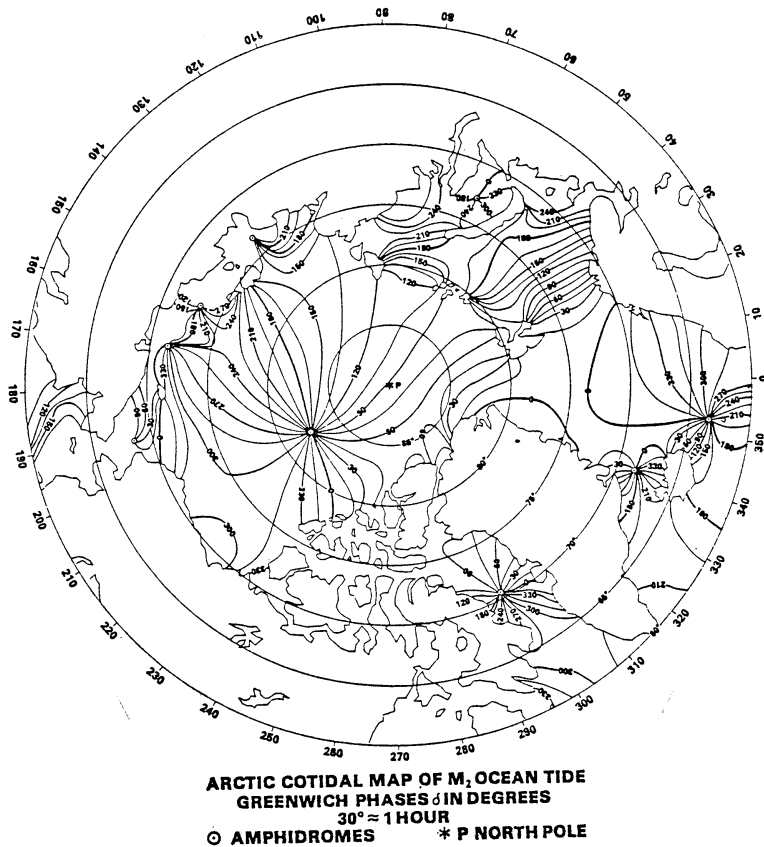


Fig. 1. Cotidal map of M_2 in the Arctic Ocean (after SCHWIDERSKI, 1979).

を利用して高緯度の海域を対象とする場合には、これまでに中・低緯度における研究例で問題とされてきたこと以外にも新しい問題点があらわれるにちがいない。

たとえば、クロス・オーバー法によって人工衛星の高度を決定しようとする場合、衛星の軌道の海面からの高さをもとめるためには、(1) 地球中心から海面までの距離 Rr , (2) 基準回転楕円体表面の局地的半径 η , (3) 固体地球の効果を考えにいれたジオイドの高さ ζ , (4) 海面の高さ a , (5) 人工衛星と海面との間の高さの計測値, (6) 衛星軌道のクロス・オーバを利用する場合の高さの修正 ΔR などを考えなくてはならない。

とくに、高緯度の海域の例として、北極海を考えることにするとき、海面には海水があって、かならずしも対象とする全海域について海面の情報を得ることは可能とはかぎらない。ANDERSON *et al.* (1988) が引用しているように、GLOERSEN and CAVALIERI (1986) によれ

ば、1979年8月の人工衛星 Nimbus-7 搭載の SMMR (Scanning Multispectral Microwave Radiometer) によって得られたデータをも、北極海の海面の 20% 以上が海水でおおわれている。

また、北極海の水深分布をみると、その中央部に海嶺が存在し、カナダ海盆・マカロフ海盆とフラム海盆・ナンゼン海盆とを分ける境界となっている。スピッツベルゲン付近の破砕帯のジオイドを利用すれば、北極海中央海嶺の熱的構造なども明らかにできるかもしれない (ANDERSON *et al.*, 1988)。

そして、以上に述べた調査資料や研究成果を利用することによって、北極海の海洋潮汐の検討も可能になることだろう。北極海の潮汐のうち、海洋の M_2 潮についてのモデルは、すでに Figs. 1 および 2 に示した。ところで、これらが人工衛星によって得られたデータによって比較検討できるであろうか。

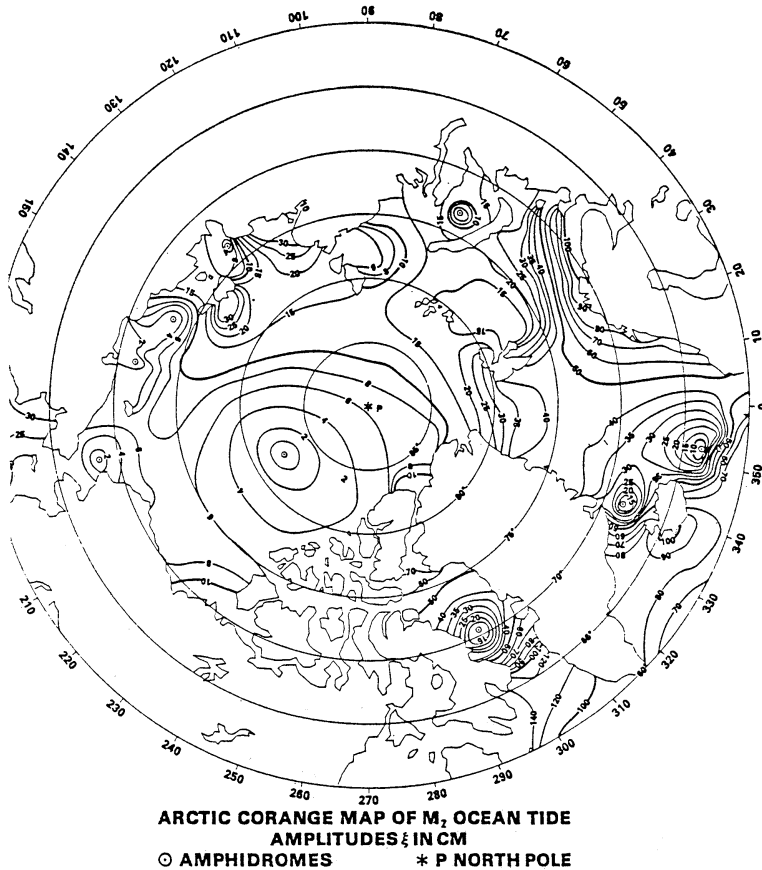


Fig. 2. Corange map of M_2 in the Arctic Ocean
(after SCHWIDERSKI, 1979).

4. 人工衛星軌道の北限

ここで、ANDERSON *et al.* (1988) の示した図によって、人工衛星軌道の北限をみることにしよう。この人工衛星軌道の北限と北極海との位置関係は Fig. 3 のようになっている。この図は、北極を中心として示されたものである。この図で、人工衛星 ERS-1 のとりうる軌道の北限は、円 I によって示される。ところで、人工衛星 SEASAT や GEOSAT を利用しようとする場合、この 2 つの衛星の軌道の北限は図中の円型包絡線 II になって、それより北のデータは得られないことがわかる。

これに加えて、NASA (アメリカ国立航空宇宙局) と CNES (フランス国立宇宙研究センター) とが共同して 1991 年末に打上げを予定している人工衛星 TOPEX/POSEIDON の軌道の北限は、Fig. 3 の図中の円 III に示されるような位置になり、北極海の大部分のデータは得られないことがわかる。

このようなことから、いずれの人工衛星の場合も、軌道のごく周辺での重力の計測が詳細で高精度となるのは、

軌道の北限付近であると考えられる。これは人工衛星による高度計測の細かさや精度にも影響するであろう。

海洋潮汐のうち M_2 潮については、その振幅と位相とについて、北大西洋のうち、とくに、ノルウェー海周辺の IOS モデル (あるいは 1981-Flather モデル) と SCHWIDERSKI モデルとの差が検討され、議論されている。しかし、人工衛星による高度計測データを利用して検討しようとするならば、その場合には、人工衛星 ERS-1 を対象とするのがよいようにみえる。

5. 中・低緯度の潮汐

これまでに述べたことから、人工衛星の軌道は中低度で比較的低密度になることは予想される。しかし、データの均一性は、現存の人工衛星あるいは近い将来打ち上げられる人工衛星について、中・低緯度である程度確保されている。将来、その均一性は高くなることも期待される。

本文では、とくに、人工衛星による高度計測と海洋潮

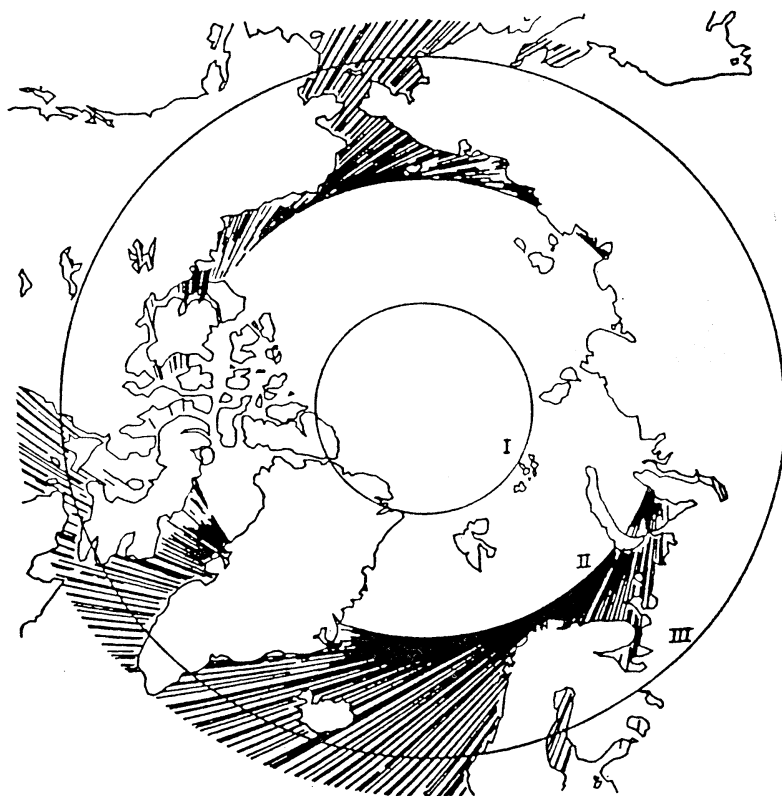


Fig. 3. Northern envelope of satellite orbit (after ANDERSON *et al.*, 1988)
I-the satellite ERS-1 (expected). II-the satellites GEOSAT and SEASAT. III-the satellite TOPEX/POSEIDON (expected).

汐との関係について、その要点を記した。ここで、たとえば、アメリカでは、スクリップス海洋研究所の FILLOUX を中心とした研究グループ (FILLOUX *et al.*, 1988) は地球磁場を利用した流速計測と海底設置型圧力計による外洋潮位計測とから、北太平洋東部の無潮点周辺の潮位潮流について、 M_2 潮の観測結果は SCHWIDERSKI (1979) の数値モデルの結果とよく一致していることを報告していることも見落してはならない。

最後に、蛇足ながら、上述のような諸問題のほかに、海底地表によって生じた津波や台風によってもたらされる高潮を人工衛星によってとらえることも将来遠からず可能となるであろうと期待する。

文 献

- ANDERSON, A.J., G. MARQUART and H.-G. SCHERNECK (1988): Arctic geodynamics: A satellite altimeter experiment for the European Space Agency Earth Remote-Sensing Satellite. EOS (Trans. Am. Geophys. Union), Sept. 27, 1988, **69** (39), 873-881.
- CARTWRIGHT, D.E. (1988): On tidal detection from satellites. Abstracts Internat. Conf. Tidal Hydrodynamics, Nov. 1988, NOAA, p. 37.
- CARTWRIGHT, D.E. and G.A. ALCOCK (1981): On the precision of sea surface elevations and slopes from SEASAT altimetry of the Northeast Atlantic Ocean. p. 885-895. In: J.F.R. GOWER (ed.), Oceanography from Space. Plenum Press, New York and London.
- FILLOUX, J.H., A.H. CHAVE and D.S. LUTHER (1988): Seafloor pressure and barotropic velocity fields in the northeast Pacific: Report on large spacial and temporal scale experiments BEPMEX (Barotropic Electromagnetic and Pressure Experiment) OCEAN STORM (Seafloor Pressure part) and EMS LAB. Abstracts Internat. Conf. Tidal Hydrodynamics, Nov. 1988, NOAA, p. 12.
- GLOERSEN, P. and D.J. CAVALIERI (1986): Reductions of weather effects in the calculation of sea ice concentration from microwave radiance. J. Geophys. Res., **91**(C3), 3913-3919.
- MAZZEGA, P. (1988): Tidal altimetry and aliasing from satellites: An inverse theory approach. Abstracts Internat. Conf. Tidal Hydrodynamics, Nov. 1988, NOAA, p. 39.
- MAZZEGA, P. and F. JOURDIN (1988): Inverting SEASAT altimetry for tides in the northeast Atlantic. Abstracts Internat. Conf. Tidal Hydrodynamics, Nov. 1988, NOAA, p. 64.
- MUNK, W.H. and C. WUNSCH (1982): Observing the ocean in the 1990s. Phil. Trans. Royal Soc. London, **A307**, 439-654.
- 中村重久 (1987): 古典的海洋観測からみた海洋トモグラフィについて. La mer, **25**, 85-89.
- SCHWIDERSKI, E.W. (1978): Global ocean tides, part I: A detailed hydrodynamical interpolation model. Technical Report NSWC/DL TR-3866, 88 pp.
- SCHWIDERSKI, E.W. (1979): Global ocean tides, part II: The semidiurnal principal lunar tide (M_2), Atlas of tidal charts and maps. Technical Report NSWC TR 79-414. 15pp. + Appendices.
- SCHWIDERSKI, E.W. (1988): High-precision modeling of mean sea level, ocean tides, and dynamic ocean variations with GEOSAT altimeter signals. Abstracts Internat. Conf. Tidal Hydrodynamics, Nov. 1988, NOAA, p. 38.
- SCHWIDERSKI, E.W. and A.F. MAURIN (1988): Accuracy estimation of geoid and ocean modelling with GEOSAT and modern matrix operators. Abstracts Internat. Conf. Tidal Hydrodynamics, Nov. 1988, NOAA, p. 65.
- SHEMDIN, O.H. (1988): Tower ocean wave and rader dependence experiment: An overview. J. Geophys. Res., **93**(C11), 13829-13838.
- STEWART, R.H. (1984): Methods of satellite oceanography. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. California, San Diego. 360 pp.