相模湾西部の海底地質についての潜水調査

松 本 英 二* 木 村 政 昭*

Submerged survey of submarine geology on western part of Sagami Bay

Eiji MATSUMOTO and Masaaki KIMURA

ABSTRACT

The survey of submarine geology on western part of Sagami Bay was made, using the submerged surveying vessel "Shinkai".

The surface sediment on floor of depth of 100 m, off Ito, consists mostly of fine sand ($Md=2.2\phi$). The deposit on head of canyon, depth of 400 m, is uniformly fine silt ($Md=6.4\phi$). Bottom current on shelf was 30-40 cm/sec, but it on head of canyon had scarcely been measured.

There were a lot of biota on bottom surface sediment, and the bioturbation of surface sediment was often observed on both of shelf and canyon.

During submergence of vessel, a large number of suspended particles "marine snow" was observed.

I はじめに

相模湾は、日本で最初の近代的な海底地質調査の行なわれた海域であり、それ以後、海底地形や海底地質構造についての詳細な調査・研究が行なわれている。筆者らは、それらの調査結果をもとにして、相模湾西部海域すなわち伊豆半島側の大陸棚および海底谷において、潜水調査船「しんかい」による海底地質調査を行なった。特に、海底堆積物の水平的な変化と海底地形や底層流との関係、底生動物による堆積物の攪乱と微地形、堆積物となる粒状物の海水中での分布について、調査することを目標とした。

従来、海底地質の調査研究は、観測船上からの音響測深・音波探査、その他の物理探査および採泥の資料から海底の地質を推定する方法をとっているので、海底の微細変化を見逃がしてしまうことが多い。したがって、直接我々の目で海底の連続的な観察を行なうことが、詳細な調査研究のために重要である。そのためには、水中カメラや水中テレビと共に、潜水調査船を使った調本方法は、今後ますます必要とされるであろう。

II 「しんかい」について

潜水調査 HU 06「船しんかい」は、1968年に建造され、海上保安庁に所属し、科学技術庁の調整による共同利用方式をとっている。1970年より本格的な潜水作業を開始し、現在まで通算数百回の潜航を行なっている。「しんかい」の最大移動深度は600 mで、潜航後、海中および海底で、水平面内に自走・停止および着底して調査を行なう SS 方式 (Submerged Surveying) をとっている。1964年に建造された「よみうり号」が航行不能な現在、「しんかい」が我国数少ない SS 方式の潜水調査船として、海洋調査に大

* 工業技術院地質調査所 Geological Survey of Japan, Kawasaki

きく貢献している。

観測装置の主なものは、生物採取・採泥のためのマニピュレータ、採水・プランクトン採取装置、水温・塩分測定装置、音響測深・音波探査装置、ムービーおよびスチール撮影装置等である。これらの機器および観測船に付けられている視窓からの目視により、海底地形・地質、水産および海象調査を行なうことができる。現在は、操縦士3名と観測者1名の計4名が、直径4mの球内で作業できる。

「しんかい」の曳船および潜航中の警戒ならびに連絡の支援・指令船として、「乙女丸」350トンが業務を行なっている。写真1に潜水調査船「しんかい」と母船「乙女丸」を示した。

写真1 潜水船「しんかい」(左)と母船「乙女丸」(右)

III 相模湾の海底地質について

相模湾は、東に三浦・房総両半島、西に伊西半島を有し、東西に約40kmの、南に開いた湾である。この湾の中央部には、日本海溝から続く相模舟状海盆(トラフ, Sagami trough)が存在し、最深部は、約

第1図 相模湾の海底地形⁸⁾

第2図 三浦半島—相模湾—伊豆半島の北東—南西方向の地質断面¹⁾

1700 mに達している。このトラフの東縁下で、木村(1973)¹⁾により大規模な断層が確認され、相模構造線と名づけられている。第1・2図に示すように、この相模構造線をさかいにして、東では第三紀の堆積岩が、堆列(bank chain)・海底谷(canyon)および海脚(spur)によって特徴づけられる複雑な海底地形を作つて発達しており、音波探査によれば、複雑な褶曲を呈する地質構造をもっている。一方、相模トラフの軸部および西側は、大局的には単斜構造をもち、伊豆半島の基盤をなす第三系に続く構造をもつと考えら

第3図 「しんかい」の航跡図⁹⁾

第4図 測線Cに沿った音波探査記録⁹⁾

れている。トラフ内の湾床には、現世の堆積物が比較的厚く堆積し、大島、伊豆および房総半島でかこまれた相模湾中央部は、いわゆる海盆(basin)となっている。

相模湾の大陸棚は、湾の東部の三浦半島側で比較的発達しており、湾奥部や湾の西部の伊豆半島側では、その幅は狭い。相模湾の海段(submarine terrace)は、田山(1950)²⁾によれば、5つにわけられる。このうち、相模湾に広く発達するのは、水深100mの平坦面である。この平坦面は、Würm氷期の最大海退時に形成されたと考えられる。この平坦面は、岩石が露出したり、礫や砂で被覆されている。

調査海域：今回潜航調査した海底は、第3図に示すように、伊東陸棚から初島海脚にかけて発達する水深100mの平坦面上のA地点と、初島海脚と真鶴海脚にはさまれた熱海海底谷頭部付近の水深約400mの平坦面のB地点である。

この海底付近のCの測線にそつて、鎌田ら(1973)⁹⁾によつて音波探査が行なわれ、その結果を第4図に示した。音波探査は、水中方電方式(スパーカー)と圧縮空気方式(エア・ガン)の二つの方式があり、現在のところ海底の層序および地質構造を調べる有力な武器である。原理は、水中で音波を発生させ、海底下の地層の音響的境界面で反射を記録するものである。

音波探査記録によれば、A点付近は、第四紀層(主として沖積層)が数10mほど堆積しており、その下は、褶曲した新第三系の地層がきている。一方、B点の熱海海底谷の頭部付近は、第四紀層がかなり厚く堆積しており、向斜(syncline)を示している。400m以深の海底谷では、明らかに第三紀層が浸食されている。これが海底浸食によるのか、陸上浸食によるのかが問題である。この谷の形成と、谷頭の400mの平坦面(B点の位置する点)の形成の関連も今後の問題である。

第1回目(通算第172回)潜航はA地点で、9月5日に行なわれ、木村が潜航した。第2回目(通算第173回)、B地点の熱海海底谷頭部の潜航調査は、9月11日に行なわれ、松本がこれにあたつた。つぎに、潜航

記録の概略を示す。

IV 潜航記録

1. A地点潜航記録

07時55分 「しんかい」伊東港を出港。

09時45分 A地点に到着。

10時06分 潜航開始。

10時21分 深さ 31 m, 懸濁粒子多し。

10時31分 深さ 60 m, 窓の前方2 m 先につけられているガード・フレームが見分けられる程度の光。
懸濁粒子のマリン・スノーが横に流れる。

1

2

3

4

5

写真 2 A地点の海底表面

- 10時41分 深さ 94 m で着底 (A-1 地点)。海底は砂まじりの泥。約 30 cm/sec の潮の流れがある。ウニ (ブンブクチャガマ)、ナマコ、ヒトデ、ヤドガリ、ホラ貝あり (写真 2-1, 2-2)。
- 10時55分 約 30 cm/sec の流れ。砂がうずを巻いてまいあがる。角礫がある。
- 11時00分 海底航走 (A-2 地点)。巣穴は径 1 cm から数 cm のものまである (写真 2-3)。
- 11時30分 A-3 地点。
- 12時00分 深さ 100 m (A-4 地点)。
- 12時03分 傾斜地にかかる (下降)。底質は粗粒となり、礫が散在する。貝殻片が多くなる (写真 2-4)。
- 12時23分 深さ 109 m, 着底して、泥中にうもれている円礫をマニピュレータで採取。
- 12時35分 深さ 112 m, 砂質堆積物を採取。ごく表面だけ泥質で、その下は粗粒砂と貝殻片である (写真 2-5)。
- 12時50分 A-5 地点。
- 13時15分 深さ 113 m, 離底。
- 13時24分 深さ 50 m, 上昇中。
- 13時36分 浮上。
- 15時20分 「しんかい」伊東港入港。
潜走時間 3 時間36分。

写真 3 海水中に浮遊するマリン・スノー

2. B地点潜走記録

- 07時50分 「しんかい」伊東港を出港。
- 09時15分 B 地点に到着。
- 09時45分 潜航開始。
- 09時53分 深さ 28 m, 白い綿状の多数のマリンスノーがみえる。
- 10時02分 深さ 80 m, 投光器をつけてマリンスノー撮影 (写真 3)。
- 10時09分 深さ 150 m, 20 cm/sec の速さで下降中。
- 10時14分 深さ 215 m, 室内灯を消すと発光生物がみえる。
- 10時26分 深さ 325 m, 外部は真暗となる。
- 10時35分 深さ 400 m, 海底まで残り 15 m, ハダカイワシの大群がみえる。
- 10時48分 深さ 416 m の海底に着底 (B-1 地点)。海底は平坦で泥質、流れはほとんどない。
- 10時51分 前進 20 cm/sec で海底航走開始。
- 10時51分 アマダイ、エビ、ナマコ、クモヒトデ、ウミエラがみえる。平坦で泥質、巣アナがある。海エラの姿勢からみて、流れはない。
- 11時25分 深さ 406 m (B-2 地点)。
- 11時34分 深さ 400 m, 平坦で泥質。表泥上に数 mm~1cm の白くて丸いもの (白玉) が一面にある (写真 4-1)。
- 11時48分 深さ 395 m, 海底航走をいつたん中止して、マニピュレーターを使つて白玉を採取 (B-3 地点, 写真 4-2, 白玉は航走および浮上時に失われた)。
- 12時00分 航走開始。
- 白玉依然多し、エビ、ヒトデ、ウミエラがみえる。高足ガニを確認。傾斜面にそつて上昇し、徐々に浅くなる。泥質。

1

2

3

4

写真 4 B地点における海底表面

12時39分 深さ 348 m, 巣穴・魚の休息あと, ゴカイの管等がみられる(写真 4-3)。傾斜が急になる。

12時50分 深さ 340 m, 着底, B-5 地点。マニピュレーターで採泥。底質は泥(写真 4-4)。

13時00分 離底, B-6 地点。

13時12分 深さ 250 m 上昇中。船が上昇するので, マリン・スノーが降っているようにみえる。

13時40分 浮上。

17時17分 「しんかい」伊東港に帰港。

潜航時間 4 時間 2 分

V 調査の結果

視窓の視界が限られたり, スチール撮影の鮮明度が悪かったりして, 十分目的をはたすことは困難であったが, 観察および採取した堆積物の分析結果をまとめてみると次のようになる。

1. 堆積物

堆積物は堆積環境に密接に関連している。100 m 平坦面の A 測線において, 堆積物の水平的連続観測を行なった。A 点において, 底層流は数 10 cm/秒の速さをもっており, 堆積物は A-1 から A-5 まで砂質であった。A-4 と A-5 の間に比高 6 ~ 7 m の崖があり, この地点の底質は粗粒の砂質で, 礫や貝殻片が散

第5図 採取された堆積物の累積頻度分布図

粒度は、Trask (1930) による定義にもとずき、Md および S_0 の値として表示する。

A点の堆積物は、 -1ϕ (2ミリ) から 4ϕ (63ミクロン) までの砂 (sand) 質部が全体の98%をしめており、Mdの値は 2.2ϕ で細粒砂 (fine sand) である。構成粒子の均一性の程度を示す S_0 の値は、1.3とかなり良く淘汰されている。累積頻度分布図は三つの直線で構成されており、Visher (1969)⁴⁾によれば、転動 (traction)、飛動 (saltation) および懸濁 (suspension) による堆積粒子の粒径と運搬形態との関連を表わしている。2mmの篩上に残った細礫部は、ミラスナガイ等の貝類やゴカイの管やコケムシ等の生物的なものと、スコリア状の岩片や自形をした斜長石・カンラン石およびシシ輝石等の結晶からなっている。岩片および結晶は伊豆半島を起源とする火山岩によるものと思われる。

一方、B点の堆積物は、泥 (mud) 質部が93%をしめ、 4ϕ から 8ϕ までのシルト (silt) 部が全体の67%をしめている。Mdの値は、 6.4ϕ で細粒シルト (fine silt) である。 S_0 の値は3.3であり、A点とくらべて淘汰が良いとはいえない。累積頻度分布図において、シルト部分が非常にきれいな直線性をしめている。63ミクロンの篩上に残った部分のうち、生物起源のものは、フジツボの破片やクルミガイや細い糸状のウニ (ブンブクチャガマ) のトゲの部分および有孔虫がみられた。鉱物質のものは、角ばった黒色の岩片、スコリア質の円磨された岩片、軽石およびガラス等で、結晶としては斜長石、シシ輝石および磁鉄鉱が見出された。

2. 生物による堆積物の攪乱

海底の表面は無数の凹凸による微地形を示しており、これらの海底表面の状態は底棲生物の活動によるものと考えられる。これらの凹凸の多くは生物の巣穴、休息跡および這い跡等である。観察された凹状の巣穴の入口 (写真2-3) はエビ等の甲殻類のものと思われる。これらの巣穴の中にクモヒトデが入りこんでいるのが多く観察された。また海底表面上には、ふわふわした浮泥質にまじって、ゴカイ類の管と思われる糸状のものが良く観察され、「しんかい」の接近によつてゆれ動くのがみられた。

海底堆積物の表層は、底棲動物のきわめて活発な活動によつて攪乱 (bioturbation) されており、底質の堆積構造や堆積物そのものに対する生物の影響を無視することができない。近年、沿岸の堆積盆 (sedimentary basin) の表層の堆積構造や年代測定⁵⁾の研究が進められているが、不攪乱採泥器の使用とともに、生物的攪乱にも十分注意をはらうことが必要である。

3. 水中の光および懸濁粒子

水中の光は海水の懸濁粒子に散乱・吸収され、深さとともに減少する。光の波長や海域によつてかなり異なるが、一般的には、水深100mになると表面の明るさの数%となるといわれている。潜水船が400mの海底まで下降する間、水中のあかるさを視窓から観察した。50mの深さでうす暗くなり、100mでは暗

在していた。

一方、熱海海底谷頭部のB測線は、416mのB-1地点から、斜面上340mのB-5地点まで、底質は一樣に泥質であつた。B点には、底層流はほとんどなく、静かな堆積環境であるといえる。

A-5およびB-6地点において、バケット型のマニピュレータの採泥器によつて採取した堆積物の粒度分析 (mechanical analysis) を行なつた。Aの堆積物は篩分法 (sieving) により、Bの堆積物は沈澱法によつて、粒度組成を調べた。その結果を第5図に累積頻度分布図としてあらわした。この分布図から求められる平均粒度 (mean) と分級度 (sorting) の値を算出した。平均粒度 および分

い。150 m の深さで 2 m 先の ガード・フレームがようやく 見える 程度である。300 m 以深では 真暗となり、投光器なしでは何も 見えない。この深さでは発光生物が時々観察される。

下降中、船外にとり付けられた投光器を点灯すると、たくさんのマリン・スノーがみられる(写真3)。投光器の光が懸濁粒子によつて反射され、白い雪状にみえるのである。マリン・スノーという名は、北海道大学の潜水船「くろしお」号の研究者によつて名づけられた⁶⁾。暗やみの中に映し出されるマリン・スノーは神秘的な美しさがある。これらの粒子の大半は、プランクトンの死がい等の有機物からできている。海水中の粒子の数は、海域や深度によつて異なるが、 1μ 以下の粒子から数 10μ の粒子まで合わせると、1 ml 当り数万から10数万個もある⁷⁾。しかし、これらは重さにすると 1 l 当り数 mg 程度である。1954~1955年に北海道大学の「くろしお1号」から撮影されたマリン・スノーの報告は、人々の注意をひいたが、あまり研究対象とされなかつた。最近になつて、海水中の栄養塩や微量元素の分布に対する粒子の働きが問題となり、注目されてきている。

VI 「しんかい」を使つての海底地質調査の問題点

今回の「しんかい」による潜航経験から、いくつかの問題点を指摘し、今後の海底地質調査に役立てたいと思う。

1. 事前の打合せ

現在、観測者と乗組員・整備員との直接の打合せは、現地で行なわれるため、事前の機器の整備に不十分な所がある。観測者と乗組員とが直接、詳細な打合せを事前に行なうことができれば、より多くの成果を期待できると思う。

2. 採泥システム

現在の採泥システムでは、底質を採取する事がきわめて困難であるため、改良する必要があると考える。エックマン・バージ型の採泥器が潜水船には適していると思う。エックマン・バージ型の採泥器は、操作が簡単で、しかも不攪乱試料を採取できる。数としては最低3~4個必要であろう。潜水船による採泥は、採泥点および採泥状況を詳細に観察できることから、今後ますます重要となろう。

3. 音波探査装置

現在、200 ジュールのスパーカーが装備されているが、実際には使用されていないのが現状である。急斜面においては、海上での船による音波探査より、潜水船による方が、解析力が増す場合も考えられるので、潜水船による急斜面域での音波探査は今後の問題として興味がある。

4. 底層流測定装置

装備されている底層流測定装置は、大陸棚や浅海のような流れの強い所では、検出範囲外となつてしまう事が多い。「しんかい」の潜航するような深さで流れを測定するためには、測定可能範囲をさらに大きくすることが必須である。正確な底層流速と堆積物の粒度との関係は、「しんかい」利用の今後の重要な研究課題となろう。

5. 複数観測者

専門分野の異なる研究者が2名乗れば、互に良い成果が期待できるので、2名乗組員、2名観測者の可能性について検討してほしいと思う。

VII おわりに

以上述べた海底地質調査の成果は、海底の一部に関するものであり、さらに全体を把握するためには多くの調査を要する。

船上での観測を主たる武器としている我々海洋地質研究者にとつて、自分自身の目と肌で海底の自然と接触できる「しんかい」による潜航調査は非常に有意義であり、かつ興味あるものであつた。今後ますます

すこのような調査が盛んになることを期待したい。

今回の潜航調査にあたり、科学技術庁海洋開発室の方々、また、実際の潜航にたずさわった海上保安庁水路部の加藤洋司令ほか「しんかい」乗組員の方々に厚く感謝する。

さらに採取した堆積物の分析に助言や協力して下さった地質調査所大嶋和雄・湯浅真人、高知大学黒田敬、駒沢大学学生長田敏明の各氏に謝意を表する。

参考文献

- 1) 木村政昭 (1973) : 陸上地質を相模湾底に追う. 科学, Vol. 43, No. 7, pp. 420-426.
- 2) 田山利三郎 (1950) : 相模湾東部の海底地形と底質の分布について. 水路要報, 第17号.
- 3) 鎌田清吉, 広島俊男, 佐藤光洋 (1973) : 多連強力型放電式音波探査装置による相模湾の探査. 物理探査協会, 第29回総会・講演会.
- 4) VISHER, G.S. (1969) : Grain size distributions and depositional processes. *Jour. Sedimentary Petrology*, Vol. 39, No. 3, pp. 1074-1106.
- 5) KOIDE, M., SOUTAR, A. and GOLDBERG, A. D. (1972) : Marine geochronology with ^{210}Pb . *Earth Planetary Science Letters*, Vol. 14, No. 5, pp. 442-446.
- 6) SUZUKI, N. and KATO, K. (1953-1954) : Studies on suspended materials MARINE SONW in the sea. *Bull. Faculty Fish. Hokkaido Univ.*, Vol. 4, pp. 132-137.
- 7) MATSUMOTO, E. (1972) : Size distribution and dissolution rate of suspended particles in sea water. (in preparation).
- 8) KIMURA, M., KAGAMI, H., HONZA, E. and NASU, N. : Stratigraphy and structure of continental shelves, slopes and canyons in Sagami and Tokyo Bays. (in preparation).
- 9) 海底地形図は、水路部、1955年相模湾水深図にもとずき作成。

(1973年11月12日受理)