

# 深海底鉱物資源の採鉱にかかる環境影響調査

The Report on Japan Deep Sea Environmental Impact Research

森 脇 久 光\*

Hisamitsu Moriwaki

## 1. はじめに

深海底鉱物が、21世紀の産業を支える有望な資源として注目を浴びるようになったのは1970年代からである。この時期には、コンソーシアムと呼ばれる企業連合が先を争って資源量調査や鉱区確保に乗りだし、その結果、瞬く間に中部太平洋のC/Cゾーン（クラリオン／クリッパートン断絶帯：図-1）中のいわゆる“マンガン銀座”はそれぞれの鉱区で分断されてしまった。ところが、しばらくすると、こうした動きに反動するかのよう、慎重な深海底開発を求める声が高まってきた。1975年には、これに呼応するかのよう米国・商務省海洋大気局（NOAA：National Oceanic & Atmospheric Administration）によって中部太平洋海域の大規模環境調査が行われた。これが有名なDOMES（The Deep Ocean Mining Environmental Study）である。DOMESがもたらした知見は、この時期の中部太平洋の海洋調査のなかでは突出しており、環境影響調査のみならず、一般の基礎科学の分野でも注目を浴びることとなった。このおかげで、深海

底生生物の現存量の低さ、特殊生態等が確かめられた他、意外にも深海底生生物群集の多様性が高いことまで明らかになったのである。これらの知見は、いずれも深海底生生物が、深海という環境変化の小さな世界のなかに適応しながら暮らしていることを証明するものであり、換言すれば採鉱に伴う環境激変が彼らに致命的な打撃を与えることを予期させるものであった。深海底鉱物資源が注目されたため、採鉱の危険性が認識されるようになったというのも皮肉なことである。DOMES以降もNOAA、スクリッps海洋研究所（SIO：Scripps Institute of Oceanography）などが中心となって環境調査を行っていたが、1980年代の後半になると、調査手法上の大きな転換期が訪れることとなる。それまで行われていたのは、採鉱環境影響調査といっても、実際には海洋環境を知ることだけに力点を置いた、いわゆる基礎調査であり、採鉱によるインパクトと結びついた調査は、ごく小規模に行われたに過ぎなかった。しかし、新しい時代に求められたのは、採鉱を前提とした環境影響評価であった。すなわち、商業採鉱に対して、イエス、ノーまたは代替案が示せるような調査が求められたのであった。ところが、採鉱方法も決定されていない時点で影響を評価するのであるから、当然、採鉱が引き起こすインパクトの内容は、仮定に頼らざるを得なかった。独国のハンブルグ大学を中心として行われた環境影響調査（DISCOL：Disturbance and Recolonization Experiment in the Deep South Pacific Ocean）は、海底で集鉱機を引きずり廻すことによる直接的なインパクトを仮定して行われた試験である。この試験は1989年から行われ、半年後、2年後のモニタリングも終了している。影響の評価については、今なお解析が継続されているところだが、一部の発表で生物に対して影響があったことが報告されている。一方、米国のNOAAは、集鉱機から放出された堆積物が海底上に再堆積する影響を調べるため、CIE（Controlled Impact Experi-

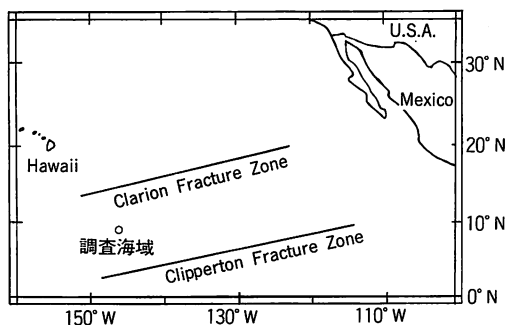


図-1 マンガン団塊採鉱環境影響調査位置

\*金属鉱業事業団 技術開発部鉱害技術開発課課長  
〒105 東京都港区虎ノ門1-24-14常盤ビル

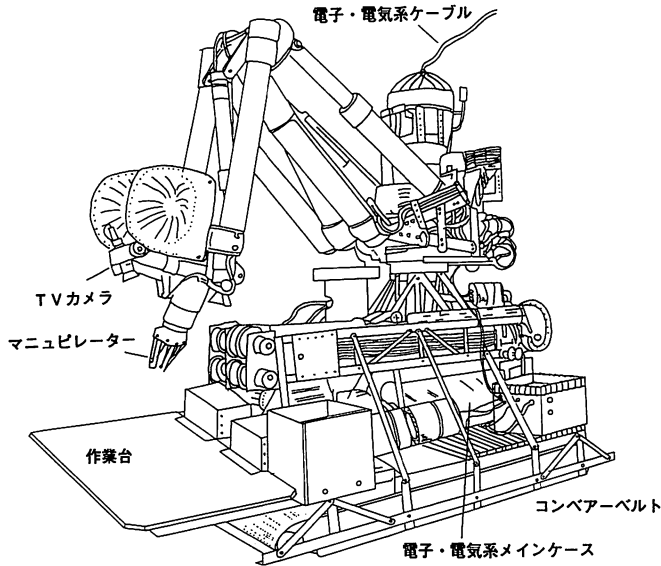


図-2 RUMⅢ (Remote Underwater Manipulator version Ⅲ) 概略図

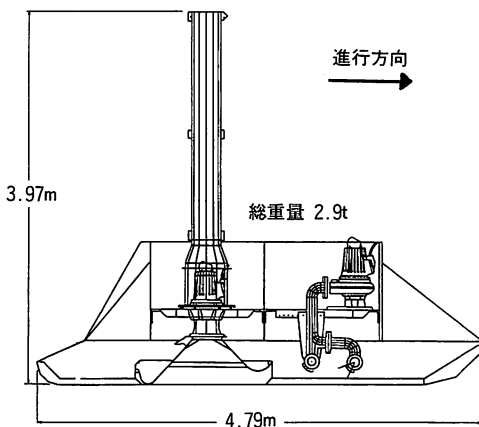


図-3 DSSRS (Deep Sea Sediment Resuspension System) 概略図<sup>6)</sup>

ment) およびBIE (Benthic Impact Experiment) を試みた。前者では、1990年にRUMⅢ (Remote Underwater Manipulator version Ⅲ : 図-2) という海底ロボットを用いて、限られた範囲において急速埋葬実験を試みる予定であったが、RUMⅢの故障によって調査を断念することとなった。後者は、CIEの失敗の後、1991年からDSSRS (Deep Sea Sediment Resuspension System : 図-3) と名付けられた海底かく乱機を用いて、いったん吸い上げた海底堆積物を広くまき散らし、急速な再堆積状況をつくり、その場の影響を評価する実験である。この実験も最初から順

調に推移した訳ではないが、とりあえず1年後のモニタリング調査まで終了させている。ところで、現在この実験自体は終了の時期にさしかかっているのだが、NOAAはDSSRSを積極的に貸与し、他の国々に同様の実験を繰り返させるように働きかけている。こうした実験は繰り返し行うことで、再現性を証明できるので無償貸与とも言えども、NOAAにとって多くのメリットがあるからである。そのうちの 하나가、日本が行っている海底かく乱実験 (JET : Japan Deep-Sea Impact Experiment) であり、1994年度にDSSRSを用いた海底かく乱を、また1995年には1年後のモニタリング調査を終了させている。さらに1996年には2年後のモニタリング調査を予定している。もっとも、JETの場合、“天然資源の開発利用に関する日米会議 (UJNR : U. S. -Japan Conference on Development and Utilization of Natural Resources)”のもとに推進されている日米共同研究の一環として行われており、実際にはこのDSSRSの開発・設計等に対する技術的な援助を提供しているので、無償貸与という言葉はあてはまらない。他にも旧東側諸国の共同採鉱組織のIOM (Interoceanmetal) が、1995年に海底かく乱実験を行っている。さらに今後、いくつかの国でDSSRSを用いた海底かく乱実験が予定されている (私信 Ozturgut)。

深海採鉱に関する調査や技術開発が先進諸国においてはやや衰退気味となった現在でも、環境調査は依然

としてエキサイティングである。本稿では、深海底環境の概略について記したうえで、我が国が行った海底かく乱実験 (JET) を紹介する。

## 2. 深海底環境の特徴

一般に環境影響調査では以下の点に留意して行われなければならない。

・対象とするアクションが人類の生活へ不都合な影響を及ぼすか？

・人類に直接的な影響が無くとも、自然環境を著しく改変する、もしくは人間以外の生物に不都合な影響を及ぼすか？

深海域の場合、前者は考えにくいので、問題は後者に絞られる。簡単に言えば、採鉱環境影響調査とは、採鉱が生物や環境に及ぼす影響を推測し、資源開発の重要性とのバランスを考慮し、妥協点を模索するための調査である。

それではJETを紹介するに先立ち、今まで蓄積された知見や推論に基づいて深海底生生物及び環境の特殊性について概説する。深海域は何と言っても光が届かないことが大きな特徴である。ここの生物の特徴のほとんどは、光の無いところから派生するものといっても過言ではない。ここでは植物による有機物生産が不可能なので、生物たちの栄養源は、はるか数千米の上層から輸送される有機物である (但し、熱水鉱床域周辺の生態系では、この記述はあてはまらない)。しかし、表層で生産された有機物は沈降の過程で徐々に消費されてしまうので、実際に深海底まで到達できるのはごくわずかな量にすぎない。このことは、底生生物の立場から言えば、慢性的餌不足の状態を強いられていることになる<sup>1)</sup>。したがって、ようやく海底にたどり着いた有機物も、待ち構えていた底生生物たちによってたちまち消費されてしまうので、ここに存在する有機物量に常は少さいことになる。当然ながら、このように、有機物の供給量が少なく、現存量も低い環境では多くの生物が息できない<sup>2)</sup> (小さい生物量)。一方、生物がこのような厳しい条件で生き残るためには、他の生物に先駆けて餌をとる特殊性を身に付けてなければならないはずである。事実、深海底には他の海域では見られないような独特な生態や形態を備えた生物が報告されている<sup>3)</sup> (希少種の存在)。また、餌が少なくとも、種を存続するためには♂と♀が巡り会える最低限の個体密度を維持しなければならない。餌がすくないこと、つまり少量のエネルギー源で、一定

以上の個体密度を維持するというジレンマを解消するための一つの戦略として、各個体の体を小さくしているという推論がある<sup>4)</sup>。実際、深海底の生物を浅海域の近縁種と比較すると、明らかに小さい傾向が認められている<sup>5)</sup> (小型化)。小型底生生物は移動能力が小さく、分布域を広げるには幼生期に海流に流されることしか術をもたない (小さな移動能力)。しかし深層流の流速はせいぜい10cm/sで、浅海域のそれと比べると明らかに小さい<sup>6)</sup> (分散が困難な環境)。一般に分散が困難な環境の生物は、他のエリアの生物と遺伝子交流がないため、独自の進化を遂げることが多い<sup>7)</sup> (固有種の存在)。また、先に述べたように底生生物は沈降してくる有機物に依存しているので、それを得るために堆積物の表層に集中的に分布するのも特徴であるが、ここには深海底鉱物は海底上に団塊状になって存在している (鉱物資源と分布の重複)。さらに、栄養条件の悪いうえに低水温なので、生物の成長は遅く、繁殖速度も小さいと言われている (乏しい再生産力能力)。

以上、( ) で示した内容を列挙すると以下のようになる。

a. 生物量が小さい, b. 移動能力が低い, c. 小型化, d. 分散が困難, e. 固有種 (& 希少種) の存在, f. 再生産能力が低い, g. 鉱物資源と重複した分布層

これらのうち、a~cについては、インパクトから逃避する能力が乏しい、またはインパクトに対しての抵抗力が小さいことを示唆するものである。d~fについては、ひとたび打撃を受けると、回復するのが困難ことを示唆する。さらに、gについては採鉱オペレーションが生物の分布層がターゲットになることを示している。

これらの知見及び推測は、深海底鉱物の採鉱が底生生物に大きな打撃を与える可能性を示している。従って環境保全の立場からは、採鉱の手法や海域等について慎重な配慮を求める必要がある。一方、資源開発の側に立てば、推測や可能性に基づいただけでは採鉱を中止または制限する根拠にはなりえない。特に深海底一般に関する知見より、採鉱対象海域の環境データに基づいた議論を望むことであろう。こうした相対する見解の妥協点を探るためには、やはり実際の調査を行い、双方が納得できるデータに基づいて議論されなければならない。次に、日本が行った環境調査を一例として紹介する。

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
1. 表層環境影響調査								
①影響予測モデルの開発 手法の検討 流動拡散モデル開発	←→	←→		冷水塊拡散モデル				
②基礎環境調査 手法の検討 実海域環境調査	←→	観測機器開発					補充調査	
③影響実証試験 培養実験			←→					
2. 底層環境影響調査								
①影響予測モデルの開発 手法の検討 流動拡散モデル開発				←→			底層拡散モデル	
②基礎環境調査 手法の検討 実海域環境調査			←→		機器試験			
③影響実証試験 海底かく乱実験						←→	海底かく乱実験	←→
3. 日米共同研究								
①日米協議 ②共同調査	←→	CIE(米国)	←→	BIE(米国)	←→	BIE(米国)・JET(日本)	←→	←→
4. 総合評価								←→

図-4 マンガン団塊採鉱環境影響調査長期スケジュール

### 3. 海底かく乱実験 (JET)

1994年、金属鉱業事業団は、すでに行われているマンガン団塊採鉱環境影響調査の一環として、海底かく乱実験 (JET) を開始した。この実験は基本的にNOAAが行ったBIEと同じで、海底の堆積物を実際に放出・再堆積させ、その影響を評価する“影響実証試験”である (図-4)。JETは、中部太平洋にある日本西鉱区の一部で、初年度にロシア船 (Yuzhmorgeologoiya 号) を、次年度以降は金属鉱業事業団所有の第二白嶺丸を用いて行っている。

#### 3.1 目的

JETの目的は、採鉱による急激な再堆積が、対象海域の底生生物に及ぼす影響を評価することである。しかし、いざ影響評価といっても漠然とした概念なので、実行上は下記の四項目を明らかにするように計画した。

a. 影響項目, b. 影響のメカニズム, c. 影響の範囲, d. 回復過程

まず最初に明らかにしなければならないのは“一体どんな影響があるのか?”である。そこで、あらかじめ影響項目として、底生生物の生息密度、種類数、組成および分布層等をリストアップし、これらのい

れか、またはすべてが、かく乱後にどのような変化を示すかを調べることにした。続いて、もし変化が認められた場合、それがどのような理由、または因果によるものかを調べるのが影響メカニズムの調査である。これが明らかでないと、自然状態で起った変化が、偶然に観察されたとの解釈を許してしまう。このようにして影響の内容が具体化されると、次は影響の規模、つまり影響の範囲を推測するため、堆積物の拡散状況の調査が必要になる。また同様に、ダメージからの回復過程を明らかにし、影響の持続性についても調査されなければならない。最終的には、こうした小テーマを積み重ねて、環境に対する影響の総合的な評価を試みるのがねらいである。

#### 3.2 実験工程

実験に先立ち、適当な海域を選択するため、音響機器による海底地形調査と写真撮影による海底観察が行われた。この結果に基づき、まず最初にシミュレーションを容易にするため、底層流の方向が単純になる谷地形を選定した (図-5)。続いて、DSSRS (以後、かく乱機) の曳航に考慮して、できるだけ平坦かつマンガン団塊の分布密度が低い場所を選び、これを実験対象域とした。

実験は、前記の目的に従って事前調査、海底かく乱

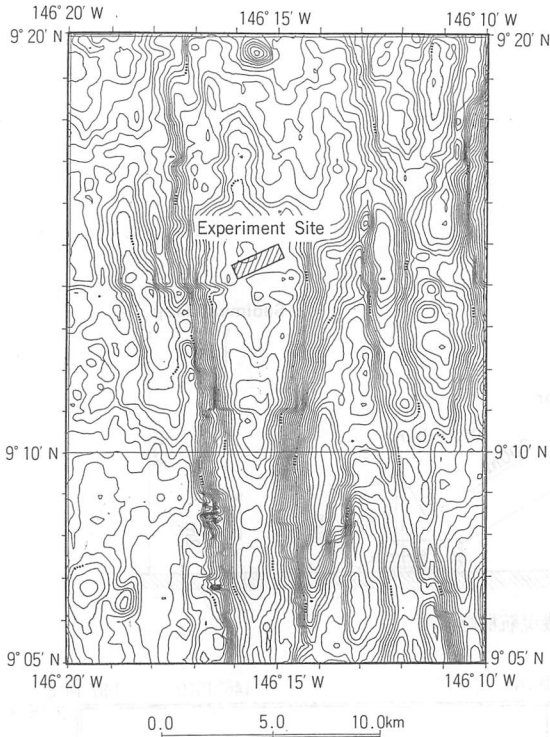


図-5 海底かく乱実験 (JET) 対象海域地形図

調査および事後調査に分けて行った。作業の都合上、航海は前半と後半に分け、それぞれをJET1 Cruise, JET2 Cruiseと呼んで区別した。事前調査は対象域の自然環境を調査することを目的とし、JET1 Cruise中に行った。主な作業は堆積物の採集で、ここで得た試料はさらに環境パラメーター用と生物パラメーター用に分けて分析・解析に供した(図-6)。海底かく乱調査は、対象域にインパクトを与えること、つまり堆積物を放出し、再堆積させることを目的とし、JET2 Cruise中に行った。ここで用いたかく乱機はジェットポンプによって海底面上の堆積物を粉碎し、雲状にし、それをリフトポンプによって、4 mの高さにあるチムニーから放出するようなデザインになっている(図-3, 図-7)。実際に放出した堆積物量を推定するために、チムニーの頂上には放出物の採集器が設置されており、放出試料の含水率を算出できるようにした。この他にも、かく乱機曳航エリアの周辺に流向・流速計とセジメントトラップを備えた係留系を配置し、堆積物の拡散範囲を推定できるようにした(図-8)。事後調査では堆積物採集を行い、かく乱前後の比較データを取得するとともに、適当な再堆積があったことを確認するため、海底の写真撮影も行った。尚、1年後

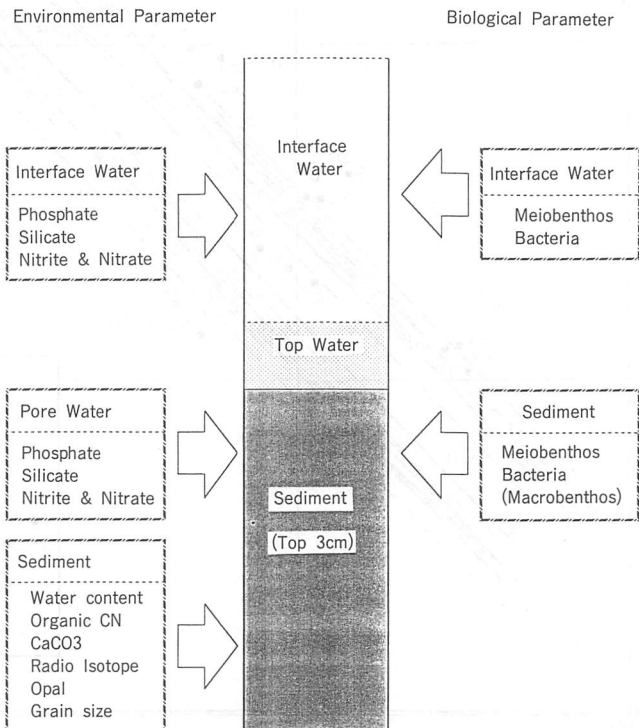


図-6 堆積物試料分析項目

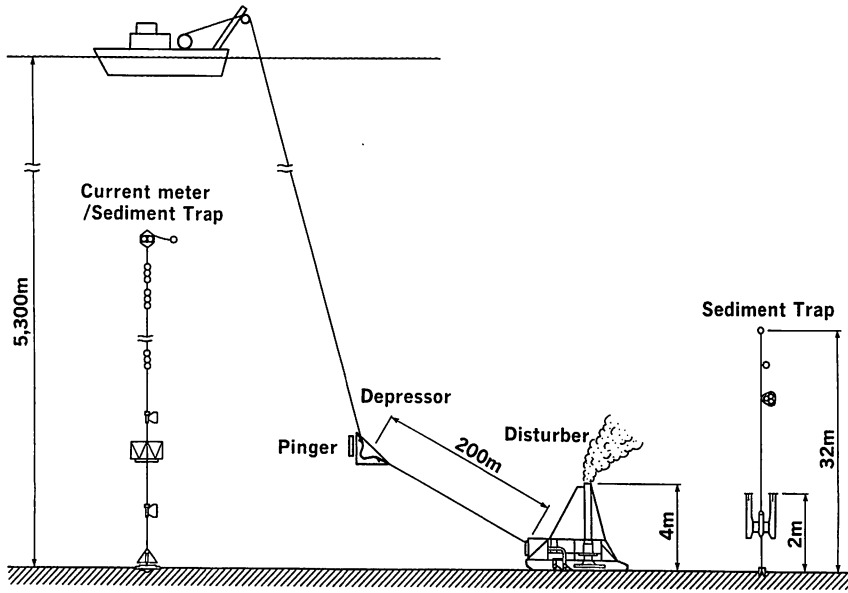


図-7 かく乱機曳航概略図<sup>6)</sup>

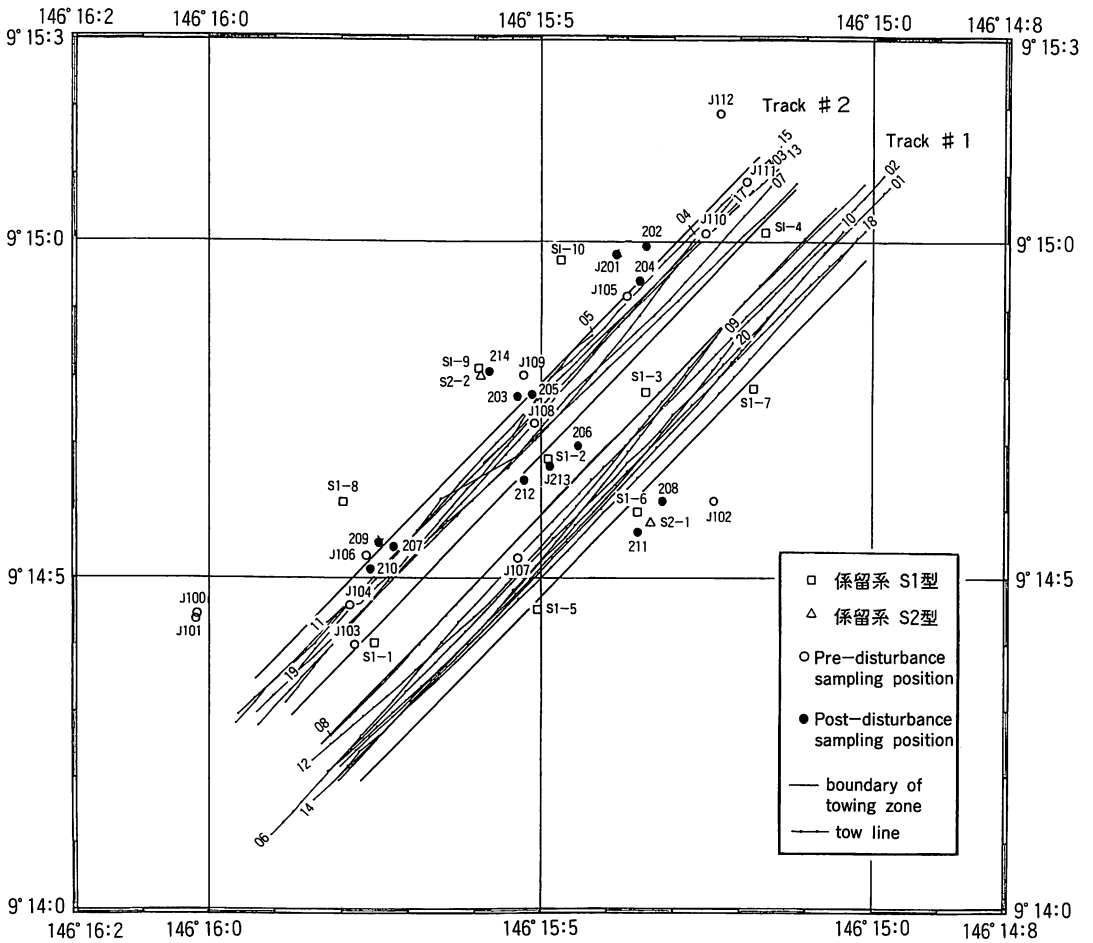


図-8 採泥測点および係留系配置図<sup>6)</sup>

のモニタリング調査は1995年9月に終了し、2年後のモニタリング調査は1996年9月に予定している。

### 3.3 結果

前述したとおり、現在のところ1年後のモニタリング調査まで終了している。1994年の調査では、事前調査 (JET1 Cruise) において13測点、事後調査 (JET2 Cruise) で14測点で堆積物を採集した。海底かく乱機は合計19回曳航し、約352トンの堆積物の放出を推定した。また、係留系観測では海底かく乱をはさんで約1ヶ月、12系列を係留した<sup>6)</sup> (図-8)。試料の分析・データ解析については現在進行中であるが、予察によれば海底写真や一部の堆積物の性状から再堆積が確認されている。また、小型生物においては個体密度の減少が認められ、影響を示唆する報告もされている<sup>7)</sup>。また、現在開発中の拡散シミュレーションモデルには、ここで得られた底層流、海底地形、底質物の性状等のファクターを用いる予定である。

### 4. おわりに

すでに述べたとおり、深海生物の再生産速度は著しく遅いと推測されている。このような特色をもつ生物群集を対象にした影響評価には、当然長い時間をかけた調査が必要とされる。しかし、一般には深海調査に

は莫大な経費がかかり、仮にニーズがあっても、そう簡単には実行に移せないのが実状である。こうしたなか、我々が長期にわたり、深海底調査に取り組めたことに、その重要性と責任を認識する次第である。一般海洋調査と比べて深海環境調査の歴史は浅く、まだ未解明のことが数多くある。今後、多くの組織によって調査が繰り返され、さらに充実した調査研究が行われることを望むものである。

### 文 献

- 1) Smith, R.C. ; Whale Falls Chemosynthesis on the Deep Seafloor, *Oceanus*, Vol.35, No.3, (1992), 74~78.
- 2) Gage, J.D., and Tyler, P.A. ; *Deep-Sea Biology* (1991), Cambridge University Press.
- 3) Rowe, G.T. ; *Deep-Sea Biology* (1983), John Wiley and Sons, New York.
- 4) 白山義久 ; 深海のメイオベントス, 遺伝, 45巻, 12号 (1991), 28~32.
- 5) 辻正明 ; 東部赤道太平洋における底層流, 資源と環境, Vol.4, No.1, (1995), 43~51.
- 6) Metal Mining Agency of Japan. ; Cruise Report Japan Deep Sea Impact Experiment (JET) (1994), 金属鉱業事業団.
- 7) Shirayama, Y., Fukushima, T., and Sato, T. ; Responses of Deep-Sea Meiofauna Against Artificial Rapid Sedimentation, NIMCO proceedings (1995), 23.

