

コバルト・リッチ・マンガン鉱床の賦存状況の観察

An observation of distribution features of cobalt rich manganese deposits

資源環境技術総合研究所 地殻工学部 山崎 哲生、鶴崎 克也、半田 啓二、富島 康夫

Tetsuo YAMAZAKI, Katsuya TSURUSAKI, Keiji HANDA, Yasuo TOMISHIMA
Mining & Geotechnology Dept., National Institute for Resources & Environment

インド国立海洋研究所 海洋地質部 ラフル シャルマ

Rahul SHARMA: National Institute of Oceanography, India

Key Words: cobalt rich manganese deposits, seafloor observation, stereo photographs, microtopography, gravity core sampling

Abstract

Evaluation of seafloor stereo photographs, video data, and large diameter gravity core samples shows a variety of surface features associated with the crusts, nodules, and sediments covering mid Pacific seamounts. A set of deep sea stereo camera and a color video camera mounted on a deep tow vehicle with CTD system was used on the research cruise of R/V Hakuraimaru No.2 and those data were analyzed for the study of the seafloor surface features. The gravity core samples were used for the analysis of the sub-bottom features with the seafloor picture taken by one shot deep sea camera used as a pilot weight of the corer.

The results show that many locations have high crust coverage with highly undulating microtopography designated by the quantitative analysis of the seafloor topography from the data of the stereo photographs and the vehicle depth corrected by the CTD data. High nodule coverage occur on relatively flat seafloor and the nodule size distribution, which was calculated from the stereo photograph data, varies from uniform to heterogeneous at different locations. Distribution of these deposits along the microtopographic sections show that the seafloor can be divided into nodule dominant zones between zero and three degree slopes, sediment patches zones with up to four degree slopes, and crust dominant zones which occur on slopes higher than 15 degree. At the transition zones between four and 15 degree slopes crusts and nodules cooccur in varying percentages.

The observations of crust outcrops among sediments and nodules and the crust samples collected from the beneath of the sediment sample by the large diameter gravity corer indicated the presence of shallow buried crusts, which can substantially enhance the resource evaluation of this deposits.

1. はじめに

マンガン、鉄とともにコバルト、ニッケル、白金など工業的に重要な金属を多く含むコバルト・リッチ・マンガン鉱床に関して、多くの機関で調査が実施されており、その地質学的な特性が報告されている。本報告では、海底の地形的な特徴と鉱床の分布状況、被覆率、クラスト及びノジュールの共存状態などの賦存状況を検討するための海底ステレオ写真の解析、海底テレビの観察、グラビティ・コアリングなどの調査手法と、その結果を紹介し、採掘の可能性が高いと考えら

る海山の山頂縁辺部の鉱床の賦存状況について考察する。また、埋没型の鉱床の存在も含めた鉱床モデルを示す。

2. 調査手法

コバルト・リッチ・マンガン鉱床の賦存状況の変化を把握するために、南鳥島南方海域の海山を対象として、第2白嶺丸の調査航海において曳航体による海底観察及びグラビティ・コア・サンプリングを行った。

Fig. 1はその観察手法を模式的に示したもので、曳航

体を海底からの高さ3~5mに保ちながら、約1ノットの速度で曳航し、約3時間のビデオ記録、340組のステレオ写真を得た。これらをもとに、目視観察、微地形解析、被覆率及びノジュール粒径分布解析を実施した。

海底の微地形変化は曳航体に搭載されたCTD（電気伝導度、温度、水深）センサの水深記録及びステレオ海底写真による曳航高さから算出した。このようにして得られた地形断面がFig. 2で、この測線を18の区間に分けて詳細な解析を試みた。地形の傾斜をパラメータとし、クラスト、ノジュール、堆積物の分布状態の解析を行った。

また、Fig. 3に示した、大口徑グラビティ・コアを用い、堆積物及び堆積物下のクラスト試料の採取を試みた。このコアのパイロット・ウェイトとして単発式の深海カメラを用い、コア試料の採取位置の海底表面状況もコア試料解析の情報として参考にした。

3. 調査結果

3-1. 平面的分布の一般的特徴

一般にクラストは海山の急傾斜の斜面に分布し、ノジュールは海山の平頂部のうちの縁辺部に多く分布するが、両者が共存する場合もある。堆積物の分布は地形やノジュール、クラストの分布状態に関連している。海底写真が得られた340地点での三者の被覆率の出現頻度によれば、15%の地点ではクラストの被覆率が90%以上であった。クラストの被覆率が10%~90%の地点は少なく、各10%毎の出現頻度は平均7%以下であった。これはクラストが点在していることを意味する。一方、57%の地点ではクラストの被覆率は0~10%である。

ノジュール被覆率が60~70%の地点は26%と多く、クラストの周辺に分布することが多いが、大きなクラストの周辺ではノジュールの被覆率は0~10%になる。

堆積物はクラスト、ノジュールとともに出現するが、その被覆率はクラストやノジュールの被覆率に左右される。

3-2. ノジュールの粒径分類

ノジュールの粒径は0~10cmであるが、粒度分布は場所によって異なる。いくつかの地点では、均一な粒径のノジュールが分布する場合もある。

3-3. 鉱床の微地形変化と表面性状

海底の微地形変化の範囲は数cmから数mに及ぶ。クラストの表面は平滑状、粒状、成層状を示すが、階段状の変化を示すこともある。大きなクラストでは、数10cmの段差を有する階段状の変化を呈する。比較的平坦なクラストでは、表面は数cmの粒状の凹凸を示すが、場所によっては10~20cmの凹凸を呈する。

クラストとともに出現するノジュールは、クラスト

とクラストの間の数10cmの深さの溝や、クラストの周辺に出現するが、比較的平坦な地形でクラストが分布しない箇所に多量に出現することもある。

堆積物はクラストの表面やその間に分布し、ノジュールの基盤となっている。また、クラストの凹部や溝を埋めており、埋没型クラストの存在を伺わせる。

3-4. 地形変化と賦存特性

前述の18区間のうち、いくつかの区間における地形変化と賦存特性をFig. 4に示した。大きなスケールでの海底形状や海底の傾斜とクラスト及びノジュールの分布特性との関係や、クラストとノジュールが共存している地点の観測結果によれば、このような海底は以下の4種に分類できる。

(1) ノジュール卓越域

このゾーンは海底傾斜が0~3度で、42%の地点でノジュールの被覆率が60~80%であった。一方、約70%の地点ではクラストは観察されていない。堆積物の被覆も多く、47%の地点で30%程度の被覆率であった。

(2) 堆積物卓越域

海底傾斜が3~4度のゾーンでは、75%の地点でクラストは観察されず、ノジュールの被覆も小さい。とくに67%の地点ではノジュールの被覆率は20%以下である。一方、堆積物の分布は高く、半数の地点で被覆率は100%である。しかし、Fig. 4の断面図によれば3度以下の斜面でもノジュールの基盤として堆積物は分布しており、ノジュール卓越域でも堆積物の分布が多いこともある。したがって、(1)域及び(2)域には大きな違いはないといえる。

(3) 遷移域

海底傾斜が4~15度のゾーンでは、クラスト、ノジュール、堆積物の被覆率は、地形変化とは特に関係なく変動している。このゾーンは、さらに、以下の2種類のサブゾーンに分類できる。

(i) クラスト及びノジュールの均等分布ゾーン

海底地形が4~7度のゾーンでは、30~40%の地点でクラストもノジュールも観察されない。その他の地点ではクラストとノジュールの被覆率は同程度であるが、数値的には変動している。堆積物がクラストとノジュールの間を埋めている。

(ii) クラスト及びノジュールの不均等分布ゾーン

海底傾斜が7~15度のゾーンでは、クラストが卓越しているとまでは言えないが、ノジュールよりも多く分布する。堆積物が91~100%と卓越する地点は存在しない。すなわち、クラストは多いがノジュールや堆積物もある程度は分布している。

(4) クラスト卓越域

クラストの卓越域は海底地形が15~40度の急傾斜のゾーンで、ノジュール及び堆積物はほとんど分布

しない。海底傾斜が15～20度のゾーンではクラスト被覆率が60%以上の地点が75%であり、ノジュールの被覆率が20%以下の地点が8%である。傾斜が20度を越えるとノジュールは分布せず、80%の地点でクラストの被覆率が100%であった。いくつかの地点ではクラストとともに多少の堆積物が分布している。

3-5. クラスト及びノジュールの共存地点の特徴

340枚の海底画像のうち、約17%でクラスト及びノジュールの共存が観察された。クラスト及びノジュールの被覆率の合計は40～80%であり、海底傾斜が4～15度の地点での共存が多い。0～4度では16%、4～15度では30%、15～20度では8%の地点で共存が観察されたが、20度以上の地点では共存はなかった。

すなわち、海底傾斜が4～15度では共存するが、それ以下及びそれ以上ではノジュール及びクラストがそれぞれ卓越して分布しているといえる。

3-6. 埋没型クラストの存在

海底写真及びビデオ画像の解析によれば、クラスト及びノジュールは堆積物に囲まれて分布している。一部のクラストは堆積物の被覆を下から突き破って、その一部を露出しているように見えることが多く、それが個別の巨礫の分布のように観察される場合も多い。いくつかの箇所では、クラストの表面が非常に平坦で、あたかも道路の舗装のような状態で堆積物の間に観測される。このような場合には、海底表面の微地形の変化によって、クラストの被覆率は大きく変化する。

多くの地点でクラストの広い露出や堆積物を突き破った部分的な露出が観察されることから、海底条件によっては種々の厚さの堆積物の下に埋没型のクラストが分布していることが推測される。海底の傾斜がきつくと、堆積物が分布しない地点ではクラストが広く露出し、比較的平坦な地点では完全に埋没している。中間的な傾斜の部分ではクラストの露出状態も中間的である。

観測測線の近傍で実施したグラビティ・コアリング(LC-31)によると、180cmの深さの堆積物の下から5cmの厚さのクラスト試料が得られた。これは埋没型クラストの最上層と考えることができる。単発カメラで得られた同地点の海底表面の写真によれば、この地点には平均直径1.2cmのノジュールが10kg/m²程度の賦存率で堆積物表面上に分布していた。このコア試料の表面からは、2.1個(98g)のノジュールが採取された。他のコア(LC-32)では、106cmの圧密された有孔虫軟泥が採取されたが、この地点での海底写真によるとクラストの露出が見られるため、埋没型クラストの存在も推測される。この地点のノジュールは平均直径2.5

cmで、賦存率は6kg/m²であり、コア試料の表面からは5個(62g)のノジュールが採取された。同じ海山の他の地点のコアリング(LC-16, 17, 24)においても薄い堆積層の下からクラスト試料が採取されている。

4. 考察

4-1. クラスト、ノジュール、堆積物の分布条件

海底地形の断面図(Fig. 4)及び海底傾斜別の被覆率頻度分布から、海底傾斜と形態別被覆率との関係が得られる(Fig. 5)。同図は海底地形の傾斜角度と、クラスト、ノジュール、堆積物のそれぞれの被覆率の範囲との関係を示している。同図によれば、ノジュールはクラストがほとんど分布せず、堆積物がいくらか分布する海底傾斜が0～3度の最も緩やかな地域で最も卓越している。4～7度の地域では堆積物の被覆率が増加し、ノジュールの被覆率は減少する。また、クラストの露出も若干増加する。7度を越すとクラストの露出が顕著に増加し、15度以上になるとその被覆率は非常に高く、ノジュール及び堆積物は非常に少ないか、ほとんど分布しない。そこで、クラスト、ノジュール、堆積物の分布条件は以下のようにまとめられる。

(1) クラスト：通常は海底傾斜が7度以上の急斜面に分布し、その地域はノジュールや堆積物のような固結していない粒子状のものは傾斜及び底層流のために堆積が困難である。このような地域は、一般に海山の頂上及び急斜面である。

(2) ノジュール：通常は、堆積物が分布し、いくぶん凹凸のある平坦な地域に分布する。このような地域は、一般に、傾斜の緩い斜面や平坦な段丘のある海山の側斜面である。

(3) 堆積物：微小な凹凸を有する海底に分布する。とくに地形の不均一な箇所や中程度の斜面で海底面の窪地に多く出現する。このような地域では、ノジュールは斜面を転落するため、その分布は多くない。

このような分布様式を調査海域の規模に応じて海底地形の微視的変動及び巨視的変動に適用して考えることができる。すなわち、大きなスケールでは、クラストの大きな露出は海山の急傾斜面及び頂上に見られ、ノジュールは段丘に多くみられ、堆積物は海底の凹地に堆積している。小さなスケールでは、クラストは平坦ではない微小地形変動を有する地域の微小高まりに分布し、堆積物はクラスト表面の微小な窪地やノジュールの間に分布している。

4-2. 埋没型クラストの賦存

多くの地点で堆積物の分布域にクラストの露出があることやグラビティ・コアリングにより堆積物試料の下からクラストの試料が得られたことにより、種々の厚さの堆積物の下に埋没型のクラストが存在することが確認された。海底地形の解析によれば、堆積物は、

凹凸を有する平坦でないクラスト鉱床の表面を埋没したものである。急斜面では堆積物が堆積出来ないためにクラストは完全に露出している。しかし、緩傾斜面では堆積物が堆積し、クラストを部分的に埋没している。オリジナルな海底は微地形の変動があっても、堆積物の堆積によって平坦化される。また、下部のクラストの凸部の大きな部分が堆積物から露出している。

コアリングの結果からも観察されるように、クラストを被覆している堆積物の表面上にもノジュールが分布することもある。また、船上からの海底地層探査によっても、堆積層の下層に埋没型のクラストが分布する可能性も指摘されている。これまで、多くの場でコバルト・リッチ・マンガン鉱床の鉱量の推定にその被覆率のみが用いられてきたが、埋没型のクラストをも推定に加えると、鉱量は非常に大きくなる。したがって、多くのコアリングや海底地層探査を行って、埋没型の鉱床の研究を進め、浅く埋没しているクラストを鉱量の推定に入れられるようにする事が必要である。

5. おわりに

コバルト・リッチ・マンガン鉱床の賦存特性の解析を行い、ノジュールが多く分布する地域とクラストの露出が多い地域は、海底の形態や基盤の違いにより、それぞれ分かれていることを明らかにした。海底面の傾斜が15度以上の急斜面は、露岩を被覆するようなクラストが発達しており、0～3度の堆積物の多い緩傾斜の地点ではノジュールの分布が多い。4～15度の中間的な斜面は、比較的堆積物の分布が多く、クラストとノジュールも混在している。クラスト、ノジュール、堆積物の相対的な出現頻度は、数cm～数mの凹凸の海底の微地形の変化によりもたらされている。

ノジュールや堆積物の分布域にクラストの露出があることやグラビティコアリングの試料により、埋没型クラストの存在を明らかにした。埋没型クラストは、原海底面であり、その上に堆積物が堆積し、さらに、その表面にノジュールが生成したのであろう。このような埋没型クラストの存在はクラスト鉱床の鉱量予測に大きな影響を与える。したがって、海底地層探査やコアリングのデータのさらに詳細な評価を行い、この鉱床の水深、層厚、その変化度などの賦存状態を理解することが必要である。

以上の考察を取りまとめ、コバルト・リッチ・マンガン鉱床の賦存特性を、海底地形の変化の視点から見ると、Fig. 6に示したようなモデルで表すことができる。

6. 謝辞

著者らは、平成2年から5年まで、第2白嶺丸の南鳥島南方海域における調査航海に客員研究員として参加し、海底写真、サンプルに対する解析、測定などの研究を行ってきた。本報告は、その成果であり、海底

写真及び関連資料を提供頂き、研究の遂行にご協力頂いた資源エネルギー庁海洋開発室、金属鉱業事業団、深海資源開発㈱に深謝する。

参考文献

Cronan, D. S., Hodkinson, R. A., et. al., 1991. Part 1 : An Evaluation of Manganese Nodules and Cobalt-Rich Crusts in South Pacific Exclusive Economic Zones - Nodules and Crusts in and Adjacent to the EEZ of the Cook Islands (the Aitutaki-Jarvis Transect). *Marine Mining*, 10:1-28.

Hawaii Department of Planning and Economic Development, 1987. Mining Development Scenario for Cobalt-Rich Manganese Crusts in the Exclusive Economic Zones of the Hawaiian Archipelago and Johnston Island. Hawaii, USA

Misawa, Y., Den, N., et. al., 1987. Cobalt Rich Manganese Crusts around Marcus Island. *Marine Science Monthly*, 19:209-214 (in Japanese).

Metal Mining Agency of Japan, 1993. Survey Report of Deep-sea Mineral Resources - Cobalt-Rich Crusts - for F. Y. 1992 (unpublished report).

Yamazaki, T., Tsurusaki, K., et. al., 1992. A Re-evaluation of Cobalt Rich Crust Abundance, Proc. of Annual Conference of Mining and Materials Institute of Japan, Paper no. 1104, 7-8 (in Japanese)

Yamazaki, T., Igarashi, Y., et. al., 1993. Buried cobalt rich manganese deposits on seamounts. *Resources Geology (Proceedings of 29th IGC)*

Yamazaki, T., Sharma, R., et. al., 1994a. Evaluation of Cobalt Rich Manganese Deposits by Image Analysis and Photographic Techniques, Proc. of Fourth International Offshore and Polar Engineering Conference, Japan, April 1994.

Yamazaki, T., Sharma, R., et. al., 1994b. Micro-topographic analysis of Co-rich manganese deposits on a mid-Pacific seamount, *Marine Georesources and Geotechnology*, (submitted)

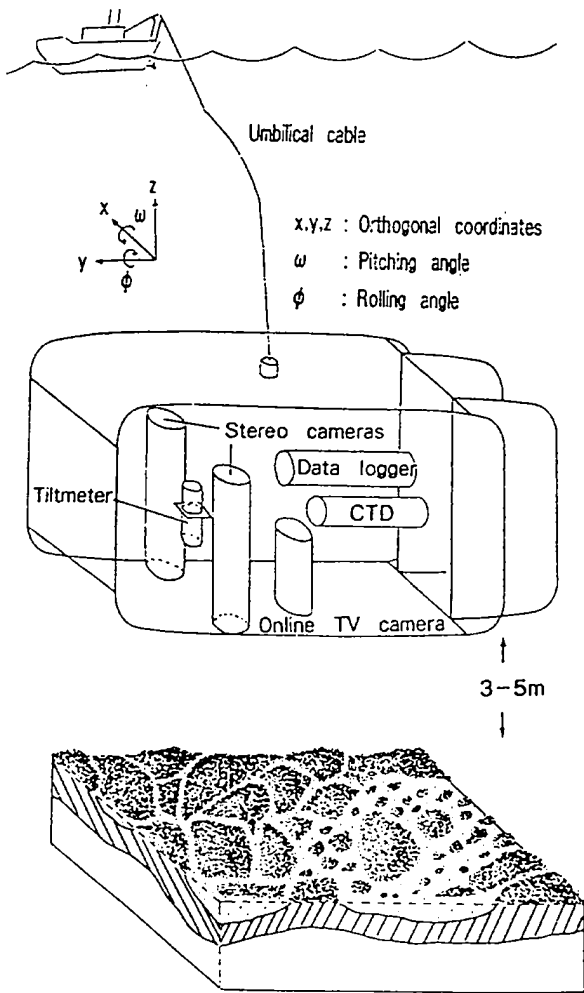


Fig. 1 Deepsea observation system

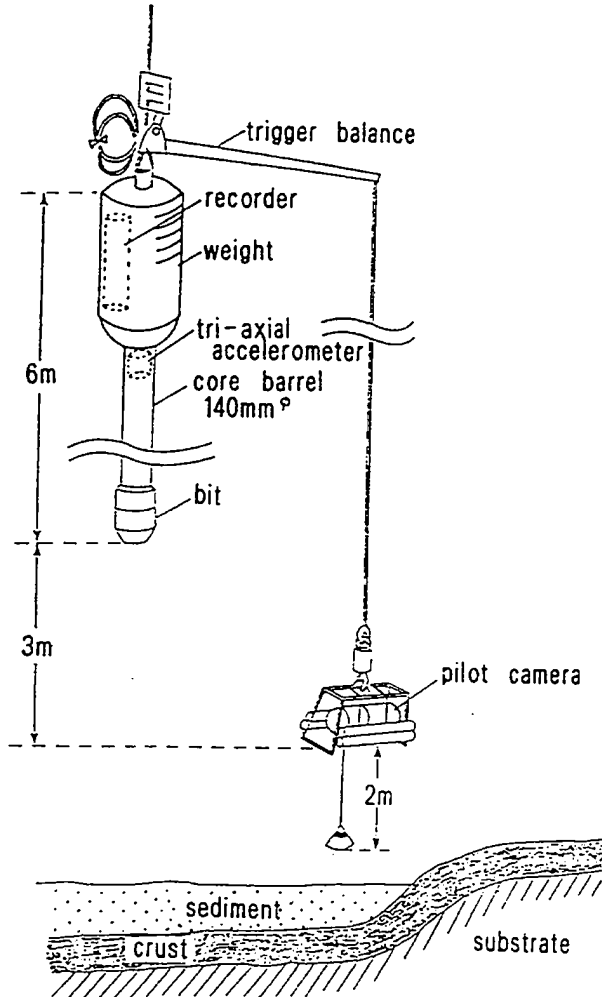


Fig. 2 Large diameter gravity corer

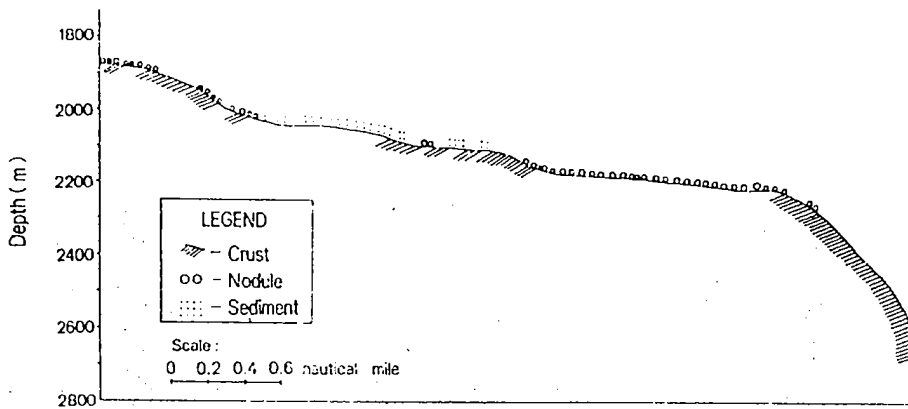


Fig. 3 Cross sectional view of the observation line

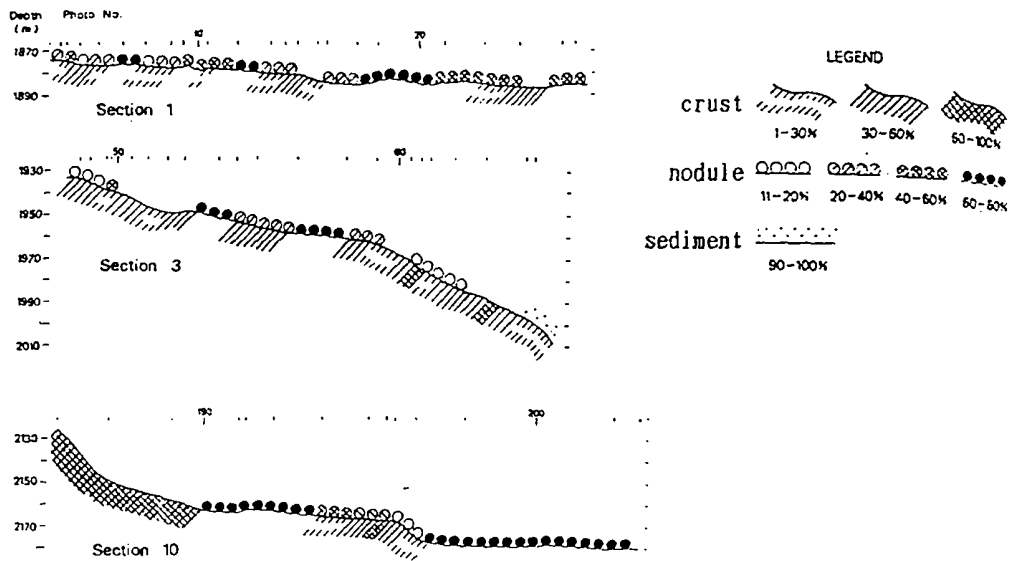


Fig. 4 Seabed profiles with distribution of crusts, nodules, and sediment

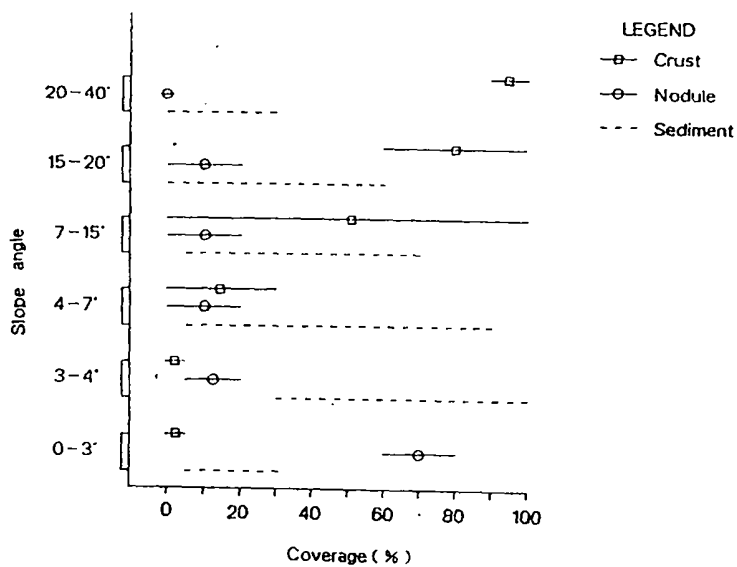


Fig. 5 Slope-coverage distribution chart for dominant coverages in different slope angle

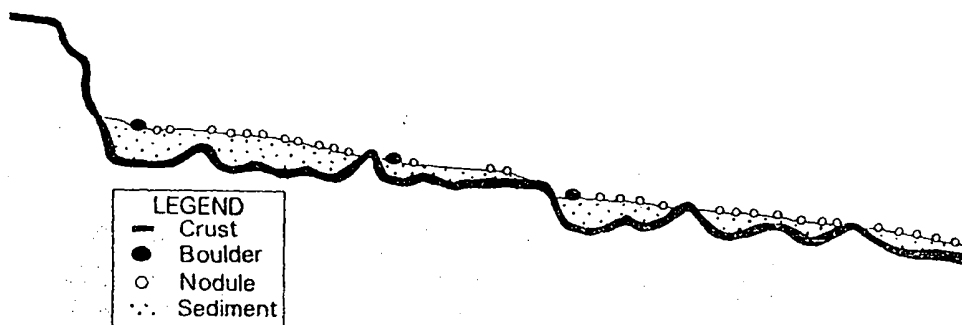


Fig. 6 Model of distribution features of cobalt rich manganese deposits