

海底設置型装置による活断層周辺のガンマ線測定

芦 寿一郎^{*1} 木下 正高^{*2} 倉本 真一^{*2} 森田 澄人^{*3} 斎藤 実篤^{*2}

海底におけるガンマ線計測は、「しんかい2000」「しんかい6500」「ドルフィン3K」などを用いてこれまでに多数のデータが得られており、その地質学的背景との関係が議論されている。しかし、潜水艇に搭載された機器による計測のため、比較的短時間の測定に限られ、また潜水艇自体による海底の擾乱作用の影響も考慮しなくてはならない。本研究では、自己記録式のガンマ線計測装置 (GRAMS) を作製し相模湾初島沖において試験を行った。約2日間にわたるガンマ線強度と放射性核種の濃度はほぼ一定しており、半日周期等の変動は認められなかった。また、既にガンマ線強度の正の異常の認められている熊野沖南海トラフ付加プリズムの断層崖においてガンマ線の面的な測定を行った。断層崖に沿った湧水地点でのガンマ線強度、トリウム系列・ウラン系列の放射性核種の濃度は、測定点ごとに大きな差があるものの、湧水の兆候のない地点と比較するとそれぞれ有意に高い値を示した。特に、ウラン系列の高濃度が注目され、断層帯に沿って付加プリズム内から湧出する流体の影響が示唆される。

キーワード：ガンマ線、活断層、冷湧水、付加プリズム、南海トラフ、相模トラフ

Seafloor gamma ray measurements around active faults by stand-alone system

Juichiro ASHI^{*4} Masataka KINOSHITA^{*5} Shin'ichi KURAMOTO^{*5}
Sumito MORITA^{*6} Saneatsu SAITO^{*5}

A large number of sea bottom gamma ray data have been obtained using "Shinkai 2000", "Shinkai 6500" and "Dolphin 3K", and have been discussed about relations to geological background. However, γ -ray spectrometers attached with the submersible or ROV are affected by relatively short measurement time and seafloor disturbance during landing and taking-off. We developed a stand-alone system of gamma ray measurement, named GRAMS (Gamma Ray Monitoring System) and tested it in the Sagami Bay off Hatsushima. Total intensity of gamma ray and radionuclide contents monitored for about two days are relatively constant and show no periodic variation such as half-day cycle. We also carried out GRAMS to know spatial distribution of gamma ray along the fault scarp of the Nankai accretionary prism off Kumano, where very high total intensity of gamma ray was previously observed. It is evident that total intensity of gamma ray and radionuclide contents of Th-series and U-series at cold seep sites are higher than those at normal seafloor. Especially, very high contents of U-series radionuclide suggests effect of fluids derived from the accretionary prism through the fault zone.

Keywords : gamma ray, active faults, cold seep, accretionary prism, Nankai Trough, Sagami Trough

* 1 東京大学海洋研究所
* 2 海洋科学技術センター
* 3 産業技術総合研究所
* 4 Ocean Research Institute, the University of Tokyo
* 5 Japan Marine Science and Technology Center
* 6 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1. はじめに

プレート沈み込み帯における海底からの流体(冷湧水)の湧出現象は、これまでに数多くの潜水調査による化学合成生物群集の発見から明らかになってきている。そして、活断層が流体の最も有効な排出経路となっていることが地震波を用いた構造断面との関係から分かってきた。一方、流体湧出の時間的な変動については、定常的であるのか、断層活動に関係しているのかどうかはほとんど分かっていない。冷湧水の湧出量の計測には、器で湧水地点を覆い流体の移動量を直接測るタイプのものがあるが、冷湧水は一般に湧出量が僅かであるので、機器で覆うことによる影響が大きいと考えられる。また、海底に突き刺す温度プローブを用いる手法は、海底付近の水温の変動の激しい所では湧水速度を見積もるのが容易でない。また、流体中に含まれるメタンガスを検出するセンサの開発も行われているが、沈み込み帯の冷湧水に一般に含まれるメタンガスの濃度は現在のところ検出限界以下である。

本研究で採用した手法は、吉田・塚原(1987など)や服部・岡野(1999など)によって既に用いられている海底放射能測定である。特に、服部・岡野らは、有人潜水艇・無人探査機にガンマ線スペクトロメータを常時搭載し、深海底の天然の放射性物質の挙動を研究しており、世界でも例をみないほど広範囲・高密度の深海底の放射能データの取得を行っている。しかし、有人潜水艇・無人探査機に装備された機器を用いるため、着底による海底の擾乱作用をとまなう数分程度の測定にとどまっている。また、潜航中常時測定されているものの、潜航の多くが放射能測定に特化したものではないため、着底時にセンサと海底との接地状況が確認されているデータは非常に限られたものとなっている。本研究は、バッテリーによる駆動が可能な海底設置型ガンマ線測定システムを開発し、活断層に沿った冷湧水における天然放射性物質の濃度の変動の観測を行ない、湧出する流体に含まれる放射性物質の時間的な変動の基礎的データを取得することを目的とした。

2. ガンマ線計測装置

本研究で使用した自己記録式ガンマ線計測システム(以下、GRAMS[Gamma RAY Monitoring System])は、有人潜水艇・無人探査機によって水深4000メートルまでの海底に容易に設置できるサイズで、可能な限り長期の観測を目標として設計した。GRAMSは、センサユニットとバッテリーユニットの2つの耐圧容器に分かれる(図1)。センサユニットには、「しんかい2000」、「しんかい6500」、「ドルフィン3K」に搭載されているセンサと同じ3インチNaI(Tl)シンチレーションカウンターと制御・記録部が含まれる。データはフラッシュメモリーに記録される。バッテリーユニットは、リチウム電池(電源電圧13V、放電電流 0.8A、定格容量 90AH)からなる。バッテリーユニットを独立することによりバッテリーの並列接続が可能であり、長期の観測にも対応できるシステムとした。1つのバッテリーユニットの使用で、約3週間の測定を行うことができる。ステンレス製のフレームと2つのユニットの合計の空中

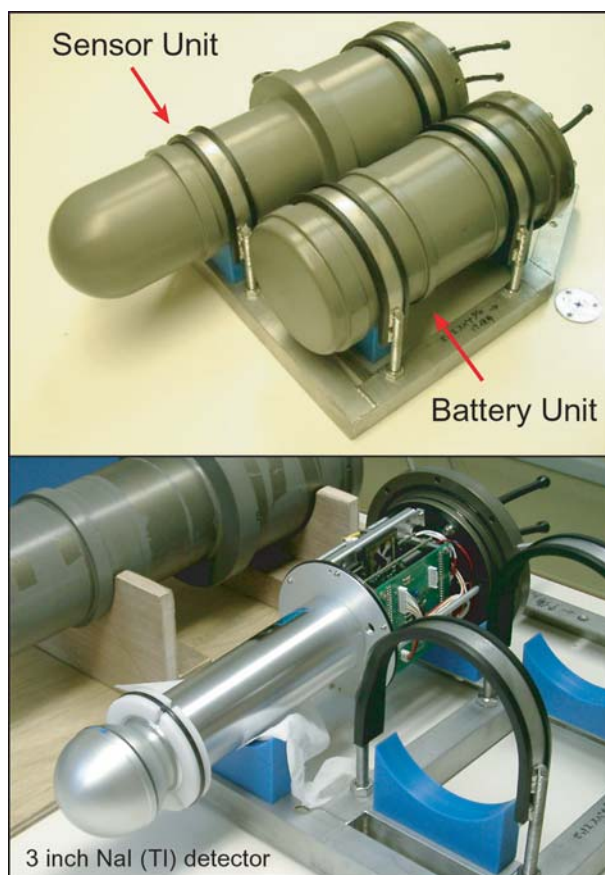


図1 自己記録式ガンマ線計測装置(GRAMS)の外観(上)と3インチNaI(Tl)シンチレーションカウンターと制御・記録部(下)

Fig. 1 Stand-alone system of gamma ray measurement named "GRAMS" (upper) and 3 inch NaI (Tl) scintillation counter and control/recording unit (lower).

重量は25.5kg、水中14.5kgである。GRAMSは海底設置型であるので、海底面とセンサの位置をビデオカメラで確認することができるが、通常はシンチレーションカウンターの中心が海底面から約10cmの所に位置することになる。

GRAMSで得られるデータは、空間 γ 線エネルギースペクトルで、市販の解析ソフトにより全計数率(cps[counts per sec.]放射線強度)、カリウム、ウラン系列、トリウム系列の放射性核種の濃度を計算することができる。「しんかい2000」「しんかい6500」「ドルフィン3K」による放射線測定の結果については、服部・岡野(1999, 2000, 2001)において詳しく述べられている。

3. 初島沖ガンマ線測定結果

3.1 初島沖観測地点

相模湾初島南東沖(図2)には、シロウリガイを中心とした化学合成生物群集の分布が知られている(橋本ほか, 1987など)。これらの生物群集は、相模トラフから伊豆半島にいたる斜面の基部付近に集中し、西相模湾断裂(石橋, 1990など)に沿って分布すると考えられている(服部ほか, 1996)。

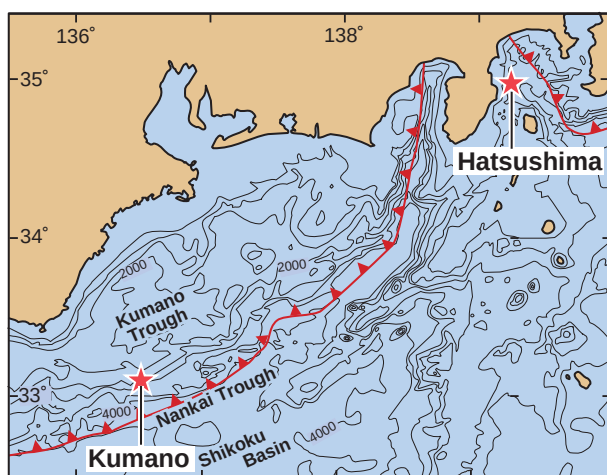


図2 相模トラフ～東部南海トラフの海底地形図。初島沖と熊野沖においてガンマ線計測を行った(星印の地点)。

Fig. 2 Bathymetry of the Suruga Trough and the eastern Nankai Trough. Gamma ray measurements were conducted off Hatsushima and Kumano. Stars show study areas.

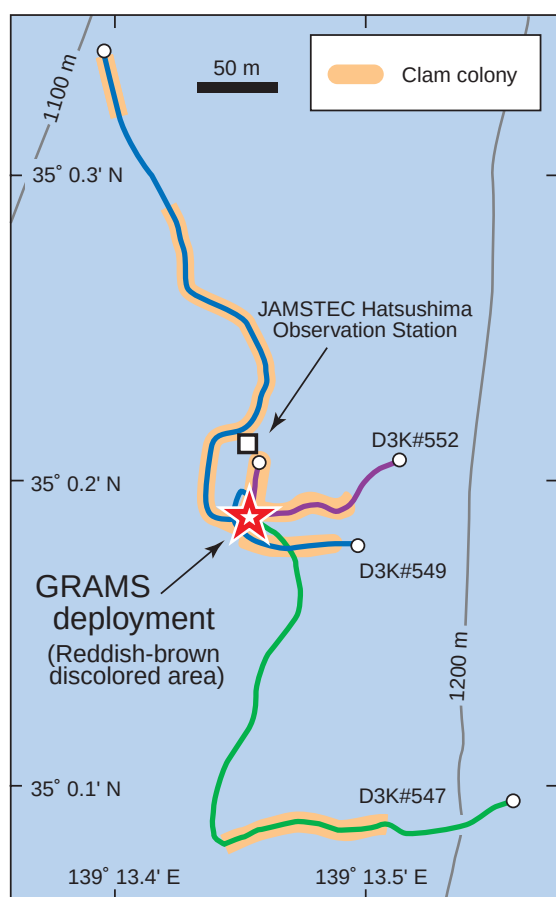


図3 初島沖のドルフィン3Kの航跡とGRAMS設置地点。二枚貝の生物群集と海洋科学技術センターの初島沖「深海底総合観測ステーション」の位置を合わせて示す。

Fig. 3 Ship tracks of Dolphin 3K off Hatsushima with position of GRAMS deployment. Clam colony and the JAMSTEC Observation Station are also shown.

また、個々の群集は陸上の活断層系と同じ方向に伸びていることが指摘されている(小川ほか, 1999)。流体の化学組成・同位体組成の分析によると、メタンガスの起源は生物過程によるもので、流体には陸水起源とみられる低塩素イオン濃度の異常を伴う(Tsunogai et al., 1996)。

今回、GRAMSを設置した地点は、海洋科学技術センターの初島沖「深海底総合観測ステーション」の南約50mのバクテリアによるとみられる赤褐色変色域南端である(図3)。まず、「ドルフィン3K」第547潜航によって赤褐色変色域を確認し、GRAMS観測予定地点にマーカーを設置した。近傍には、岩瀬ほか(2003)の湧水流量計(CAT meter)が確認できたが、流量計測に支障がないように5m以上の距離を離してGRAMSを設置するようにした。「ドルフィン3K」第549潜航では、マーカーの点において、GRAMSを海底に設置し(図4A),

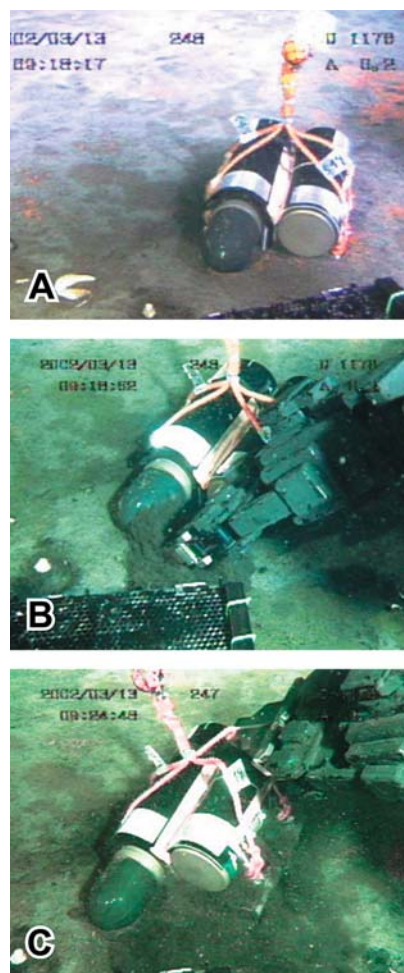


図4 初島沖におけるGRAMS設置地点の海底写真。A: 赤褐色変色域に設置されたGRAMS, 水深1178m。B: マニピュレータの開閉による人工的な泥の巻き上げ。C: GRAMSの傾動によるセンサ部の海底への接地作業。

Fig. 4 Photographs of GRAMS deployment off Hatsushima. A: GRAMS at reddish blown discolored area. B: Artificial seafloor disturbance by manipulator. C: Contact between gamma ray sensor and seafloor by inclination of GRAMS.

同地点において柱状採泥2本を行った。底質は、表層約5 cmが硫化水素臭のする黒色の泥で、その下はスコリア質の細礫からなる。約2日間の試験的観測の後、「ドルフィン3K」第552潜航によってGRAMSを回収した。回収前には、センサ近傍でマニピュレータの手先を開閉することによって、海底の泥を人工的に巻き上げさせ、5分間の計測を行った(図4B)。さらに、センサ部を海底堆積物に接地させるため、GRAMSをマニピュレータによって傾けて3分間の計測を行った(図4C)。図3には、各潜航において認められたシロウリガイコロニーの分布を航跡と合わせて示す。

3.2 初島沖観測結果

図5は、初島沖で得られた約2日間のデータをスペクトル解析し、ガンマ線強度とカリウム・ウラン系列・トリウム系列の放射性核種の濃度をプロットしたものである。10時11分にGRAMSを海底に設置するとともに、ガンマ線強度は回収時まで 36 ± 2 cpsの一定した値を示す結果を得た。また、3つの放射性核種の濃度も、ほぼ一定しており、系統的な変動は認められない。3月11日の23時20分から12日の0時、12日の16時39分から13日の0時までデータが欠損しているが、これは1日の最大収録データ数が999であるのに対して、測定間隔を短く1分に設定したことが原因であり、機器自体の故障ではない。機器回収前に行なったマニピュレータによる人工的な泥の巻き上げは、トリウム系列の放射性核種の濃度の一時的な上昇を引き起こしている(図6のa)。一方、センサを海底に接地させる作業では、海底が擾乱されたことにより一時的にトリウム系列の濃度がやや上昇しているが、3分間の計測の後半には通常の値に戻っている(図6のb)。また、回収作業とともに、ウラン系列の値が急激に低下するのに対してトリウム系列の濃度には変動が認められる(図6のc以降)。

3.3 初島沖考察

GRAMSを用いた約2日間の計測の結果、ほぼ一定したガンマ線強度とカリウム・ウラン系列・トリウム系列の放射性核種の濃度が得られた。服部・岡野(1999)は、初島沖でのガンマ線強度の平面分布を求めており、赤褐色変色域において比較的高い値を得ている。また、岩瀬・久保(2001)は、赤褐色変色域において最も高い地温勾配を報告しており、流体の湧出の影響を指摘している。さらに、岩瀬ほか(2003)

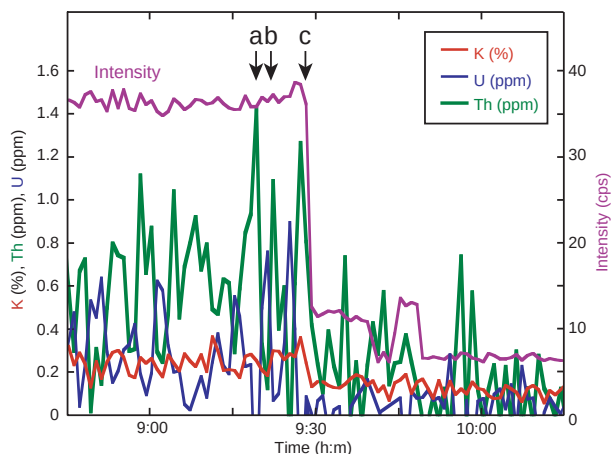


図6 初島沖のGRAMS回収時の時系列ガンマ線グラフ。人工的な泥の海底擾乱(a)、センサの海底接地(b)、機器回収(c)の時間を矢印で示す。

Fig. 6 Time series plots of gamma ray data during retrieve of GRAMS off Hastushima. Arrows indicate artificial seafloor disturbance (a), contact between sensor and seafloor (b) and retrieve of GRAMS (c).

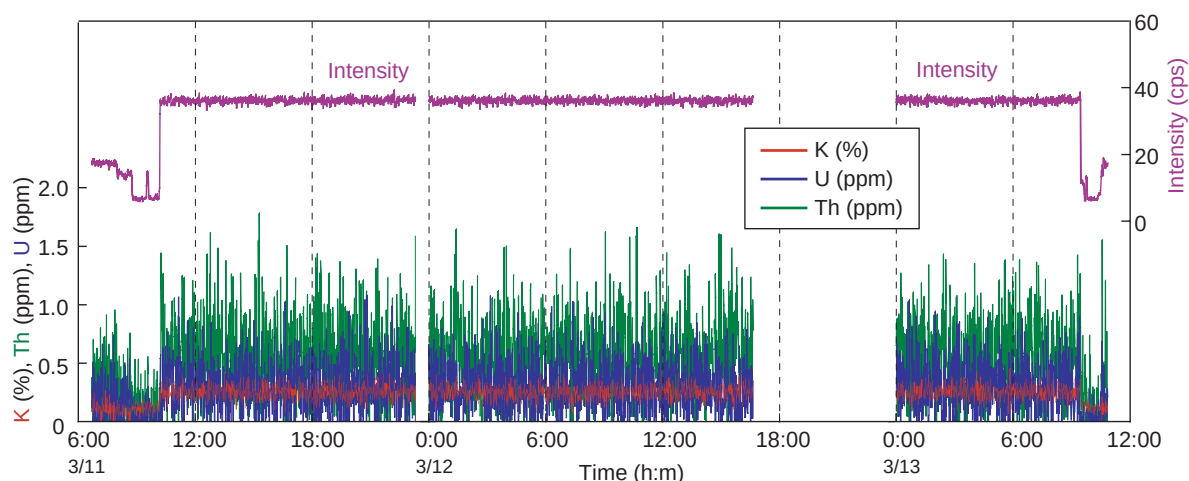


図5 初島沖のガンマ線強度・カリウム・ウラン系列・トリウム系列の濃度の時系列記録。単位は、ガンマ線強度を右軸、カリウム・ウラン系列・トリウム系列の各濃度を左軸に示す。

Fig. 5 Time series plots of total intensity of gamma ray, content of K, U-series and Th-series radionuclides. Units of total intensity and content are shown in right and left axes, respectively.

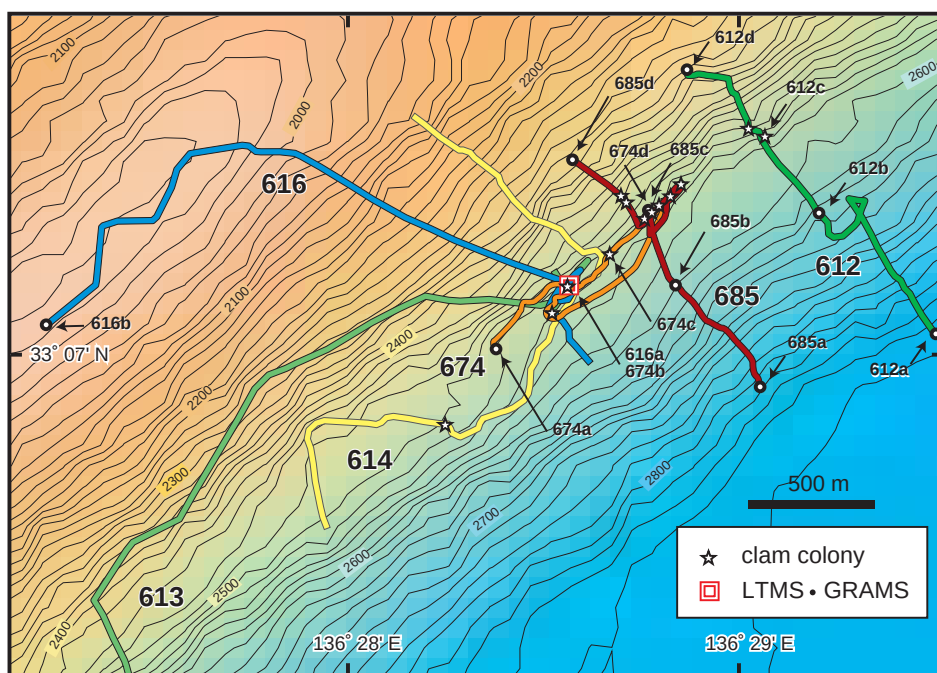


図7 熊野沖南海トラフ付加プリズムの上部斜面の海底地形図。水深2500mの平坦面の北側付近において活断層が海底に達していると推定される。「しんかい6500」の航跡と着定点、冷湧水、LTMSとGRAMSの設置地点を合わせて示す。

Fig. 7 Bathymetry of the upper slope of the Nankai accretionary prism off Kumano. An active fault is estimated to be developed around the north of the terrace at a water depth of 2500m. Track charts and landing points of "Shinkai 6500", seep sites, positions of LTMS and GRAMS are also shown.

によると、地温は周期的に変動している可能性がある。今回GRAMSで得られた値は、服部・岡野(1999)によるガンマ線強度とほぼ同じ値を示している。しかし、計測期間中にガンマ線強度および放射性核種の濃度の系統的な変化はなく、潮汐等の短期の変動は認められなかった。

機器回収前のマニピュレータによる人工的な泥の巻き上げで、トリウム系列の放射性核種の濃度が一時的に上昇しているが、これはトリウム系列の放射性核種が浮遊粒子に吸着しやすい性質を持つ(服部・岡野, 1999)ためであると考えられる。同様の泥の巻き上げによるトリウム系列の濃度の上昇は、センサを海底に近づけた際と機器の回収時にも認められ、浮遊粒子によるものと推定される(図6)。一方、ウラン系列の濃度は、GRAMS回収とともに急激に低下していることから、堆積層あるいは間隙水中の放射性核種を原因とするものと考えられる。しかし、センサを海底に接地させてもほとんど値の増加が認められないことから、ウラン系列の放射性核種は海底下のごく表層に多いと推定される。海底表層の黒色泥のすぐ下には、スコリアの細礫層が分布することから、ウラン系列の濃度は、還元的な黒色泥の中の間隙水に溶け込んだ放射性核種が主に関与している可能性が高い。

4. 熊野沖ガンマ線測定結果

4.1 熊野沖観測地点

熊野沖では、水深約2000mの熊野舟状海盆の南縁から水深約4300mの南海トラフまで、比較的狭い範囲(幅約

30km)に付加プリズムが発達する(図2)。プリズム斜面に分布する海底活断層は下部、中部、上部の大きく3帯に分かれる。特に上部斜面には、反射法地震探査によって、OOST(out-of-sequence thrust)がデコルマから派生し、付加プリズム全体を切り大きな断層崖を形成していることが明らかになっている(Park et al., 2002)。

YK01-07航海では、「しんかい6500」を用いて上部斜面の断層崖において4潜航、中部・下部斜面の断層崖において各1潜航を行った(芦ほか, 2002)。上部斜面の断層崖は上下2段の急崖に分けられ、間には平坦面(以下ではテラスと呼ぶ)が分布する(図7)。4回の潜航において、テラスに沿って、バクテリアマットとみられる白色の変色域とシロウリガイ、チューブワームの小コロニーが認められた(図8A)。第616潜航では、海底からの流体湧出の変動を明らかにするため、長期温度計測装置(LTMS)の設置を行った(後藤ほか, 2003)。

「しんかい6500」の右側サンプルバスケットの根元に搭載されたガンマ線センサ(図9)のデータ解析によると、いずれの潜航においてもテラスに分布する湧水点においてガンマ線強度の著しい増加、トリウム系列・ウラン系列の放射性核種の急激な増加が認められた(服部ほか, 2001; 服部・岡野, 2002; 芦ほか, 2002)。特に第612潜航と第616潜航によって観察された湧水は約1km離れているが、共に南海トラフ域ではこれまでで最大のガンマ線強度を示し(図10)、両地点が一連の湧水帯であることを示唆する。

YK02-02航海は、LTMSの回収と詳細な地温・ガンマ線

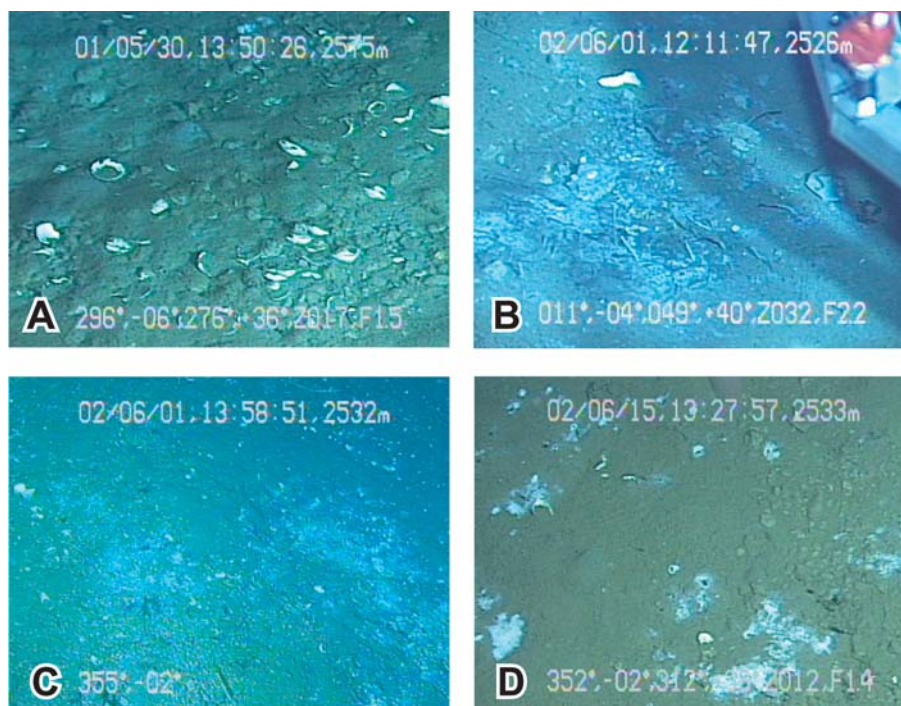


図8 冷湧水地点の海底写真。A: 断層崖の麓に広く分布する貝殻片。周囲にはバクテリアマット、生きたシロウリガイが認められる。第612潜航、水深2575m。B: GRAMSを設置したバクテリアマット。第674潜航、水深2536m。C: 南海トラフで最大のウラン系列放射性核種濃度の得られたバクテリアマットの広がる湧水地点。第674潜航、水深2532m。D: 白色のバクテリアマットがスポット状に広がる地点。第685潜航、水深2533m。

Fig. 8 Photographs of seep sites. A: Clam shells at the base of the fault scarp. Bacterial mat and living Calyptogena are also observed. Site 612b, Water depth is 2575m. B: Bacterial mat at the position of GRAMS observation. Site 674b, Water depth is 2536m. C: Cold seep site of bacterial mat showing the maximum contents of U-series radionuclids in the Nankai Trough. Site 674c, Water depth is 2532m. D: Sporadic distribution of whitish bacterial mats. Site 685c, Water depth is 2533m.



図9 「しんかい6500」の右側サンプルバスケットの根元に搭載されたガンマ線センサ

Fig. 9 Gamma ray detector attached with the base of the right side sample basket of "Shinkai 6500".

の計測・間隙水用の柱状採泥を目的として行われた(倉本ほか, 2003)。第674潜航では、LTMS計測地点にGRAMSを設置し(図7)、約3時間のガンマ線計測を行った。第685潜航では、テラス付近において海底に達していると推定される断層を横断するようにGRAMSを用いた計測を4地点で行った(図7)。

4.2 熊野沖観測結果

図11には、第674潜航と第685潜航時の「しんかい6500」搭載センサによるガンマ線データとGRAMSによる結果をそれぞれ上段と下段に示す。海水中のガンマ線強度、各放射性核種の濃度は地層や間隙流体の値に比べて非常に小さいので、いずれも着底時に高い値を示している。それぞれの潜航において着底した位置は図7に示す(潜航番号+a~d)。

第674潜航はテラスに沿って行われ、着底点aを除いてすべての地点(b, c, d)において、シロウリガイ・バクテリアマット等からなる化学合成生物群集が見出された(図8B, 8C)。「しんかい6500」のガンマ線強度と各放射性核種の濃度は、湧水地点において明らかに高い値を示していると言える。特に、他の南海トラフのデータ(服部・岡野, 2001)と比較してウラン系列の濃度が著しく高いことが特徴である。GRAMSは地点674bのバクテリアマットの上に設置され(図8B)、約3

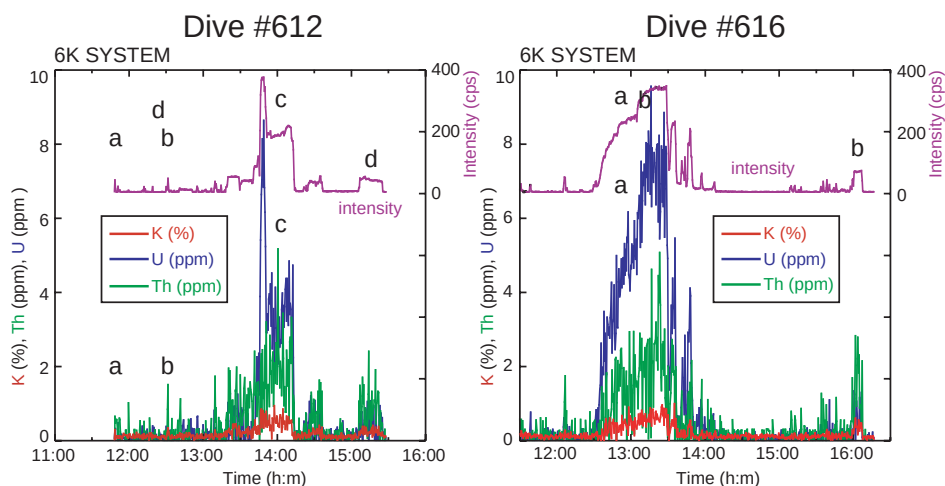


図10 熊野沖のガンマ線強度・カリウム・ウラン系列・トリウム系列の濃度の時系列記録。YK01-07航海(芦ほか, 2002)において「しんかい6500」搭載センサによってデータ取得された(服部・岡野, 2002)。ガンマ線計測地点をアルファベットで示す。

Fig. 10 Time series plots of gamma ray data during retrieve of GRAMS off Kumano. Data were obtained by "Shinkai 6500" equipped with a gamma ray detector (Hattori and Okano, 2002) during YK01-07 cruise (Ashi et al., 2002). Alphabets show landing positions for gamma ray measurement.

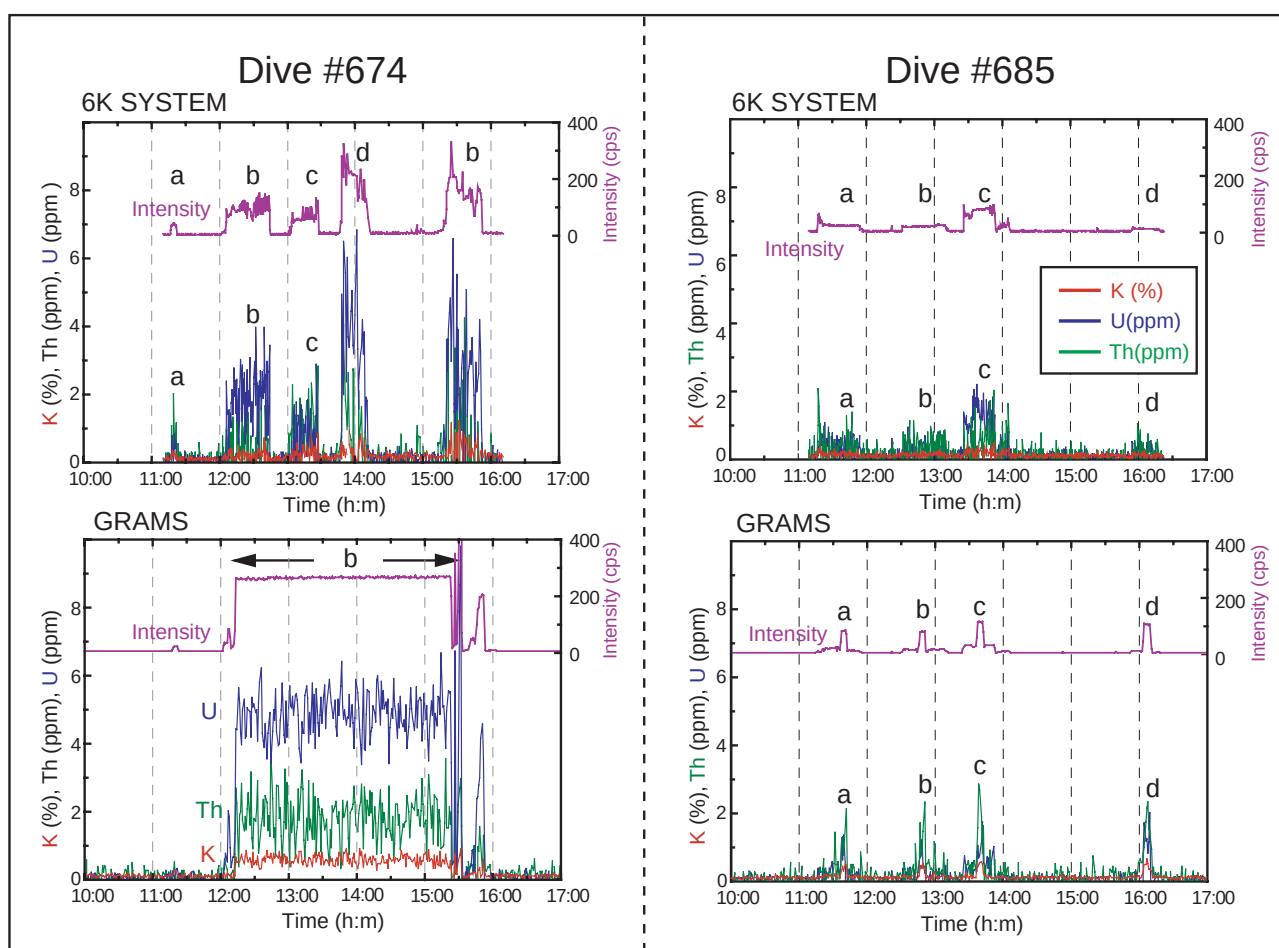


図11 熊野沖のガンマ線強度・カリウム・ウラン系列・トリウム系列の濃度の時系列記録。YK02-02航海(倉本ほか, 2003)において「しんかい6500」搭載センサ(上段)およびGRAMS(下段)によってデータ取得された。着底作業地点をアルファベットで示す。

Fig. 11 Time series plots of gamma ray data during retrieve of GRAMS off Kumano. Data were obtained by "Shinkai 6500" equipped with a gamma ray detector (upper) and GRAMS (lower) during YK02-02 (Kuramoto et al., 2003). Alphabets show landing positions for gamma ray measurement.

時間の計測が行われた。同地点では「しんかい6500」によるGRAMSの設置・回収で2回の着底作業が行われているが、回収時は設置時に比べて強度・濃度ともに大きな値を示している。GRAMSによる約3時間の計測値は、GRAMS回収時の「しんかい6500」のガンマ線データとほぼ同じ値を示すが、より安定した値が得られている。

第685潜航では、4回のガンマ線計測を行ったが、そのうちバクテリアマットの分布域は地点685cのみである(図8D)。「しんかい6500」のガンマ線データでは明らかにコロニーにおいて高い値が得られ、ウラン系列の濃度がトリウム系列より高くなっている。一方、GRAMSのデータは地点685cにおいてトリウム系列の濃度が若干高いだけである。

4.3 熊野沖考察

はじめにYK01-07航海における「しんかい6500」のガンマ線データ結果を見直してみる。第612潜航では地点612cにおいてのみシロウリガイコロニーが認められた。この地点のガンマ線強度と各放射性核種の濃度は、他の地点と比較して著しく高い(図10)。また、ウラン系列の濃度がトリウム系列の濃度よりも高いのが特徴的である。第616潜航の地点616aはGRAMSを設置した地点674bと同一地点である。ここでは、時間の経過とともにガンマ線強度、トリウム系列・ウラン系列の濃度の上昇が認められる(図10)。これは、LTMSの設置作業により「しんかい6500」のガンマ線センサが堆積物に埋もれたためであると推定される。

断層崖のテラスに沿った湧水地点でのガンマ線強度、トリウム系列・ウラン系列の濃度は、測定点ごとに大きな差があるものの、湧水の兆候のない地点と比較するとそれぞれ有意に高い値を示していると言える。LTMSとGRAMSを設置した地点には、第674潜航で2回、YK01-07航海の第616潜航で1回(地点616a)着底し、「しんかい6500」搭載センサによるガンマ線データが得られているが、それらの値には大きな差や変動がみられる(図10, 11)。わずかな場所の相違やセンサと海底の距離の違い、着底作業による海底の擾乱が影響しているものと考えられる。GRAMSによる約3時間のデータは、これらに対して設置直後から安定した値を示している。

第685潜航では、湧水の兆候のない地点(685a, b, d)とバクテリアマットが点在する地点685c(図8D)において「しんかい6500」搭載センサとGRAMSを用いてガンマ線計測を行ったが、強度や放射性核種の濃度に大きな異常は認められなかった(図11)。「しんかい6500」搭載のセンサでは、わずかにウラン系列の濃度がトリウム系列の濃度より大きくなっている。ビデオ映像を確認すると、GRAMS設置地点に比べて「しんかい6500」搭載のセンサがより活発なバクテリアマットに位置しており、ガンマ線の異常はかなり局在したものである可能性が高いと言える。

予察的な分析によると、湧水地点では高濃度のメタンガスが検出され、メタンガスの炭素安定同位体比から生物過程による比較的浅所からのガスの供給が指摘されている(角皆ほか, 2001)。一方、流体は低塩素イオン濃度であり、断層

に沿った地下深部からの流体の供給が示唆されている(土岐ほか, 2003)。ウラン系列の放射性核種の濃度が断層に沿って高い原因としては、地下から湧出する流体に含まれる放射性核種が海底表層堆積物の間隙に供給されている可能性が挙げられる。

5. まとめ

相模湾初島沖において、自己記録式ガンマ線計測装置(GRAMS)の試験観測を行った。測定間隔の設定ミスによる一部欠落があるものの約2日間のデータが得られたが、観測期間内でのガンマ線強度やカリウム・ウラン系列・トリウム系列の濃度の変動は認められなかった。GRAMSで得られたデータは、設置直後から安定した値が得られており、潜水艇・無人探査機による通常のガンマ線計測に比較して、センサと海底との距離の違いや着底作業による海底の擾乱の影響を除外した、より定量的な計測が可能であると言える。

熊野沖付加ブリズム斜面に分布する断層崖に沿った湧水地点でのガンマ線強度、トリウム系列・ウラン系列の濃度は、測定点ごとに大きな差があるものの、湧水の兆候のない地点と比較するとそれぞれ有意に高い値を示していると言える。特に、ウラン系列の濃度がトリウム系列の濃度より大きい点が注目される。調査地点は、1944年の東南海地震の震源域の南限付近であり、上記の断層は巨大地震発生時に活動することも考えられる。陸上の地下水では、ラドンのモニタリングが行われており、ラドン含有量の変化と地震・地殻変動の密接な関係が指摘されている(Igarashi et al., 1995)。プレート間巨大地震発生の現場である海底活断層での長期のガンマ線計測が望まれる。

謝辞

ガンマ線測定器の設計から試験に至るまで服部陸男氏、岡野眞治氏には終始お世話になった。機器製作にあたっては、理化学研究所の加藤 博氏、株式会社湘南の長井義春氏にご尽力いただいた。今井指令、依田指令をはじめとする「しんかい6500」「しんかい2000」運航チーム諸氏、「よこすか」「なつしま」船長はじめ乗員の皆さま、観測技術員の小柳津昌久氏には、調査行動全般にわたり大変お世話になった。YK02-02航海乗船研究者には貴重な海底観察時間を割いてのガンマ線計測にご協力頂いた。ここに記して御礼申し上げます。本研究の実施には、文部科学省科学研究費補助金(課題番号13440144)を使用した。

引用文献

- 1) 芦 寿一郎・倉本真一・森田澄人・角皆 潤、後藤秀作・小島茂明・岡本拓士・石村豊穂・井尻 暁・土岐知弘・工藤新吾・浅井聡子・内海真生、熊野沖南海トラフ付加ブリズムの地質構造と冷湧水 - YK01-04 Leg 2熊野沖調査概要, JAMSTEC深海研究, 20, 1-8 (2002).
- 2) 後藤秀作・倉本真一・森田澄人・芦 寿一郎・木下正高・山野 誠、熊野沖南海トラフ付加体生物群集での海底長期温度モニタリング, 第19回しんかいシンポジウム予

- 稿集, 149-150 (2003).
- 3) 橋本 惇・田中武男・松沢誠二・堀田 宏, 相模湾初島沖におけるシロウリガイ群集の調査, 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 37-50 (1987).
 - 4) 服部陸男・芦寿一郎・岡野眞治, "南海トラフの地質構造と海底 γ 線解析結果の解釈", 第18回しんかいシンポジウム予稿集, 100-101 (2001).
 - 5) 服部陸男・蟹江康光・大場忠道・秋元和實・菅野三郎, 相模湾および陸上の沈み込み帯の冷湧水域に伴う炭酸塩類と独立栄養動物群集の生成環境, JAMSTEC深海研究12, 117-132 (1996).
 - 6) 服部陸男・岡野眞治, 有人潜水船, 無人探査機による海中, 海底 γ 線調査, JAMSTEC深海研究14, 639-660 (1999).
 - 7) 服部陸男・岡野眞治, 海洋放射線測定, 1998, 1999年度の成果, JAMSTEC深海研究16, 57-67 (2000).
 - 8) 服部陸男・岡野眞治, 海洋放射能測定最近の成果, 海洋放射能測定最近の成果, JAMSTEC深海研究18, 1-13 (2001).
 - 9) Igarashi, G., Saeki, S., Tanaka, N., Sumikawa, K., Tasaka, S., Sasaki, Y and Sano, Y., Ground-water radon anomaly before the Kobe earthquake in Japan, Science, 269, 60-61 (1995).
 - 10) 石橋克彦, 西相模湾断裂, 国府津・松田断層, 大磯型地震, 地球惑星科学関連学会講演予稿集, 90 (1990).
 - 11) 岩瀬良一・久保雄介, 相模湾初島沖・神津島東方沖「ハイパー・ドルフィン」潜航調査 (KY01-01航海), JAMSTEC深海研究19, 37-44 (2001).
 - 12) 岩瀬良一・町山栄章・徐 垣・後藤忠徳・Kevin Brown, Michael Tryon, 相模湾初島南東沖における熱流量詳細マッピングと湧水計測の試み, 第19回しんかいシンポジウム予稿集, 70-71 (2003).
 - 13) 倉本真一・Nankai-SEIZ研究グループ, 「南海トラフ巨大地震発生帯の総合研究」の成果, 第19回しんかいシンポジウム予稿集, 44-45 (2003).
 - 14) 小川勇二郎・岩瀬良一・金沢敏彦・金子浩幸・川上俊介・川村喜一郎・小山純弘・小林英城・牧陽之助・酒井慎一・高木善弘・浅田美穂, NT98-12 Leg 1による相模湾「しんかい2000」潜航調査報告 (概報) - 第1047-1051潜航, JAMSTEC深海研究15, 135-144 (1999).
 - 15) Park, J-O., Tsuru, T., Kodaira, S., Cummins, P.R., and Kaneda, Y., Splay fault branching along the Nankai subduction zone, Science, 297, 1157-1160 (2002).
 - 16) 土岐知弘・角皆潤・蒲生俊敬・倉本真一・YK02-02乗船研究者一同, 熊野沖海底冷湧水の起源, 第19回しんかいシンポジウム予稿集, 142 (2003).
 - 17) Tsunogai, U, Ishibashi, J., Wakita, H., Gamo, T., Masuzawa, T., Nakatsuka, T., Nojiri, Y., Nakamura, T., Fresh water seepage and pore water recycling on the seafloor, Sagami Trough Subduction Zone, Japan, Earth Planet. Sci. Lett., 138, 157-168 (1996).
 - 18) 角皆潤・土岐知弘・井尻暁・石村豊穂・工藤新吾・蒲生俊敬・内海真生・芦寿一郎・倉本真一・森田澄人・YK01-01航海乗船研究者一同, 「「よこすか」「しんかい6500」YK01-04次航海における地球化学的冷湧水研究の結果», 第18回しんかいシンポジウム予稿集, 183 (2001).
 - 19) 吉田則夫・塚原弘昭, 潜水調査船「しんかい2000」を利用したシロウリガイ群生地でのガンマ線探査, 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 105-112 (1987).

(原稿受理:平成15年1月16日)

