

論文内容の要旨

論文題目 Geological process of gas hydrate formation
in the eastern Nankai Trough, off central Japan

(東部南海トラフにおけるガスハイドレートの地質学的生成過程)

氏名 武内 里香

Introduction

ガスハイドレートは低温高圧の安定条件をみたす深海底や湖沼、永久凍土地域の堆積物中に広く分布する。潜水調査艇やピストンコアを用いた海底表層の調査、反射法地震探査などの物理探査、掘削による物理検層などが世界各地の海洋で行われ、海洋のガスハイドレートの水平分布が明らかになってきた。しかし実際に堆積物やガスハイドレートを回収するコアリング調査は非常に例が少なく、海洋ではハイドレトリッジ、カスカディアリッジ、南海トラフのわずか 3 地域でしか行われていない。またその調査地域においても、安定領域全体をカバーする地層温度の情報が欠けているために、ガスハイドレートの挙動に関する具体的な議論を進めることが難しかった。天然ガスハイドレートの挙動を規制する地質学的な要因は、海水準変動や海水温変動、隆起速度、地温勾配など多岐にわたって考えられるが、これらの要因でおこるガスハイドレートの変動を議論する以前に、現在の安定領域すら確実に知ることができなかった。

南海トラフでは、精密な地震波断面調査、海底地形調査、ピストンコアによる調査など多岐にわたる研究が進められており、ガスハイドレートの存在を示唆する BSR(海底擬似反射面)が広範囲に分布することが明らかにされている。さらに南海トラフでは一部に BSR が二枚存在する場所が発見されているが、その成因と意義については未解釈のままである。この二枚の BSR が存在する地域にて、2004 年には初めての試みである高分解能長期地層温度測定が実施された。本研究は他では得ることのできない詳細かつ広範囲のデータに基づき、変動する付加体南海トラフにおいて、堆積物間隙水の地化学分析をもとに、1) 現在のハイドレート安定領域と実際の分布、飽和率などの関係を明確にする、2) 間隙水に地化学的に記録されている過去のメタンハイドレートの変動を吟味する、3) 南海トラフにおけるハイドレートの挙動を規制している地質学的な要因を解明する、ことを目的としている。

Methods

2004年に行われた基礎試錐-熊野灘～東海沖のうち、東海沖・第二渥美海丘の2地点においては、海底面下からハイドレート安定領域下限までの堆積物をすべて回収するフルコアリングが実施された。船上では、簡単にコアの観察を行った上でサンプリング深度を決定し、その場で間隙水の搾取を行った。間隙水のサンプリング位置決定にあたっては、岩相やMH含有層/非含有層いずれにも偏らないようにした。間隙水にたいしては、主要イオン分析、微量元素分析、酸素同位体分析を行った。また、堆積物、炭酸塩ノジュールに関しては、鉱物組成、総炭素・総硫黄量分析、同位体分析を行なった。

Results & Discussion

メタンフラックス

東海沖では硫酸イオン濃度が0になる深度が海底面下23mであるが、第二渥美海丘は海底面下7m付近である。硫酸イオンは大部分がメタンによって消費されていると考えられ、第二渥美海丘は東海沖と比較すると更にメタンフラックスが高い。フラックスが拡散だけではなく流体移動に寄与している可能性も高い。上部80mにおいて自生炭酸塩含有率が全般的に高いことから、0.8-0.9Ma以降高いメタンフラックスが継続していると考えられる。

ハイドレートの分布深度と飽和率

東海沖・第二渥美海丘両サイトにおいて、間隙充填型の微細なガスハイドレートが砂層に選択的に発達していることが明らかになった。その低塩分異常から飽和率は東海沖が60-80%、第二渥美海丘が40-80%程度であると計算された。分布深度は比抵抗検層の結果が示す高比抵抗区間とほぼ重なる。第二渥美海丘においては、BSR深度と高比抵抗区間の基底深度、塩素濃度異常区間の基底深度はほぼ一致し、335mbsf近辺である(図2)。一方東海沖では、upper BSR深度と高比抵抗区間の基底深度、塩素濃度異常区間の基底深度が200mbsf付近でほぼ一致し、lower BSRとupper BSRの間には塩素濃度異常も高比抵抗も

存在しない(図1)。このダブルBSRはリッジ近辺で特有にみられる現象で、その成因は現在の隆起によるBGHSの上昇であり、lower BSRは過去のBSRであり現在は消えつつある不安定なものという解釈が多勢であった。しかし同地域で行われた高分解能長期地層温度測定の結果から、lower BSRまでがハイドレート安

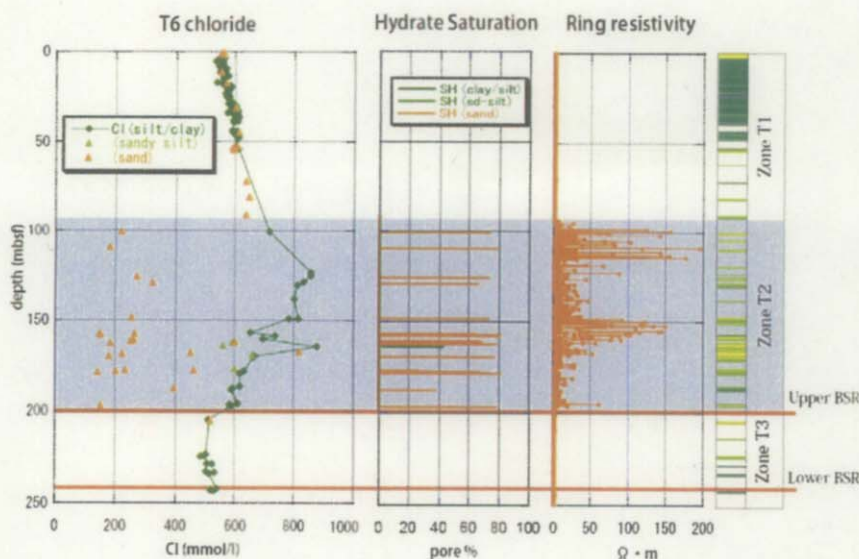


図1 東海沖(T6-FC)における塩素濃度・ハイドレート飽和率

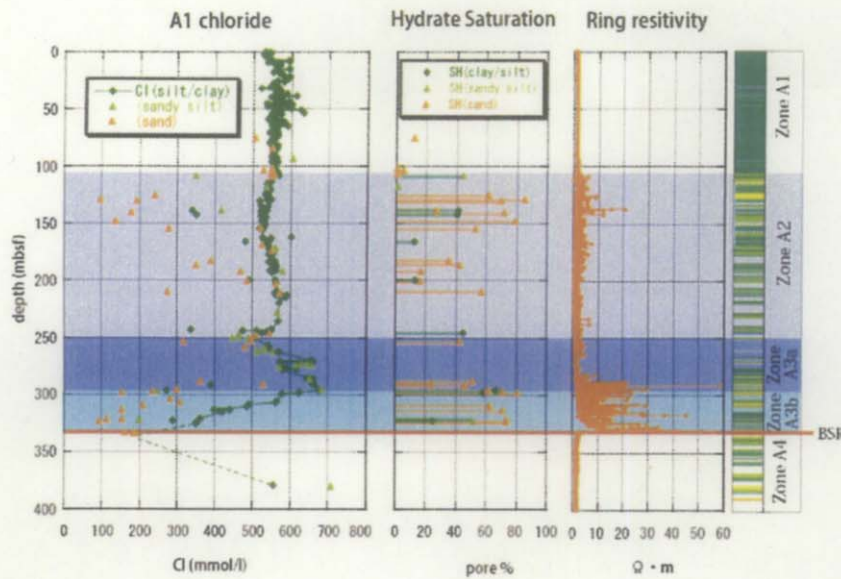


図2 第二渥美海丘(A1-FC)における塩素濃度・ハイドレート飽和率

を示しており、これはハイドレート生成により H_2O が奪われ、排出された塩分により周囲の間隙水の塩分濃度が高くなったと考えられる。第二渥美海丘においては、Zone A3a と b の境でベースラインは鋭く折れ曲がっており、その上下は高いガスハイドレート飽和率で特徴づけられている。

BGHS の変動

第二渥美海丘でみられたような複雑な塩素濃度ベースラインは、以下のようなハイドレート安定領域下限(BGHS)の上昇と下降を考えることで非常にうまく説明することができる(図3)。1)深部にあったBGHSがZone A3a と b の間まで上昇する。2)新しいBGHSの下位では安定領域を外れたためにメタンハイドレートは分解しメタンと水が開放され、上昇する。上部では上昇してきたメタンがハイドレート安定領域に入り、再びハイドレートとして固定される。3) Zone A3b と Zone A4 の境までBGHSが下降し、Zone A3b にハイドレートが形成される。このように、BGHS を境として、上位では塩素濃度が濃くなる働き、下位では薄める働きが同時におこることにより鋭い折れ曲がりを持つ塩素濃度ベースラインが形成されたと考えられる。同時に東海沖においてもBGHSの上下変動が起こっており、それがダブルBSRの成因であると解釈できる。つまり、東海沖では約45m(ダブルBSRの間隔)、第二渥美海丘での変動は約35m(Zone A3bの厚さ)のBGHSの下降が起きたと考える。BGHSは温度・圧力に依存して変動するため、地質学的な要因として海水準変動・隆起運動・堆積速度・海水温を考慮し、各々のサイトにおいてBGHS深度の計算を行った。その結果、東海沖は6mm/yr程度、第二渥美海丘は1mm/yrの隆起速度であった場合、上記のようなBGHSの変動が生じることがわかった。

ダブルBSRの成因

東海沖と第二渥美海丘は同様にBGHSの上昇と下降が起きていたのにも関わらず、東海沖では異常な折れ曲がりもなく、ダブルBSRの間に高濃度のハイドレートもみられない。

定領域であるということが明確になり、その成因について新たな解釈が要求されることとなった。

ハイドレート安定領域の変動

東海沖と第二渥美海丘では、塩素濃度ベースライン(地層中での真の間隙水塩素濃度)の形状がまったく異なっている(図1, 2)。東海沖のZone T2では、800 mmol/lをはるかに超える非常に高い濃度

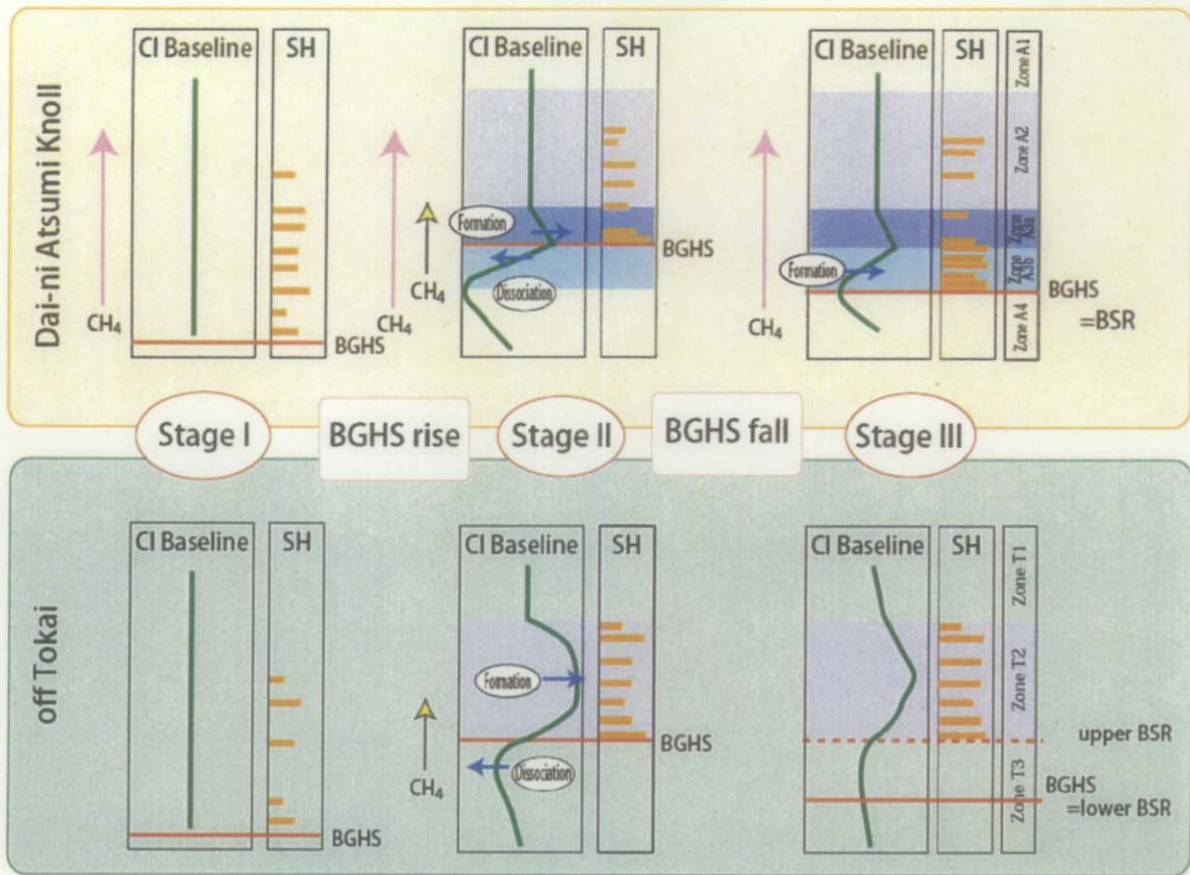


図3 南海トラフにおけるメタンハイドレートの挙動

その理由はメタンフラックスの違いであると考えられる。自生炭酸塩含有率の結果から、東海沖のメタンフラックスが高くなってきたのは近年であり、現在も第二渥美海丘と比較すると明らかに低い。Stage3のBGHS下降時にはメタンの供給が少なかったために二枚のBSRの間にはほとんどハイドレートが形成されなかった。しかし広範囲にデータを取り3次元的に解釈するサイスミックデータでは、BGHS下位に存在するフリーガスとわずかなガスハイドレート物性が捕らえられ、LowerBSRとして認知されていると思われる。一方第二渥美海丘では強いメタンフラックスが0.8-0.9Maより継続しているため、BGHSの下降とともに高飽和率のハイドレートの形成が進行し、東海沖のupperBSRに相当する異常は消えてしまったといえる。

Conclusion

東部南海トラフにおいて、特異な塩素濃度プロファイルを発見し、地化学データにハイドレートの挙動や付加体のテクトニクスを解明する情報が記録されていることを明らかにした。その結果、海水準変動と隆起運動に付随してハイドレートが分解して大量のメタンが上昇し、上部砂層中に濃集してメタンハイドレート交渉が形成されたことを具体的に明らかにした。またこれまでの研究で成因が不明であったダブルBSRに関しては、BGHSの上下変動に付随して特殊な条件下で作られるということが解明した。