

# 柏崎西方の円錐台地形が泥火山なの か判断する

蛭田明宏(明治大学ガスハイドレート研究所)

## 泥火山とは

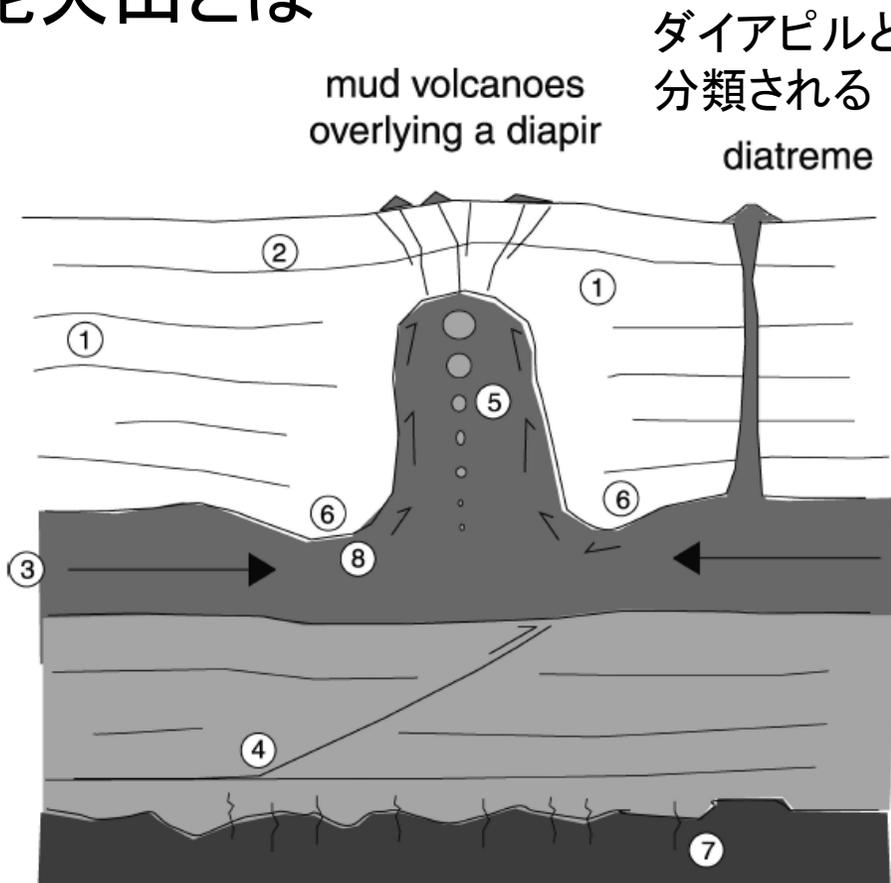
- 地中で圧力が高まり、地表に泥が押し出されることによる構造物。形態・規模は様々で、沈み込み帯に多い。
- 陸上では存在が古くから知られていたが、海洋調査が進むにつれ、水中での発見が続く。
- 海底泥火山だと、マッドクラストと呼ばれる泥塊も泥と一緒に噴出 (水中浮力の影響かと思われる)

## ガスハイドレートマウンドとの違い

- 深部からの泥の移動 (ガス・水も同時に移動)

# 泥火山とは

(岩塩ドームの様に浮力で上昇したプロセスを想定?)



表に泥が押し出されることによる構造物。

知られていたが、海洋調査が進むにつれ、

ラストと呼ばれる泥塊も泥と一緒に噴出される)

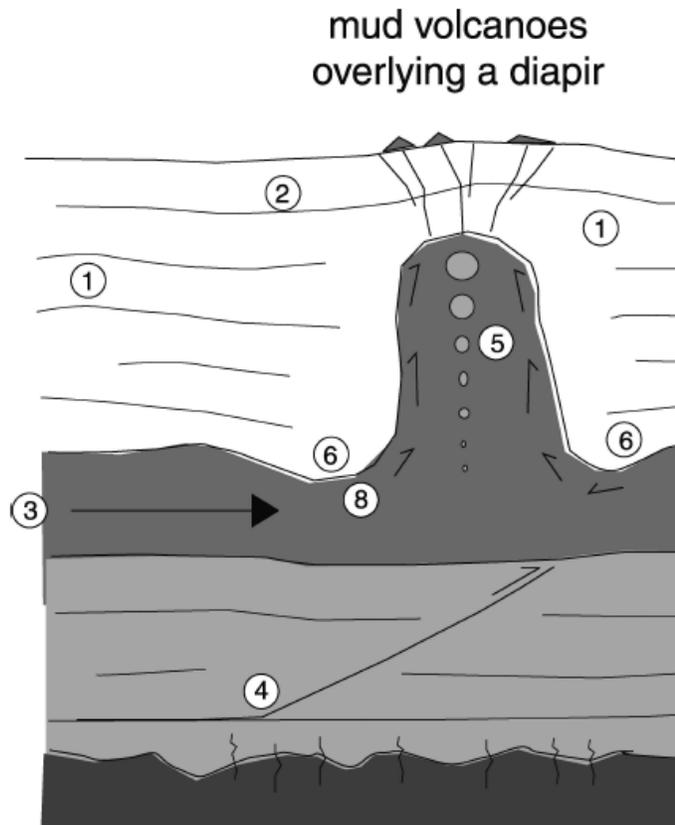
## fluid sources for overpressuring and mud extrusion:

- (1) pore fluid expulsion from compaction
- (2) biogenic methane from degradation of organic matter
- (3) lateral fluid flux through stratigraphic horizons or fault zones
- (4) fluid migration along deep seated thrusts
- (5) thermogenic methane and higher hydrocarbons
- (6) fluids from mineral dehydration (opal, smectite)

Kopf (2002)

- thermal fluids, alteration of crustal rock
- expulsion from internal deformation within the diapiric intrusion

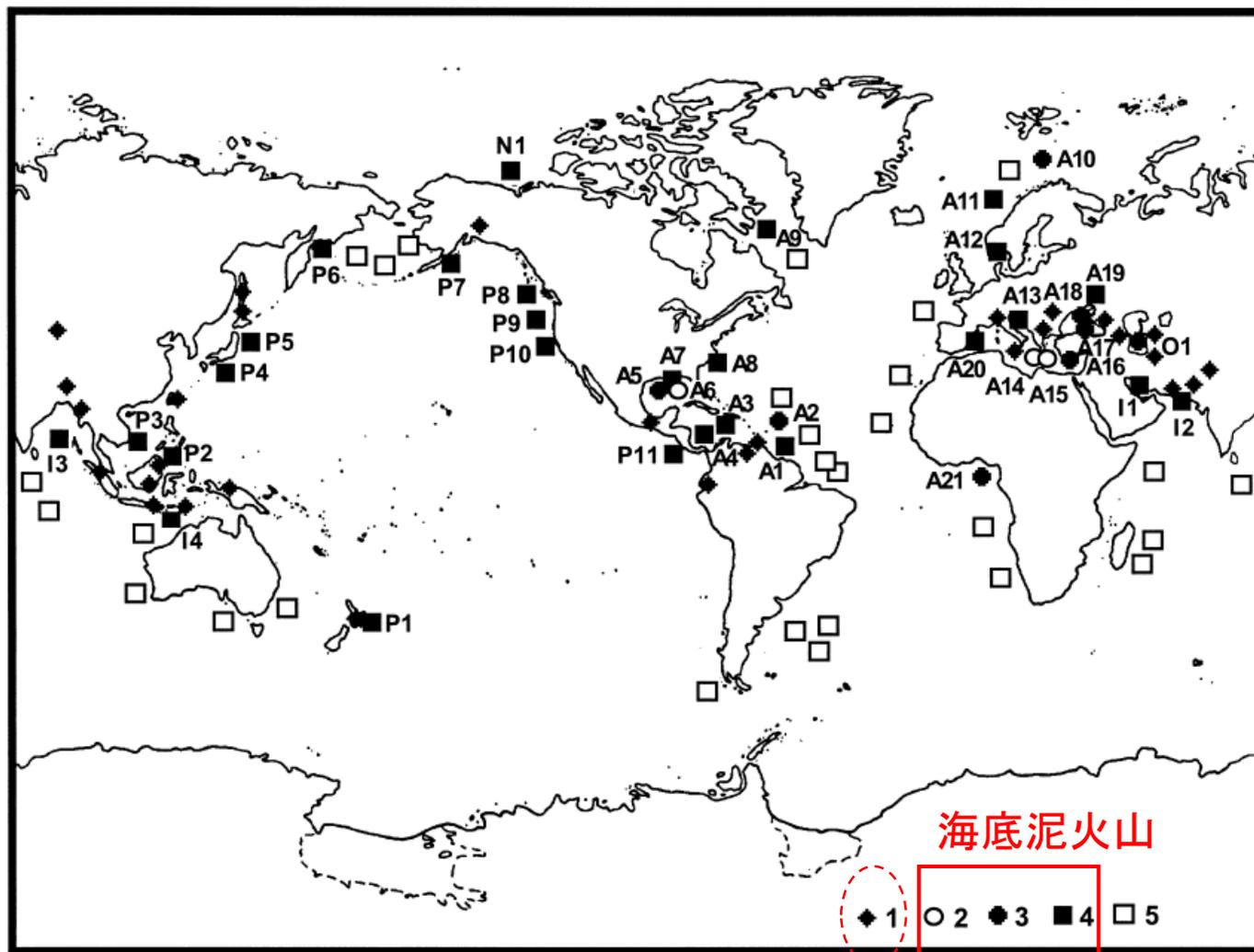
# 泥火山とは



fluid sources for overpressuring and mud

- (1) pore fluid expansion from compaction
- (2) biogenic methane from degradation of organic matter
- (3) lateral fluid flux through stratigraphic horizons or faults
- (4) fluid migration along deep seated thrusts
- (5) thermogenic methane and higher hydrocarbons
- (6) fluids from mineral dehydration (opal, smectite)

7 thermal fluids, alteration of crustal rock  
8 expulsion from internal deformation within the diapiric intrusion



陸上泥火山

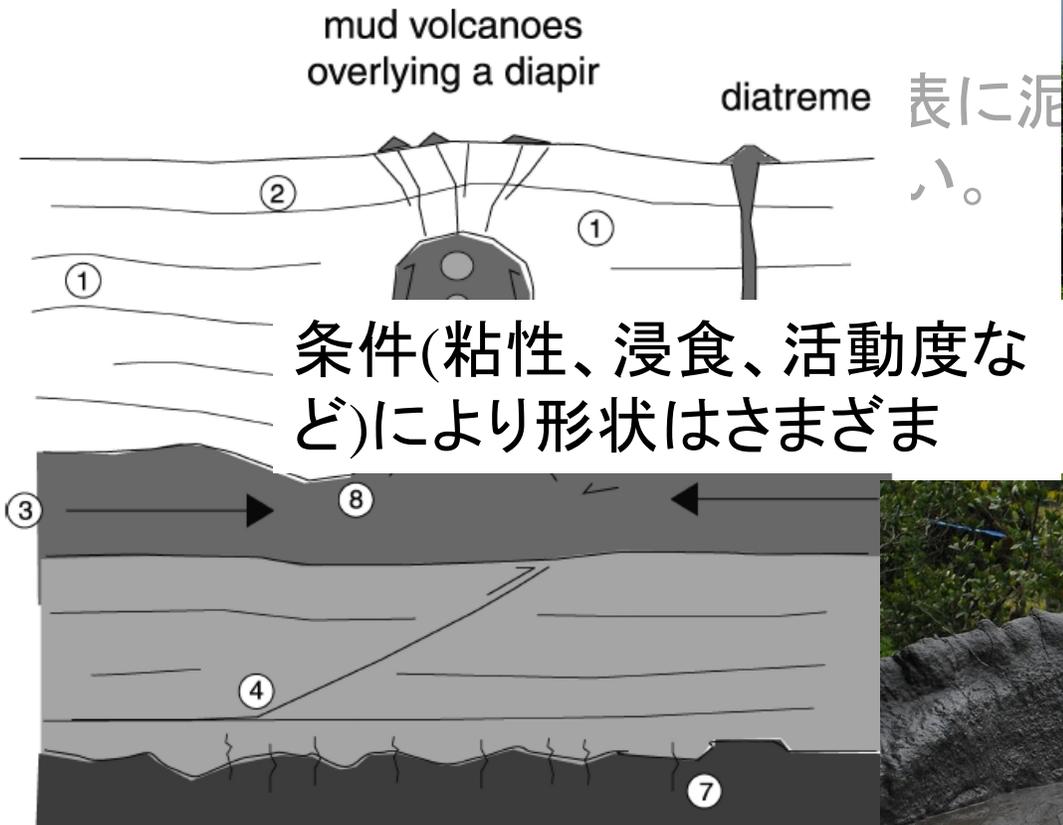
海底泥火山

Fig. 1. Map showing the worldwide locations of onshore (1, after Rakhmanov, 1987, with additions), known (2, without gas hydrates; 3 hydrate bearing), and inferred (4) submarine mud volcanoes. The "possible sediment diapirs" mapped by Lancelot and Embley (1977) are also shown (5).

Milkov (2000)

地中海; アフリカプレート沈み込み  
南海トラフ; フィリピン海プレート沈み込み

# 泥火山とは



台湾の泥火山\_2 (条件によっては陸上でも山になる)



台湾の泥火山\_1 (山というよりはプール)



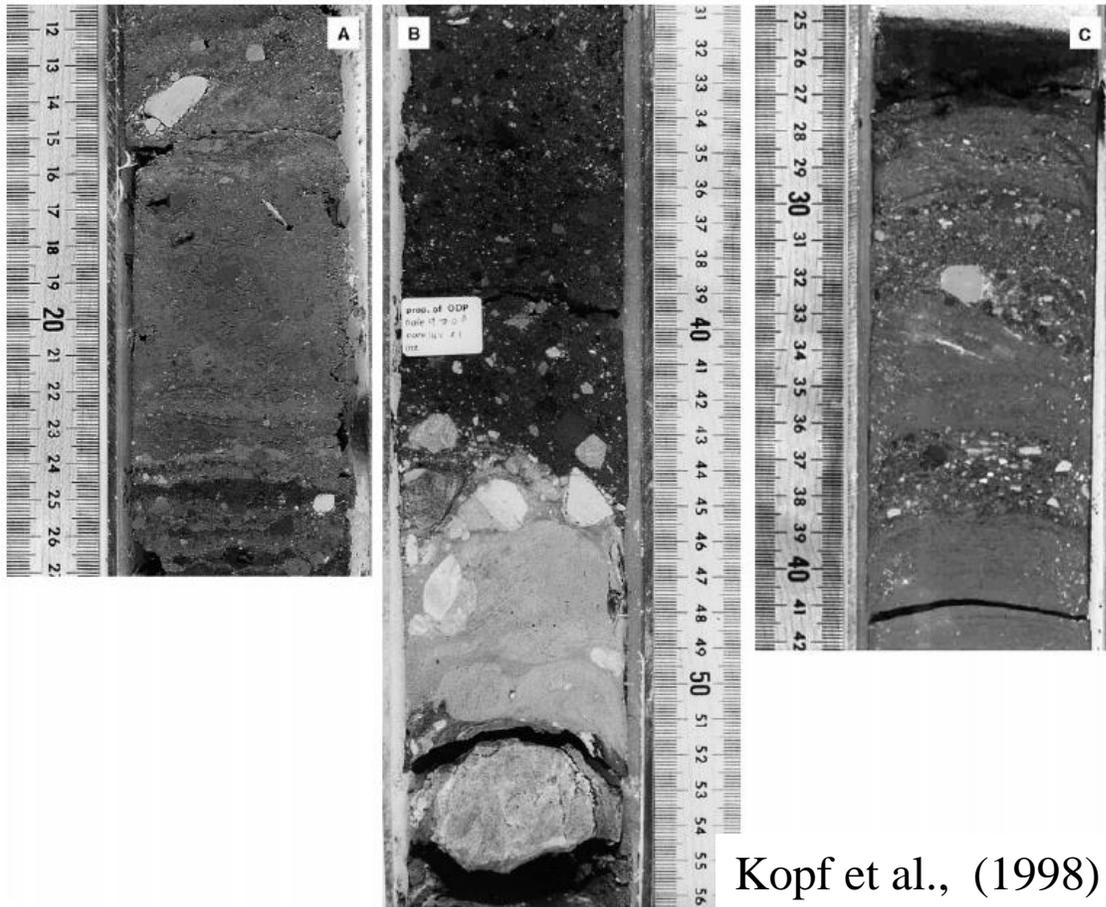
## fluid sources for overpressuring and mud extrusion

- (1) pore fluid expulsion from compaction
- (2) biogenic methane from degradation of organic matter
- (3) lateral fluid flux through stratigraphic horizons or fault zones
- (4) fluid migration along deep seated thrusts
- (5) thermogenic methane and higher hydrocarbons
- (6) fluids from mineral dehydration (opal, smectite)

- thermal fluids, alteration of crustal rock
- expulsion from internal deformation within the diapiric intrusion

# 泥火山とは

mud volcanoes



Kopf et al., (1998)

地中海での掘削試料  
(ODP-Leg160)

(6) fluids from mineral dehydration (opal, smectite)

thermal fluids, alteration of crustal rock  
expulsion from internal deformation within the diapiric intrusion

台湾の泥火山 (冬性にとって)

海洋ではマッドクラストと呼ばれる泥塊  
(深部の押し固められた泥)が見られる



地中海の試料  
Dimitrov, (2002)



Fig. 1. Rock clasts of different lithology from the vicinity of the main crater of Stock-on-Trent mud volcano, United Nation Rise, Mediterranean Sea. A—massive gray sandstone (its right part is with oxidized crust); B—light gray bioclastic sandstone (massive calcite crust is seen in the top left part of the frontal wall); C and D—pinkish-white marlstones. Sheet of paper A4 format for scale. (Photo: L. Dimitrov).



Kopf (2002)

# 泥火山とは\_ガスハイドレートマウンドとの類似

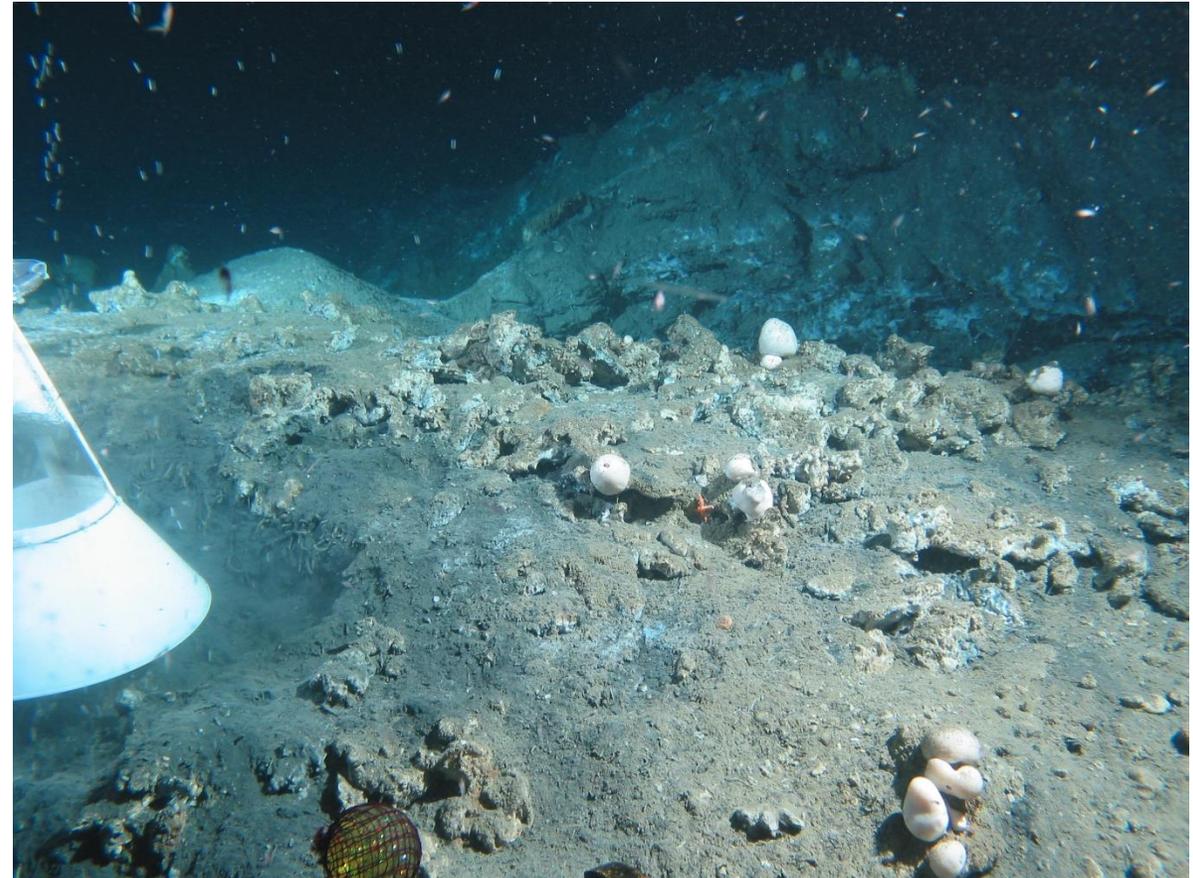
上越沖のガスハイドレートマウンド (2006)

## ガスハイドレートマウンドの特徴

- ガスバブル
- ガスハイドレート
- メタン由来炭酸塩(メタンを利用しており、炭素同位体比が小さい)
- 化学合成群衆(バクテリアマットなど)

深部から泥以外も移動してくるので、泥火山でも上記のものは見られる

(明瞭な区別は、深部からの固体の移動しかないと思われる活動度によっては中間体もありうるかと)

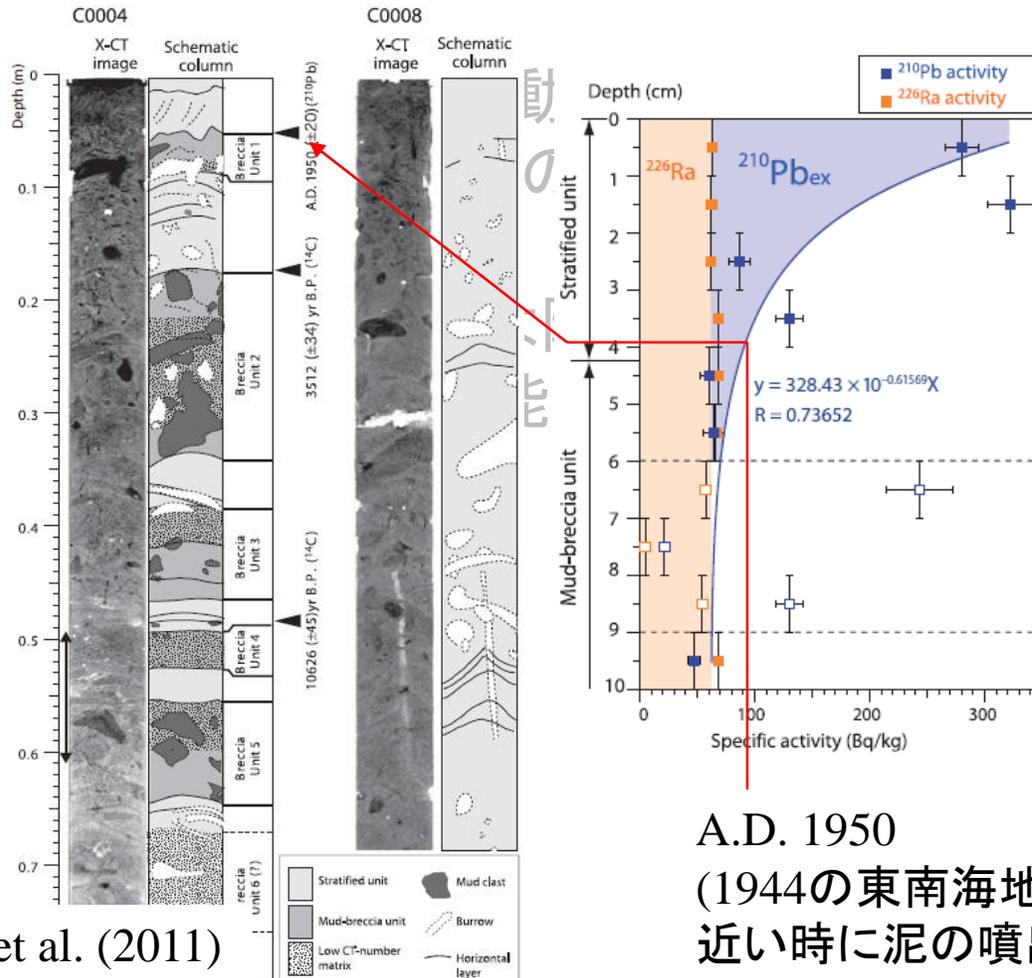


## なぜ(海底)泥火山に注目するのか？

- 活動が地震と関連している場合がある  
(堆積物に残る活動の履歴が地震の記録になっている可能性がある)
- 海底だと、活動の記録が残りやすい  
(マッドクラストの有無, 風化の影響が少ない)
- 日本海側では陸上では見られているのに海では報告されていない  
(新発見の可能性)

# なぜ(海底)泥火山に注目するのか？

- 活動が地震と関連している場合がある  
(堆積物に残る活動の履歴が地震の記録になっている可能性がある)

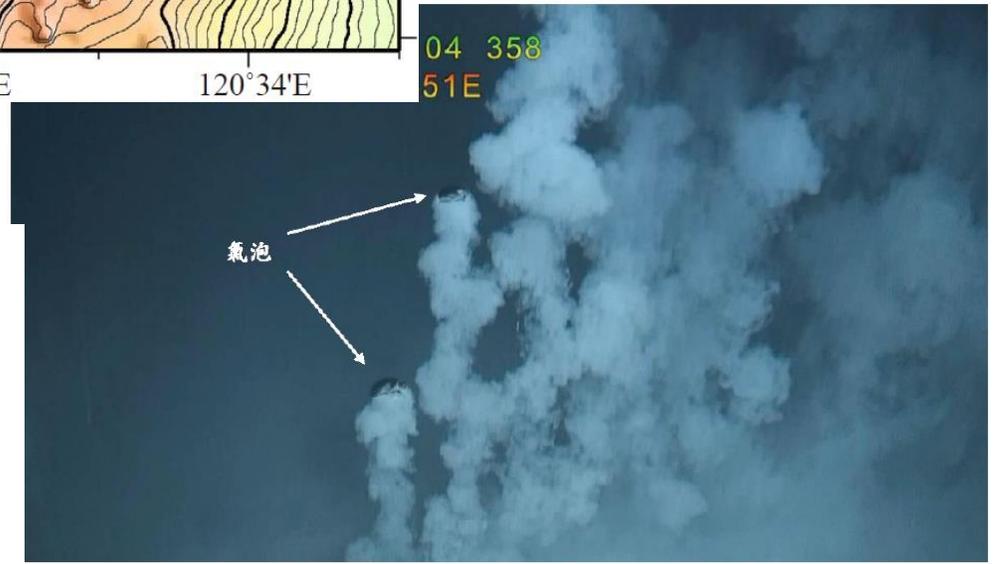
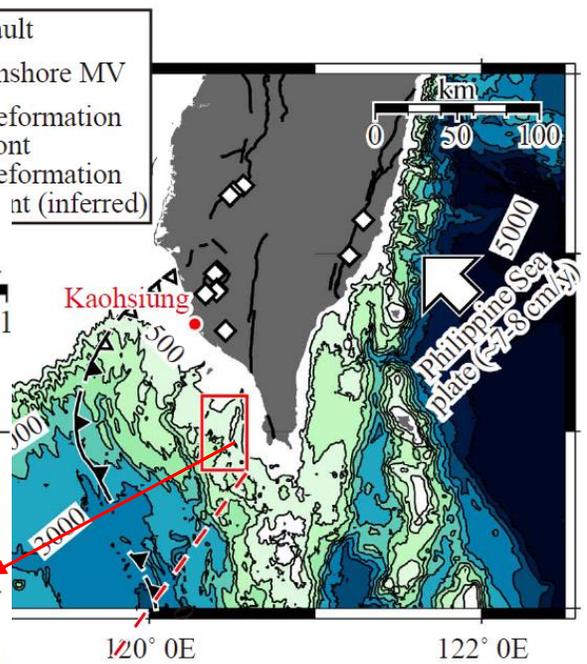
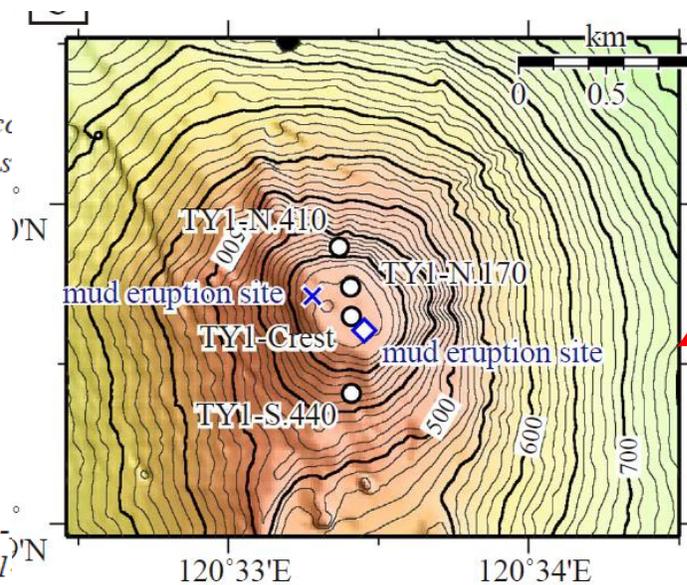
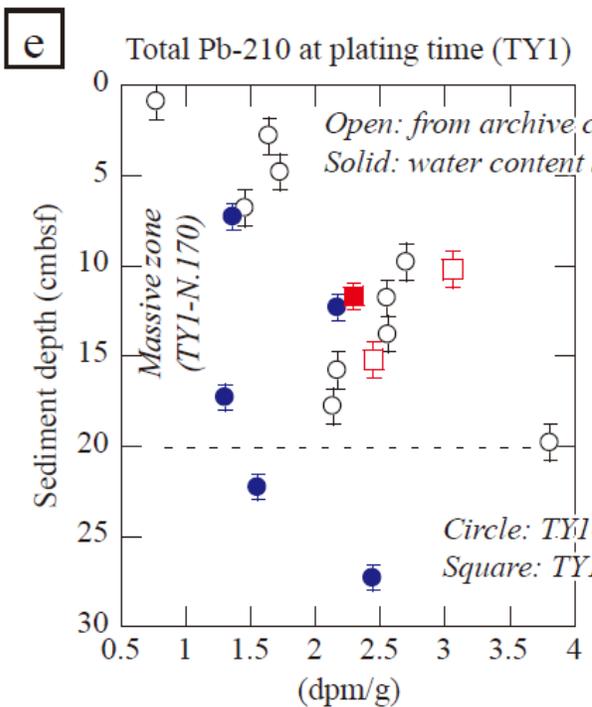
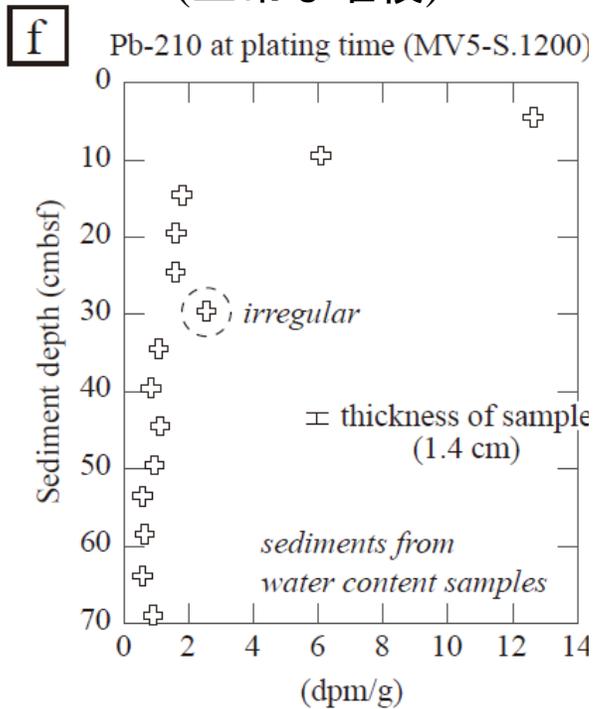


## 南海トラフの研究例

活動的になった(マッドクラストを噴出した)年代を、 $^{210}\text{Pb}$ 法によって特定  
→1944年の地震の年に近い

A.D. 1950  
(1944の東南海地震に近い時に泥の噴出)

なぜレファレンスサイトに注 漏えいサイト付近  
 (正常な堆積) (堆積速度が増加=鉛の希釈)



Chen et al. (2012)

ガスバブルの漏えい地点付近で堆積速度が増加しているため、<sup>210</sup>Pb年代が出せない  
 (2012年時点で最近活発化している) Hiruta et al (2017)

2016年の台湾南部地震(M6.6)と関連?



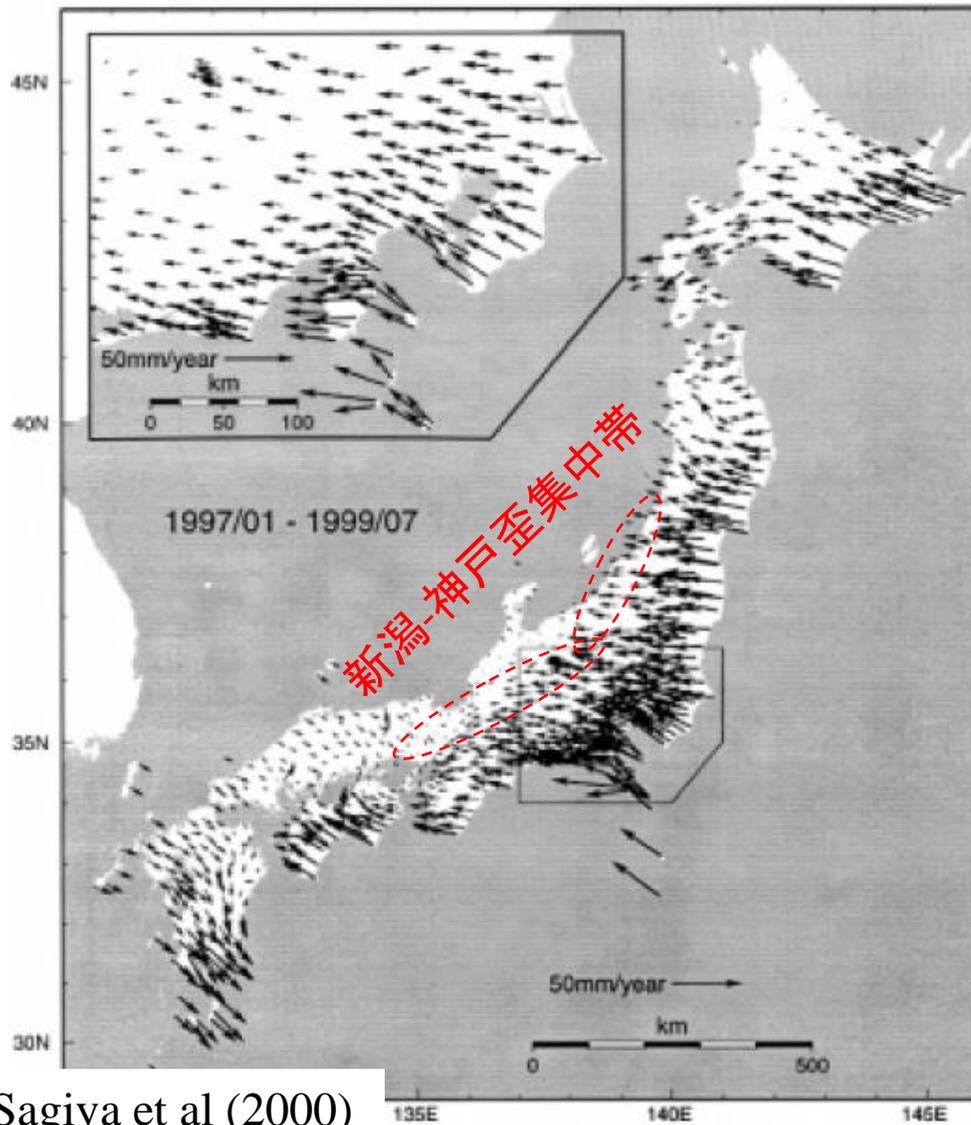
Sakaguchi et al. (2011)

近い時に泥の噴出)

# なぜ(海底)泥火山に注目するのか？

褶曲・断層が発達する新潟沖は、**新潟-神戸歪集中帯**に位置する

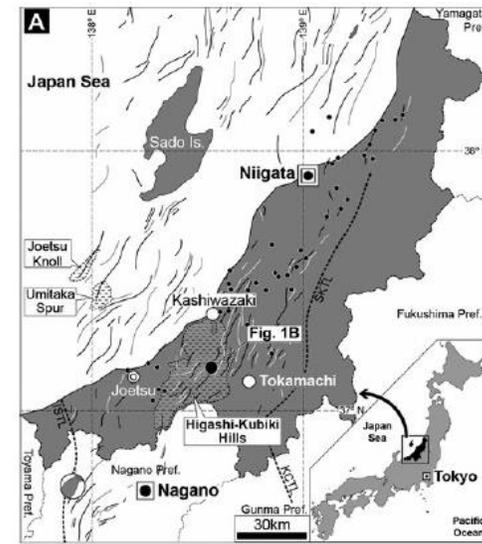
同じ集中帯の新潟県十日町には、泥火山が複数分布



Sagiya et al (2000)



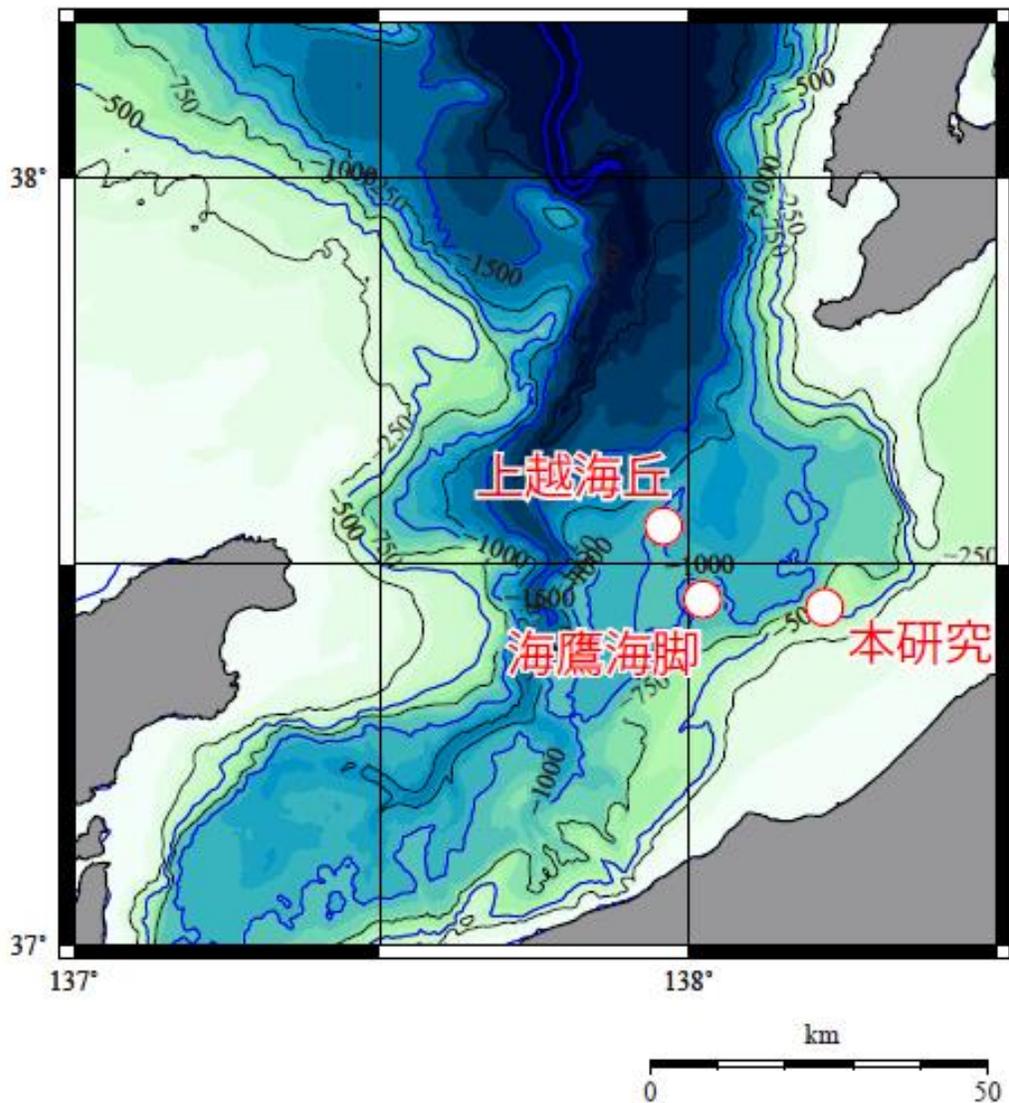
蒲生泥火山 (2014)



柿崎他 (2018)

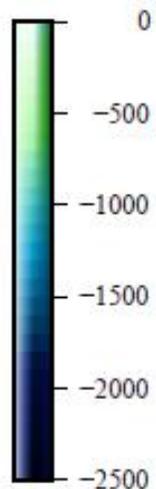
海底泥火山が分布する条件は揃っている  
(未調査な部分が多い海底にも、泥火山があるので  
は？)

# 調査地域

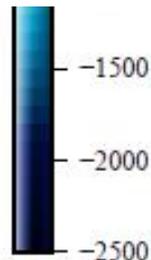
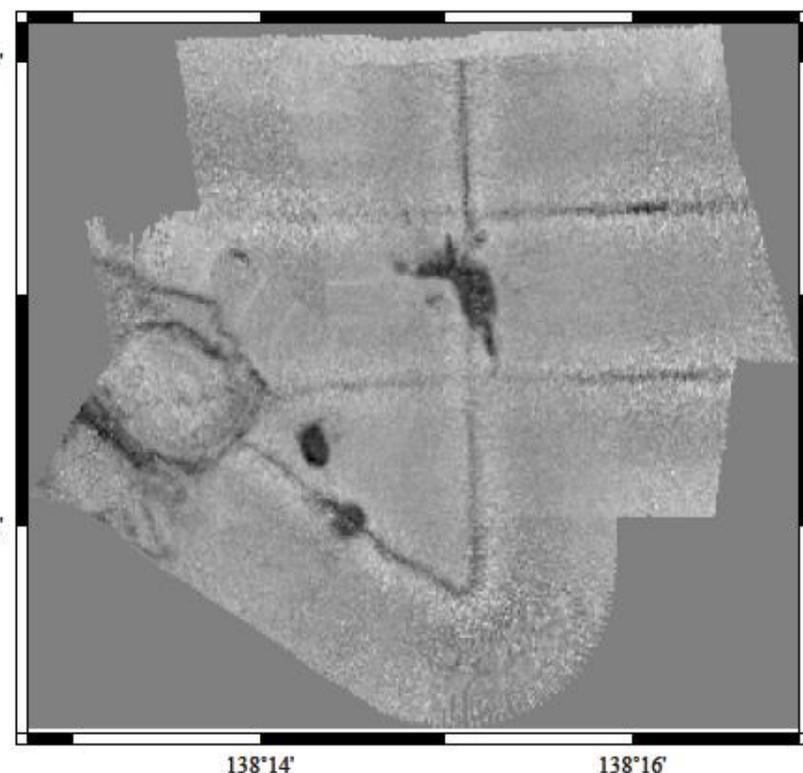
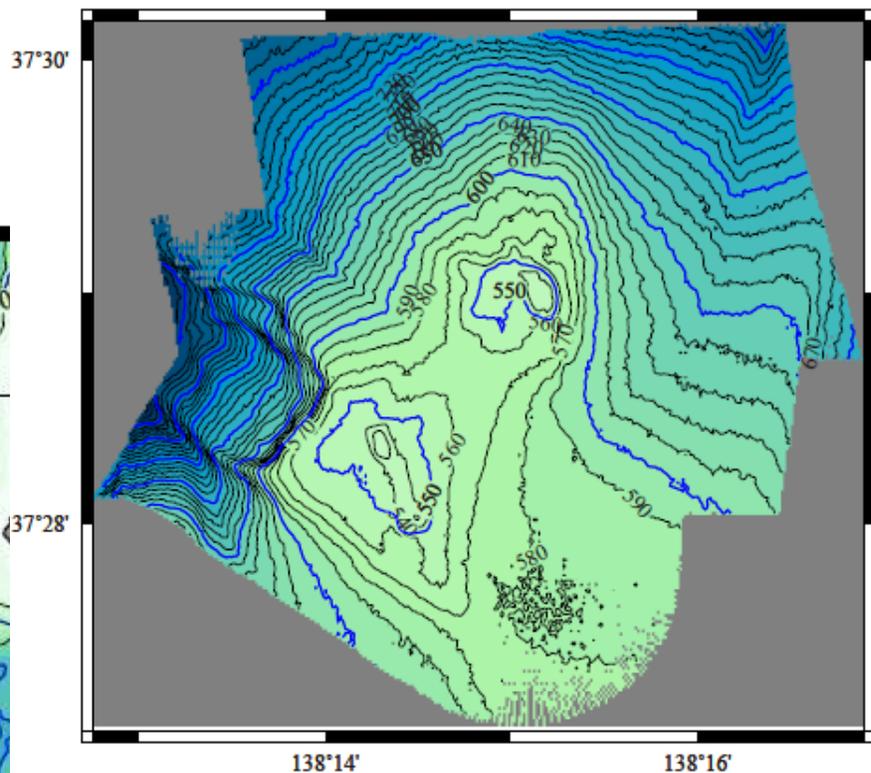
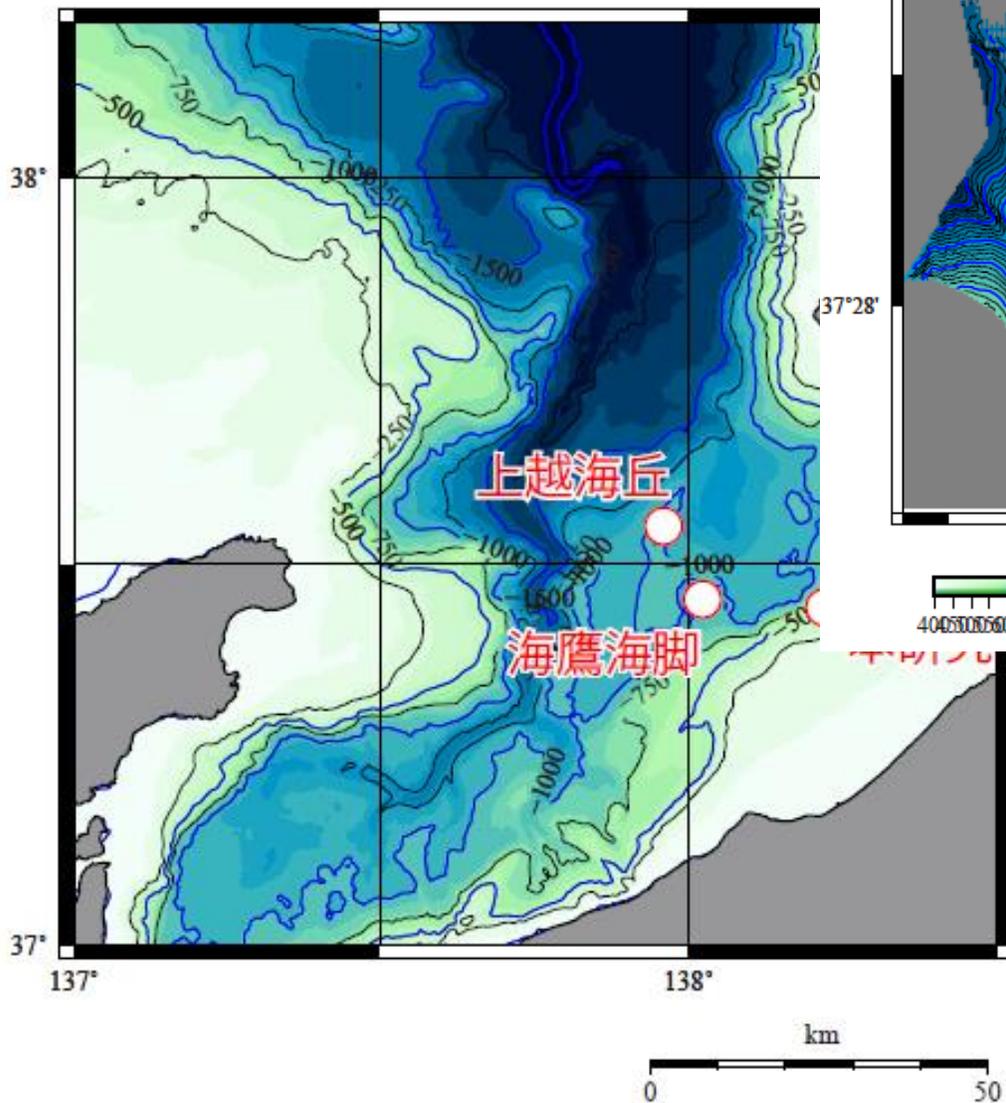


可能性のある“円錐台地形”に注目・調査  
(2017年から開始)

- ガスハイドレート研究で詳しく調査された地域から東に20 km程
- 水深550 m程度



# 調査地域



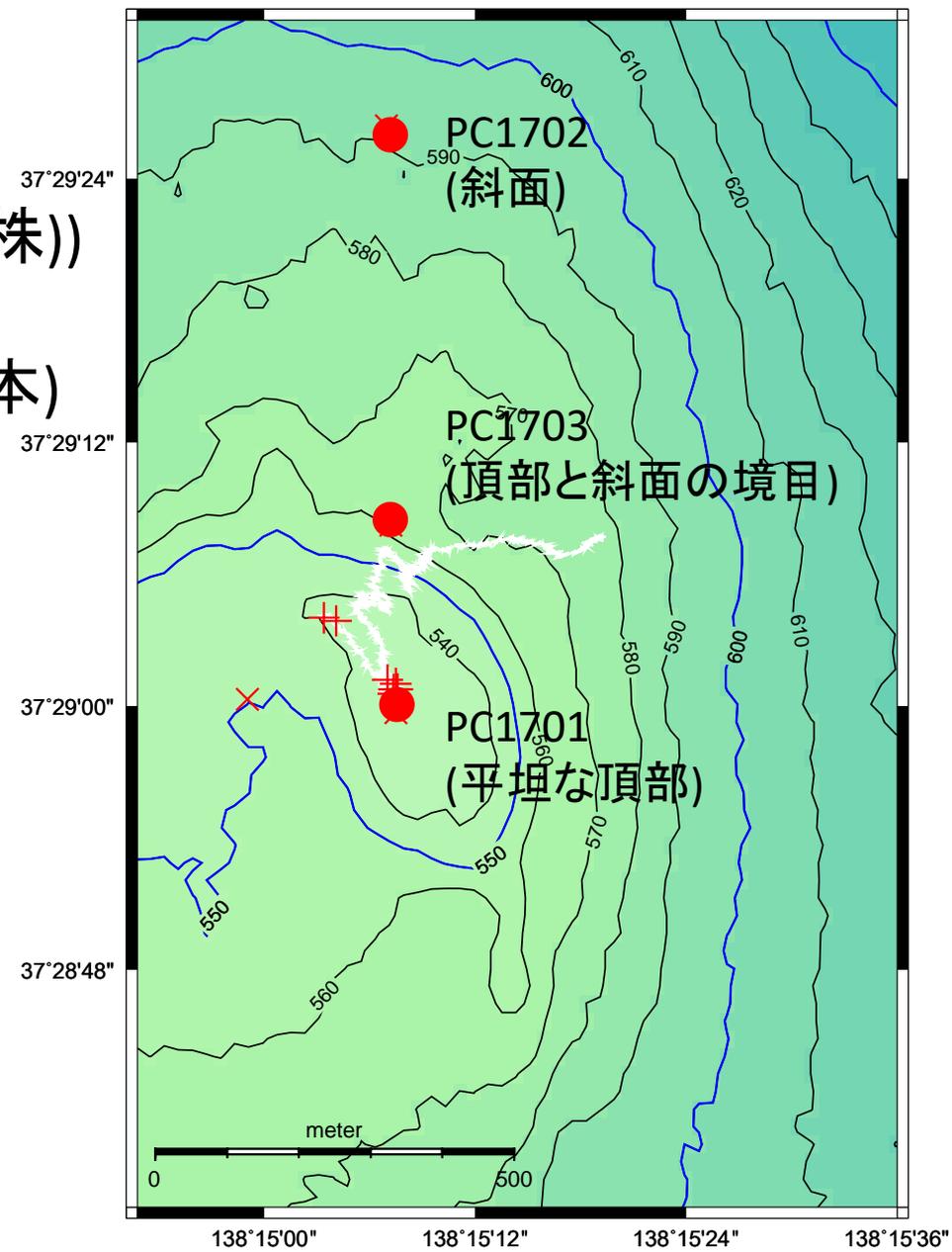
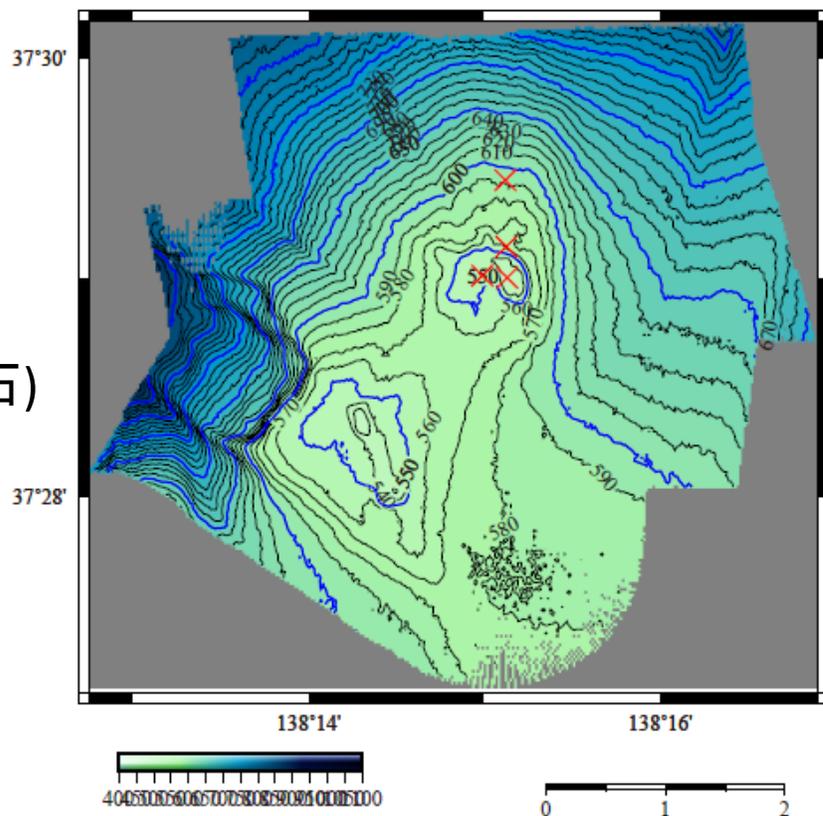
- 円錐台地形 (泥火山を期待)
- 強反射が分布 (マッドクラスト &/or  
メタン由来炭酸塩)
- ガスシープは無し (泥火山の有無および  
過去の活動が研究テーマ)

# 調査・分析内容

1K17航海 (第一開洋丸/海洋エンジニアリング(株))

- 地形/Backscatter観測
- 採泥 (ピストンコアリング\_PC1701, 02, 03の3本)

古い物質の有無の確認  
(特にマッドクラストと珪藻化石)



# 調査・分析内容

1K17航海 (第一開洋丸/海洋エンジニアリング(株))

- 地形/Backscatter観測
- 採泥 (ピストンコアリング\_PC1701, 02, 03の3本)

7K18航海 (第七開洋丸/海洋エンジニアリング(株))

- 地下構造調査 (曳航式SBP)

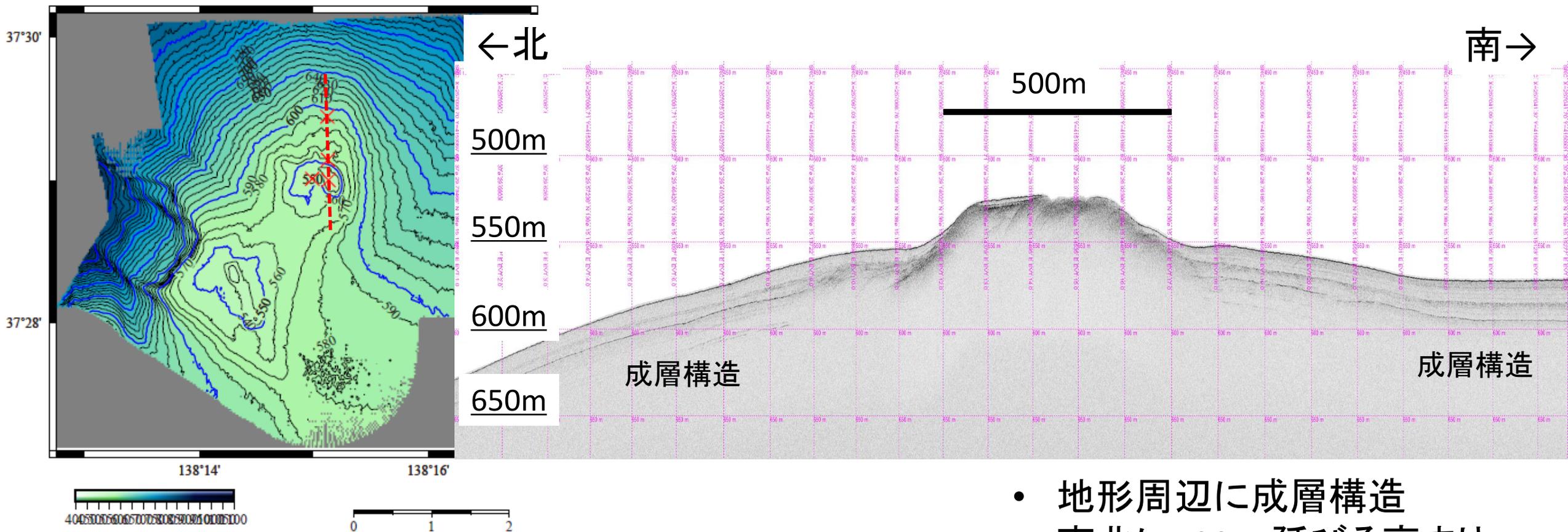
水中ドローン航海 (漁盛丸/能生漁港)

- 海底観察

小型ROV  
(光ファイバーケーブルで船上の  
パソコンとつながっている)



# 地下構造 (曳航式SBP)

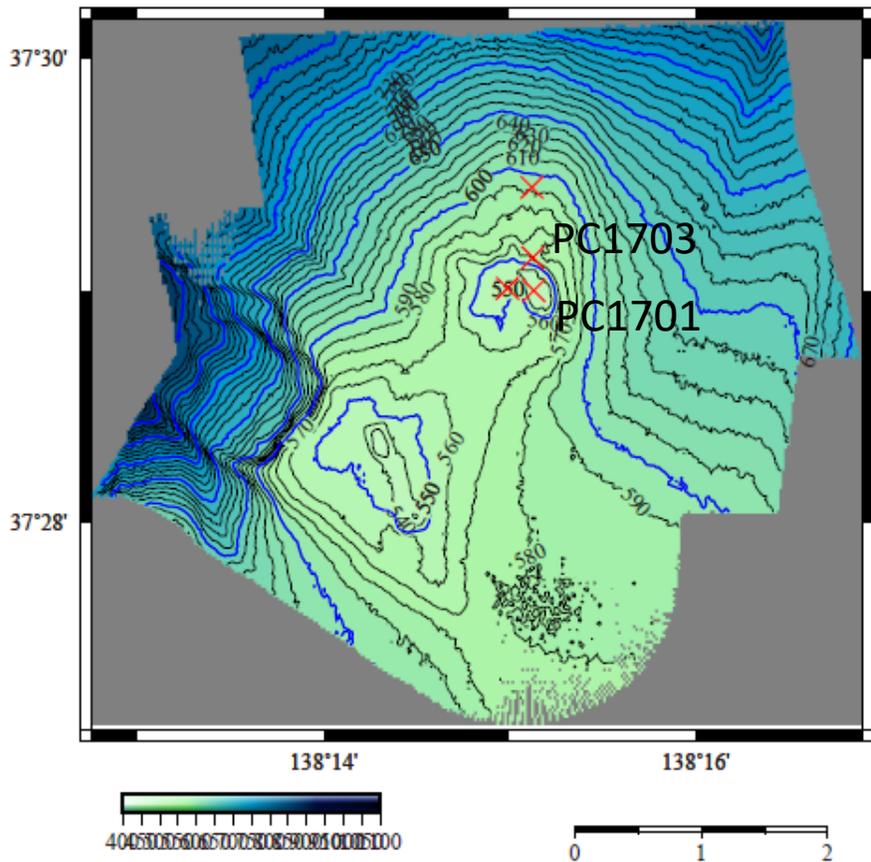


- 地形周辺に成層構造
- 南北に500 m延びる高まり
- 平坦な高まり頂部

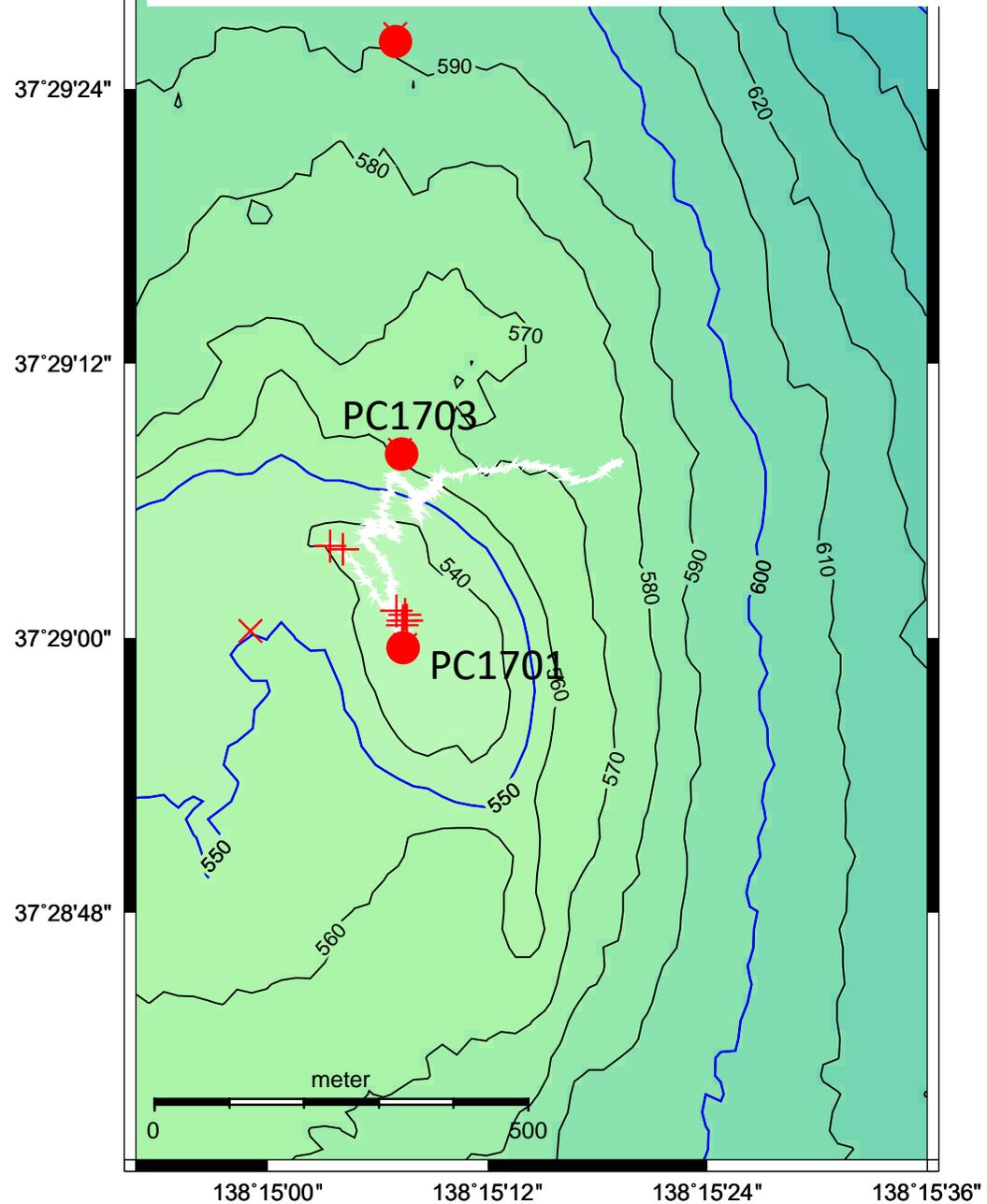
全体が泥火山である可能性は排除



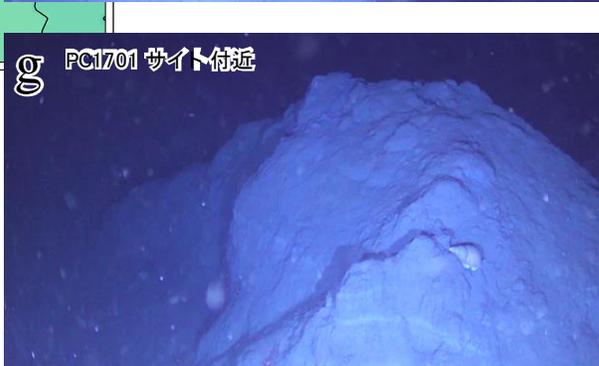
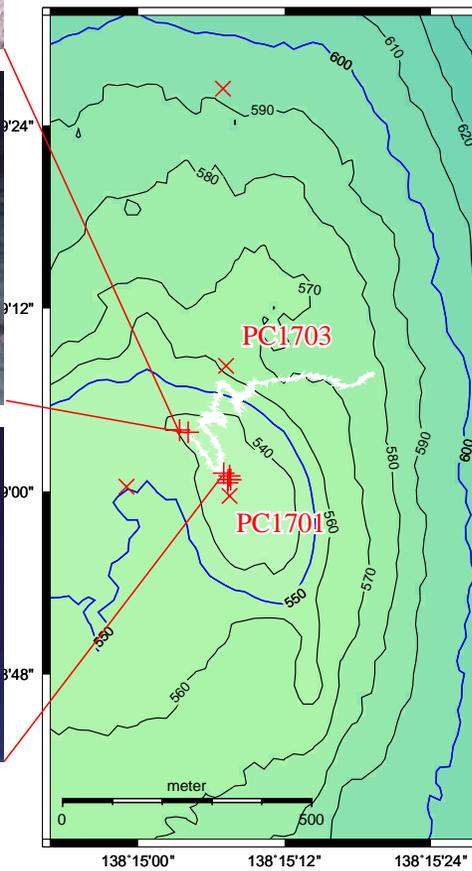
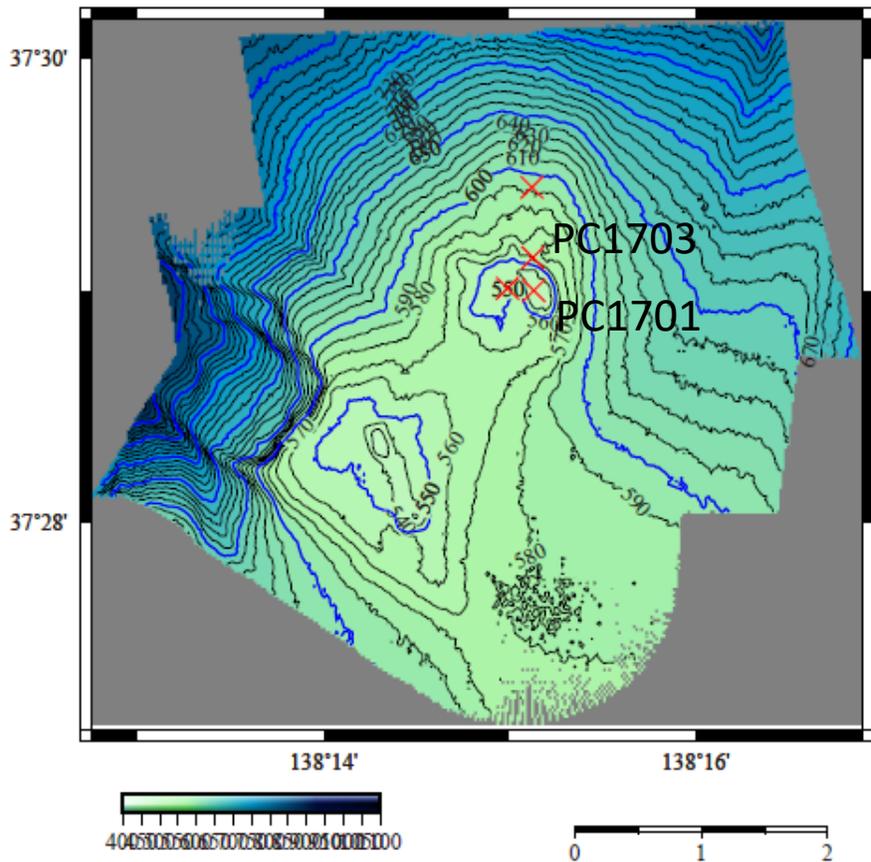
# 海底の様子 (小型ROV)



## PC1703サイトの南西からPC1701サイトにかけて観察



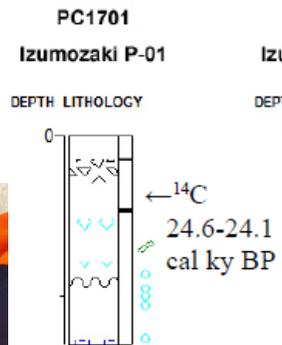
# 海底の様子 (小型ROV)



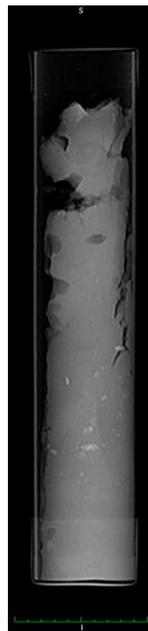
- PC1703サイトの南西からPC1701サイトにかけて観察
- 起伏に富む(ガスハイドレートマウンドと同じ)が、泥が流れた跡はなし

# 回収された堆積物

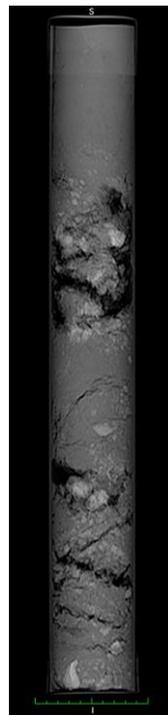
PC1701コアで回収された  
ガスハイドレート



PC1701-Sec.1-(0-40)



PC1701-Sec.1-(40-100)



PC1701-Sec.2-(0-38)



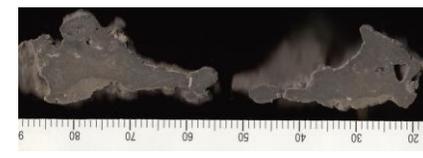
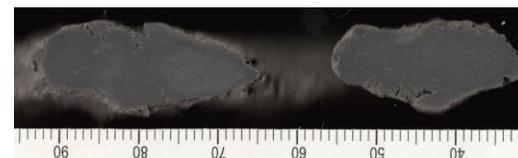
CTスキャンで固いものの分布を確認  
(マッドクラストを期待)

固いものは全てメタン由来炭酸塩  
(ガスハイドレートマウンドの特徴)

PC1701-Core catcher\_B



PC1701-Sec.2-(55-59)



泥火山の証拠にはならないが、  
深部からのガスの移動経路が発達した特殊な地域  
といえる  
(ガスハイドレートマウンドも同じ)

# 回収された堆積物

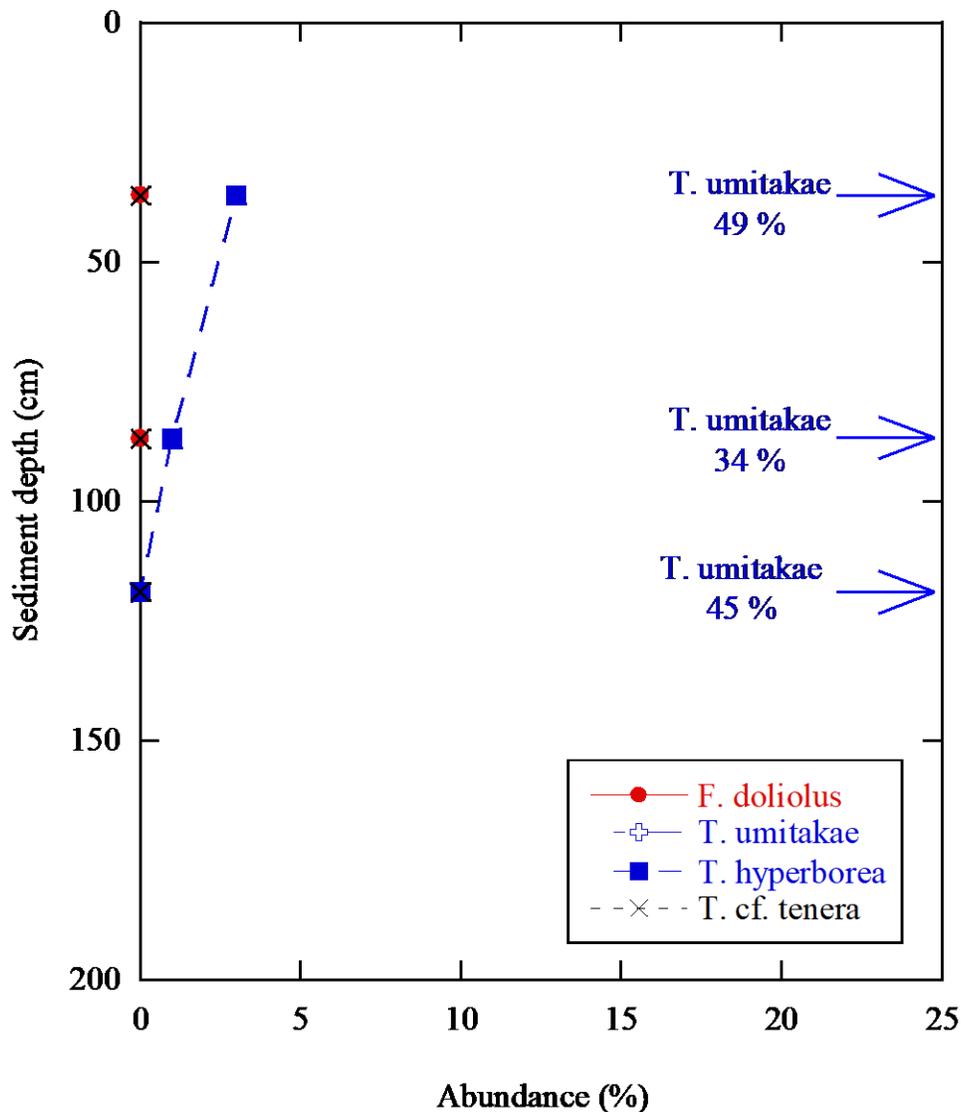
PC1701-Sec.1-(0-40)

PC1701

珪藻化石帯00)

CTスキャンで固いものの分布を確認  
(マッドクラストを期待)

PC1701コアで回収された  
ガスハイドレー

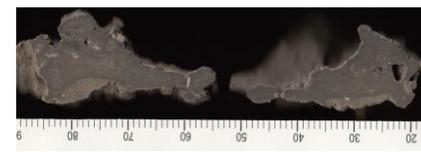
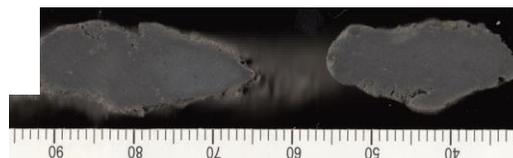
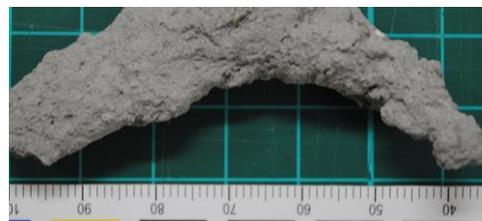


堆積物および炭酸塩にセメントされた  
堆積物中の珪藻群衆

C

寒冷な時期を示す群衆に富む  
(14C年代(38cmで2万4千年)と妥当な  
結果)

古い年代を示す珪藻化石は見られず  
(1炭酸塩だけ、温暖種に富んでいた)



泥火山の証拠  
深部からのナ  
といえる  
(ガスハイドレ

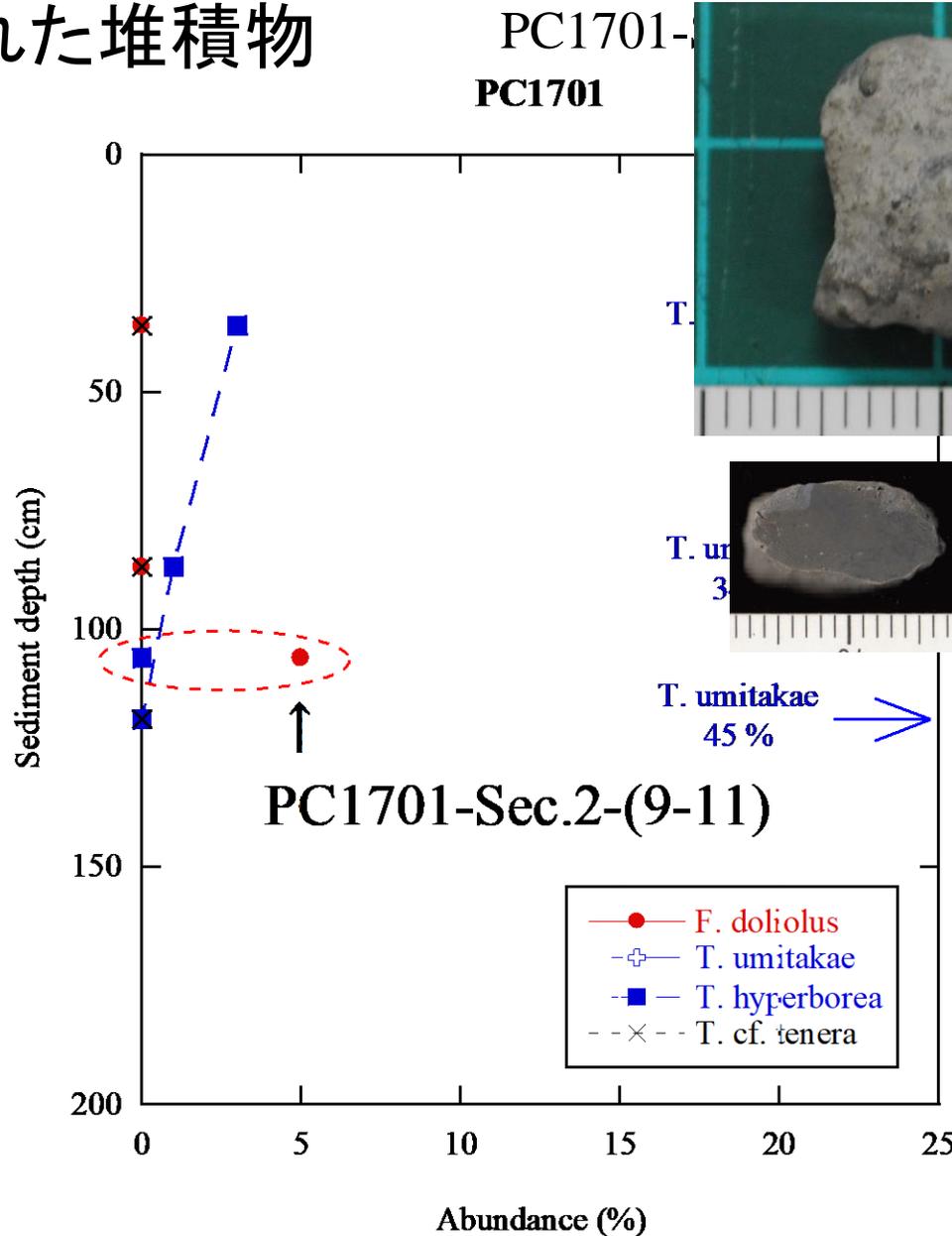
# PC1701-Sec.2-(9-11)

## 回収された堆積物

PC1701コアで回収された堆積物のガスハイドレーション



泥火山の証拠として、深部からの堆積物といえる (ガスハイドレーション)



PC1701-Sec.2-(9-11)  
PC1701



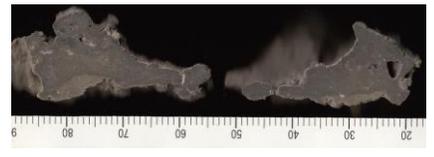
T. umitakae 45%

Tスキャンで固いものの分布を確認  
温暖種に富んでいた1試料

U/Th年代は12万年前(MIS 5.5)

CaCO3含有量が75 wt%を超える  
(海底面付近の泥をセメント  
=温暖種が豊富だった頃に発達)

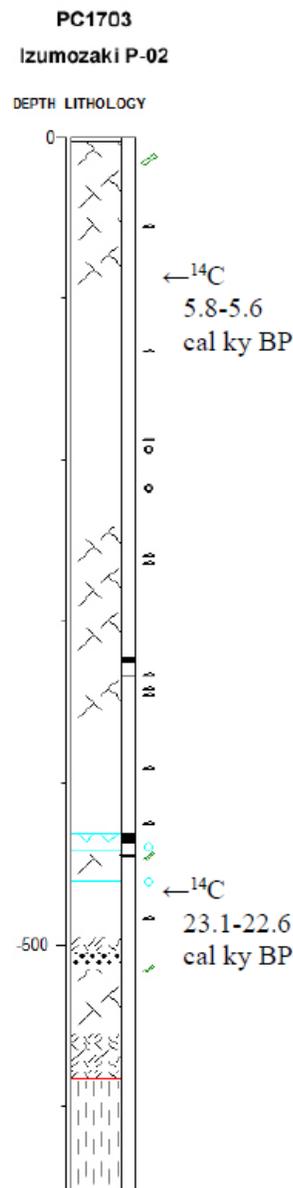
温暖種が富んでいた時代と整合的  
(U/Th年代は信頼できる)



# 回収された堆積物

日本海で見られる、海水準変動に応じた葉理構造の発達

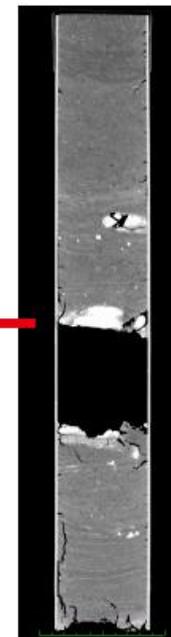
14C年代からTL2に相当する葉理構造中に、固結度の低い炭酸塩



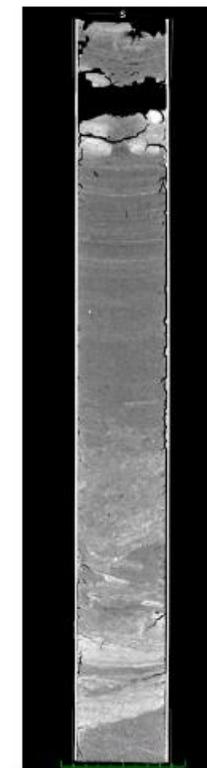
PC1703-Sec.6-(82)



PC1703-Sec.6-(50-100)



Sec.7-(0-60)



# 回収された堆積物

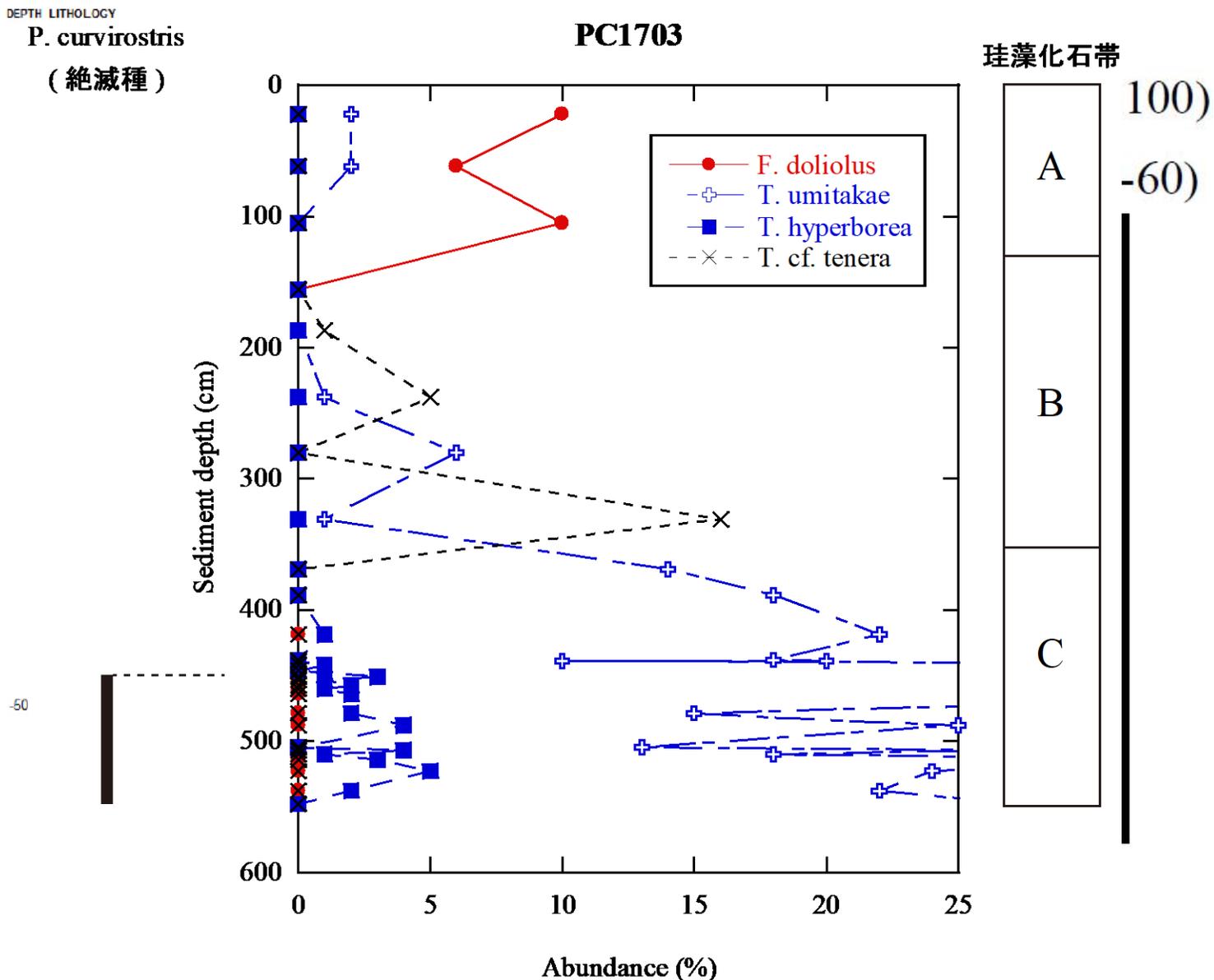
日本海で見られる、海水準変動に応じた葉理構造の発達

14C年代からTL2に相当する葉理構造中に、固結度の低い炭酸塩

TL2相当の葉理構造部分から、30万年前に絶滅した珪藻(*P. curvirostris*)が1%未満の割合だけ見られた

固結度の低い炭酸塩には絶滅種は見られず

PC1703  
Izumozaki P-02  
DEPTH LITHOLOGY  
*P. curvirostris*  
(絶滅種)



# 円錐台地形は泥火山なのか？

泥火山的な活動があったことを思わせる証拠

- 絶滅種化石、12万年前の炭酸塩(いずれも最終氷期頃の堆積物にだけ)
  - 重量のある炭酸塩は、ガスバブルの力だけで移動したとは考えにくい
- 矛盾する点
- 泥火山に特徴的なマッドクラストは見られない
  - 炭酸塩の周りの泥には古い珪藻化石が見られない

→通常はガスハイドレートマウンドだが、一時的に、  
現在の陸上泥火山程度の微弱な活動が生じた可能性  
古い珪藻化石は1%以下、場所によっては見つからない



蒲生泥火山 (2014)

# 円錐台地形は泥火山なのか？

泥火山的な活動があったことを思わせる証拠

- 絶滅種化石、12万年前の炭酸塩(いずれも最終氷期頃の堆積物にだけ)
  - 重量のある炭酸塩は、ガスバブルの力だけで移動したとは考えにくい
- 矛盾する点
- 泥火山に特徴的なマッドクラストは見られない
  - 炭酸塩の周りの泥には古い珪藻化石が見られない

→通常はガスハイドレートマウンドだが、一時的に、  
現在の陸上泥火山程度の微弱な活動が生じた可能性  
古い珪藻化石は1%以下、場所によっては見つからない

疑問点(今後の課題)

- 絶滅種の珪藻化石の分布, 古い炭酸塩の分布が偏っている

→活動の中心が、PC1701寄りだったが泥水は斜面を下る方向に流れた結果？  
試料採集・海底観察の範囲を広げる必要がある



蒲生泥火山 (2014)

# 謝辞

- 初期の海底観察は、東京地学協会の助成金で実施した。
- 試料回収の調査航海は、(株)海洋エンジニアリング (<http://kaiyoeng.com/eng/>)の第一開洋丸で実施した。
- 海底観察の調査航海は、上越漁協能生支所所属の漁盛丸(中村船長)で実施した。
- 海底観察は、株式会社FullDepth (<https://fulldepth.co.jp>)との共同研究で実施された。
- 炭酸塩のU/Th年代は、国立台湾大学のChuan-Chou Shen教授の研究室で計測された。
- 堆積物コアのCTスキャンは高知大学海洋コア総合研究センター共同利用・共同研究(17B070)のもとで実施された。
- CTスキャナーは、小松朋子技術補佐員、新井和乃博士、柳本志津技術補佐員に操作していただいた。
- 珪藻化石の鑑定は、珪藻ミニラボ(代表;秋葉文雄)との共同研究で実施された。