

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01589

研究課題名（和文）東京湾北部における海底メタンガスの空間分布量と移動集積メカニズムの解明

研究課題名（英文）Migration-accumulation mechanism and spatial distribution of subseafloor methane gas in the northern Tokyo Bay

研究代表者

鶴 哲郎（Tsuru, Tetsuro）

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：80371730

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,100,000円

研究成果の概要（和文）：東京湾およびその沿岸域で湧出するメタンガスの詳細な観察と分析により、それらのガスが現生の底泥微生物と地下深部の南関東ガス田という2つの起源を有することを明らかにした。東京湾で採取したメタンガスは後者であった。東京湾とそこに流入する4河川での地震探査の結果、ほぼ海底か川床まで変位を有する断層が複数発見された。詳細な速度解析の結果、断層近傍での選択的なガス集積形態が確認され、断層を介するガスの移動集積メカニズム仮説が検証された。東京湾では東京アクアライン以北の海底下数十mに、少なくとも2層の海底ガス層が広く存在することが明らかになった。上位のガス層の分布量は約1億7200万m³であると推定される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東京湾およびそこに流入する河川下における断層の発見とそれら近傍に集積するガスといった観測事実は、断層を介した地下深部からの流体移動を理解する上で貴重である。特に、顕著な活断層が存在しないような地域における、比較的大きな固着度を有する断層内での流体移動を理解する上で、この観測事実は学術的に大きな意義を持つ（地震動に伴う移動など）。東京湾とその沿岸域で湧出するメタンガスの起源の一つが南関東ガス田であることは、当該地域におけるメタンガスの湧出現象が今後少なくとも数百年間続くことを示唆している。すなわち、建設工事の際に発生してきた災害リスクは今後も軽減しないことを意味しており、防災上大きな意義がある。

研究成果の概要（英文）：As a result of detailed observation and analyses of methane gases leaking from the seafloor of the Tokyo Bay (TB) and its surroundings, they have two origins: bottom mud microorganisms and natural gas dissolved in water of the South Kanto gas field. Origin of methane gases sampled in TB was that of the latter. Many faults having some displacements near the seafloor and the riverbeds were detected by seismic surveys in TB and along the rivers flowing into TB. Detailed velocity analysis revealed that gases selectively accumulated near the faults. It was clarified that at least two gas layers were widely distributed at several 10 m depths below the seafloor in TB north of Tokyo Bay Aqua Line bridge. Although the total volume of methane gas in TB is unable to be yet computed only from presently available data, that of the shallow layer can be estimated approximately 172,000,000m³.

研究分野：応用地球物理学

キーワード：海底メタンガス 地震探査 移動集積メカニズム 断層解析 ガス組成 環境配慮型振源 同時発振

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東京湾周辺域では建設工事の際のガス漏れ事故が多数発生しており、原因は首都圏の地下に広がる南関東ガス田の水溶性天然ガスであると考えられている。しかし、その中央部に位置する東京湾ではガスの存在は示唆されているものの、詳細は不明である。2017年以降の地震探査の結果、東京湾北部のほぼ全域で海底下数m～数十mにP波速度が海水のそれより小さい低速層が広がっていることが明らかになった。海底でガスを採取し分析した結果、約97%がメタンであった。もし、この海底メタンガスが、陸域と同様、地下深部の水溶性天然ガス起源であった場合、定常的に地下から供給され、また局所的に集積している可能性がある。過去に東京湾でのガス火災や爆発事故の記録はないが、メタンの強い可燃性を考慮すれば、地震防災および海洋開発の防災対策の観点から早急にこの空間分布量を把握する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、船舶が輻輳し、かつ、多様な生態系が生息する極浅海域でも探査可能な地震探査システムとガスの採取分析によって海底メタンガスの分布を求め、さらに陸域でのガス採取および減衰アトリビュート法による断層解析により海底メタンガスの起源および移動集積メカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 海底メタンガスの起源を解明するため、陸域も含めてメタンガスを採取し、それらの組成分析と同位体分析を実施する。それらの結果と、東京湾北部で採取したメタンガスとを対比することで、現生の微生物起源であるか、地下深部の水溶性天然ガス起源であるかを判別する。ここで、前者起源のガスの採取は有機汚泥の浮上が知られている東京都大田区の呑川、一方、後者起源のガスの採取は水溶性天然ガスの湧出が知られている千葉県茂原地域～東京湾東岸域で行う。海底ガスの採取は、金属棒でガスを上昇させる方法と採泥により堆積物の間隙に含まれるガスを採取する方法とを併用する。

(2) 移動集積メカニズム仮説の検証については、東京湾北部において環境配慮型振源を用いた同時発振型三次元地震探査を実施し、海底下の地質構造、海底ガスの分布域および分布形態、断層の分布および固着度に関する評価を行う。地震探査データの構造解釈から海底下の地質構造を把握し、速度解析と反射波極性解析から海底ガス層の空間分布(層厚分布)を推定する。

4. 研究成果

(1) 海底メタンガスの起源

海底メタンガスの起源を解明するため、東京湾でのガス採取を試みた。しかしながら、船舶を用いたガス採取では、7～8mの厚さのヘドロ層(ガス遮蔽層)を貫通してガスを採取することができず、唯一採取できたのは砂町南運河(海域)のみであった。そのため、東京湾沿岸域の運河や河川においても精力的にガス採取を行った。図1に、それらのガス採取地点を示す。

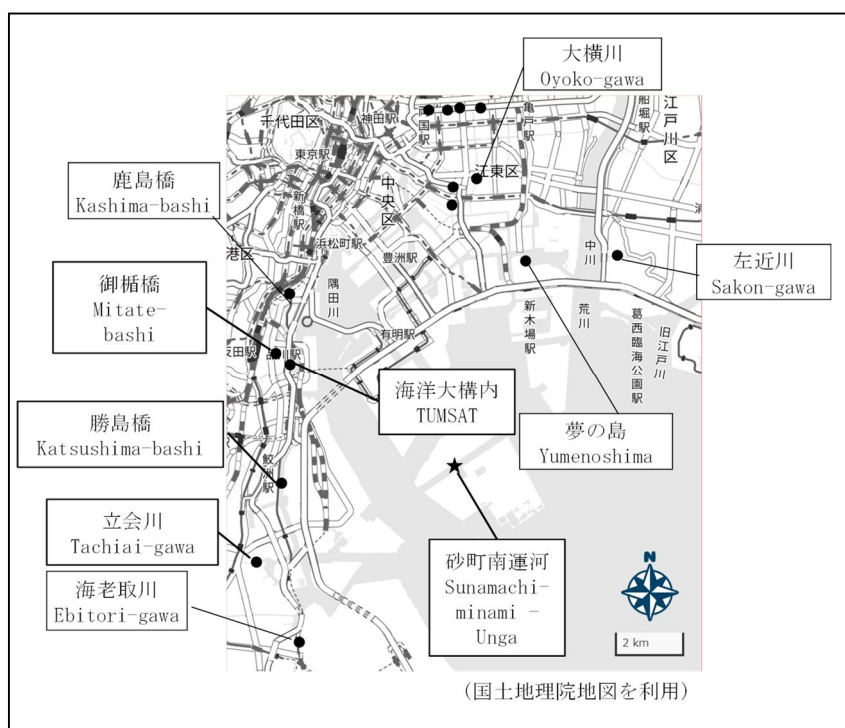


図1. ガス採取場所。黒丸は運河や河川におけるガス採取地点を示す。採取地点は、兼子ほか(1951)のガス徴を参考にして調査選定した。採取は、湧出現象が良く見られる干潮時に直接採取、または、棒やチューブなどを用いてガラス製捕集ビンに水上置換することによって実施した。これらの地点の内、大横川、立会川および海老取川で特に多くのガス湧出現象が観察された。なお、砂町南運河(黒星印)では、船舶を用いて海底湧出ガスを直接採取した。

採取したガスの分析結果を表 1 に示す。同表が示す通り、採取ガスは大きく 2 種類の組成を示している。上から 3 段目まで（東京海洋大学構内～立会川）のガスはエタンを含まない、一方、それ以下（海老取川～西門橋）のガスはエタンを含む。さらに、その組成の違いは、ガスの湧出形態の違いと整合的である。“Scattered”は不特定な場所からランダムに湧出する形態を表し、一方、“Clustered”はある特定の場所から房状に湧出する形態を表す。“Scattered”型のガスはエタンを含まず、“Clustered”型のガスはエタンを含む。

表 1 . ガス組成分析および同位体分析結果

分析結果 採取場所	Concentration (%)					$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ CH ₄	Bubbling up pattern	Origin
	O ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂			
東京海洋大学構内	3.16	17.03	79.40	ND	0.41	-82.0	Scattered	Mud ^{*2}
御橋橋	2.89	18.74	77.59	ND	0.78	-74.9	Scattered	Mud ^{*2}
立会川	0.41	11.48	84.62	ND	3.50	-60.1	Scattered	Mud ^{*2}
海老取川	0.38	11.38	85.69	trace level	2.55	-67.7	Clustered	Gas field ^{*3}
大横川	0.78	11.77	86.66	trace level	0.79	-72.6	Clustered	Gas field ^{*3}
左近川	5.92	21.81	72.18	trace level	0.09	-70.4	Clustered	Gas field ^{*3}
砂町南運河	-	-	9.50	trace level	-	-	Clustered	Gas field ^{*3}
西門橋 ^{*1}	0.55	2.02	96.89	0.020	0.51	-65.9	Clustered	Gas field ^{*3}

*1: 千葉県長生郡睦沢町

*2: 底泥微生物起源

*3: 南関東ガス田起源

また、採取地点の泥を採取して室内でガス発生実験を実施した結果、“Scattered”型の立会川の泥からはメタンガスが発生したが、“Clustered”型の海老取川の泥からはメタンガスは発生しなかった。この結果から、“Scattered”型のガスの起源は底泥微生物であると考えられる。そうであれば、この湧出形態のガスにエタンが含まれないことも整合する。一方、南関東ガス田のガスにはエタンが含まれることが知られている（Igarashi and Sakata, 1988）。本研究課題で採取した西門橋（同ガス田の生産地域に位置する）のガス試料にもエタンが含まれており、湧出形態は“Clustered”型である。したがって、エタンの有無と湧出形態から、“Clustered”型のガスの起源は南関東ガスであると考えられる。また、“Clustered”型の海老取川の泥からメタンガスは発生しなかったことも整合する。以上、東京湾とその沿岸域では、底泥微生物起源と南関東ガス田起源の 2 種類のガスが湧出していることが明らかになった。

なお、砂町南運河のガスについては、採取量が少なかったことと研究期間の制限から炭化水素組成のみを測定した。

(2) 移動集積メカニズム

前述したように、湧出ガスの一部は南関東ガス田起源であると考えられる。しかし、東京湾およびその沿岸域におけるガス貯留層の深度は約 400m 以深である（石和田, 1956）。したがって、海老取川、大横川、左近川および砂町南運河の湧出ガスは、厚さ 400m 以上の地層中を上方移動して地表に湧出していることになる。しかし、当該地域は浸透性の良い砂層だけでなく、ガスを遮蔽する泥層や砂泥互層からも構成される（たとえば、遠藤ほか, 2013）ことから、何らかのガスの移動経路が必要である。本研究課題では、このような移動経路として、石油システムの概念（たとえば、奥井, 1998）に基づき、断層を介したガスの移動集積メカニズム仮説を立てた。

本研究課題で実施した地震探査の結果から多くの断層が発見され、特に東京湾に注ぐ河川では、ほぼ川床まで達する断層（図 2 中の F1～F4）が確認された。さらに、それらの断層の近傍で選択的に分布するガス層（図 2 中の紫色網掛け部）の存在も確認された（熊谷, 2023）。これらの発見は、移動経路としての断層の役割を強く支持するものである。

ガスが断層を介して地表に湧出する場合、湧出箇所はそのような特定の場所でなければならない。南関東ガス田起源のガスの湧出形態が、特定の場所から房状に連なって湧出する“Clustered”型であることも、断層を介したガス移動と整合的である。

ここで、建設工事の際に事故を招くメタンガスの起源と移動集積メカニズムについてまとめる。南関東ガス田の埋蔵量が膨大であることを考慮すると、メタンガスの供給量の視点から、東京湾および沿岸域の浅層部に存在するガスの多くは南関東ガス田起源であるかと推定される。すなわち、それらガス田起源のメタンガスは、地下深部のガス貯留層から断層を介して地表へ向かって上昇し、上総層群の砂層（江東砂層など）やその上位の七号地層と呼ばれる後期更新世の砂層に集積し、その上位の完新世の緻密な泥層（有楽町層）によって遮蔽されていると考えられる。以上が、本研究課題で得られた南関東ガス田起源の天然ガスの移動集積メカニズムであり、研究前に立てた仮説と一致する。

令和5年度に、この移動集積メカニズムの実証を試みた。令和4年度に荒川河口においてほぼ海底まで達する断層群(図2中のF5とF6)が発見されたことから、令和5年度にその北西延長部の砂町南運河で湧出ガスの観察および採取を試みた。その結果、“Clustered”型の海底ガスの湧出が確認され、組成分析の結果、メタンの他に微量のエタンを含むことが分かった。このことは、同地点で、南関東ガス田起源のガスが湧出していることを示している。ここで、断層の北西延長部をガス採取の候補地とした理由は、東京湾周辺で確認されている断層(東京湾北縁断層、東京湾北部断層、荒川断層)の走向が、いずれも北西-南東であるからである。

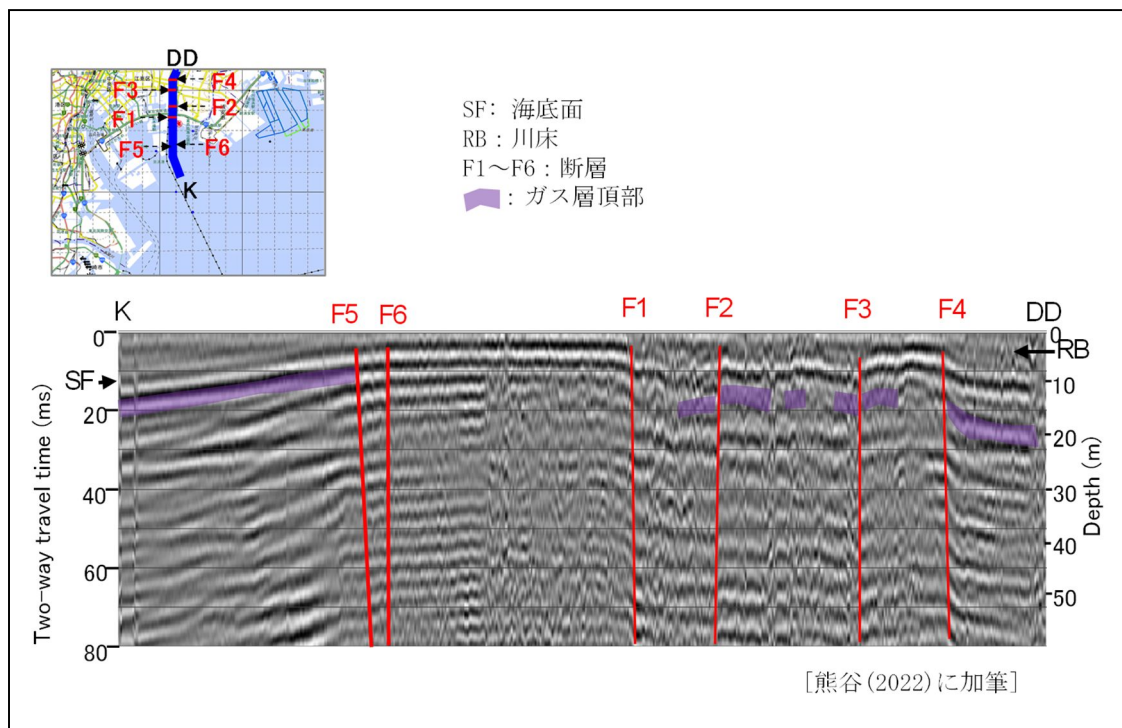


図2 .東京湾から河川域における反射法地震探査断面図 .ほぼ川床まで達する断層の発達が見られる(F1~F4) .その断層近傍で、ガス層が分布している。また、河口付近でもほぼ海底まで達するように見える断層(F5~F6)が発見された。

(3) メタンガス分布量の推定

本研究課題で取得した地震探査データに既存の地震探査データを加えて、海底ガスの分布域と分布量を詳細に解析した。その結果、東京湾では東京アクアライン以北の海底下数十mに、少なくとも2層の海底ガス層が広く分布することが明らかになった。地震探査データ量の不足とボーリングデータの欠如により、現時点では全体量の正確な見積もりは困難であるものの、上位のガス層における分布量は約1億7200万m³であると推定される。なお、地震探査に使用した環境配慮型振源の音圧が小さいため、下位のガス層については基底部分を広域に追跡することができなかったことから、ガス量の推定は実施できなかった。

上位のガス層のガス量をCO₂に換算すると、2021年度の国内CO₂総排出量の0.26%に相当する。また、このガスを都市ガスとして利用した場合は、東京都の総世帯数の11%の年間使用量に相当する。

<引用文献>

- 兼子勝・金原均二・池辺展生・小池清・石和田靖章, 1951, 関東地方総合地質図.
- Igari, S. and Sakata, S., Chemical and isotopic compositions of natural gases from the Japanese major oil and gas fields: Origin and compositional change due to migration, *Geochemical Journal*, 22, pp.257-263, 1988 .
- 石和田靖章, 東京ガス田. 石油技術協会誌, 21(4), pp132-142, 1956 .
- 遠藤邦彦・石綿しげ子・堀伸一郎・中尾有利子, 東京低地と沖積層-軟弱地盤の形成と縄文海進-, 地学雑誌, 122(6), 968-991, 2013 .
- 奥井明彦, 用語解説「石油システム」, 堆積学研究, 48, 95-102, 1998 .
- 熊谷直音, 水中スピーカーを用いた反射法地震探査における音圧レベル・解像度向上のための最適な発振波形の検討, 東京海洋大学大学院修士論文, 2023 .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 鶴哲郎	4. 巻 75
2. 論文標題 水中スピーカーを用いた浅層反射法地震探査：東京湾奥部におけるケーススタディ	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 物理探査	6. 最初と最後の頁 3-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3124/segj.75.sp3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鶴哲郎・山口和雄・朴進午
2. 発表標題 水中スピーカーを用いた荒川での反射法地震探査実験速報
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾張聡子・鈴木渚・鶴哲郎・山中寿朗
2. 発表標題 東京湾表層堆積物における間隙水中のヨウ素・メタン分布
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 栃川彩奈・鶴哲郎
2. 発表標題 東京湾に存在する海底ガスの暫定的分布量の推定と環境への影響
3. 学会等名 石油技術協会春季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鶴哲郎・熊谷直音・山口和雄・朴進午
2. 発表標題 東京東部低地で観察された断層とガス層の分布に関する速報
3. 学会等名 日本地震学会秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川邊春佳・鶴哲郎
2. 発表標題 反射法地震探査における減衰率計算手法の高精度化に関するニューラルネットワークを用いた反射波の判別の試み
3. 学会等名 日本地震学会秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 熊谷直音・木村海登・鶴哲郎
2. 発表標題 水中スピーカーを用いた反射法地震探査における 音圧レベル・分解能向上のための最適な発振波形の検討
3. 学会等名 日本地震学会秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高中一希・黒澤礼真・鶴哲郎
2. 発表標題 水中スピーカーを用いた反射法地震探査における振源の機械特性に関する検討
3. 学会等名 日本地震学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 布留川竜・松田溪登・鶴哲郎
2. 発表標題 東京湾沿岸水域における湧出ガスの起源推定と湧出量の調査
3. 学会等名 日本堆積学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒澤礼真・高中一希・須藤遼・甘糟和男・鶴哲郎
2. 発表標題 複数の非バルス波振源を用いた海上三次元地震探査実験
3. 学会等名 物理探査学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山中寿朗・岡村慶・川田佳史・後藤慎平
2. 発表標題 青鷹丸による沿岸域にある海底火山の継続的物理・化学観測
3. 学会等名 シンポジウム「練習船青鷹丸の教育と研究に果たしてきた役割」主催：東京海洋大学船舶・海洋オペレーションセンター
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nagisa Suzuki, Satoko Owari
2. 発表標題 Geochemistry of iodine dissolved in pore water of marine surface sediment in Tokyo Bay
3. 学会等名 MALT (Micro Analysis Laboratory, Tandem accelerator, The University of Tokyo) Joint seminar
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴哲郎・野徹雄・朴進午
2. 発表標題 減衰プロファイリングを用いた反射法地震探査データのタイムラプス解析速報
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鶴哲郎・野徹雄
2. 発表標題 東京湾沿岸域のメタンガス層に関する考察
3. 学会等名 第40回歴史地震研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鶴哲郎・野徹雄・山口和雄・朴進午
2. 発表標題 減衰プロファイリングを用いた反射法地震探査データのタイムラプス解析
3. 学会等名 日本地震学会2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鶴哲郎・野徹雄・朴進午
2. 発表標題 減衰プロファイリングを用いたマルチチャンネル反射法データのタイムラプス解析
3. 学会等名 海と地球のシンポジウム2023
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	山中 寿朗 (Yamanaka Toshiro) (60343331)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	
研究 分担者	尾張 聡子 (Owari Satoko) (50846350)	東京海洋大学・学術研究院・助教 (12614)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------