

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05655

研究課題名(和文) 浅海の生物生産性と温泉成分の関係解明を目指した海底温泉湧出探査手法の構築

研究課題名(英文) Construction of survey method of submarine hot-spring discharge for elucidation of relationship between bioproductivity at coastal zone and ingredients of hot spring water

研究代表者

大沢 信二 (Ohsawa, Shinjii)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：30243009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：別府温泉が位置する別府湾奥部沿岸域において、海底地下水湧出探査に近年頻用されているラドン-塩分-水温曳航観測を実施し、河川、地下水ならびに温泉の陸水調査で得た関連データを併用した種々の解析を行ったところ、複数検出された地下水湧出域の中に温泉湧出と目されるエリアを検知することに成功した。また、pH-Eh(電位)図上で識別された低pH地点群が、先に推定された地下水や温泉湧出域に該当することも見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

別府湾沿岸における海底温泉湧出に関する調査は1937年から1939年にかけて行われ、「別府温泉の海底湧出と海洋学的要素に就いて」としてまとめられているが(野満他, 1941, 地球物理4(4):307-360)海底湧出を指し示す確固たる証拠は見出せていない。本研究では、最新の観測方法を携えてこの未解明の研究に挑んだ。沿岸水産資源と温泉のネクサス研究を今後進めて行く上での観測・研究手法を提案できたことは、学術的のみならず社会的にも意義深い。

研究成果の概要(英文)： In the inner coastal area of Beppu Bay, where Beppu Hot Spring area is located, the radon-salinity-water temperature towing observation that have been frequently used in recent years for explorations of submarine groundwater discharges was carried out. Various analyses using the relevant data obtained from water surveys of rivers, groundwater from wells and cold springs and hot springs in the inland area of Beppu Bay were performed, and then we succeeded in discovering a few hot spring discharge areas in the detected areas of the submarine groundwater discharges. In addition, it was found that the low pH point area distinguished on the pH-Eh (redox potential) diagram correspond to the estimated submarine groundwater discharge area including submarine hot spring.

研究分野：地球流体化学

キーワード：海底温泉湧出 曳航観測 溶存ガス ラドン 塩分 水温 pH ORP

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

沿岸域は海洋の中で限られた海域であるが単位面積当たりの一次生産量は最大規模であり、地球上で生物活動の活発な場所のひとつとされている。その背景には海底湧水 (Submarine Groundwater Discharge, 略して SGD) や CO_2 シープ (海底から二酸化炭素 CO_2 が噴き出している場所) が存在すると考えられており、前者 (SGD) は森の栄養を海に運ぶ河川に次ぐ“水路”として注目を集めており、地下水学や水文学の研究者のみならず世界中の海洋生物学や水産学分野の研究者の関心度も高く、その探査が世界各地で活発に行われている。そのような中、通常の地下水よりミネラル分に富み、かつ栄養塩のひとつであるケイ酸を豊富に含む温泉水もまた沿岸浅海域の生態系に大きく関わっていると予想され、また、温泉水には CO_2 が主要成分として含まれることから海底温泉は重要な CO_2 シープにも位置付けられるため、その探査における有効な方法の構築や開発は、当該分野における研究の進展に欠かせない。

2. 研究の目的

本研究では、最新の SGD 観測手法と伝統的な地球化学的調査方法等を組み合わせて海底温泉湧出探査法を構築し、別府湾奥部の別府温泉の沿岸域に散在すると予想される海底温泉湧出に適用して検出し、さらに陸域の熱水流動系との関係の解明や海底からの温泉流出量の推定などを行うことを当初の目標とした。

具体的には、(1) SGD に関心を持つ世界中の研究者が続々と導入している最新の SGD 観測法「ラドン等曳航観測」を、別府湾奥部の別府温泉の沿岸域で実施し、沿岸海底温泉湧出域の検出を試みる、(2) 推定された海底温泉湧出域について、別府地域の温泉科学や地球科学的諸情報との比較検討や湧出量推定などを通して、妥当性を検証する。また、これと並行して、(3) 海底温泉湧出の影響を受けた海水であることを確認する方法として、海水に溶存する温泉由来の化学成分を分析する方法を開発する、あるいは(4) 既存の曳航観測項目以外の有効な方法を開発あるいは構築するという事にチャレンジする。

3. 研究の方法

上記目的(1)のために、小型船舶(プレジャー・ボート)による Rn(ラドン)-塩分-水温曳航観測を別府湾奥部沿岸線に沿って実施した。水中ポンプによって水深 1m ほどから汲み上げられる海水中の Rn は、米国 Durrige 社製気液平衡装置 RAD-AQUA を取り付けた大気中 Rn 濃度計測用の同社製静電捕集型ラドン・モニター RAD7 を用いて 2 分間隔(標準)で測定し、同時に 1 分間隔で塩分と水温を計測した(データは全てロギング)。データのマッピング等のために、計測地点の位置情報を GPS によって記録した。また、Rn 濃度と塩分のミキシング・ダイヤグラムによる温泉を含む地下水流出の有無、流出の程度(海水との混合率の大小)についての解析を行うための沿岸後背地の陸水(河川水、冷地下水・湧水、温泉水)の採取を行い、Rn 濃度のほか主要成分の化学分析を行った。上記目的の(2)については、(1)で得られる Rn 濃度分布ならびに沿岸海底からの温泉水や地下水の推定流出域と海底地形、別府温泉の地下温泉流動経路図、断層分布等との対比を行った。上記(3)の目的のために、(1)と(2)で明らかにされる温泉や地下水の海底湧出有望エリアにおいて採取した底層海水中の温泉由来成分を検出するための分析方法の開発を行った。温泉由来成分にはケイ酸、全溶存炭酸などがあるがそれらはならい通りの海水試料が得られれば分析はできるので、本研究では、これまであまり試みられていない溶存ガスの採取・分析手法の構築を行った。分析の基本方針は、脱ガスや大気混染を避けて採取した海水試料に溶存しているガス(He や CO_2 など)を気相に追い出して(ガス抽出)、現有のガスクロマトグラフィーによって分析するというものである。上記(4)の目的に対しては、陸上の温泉や地下水の現地調査で日常的に行っている pH-ORP(酸化還元電位)測定を、船上に汲み上げた海水に対して行うことにし、pH 電極と ORP 電極をフローセルに装着し、そのフローセルに汲み上がった海水を流し、測定値をロギングした。海上計測地点の位置情報は、Rn-塩分-水温曳航観測と同様に、GPS によって記録した。

4. 研究成果

上記(1)と(2)で実施した、別府湾奥部沿岸線に沿う Rn-塩分-水温曳航観測により、塩分と水温には目立った異常が認められない状況にあったが、沖合や周辺と比べて有意に高い Rn 濃度域を複数検出することに成功した(図 1 の A)。その中には流入河川由来の Rn では説明できない高濃度域があり、そのいくつかは別府温泉南部地域の地下に推定されている熱水の流動経路の終端に対応し、別府湾内で最高レベルの Rn 高濃度域であることが分かった。また、高濃度域のいくつかは活断層沿いの海底や沖合の断層帯に対応する場所であり、かつて気泡の噴出が認められた別府湾南岸断層に沿った沿岸域にも Rn 高濃度異常を検出した。また、水深 20m 以上ではラドンの検出が難しくなるという本観測方法の特性もつかんだ。このような意味ある観測結果が得られた一方で、別府温泉の北部地域の地下に推定されている熱水の流動経路の終端域の沿岸部海域には南部域ほどの Rn の高濃度域は検出されず(図 1 の A)、先述の Rn 濃度検出の水深依存(検出限界)によるものと考えられ、他の方法による存在確認が必要である。

Rn 濃度と塩分に着目した海水(外洋水)と陸水(温泉水、地下水および河川水)との混合関係(Rn 濃度と塩分のミキシング・ダイヤグラム;例えば、杉本ほか, 2017)に基づき、観測した表層海水に占める陸水の混合率を導き出したところ、河川水の混入だけでは説明できない、海底か

らの地下水あるいは温泉水の流出が示唆されるエリアが別府北部と別府南部のそれぞれに2ヶ所ずつ存在することを明らかにした(図1のBの赤い丸の密集域: 関の江沖, 亀川沖, 北浜沖, 浜脇沖). さらに, それら4つのエリアの観測点に限って Rn 濃度と水温の関係を検討したところ, 表層海水には高温で Rn 濃度が低いものと, 低温で Rn 濃度が高いものに2分され, それぞれが温泉水と低温の地下水の特徴と合致していることが見出された. このような Rn 濃度-塩分-水温の複合曳航観測およびミキシング・ダイヤグラムによる図的解析によって海底温泉湧出の検出が可能であることを示すことができた.

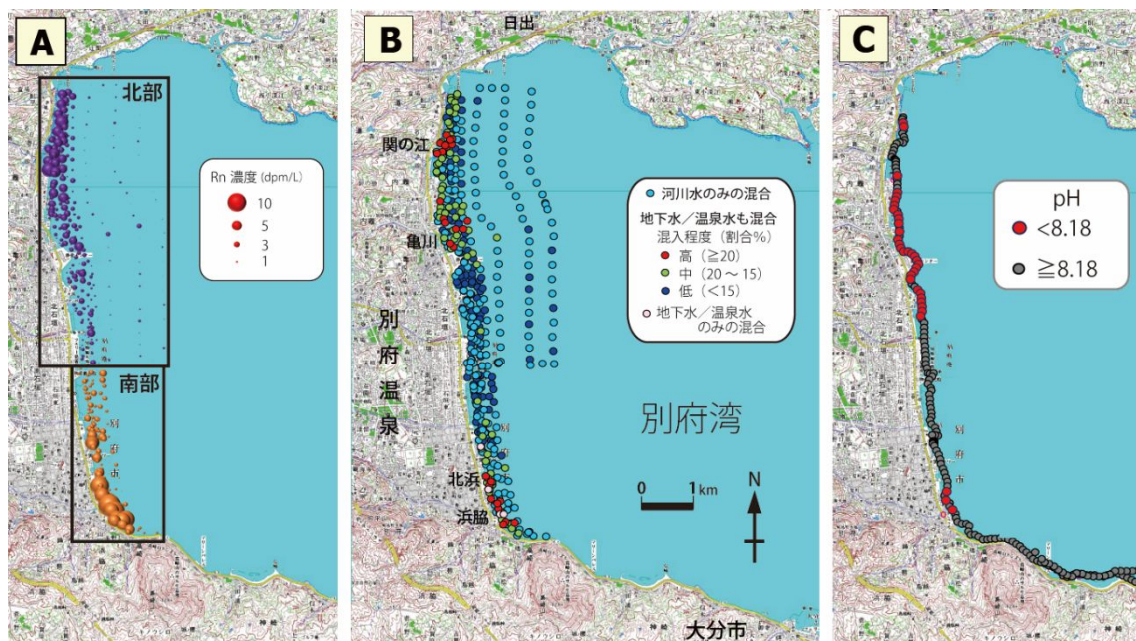


図1 別府湾奥部沿岸域における観測結果. A: Rn濃度分布, B: 推定された温泉水や地下水の海底流出域(亀川沖と北浜沖の高ミキシング地点●の密集域は海底温泉流出域である可能性が高い), C: pH-Eh図上で相対的に低pH (<pH8.18未満)であった地点の分布(Bの温泉水・地下水の推定流出域に重なるところが少なくない)

上記(3)については, 通常の採水器で汲みあげる沿岸域の深層海水に溶けているガス(N_2 , Ar, O_2 など)の濃度測定を想定し, 真空抜気による溶存ガス抽出の検討を陸域の湧水を用いて行ったが, 理論的に予想される可能抜気量が得られず抽出ガスの化学組成が抽出率に依存するという好ましくない結果が得られた. そこで, 抽出方法を抜本的に見直し, 噴気の採取・分析法を参照し, 注射器に採取した湧水にKOHを加えて強アルカリ性とし, 沸騰状態で超音波振盪を加えれば, 飽和溶存空気の体積に近い溶存ガスが抽出される可能性を示すことができた.

上記(4)について, Rn-塩分-水温曳航観測に使用した観測装置にフロースルータイプの CO_2 ガス・プループを組み込んで溶存 CO_2 濃度も測定できるように設計し, これと並列にpH, 酸化還元電位(Eh)という一般水質項目についてもフローセルを使用して連続的にデータ取得を行うことができるように曳航観測システムを拡張再構築した. この拡張曳航観測システムを用いて, 海底温泉湧出域が想定された別府湾奥部において試験曳航を行ったところ, Eh-pH図上で認められた低pH異常水域が, 先に想定された海底温泉湧出エリアに対応することを見出し(図1のC), フローセル水質測定ユニットを組み合わせた新たな曳航観測システムの有効性を示すことができた.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 大沢信二, 三島壮智	4. 巻 69
2. 論文標題 コンパクトなサーモグラフィ・カメラを用いる温泉調査について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 大分県温泉調査研究会報告	6. 最初と最後の頁 23,30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yamada, M., Shoji, J., Ohsawa, S., Mishima, T., Hata, M., Honda, H., Masahiko Fujii, M., Taniguchi, M.	4. 巻 11
2. 論文標題 Hot spring drainage impact on fish communities around temperate estuaries in southwestern Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology: Regional Studies	6. 最初と最後の頁 69-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejrh.2015.12.060	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 -
1. 著者名 Sugimoto, R., Kitagawa, K., Nishi, S., Honda, H., Yamada, M., Kobayashi, S., Shoji, J., Ohsawa, S., Taniguchi, M., Tominaga, O.	4. 巻 563
2. 論文標題 Phytoplankton primary productivity around submarine groundwater discharge in nearshore coasts	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Marine Ecology Progress Series	6. 最初と最後の頁 25-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3354/meps11980	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 大沢信二, 三島壮智	4. 巻 62
2. 論文標題 姫島火山の沿岸海底から放出される遊離ガスの化学・同位体組成	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 火山	6. 最初と最後の頁 31-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岸田立, 本田尚美, 三島壮智, 杉本亮, 谷口真人, 大沢信二
2. 発表標題 ラドン曳航観測データを用いた別府湾沿岸域の海底温泉の検出
3. 学会等名 日本陸水学会第83回大会岡山大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三島壮智, 網田和宏, 大沢信二
2. 発表標題 真空抜気溶存ガス分析法の構築
3. 学会等名 日本陸水学会第83回大会岡山大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田誠, 小路淳, 杉本亮, 大沢信二
2. 発表標題 別府市内の温泉利用が河川や沿岸生態系に及ぼす影響について
3. 学会等名 日本陸水学会第83回大会岡山大会
4. 発表年 2018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
研究協力者	三島 壮智 (Mishima Taketoshi)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力 者	岸田 立 (Kishida Tatsu)		