

ALOS PALSAR による鳥海山沿岸海域における

地下水湧出地点の特徴解析

Feature Analysis of Groundwater Discharge Points in Coastal Regions around Mt. Chokaisan by ALOS PALSAR Data

○白井光*, 高橋諄丞*, 景山陽一*, 西田眞*

○Hikaru Shirai, Junsuke Takahashi, Yoichi Kageyama, Makoto Nishida

*秋田大学

*Akita University

キーワード: リモートセンシング(Remote Sensing), ALOS PALSAR(ALOS PALSAR),
海底湧出地下水(Submarine Groundwater Discharge), テクスチャ(Texture),
後方散乱係数(Backscattering Coefficient)

連絡先: 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学大学院工学資源学研究科
景山陽一, Tel: (018)889-2786, Fax: (018)837-5771, Email: kageyama@ie.akita-u.ac.jp

1. はじめに

海底地下水の湧出は、陸上と海洋を結ぶ水循環を考える上で重要である¹⁾。また、海底湧出地下水は淡水であること、水温は年間を通じてほぼ一定に保たれていること等の特徴を有している。さらに、水産業従事者の中で経験的に知られている湧水位置付近では、海底湧出地下水が水産資源の確保や保護育成等に利用されている。しかしながら、海底湧出地下水の水質・湧出量・湧出位置等は地域ごとに異なり、また、主な調査方法も直接採取に頼らざるを得ないため、海底地下水湧出地点の特定およびその特性把握は困難であるのが現状である。

一方、広域性・瞬時性・周期性・非接触性に優れた特徴を有するリモートセンシングは、環境変化を観測する技術として有用であ

る。また、観測対象に季節変化が認められる場合、異なる時期に取得されたりリモートセンシングデータは特徴抽出に有効である。

筆者らはこれまでに、人工衛星 ALOS により取得された AVNIR-2 データおよび PALSAR データを用いて、鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の位置推定、並びに特徴解析を行ってきた²⁾。その結果、海底地下水の湧出位置推定や特徴解析に ALOS AVNIR-2 データおよび ALOS PALSAR データは有用であることを明らかにした。しかしながら、湧水地点と海水地点の差異を考慮した特徴解析は不十分であるのが現状である。

そこで本稿では、鳥海山の沿岸海域を対象とし、複数の時期に取得された ALOS PALSAR データを用いて、海底地下水湧出位置、特徴量の季節変動、並びに湧水地点と海水地点における特徴の差異について検討を行った。

2. 対象地域および使用データ

2.1 対象地域

秋田県と山形県にまたがる鳥海山は、標高2236mの大規模な第四紀火山である³⁾。また、多孔質の岩石によって構成され、優れた浸透性・保水性を有する。貯留された地下水は、山体の各所で湧出する。鳥海山における年間降水量は12000mmを超えると推計されているが⁴⁾、山麓部の西部(日本海側)ではあまり水系が発達していないため、湧泉として様々な地点で湧出している。また、湧出地下水は淡水であり、その水温は年間を通じてほぼ一定である⁵⁾、⁶⁾。さらに、釜磯海水浴場(Fig.1 南側参照)においては、一日当たりの海底地下水の湧出量が198cm/dであることが明らかとなっている⁷⁾。これは、海底地下水湧出地点として知られている富山県黒部市沿岸における湧出量160cm/dを超えており、日本屈指の湧出量となっている⁷⁾。なお、cm/dは一日あたりのシーページメータ内における水位変化量を示している。加えて、海底湧出地下水は噴出時、状況によっては海水表面において波紋を形成するため、これを目視することで海底湧水の位置を同定することが可能である⁸⁾。

一方、鳥海山周辺の沿岸海域から湧出している地下水に関する検討はあまり行われていないのが現状である。また、鳥海山周辺の沿岸海域は岩牡蠣の産地として知られているが、その理由としては海底湧出地下水の影響が考えられる⁹⁾。したがって、同地域の海底湧出地下水の特性を明らかにすることは、水産資源の確保や保護育成に寄与することが期待できる。そこで、鳥海山からの海底地下水が湧出している秋田県にかほ市象潟町および山形県飽海郡遊佐町の日本海沿岸を対象地域とした。

2.2 専門家の知見および現地調査結果

水文学の専門家から対象地域に関する意見を聴取し、以下に示す知見を得た。

- 1) 鳥海山の山体規模や日本海側に流れ出ている溶岩流の形態、並びに海水と湧出地下水の関係から、火山帯である鳥海山の海底湧水域は、海底

に流れ込んだ溶岩流の先端が及んでいる範囲(陸域から数百m沖合)までである。

- 2) 湧出する地下水は海水表面にも影響を与えており、海面の平穏時にはその湧出状況が目視により判断できる。
- 3) 対象地域は複数の溶岩で形成されており、溶岩の形成時期により海底湧出地下水の湧出量が異なる。
- 4) 形成年代が新しい溶岩である程、海底地下水の湧出する可能性が高い。

専門家の知見、現地調査(水産業従事者等への聴取結果を含む)、並びに陸域に関する調査結果をまとめた参考文献³⁾、⁶⁾より明らかとなった対象地域における湧水の分布状況をFig.1にまとめる。海底地下水の湧出地域としては、小砂川、三崎、釜磯等が挙げられる。また、周辺の陸域からも地下水は湧出している。これに対し、吹浦(Fig.1 南側参照)には月光川が流入している。

対象地域における地形および湧出状況の確認と水温等を測定するため、筆者らは2004年から現地調査を行っている。2014年



Fig.1 海底地下水湧出地点.
Groundwater discharge points
in coastal regions.

8月19日および2015年5月22日に実施した現地調査の結果(平均)をTable.1にまとめる。測定項目は、溶存酸素量、電気伝導率、塩分濃度、全溶固形物量、比重、水温、並びに濁度である。なお、表におけるSWとは、地下水の湧出していない象潟海水浴場(2か所で測定; Fig.1 上部参照)で測定した結果を表している。これに対しGWとは、地下水が湧出している地域(小砂川、釜磯; 各1か所で測定)における測定結果の平均を表している。なお、水深は約20cmである。

調査の結果、海水地点と湧水地点において塩分濃度や水温等の項目に違いが認められた。特に、水温と気温との差を比較すると、湧水地点において海水地点と比較し水温と気温との差が大きいことがわかる。近藤氏は、熱収支の観点から、海面水温と大気温度差(温度差)と顕熱の交換速度(海上風速)は対数関数的関係にあることを示している¹⁰⁾。具体的には、海面水温から大気温度を減じた値が負の方向に大きくなるのに従い、風速も大きくなる¹⁰⁾。このことは、湧水地点において海面と大気との間でエネルギー授受が発生し、海表面に影響を与えることを示唆している。すなわち、リモートセンシングデータを用いた海底湧出地下水の特徴解析を行

Table.1 現地調査結果.
Measurements obtained
by the ground survey.

測定日	2014年 8月19日		2015年 5月22日	
	SW	GW	SW	GW
溶存酸素量 (mg/L)	8.0	11.3	7.1	8.5
電気伝導率 (S/m)	3.7	0	25.5	0.1
塩分濃度(%)	23.8	0	25.5	0.1
全溶固形物 量(g/L)	39.1	0	43.0	0.2
比重(sg)	14.8	0	18.1	0
水温(°C)	24.9	12.3	17.4	13.1
濁度(NTU)	0	0.2	5.1	3.6
気温(°C)	27.2		19.9	

う上で、海水と湧水の水質特性の相違は有効な指標になり得ることを示唆している。

2.3 使用データ

ALOS¹¹⁾は、2006年1月に宇宙航空研究開発機構(JAXA)により打ち上げられた地球観測衛星である。PALSARデータ(地上分解能:10m)は、フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダにより観測されたデータである。すなわち、マイクロ波を地表に放射して後方散乱係数を測定するため、天候や昼夜に影響されない。また、PALSARセンサーで海洋を観測した場合、海表面水温と大気温度との差異が大きい場合、海面と大気との間でエネルギー授受が発生するため、後方散乱係数は大きくなり、海面が白く見える。一方、海表面水温と大気温度との差異が小さい場合、海面と大気との間でエネルギー授受が見られないため、後方散乱係数は小さくなり、海面は黒く見える¹²⁾。このため、観測時の海表面水温および大気温度によって得られる情報が変化する。

本論文では、2008年3月11日、2010年8月2日、2009年10月7日、2010年1月30日に取得されたPALSARデータ(以後、春季データ、夏季データ、秋季データ、並びに冬季データとそれぞれ表記する)を解析に用いた。

3. 提案手法

3.1 前処理

リモートセンシングデータは歪みを有するため、GCP(Ground Control Point)を選定し、2次変換¹³⁾により内挿点を求め、3次たみ込み内挿法¹³⁾を用いて幾何補正処理を行った。次に、以下の領域にマスク処理を施した。

- 1) 海底湧出地点の特徴解析を目的とするため、検討対象外となる陸域
- 2) 専門家の知見を踏まえ、地下水湧出の可能性が低いと推測される陸域から約500m以上沖合の範囲

さらに、使用データの持つノイズ等の影響を低減するため、2byte(65536階調)のPALSARデータに対し、累積度数分布を用

いて 64 階調のデータに変換した。

3.2 テクスチャ特徴量の算出

PALSAR データは、単一輝度レベル情報のみを有している。しかしながら、テクスチャ情報¹³⁾を併用することは、輝度レベル情報では判別できなかった状況把握を可能にすると期待できる。そこで同時生起行列¹³⁾を用いてテクスチャ特徴量を算出し、最も良好な結果が得られたテクスチャ特徴量 mean を以後の検討に用いた。

3.3 ISODATA 法による分類

輝度値の類似度が高い領域ごとに分類するため、ISODATA 法¹³⁾を用いて対象地域の分類を行った。次に、現地調査および専門家の知見による湧水分布状況を基に、海底湧出地下水の影響と推測されるクラスタ(以後、湧水クラスタと表記する)とそれ以外のクラスタ(以後、海水クラスタと表記する)を目視により判定した。

3.4 後方散乱係数の算出

湧水地点と海水地点における特徴の差異について検討を行うため、湧水クラスタおよび海水クラスタにおける後方散乱係数を算出した。なお、後方散乱係数 σ は(1)式¹⁴⁾を用いて算出した。

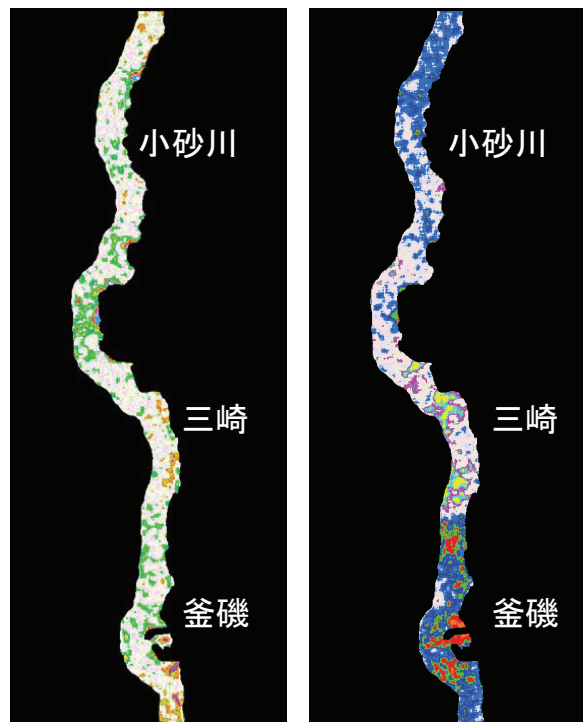
$$\sigma = 10 \log_{10} DN^2 + CF \quad (1)$$

ここで、 DN は、PALSAR データの輝度値、 CF は校正係数である。校正係数¹⁴⁾は、春季データでは-83.4、夏季、秋季、並びに冬季データにおいては-83.0である。

4. 分類結果および考察

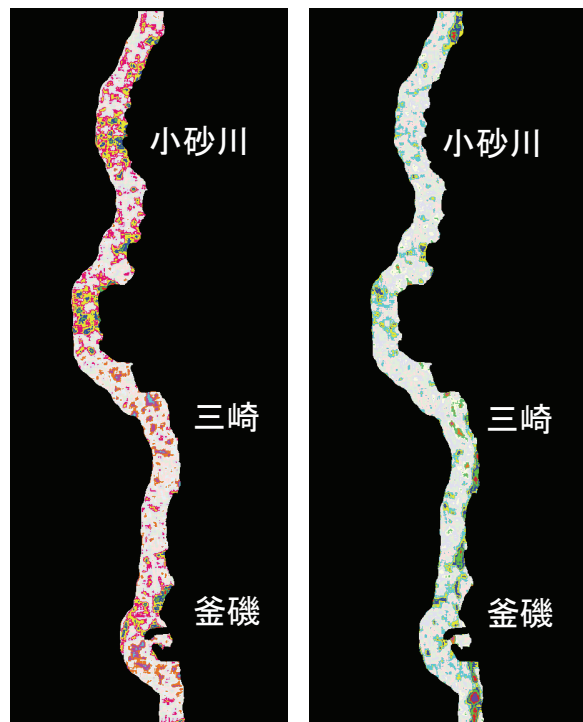
4.1 PALSAR データにおける分類結果

テクスチャ特徴量 mean を用いて分類した結果を Fig.2 に示す。分類の結果、各季節の PALSAR データにおいて、湧水クラスタが小砂川、三崎、並びに釜磯に形成されることがわかる。このことは、海水と湧水の水温差に起因し、海水地点と湧水地点における後方散乱係数が変化したためであると考えられる。また、各季節の分類結果において、あ



(a)春季データ.
Spring data.

(b)夏季データ.
Summer data.



(c)秋季データ.
Fall data.

(d)冬季データ.
Winter data.

Fig.2 PALSAR データを用いた

分類処理結果.

Classification results
using the PALSAR data.

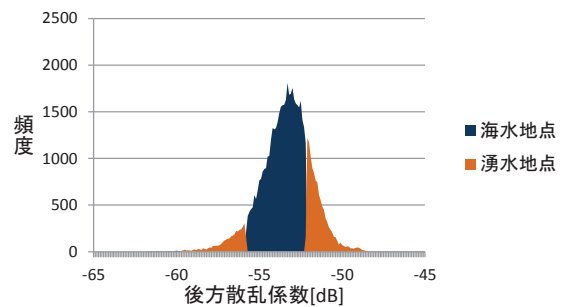
るクラスタを囲むように、異なるクラスタが形成されることを認めた。例えば、秋季データにおける三崎地域北側(Fig.2 参照)では、赤色のクラスタを囲むように、緑色、青色、並びに黄色のクラスタが存在している。このことは、PALSAR データにおける分類結果から海底湧出地下水の広がりを見読可能であることを示唆している。

次に、各時期に取得された PALSAR データの分類結果における湧水クラスタの画素数を比較した。この結果、湧水クラスタの画素数はそれぞれ春季データにおいて約 15000 画素、冬季データにおいて約 16000 画素であり、夏季データ(約 36000 画素)および秋季データ(約 23000 画素)と比較して少ないことがわかる。このことは、対象地域において1月から3月にかけて海底湧出地下水湧出量が減少すること⁸⁾、海水温度¹⁵⁾と湧水温度との差が夏季データおよび秋季データではそれぞれ約 17.5°C、約 10.5°Cであるのに対し、春季データおよび冬季データではそれぞれ約 0.5°C、約 1.5°Cであり、春季データおよび冬季データにおける海水温度と湧水温度との差が小さいことに起因していると考えられる。

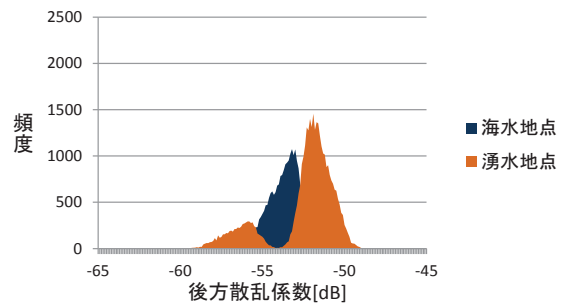
以上の結果は、各 PALSAR データを用いて算出したテクスチャ特徴量 mean は、海底湧出地下水の特徴解析に有用であることを示唆している。

4.2 後方散乱係数の算出結果

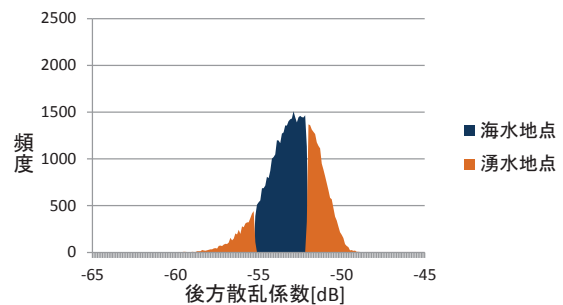
各 PALSAR データにおける湧水地点および海水地点の後方散乱係数を算出し、ヒストグラムを作成した(Fig.3)。この結果、全てのデータにおいて、海水クラスタと比較し後方散乱係数の高い湧水クラスタが存在していることがわかる。このことは、海水と湧水の水温差に起因し、海水地点と湧水地点における後方散乱係数が変化したためであると考えられる。また、湧水地点におけるヒストグラムに着目すると、全てのデータにおいて二つの山が形成されていることがわかる。例えば、秋季データにおいては、-53.7 を閾値とした場合、後方散乱係数が閾値以上である湧水画素群 A と閾値未満である湧水画素群 B に大別できる。そこで、対象地域における湧水画素群 A と湧水画素群 B の分布を比較した。一例として、秋季データにおける各湧水画素



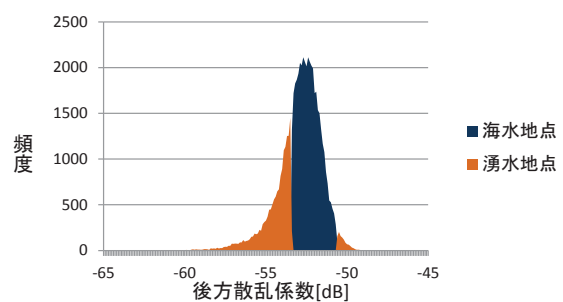
(a)春季データ。 Spring data.



(b)夏季データ。 Summer data.



(c)秋季データ。 Fall data.



(d)冬季データ。 Winter data.

Fig.3 後方散乱係数のヒストグラム。
Histogram of
the backscattering coefficient.

群の分布図を Fig.4 に示す。この結果、湧水画素群 A は小砂川地域、三崎地域北部、並びに釜磯地域に、湧水画素群 B は三崎地域

南部にそれぞれ分布していることがわかる。これは、湧水画素群 A が多く分布している地域では、湧出量³⁾が約 10L/s と多いため、海面に湧水の影響が多く表出したと考える。一方、湧水画素群 B が多く分布している地域では、湧出量³⁾が約 1L/s と少ないため、海面に湧水の影響があまり表出しなかったと考える。すなわち、このことは PALSAR データの後方散乱係数を用いて海底地下水湧出量の違いを判読可能であることを示唆している。

5. おわりに

本稿では、ALOS PALSAR データを用いて、鳥海山の沿岸海域における海底地下水湧出地点の特徴解析を行った。その結果、PALSAR データにより算出した後方散乱係数は湧水クラスターと海水クラスターで異なる特徴を有しており、対象地域における海底地下水湧出地点の特徴解析に有用であることを明らかにした。

最後に、本研究の対象地域における地下水

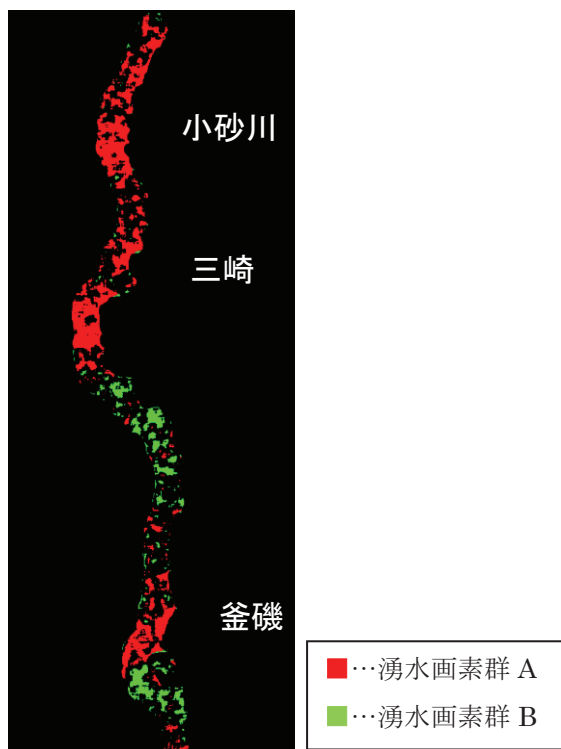


Fig.4 対象地域における各湧水画素群の分布図.

Distribution map of each groundwater discharge pixel in the region area.

の特性に関して、有益な御助言を賜っております秋田大学 肥田登名誉教授、並びに現地調査に協力下された秋田県にかほ市象潟町の関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 丸井 敦尚:海底湧出地下水 -新たな資源としての可能性-, 日本水文科学会誌, 27-2, 85/94(1997)
- 2) 高橋 諄丞, 白井 光, 景山 陽一, 西田 眞:鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の季節変化に関する検討, 平成 26 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2H15(2014)
- 3) 藤原 崇:鳥海火山西麓における湧泉の水文学的研究, 秋大地理, 46, 73/76(2002)
- 4) 土屋 巖:鳥海山における 12000mm 以上の年降水量について, 天気, 37-8, 521/526(1990)
- 5) 林 信太郎:鳥海火山北麓獅子ヶ鼻湿原の地質 -湿原周辺地域の地形発達史と湧水の経路-, 秋田地学, 43, 24/27(1993)
- 6) 肥田 登, 吉崎 光哉:湧水とくらし, 無明舎出版(2001)
- 7) 秋道 智彌:鳥海山の水と暮らし 地域からのレポート, 東北出版企画(2010)
- 8) 菅原 仁人:秋田県象潟海岸域における地下水の湧水特性, 秋大地理, 53, 17/20(2006)
- 9) 例えば, 朝日新聞:1997 年 8 月 14 日朝刊
- 10) 近藤 純正編著:水環境の気象学 -地表面の水収支・熱収支-, 朝倉書店(1994)
- 11) RESTEC Web Site:
<http://www.alos-restec.jp/>
- 12) 木村 典嗣, 岡田 喜裕:PALSAR 画像による見られた九州近海の海況の特徴, 水産海洋研究, 73-3, 197/201(2009)
- 13) 高木 幹雄, 下田 陽久(監修):新編 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会(2004)
- 14) 宇宙航空研究開発機構 Web Site:
<http://www.eorc.jaxa.jp>
- 15) 気象庁 Web Site:
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>