

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：11401  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2010～2012  
 課題番号：22510002  
 研究課題名（和文） 空間情報を用いた鳥海山沿岸海域における地下水の湧出メカニズムに関する研究  
 研究課題名（英文） Study on the mechanism of groundwater discharge in coastal regions around Mt.Chokaisan using spatial information.  
 研究代表者  
 景山 陽一（KAGEYAMA YOICHI）  
 秋田大学・工学資源学研究科・准教授  
 研究者番号：40292362

研究成果の概要（和文）：本研究では、鳥海山からの地下水が伏流水として湧出している日本海沿岸海域を対象とし、人工衛星だいちにより取得された AVNIR-2 データおよび PALSAR データを用いて、海底地下水の湧出メカニズムについて検討を加えた。検討の結果、(1) AVNIR-2 データや PALSAR データは湧出地点の特徴解析に有用であること、(2) 対象地域における地質の形成時期の違いは、海底地下水の湧出量や広がりへの理解に役立つこと、(3) リモートセンシングデータによる地下水（淡水）と海水の違いの判読に、塩分濃度が指標の一つになり得ること等を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This study analyzed the mechanism of groundwater discharge in coastal regions around Mt.Chokaisan using ALOS AVNIR-2 and PALSAR data. The following conclusions could be derived: (1) classification results using the ALOS AVNIR-2 and PALSAR data can be useful for detection of the groundwater discharge points and their analysis, (2) the differences in the timing of geological formation in the study area helps to understand the difference due to the amount and the spread of the submarine groundwater discharge, and (3) the relative salinity was one of the indicators that can detect the difference between seawater and groundwater (freshwater).

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：リモートセンシング、海水表面情報、沿岸海域、鳥海山、伏流水、だいち、AVNIR-2、PALSAR

## 1. 研究開始当初の背景

浅海部や深海部における海底から地下水が流出していることは、世界中の至る所で知られている。沿岸海域における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

で重要であるため、水文学や海洋学の見地から検討が行われている。また、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する海底湧出地下水の存在は、古くから水産業従事者には経験的

に知られており、浅海部では水産資源の確保や保護育成等に海底湧出地下水が利用されてきた。しかしながら、海底湧出地下水の水質や湧出量等は地域ごとに異なり、主な調査方法も直接採取に頼らざるを得ないため、地下水湧出地点の特定およびその特性把握は困難となっているのが現状である。

一方、広域性・瞬時性・周期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。このため、筆者らはこれまでに、海底湧出地下水の存在が知られている鳥海山の沿岸海域を対象とし、人工衛星 Landsat-7 により取得された ETM+(Enhanced Thematic Mapper, Plus) データのマルチバンド情報を用いた海底地下水の湧出地点の検出を行った。具体的には、(1)ETM+データ(地上分解能:30m)を使用した条件下において、海底湧出地下水の流動シミュレーションを行い、対象地域における海底湧出地下水は海水表面状況に影響を与え得ること、(2)夏季(9月)に取得された ETM+データに加え、夏季および冬季(3月)に取得された ETM+データの差分情報を併用することは、対象地域における海底地下水の湧出位置の検出に有効であること等を明らかにした。しかしながら、(1)分解能の高い光学センサにより取得されたデータを用いて、季節的な因子を考慮して湧出地点や湧出量の変化を検討する必要があること、(2)各種外乱がリモセンデータには含まれているため、これを考慮した処理を行う必要があること、(3)対象地域における多種多様なパラメータとリモセンデータとの関連が明確ではないこと等の課題をさらに検討する必要がある。

天候条件に影響されないデータとして、合成開口レーダによるデータ(以下、SAR(Synthetic Aperture Radar)データ)が挙げられる。しかしながら、SAR データを解析に併用する場合には上記課題に加え、SAR データから効果的に情報を抽出するための特徴量の選定やアルゴリズムの開発が必要である。従って、上記課題を解決して地下水湧出地点における海水表面情報の抽出を行い、湧出地点の広がりや湧出量等の季節変化を解明することができれば、空間的・時間的に散在している環境情報の統合が可能になると考える。

## 2. 研究の目的

本研究では、鳥海山からの地下水が伏流水として湧出している日本海沿岸海域を対象とし、人工衛星だいち(Advanced Land Observing Satellite: ALOS)により取得された AVNIR-2(Advances Visible and Near Infrared Radiometer type 2)データ(地上分解能:10m)および PALSAR(Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar)デ

ータを用いて、海底地下水の湧出メカニズムを明らかにすることを目的とする。具体的には、AVNIR-2 データ(地上分解能 10m)を用いて、地下水の湧出地点における海水表面状況について検討を加えた。次に、同地域における地質図との比較を行い、湧水と対象地域における地質の形成時期について検討を加えた。さらに、塩分濃度に着目し、淡水である伏流水が湧出している地点と対象地域における相対塩分濃度算出結果との関連についても検討を加えた。

次に、PALSAR データによる湧出地点検出の可能性について検討を加えた。

さらに、あいまいさを考慮して水面情報を解析するために、ファジィ c-means 法やファジィ回帰分析を用いた手法についても検討を加えた。

## 3. 研究の方法

### (1)AVNIR-2 data を用いた解析

#### ①前処理

(i)幾何補正および対象領域の切り出し: 取得時期の異なる複数のデータを対象とし、各データにおける同一地点の情報を比較検討するためには、位置補正を施す必要がある。そこで、Ground Control Points (GCPs)を各 10 点選定し、二次変換を用いて幾何補正を行った。次に、3 次畳み込み内挿法を用いてリサンプリングを行い、対象地域を包含する領域を切り出した。

(ii)マスク処理: 陸域における土地被覆状況は、多様な濃度値から構成されているのに対し、海域では、濃度値の変化の割合は小さい。また、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 100m 沖合)までであるとの知見を専門家から得ている。そこで、地下水の湧出する可能性の低い陸域から約 500m 以上沖合の範囲および陸域にマスク処理を施した。

(iii)大気補正: 1 回散乱近似による補正手法を用いて、近赤外域である第 4 バンドデータの情報に基づき、可視波長域である第 1・第 2・第 3 バンドデータの大气補正を行った。

#### ②解析データの作成

海面平穏時には、海底地下水の湧出地点を目視でも確認可能であるとの知見が専門家より得られており、可視域データでの解析が可能と考える。また、水域は近赤外域(第 4 バンドデータ)の波長を吸収する特徴を有している。さらに、AVNIR-2 の各バンドデータについて予備検討を行ったところ、第 4 バンドデータ(近赤外域)では、対象地域における海水表面情報を反映した結果が得られなかった。そこで、第 4 バンドデータを除く、可視域で取得された第 1・第 2・第 3 バンドデータを用いて解析データを作成した。

#### ③k-means 法による分類

濃度値の類似度が高い領域ごとに対象海域を分類するため、上記処理により作成したデータを対象とし、k-means法を用いて地下水が湧出していると判断される地点と他の地点における海水表面情報を比較した。なお、クラスタ数kとしては、3から20までの連続した値を設定しており、クラスタ間の移動画素が全体の5%以下になったときに、処理を終了した。

#### ④相対塩分濃度の算出

海底湧出地下水(淡水)と海水の違いとして、水温、塩分濃度、比重、透明度等が挙げられる。本研究では、現地調査により実測値が得られている塩分濃度に着目し、対象地域全体の相対的な塩分濃度を推定した。すなわち、第1、第2バンドデータを用い、次式を用いて塩分濃度(Salinity)を算出した。

$$\text{Salinity} = a \{ \text{Log}(\text{CDOM}) \} + b \quad (1)$$

$$\text{CDOM} = m \left( \frac{B_1}{B_2} \right)^2 - n \left( \frac{B_1}{B_2} \right) + l \quad (2)$$

ここで、 $B_1$ および $B_2$ は着目画素における第1および第2バンドデータの濃度値である。また、 $a=22.2$ 、 $b=-17.3$ 、 $m=64.7$ 、 $n=59.3$ 、 $l=13.5$ の値を用いた。

#### (2)PALSAR データを用いた解析

前処理として①幾何補正、②マスク処理、③階調変換、並びに④大気補正を施した。次に、同時生起行列を用いて8種類(mean, entropy, second moment, variance, contrast, homogeneity, dissimilarity, correlation)のテクスチャ特徴量を算出した。最後に、ISODATA法による分類処理を行った。なお、最大反復回数を20000回、クラスタ間の移動画素が全体の1%以下になったときに処理を終了し、クラスタ数は10~20の範囲とした。

#### (3)あいまいさを考慮した水面情報解析

##### ①宝仙湖の水質状況解析

あいまいさを考慮した水面情報を解析するため、AVNIR-2データにおける宝仙湖を対象として、幾何補正・大気補正・マスク処理を施し、ファジィC-means法による分類を行った。なお、クラスタ間の移動画素が全体の1%以下になったときに処理を終了した。

##### ②八郎湖の水質状況解析

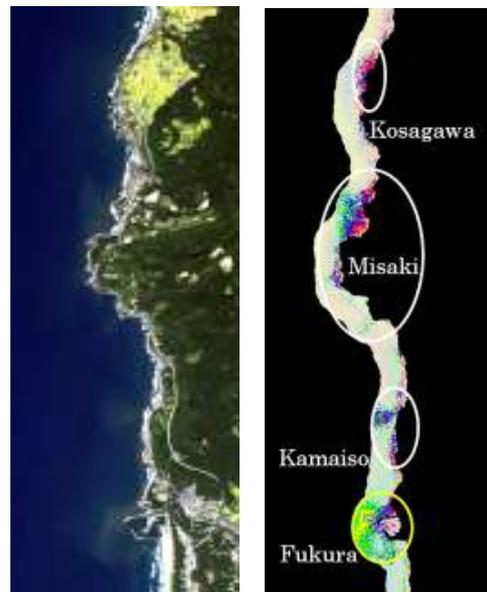
AVNIR-2データを対象とし幾何補正・マスク処理を施した。次に、秋田県が測定している6種類の水質結果(pH, DO, COD, SS, T-N, T-P;5か所)と測定地点における画素情報の関連を求めるため、ファジィ回帰分析を行った。さらに、ファジィレベルスライスを施し、八郎湖の水質状況推定図を作成した。

## 4. 研究成果

### (1)AVNIR-2 data を用いた分類結果

#### ①提案手法による分類結果

2009年9月20日に取得されたAVNIR-2データ(著作権:JAXA)に対し、提案手法により得られた分類結果例(k=15)を図1に示す。海底湧出地下水の影響と推測されるクラスタ(白枠内赤色部分)が小砂川、三崎、ならびに釜磯の海域に存在している。また、共通な特徴の見られるクラスタを囲むように、2、3種類のクラスタ(青色部分、緑色部分、黄色部分)も形成され、地下水の広がりや判読できる。さらに、河川水の影響と推定されるクラスタ(図下部黄色枠内)も吹浦に形成され、海底湧出地下水との違いを判読できる。また、湧出地下水と河川水はともに淡水であるものの、河川水における浮泥の挙動に起因して反射特性の相違が生じたことが考えられる。さらに、湧出地下水や河川水の流動により局所的な水循環が生じているが、その状況の相違により反射特性も異なることが考えられる。その結果、異なるクラスタが形成されたと考える。すなわち、AVNIR-2は、同じ淡水であっても湧出地下水と河川水の有する水質の違いを判読できる可能性があることを示唆している。



(a)AVNIR-2 データ (b)分類結果  
図1 AVNIR-2 データの分類結果例

#### ②地質図との比較

地質調査所発行の地質図(鳥海山及び吹浦)における陸域部分と提案手法による分類結果を合成した結果を図2に示す。対象地域(赤枠)の東側(右側)には、多くの断層(白枠内青色部分)が存在すること、ならびに対象地域周辺の地質は溶岩で構成されていることが地質

図から判読できる。このことは、対象地域周辺では降雨(雪)が断層により地下に染み込みやすい環境にあり、地下水が多孔質な溶岩中を流動し海底から湧出することを示唆している。また、対象海域に接している地質は、3つ(A~C)に大別される。地質の形成順位は、古い順から小砂川溶岩(A)、吹浦溶岩(B)、猿穴溶岩(C)となっている。海底湧出地下水と地質との関連について、専門家に聴取したところ、地質の形成時期と地下水とは関連があり、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との知見を得た。

そこで、3つの地域の拡大図(図2左の青枠参照)を比較したところ、3つの地質の中で最も新しい猿穴溶岩(C)と接する海域、すなわち三崎の海域に赤色クラスタのまとまりが最も見られ、その周辺にもクラスタの広がりが見られる。三崎は日本海に突出している地形であり、上部は湾になっているため、波も穏やかである。また、湾全体から地下水が湧出しているとの知見も専門家および水産業従事者から得られている。この状態が、例えば、猿穴溶岩(C)上部に顕著に現れている。このように、局所的な地形・地質特徴により猿穴溶岩(C)の下部よりも上部における地下水の湧出状況が判読しやすくなったと考える。

さらに、小砂川溶岩(A)および吹浦溶岩(B)と接する海域においても、赤色のクラスタに加えて、異なるクラスタの広がりが見られる。すなわち、AVNIR-2データの分類処理結果より得られた地域ごとに異なるクラスタの広がり、地質の形成時期の違いにより生じる海底湧出地下水の湧出場所や、湧出量といった特性の相違に起因する可能性を示唆している。

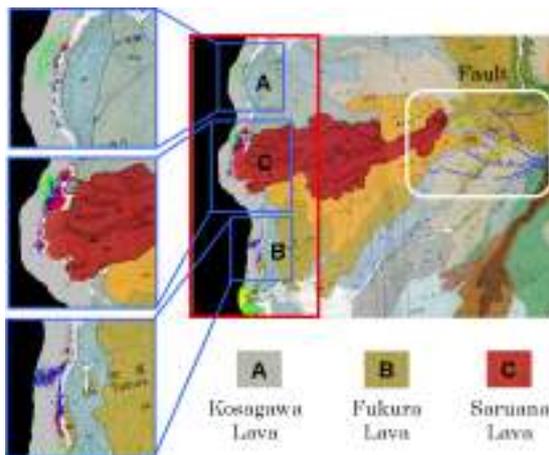


図2 地質図との合成結果

### ③ 相対塩分濃度算出結果との比較

9月20日データを用いて得られた対象地域における相対塩分濃度の推定結果を図3に示す。なお、算出された値を下部に示すカラ

ーチャートに対応するように、色変換処理を施している。海底地下水の湧出地域である小砂川、三崎、ならびに釜磯の沿岸において、塩分濃度は低くなっていることがわかる。また、分類結果の着目クラスタ(図1の白枠内参照)と比較したところ、海底地下水の湧出地域において類似した様相を呈していることがわかる。特に、三崎や釜磯の沿岸における特徴が顕著に表れている。すなわち、クラスタリング結果における赤色の領域は、塩分濃度の低くなっている領域と特に一致しており、地下水(淡水)と海水の塩分濃度の違いが分類結果に影響を与える特徴量の一つになっていることを示唆している。

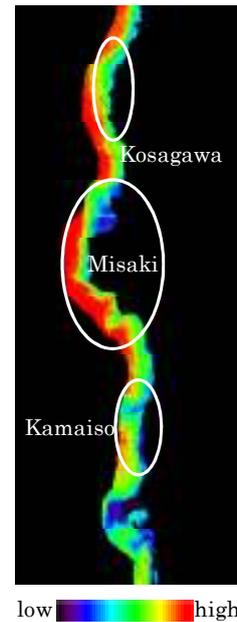
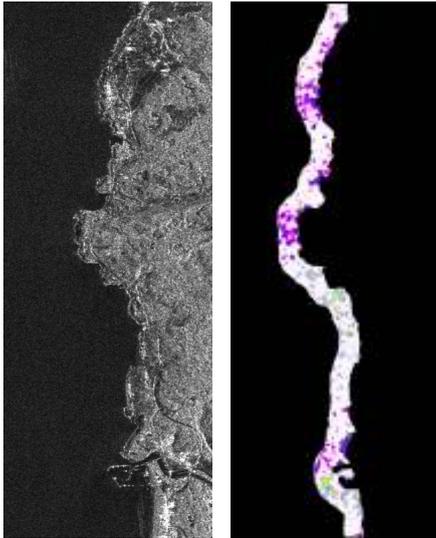


図3 相対塩分濃度推定結果

### (2) PALSAR データを用いた分類結果

算出した8種類のテクスチャ特徴量のうち、meanを用いた場合の分類結果が最も良好であった。そこで本研究では、mean(階調数64)を用いて分類を行った。2009年10月7日に取得されたPALSARデータ(著作権: METI, JAXA)に、提案手法を適用した結果を図4に示す。湧水地点である小砂川、三崎、釜磯の各地域において、海底湧出地下水の影響と推測されるクラスタが存在している。これは、PALSARデータの特徴により大気温度と海面水温の差が大きい湧水地点の輝度値が高くなり、湧出地点にクラスタが形成されたと考えられる。また、特徴の見られるクラスタの周囲に、別のクラスタが形成されていることがわかる。

以上の結果は、PALSARデータの使用が海底湧出地下水の広がりを検出可能にすることを示唆している。



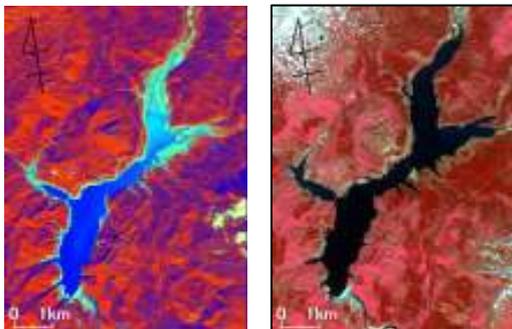
(a)PALSAR データ (b)分類結果  
図 4 PALSAR データの分類結果例

(3)あいまいさを考慮した水面情報解析

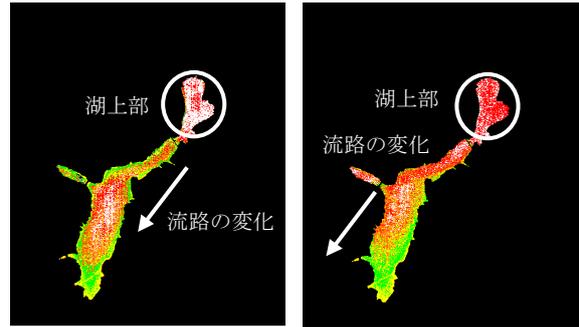
①宝仙湖の水質状況解

図 5 に示す AVNIR-2 データ(著作権 : JAXA)に対し、ファジィ c-means 法を用いて得られた分類結果を図 6 に示す。どちらのデータを用いた場合においても、帰属度の値が湖上部から湖下部に向けて流れるように減少していく様子が認められる。すなわち、専門家の知見と大局的に一致する良好な結果が得られている。

一方、2 シーンのデータにおける大局的な水質状況は類似しているものの、湖内における流路は異なることが明らかとなった。すなわち、9 月 29 日データにおいては、湖内の中央部分を流下しているのに対し、5 月 2 日データにおいては湖内の左端部分を流下していることがわかる。このことは、湖内の水量変化や流動変化に起因していると考えられる。このように、あいまいさを考慮したファジィ c-means 法は、宝仙湖における鉄水酸化物などの汚濁物の推定に有用であること、湖内における流路の季節変化を抽出可能であることが明らかとなった。



(a) 2006 年 9 月 29 日 (b) 2008 年 5 月 2 日  
図 5 AVNIR-2 データ



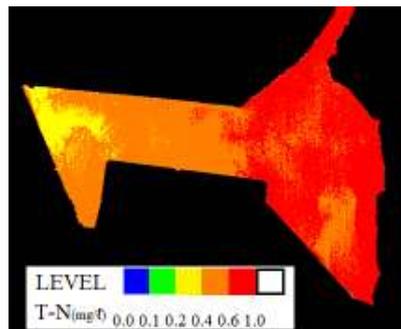
(a) 2006 年 9 月 29 日 (b) 2008 年 5 月 2 日  
図 6 宝仙湖の分類結果例

②八郎湖の水質状況解析

2006 年 8 月 26 日に取得された AVNIR-2 データ(著作権 : JAXA)に対し、提案手法により得られた分類結果例を図 7 に示す。ファジィ回帰分析およびファジィレベルスライス処理を施すことにより、少ない水質地点のデータからも良好に水質状況を推定可能であることがわかる。このように、提案手法は環境変化をモニタリングする手法として有用であることが明らかとなった。



(a)AVNIR-2 データ



(b)分類結果例(第 2 バンドデータ, T-N)  
図 7 八郎湖の分類結果例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

①D. Wang, Y. Kageyama, M. Nishida, H. Shirai and A. Motozawa: Water Quality Analysis in Lake Hachiroko, Japan, Using

ALOS AVNIR-2 Data, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 査読有, Vol. 8, No. 6 (2013 掲載決定)

② Y. Kageyama, C. Shibata and M. Nishida: Feature analysis of groundwater discharge points in coastal regions around Mt. Chokaisan using ALOS AVNIR-2 Data, Electronics and Communications in Japan, 査読無 (下記③の翻訳), Vol.95, No.7, pp.1-9(2012) DOI: 10.1002/ecj.11398

③ Y. Kageyama, K. Miura, M. Nishida, D. Ishiyama: Analysis of Seasonal Change for Water Conditions in Lake Hosenko, Japan, Using ALOS AVNIR-2 Data, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 査読有, Vol.7, pp.225-227 (2012) DOI: 10.1002/tee.21720

④ 景山陽一, 柴田智恵子, 西田眞: ALOS AVNIR-2 データを用いた鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の特徴解析, 電気学会論文誌 C, 査読有, Vol.131, No.10, pp. 1794-1802 (2011)

DOI: 10.1541/ieejieiss.131.1794

[学会発表] (計 12 件)

① Y. Kageyama, H. Shirai and M. Nishida: Location of Groundwater Discharge Points in Coastal Regions around Mt. Chokaisan, Japan, Using ALOS PALSAR Data, Inter. Sympo. on Remote Sensing 2013 (ISRS 2013), CD-ROM, 2013 年 5 月 16 日, 千葉県

② 白井光, 景山陽一, 西田眞: 異なるセンサで取得されたリモートセンシングデータによる鳥海山沿岸海域を対象とした地下水湧出地点の特徴解析, 2012 年映像情報メディア学会冬季大会, 2012 年 12 月 19 日, 東京都

③ 白井光, 景山陽一, 西田眞: ALOS データを用いた鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の特徴解析, 平成 24 年度第 1 回情報処理学会東北支部研究会, 2012 年 12 月 4 日, 秋田県

④ 白井光, 景山陽一, 西田眞: ALOS AVNIR-2 および PALSAR データを用いた鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の特徴解析, 平成 24 年度電気学会基礎・材料・共通部門大会, 2012 年 9 月 20 日, 秋田県

⑤ 白井光, 景山陽一, 西田眞: ALOS PALSAR データを用いた鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の特徴解析 (II), 平成 24 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2012 年 8 月 31 日, 秋田県

⑥ D. Wang, Y. Kageyama, M. Nishida, A. Motozawa and H. Shirai: Analysis of water quality conditions in Lake Hachiroko, Japan, using ALOS AVNIR-2 data, SICE ANNUAL CONFERENCE 2012, 2012 年 8 月 21 日, 秋田県

⑦ 白井光, 景山陽一, 西田眞: 多時季 ALOS PALSAR データを用いた鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の特徴解析, 平成 23 年度日本知能情報ファジィ学会東北支部研究会, 2011 年 11 月 4 日, 秋田県

⑧ 白井光, 景山陽一, 西田眞: リモートセンシングデータを用いた鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の特徴解析, FIT2011 第 10 回情報科学技術フォーラム, 2011 年 9 月 9 日, 北海道

⑨ 白井光, 景山陽一, 西田眞: ALOS PALSAR データを用いた鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の特徴解析に関する検討, 日本素材物性学会 平成 23 年度(第 21 回)年会, 2011 年 6 月 28 日, 秋田県

⑩ Y. Kageyama, K. Miura, M. Nishida and D. Ishiyama: Analysis of Water Surface Conditions in Lake Hosenko, JAPAN Using ALOS AVNIR-2 data, The 32nd Asian Conf. on Remote Sensing for Green Asia (ACRS2011), 2011 年 10 月 5 日, 台湾台北

⑪ Y. Kageyama, H. Shirai and M. Nishida: Feature Analysis of Groundwater Discharge Points in Coastal Regions Around Mt. Chokaisan, Japan by Using ALOS PALSAR data, 2011 IEEE Inter. Geoscience & Remote Sensing Sympo., 2011 年 7 月 29 日, カナダ・バンクーバー

⑫ Y. Kageyama, C. Shibata and M. Nishida: Detection and Feature Analysis of Groundwater Discharge Points in Coastal Regions Around Mt. Chokaisan, Japan by Using ALOS AVNIR-2 Data, Remote Sensing and Hydrology 2010 Sympo., 平成 22 年 9 月 29 日, アメリカ合衆国・ジャクソンホール

[その他]

ホームページ等

<http://adeos6.ie.akita-u.ac.jp/index.shtml>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

景山 陽一 (KAGEYAMA YOICHI)

秋田大学・工学資源学研究所・准教授

研究者番号: 40292362