

平成21年6月1日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18760295
 研究課題名（和文）あいまいさを考慮した空間情報による沿岸域の環境情報解析法の開発

研究課題名（英文）Development of analyzing method for environment information in the coastal regions on the basis of space information and fuzziness

研究代表者

景山 陽一（KAGEYAMA YOICHI）

秋田大学・工学資源学部・准教授

研究者番号：40292362

研究成果の概要：本研究は、鳥海山（秋田県と山形県の県境）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、異なる人工衛星により取得されたリモートセンシングデータ（ランドサット ETM+データ，だいち AVNIR-2 データ），地理情報，対象地域における専門家の知見等を組み合わせて複合的な解析を行うとともに，局所的な自然現象である“海底湧出地点の海水表面情報”の解析を行った。また，海域等を解析する際の前処理として，ミクセルを考慮したクラス分類アルゴリズムの開発も行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	900,000	0	900,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	240,000	3,040,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：リモートセンシング，海水表面情報，沿岸海域，環境，海底湧出地下水，ランドサット，だいち，鳥海山

1. 研究開始当初の背景

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、古くから水産従事者には経験的に知られており、浅海部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きた。しかしながら、海底湧出地下水を含めた地下水流動系に関する研究事例は利尻島に見られる程度である。

一方、秋田県と山形県の県境に位置する鳥海山（2236m）からは、地下水が伏流水として日本海沿岸域に湧出していることが知られている。また、秋田県にかほ市象潟町は天然岩ガキの産地であるが、その理由としては、水温の低い海底湧出地下水が沿岸域の海水温度を調節していること、並びに海底湧出地下水に含まれている成分が岩ガキに影響を与えていることが挙げられる。

しかしながら、海底湧出地下水を末端に持つ地下水流動サイクルは同一地域で深度を変えて複数存在することもあり、湧出水量や

湧出地点等の詳細な情報は解明されていないのが現状である。

自然環境に関する問題を把握・解明するため、広域性・周期性・非接触性等の優れた特徴を有するリモートセンシングデータを用いた検討が行われている。また、対象事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リモートセンシングデータの利用が有効である。しかしながら、マルチバンド情報を単純に併用して処理を行うのではなく、対象事象や使用データの特徴を考慮し、使用バンドデータを選定して解析を行うことが精度向上に寄与すると考える。

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)データや、人工衛星だいちにより取得された AVNIR-2 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目的とする。具体的には、海底湧出地下水の流動シミュレーションを行い、ETM+データ（地上分解能 30m）を使用した条件下において、対象地域における海底湧出地下水が海水表面状況に影響を与える可能性について検討を加えた。次に、使用するバンドデータの選定を行った。最後に、専門家の知見や現地調査結果を画像処理に組み込み、k-means 法を用いて得られた海水表面情報について検討を加えた。

また、海域等の環境情報を解析するための前処理として、ミクセル（混合画素;2 種類以上のクラスの情報から構成される画素）を考慮した自動クラス分類アルゴリズムについても検討を加えた。

3. 研究の方法

(1) 海底湧出地下水の流動シミュレーション

本研究では、地上分解能が 30m である ETM+データ（2002 年 9 月 2 日および 2001 年 3 月 23 日（以後、9 月データ、3 月データ）取得）および 10m である AVNI-R データ（2008 年 4 月 6 日、2008 年 8 月 5 日（以後、4 月データ、8 月データ）取得）を用いている。海底地下水の湧出地点における海水表面情報の抽出をリモートセンシングデータにより行う場合、その状況が抽出できるかどうかの可否について初めに検討する必要がある。そこで、AVNIR-2 データよりも分解能の低い ETM+データ（9 月データ）を使用する状況を想定し、対象地域を模擬した海底湧出地下水の流動シミュレーションを行った。基本式はナビエーストックス方程式と熱の輸送方程式であり、これらの式の離散化には SIMPLE 法を用

表 1 シミュレーション条件

Range	30 m × 10 m (x-z)
Grid interval	30 × 20
Month	September
Sea Surface temperature	26 °C
Water temperature of flow	10 °C
Velocity of current	0.25 m/s
Velocity of flow	0.1 ~ 1.5 m/s
Time interval	$\Delta t = 2.0, t = 1400 (s)$
Number of flow points	case1:1 case2:2 case3:3

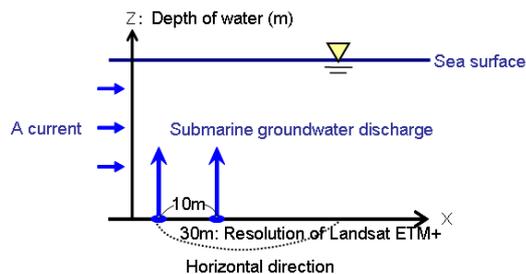


図 1 解析条件の模擬図（湧出口：2ヶ所）

いた。なお、スタッガード格子は可変的に配置した。シミュレーション条件を表 1 に示す。また、解析条件の模擬図を図 1（湧出口：2ヶ所）に示す。

(2) リモートセンシングデータの解析方法

リモートセンシングデータへの前処理として、①幾何補正および対象領域の切り出し、②マスク処理、③大気補正処理を施した。概要を以下にまとめる。

①幾何補正および対象領域の切り出し

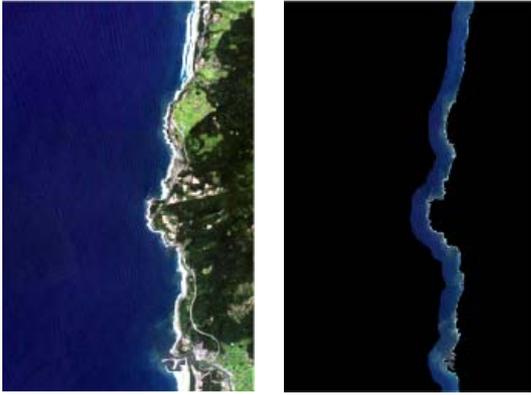
各データ間で GCP(Ground Control Point)を各 10 点選定し、二次変換を用いて幾何補正を行った。次に、3 次畳み込み内挿法を用いてリサンプリングを行い、対象地域を包含する領域を切り出した。

②マスク処理

陸域における土地被覆状況は多様な DN 値から構成されているのに対し、本研究で対象とする海域における DN(Digital Number)値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が専門家から得られている。そこで、検討の対象外である陸域に加え、専門家の知見に基づき、陸域から約 500m 以上沖合の範囲にもマスク処理を施した。対象データにマスク処理した結果を図 2 に示す。

③大気補正処理

海域を対象とする場合、リモートセンシングデータから海面近傍の情報を抽出するために、海面から射出される上向き放射輝度の



(a) ETM+データ (b)マスク処理結果
図2 対象データとマスク処理結果

可視波長域におけるスペクトル特性が利用される。しかしながら、可視波長域において人工衛星が観測する放射輝度値の約90%は大気散乱光に起因するため、大気補正により衛星観測放射輝度から海面射出放射輝度を求める必要がある。そこで、1回散乱近似による補正手法を用いて可視波長域である第1、第2バンドデータの大气補正を行った。

本研究では、DN値の類似度が高い領域ごとに対象海域を分類するため、以下の示す条件下でバンドデータを組み合わせ、ケース毎にk-means法による分類処理を施した。

- ①ケース1：一時期に取得されたデータのバンドデータを数種類組み合わせ使用
- ②ケース2：複数の時期に取得されたデータのDN値差分をバンドごとに求め、得られた値から構成されるデータを当該バンドデータの差分データとし、差分データを数種類組み合わせ使用
- ③ケース3：夏季に取得されたデータと、ケース②で求めた差分データを併用してこれを合成データとし、合成データのバンドデータを数種類組み合わせ使用

(3) ミクセルを考慮した分類アルゴリズム

本研究で提案するクラス分類アルゴリズムの処理の流れを以下にまとめる。はじめに、対象画像からピュア画素クラスの各構成要素を自動抽出し、これを教師データとして採用した(構成要素推定処理)。次に、各バンドデータの特徴に基づき、ピュア画素の分類を行った(ピュア画素分類処理)。さらに、未分類画素を対象としクラス帰属度(着目画素における各クラスへ帰属する割合；合計は1)を用いたファジィ推論法による分類を施した(クラス帰属度を用いた分類処理)。最後に、近傍画素との関連情報を用いてミクセル(海域と陸域)の分類を行った(近傍画素情報を用いたミクセル分類処理)。各処理の概要を以下にまとめる。

①構成要素推定処理

バンド比(分子：可視域、分母：近赤外域)のヒストグラム特徴に着目し、海域要素を抽出した。次に、可視域バンドのヒストグラムに着目して雲域要素を抽出した。さらに、同一画素における可視域、近赤外域のDN値の特徴に着目して陸域要素を抽出した。

②ピュア画素分類処理

バンド情報を単純に併用するのではなく、効果的に組み合わせることにより、分類精度の向上が期待できる。そこで、可視域および近赤外域のバンド間特徴、NDVI(正規化植生指標)に着目して、各クラス(海域・陸域・雲域)のピュア画素を分類した。

③クラス帰属度を用いた分類処理

上記②までの処理で未分類の画素を対象とし、ファジィ推論法を用いて着目画素のクラス帰属度を推定した。ファジィ推論法は、推論規則および前件部メンバーシップ関数からなる知識ベースと、後件部のファジィ推論から構成されている。推論規則は特徴空間を等間隔に分割して作成し、処理①(構成要素推定処理)により各クラスの構成要素として自動抽出した画素(第1～第5バンドデータのDN値)を教師データとして用い、その平均・分散により代表される正規分布型(確率密度関数型)を前件部メンバーシップ関数として採用した。ファジィ推論としては、多重ファジィ推論形式における後件部が実数値である簡略化ファジィ推論法を用いた。

次に、各画素の構成要素(海域・陸域・雲域)についてのクラス帰属度(0～1)に着目して処理を行い、条件を満足した画素は当該クラスのピュア画素として分類した。さらに、構成要素の組合せとクラス帰属度に着目して、“陸域と雲域”と“海域と雲域”のミクセルを分類した。

④近傍画素情報を用いたミクセル分類処理

クラス境界に位置する画素は、画像濃淡が著しく変化する。このため、海域と陸域の判別が容易な第2バンドデータに8方向のラブラシアンフィルタを適用し、エッジを検出した。さらに、ミクセルは隣接する画素と独立して存在するものではなく、関連した要素を含むことに着目し、設定条件を満足するものを“海域と陸域”として判別した。

4. 研究成果

(1) シミュレーション結果

海底湧出地下水の流動シミュレーション結果(湧出口:1～3ヶ所)を図3にまとめる。この図は、湧出する地下水(10°C)に起因して解析領域の水温が変化する水深をまとめたものであり、縦軸が水深、横軸が湧出する地下水の流速を示している。海底地下水の湧出口が1ヶ所の場合(case 1)、湧出流速を1.5m/sと設定したときに、海水面から0.3mの地点まで温度変化の達する様子が認められる(図

3 右上印参照).

対象地域における海底湧出地下水の湧出位置は散在していることを考慮すると、ケース 2 およびケース 3、すなわち解析領域中に複数の湧出口が存在する状況である可能性が高いと考えられる。図 4(a)は湧出口が 2ヶ所(case 2)、湧出流速を 0.9m/s と設定した場合のシミュレーション結果を示している。他方(右側)の海底湧出地下水の流出により、海流の上流(左側)に位置する海底湧出地下水の流動が鉛直上方向に押し上げられている様子が認められる。この現象は、海洋環境における湧昇流の原理に類似していると判断される。すなわち、2つの海底湧出地下水の湧出のうち、一方の流動が鉛直方向に対する温度変化の拡大を促していると考えられる。

湧出口が 2カ所の場合(case 2)では、湧出速度が 0.9m/s 以上であれば海水表面温度は低下することが分かる(図 3 中央上部右印参照)。さらに、湧出口が 3カ所の場合(case 3;図 4(b)), 湧出速度を 0.8m/s としたときに海水表面温度の低下を認めた(図 3 中央上部左印参照)。

以上のことは、対象地域における複数の海底湧出地下水の相互作用が海水表面に影響

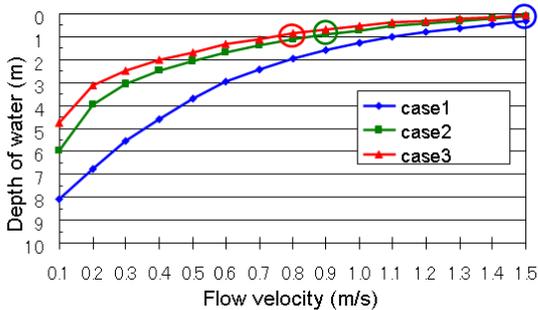
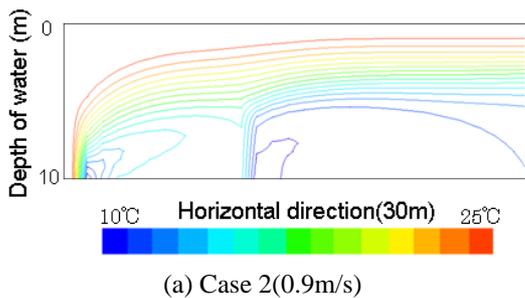
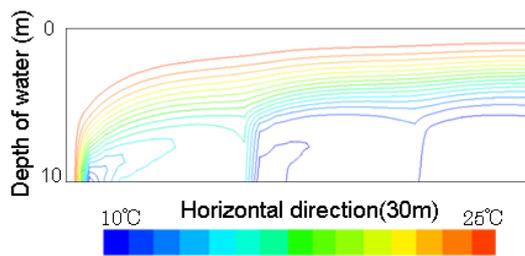


図 3 湧水の流速速度と水深との関連

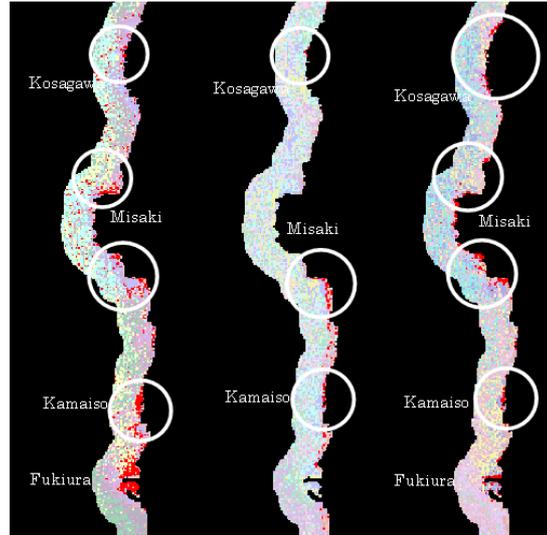


(a) Case 2(0.9m/s)



(b) Case 3(0.8m/s)

図 4 シミュレーション結果 (case 2)



(a)ケース 1 (b)ケース 2 (c)ケース 3
図 5 ランドサット ETM+による分類結果
(いずれも第 1, 第 2, 第 5 バンドを使用)

を与え得ることを示唆している。すなわち、温度変化に伴い、水も流動していると考えられるため、海水とは異なる性質を有する湧出地下水(淡水)が海水表面の状況に影響を与え得ること、ならびにその状況が地上分解能 30m の ETM+データで観測でき得ることを示唆している。

(2) ETM データを用いた結果

① 9月データの場合 (ケース 1)

(i) 第 1・第 2・第 5 バンドデータの組み合わせ

(ii) 第 1・第 2・第 7 バンドデータの組み合わせ

(iii) 第 1・第 2・第 5・第 7 バンドデータの組み合わせ

を用いて分類を行ったときに、海底湧出地下水の影響と推測されるクラスター(赤色部分)が小砂川、三崎、ならびに釜磯に存在することが明らかになった。また、鳥海山から続く数本の河川が吹浦の海域に流出しているが、同一のクラスターが吹浦にも形成されていることが分かる。このことは、河川水や湧出地下水は淡水であることが挙げられる。すなわち、小砂川、三崎、ならびに釜磯の沿岸海域に認められたクラスターが海底地下水(淡水)の影響により形成された可能性を示唆している。

②(差分データ (9月データと 3月データの DN 値差分) のバンドデータを数種類組み合わせる場合 (ケース 2)

第 1・第 2・第 5 バンドデータにより得られた分類結果を図 5(b)に示す。海底地下水湧出地域の一部に同一クラスター(赤色部分)の形成されていることが分かる。9月データと比較し 3月データにおける海水と海底地下水(淡水)の水温差が小さいため、クラスター(赤色部分)の広がり小さいものの、DN 値差分を用いることにより両者の水質の違いが

抽出されたと推測される。

③9月データと差分データを併用した場合（ケース3）

上記①（ケース1）同様、(i)第1・第2・第5バンドデータの組み合わせ（図5(c)参照）、(ii)第1・第2・第7バンドデータの組み合わせ、ならびに(iii)第1・第2・第5・第7バンドデータの組み合わせを用いて分類を行ったときに、海底湧出地下水の影響と判断されるクラスが形成される様子を認めた。さらに、上記①の分類結果（図5(a)参照）では、沖合にも同種のクラスに分類された画素が多数存在しているのに対し、ケース3の結果では、その抽出は低減されていることが分かる。具体的には、上記に示したバンドの組み合わせ(i)~(iii)の場合、本ケースで抽出されたピクセル数は上記①と比較し、それぞれ4.2%、4.2%、2.0%（平均3.5%）減少している。鳥海山の規模を考慮した湧出範囲に関する専門家の知見と比較したところ、上記①における当該クラスの広がり大きく、分類された特徴としては海底湧出地下水の影響に加え、他の要素も含むと推測される。従って、9月データに加えて、9月データと3月データの差分情報を解析に併用することは、対象地域における海底地下水湧出地点の検出に寄与すると考える。

(3) AVNI-R データを用いた結果

異なる季節（4月、8月）に取得されたAVNIR-2データを用い、ETM+データ同様、対象地域の環境情報解析に用いる特徴量（バンドデータ）の選定や、その組み合わせにより得られる特徴について検討を加えた。

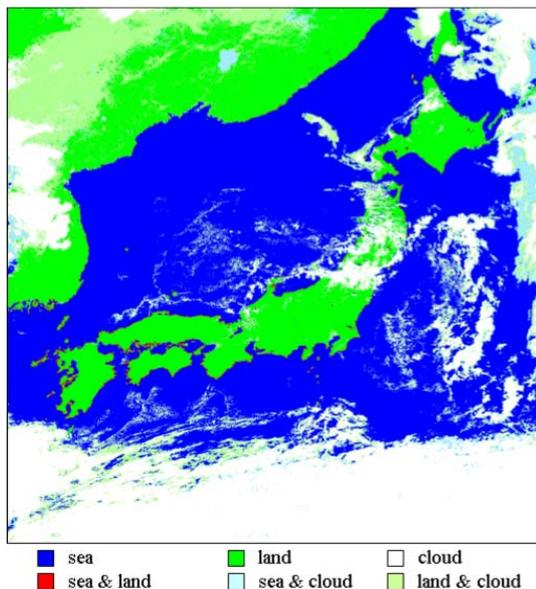
その結果、解析に有効なバンドデータ（可視域）の組み合わせを明らかにするとともに、複数のデータから得られる特徴量の効果を明らかにした。また、ETM+データ（地上分解能30m）により得られたクラスタリング結果と比較したところ、類似した様相を呈していること、並びに分解能の高いAVNIR-2データ（地上分解能10m）の使用により、詳細情報の判読が可能である等の結果を得た。

(4) 現地調査等による結果

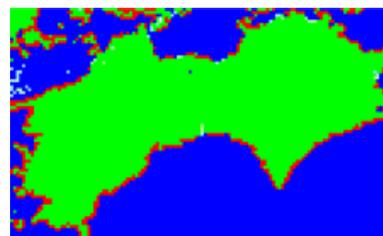
①上記((1)~(3))に示した分類結果には、専門家等の知見および現地調査により得られた海底地下水の湧出地点や、空中写真画像データの分類結果と一致する領域があることを明らかにした。

②対象地域（秋田県にかほ市象潟町、山形県遊佐町沿岸）の現地調査を行い、湧出地下水を測定した。その結果、年間を通じて約10度であり、海底湧出地下水を推定する指標として海水温度が有効であることを明らかにした。

③2008年8月5日の現地調査において、塩分



(a)対象地域全体（1024画素×1024画素）



(b)四国地方の分類結果（(a)の一部）

図6 提案手法による分類結果

濃度と海水表面温度を測定したところ、地下水の湧出していない大湊（象潟）海水浴場（秋田県にかほ市象潟町）では塩分濃度が約35%、海水表面温度が29℃であるのに対し、地下水の湧出している三崎の北部（上部）では、塩分濃度が約27%、海水表面温度が27℃とそれぞれ測定され、両者の違いが認められた。すなわち、k-means法により得られた分類結果に塩分濃度が影響を与え得ることを明らかにした。

(5) ミクセルを考慮した分類結果

①秋田大学情報工学科で取得されたNOAA-AVHRRデータ（2001年11月23日取得）に対し提案手法を適用した結果を図6(a)に示す。なお、分類結果は3種類のピュアクラス（海域、陸域、雲域）、ならびに各クラスを構成要素とする3種類のミクセルのクラス（海域と陸域、海域と雲域、陸域と雲域）の合計6種類のクラスについて分類したものである。図6(a)に示されているように、ピュア画素およびミクセルを良好に分類している様子が認められる。また、図6(b)に示すように、四国地方の海岸が“海域と陸域”のミクセルとして精度良く分類されていることが

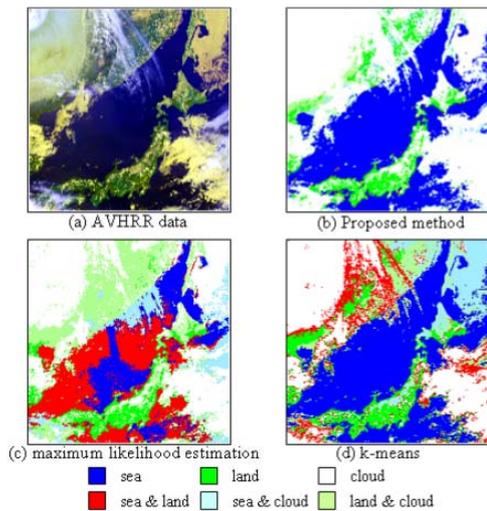


図7 各手法による分類結果の比較

わかる。

②手動による分類結果を作成し、最尤法および k-means 法により得られた結果と比較したところ、それぞれ 85.2%、67.0%の結果を得た。これに対し、提案手法では 91.2%の結果が得られ、他の手法と比較し精度良く分類可能であることが明らかとなった。

③提案手法の妥当性を検証するため、2001年4月7日に取得したデータに対し各手法を適用した。対象画像および各手法により得られた結果を図7にまとめる。最尤法(図7(c))では陸域を精度良く分類しているものの、海域上に“海域と陸域”のミクセルが広く誤分類されている。また、k-means法(図7(d))では陸域上に存在する雲域を“海域と陸域”として誤分類するとともに、陸域上における雲域を“海域と雲域”して誤分類している。一方、提案手法により得られた結果では、図6同様、精度良く各クラスを分類していることがわかる(図7(b))。また、他のクラスを“海域と陸域”とする誤分類も認められない。なお、他の月(季節)に取得された分類結果についても検討を加えたところ、提案手法は実際の被覆状況を反映した分類を可能とすることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

①景山陽一、柴田智恵子、西田眞、小玉英幸、ランドサット ETM+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検出、システム制御情報学会論文誌, 22, 169-176, 2009, 査読有

②景山陽一、佐藤郁磨、西田眞、ミクセルを考慮した NOAA-AVHRR データのクラス分類アルゴリズム、映像情報メディア学会誌, 63,

339-348, 2009, 査読有

[学会発表] (計5件)

①Y. Kageyama, C. Shibata and M. Nishida, Detection of Groundwater Discharge Points in Coastal Regions around Mt. Chokaisan, Inter.Sympo. on Remote Sensing 2008, 2008年10月29日, 韓国(大田)

②Y. Kageyama, Y. Shoji and M. Nishida, Position Estimation Using Texture Information in NOAA-AVHRR Data for Geometric Correction, IEEE Inter. Geoscience & Remote Sensing Sympo., 2008年7月8日, 米国(ボストン)

③Y. Kageyama, Y. Shoji, and M. Nishida, Feature extraction and analysis of properties of NOAA-AVHRR data for geometric correction, The 13th CEReS Inter. Symp. on Remote Sensing, 113-120, 2007年10月30日, 千葉市

④Y. Kageyama, I. Sato and M. Nishida, Automatic Classification Algorithm for NOAA-AVHRR Data Using Mixels, IEEE Inter. Geoscience & Remote Sensing Sympo., DVD-ROM, 2007年7月24日, スペイン(バルセロナ)

⑤Y. Kageyama, H. Kodama and M. Nishida, Feature extraction and analysis of properties of groundwater discharge points in coastal regions by using multitemporal remote sensing data, IEEE Inter. Geoscience & Remote Sensing Sympo., DVD-ROM, 2006年8月3日, 米国(デンバー)

[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・工学資源学部・准教授

研究者番号: 40292362