

平成 22 年 6 月 18 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19780191

研究課題名 (和文) Lバンド多偏波 SAR 観測による水田散乱特性の把握

研究課題名 (英文) Grasp of paddy rice fields scattered characteristic using L-band multi polarimetric SAR

研究代表者

石塚 直樹 (ISHITSUKA NAOKI)

独立行政法人農業環境技術研究所・生態系計測研究領域・主任研究員

研究者番号：20414500

研究成果の概要 (和文)：PALSAR の後方散乱係数 (σ^0) は水稻の栽培期間中に 4～5 dB 程度の上昇がみられ、 σ^0 と水稻の生長には相関が見られた。しかし圃場毎の σ^0 のばらつきが大きいため、この情報のみから水稻作付圃場の特定や生長量を単純に測定することは難しいことが明らかになった。一方、全偏波データを用いる場合、分解能が低下するために圃場一筆一筆単位の関係性を見いだすのは困難であったが、団地化した圃場群単位で散乱成分分解などを行うことにより、水稻等の作付けの有無については区別できる可能性がある。

研究成果の概要 (英文)：Backscatter coefficient (σ^0) of PALSAR increase about 4 to 5 dB the cultivation period of paddy rice, and correlation was seen in the height of paddy rice and σ^0 . However it was difficult to specific planted paddy rice and to the amount of growth of paddy rice because the difference of σ^0 of each fields was large. On the other hand, when full-polarimetric data used and several paddy fields cultivated same time same crop looks like one unit, there is a possibility to be able to detect about the transplanting of the paddy rice using three component decomposition analysis etc. though it was difficult to find the relation of each field because resolution was not enough.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,300,000	0	1,300,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	570,000	3,770,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・生物環境情報・リモートセンシング

キーワード：リモートセンシング、マイクロ波、合成開口レーダ (SAR)、偏波、水田、湛水、波長、ALOS

1. 研究開始当初の背景

地球観測技術でアジアをリードすることが、我が国の科学技術戦略の目標の一つとされており、衛星からの作物栽培モニタリング、特にアジアにおける基幹作物である水稻に関する情報を効率的に獲得することは、増大しつづける人口を支える食料確保のために必要不可欠である。マイクロ波は可視光より波長が長いため透過性が高く、雲を透過して地表面が観測可能であり、さらに、植生の下にある湛水面を観測することも可能である。それゆえ、マイクロ波を用いた合成開口レーダ (SAR) は、従来の光学センサではデータ取得が困難な雨季のモンスーンアジアの観測に力を発揮できる。

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が 2006 年 1 月に打ち上げた人工衛星 ALOS (愛称「だいち」) に搭載された PALSAR は、従来の C バンド (波長: 約 6cm) よりも波長の長い L バンド (波長: 約 23.4cm) の SAR センサであり、縦偏波と横偏波を使い分ける多偏波観測が可能であるという特徴を持っている。また衛星搭載型センサであるため、従来の航空機やスペースシャトルによる単発的な観測とは異なり、周期的に地球上すべての地域を観測することが可能である。

このような特徴をもつ衛星搭載型の L バンド多偏波 SAR センサは世界初の試みであり、そのデータ解析手法を我が国において開発することは緊急の課題である。とくに食料確保が重要な問題であるモンスーンアジアにおいて、農業分野への利用技術を開発することは極めて重要である。欧米における多偏波 SAR 観測では、水稻はあまり栽培されていないため、水稻を対象とした研究例は少ない。世界初の L バンド多偏波 SAR 衛星である ALOS/PALSAR データを用いた周期的・広域的水田観測は未知の部分が多く、新たな知見を得る必要性・意義は極めて高い。本課題を実施することにより農業分野での利活用が促進される。

2. 研究の目的

既に研究実施者は、SAR が水面で鏡面反射する特徴を利用し、湛水する水面を検出して水田面積を求める研究を行い、2 時期の C バンド SAR 画像と地理情報から、現在統計的に求められている水稻作付面積に対して 3% 以下の誤差で計測する手法を開発した。しかし、従来の研究で用いられた海外の C バンド SAR は波長が短いため、湛水面上の水稻が少し大きくなると透過できなくなり、移植から 1 ヶ月半程度で散乱が飽和に達して湛水面が検出できなくなる。それゆえ、2 毛作地帯などの移植期間の長い所や、東南アジアなど多期作を行う地域においては、異なる生長具合の圃場が混在するため、より多くの衛星画像が

必要であるという問題があった。そこで、より波長の長い L バンドの PALSAR を用いることにより 2 毛作地帯などでも 2 時期の衛星画像から作付面積を算出することが可能になると予想される。この課題においては、これまでの成果を踏まえ、L バンド SAR データの解析手法を開発する。

また、既に研究実施者は航空機搭載型の多波長・多偏波 SAR (Pi-SAR) データに対しても研究を実施しており、比較的均一に揃った水田に対して特性を明らかにした。この航空機 SAR データに対して開発した手法を衛星 SAR データに適用するため、不均一な水田圃場を対象とする場合の水田特性を解明する。

本研究は、モンスーンアジアを対象とし、植生下の湛水状態を検出して正確な湛水面積を求める方法を開発するための基礎的研究となる。世界初となる衛星搭載型 L バンド多偏波 SAR センサ ALOS/PALSAR データを利用し、農地の中でも重要な水稻の作付面積を広域的に把握する上での問題点と有効性を明らかにする。

(1) L バンド多偏波 SAR データを用いた湛水状態検出手法の開発

PALSAR は L バンド SAR センサであり、現在利用可能な C バンド SAR センサより波長が長いために透過性が高く、より多いバイオマス下の湛水面も検出可能である。それゆえ、PALSAR で湛水面を確実に検出できるか検討を行い、水稻作付面積の把握に応用可能か判断を行い、可能なら検出手法を開発する。

(2) 多偏波データによる散乱特性把握

PALSAR は多偏波観測が可能となっている。この縦偏波と横偏波の違いによる水稻生育段階ごとの反射特性は明らかではないため、本研究において縦偏波と横偏波の違いによる散乱メカニズムの違いを解明する。

3. 研究の方法

(1) 研究対象地と使用したデータ

研究対象地はつくば周辺の圃場とした。つくば周辺は、多様な農地が分布しており、霞ヶ浦周辺にはハス田が広がっているため、水稻作付地以外の水田 (ハス田は特殊田と呼ばれる水田の一種である) について検討も可能である。

2007 年は 14 シーン、2008 年は 11 シーンの PALSAR データを入手した (表 1)。時系列 PALSAR データをアラスカ大学が開発・配布しているソフトウェア MapReady を用いて幾何補正を行い、両者を重ね合わせて解析可能なデータセットとした。全偏波データは残念ながら 2007 年も 2008 年も数シーンずつしか得られなく、さらに水稻生育期間中のデータは 3 シーンのみであり、当初予定していた時系列の全偏波データを用いた解析は困難となってしまった。全偏波観測の PALSAR データ

については、位相情報を保持している PALSAR Level 1.1 のデータを取得し、ESA (European Space Agency ; 欧州宇宙機関) の開発した PolSARpro を用いて解析を行った。

年	月	日	モード	軌道
2007	04	19	P	A
2007	05	11	H	A
2007	05	18	P	A
2007	06	04	P	A
2007	06	20	W	D
2007	06	26	H	A
2007	07	14	H	D
2007	07	25	H	A
2007	07	31	H	D
2007	08	11	H	A
2007	08	29	H	D
2007	09	15	H	D
2007	09	26	H	A
2007	10	14	H	D
2008	01	14	H	D
2008	03	28	H	A
2008	05	13	H	A
2008	06	28	H	A
2008	08	13	P	A
2008	08	24	P	D
2008	09	28	H	A
2008	10	09	P	D
2008	10	16	H	D
2008	10	22	P	A
2008	11	24	P	D

表1 取得した PALSAR データ
 モード (P ; 全偏波 W ; 広域 H : 高分解能)
 軌道 (A ; 昇交軌道 D : 降交軌道)

さらに、当初予定していなかったが、対象地において C バンドの RADARSAT-2 による全偏波データが取得されたことから、これを購入して波長の違いによる比較を行うこととした。

衛星データと比較・検証を行うための地上データとして、つくば周辺の対象地における GIS データを整備した。これは、圃場一筆一筆をポリゴンベクターとして地図化したものである。株式会社ゼンリンの地図または当研究所にて過去に購入された超高解像度衛星画像 IKONOS データをヘッドアップデジタル化して作成した。

対象地域における十数カ所の圃場について、2007 年は 6 月から概ね 2~3 週間毎に現地調査として、草高を記録した。現地調査時はデジタルカメラと GPS を連動させ記録を行った。2008 年についても 1 月に 1 回ほど現地調査を行った。最終的に現地調査結果を先のポリゴンデータの属性データとして格納し GIS データセットを整備した。

(2) 解析方法

①L バンド SAR データを用いた湛水状態検出手法の開発

2 時期の SAR データを用いて水稻の作付面積を把握するには、湛水面における鏡面反射の検出が必須となる。また、湿地の観測等においても湛水の検出は必須の項目となる。そこで現地調査結果と比較を行うことで、PALSAR の湛水見地能力を評価した。

②L バンド SAR による水田の時系列散乱特性把握

水稻の生長に合わせた時系列データを取得し、基礎的な散乱特性を明らかにする。時系列データとして PALSAR の後方散乱係数および現地調査によって得た水稻の草高を比較することで関係性がみられるかどうか判断を行った。また、この情報を用いることで分類解析等ができるかどうか考察した。さらに、2007 年のデータと 2008 年のデータを比較することで年次間変動についても検討を行った。これは従来の航空機やスペースシャトルによる単発的な観測では不可能であったことであり、衛星データの周期性を活かすことになる。

③L バンド全偏波データを用いた散乱特性把握

PALSAR の最大の特徴である全偏波観測データを用い、水稻の作付けられた水田および減反によりダイズやムギなどの転作作物が作付けられた水田との間で比較を行った。

④波長の違いによる水田散乱特性の把握

ほぼ同じ時期の RADARSAT-2 の全偏波データを入手し、PALSAR の解析結果と比較することで波長の違いによる散乱特性の違いを把握した。

4. 研究成果

(1) 湛水・非湛水判別能力

図 1 に 2007/05/11 に取得された PALSAR (単偏波 HH のみ) の画像を示した。画像の右には霞ヶ浦の一部が見えている。また、この地域においてはゴールデンウィークが田植えの最盛期であり、撮影時はほぼ全ての水田が湛水しており、ほとんどの水田で田植えが終わっている。

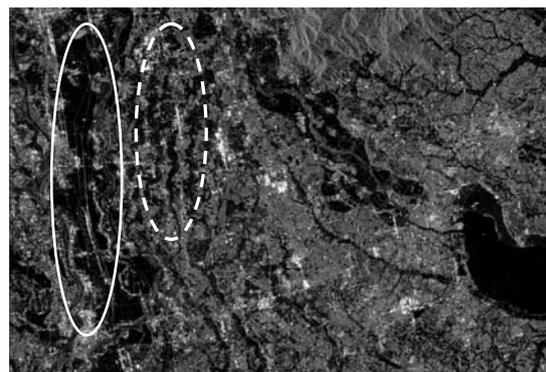


図 1 PALSAR 画像 2007/05/11 HH 偏波

図 1 左側において北から南にかけて暗い部分が筋状に見られる。このうち、楕円で囲んだ最も広い谷は 2 つの河川に囲まれた水田地帯であり、水田において鏡面反射が起きていることを示している。また、中央上段から霞ヶ浦にむけて暗い部分が帯状に広がっている部分も水田地帯である。

一方、破線で囲んだ細い谷の多くは、畑地であり芝畑が多く存在している。したがって、破線で囲まれた地域において暗く見える圃場の多くは湛水していないが、鏡面散乱を起こし暗くみえる。畦畔の反射以外、農地の後方散乱は-10~-15 dB 程度となっており、水田とそれ以外の畑地などとの間に明確な差は見られなかった。

これはLバンドのマイクロ波に対して凹凸が十分に小さいため湛水していない圃場でも鏡面反射が起こっているためである。

また、同じく PALSAR データを用いて愛知県において行った研究からも、裸地の水田圃場と転作コムギとの区別が困難、湛水圃場と非湛水圃場との後方散乱係数の差が小さいため区別が困難という結果になり、波長の長いLバンドの SAR で湛水域の抽出が困難であるという意外な結果が得られた。

これらのことから、Lバンド SAR では一般的に言われている SAR を用いた水田や湿地などの判別が、容易には困難であることが明らかとなった。昨今問題が大きくなりつつあるコメ生産の場である水田面積の把握や、大規模洪水など湛水域に関わる環境の広域把握手法はますます重要度を増しており、今後も SAR を用いた基礎的な知見を積み重ねていく必要性が高い。

(2) 後方散乱係数の時系列変化

整備したデータセットから、偏波や観測方向を揃えた時系列データのみを抽出して解析を行った結果、PALSAR の後方散乱係数は水稲の栽培期間中に 4 ~ 5 dB 程度の上昇がみられ、後方散乱係数と水稲の生長には正の相関が見られた (図 2)。しかしながら圃場単位で見た場合、後方散乱係数のばらつきが大きいことから、この情報のみから水稲作付圃場の特定や生長量を単純に測定することは難しいことが明らかになった。また、偏波や観測方向を揃えないとこのような関係が見られないことも明らかになった。

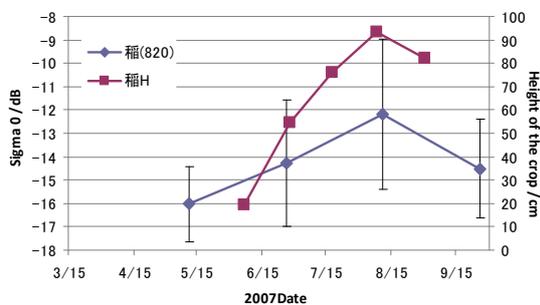


図 2 後方散乱係数と水稲の草高の時系列変化

次に年次を変えた場合の結果について図 3 に示した。2007 年同様に、PALSAR の後方

散乱係数は水稲の栽培期間中に 4 ~ 5 dB 程度の上昇がみられ、後方散乱係数と水稲の生長には正の相関が見られる一方、後方散乱係数のばらつきが大きく、水稲作付圃場の特定は難しい。

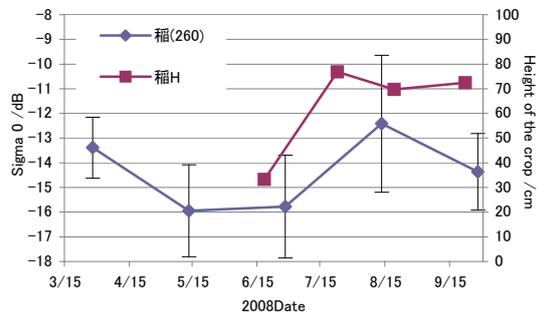


図 3 後方散乱係数と水稲の草高の時系列変化

転作作物としてムギの刈り取り後にダイズが作付けされた圃場における後方散乱係数とダイズの草高の時系列変化を図 4 に示した。この両者における相関は得られなかった。

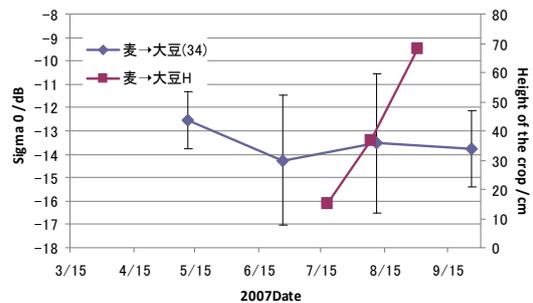


図 4 後方散乱係数と大豆の草高の時系列変化

バイオマス量の大きく異なるハスと、水稲の後方散乱係数の平均値の時系列変化を図 5 に示した。図よりバイオマスの差が大きければ区別が可能で、さらにハスのほうが遅い時期まで値が高いことなどがわかる。

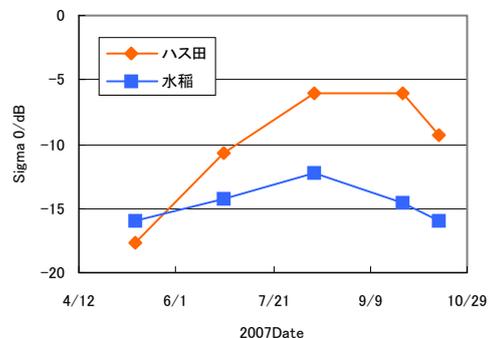


図 5 ハスと水稲の後方散乱係数の時系列変化

(3) 全偏波データを用いた散乱特性把握解析

全偏波観測データに対して位相情報を加味した解析を行った結果、強度情報のみでは区別が困難であったものの分類の可能性が見られた。

2007/6/4 に取得された PALSAR の全偏波観測データに、Freeman and Durden の 3 成分分解解析を施した結果を図 6 に示した。図 6 上側の画像は通常と同様の HH 偏波のみを示したものである。それに対し、下側の画像では散乱成分毎に色分けをしている。青が表面散乱、緑が体積散乱、赤が 2 回反射が卓越していることを示している。樹林地のような多重散乱を起こす部分は体積散乱を起こすため緑色になる。図中で丸で囲った部分は、上の単偏波画像では周囲との差は認められないが、下の解析画像では周囲の植生と違うことがわかる。現地調査の結果、この部分は耕作放棄され、葎が茂っている圃場であった。

このように全偏波データを用いると散乱メカニズムや特性を容易に把握することが可能である。それゆえ電磁気工学分野においては現在非常に盛んに研究がされている部分である。一方、日本において、さらに農学分野においてこの技術を応用する部分は非常に遅れており、大きく力を入れる必要がある。

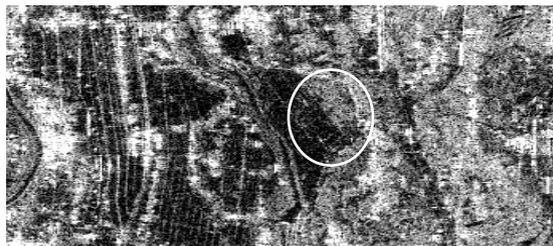
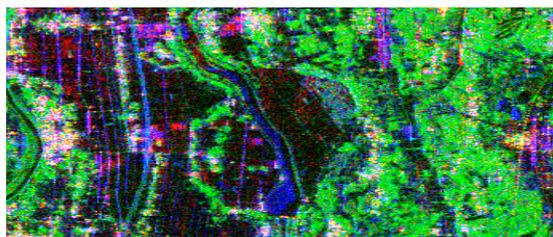


図 6 Freeman and Durden 3 成分分解の結果



PALSAR 2007/06/04

青：表面散乱 赤：2 回反射 緑：体積散乱

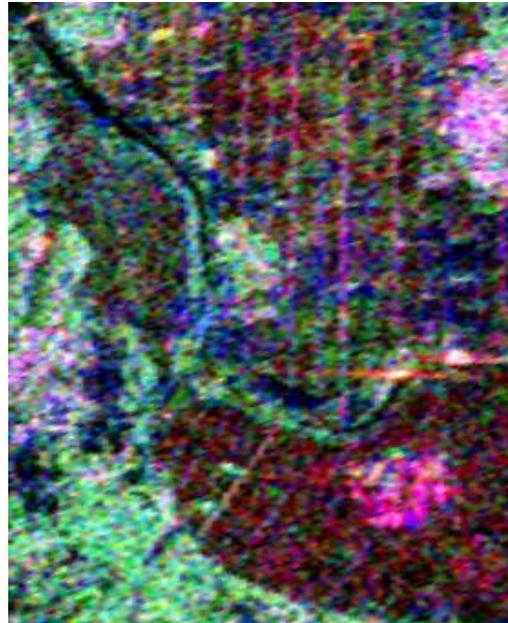
(4) 波長の違いによる水田散乱特性の把握

約 10 日違いで観測された PALSAR (L バンド) および RADARSAT-2 (C バンド) の全偏波データのパウリカラー画像を作成し (図 7)、散乱特性の違いを比較した。

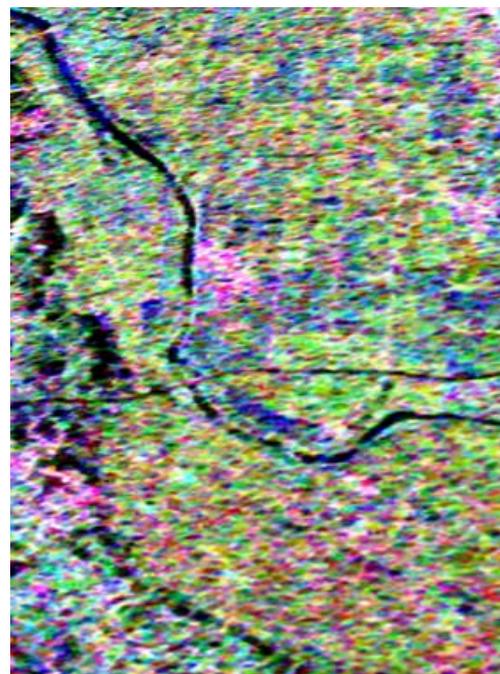
パウリカラー画像とは、RGB にそれぞれ $|S_{hh} - S_{vv}|$ $|S_{hv}|$ $|S_{hh} + S_{vv}|$ を割り当てたものであり、擬似的に 2 回反射するものを赤、体積散乱するものを緑、表面散乱するものを青に見えるようにしたものである。上側の画像

は ALOS/PALSAR であり、下側の画像は RADARSAT-2 である。なお、2 つの画像は約 10 日違いで撮影されたものであり、対象地に作付けられている水稲は既に出穂して高さが最大となっている時期である。

PALSAR 2008/08/24



RADARSAT-2 2008/09/04



$$|S_{hh} - S_{vv}| \quad |S_{hv}| \quad |S_{hh} + S_{vv}|$$

図 7 パウリカラー画像の比較

L バンドの PALSAR では、水稲が生長して大きくなっているにも関わらず、全体的に圃場が暗く、後方散乱があまり大きくないことがわかる。それゆえ、緑色に見える樹

林地や、ピンクに見える市街地が明確に区別できる。一方、CバンドのRADARSAT-2は全体的に明るく、河川と区別が簡単につくことから圃場からの後方散乱が計測されていることがわかる。また、PALSARでは明確にわかった樹林地との違いがわかりづらくなっている。これは、波長の違いによるものである。また、RADARSAT-2において、緑と赤の混ざった色が支配的な部分と、青が若干多い部分があるのがわかる。現地調査結果から、前者は水稲作付地、後者は転作ダイズの作付地であることがわかっている。PALSARにおいても、よく見るとRADARSAT-2で緑と赤が支配的な部分は、若干緑と赤がみられ、青が若干多い部分は、同様に青が若干多いことがわかる。

このように従来より一気に情報量を増やすことが可能な全偏波観測データであるが、分解能が低下することから、圃場一筆一筆という単位において関係性を見いだすのは困難であった。一方、図7において見られたように、団地化した圃場群である場合、位相を含めた全偏波観測データの散乱成分分解や固有値解析などを行うことにより、水稲等の作付けの有無や転作作物との区別ができる可能性が示された。

複素数データの処理やある程度の電磁気学の知識が必要であるなど、SARデータの解析には課題も多い。今回の課題の中でも、当初予定していた2偏波データによるブラッグ散乱検出能力の確認については十分な検討や結果を得ることができなかった。

以上のことから、今後も、多波長多偏波SAR観測データを用いた基礎的な解析技術の開発の重要性が高い一方、食糧モニタリングなど農業環境の広域把握ツールとして利用してゆくための応用研究の重要性も高いといえる。

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 Naoki ISHITSUKA、Investigation of possibility using PALSAR to monitor changes in rice paddy fields、Journal of Integrated Field Science、査読有、6、2009、pp.26-36.
- ② 石塚直樹、農業分野でのALOSデータ利用、写真測量とリモートセンシング、査読有、46(4)、2007、pp.7-15、

[学会発表] (計8件)

- ① 石塚直樹・牧野司、ALOS/PALSARデータを用いた農地観測の事例。ALOS-2利用ワークショップ1、2009年4月21日、JAXA筑波宇宙センター

- ② Naoki ISHITSUKA、Genya SAITO、Chinatsu YONEZAWA、Shigeo OGAWA、Project on use of satellite SAR image for paddy rice planted area survey in Japan. GEO Workshop on SAR to Support Agricultural Monitoring. 2009.11.2-4、kananaskis、Canada
- ③ 石塚直樹 (2008) ALOS/PALSAR画像による「田」の観測事例、システム農学会2008年度秋季大会 in 江別 シンポジウム・一般研究発表会要旨集、31-32、2008.10.31、江別市
- ④ Naoki ISHITSUKA、Application of PALSAR data for agricultural managements、6th International Symposium on Integrated Field Science -Understanding for each and integrated eco-system using remote sensing-. 2008年7月26-28日、仙台
- ⑤ 石塚直樹、SARデータによる農地観測の事例紹介。SAR Workshop 2008、2008.09.25、東京
- ⑥ Naoki ISHITSUKA、OBSERVATION OF THE JAPANESE PADDY FIELDS IN WINTER USING ALOS SENSORS、The 28th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2007)、2007.11.12-16、クアラルンプール
- ⑦ Naoki ISHITSUKA、The scatter characteristic of rice paddy fields using L band multi polarimetric satellite SAR observation、The First Joint PI Symposium of ALOS Data Node for ALOS Science Program、2007.11.19-23、kyoto
- ⑧ 石塚直樹、ALOSデータの農業利用、平成19年度衛星リモートセンシング推進委員会農林業ワークショップ in 岐阜ー「だいち」観測データの利用に向けた農林業の取り組みー、2007.12.3、岐阜

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石塚直樹 (ISHITSUKA NAOKI)
独立行政法人農業環境技術研究所・生態系計測研究領域・主任研究員
研究者番号：20414500