

# 人工衛星を用いた水田地帯における耕作放棄地の判別

誌名	日本リモートセンシング学会誌 = Journal of the Remote Sensing Society of Japan
ISSN	02897911
著者名	瑞慶村, 知佳 本岡, 毅 奈佐原, 顕郎
発行元	日本リモートセンシング学会
巻/号	31巻1号
掲載ページ	p. 55-62
発行年月	2011年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 人工衛星を用いた水田地帯における耕作放棄地の判別

瑞慶村知佳\*<sup>1</sup>・本岡 毅\*<sup>2</sup>・奈佐原顕郎\*<sup>3</sup>

Detection of Abandoned Rice Paddies with Satellite Remote Sensing

Chika ZUKEMURA\*<sup>1</sup>, Takeshi MOTOHKA\*<sup>2</sup> and Kenlo Nishida NASAHARA\*<sup>3</sup>

## Abstract

Increase in abandoned agricultural lands is a big problem in Japan. Satellite remote sensing is one of promising approaches for periodic monitoring of the abandoned agricultural lands with low cost. We developed a method of detection of abandoned rice paddies with satellite data and evaluated it with ground observation data. We found that the difference of NDVI between a rice paddy and an abandoned rice paddy was particularly large in one month of just after planting as well as two months of just after harvesting. By taking advantage of this feature, we produced the map of abandoned rice paddies by using ALOS AVNIR-2 data taken in the post-harvest period. Error matrices were produced to evaluate some accuracies: Producer's accuracy for abandoned rice paddies was 71.8%, and user's accuracy for abandoned rice paddies was 86.1%. Although most of the previous studies used only satellite data taken in the post-planting period, this study shows utility of satellite data in the post-harvest period.

*Keywords: Abandoned rice paddy, Satellite remote sensing, NDVI, AVNIR-2, GRASS*

## 1. はじめに

近年、農業従事者の減少・高齢化や単位面積当たりの収益低下により、農地の耕作放棄が進んでいる（農林水産省、2008<sup>1)</sup>）。2005年時点で、日本の耕地面積は469万haであるのに対し（農林水産省、2005<sup>2)</sup>）、耕作放棄地は38.6万haである（農林水産省、2005<sup>3)</sup>）。今後、低迷する日本の食料自給率を向上させていくためには、耕作放棄地を解消していく必要がある。耕作放棄地を解消していくアプローチのひとつとして、農業への個人や企業の新規参入を促進させることが挙げられる。そのためにはまず、耕作放棄地の分布を把握し、その情報を広く発信させることが重要である。

はじめて耕作放棄地の分布が把握されたのは、2007年に農林水産省が各自治体に依頼した耕作放棄地実態調査の時である。しかし、これは実地踏査が中心であり、多大なコストがかかると考えられる。また、耕作放棄地の耕作再開は、放棄後1-6年の間に時間と共に急激に困難になるといわれているため（有田ら、2003<sup>4)</sup>）、頻りに耕作放棄地の分布を把握する必要がある。つまり、耕作放棄地の分布を把握するには、より低コストで定期的な調査方法が求められ

ている。

衛星リモートセンシングは、低コスト・定期的・空間的な観測に適している。人工衛星を用いた耕作放棄地の判別に関する手法は、加藤ら（2003<sup>5)</sup>・福本ら（2003<sup>6)</sup>・美濃ら（2005<sup>7)</sup>などがある。田植え直後、水田では地表面のほとんどが水面で覆われるが、耕作放棄地では既に雑草が繁茂しており、水田と耕作放棄地の様子に差が現れる。そのため、人工衛星を用いて、水田と耕作放棄地を区別するには、田植え直後の早い時期に撮影された人工衛星データが適しているといわれている。Table 1に示すように、いずれの手法においても、主に5-7月の人工衛星データが用いられている。

しかし地域によっては、田植え直後の時期は曇りの日が多く、人工衛星搭載の光学センサが地上の様子を観測できない場合も多い。一方、11-4月の太平洋に面した地域（とくに関東・東海地方）は晴れの日が多く、人工衛星が観測しやすいが（秋山・川村、2003<sup>8)</sup>）、この時期の人工衛星データを用いた耕作放棄地の判別例はまだない。また、様々な手法が提案されているが、耕作放棄地の分光反射特性の季節変化に関する基礎的知見の集積は不十分である（美濃ら、2005<sup>7)</sup>）。

（2010. 3. 4 受付, 2010. 12. 6 改訂受理）

\*<sup>1</sup> 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所  
〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6

\*<sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)  
〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1

\*<sup>3</sup> 筑波大学大学院生命環境科学研究科  
〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

\*<sup>1</sup> National Institute Rural Engineering, 2-1-6 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8609, Japan

\*<sup>2</sup> Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505, Japan

\*<sup>3</sup> Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan

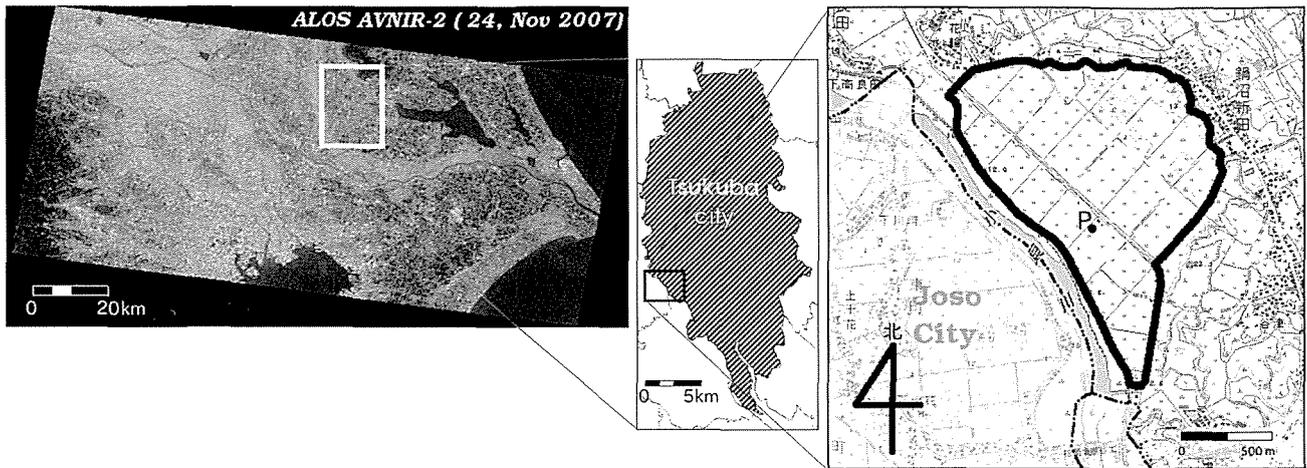


Fig. 1 The study area map : Mase, Tsukuba, Ibaraki  
 Left : ALOS AVNIR-2 image (gray scale, November 17, 2007). Middle : Tsukuba City map from Digital National Land Information, an administrative district data (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism). Right : The map of Mase from Digital Maps 25000 “Yatabe” (Geospatial Information Authority of Japan).

Table 1 Satellite data used in the previous studies.

論文 Paper	加藤ら Kato <i>et al.</i> (2003)	福本ら Fukumoto <i>et al.</i> (2003)	美濃ら Mino <i>et al.</i> (2003)
衛星/センサー (分解能) Satellite/Sensor (Resolution)	Landsat/TM (30m) SPOT/HRV (20m)	IKONOS (4m)	Landsat/TM (30m) SPOT/HRVIR (20m) IKONOS (4m)
年/月 Year/Month	1987/5 1990/5 2001/4-9 2002/2	2001/7	1987/6 2001/6-7

そこで、本研究では、まず地上観測によって水田と耕作放棄地の分光反射特性の季節変化の違いを明らかにした。それをもとに、人工衛星データを用いた耕作放棄地を判別する手法を開発、検討した。特に、田植え直後は曇りの日が多いため、田植え直後以外の晴天率の高い時期のデータに着目した。

## 2. 研究方法

### 2.1 対象地域

対象地域は、茨城県つくば市真瀬にある、耕作放棄地が含まれる水田地帯とした (Fig. 1)。Fig. 1 の右図の太い実線内のほぼ全域は、水稲単作田および耕作放棄地で構成されている。森林などは含まれていない。この地域は小貝川沿いの福岡堰上流部に位置しており、平坦な水田が北-南方向に 1.5 km、西-東方向に 1 km にわたって広がっている。田植えは 4 月下旬から 5 月上旬にかけて行われ、収穫は 9 月に行われる。この地域は、もともと沼地であったところを埋め立てているため、北東部を中心に地盤沈下が問

題となっている。そのため、耕作放棄された水田に繁茂している雑草は、湿性植物であるヨシ・ガマ・オギなどが中心となっている。毎年冬に野焼きが行われるが、夏になると耕作放棄地のヨシは 2-3 m の高さに達する。

地上観測の対象とした水田は、対象地域内にある水稲単作田の 1 区画 (北緯 36.0539 度, 東経 140.0269 度, WGS84, Fig. 1 右図内の点 P) である。この水田は、AsiaFlux (アジア地域の陸上植生の炭素収支研究ネットワーク ; <http://asiaflux.yonsei.kr/>) の観測サイトに登録されており、渦相関法を用いて、二酸化炭素・潜熱・顕熱などのフラックスが測定されている (Miyata *et al.*, 2005<sup>9)</sup>; Saito *et al.*, 2005<sup>10)</sup>)。耕作放棄地については、水田観測サイトから、約 500 m 北東に位置する区画 (北緯 36.0564 度, 東経 140.0312 度, WGS84) を地上観測の対象とした。

### 2.2 地上観測

水田と耕作放棄地の季節変化の違いを明らかにするため、水田と耕作放棄地それぞれ 1 点 (上述) において地上観測を行った。本研究では、水田と耕作放棄地の季節変化を表すのに、NDVI (Normalized Difference Vegetation Index : 正規化差分植生指標 ; Tucker, 1979<sup>11)</sup>) を用いた。NDVI は、植生の活性を反映するとされる指標のひとつで、一般的に値が大きいほど植生の活性が大きいとされている。NDVI は赤色光 ( $\rho_{red}$ ) と近赤外光 ( $\rho_{nir}$ ) の反射率から (1) 式のように計算される。

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red}) \quad (1)$$

NDVI を計算するためには、赤色光と近赤外光の波長域の分光反射率が必要である。赤色光と近赤外光の分光反射率を求めるために、水田と耕作放棄地それぞれの観測地点において、分光放射照度を定期的に測定した。分光反射率は、波長ごとに、地表面の分光放射照度を天空の分光放射

照度で除することにより求められる。NDVI の計算に用いた分光反射率の波長域は、人工衛星 Terra のセンサ MODIS のものを使用した。赤色光の波長域は 614–682 nm, 近赤外光の波長域は 819–900 nm である。

水田観測サイトには、Phenological Eyes Network (PEN; 土田ら, 2005<sup>12)</sup>; Nishida, 2007<sup>13)</sup>) の自動観測システムがある。この自動観測システムは、自動撮像型魚眼デジタルカメラ (ADFC: Automatic-capturing Digital Fisheye Camera) および半球分光放射計 (HSSR: HemiSpherical Spectro-Radiometer) から構成されている。HSSR (MS-700, 英弘精機製; 観測波長幅: 350–1050 nm, 波長間隔: 3.3 nm) は、上下方向 (天空方向と地表面方向) の分光放射照度を 10 分おきに毎日測定している (Motohka *et al.*, 2009<sup>14)</sup>)。2008 年に PEN の HSSR で測定された分光放射照度のデータを用いて、水田の NDVI を求めた。

一方、耕作放棄地については、携帯型分光放射計 (MS-720, 英弘精機製; 観測波長幅: 350–1050 nm, 波長間隔: 3.3 nm) を用いて、2009 年 5 月 2 日から 2010 年 2 月 9 日まで 1–2 週間おきに上下方向の分光放射照度を測定した。地表面方向の分光放射照度を 5 回連続で測定し、その前後に天空方向の分光放射照度を 1 回ずつ測定した。地表面方向については 5 回分のデータを、天空方向については 2 回分のデータを、それぞれ平均した値を用いた。なお、対象とした 1 区画の中で 3 点測定した。

### 2.3 衛星センサ MODIS を用いた水田と耕作放棄地の NDVI の季節変化

人工衛星が、地上観測と同様に、水田と耕作放棄地の季節変化の違いを示すかどうかを確認した。用いた人工衛星データは、NASA が打ち上げた人工衛星 Terra に搭載された MODIS センサによるものである。Terra/MODIS には同一地点を毎日観測するという特徴がある。Level 1B データ (MOD02; コレクション 5; 250 m 分解能; 赤色光と近赤外光の波長域のバンド; 2008 年) を LAADS (Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System; <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>) よりオンラインで取得した。2008 年の MOD02 データから地上観測を行った水田および耕作放棄地のピクセルを抜き出し、それぞれの NDVI を計算した。

### 2.4 衛星センサ AVNIR-2 を用いた耕作放棄地の判別

人工衛星データを用いて、耕作放棄地の判別を行った。用いた人工衛星データは、JAXA (宇宙航空研究開発機構) が打ち上げた人工衛星 ALOS (だいち) に搭載されたセンサ AVNIR-2 である。AVNIR-2 は、Terra/MODIS に比べ、観測頻度は低い、10 m という空間分解能をもつ。本研究で用いた AVNIR-2 データは、Pstar2b を利用して各観測幾何条件ごとに計算したテーブルを用いて Rayleigh 補正されたものである (Ota *et al.*, 2010<sup>15)</sup>)。また、地表面反射率に変換して用いた。

地上観測および衛星センサ MODIS から得られた NDVI の季節変化の違いをもとに、耕作放棄地の判別に適した時期と、水田と耕作放棄地を区別するしきい値を設定した。

今回は、曇りの日が多い田植え直後の時期を設定から除いた。設定された時期において、しきい値以上の NDVI をもつピクセルを耕作放棄地として抜き出す、という方法で、AVNIR-2 データを用いて対象地域 (Fig. 1 の右図の太い実線で囲まれた範囲) の耕作放棄地を判別した。なお、人工衛星データの処理の一部は、フリーのオープンソース GIS である GRASS GIS (バージョン: GRASS 6.4.0RC5; <http://grass.itc.it/>) を用いた。

一方、人工衛星データによる耕作放棄地の判別結果を検証するために、現地踏査を 2009 年 11 月 29 日に実施した。農林業センサス (農林水産省, 2005<sup>3)</sup>) で示されている耕作放棄地の定義である「今後、耕作する意志があるかどうか」は、現地踏査のみで判断するのは困難である。そのため、耕作放棄地かどうかの判断について、今回は次のように行った: 耕起されているまたは収穫後の刈株が残っている区画を耕作された水田とし、それ以外の様子 (例えば、雑草が繁茂している) の区画を耕作放棄地とした。また、草刈りなどの管理がされており、作付けされていない農地 (不作付地) についても (農林水産省, 2005<sup>3)</sup>)、本研究では耕作放棄地とした。現地踏査の結果は、空中写真 (1994 年 11 月 2 日撮影) 上に位置を確認しながら、記入した。

## 3. 結果

### 3.1 水田と耕作放棄地の NDVI の季節変化

Fig. 2 (a) に、地上観測による、水田と耕作放棄地の NDVI の季節変化を示す。なお、Day of Year (DOY) とは、1 月 1 日からの積算日を表す。水田と耕作放棄地の NDVI の差は、田植え直後の約 1 ヶ月と収穫直後の約 2 ヶ月において特に大きかった。田植え (DOY 120 頃, 2008 年 5 月 2 日, 2009 年 5 月 2 日) 直後、NDVI は、水田では 0.1 付近の低い値を示し、耕作放棄地では 0.6–0.8 と高い値であった。夏 (7–8 月, DOY 180–240) は、水田も耕作放棄地も、NDVI は 0.9 前後の高い値を示した。水田において、収穫 (DOY 260 頃, 2008 年 9 月 18 日, 2009 年 9 月 17 日) 直後、水田の NDVI は急激に減少し、0.2–0.4 まで下がった。DOY 280 頃に NDVI が再び上昇したが、その後は 0.2 前後の低い値を示した。一方、耕作放棄地については、NDVI は、DOY 260 頃までは、NDVI 0.8 前後であったが、その後は緩やかに減少し、DOY 330 には、NDVI は 0.55 前後まで下がった。

Fig. 3 に、地上観測の対象とした水田と耕作放棄地の定点写真の一部を示す。田植え直後の水田では、苗がまだ小さく、地表面のほとんどは水面で覆われていた。一方、耕作放棄地では、すでにヨシの草丈が 40–100 cm を超えていた。夏になると、水田も耕作放棄地も、地表面が見えないほど植生に覆われていた。収穫直後、水田では土壌面が見えるようになり、放置された刈株からはひこばえが生えてきた。一方、耕作放棄地では、収穫直後から DOY 280 頃までは、ヨシは青々と生育し、その後はだんだん黄色くなり、

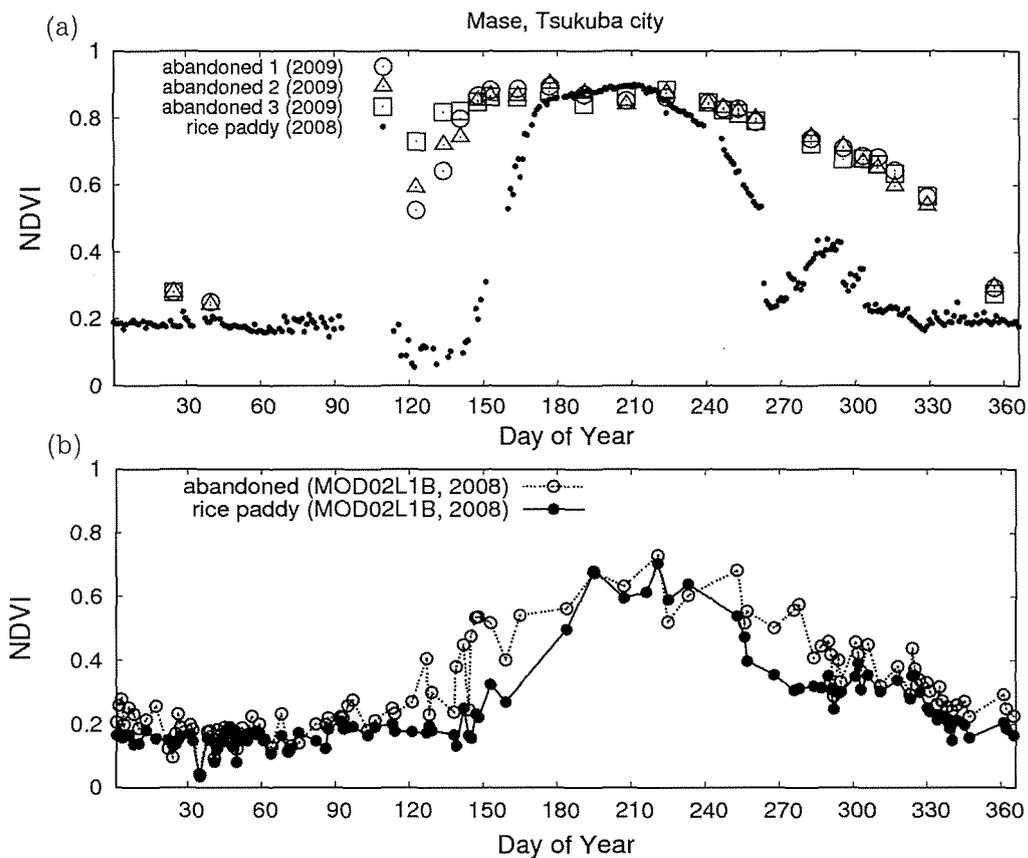


Fig. 2 Time-series in NDVI at a rice paddy and an abandoned rice paddy derived from (a) the ground observation and (b) Terra MODIS L1B data. Black dots are rice paddies. White symbols are abandoned rice paddies.

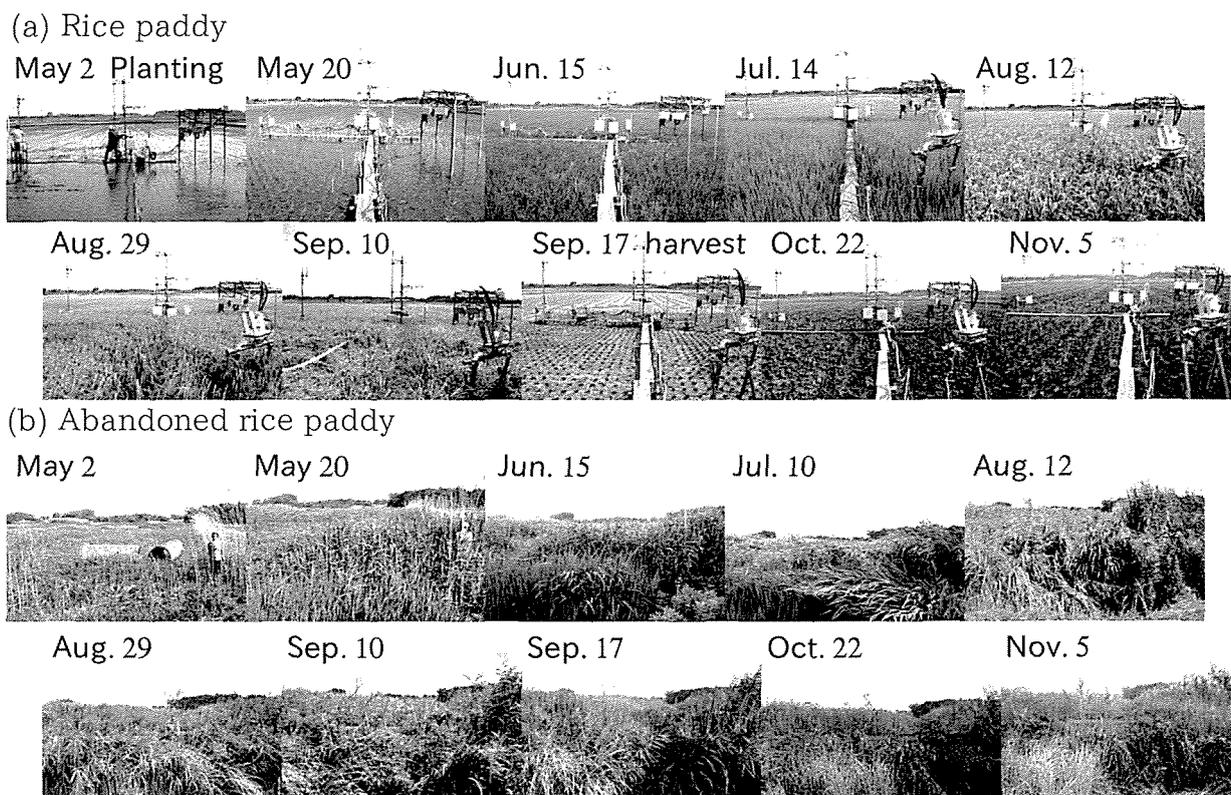


Fig. 3 Photographs in each season at (a) a rice paddy and (b) an abandoned rice paddy.

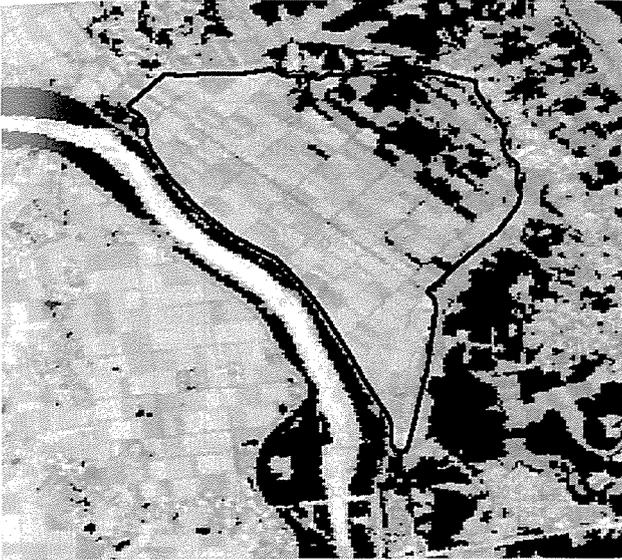


Fig. 4 The pixels with NDVI greater than the threshold (NDVI=0.48) on the AVNIR-2 data in October 17, 2007. Black pixels are greater than the threshold.

立ち枯れ状態になった。2月初旬 (DOY 30 頃) に野焼きが行われ、ヨシの根だけが残った。

Fig. 2 (b) に、衛星観測 (Terra/MODIS) による、水田と耕作放棄地の NDVI の季節変化を示す。衛星観測より得られた NDVI の季節変化の違いは、地上観測のそれよりも、不明瞭であった。また、年間の NDVI の最大値 (水田 : 0.71, 耕作放棄地 : 0.73) は地上観測のそれ (水田 : 0.90, 耕作放棄地 : 0.90) よりも低く、全体的に細かいばらつきがあった。しかし、Fig. 2 (b) から、田植え直後の約 1 ヶ月と収穫直後の約 2 ヶ月において、水田と耕作放棄地の NDVI の差が見られた (水田 : 約 0.2-0.3, 耕作放棄地 : 約 0.5-0.6)。人工衛星が、水田と耕作放棄地の NDVI の季節変化の違いを捉えられることを確認できた。

### 3.2 耕作放棄地の判別

上述 3.1 の結果をもとに、収穫直後の AVNIR-2 データを用いて耕作放棄地の判別を行った。収穫直後の約 2 ヶ月の間で、雲のなかった 2007 年 10 月 17 日の AVNIR-2 データを選んだ。収穫直後の約 2 ヶ月の期間において、地上観測では、水田の NDVI が 0.44 以下、耕作放棄地の NDVI が 0.53 以上であった。また、2007 年 10 月 17 日の AVNIR-2 データにおいて、地上観測点のピクセルを抜き出したところ、水田の NDVI は 0.31、一方、耕作放棄地の NDVI は 0.57 であった。そのため、水田と耕作放棄地を分類する値として、しきい値を NDVI=0.48 と設定した。Fig. 4 は、NDVI が 0.48 以上であるピクセルを抜き出した結果である。

Fig. 5 は、現地踏査の結果である。Fig. 4 の図の太い実線内の範囲において、人工衛星での判別結果と現地踏査の結果を重ね合わせたところ、耕作放棄地の分布は概ね類似

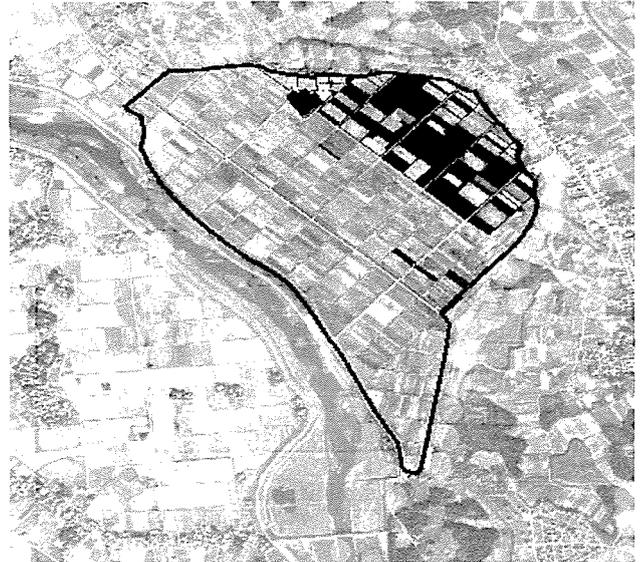


Fig. 5 Ground-truth of the abandoned rice paddies in November 29, 2009. Black pixels are abandoned rice paddies. The aerial photograph of background was taken by Geospatial Information Authority of Japan (1994).

していた。Table 2 に、対象地域内のピクセルに対して行った耕作放棄地の判別結果のエラーマトリックスを示す。分類の項目は、耕作放棄地とその他の 2 種類とした。その他には、道路やポンプ小屋などが含まれているが、主に水田で構成されている。耕作放棄地の作成者精度とは、現地踏査で耕作放棄地と判別されたピクセル数に対して、人工衛星で耕作放棄地と判別されたピクセル数の割合である。一方、耕作放棄地の利用者精度とは、人工衛星で耕作放棄地と判別されたピクセル数に対して、現地踏査で耕作放棄地と判別されたピクセル数の割合である。その他の作成者精度および利用者精度についても、同様である。耕作放棄地の作成者精度は 71.8%、利用者精度は 86.1% であった。その他については、作成者精度も利用者精度も 9 割を超えていた。

## 4. 考 察

収穫直後の時期の人工衛星データを用いることで、耕作放棄地の判別が可能であることがわかった。水稻の場合、田植え直後の水田は、いずれの区画においても水が張られ、その様子はほぼ一様になる。一方、収穫後の水田は、区画によって管理方法が異なる。管理方法の違いが、耕作放棄地の判別に影響があるかどうか考える必要がある。収穫後の約 2 ヶ月の期間で、水田の NDVI が最も高くなるのは、放置された刈株から生えてくるひこばえによると考えられる。地上観測で対象とした水田では、2008 年は刈株が放置され、ひこばえが生えた。ひこばえと耕作放棄地の NDVI の差が大きければ、収穫後でも、水田と耕作放棄地

Table 2 Error matrix for detection of abandoned rice paddies.

人工衛星 (ピクセル数) Satellite data (Pixel)	現地踏査 (ピクセル数) On-site survey (Pixel)			利用者精度 User's accuracy
	耕作放棄地 Abandoned	その他 Others	計 Total	
耕作放棄地 Abandoned	70942	11476	82418	86.1%
その他 Others	27925	592787	620712	92.5%
計 Total	98867	604263	703130	
作成者精度 Producer's accuracy	71.8%	98.1%		
全体精度 Overall accuracy	94.4%			

の区別がしやすい。実際、Fig. 2 (a) より、収穫後から約2ヶ月 (DOY 260-320 頃) の間の水田の NDVI よりも、耕作放棄地の NDVI の方が顕著に高かった。つまり、ひこばえの NDVI よりも高く、耕作放棄地の NDVI よりも低いしきい値を設定することは可能であり、人工衛星を用いた耕作放棄地の判別において、収穫後の水田の管理方法の違いは大きな障害ではないと考えられる。

太平洋に面した地域 (とくに関東・東海地方) は、夏季 (5-10 月) よりも冬季 (11-4 月) の方が人工衛星データの取得率が高い (秋山・川村, 2003<sup>8)</sup>)。実際、本研究の水田の観測サイトにおいて、Terra/MODIS の快晴日データの取得率を月ごとに見てみると、田植え直後 (5-6 月: 0.2-0.3) に比べ、収穫直後 (10-11 月: 0.4-0.5) の方が高かった (Fig. 6)。収穫直後の時期の人工衛星データは、耕作放棄地の判別が可能であるだけでなく、田植え直後よりも取得しやすいといえる。よって、収穫直後の時期の人工衛星データも、耕作放棄地の判別に有用である。

地上観測より、水田と耕作放棄地の NDVI の季節変化が明らかになり (Fig. 2 (a)), 両者の NDVI の季節変化の違いが明瞭となった。また、収穫直後の時期の人工衛星データを用いて、耕作放棄地の判別が可能であることがわかった。田植え直後あるいは収穫直後の時期の中で、最低1枚の人工衛星データが得られれば、耕作放棄地の判別が可能であるといえる。さらには、田植え直後あるいは収穫直後を含めた複数時期の人工衛星データが得られれば、より精度の高い判別結果が得られるかもしれない。

エラーマトリックス (Table 2) より、耕作放棄地の判別に関する誤差は2-3割程度あることがわかった。誤差の要因はいくつか考えられる。

まず、対象地域内の水田の区画は長方形で角があるが (Fig. 7 (a)), 人工衛星データでの結果は区画の角が不明瞭であった (Fig. 7 (b))。また、道路や水路と区画の境界部が、Fig. 7 (b) では凸凹していた。区画の角や境界部を含む1ピクセルは、様々な対象が混在するミクセルである可

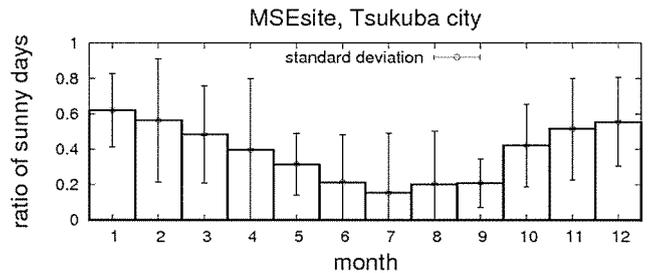


Fig. 6 Ratio of clear observation by Terra/MODIS in each month derived from the MOD09 quality control (QC) flag. Averages from 2001 to 2008.

能性が高いため、区画の角や境界部は人工衛星で捉えきれなかったと考えられる。少なくとも10m分解能の人工衛星データでは、区画を鮮明に捉えるのは難しい。そこで、福本ら (2003)<sup>6)</sup> のような、1ピクセル単位ではなく、1筆単位に判別する手法が有用である。これは、1筆の区画の中で、耕作放棄地あるいはその他と判断されたピクセル数をそれぞれ求め、多い方のカテゴリにその区画を分類する、というものである。例えば、本研究の Fig. 4 の結果と、1筆ごとの区画がトレースされたデータを重ね合わせ、1筆ごとに判別を行えば、耕作放棄地の判別精度はさらに向上すると考えられる。そのためには、本研究も含めて、水田の区画をトレースした基盤データの整備が必要である。

Fig. 7 (a) の A の区画は、Fig. 7 (b) では区画の右半分部分が耕作放棄地として抜き出されていなかった。現地踏査では、A の区画は、夏に数回草刈などの管理がされ、他の区画の耕作放棄地に比べ、ヨシの背丈が低かった。耕作放棄地を判別するために設定したしきい値を下げていくと、A の区画全体が耕作放棄地として抜き出された。他にもいくつか、草丈の低い耕作放棄地があったが、これらの区画もしきい値を下げると、区画全体が耕作放棄地として抜き出された。なお、草丈の低かった耕作放棄地の中で A の区画以外は、草刈りなどの管理を行っているのかは確認

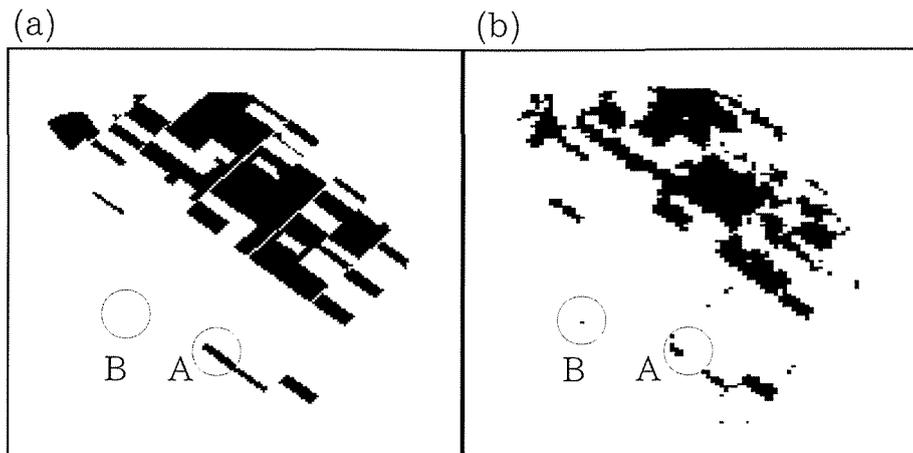


Fig. 7 The abandoned rice paddies map derived from (a) Ground-truth (Fig. 5) and (b) ALOS AVNIR-2 data (Fig. 4). Black pixels are abandoned rice paddies.

できていない。一方で、しきい値を下げていくと、Aの区画が抜き出されるのと同時に、大きな排水路に沿って、多くのピクセルが抜き出された。Fig. 7 (b)のBのピクセルについては、その一部である。人工衛星データによる結果では、大きな排水路沿いの雑草を耕作放棄地として判別した可能性がある。つまり、しきい値をもう少し低く設定しようとする、草丈の低い耕作放棄地だけでなく、同時に水路脇の雑草が抽出されてしまった。しかし、この問題についても、水田の区画をトレースした基盤データが整備されれば、解決され、さらなる精度の向上が期待できると考えられる。

判別に用いたAVNIR-2データは2007年のものであるが、2009年に行った現地踏査では、耕作放棄地のうち、80%以上がヨシ群落であった。ヨシが定着した耕作放棄地は、放棄後少なくとも5年以上経過したものであると考えられるため(楠本ら, 2005<sup>16)</sup>), 2007年と2009年の耕作放棄地の分布はおおむね一致していると考えられる。しかし、今回の誤差の中に2007年から2009年の間に变化した部分が含まれている可能性は否定できないため、今後、現地踏査を実施した時期の前後に撮影された人工衛星データで確認する必要がある。

地域によっては転作や二期作、裏作を行う水田がある。今後、対象地域を広げていこうとすると、転作田などを考慮する必要がある。これらの水田は、Fig. 2 (a)の水田とは異なったNDVIの季節変化を示すと考えられる。そのため、転作田などを含む地域で、耕作放棄地の判別を行う場合、本研究の手法をそのまま用いられない可能性がある。しかし、対象地域の農事歴がわかれば、複数時期の人工衛星データを用いることにより、水田地帯の中で耕作されている水田(水稲、転作田、保全管理田など)と耕作放棄地を分類することは可能である(加藤ら, 2003<sup>9)</sup>)。また、耕作放棄地についても、対象地域のような湿性植物の群落(ヨシ、ガマ、オギ)だけでなく、乾性植物の群落(セイタカアワダシソウ、ススキ)など、耕作放棄地の様子も

多様である。よって、植物群落タイプごとに、耕作放棄地の分光学的な季節変化に関する情報が蓄積されれば、さらなる判別精度の向上が期待できると考えられる。

本研究の手法は、ASTER, IKONOS, Landsat, Quickbird, SPOT/HRVなど、人工衛星搭載の高分解能光学センサの多くに適用できる。特に過去のデータに遡って解析することで、耕作放棄地の履歴(放棄年数など)が判明すれば、より有用な情報となるだろう。

## 5. 結 論

本研究では、地上観測によって、水田と耕作放棄地のNDVIの季節変化の違いを明らかにした。そして、それをもとに、収穫直後の人工衛星データを用いて、耕作放棄地の判別を行った。現地踏査と比較した結果、耕作放棄地の作成者精度は71.8%、利用者精度は86.1%であった。また、本研究の水田の観測サイトにおいて、Terra/MODISの快晴日データの取得率を月ごとに見てみると、田植え直後(5-6月)に比べ、収穫直後(10-11月)の方が高かった。これらのことから、耕作放棄地の判別において、収穫直後の時期の人工衛星データは有用であるといえる。

今回は、対象とした水田地帯の中で、1ピクセル単位で耕作放棄地の判別を行ったが、1筆単位で耕作放棄地の判別を行えば、判別精度はさらに向上すると考えられる。そのためには、水田の区画をトレースした基盤データが必要である。

謝辞: ALOS/AVNIR-2画像は、JAXA(宇宙航空研究開発機構)と筑波大学の共同研究「衛星データを用いた高精度土地被覆図作成に関する研究」による提供を受けた。提供を頂いたAVNIR-2データの処理で用いられたPstar2bは環境研GOSATで開発され、OpenCLASTRから提供されている。本研究は、科研費(19688012, 08J1376)の助成を受けた。つくば市真瀬での観測は、農業環境技術研究所の

大気環境研究領域の宮田明氏, 間野正美氏, 小野圭介氏にご協力頂いた。

### 引用文献

- 1) 農林水産省：食料・農業・農村白書，2008.
- 2) 農林水産省：耕地及び作付面積統計，2005.
- 3) 農林水産省：農林業センサス，2005.
- 4) 有田博之, 山本真由美, 友正達美, 大黒俊哉：耕作放棄水田の復田コストからみた農地保全対策，農業土木学会論文誌，225 (71-3)，pp. 95-102, 2003.
- 5) 加藤淳子, 上原由子, 谷本俊明：人工衛星を用いた荒廃水田の判別，日本リモートセンシング学会誌，23 (5)，pp. 550-554, 2003.
- 6) 福本昌人, 島 武男, 小川茂男：IKONOS 衛星データを用いた水田利用タイプの判別精度，システム農学，19 (1)，pp. 80-85, 2003.
- 7) 美濃伸之, 須田雅史, 片野淳也, 本郷千春：IKONOS データと Landsat TM/SPOT HRVIR データを併用した水田利用変化のモニタリング—中山間地域における小規模水田を対象として—，写真測量とリモートセンシング，44 (3)，pp. 37-45, 2005.
- 8) 秋山 侃, 川村健介：Landsat 5 号の快晴データ取得率に関する農林業分野からの一考察，写真測量とリモートセンシング，42 (3)，pp. 29-34, 2003.
- 9) A. Miyata, T. Iwata, H. Nagai, T. Yamada, H. Yoshikoshi, M. Mano, K. Ono, G. H. Han, Y. Harazono, E. Ohtaki, M. A. Baten, S. Inohara, T. Takimoto：Seasonal variation of carbon dioxide and methane fluxes at single cropping paddy

- fields in central and western Japan, *Phyton*, 45, pp. 89-97, 2005.
- 10) M. Saito, A. Miyata, H. Nagai, T. Yamada：Seasonal variation of carbon dioxide exchange in rice paddy field in Japan, *Agricultural and Forest Meteorology*, 135, pp. 93-109, 2005.
  - 11) C. J. Tucker：Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, 8, 127-150, 1979.
  - 12) 土田 聡, 岩男弘毅, 西田顕郎, 川戸 渉, 小熊宏之, 岩崎 晃：Phenological Eyes Network—衛星による地球環境観測のための地上検証ネットワーク—，日本リモートセンシング学会誌，25 (3)，pp. 282-288, 2005.
  - 13) K. Nishida：Phenological Eyes Network (PEN)- a validation network for remote sensing of the terrestrial ecosystems, *AsiaFlux Newsletter*, 21, pp. 9-13, 2007.
  - 14) T. Motohka, K. N. Nasahara, A. Miyata, M. Mano：Evaluation of optical satellite remote sensing for rice paddy phenology in monsoon Asia using a continuous in situ dataset, *International Journal of Remote Sensing*, 30, pp. 4343-4357, 2009.
  - 15) Y. Ota, A. Higurashi, T. Nakajima, T. Yokota：Matrix formulations of radiative transfer including the polarization effect in a coupled atmosphere-ocean system, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 111-6, pp. 878-894, 2010.
  - 16) 楠本良延, 大黒俊哉, 井手 任：休耕・耕作放棄水田の植物群落タイプと管理履歴の関係—茨城県南部桜川・小貝川流域を事例にして—，農村計画論文集，7，pp. 7-12, 2005.

### 〔著者紹介〕

#### ●瑞慶村知佳（ズケムラ チカ）

1988年3月生。2010年筑波大学第二学群生物資源学類卒業。農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所研究員。日本リモートセンシング学会，農業農村工学会に所属。

E-mail : zukemura@affrc.go.jp

#### ●本岡 毅（モトオカ タケシ）

2006年筑波大学第二学群生物資源学類卒，2008年同大学大学院環境科学研究科修士課程修了，2009年同大学大学院生命環境科学研究科博士後期課程修了。博士（環境学）。日本学術振興会特別研究員 DC1，特別研究員 PD を経て，2010年11月から宇宙航空研究開発機構（JAXA）地球観測研究センター（EORC）招聘研究員。衛星生態学研究に従事。日本リモートセンシング学会，日本生態学会，AGU に所属。

E-mail : motooka.takeshi@jaxa.jp

#### ●奈佐原顕郎（ナサハラ ケンロウ）

1969年9月生。東京大学工学部計数工学科卒業。北海道大学大学院理学研究科修士課程修了。京都大学大学院農学研究科森林科学専攻博士後期課程修了。筑波大学農林工学系准教授。宇宙研究開発機構（JAXA）地球観測研究センター（EORC）生態系研究グループリーダー（2007～）。学類1年生の数学，物理教育に情熱を注ぐ。