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 ー中山間地域における小規模水田を対象としてー

Synergetic use of Landsat TM/SPOT HRVIR and IKONOS data for terrace rice fields monitoring

美濃 伸之***・須田 雅史**・片野淳也**・本郷 千春***
*Nobuyuki MINO, Masashi SUDA, Junya KATANO
and Chiharu HONGO*

Abstract : Although satellite remote sensing provide large-scale coverage of traditional agricultural region, most “high-resolution” instruments, such as Landsat ETM+, SPOT HRVIR, provide limited descriptive resolution of the Japanese traditional agricultural landscape. With the launch of the IKONOS satellite in 1999, imagery with a 4m spatial resolution in multispectral mode can now be combined with other satellite data archives for change detection. We demonstrate this potential by combining SPOT/Landsat and IKONOS image to detect change in the traditional terrace rice fields for Awaji Island, Hyogo, Japan. According to our analysis using data in 1987 and 2001, losses in rice paddy fields over this period are faster at the hilly mountainous region and slower in flat agricultural region. Synergetic use of IKONOS and SPOT/Landsat appears to be a relevant source of information to show change and fragmentation in traditional terrace rice fields.

1. はじめに

中山間地域の小規模水田において営まれる稲作は、国土保全、水源かん養、農村景観の形成、伝統文化や生態系保全等の多面的機能を大きく発揮していると考えられている。しかしながら、近年、このような小規模水田では耕作放棄等の水田利用変化が著しく、それに伴う多面的機能の低下が懸念される現状にある。農業の有する多面的機能を十分に発揮させ、それに基づいた環境管理戦略を策定していくには、上記のような水田利用変化を正確に理解する必要がある。一般的に、このような農地利用の現状は農林業センサスや作物統計などの統計情報として集計されている。しかしながら、それらの多くは市町村単位でのおおまかなインベントリ情報に留まり、空間分布に関する情報が欠落し

ていることもあって、そのままでは環境管理戦略には利用できない。また、新たに空間分布データを取得する場合においても、既存の地上調査や航空写真の読みとりを中心とした手法では多くの時間と労力を必要としてしまう。

衛星リモートセンシングは広域を長期間にわたって観測できるという利点を有するため、水田利用変化のような広範囲にわたって徐々に拡大していく現象を捉えるには大変に有効なツールと言える。しかしながら、既往の研究事例では大規模農業地帯における生産環境モニタリングという色彩が強く、衛星センサスベックの空間解像度の限界もあって中山間地域への応用は極めて限定的であった。そこで、本研究では、高い空間解像度の IKONOS データを基盤に Landsat TM/SPOT HRVIR データを併用して、農耕地 NDVI*、NDWI**の差を検出、まず大きな変化領域を同定後、それへの近接性に応じて閾値を変化させるアプローチにより、簡便で精度良く水田利用変化をモニタリングする手法を提案する。

* 兵庫県立大学 自然・環境科学研究所

** 淡路景観園芸学校

〒656-1726 兵庫県淡路市野島常盤954-2

***千葉大学環境リモートセンシング研究センター

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 44, NO. 3, 2005

2. アプローチと解析手法

2.1 既往研究の整理

水田リモートセンシングに関する既往研究においては、平野部の大規模水田地帯を対象にして、水田面積を精度良く推定するための手法を中心に研究が進められてきた。Okamoto et al. (1996) は Landsat TM データからミクセル分解の手法を適用して高精度に水田面積を推定する手法を提案している。また、村上ら (2001) は中間赤外バンドを含まない SPOT HRV データから算出した VSW 指数の水田における関係性を利用したモデルから精度良く水田面積が推定できることを報告している。これら光学センサデータの利用は曇天時におけるデータ取得が制限になることが多いが、Ogawa et al. (1998) は Landsat TM データを用いた過去の水田分布図を基盤にマイクロ波レーダデータである RADARSAT SAR を用いてその変化領域を捉える定常的なモニタリング手法を提案している。最近では水田面積推定以外にも、SPOT HRV データから米粒蛋白含有率を推定する手法 (安積ら, 2003) や水田の水入れ時期を Landsat ETM+ および RADARSAT SAR データからモニタリングした事例 (小川ら, 2003) など、水田管理に直接結びつく広域情報を衛星リモートセンシングデータから得ようとした試みが報告されている。荒廃水田の問題が顕在化してきた最近では、中山間地域を対象とした水田モニタリングの事例が報告されるようになってきた。加藤ら (2003) は 1987 年または 1990 年に観測した Landsat TM データから過去の水田範囲を把握し、その範囲内における 2001 年から 2002 年にかけて取得した 13 シーンの SPOT HRV データから算出した時系列 NDVI 変化パターンから荒廃水田の判別を試みている。また、福本ら (2003) は高い空間解像度を有する IKONOS データを用いて中山間地域における耕作放棄水田を含む水田利用タイプの判別を試みている。ここでは教師付き分類法の適用により圃場区画毎の判別を試みているが、転作田、不作付田あるいは耕作放棄田のいずれかを判別することは難しいものの、水稻の作付けが行われているか否かについては精度良く判別できたことを報告している。様々な衛星データが入手できるようになった最近では、森林や草地などを対象として、異種データを併用するアプローチの有効性が国内外問わずに数多く報

告されている (Mino et al., 2001; 張ら, 2004)。例えば、張ら (2004) は、竹林分布を正確に捉えるために IKONOS データと Landsat TM データを IHS 変換したデータを用いる手法を考案し、高解像度でかつ高い分類精度を達成している。一方、水田をモニタリングする手法としての異種データ利用は、全天候型の SAR と光学センサの併用 (Ogawa et al., 1998; Okamoto et al., 1999) が中心に議論が進められている。

以上のように、水田リモートセンシングに関する既往研究では大規模農業地帯を対象とした生産環境モニタリングに力点が置かれ、中山間地域を対象とした高解像度衛星データの解析事例は福本ら (2003) による IKONOS データ単体を利用したもののみであり、時系列かつ異種データを併用し、IKONOS や QuickBird データレベルの高い空間解像度での水田利用変化を検出するアプローチについては議論が不十分と言える。

2.2 衛星データによって捉えられる水田の分光反射特性

水田と他の土地被覆とが最も異なる分光反射特性を示す時期は、水稻が作付けされて間もない田植え直後である。当該時期には水田は湛水し、かつ植生がほとんど無い状態であるため、その分光反射特性は水域とほぼ同様 (他の土地被覆に比べて、可視から中間赤外までの全ての波長域で非常に低い反射値を示し、波長が長いほどその差が大きい) であるが、海や河川、溜め池と比べると、水深の違いや背景土壤等を反映して、全体的にやや高めの反射値を示すという独自の特性を有する。そのため、良好な時期に観測が行われれば 1 シーンでも精度良く水田の判別が可能である。このような水田判別の際には、中間赤外の波長域が重要な役割を果たすことが数多くの既往研究の中で指摘されている (例えば、Okamoto et al., 1996)。観測波長域に中間赤外が含まれている場合、仮に水田において稲の生育がやや進んだ状態 (つまり水域+植生) であったとしても、中間赤外バンドが成長しつつある稲の背景にある水に鋭敏に反応し、低い反射値を示すため、裸地や畑地 (つまり土壌+植生) との明瞭な区別が可能となる。

水田利用が変化すると [すなわち (水稻が作付けされている水田) → (不作付田または耕作放棄水田)], 田植え時期になっても湛水されず、その地表面は草本類で覆われた状態になる。既往研究において、これらを

探知するには、多年次にわたって観測された空間解像度20m～30mである地球観測衛星データセットから変化領域を抽出することが多い(例えば加藤ら, 2003)。しかしながら、中山間地域において、これらで観測が可能なまとまりを持った水田は限定的であり、小規模な水田利用変化は他の土地被覆とのミクセルと区別がつかず、十分に探知されない場合が少なくない。一方、高い空間解像度の IKONOS や QuickBird では、その観測波長帯が可視～近赤外域までで、水田モニタリングに重要な中間赤外域が含まれていない。前述したように、水田特有(水域+植生)の分光反射特性は中間赤外データにより良く現れる。赤～近赤外までのデータのみで観測する場合、一般的には表面水の有無に関する情報量が限られてしまうため、稲の生育がある程度進んでいる水田(水域+植生)は、裸地や畑地(土壌+植生)等の同程度の植生量を有する他の土地被覆との判別が困難となる。特に、西日本では同一地域内においても田植え時期が異なる場合が多いため、上記のような誤判読が起こる可能性が高い。以上のように、小規模な水田利用変化をモニタリングしようとした場

合、Landsat TM など通常の地球観測衛星データセットのみではその空間解像度が不十分、IKONOS などの商用衛星データではその観測波長帯が不十分であると言える。

2.3 本研究のアプローチと解析方法

本研究では1987年次の農耕地 NDVI*および NDWI**データセット(1987年 6 月27日観測の Landsat TM データから算出)と2001年次の農耕地 NDVI および NDWI データセット(2001年 6 月12日観測の IKONOS, 2001年 7 月 4 日観測の IKONOS, 2001年 6 月16日観測の SPOT HRVIR データから算出)を作成、そこからまず大きな変化領域を検出、次にそれへの近接性に応じて変化同定の閾値を調節し、高解像度かつ簡便に水田利用変化を捉えるアプローチを試みた。解析の概略を示すフローを Figure. 1 に示す。

(解析対象地域)

本研究では兵庫県淡路地域(Figure. 2)の北部～中部を解析対象地域とした。淡路地域では、温暖な気候

Figure. 1 Flow of analysis

Figure. 2 Study site, Awaji, Japan

に恵まれ、野菜、施設花き、肉用牛、酪農等、多様な農業が営まれている。南部の大規模農業地帯では水稻を含む多毛作経営のため耕地利用率が高いが、本研究で対象としている北部～中部は中央部を南北に中央山系が連なり、その東西に耕地が拓けている中山間地域で、水田の大半は棚田であり、農業用水は主にため池を利用している。総面積に対する耕地率はおおよそ20%、そのうち水田は約80%を占める。経営耕地規模は1.0ha以下の小規模水田を中心とする兼業農家が多く、基幹的農業従事者のうち半数以上が65歳以上と農業人口の高齢化も著しい。そのため、耕作放棄水田が随所に見られ、耕地利用率が60%を下回っている町もある。

(精密幾何補正およびマスク処理)

まず、解析に先立ち、精密幾何補正およびマスク処理を行った。Landsat TM および SPOT HRVIR データは1/25000地形図を対象にGCPを取得、3次の変換式を作成し、UTM座標に変換した。RMS誤差は両者とも0.5ピクセル以内に収まるようにした。また、IKONOS データは1/2500都市計画図を対象にGCPを取得、3次の変換式を作成し、UTM座標に変換した。RMS誤差は1.5ピクセル以内に収まるようにした。これらのデータセットは統一的に解析が行えるようにリサンプリングの空間解像度は全て4mとした。ここでは、多項式による幾何補正手法を適用しているため、標高差の著しい一部の山間部では衛星データ間でズレが生じている。しかしながら、GCPの大半を農

耕地において取得しており、解析対象としている水田地域における幾何的な誤差は最小限に留まっていると考えられる。解析対象地域から農耕地だけを抽出するためのマスク処理は、環境庁発行の1982年現存植生図を用いて行った。なお、ここで農耕地としたのは植生図中の(畑地、水田)の項目(解析対象面積のうち20.7%に相当)であり、それ以外の領域は解析から除外した。

(1987年次および2001年次の農耕地NDVIおよびNDWIデータセットの作成)

精密幾何補正およびマスク処理後のLandsat TM (1987年6月27日観測)の赤、近赤外、中間赤外(バンド5)データ、IKONOS (2001年6月12日、2001年7月4日観測)の赤、近赤外、SPOT HRVIR (2001年6月16日観測)の中間赤外データを用いて、1987年次と2001年次の農耕地NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)およびNDWI(Normalized Difference Wetness Index)データセットを作成した。NDVIは式1のように定義され、植生現存量と相関が高いことから、植生量の空間分布を捉えるのに幅広く利用されている。また、NDWIは式2のように定義され、表面水の大小をよく表すことが知られている。

$$NDVI = \frac{Near-IR - R}{Near-IR + R} \quad (式1)^*$$

$$NDWI = \frac{Mid-IR - R}{Mid-IR + R} \quad (式2)^{**}$$

ただし、R：赤、Near-IR：近赤外、Mid-IR：中間赤外

植生量や表面水を把握するための指標としては主成分分析や Tasseled Cap 変換などの有効性が報告されているが、画像の母集団に依存しないこと、簡便性を重視し、上記の指標を用いた。なお、ここでは大気パラメータを用いた衛星データ毎の大気補正は行っていない。しかしながら、各衛星データはほぼ同時期の快晴時に取得されたものであって、バンド値の比をとった指標を使っていること、また、指標を算出する際には、各バンドのデジタルナンバーを画像内最小値と最大値データを用いて標準化を行っているため、大気状態による違いは最小限に留まっていると考えられる。各センサの観測波長帯は赤 (Landsat TM : 0.63-0.69 μ m, IKONOS : 0.63-0.69 μ m), 近赤外 (Landsat TM : 0.76-0.90 μ m, IKONOS : 0.76-0.90 μ m), 中間赤外 (Landsat TM : 1.55-1.75 μ m, SPOT HRVIR : 1.58-1.75) とほぼ同仕様である。

(水田利用変化の同定)

水田利用変化の同定を行うには、[(地表面植生量小かつ地表面水有り)→(地表面植生量大かつ地表面水無し)]を衛星データから読みとる必要がある。NDVI は植生量と正比例、NDWI は地表面水と反比例の関係にあるため、これら2つの指数が共に大きく増大した領域を同定することにより、水田利用変化が把握できる。ここでは、まず、1987年次と2001年次間で NDVI、NDWI がともに0.25以上変化した領域を示すマップ (Figure. 1 中では Abandonment1) を作成した。しかしながら、このような大きな変化を抽出するだけでは、一定頻度で管理を行っていることで植生量が少なくなっている耕作放棄水田や放棄されて間もない水田が抽出できないことが危惧される。そこで、新たな水田利用変化がすでに放棄された水田に隣接した領域で起こりやすい傾向を考慮に入れて、Abandonment1 の領域境界から20mの範囲内に限って、2つの指標が0.10以上変化していれば水田利用変化とみなしたマップ (Figure. 1 中では Abandonment1+Abandonment2) も同時に作成した。また、比較のために、NDVI のみ0.25以上変化した領域を示すマップ (Abandonment0) も同時に作成した。なお、ここで設定した閾値は、対象地域を田植え時期に観測した衛星光学センサデータ上における水田、草地、農道等の典型的な NDVI および NDWI 値から筆者らが決定したもので、現地観測を行って得た値ではない。対象地域における水田、

Figure. 3 Relationships between NDVI/NDWI of each land cover and threshold values used in analysis

裸地、草地等の典型的な NDVI/NDWI 値と解析に用いた閾値との関係性を Figure. 3 に示す。

(精度検証)

解析により得た3種類の水田利用変化マップ (Abandonment0, Abandonment1, Abandonment1+Abandonment2) は、2001年次の水田分布図 (マスク処理後の IKONOS の赤、近赤外データと SPOT の中間赤外データをマージした画像データを対象に、水田、裸地、人工構造物、草地、樹林地の教師データを地形図、航空写真等を参照しながら取得、教師付き最尤法分類を適用して作成) とともに、地上調査データとの比較を通じてその精度を検証した。地上調査は解析対象地域内12カ所、時期は2002年7月～8月にかけて行った。ここでは、1/2500都市計画図を基盤に地図上の水田において調査時点で水稻が実際に作付けされているか否かを目視で判断して水田利用を決定した。精度検証は現地調査を行った地域それぞれについて無作為に地点を抽出し (地点数は Table 1 に詳細を記載)、その地点の水田利用において水稻が作付けされているのか否か、衛星データ解析と地上調査データとの一致状況を見ることで行った。なお、ここでは、土地被覆の変化を捉えることが主目的であって、農政上で区別されている不作付田 (農地の維持管理意志あり) および耕作放棄田 (すぐに耕作を開始しない田で、農地の維持管理意志なし) の区別は志向していない。

Table. 1 Results of accuracy assessment for paddy fields abandonment map (1987-2001)

SPOT (16 June 2001)+IKONOS (12 June 2001)
Abandonment 0 (NDVI only)

Class Name	Reference Totals	Number Correct	Producers Accuracy
Rice planted	30	16	53.33%
Abandoned	37	22	59.46%

Overall Classification Accuracy=56.72%

Overall Kappa Statistics=0.1275

SPOT (16 June 2001)+IKONOS (12 June 2001)
Abandonment 1

Class Name	Reference Totals	Number Correct	Producers Accuracy
Rice planted	40	34	85.00%
Abandoned	48	29	60.42%

Overall Classification Accuracy=71.59%

Overall Kappa Statistics=0.4422

SPOT (16 June 2001)+IKONOS (12 June 2001)
Abandonment 1+Abandonment 2

Class Name	Reference Totals	Number Correct	Producers Accuracy
Rice planted	37	33	89.19%
Abandoned	35	26	74.29%

Overall Classification Accuracy=81.94%

Overall Kappa Statistics=0.6372

SPOT (16 June 2001)+IKONOS (4 July 2001)
Abandonment 0 (NDVI only)

Class Name	Reference Totals	Number Correct	Producers Accuracy
Rice planted	30	16	53.33%
Abandoned	43	25	58.14%

Overall Classification Accuracy=56.16%

Overall Kappa Statistics=0.1125

SPOT (16 June 2001)+IKONOS (4 July 2001)
Abandonment 1

Class Name	Reference Totals	Number Correct	Producers Accuracy
Rice planted	21	21	100.00%
Abandoned	41	25	60.98%

Overall Classification Accuracy=74.19%

Overall Kappa Statistics=0.5142

SPOT (16 June 2001)+IKONOS (4 July 2001)
Abandonment 1+Abandonment 2

Class Name	Reference Totals	Number Correct	Producers Accuracy
Rice planted	50	43	86.00%
Abandoned	33	25	75.76%

Overall Classification Accuracy=81.93%

Overall Kappa Statistics=0.6208

3. 結果と考察

水田利用変化マップ (Abandonment1+Abandonment2) を Figure. 4 に示す。また、水田利用変化マップと現地調査データとの比較結果を Table 1 および Figure. 5 に示す。Landsat TM (1987年 6 月27日) と IKONOS (2001年 6 月12日または2001年 7 月 4 日) の NDVI 差が0.25以上を水田利用変化としたマップ (Figure. 1 中では Abandonment0 に相当) においては一致率がそれぞれ56.72%, 56.16%であった。一方、Landsat TM (1987年 6 月27日) と SPOT HRVIR (2001年 6 月16日)+IKONOS データ (2001年 6 月12日または2001年 7 月 4 日) の NDVI, NDWI 差が0.25以上を水田利用変化としたマップ (Figure. 1 中では Abandonment1 に相当) では、一致率がそれぞれ 71.59%, 74.19%であった。また、上記 Abandonment1 に、Abandonment1 の領域境界から20mの範囲内において、2つの指標が0.10以上変化した領域を加えたマップ (Figure. 1 中では Abandonment1+Abandon-

ment2 に相当) では、Landsat TM (1987年 6 月27日) と SPOT HRVIR (2001年 6 月16日)+IKONOS (2001年 6 月12日) では81.94%, 観測日の異なる IKONOS (2001年 7 月 4 日) 利用の場合には81.93%の一致率を達成した。

これらのことより、IKONOSに Landsat TM, SPOT HRVIR を併用、農耕地 NDVI, NDWI の変化検出を行い、かつ大きな変化領域への近接性に基づき閾値を調整するアプローチが小規模な水田利用変化を捉えるのに有効であって、特に、IKONOS データの観測日時が田植え直後 (6 月) よりもやや遅れた時期 (7 月) の場合にも、本アプローチが十分な精度をもって適用できることが示された。

一方、地上調査では、不作付田あるいは耕作放棄水田であるにもかかわらず、衛星データ解析でそれらが検出できていない領域が見られたが、それには大きく分けて2つのタイプがあった。1つ目は、1987年の衛星データ上ですでに草地に類似した分光反射特性を示している領域であり、これらは解析に用いた衛星データ観測の1987年以前に耕作放棄された水田であると考え

Paddy fields abandonment map (1987-2001)

Figure. 4 Paddy fields abandonment map (1987-2001)

Figure. 5 Example of comparison between remote sensing results and ground truth data

Left: Remote Sensing
 Red and Yellow : abandonment
 Background Colors:
 R: SPOT Mid-IR,
 G: IKONOS: Near-IR,
 B: IKONOS: Red

Right: Ground Truth
 Red, Yellow, Orange: abandonment
 Blue: paddy field

えられる。農業センサスによれば、当該地域においてもっとも水田の耕作放棄が著しかった期間は1985年～1990年であることが報告されている。また、それ以前から水田利用変化は徐々に起こりつつあったと推察されるため、1987年～2001年を対象にした本解析では捉え切れていない耕作放棄水田がでてしまうことはアプローチ上避けられない。前述のように耕作放棄された水田は草地に類似した分光反射特性を有している。また、それらが急傾斜で小規模水田地帯周辺に分布するという特性を示すため、狭い範囲の地域であれば目視等で判読が可能な場合も多い。このような植生の時系列的な変化は、植生リモートセンシングの既往研究において、多時期の衛星データで追跡する試みが森林や草地で検討されつつある（例えば美濃ら、1996；栗屋ら、2004）。水田に関しても耕作放棄後の分光反射特性の時系列変化に関する基礎的知見を集積すれば、基準年以前の耕作放棄水田分布もある程度、同定できる可能性があると考えられる。

2つ目は平野部を中心とする地域に分布する草刈り等の管理が行われている不作付田である。本アプローチでは、大きな変化が起きている地域との隣接関係により閾値の調整を行っているものの、1987年と2001年のデータ間のNDVI値においてある程度の差異がある場合を水田利用変化と見なしている。そのため、管理された不作付田ではまだ裸地に近い状態の領域が存在する場合も少なくなく、このような水田では高い植生指数を示さないため、本アプローチでは水田利用変化とは判断されない。本対象地域では、管理をほとんど行っていない耕作放棄が多く、良く管理された不作付田がそれほど含まれていない。平野部や管理した不作付田が多い地域を対象とする場合は、さらに詳細な領域分割をし、それらの閾値を調節するなどの工夫が必要であろう。また、隣接関係や形状、連続性評価などの観点を導入したアプローチについては今後さらに検討する必要がある。

このように、一部に誤判読が見られるものの、その要因が比較的明瞭で、分布域も限られていること、簡便な手法に対して1/2500スケールの現況調査データとの比較において全体としては高い一致率であったことから、本アプローチが中山間地域における小規模水田利用の変化を把握する手法として有効であると考えられる。

次に、本解析によって得られた水田利用変化マップ

(Abandonment1+Abandonment2)を用いて、対象地域における特徴を見ていくこととする。マップを概観してみると、水田利用変化は地域全体に広がっており、平坦な地域で少なく、一方の山間部ではやや多いなどの一般的な中山間地域における変化と同様の傾向であった。しかしながら、地域毎にマップを拡大してみると水田利用変化の傾向は一樣ではないことが読みとれる。例えば、Figure. 4の右上拡大図の水田地帯では森林に隣接した急傾斜の領域ではほぼ同様に水田利用変化が起きている。一方、右下拡大図で示す地域では、水田幅がせまい場所、森林に隣接した場所での変化が顕著ではあるものの、地域間格差が非常に大きく、中には水田がほぼ消失してしまっている領域も見られる。右下拡大図内には1987年以前に放棄された水田であろうと推測される領域（Figure. 4では明るい黄緑色に発色）も多く分布し、水田利用変化が連鎖していく様子がうかがえる。このように、解析結果である水田利用変化マップからは、水田利用変化の傾向が必ずしも一樣ではなく、地域間格差が存在しており、耕作放棄が連鎖して進んでいく様子など、その空間分布の特徴が読み取れた。

4. まとめと今後の課題

本研究では小規模な水田利用変化を捉えるために、IKONOS, Landsat TM, SPOT HRVIR データから算出した1987年次および2001年次の農耕地NDVI, NDWI データセットからまず大きな変化領域を検出、それへの近接性に応じて変化同定の閾値を調節し、精度良く水田利用変化を捉えるアプローチを考案した。兵庫県淡路地域を対象とした解析の結果、1/2500スケールの地上調査データに対しておおむね80%の精度を達成した。誤差要因としては、基準年とした1987年以前に放棄された水田および良く管理された不作付田が挙げられた。解析結果からは水田利用変化の地域間格差や連鎖状況が読みとれた。

現在、棚田などの小規模水田地帯は文化的な価値、または生物相保全の観点から非常に重要視され、各種施策が講じられつつある。しかしながら、これらの大部分は水田の環境特性を踏まえた戦略的な保全計画が適用される状況には至っていない。今後は、本アプローチによって明らかにした水田利用変化の広域分布パターンや変化傾向を生物生息空間や景観的な評価マッ

ブ等に高度化すること、あるいは人文科学的なデータとの重ね合わせによって、実際の農村計画等につなげていくことなどが必要である。

謝 辞

本研究は平成16年度千葉大学環境リモートセンシング研究センター共同利用研究(P2004-4)、文部科学省科学研究費補助金(若手研究B:課題番号16780017)により助成を受けた一部である。なお、データ所有権はLandsat TMがNASA、SPOT HRVIRがSPOT Image社、IKONOSがSpace Imaging社に帰属する。
(受付日2005.1.14, 受理日2005.5.13)

参考文献

- 安積大治, 志賀弘行, 2003. 水稻成熟期のSPOT/HRVデータによる米粒蛋白含有率の推定, 日本リモートセンシング学会誌, 23(5), pp.451-457.
- 粟屋善雄, 田中邦宏, 2003. ランドサット TM データを用いた森林変化モニタリング指標の検討, 写真測量とリモートセンシング, 42(5), pp.60-70.
- 小川茂男, 福本昌人, 島 武男, 大西亮一, 武市 久, 2003. 衛星データを用いた水田水入れ時期のモニタリング, 日本リモートセンシング学会誌, 23(5), pp.497-505.
- 加藤淳子, 上原由子, 谷本俊明, 2003. 人工衛星データ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.
- 福本昌人, 島 武男, 小川茂男, 2003. 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.
- 張 福平, 魏 永芬, 秋山 侃, 西條好廸, 2004. 異種衛星データを用いた竹林分布の抽出. システム農学, 20(1), pp.86-96.
- 美濃伸之, 斎藤元也, 1996. 衛星データによる草地の経年化に伴う分光反射特性変化の把握, 写真測量とリモートセンシング, 35(3), pp.26-33.
- 村上拓彦, 斎藤元也, 小川 進, 石塚直樹, 2001. VSW 指数を応用した水稻作付面積推定, 日本リモートセンシング学会誌, 21(4), pp.330-341.
- Mino, N., Inoue, Y., Ogawa, S., and Tomita, A., 2001. Monitoring spring flush of pastures using NOAA AVHRR-based NDVIs coupled with the land cover information derived from spaceborne SAR data. Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 40(1), pp.55-67.
- Ogawa, S., Inoue, Y., Mino, N., and Tomita, A., 1998. Monitoring of rice field using SAR data and optical data. Proceedings of the Second International Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications p.155-159.
- Okamoto, K., and Fukuhara, M., 1996. Estimation of paddy field area using area ratio of categories in each mixel of Landsat TM. International Journal of Remote Sensing, 17(9), pp.1735-1749.
- Okamoto, K., and H. Kawashima, 1999. Estimation of rice-planting area in the Tropical Zone using combination of optical and microwave satellite data, International Journal of Remote Sensing, 20(5), pp.1045-1048.