多次衛星データを利用した草地更新状況の把握

Monitoring Grass-Renovation Status using Multi-Temporal Satellite Data

美濃 伸之*, 斎藤 元也*

Nobuyuki MINO, Genya SAITO

Abstract: Once grassland productivity decreases, grass-renovation, accompanied by plowing and seeding, needs to be conducted to improve its productivity. Years after grass-renovation is one index indicating grassland productivity. In this study, the monitoring of grass-renovation status using satellite data is discussed. By extracting 1-year grassland and renovated grassland from each satellite image, we compiled a Grass-renovation years map (1985-1994). Renovation years from satellite data agreed with that from ground survey with high accuracy, showing that satellite remote sensing is very useful for survey of grass-renovation status.

1. はじめに

草地を全面的に耕起し、再播種を行う草地更新は、牧草収量の低下、草種構成の劣化が著しい場合に、それらの改善を図る目的で行われる。草地更新後の年数を示す経年数は、草地の劣化程度を把握するための一つの重要な指標であり、草地管理上、不可欠な情報である。

現在、草地更新の実態は、部分的には帳簿や報告書の中で記録されているが、その把握には多くの労力が必要としている。これらの情報形態では、地理的分布に関する情報が欠落していること、情報が分散しており、記録形態も様々である等のことから、実際に、どの草地がいつに更新したかを調べることは容易ではない。また、広域におよぶ草地更新の実態は十分把握できていない場合が多い。したがって、広域の地理的分布を含む草地更新の現状を示すマップを作成することができれば、様々な草地管理の場面に有益である。

広域情報が得られる衛星リモートセンシングの技術は、農業分野における有効性が、多くの報告により示

されている⁷⁾。その中でも、草地は、その圃場面積が広いことや地上バイオマス自体が収獲量に結びつくなどの特性により、比較的早い時期から、衛星リモートセンシングに関する研究の対象となった^{1),2),3),4),5),6),11)}。

研究報告としては、各種衛星データから植生指数等のバイオマスに関する指標を算出し、収量や荒廃状況を推定した例が多い。しかし、草地の経年数や更新状況などの草地管理に関連する情報を衛星データから捉えた報告はほとんどない。筆者らは、草地の経年化に伴う分光反射特性の変化を多次衛星データを利用して解析し、既に報告した(以下では前報とする)¹⁰⁾。本研究では、前報の経年数別の草地分光反射特性を利用して草地更新状況の把握を行ったので報告する。

2. 研究方法

(1) 解析方針

草地更新は全面的な耕起を伴う。そのため、更新草地の地表面には、耕起直後から1ヵ月程度まで、他の草地において牧草量が豊富な時期に土壌が露出している。また、収獲後の草地の地表面には、枯死した植物体等が集積しており、土壌は露出していない。そのため、更新草地は、収獲前の草地や収獲後の草地と明確に区別できる。

筆者らは前報で、多次衛星データから更新草地を

* 農業環境技術研究所

* National Institute of Agro-Environmental Sciences

3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305, JAPAN

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 35, NO. 3, 1996

抽出し、それらと衛星データを重ね合わせることで、各草地の経年数を把握、経年数別の草地分光反射特性を調べ報告した。多年次衛星データから更新草地を抽出した更新年次基準図は、当該年次に更新した草地のうち、衛星データ観測以後に更新した草地は検出ができていない。また、衛星データ観測日より1ヶ月程以前に播種をした草地も牧草が生育し、土壌が露出しなくなるため、検出が難しい。

本研究では、図1に示すように、草地更新の検出を行う際に、更新草地の抽出に加えて、前報で明らかにした経年数別の草地分光反射特性を利用し、翌年のデータで当該年次の観測日以後の草地更新を追加して、検出することとした。前報より、新播草地（経年数1年）が他の経年草地と比較して、明確な特徴を持つことが示されている。そのため、ここでは、衛星データより更新草地、新播草地を検出、新播草地と判別されたものは、衛星データ取得年の前年に草地更新を行った草地とみなし、1985年から1994年までの草地更新を検出した。また、各年次毎に作成した草地更新マップを全て重ね合わせて、1994年5月現在での各草地の更新年次

を示すマップを作成した。

(2) 対象地域と使用衛星データ

本研究では、北海道根釧地域を対象とした。根釧地域は夏期にも冷涼で、草地酪農に適しており、農地面積の約97%が草地である。

解析には、1985～1994年までの、LANDSAT/TM, MOS-1/MESSR, JERS-1/SAR の各衛星データを使用した。本研究で利用した衛星データを表1にまとめた。対象地域での草地更新は、春先から夏にかけて不定期に行われるため、各年次毎に4月から8月の LANDSAT/TM, MOS-1/MESSR データを可能なかぎり収集し、更新草地を検出するのに利用した。新播草地を抽出するには、前報で経年数別の草地分光反射特性を調べた5月および6月の LANDSAT/TM データを利用した。また、JERS-1/SAR データは、森林領域の抽出に利用した。

(3) 衛星データ前処理

衛星データの精密幾何補正は、1989年5月19日の

図1 研究の概略

表1 使用衛星データ一覧

パス-ロウ	センサ	観測日時	パス-ロウ	センサ	観測日時
106-30	TM	85.05.24.	106-30	TM	91.04.23.
106-30	TM	85.07.27.	106-30	TM	91.06.26.
			106-30	TM	91.08.29.
106-30	TM	86.06.28.	105-30	TM	92.04.09.
106-30	TM	86.07.30.	106-30	TM	92.06.28.
			105-30	TM	92.08.24.
105-30	TM	87.05.07.	105-30	TM	93.04.21.
19-59E	MESSR	88.06.06.	105-30	TM	93.06.08.
105-30	TM	89.05.19.			
105-30	TM	89.06.13.	105-30	TM	94.05.17.
19-59E	MESSR	89.08.22.			
			59-227	JERS-1/SAR	92.4.15.
106-30	TM	90.04.20.	59-228	JERS-1/SAR	92.4.15.
106-30	TM	90.06.07.			
105-30	TM	90.07.02.			
105-30	TM	90.08.03.

図2 マスクファイル作成の概略

LANDSAT/TM のみ、1/50,000地形図を用いて行い、1画素の大きさは25m×25mとした。残りのシーンは、この幾何補正済みのLANDSAT/TMデータを基準として、画像間で幾何補正を行った。

草地更新状況を把握した範囲は、およそ1/50,000地形図の中標津、計根別の範囲に相当し、UTM座標系のゾーン番号55帯で、左上隅(318,621.06, 4,836,822.50),右下隅(343,310.66, 4,799,173.00)とした。

3. 解析結果

(1) 草地の抽出

対象地域内には草地の他に、森林、市街地、畑作地が分布する。草地更新状況の把握には、これらを除去し、草地のみを解析する必要がある。そのため、複数の衛星データを利用して、森林、市街地、畑作地を抽出し、マスクファイルを作成した。マスクファイル作成の概略を図2に示す。

森林の抽出には、JERS-1/SAR データを利用した。JERS-1/SAR データは波長がLバンド(23cm)であり、森林では、幹、枝からの高い後方散乱が得られる。しかし、牧草のように波長より小さな植被が対象の場合は、マイクロ波のほとんどが透過してしまうため、土壌表面からの低い後方散乱のみを示す。SAR画像上では、スペックルノイズと呼ばれるゴマ塩状のランダムなノイズが存在するため、ここではMAPフィルタ⁹⁾を利用して除去した。その後、地形図を参照しながら閾値を決め、CCT値の高い部分の森林を抽出した。この森林として抽出した部分には、市街地も一部含まれていた。

市街地の抽出には、1992年6月28日のLANDSAT/TMデータのバンド1とバンド5を用いた。閾値は地形図で市街地の地点のCCT値を参照しながら決定し、バンド1>90,かつバンド5<110の領域を市街地とした。また、この時期に飼料用のトウモロコシ畑はビニールマルチをしていることが多く、市街地と同様の分光反射を示すために、同時に抽出された。

バレイショを中心とした畑作地は、4月から6月上旬にはまだ土壌が露出している。従って、多年次にわたり、この時期に土壌が露出している領域は畑作地として抽出した。各衛星データにおいて土壌が露出していると判断した基準は、(2)での更新中の草地を採知する際の基準と同じとした。畑作地の位置は年次毎に異なるため、衛星データ取得に制限がない限り、当該年次とその後の衛星データを利用して、各年次毎に畑作地の抽出を行った。

以上のようにして、森林、市街地、畑作地を抽出し、草地を1、それ以外を0としたマスクファイルを作成した。畑作地の位置が年次毎に異なるため、マスクファイルはそれに応じて作成した。

(2) 更新草地、および新播草地の検出

更新草地は、衛星データ上で植生量が少なく、全体の分光反射も低い領域と定義し、各シーンから抽出した。ここでは、NDVI を指標に低植生領域を抽出した後、可視、中間赤外、熱赤外の CCT 値を利用して、雲域、雲影、収穫後の草地を除去し、残った領域を更新草地とした。NDVI、各バンドの閾値は、衛星データの観測日時や地形図を参照しながら決定した。各シーン毎の閾値を表2にまとめた。

新播草地の抽出の際には、筆者らが前報で明らかにした分光反射特性を利用した。5月、および6月に観測された衛星データにおける新播草地の分光反射特性については前報を参照されたい。新播草地は、5月の LANDSAT/TM 上では、他の経年草地と比較して、全体に分光反射強度が低い特徴を持つ。また、6月の LANDSAT/TM 上ではバンド4とバンド5の分光反射強度が極めて高いという特徴を持つ。しかし、5月の衛星データにおいても、6月の衛星データにおいても、2年目や3年目の草地は、新播草地と分光反射特性が似通っている。そのため、新播草地の各バンドの平均値±標準偏差に相当する領域を各衛星データから抽出して

きた場合には、2年目や3年目の草地との誤判読が多くなってしまう。そこで、新播草地を抽出する際には、5月の衛星データでは、平均値よりも CCT 値が高い領域の閾値を厳しくし、また、6月の衛星データでは、平均値よりも CCT 値が低い領域の閾値を厳しくし、2年目以降の草地との誤判読を防ぐこととした。

1986、1989、1990、1991、1992、1993年の年次に関しては、最も新播草地の特徴が明確になる6月の LANDSAT/TM データを使用した。6月の衛星データにおいては、そのバンド4、バンド5の平均値、および標準偏差を利用し、以下の CCT 値の範囲を新播草地として抽出した。

$$\mu_1 - \frac{1}{2}\sigma_1 < \hat{\mu}_1 < \mu_1 + 2\sigma_1$$

ここで、 μ_1 は前報で算出したバンド4、およびバンド5の平均値、 σ_1 は、その標準偏差を示し、バンド4、バンド5の両方が条件を満たす場合を新播草地とした。

また1994年は5月のデータを利用して、新播草地の抽出を行った。5月のデータにおいては、経年変化把握の際に明らかにした新播草地のバンド3、バンド4、バンド5の平均値、および標準偏差を利用し、以下の CCT

表2 各衛星データにおける更新中の草地を探知する際の基準

使用したバンドの 衛星データ	主な目的	低植生領域の抽出	雲影、および収穫後草地の除去	雲域の除去
1985. 5.24.TM		NDVI<0.1	BAND1<95	BAND6<120
1985. 7.27.TM		NDVI<0.45	BAND1<85	
1986. 6.28.TM		NDVI<0.5	BAND1<90	
1986. 7.30.TM		NDVI<0.5	BAND1<85	
1987. 5. 7.TM		NDVI<0.1	BAND1<95	
1988. 6. 6.MESSR		NDVI<0.05	BAND1<18	BAND6<140
1989. 5.19.TM		NDVI<0.05	BAND1<85	
1989. 8.22.MESSR		NDVI<0.1	BAND1<17	
1990. 4.20.TM		NDVI<0.05	BAND1<70	
1990. 7. 2.TM		NDVI<0.5	BAND1<75	
1990. 8. 3.TM		NDVI<0.4	BAND1<75	
1991. 4.23.TM		NDVI<0.05	BAND1<70	
1991. 6.26.TM		NDVI<0.5	BAND1<70	
1991. 8.29.TM		NDVI<0.4	BAND1<65	
1992. 4. 9.TM		NDVI<0.05	BAND1<90	
1992. 6.28.TM		NDVI<0.4	BAND1<85	
1992. 8.24.TM		NDVI<0.5	BAND1<70	
1993. 4.21.TM		NDVI<0.05	BAND1<70	
1993. 6. 8.TM		NDVI<0.4	BAND1<80	
1994. 5.17.TM		NDVI<0.1	BAND1<71	

値の範囲の領域を新播草地として抽出した。

$$\mu_2 - 2\sigma_2 < \hat{\mu}_2 < \mu_2 + \frac{1}{2}\sigma_2$$

ここで、 μ_2 は経年数別の草地分光特性を把握した際に算出したバンド3、バンド4、バンド5の平均値、 σ_2 は、その標準偏差を示す。この場合も、バンド3、バンド4、バンド5の全てが、この条件を満たす場合を新播草地とした。

ただし、1987、1988年の年次は、5月、6月の LANDSAT/TM データが取得できなかったため、新播草地の抽出は行わなかった。

(3) 各年次毎の草地更新状況の把握と1994年5月現在の草地更新年次マップ(1985～1994)の作成

このように、抽出した更新草地、新播草地を重ねあわせて、各年次毎の草地更新マップを作成した。また、各年次毎に、全草地面積に対して草地更新が行われている割合を算出した。さらに、各年次毎の草地更新マップを重ね合わせることにより、1985年から1994年の草地更新年次マップを作成した。

各年次毎の草地更新状況は、当該年の衛星データから抽出した更新草地、および翌年の LANDSAT/TM

写真1 草地更新年次マップ(1985-1994)

データから抽出した新播草地の分布図を重ね合わせるにより把握した。ただし、当該年次の1年前に、既に草地更新を行ったとして抽出されている領域は、更新草地分布図、新播草地分布図から除外した。圃場境界や圃場の一部に分光反射特性のみでは抽出できていない部分があったため、更新草地、あるいは新播草地として抽出したピクセルの4近傍も更新草地、あるいは新播草地であるとした。また、フィルタ処理後に、各ピクセル毎の連続程度を評価し、連続8ピクセル以下のものは誤分類として除去した。

草地更新年次マップは、各年次毎に作成した草地更新状況を表すマップを全て重ね合わせて作成した。重ね合わせの際には、年次の新しい方を優先とした。出力の際は、利用価値を高めるため、主要道路を重ね合わせ、1/50,000のスケールで出力した。草地更新年次マップを写真1に示す。

4. 考 察

(1) 各年次毎の草地更新マップ

各年次毎の草地更新割合を表3にまとめた。毎年、全草地の6～8%程度が更新されているという結果となった。ただし、更新の当該年の衛星データと翌年の衛星

表3 各年次毎の草地更新状況

年 次	草地全体に占める割合 (%)
85	7.8
86	6.1
87	4.5
88	5.7
89	9.1
90	8.5
91	6.2
92	6.7
93	6.0
94	4.2

表4 衛星データから把握した更新年次と地上データとの一致率

	対象圃場数	聞き取り調査と結果が一致した圃場数	一致率
-1年のズレを許さない場合	43	25	58 (%)
-1年のズレを許した場合	43	35	79 (%)

データの取得に制限のある1987年、1994年は、十分な草地更新の把握ができなかった。対象地域が位置する根室支庁管内は、北海道の中でも草地更新を行う割合が高く、平均して7～8%の更新率であることが地上調査により報告されている⁸⁾。衛星データによる解析結果は、地上調査で報告された更新割合とほぼ一致するため、対象地域内における各年次毎の草地更新のうち、大部分が衛星データにより把握できたと考えられる。

(2) 草地更新年次マップの検証

多年次衛星データを利用して作成した草地更新年次マップを評価するために、衛星データから把握した更新年次と地上調査で調べた更新年次とを比較した。その結果を表4にまとめた。それによれば、完全な一致率は6割程度で、衛星データでは実際の更新年次の翌年を更新年次としてしまうズレが多いことが判った。

根釧地区において、夏期以降に耕起した草地では、冬枯れを避け、株の定着率を高めるために、翌春に播種することが多い。それらの草地は、1年目の草地であっても春先までの状態は耕起直後の草地と変わらない。それらの草地を衛星データで探知すると、実際は、その前年に耕起をしているが、マップ上では衛星データの観測年次だとされてしまう。このように、地上データとのズレは耕起年次と播種年次の違いによるものと推測された。このズレを許容すると地上調査との一致率は8割程度となった。この更新年次の地上調査は農家に対して、聞き取り調査で行われた。しかし、これら

図3 草地更新年次マップにおける各更新年次の面積割合

について、農家が正確な記録を残している例はまれで、多くは農家の記憶に依存している。したがって、地上データの不確実性も否定できないため、このことが衛星データで把握した更新年次と地上データが一致しない原因と考えられる。

(3) 対象地域における草地更新の実態

草地更新年次マップにおける更新年次別の草地面積割合を図3に示した。それによれば、最近10年間に更新されていない草地が全体の半分以上を占めるという解析結果となった。対象地域においては、地上調査や衛星データの解析から、年毎の更新率が7~8%という結果になっている。年毎の高い更新率が示す通り、草地更新が頻繁に行われる草地が存在する一方で、10年以上の長い期間にわたって、更新を行っていない草地が未だに多く存在することを、この結果は示唆している。

また、草地更新の実態に関して、地域的な特徴を検討した。対象地域のうち、マップの中央部の右側に相当する計根別地区は、先進的な酪農経営を行っている地区である。マップを見ると、計根別周辺の草地では、黄色や緑色の草地が多く分布し、1989年頃から、頻繁に草地更新が行われた現状が把握できる。一方、その他の地域では、青色の草地が多く、計根別地区より数年遅れて、1992年頃から草地更新を頻繁に実施したのが判る。

以上のように、地上調査により得ることが難しい草地更新の空間分布に関する情報が、衛星リモートセンシングにより観測することができた。

(4) 総合考察

地上調査による草地更新状況の把握では、聞き取り調査が中心となるため、その空間分布に関する情報を得ることは多大な労力を要する。一方、衛星リモートセンシングによる草地更新の検出では、広域の草地更新状況が効率的に把握でき、その空間分布に関する情報が得やすい。その反面、データ取得が天候や雲の状況に依存するため、年次によっては、必ずしも草地更新を十分に探知できない。しかしながら、日本のADEOSや米国のEOS等の地球観測衛星計画があり、データ取得回数は増大することが期待できる。

本研究の対象の中心となる更新草地は特徴が明確であり、衛星データからの抽出が比較的容易なこと、解析の結果、衛星データ取得に著しい制限がある年次以

外は、対象地域内ではほぼ一定の更新率となったこと、更新年次の精度に関して、地上データと良く一致したこと等から考えて、本研究により、衛星リモートセンシングが草地更新状況を把握する有効な手法であることが示されたと言える。

5. ま と め

本研究では、多年次衛星データから、明確な特徴を持つ更新草地、新播草地を抽出することにより北海道根釧地域の1985~1994年までの草地更新年次マップを作成した。その結果、対象地域内では、地上調査により把握されているのとはほぼ同様の割合で草地更新が行われている現状が捉えられた。

作成した草地更新年次マップを利用すれば、広域にわたる草地更新年次が把握でき、本研究成果は、草地酪農に直接、貢献できるものである。また、これらのデータは、デジタルマップであるため、他の情報との重ね合わせが容易である。そのため、衛星データから得た草地の情報や既存の酪農関連情報との複合利用等、多様な利用が考えられる。

謝辞

前北海道立農業試験場土壌肥料科能代昌雄科長、ならびに科員、同試験場作物科中島和彦研究員、麻布大学川鍋祐夫客員教授には地上データの提供、および適切な助言を得た。データ解析においては、筑波大学環境科学研究科平野聡氏の協力を賜った。本研究で使用した衛星データの一部は、宇宙開発事業団から研究向けデータ配布により提供を受けたものである。また、JERS-1/SAR データは、資源・環境観測解析センターと農業環境技術研究所の共同研究の一環として、同センターより提供を受けた。ここに記して感謝する。
(受付日1996.1.24, 受理日1996.5.14)

参考文献

- 1) 秋山 侃. ランドサット MSS データによる地表被覆物の解析. 草地試研報, Vol. 17, pp.45-59, 1980.
- 2) 秋山 侃・安田嘉純・江森康文. リモート・センシングによる草地の診断1. ランドサット MSS データによる栃木県北部の土地利用分類. 日本草地学会誌, Vol. 31, pp.88-96, 1985.
- 3) 秋山 侃・安田嘉純・江森康文・深山一弥. リモート・

センシングによる草地の診断2. ランドサット MSS データによる一番草収量の推定. 日本草地学会誌, Vol. 31, pp. 97-103, 1985.

4) AKIYAMA, T., Y. YAMAGATA, M. SHIBAYAMA, H. HAYASHI and H. FUJITA. Monitoring of weed infestation of grasslands using Landsat data. *Proc. XVI Int. Grassl. Congr.*, pp. 1389-1390, 1989.

5) 秋山 侃. 草地とりモートセンシング1. 衛星搭載センサーによる草原・草地植生の地球規模的観測. 日本草地学会誌, Vol. 37, pp. 475-481, 1992.

6) 秋山 侃. 草地とりモートセンシング2. 衛星情報による草地・飼料畑の管理. 日本草地学会誌, Vol. 38, pp. 343-349, 1992.

7) 秋山 侃. 衛星リモートセンシング技術の農業利用研究 —広域的作物資源の分布と生育状態の定量的把握— 生物環境調節, Vol. 32, pp. 145-154, 1994

8) 片山正孝. 根室の草地紹介. 草・その情報, Vol. 85, pp. 21-25, 1994.

9) LOPES, A., E. NEZRY, R. TOUZI and H. LAUR. Structure detection and statistical speckle filtering in SAR images, *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 14, No. 9, pp. 1735-1758, 1993.

10) 美濃伸之・斎藤元也. 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. 写真測量とりモートセンシング, (印刷中)

11) 山脇由紀代・斎藤元也・前野休明・福原道一・安田嘉純・江森康文. ランドサット TM データによる草地を中心とした地表被覆分類 —階層性ツリー構造による分類—. 草地試研報, Vol. 39, pp. 1-13, 1988.