

シンポジウム「地理的情報システムの活用による草地の生産性向上の可能性」

草地・飼料作物分野におけるリモートセンシング・GIS 技術の利活用

牧野 司

Grassland and forage crop field management using Remote Sensing and GIS data.

Tsukasa MAKINO

はじめに

現在の酪農・畜産経営は、経営規模の拡大に伴い、環境問題が顕在化し、飼料自給率も横ばいである。このため、家畜糞尿の適正な処理・利用や自給飼料の高品質化・有効利用が求められている。

北海道では土壌タイプ・目標収量・マメ科牧草割合に応じた草地の推奨施肥量を提示しており、家畜糞尿を有効利用した施肥のためにはマメ科牧草割合や草地の収量水準を把握する必要がある。また、自給飼料の高品質化のためには植生に応じた刈取り管理・草地更新・草地の整備改良が重要で、そのためには地下茎型イネ科雑草等の侵入程度や播種牧草の衰退要因を把握する必要がある。マメ科牧草割合やイネ科雑草等の侵入程度など草地の状態や衰退要因を広域的に理解することは、「個人農家での草地管理」、「農協・コントラクター組織・TMR センターでの草地管理の計画立案」、「自治体での効率的な草地整備事業」、等を行う上でも重要である。

北海道の酪農家一戸当たりの平均草地面積は 50ha 以上と広大で、遠隔草地の割合も少なくなく、管理する草地は広域にわたる。また、草地の状況は自然立地条件だけでなく、管理状態に大きく左右されるために位置が近ければ状況が似通っているとは限らず、ある圃場の状態から近隣圃場の状態を推察することはできない。そのため草地の植生状況を地上踏査で広域的・的確に把握することは困難である。そこで草地状況を広域、効率的に把握する方法としてリモートセンシング・GIS 技術が期待されている。

今回の発表は、草地・飼料作物分野におけるリモートセンシング・GIS 技術を用いた取り組みを紹介し、これらの成果を現場でどのように応用するか、応用するためにクリアすべき課題について話題を提供する。

1. 宇宙・空から草地を見て何が分かる? ~リモートセンシング技術~

1) リモートセンシングとは

植物、土壌、水、人工構造物など地表面の全ての物体は太陽の光を反射・吸収しており、その程度は物体固有のものである(分光反射特性)。この分光反射特性を衛星

に搭載したセンサで観測し、地表面の状態をとらえる技術が衛星リモートセンシングである。

牧草を含む植物は、クロロフィルの吸収により可視赤色域での反射が小さく、葉肉の柔組織の反射により近赤外域での反射が大きい分光反射特性を持つ。また、一般に植物のバイオマス量が多いほど可視赤色域での反射が小さく、近赤外域での反射が大きくなる。このような植物の分光反射特性を草地の情報として読み替えるために様々な研究が行われてきた。

2) 今まで検討されてきたこと

我が国における草地を対象にした衛星リモートセンシング研究は 1980 年代から全国で行われている。道立農業試験場でも 2002 年から草地を対象にしたリモートセンシング・GIS 技術の研究に取り組んできた。ここでは道立農業試験場の成果を中心に現在までに検討されてきたことを紹介する。

(1) 草地の判別

統計資料による市町村別の草地面積と衛星データ(Landsat5 号、7 号: 分解能 30m) から抽出された草地面積との関係を解析した(牧野ら 2006b)。統計資料による草地面積と衛星データから得られた草地面積の間には高い正の相関関係が認められた(図 1)。農地の大部分が草地である根室釧路管内では土地利用メッシュによる農用地の抽出と教師なし分類とを組み合わせることで草地の判別ができることが分かった。また、草地の判別には 6 月上旬・1 番草刈取り前の衛星データが適していた。

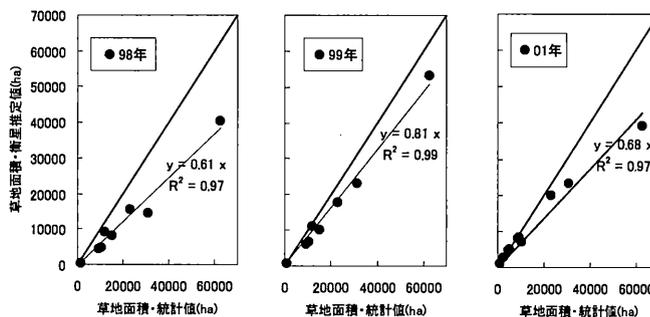


図 1 統計草地面積と衛星データから推定された草地面積との関係

北海道立根釧農業試験場 (080-1135 標津郡中標津町旭ヶ丘 7 番地)

Hokkaido Konsen Agricultural Experiment Station, Asahigaoka, Nakashibetsu, Hokkaido, 080-1135, Japan

(2)牧草収量の推定

統計資料による市町村別の牧草年間収量と6月上旬に撮影された衛星データ(Landsat5号、7号:分解能30m)との関係を解析した(牧野ら 2006b)。牧草年間収量と正規化植生指数(Normalized Difference Vegetation Index:以下NDVI)との間に高い正の相関関係( $r=0.97$ )があり、NDVIを用いて牧草年間収量を推定することができた。この技術を応用することで詳細な牧草収量の分布図(図2)を作成することが可能で、統計資料では把握できなかった市町村内の収量分布を把握することができる。

現地収量調査によって得られた圃場別の牧草現存量と衛星データ(Spot5号:分解能10m)との関係を解析した(牧野ら 2006a)。牧草現存量とNDVIとの間に高い正の相関関係があり( $r^2=0.80$ )、NDVIを用いて牧草現存量を推定できることが分かった。また精度良く推定するには、出穂茎が無く、節間伸長茎が伸び始める前の時期、6月上旬の衛星データを解析に用いること、収量調査地点の位置情報をGPSなどで把握して調査地点周辺のピクセルのみを解析に用いること、が重要と判明した。この技術の応用として、圃場毎のNDVI平均値と標準偏差をそれぞれ牧草収量の多少とバラツキに置き換えて草地の評価を行う考え方を示した(図3)。

(3)草種判別・構成割合推定

イネ科の強害雑草として問題となっているリードカナリーグラスについて衛星データ(Spot5号:分解能10m)を用いて判別可能性を検討した(根釧農試・天北農試 未発表)。教師つき分類でリードカナリーグラスの判別を行ったが正解率は30%台でリードカナリーグラス草地の抽出は困難であった。

また、現地調査で得たマメ科率区分のデータと衛星データ(Landsat7号:分解能30m、Spot5号:分解能10m)との関係を解析したが(根釧農試・天北農試 未発表)、草量の影響や糞尿散布の影響などでマメ科率区分を推定することは困難であった。

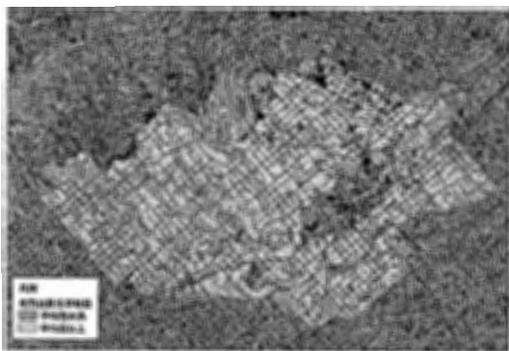


図2 中標津町の牧草収量分布図  
(1998年6月6日撮影衛星画像より作成)

(4)利用形態の判別と1番草刈り時期の把握

衛星から草地を観測するとその分光反射特性から収穫前の草地・収穫後の草地・耕起され土壌が露出している草地を明確に区分することができる。この性質を利用し、複数年の収穫時期の衛星データを用い、収穫後草地と判別された草地を採草地、一度も収穫後草地と判別されなかった草地を放牧地として採草地と放牧地とを判別した(美濃ら 1998)。また、この方法で1982~1986年と1990~1994年の利用形態の判別結果を比較し、根釧地域の放牧地面積が減少傾向にある様子を解析している。更に両期間の6月下旬のデータを用い、採草地について収穫後面積を比較し、刈取り時期が早まっている様子を解析している。

(5)草地更新状況の把握

全面耕起して更新された草地は1ヶ月程度は地表面に土壌が露出するため、衛星データを用いて容易に判別することができる。この性質を利用し、複数年の衛星データから更新草地を判別し重ね合わせることで、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(美濃ら1996)。

(6)草地湿潤性評価

草地土壌の表層含水量と衛星データとの関係を解析し、表層の含水率と中間赤外・近赤外の反射強度および正規化水指数(Normalized Difference Water Index:以下NDWI)との間に関連があることを明らかにした(牧野 2009b)。また、衛星データから作成したNDWI区分図と降雨後の冠水エリアマップを比較したところ、冠水部分でNDWIが高くなる傾向がみられた。更に草地整備事業(排水改良)を行った草地と行っていない草地のNDWIを比較すると、事業後の草地でNDWIが低下する傾向が確認された。これらのことから、NDWIで草地の湿潤性が評価できることを提案した。

(7)牧草の越冬状態評価

早春草地の越冬状況と衛星データとの関係を解析した(牧野 2009b)。その結果、チモシーの被度や裸地の被度とNDVIには関係があり、それらを通して越冬不良な草地を判読できることを明らかにした。

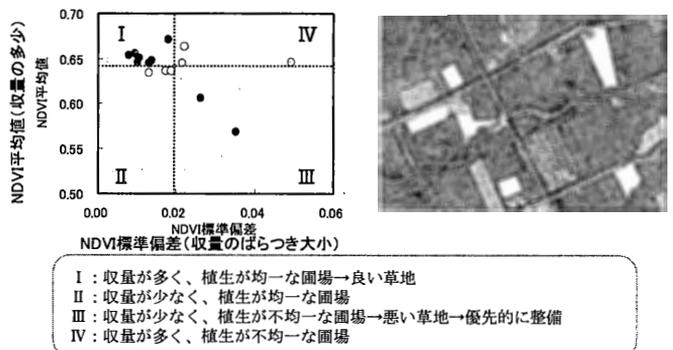


図3 NDVI平均値と標準偏差を用いた草地評価

2. 気象・地形データなどを組み合わせて何が分かる？

～GIS技術～

1) GISとは

一般に、GIS (Geographic Information System : 地理情報システム) とは、土地利用、土壌、河川、地形、気象、人工衛星画像など様々な地理情報 (地図) をコンピュータで利用できるデジタルマップ情報に変換し、これらを組み合わせることによって、目的に応じた主題図を作成することのできるコンピュータシステムのことである。

2) 利用可能な地理情報

現在、整備されている地理情報で、特に草地・飼料作分野で利用が想定されるものを紹介する。

(1) 土地利用メッシュ

国土数値情報として田、その他の農用地、森林、荒地、建物用地など土地利用区分が 100m メッシュのデジタルデータとしてまとめられている。国土数値情報ダウンロードサービス (<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>) から無料でダウンロードし利用することが可能である。

(2) 土壌メッシュ

地力保全土壌図データ CD-ROM として土壌分類などが 100m メッシュのデジタルデータとしてまとめられている。日本土壌協会 (<http://www.japan-soil.net/>) から購入し利用することが可能である。

(3) 気象メッシュ

メッシュ気候値 2000 として 1971～2000 年までの観測値について平均した平年値を 1km メッシュで推定したデータ (月別の平均気温、日最高気温、日最低気温、降水量、最深積雪、日照時間、全天日射量) がまとめられている。(財)気象業務支援センター (<http://www.jmbasc.or.jp/index.html>) から購入し利用することが可能である。このデータを利用すると 1km メッシュの 5-9 月積算気温マップ (平年値) などを作成することができる。

(4) 標高メッシュ

昨年からの基盤地図情報 (数値標高モデル) として全国の標高データが 10m メッシュで整備された。国土地理院の基盤地図情報サイト (<http://www.gsi.go.jp/kiban/>) から無料でダウンロードし利用することが可能である。このデータを利用し斜面方位や傾斜角なども算出することができる。

3) 地理情報と栽培データの組合せで分かること

次に先に記載した地理情報と栽培データを組み合わせることによって、どのようなことが分かるのか、事例を紹介する。

(1) チモシー1 番草の出穂期予測

道立農業試験場、農業改良普及センターなどでは、三枝ら (1994) の方法をもとに開発されたチモシー1 番草出穂期予測システムが活用されている。これは、萌芽日を入力すると 1km メッシュでチモシー1 番草の出穂期が

推定されるシステムである。予測を行った日以降の気温が平年と比較しプラスまたはマイナスに推移した場合の推定も可能である。根釧農試ではこのシステムを用い毎年 6 月上旬に根釧管内のチモシー1 番草出穂期予測 (図 4) を行い関係機関に配布およびホームページに掲載し適期刈取りを呼びかけている。

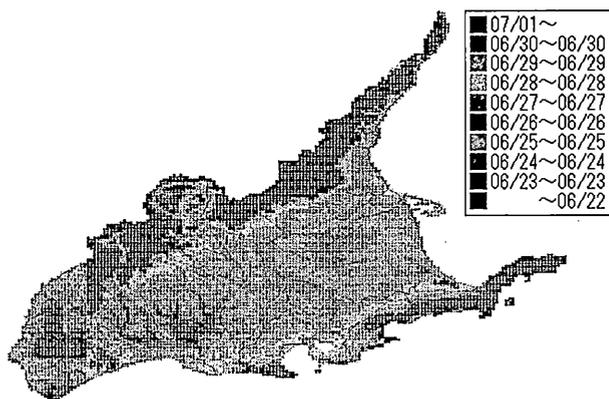


図 4 根釧管内チモシー1 番草出穂期予測図の例

(2) とうもろこし黄熟初期以降に達する確率マップ

栽培試験から得られた気温と判定熟度の関係と 29 年間分のアメダスメッシュ化データを結びつけ根釧管内における極早生とうもろこしの黄熟初期以降に達する確率を 1km メッシュでマップ化した (牧野ら 2008a)。このマップは閲覧、印刷用の無料 GIS ソフトとともに CD に記録、無料配布し作付け計画立案に利用されている。

(3) とうもろこし安定栽培地域区分

黄熟初期以降に達する確率マップと標高データから地形の凹凸を表現したマップを組み合わせることによって気象的条件と地形的条件からとうもろこしを安定的に栽培できる地域を区分した (牧野ら 2008b)。安定栽培地域がどの地域に、どれくらいあるかを把握することが可能である (図 5)。

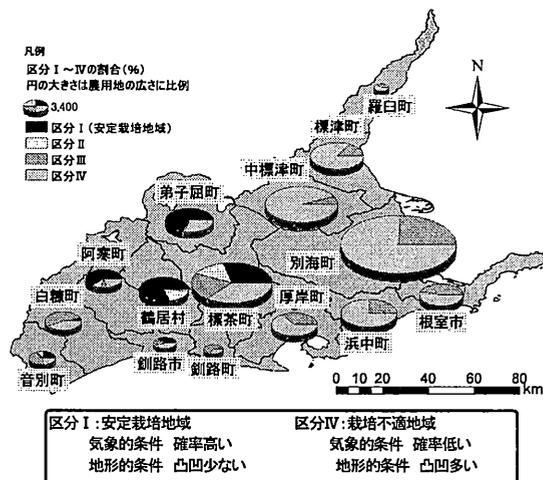


図 5 根釧管内市町村別の安定栽培地域割合

### 3. 現在取組中の課題

今までの取り組みで十分な成果が得られなかったイネ科雑草の判別やマメ科牧草割合の推定に関する現在の取り組み状況、またとうもろこしに関する新たな取り組みを紹介する。

#### 1) 地下茎型イネ科雑草侵入程度の把握

10~30m の中分解能衛星データでは判別することが困難であった地下茎型イネ科雑草の侵入程度を、1~3m ほどの分解能をもつ高分解能マルチスペクトル衛星データで把握することに取り組んでいる。6 月上旬に撮影された衛星画像では、一圃場での例ではあるが地下茎型イネ科雑草であるシバムギのパッチ状の群落の様子を捉えることに成功している (図 6)。

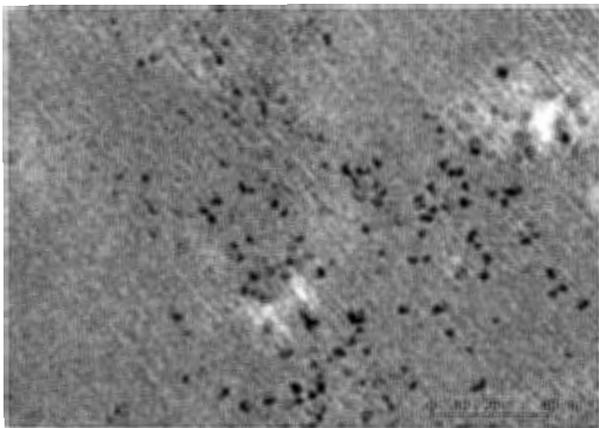


図 6 衛星画像が捉えた草地に侵入した地下茎型イネ科雑草の様子 (黒い部分が地下茎型イネ科雑草)

#### 2) マメ科牧草割合の推定

3~5 つ程度の波長帯を観測するマルチスペクトル衛星データでは推定することが困難であったマメ科牧草割合を、数十~百以上の波長帯を観測するハイパースペクトルセンサを用いて推定することに取り組んでいる。地上観測での結果ではあるが目視で測定したマメ科率被度とハイパースペクトルセンサを用いて推定したマメ科率

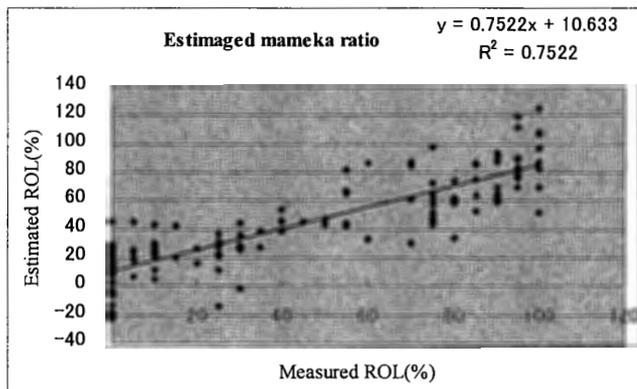


図 7 目視マメ科率被度とハイパースペクトルデータから推定されたマメ科率との関係

との間に高い正の相関関係 ( $R^2=0.75$ ) が得られている (葛岡ら 未発表: 図 7)。

#### 3) とうもろこし作付圃場の把握と栽培面積の推定

近年、根釧地域で作付けが増加している飼料用とうもろこしについても衛星リモートセンシングを利用した取り組みを始めている。マルチスペクトル衛星を複数時期重ね合わせてとうもろこし作付圃場の位置および面積を推定した。衛星データから推定されたとうもろこし作付け圃場面積と関係機関の調査による圃場面積を比較すると非常に良く一致する結果が得られた (牧野 2009a)。また、天候に左右されずデータが取得できるマイクロ波データでの解析も行われている。

#### 4) とうもろこし生産性および生産性に影響を与える要因解析

衛星データで収穫直前のとうもろこし収量を推定、GIS 上に整備された気象・土壌水分・地形データと重ね合わせ収量に影響を及ぼす要因を解析しようという取り組みも始まったところである。とうもろこしに関する取り組みは今後の研究の発展が期待される。

### 4. 成果を現場でどう応用できる?

ここまでは今まで検討されてきたこと、現在取り組んでいることを紹介してきたが、次に今まで得られた成果、これから得られるであろう成果の応用場面を考えてみる。

#### 1) 草地整備対象圃場の選定

図 3 に示した草地評価に図 6 で紹介した地下茎型イネ科雑草侵入程度の情報をプラスすることで「収量が多く、植生が均一な圃場でも地下茎型イネ科雑草が多い場合は優先的に整備を行う」など草地整備対象圃場の選定に応用可能と考える。

#### 2) 植生タイプに応じた施肥量決定

北海道では土壌タイプ、地帯、目標収量、1 番草生草収量中のマメ科牧草割合で区分されるマメ科率区分に応じて推奨される施肥量が決められている。図 7 で示したようなマメ科率の推定が衛星や航空機から行えるようになれば、「リモートセンシングで広域的にマメ科率を把握し、それに基づいた施肥量を決定する」などの応用も考えられる。

#### 3) 牧草収穫計画立案

図 4 に示したチモシー 1 番草出穂期予測に図 6 で紹介した地下茎型イネ科雑草侵入程度の情報をプラスすることで、「リードカナリーグラスの割合が多い圃場はチモシーの出穂期より早く収穫し、栄養収量の低下を防ぐ」など牧草収穫計画の立案に利用できるのではないだろうか。

#### 4) とうもろこし作付け計画

図 5 に示したとうもろこしの安定栽培地域を市町村からさらに地域・圃場別にまとめることで、安定的に効率よく栽培できる地域・圃場が明らかとなり、地域の酪農の方向性決定や TMR センター設立計画策定などの参考にできると考える。

## 5. 現場で応用するためにクリアすべき課題

想定される応用場面をいくつか紹介したが、実利用に向けてはクリアすべき課題も少なくはない。

例えば、衛星観測で得られるマメ科率は、衛星が観測しているのは草冠であるため被度に近いものと考えられる。しかし、施肥量決定の基準となるマメ科率区分は1番草の生草重量割合を想定して作られている。このような、衛星から見えるものと、現在現場で利用されている基準との整合性を検討していく必要がある。

また、現在、利用されている衛星の大部分は雲があると地上の状況を観測できないタイプである。複数衛星の利用、マイクロ波センサの利用、衛星・航空機・低高度 UAV (無人航空機) の複合利用などで安定・確実なデータ取得を可能とする仕組みも検討しなければならないであろう。

衛星データの取得、解析にかかるコストも大きな問題である。地下茎型イネ科雑草の侵入状況が把握できた高分解能衛星のデータは、100km<sup>2</sup>の画像をリクエスト撮影し購入するのに80万円以上の費用がかかる。

## 6. まとめ

草地・飼料作物分野におけるリモートセンシング・GIS技術の現場での実利用には、まだクリアすべき課題も多いのが現状である。しかし、応用技術を組み立てる個別の部品は着実に揃いつつある。

リモートセンシング・GIS技術は広域を面で捉えることができる唯一の方法であり、使い方によっては草地・飼料作物の生産性向上に大きく寄与できる技術と考える。

今後も北海道草地研究会会員を始め、草地・飼料作物分野に関わる多くの方のご意見を頂き、この技術の発展に向け努力していきたい。

## 引用文献

- 牧野司・林拓・佐藤尚親・三浦周・岡元英樹 (2006a) リモートセンシング技術の草地への適用～圃場単位での牧草収量推定および草地整備事業への利用～. 日草誌. 52 (別1) : 38-39
- 牧野司・林拓・佐藤尚親・三浦周・岡元英樹 (2006b) リモートセンシング技術の草地への適用～市町村単位での草地の抽出および牧草収量の推定～. 日草誌. 52 (別2) : 12-13
- 牧野司・林拓・佐藤尚親 (2008a) 北海道根釧地域、無マルチ栽培における極早生とうもろこしの安定栽培地域マップの作成. 日草誌. 54 (別) : 28-29
- 牧野司・林拓・佐藤尚親・出口健三郎 (2008b) 気象条件、地形条件からみた根釧地域における極早生とうもろこしの安定栽培地域. システム農学会講演要旨集 : 57-58
- 牧野司 (2009a) ALOSデータを用いた根釧地域におけるとうもろこし作付状況の把握. ALOSデータを活用した先駆的解析成果. 衛星リモートセンシング推進委員会, 東京,

<http://ww2.restec.or.jp/eeoc/alos/index.htm>

- 牧野司 (2009b) 草地・飼料作物分野におけるリモートセンシング・GISの利用技術. 北農. 76 (3) : 364-369
- 美濃伸之・斎藤元也 (1996) 多年次衛星データを利用した草地更新状況の把握. 写真測量とリモートセンシング. 35 (3) : 18-25
- 美濃伸之・斎藤元也・小川茂男 (1998) 衛星データによる草地利用形態および牧草収穫時期のモニタリング. 日草誌. 43 (4) : 452-459
- 三枝俊哉・中島和彦・能代昌雄・堤光昭 (1994) 北海道根釧地方における2次元ノンパラメトリックDVR法によるチモシー1番草の出穂期予測. 日草誌. 40 (2) : 171-178