

リモートセンシング技術を用いた牧草の生育状況の診断

五味 茂 太¹⁾・星 野 仏 方¹⁾・義 平 大 樹²⁾・阿 古 達 木²⁾

Monitor of the growth situation of the grass using remote sensing technology

Shigeta GOMI¹⁾, Buho HOSHINO¹⁾, Taiki YOSHIHIRA²⁾ and Agudamu²⁾

(Accepted 5 August 2011)

1. 緒 論

地球温暖化の原因となる二酸化炭素(CO₂)の濃度は、近年上昇傾向にあり、気象庁 IPCC (2007)によれば、このCO₂は2000年には368 ppmとなり、このまま排出され続けると、2100年には、540-970 ppmになる。北海道においても、地球温暖化は牧草の生産力に影響を与えており、佐々木ら(2003)によれば、夏の高温による寒地型牧草の夏枯れが生じ、生産力が低下する可能性がある。したがって、北海道における寒地型牧草の生育が、気温と降水量などの気象要因にどのくらい依存しているのかを明らかにすることは重要であると考えられる。

一方、広域にわたる牧草地の状態を把握する技術として、リモートセンシングが期待されており、現地調査や農家の聞き取り調査に比べてはるかに少ない労力で、草地の生産力の解析が可能であり、牧野(2006)は、地域における牧草地の季節ごとの生産状況の把握と、これを利用した生産力の予測の有効性を指摘している。その際に重要な指標の1つが植生指数(NDVI)である。植生指数とは人工衛星のバンド(一般的に赤と遠赤外)間の比率の計算によって得られた値であり、植物の光合成活性の相対値を表す。中澤ら(2010)は、泥炭土における荒廃した採草地において、一般的に起こるとされる草地の経年的なマメ科牧草の衰退と雑草の侵入(小阪ら2001)をリモートセンシング技術により推定し、草地ごとの乾物収量および栄養収量の予測した。

そこで、スペクトルデータと赤外線カメラの撮影画像から植生指数を求め、北海道に普及している寒

地型牧草の生長を解析し、気温と降水量のどちらに依存するのかを検討し、北海道の牧草生産をより正確にリモートセンシングより把握するための基礎的知見を得ようとした。

2. 材料および方法

(I) 試験草地と供試草種

試験は、酪農学園大学内の実験圃場(E: 141.507503° N: 43.068270°)にて実施した(図1)。イネ科牧草としてチモシー(TY)、オーチャードグラス(OG)、ペレニアルライグラス(PR)、メドウフェスク(MF)、トールフェスク(TF)、リードカナリーグラス(RCG)、ケンタッキーブルーグラス(KB)の7草種を、マメ科牧草としてアルファルファ(AL)、



図1 試験草地の航空写真

¹⁾ 酪農学園大学環境システム学部生命環境学科環境リモートセンシング研究室
Environmental Remote Sensing Laboratory, Department of Biosphere and Environmental Sciences Rakuno Gakuen University, Ebetsu, 069-8501, Japan

²⁾ 酪農学園大学酪農学部酪農学科飼料作物学研究室
Forage crop, Department of Dairy Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

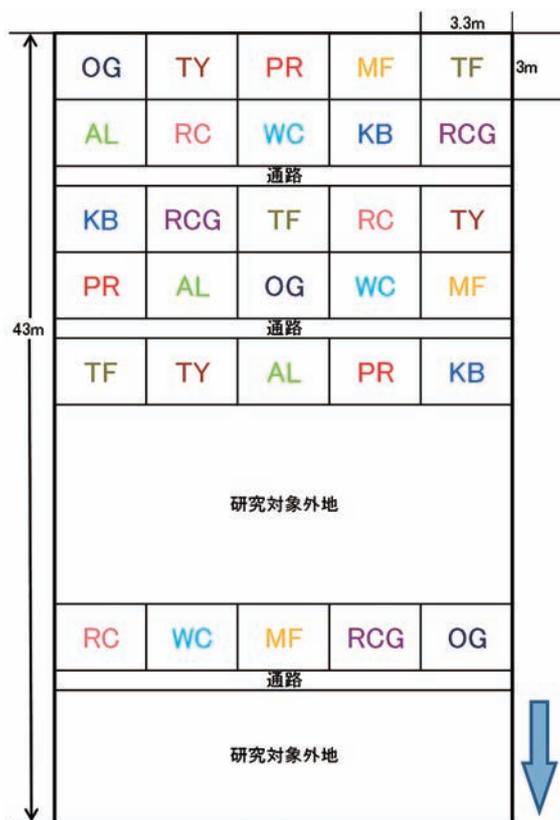


図2 試験草地における処理区配置

TY：チモシー，OG：オーチャードグラス，PR：ペレニアルライグラス，MF：メドウフェスク，TF：トールフェスク，KB：ケンタッキーブルーグラス，RCG：リードカナリーグラス，AL：アルファルファ，RC：アカクローバ，WC：シロクローバ

アカクローバ(RC)，ホワイトクローバ(WC)の3草種を供試した。品種はそれぞれ，イネ科草種がホクシュウ，バッカス，フレンド，リプロ，ホクリョウ，ベンチャー，ラトー，マメ科草種がケレス，マキミドリ，リベンデルを用いた。すべての草種を2010年6月28日に2.5 kg/10aの播種量で散播した。試験区は10草種を3反復乱塊法で配置した(図2)。

後述するスペクトルデータの取得，赤外線カメラによる撮影，土壌水分の測定，静発散の測定を，出芽直後の2010年7月16日から，2010年11月18日まで期間に7回実施した。

(2) スペクトルデータの取得と植生指数，および土壌水分と蒸発散量の計測

スペクトルデータは、『FiledSpec HandHeld, FSHH』を用いて取得した。各試験区の中央部から3回ずつ，各草種のスペクトルデータは計測した。取得したスペクトルデータから，『ALOS AVNIR-2』の赤バンド域(0.61-0.69 μm)と近赤外バンド域(0.76-0.89 μm)を抽出し，それぞれのバンドの平均値を赤バンド値，近赤外バンド値とした。これらの値を使用して，下記の式により正規化植生指数

(NDVI)を求めた。

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Red：赤バンドの反射率

NIR：近赤外バンドの反射率

赤外線カメラによる画像撮影には、『Agriculture Digital Camera 3, ADC3』を使用した。撮影は，各試験区の中央部を中心にし，1 m×1 mの範囲が画像に入るように行った。撮影画像は，画像解析ソフト『PixelWrench2』を用いて，画像全体の植生指数を求めた。

また，土壌水分をHydrosenseを用いて計測した。各試験区より生育の旺盛な部分を4箇所，生育遅延している部分を2箇所測定した。さらに，葉の蒸散量は『Leaf Porometer (LP)』を使用して測定した。オーチャードグラス，ペレニアルライグラス，トールフェスク，アカクローバ，シロクローバの5種類の牧草の蒸散量を2010年10月9日に5：30から16：30まで，1時間毎に計測した。

これらスペクトルデータおよび赤外線カメラから求めた植生指数について，両者の関連性と季節変化，および気温や降水量などの気象要因との関連性を，単相関係数を求めることにより検討した。

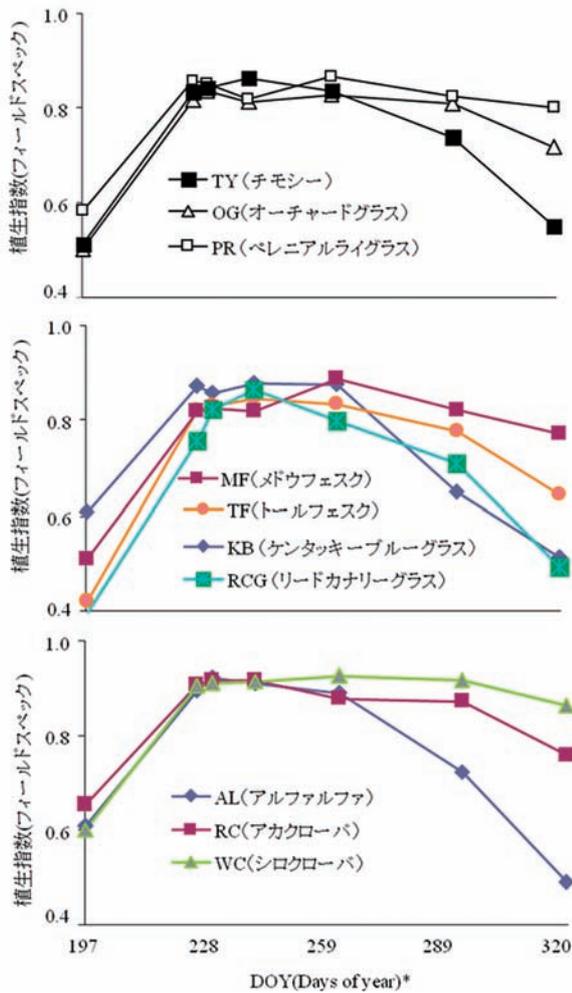


図3 フィールドスペック (FSHH) から求めた植生指数 (NDVI) の季節変化 *ユリウス暦(1月1日からの日数)

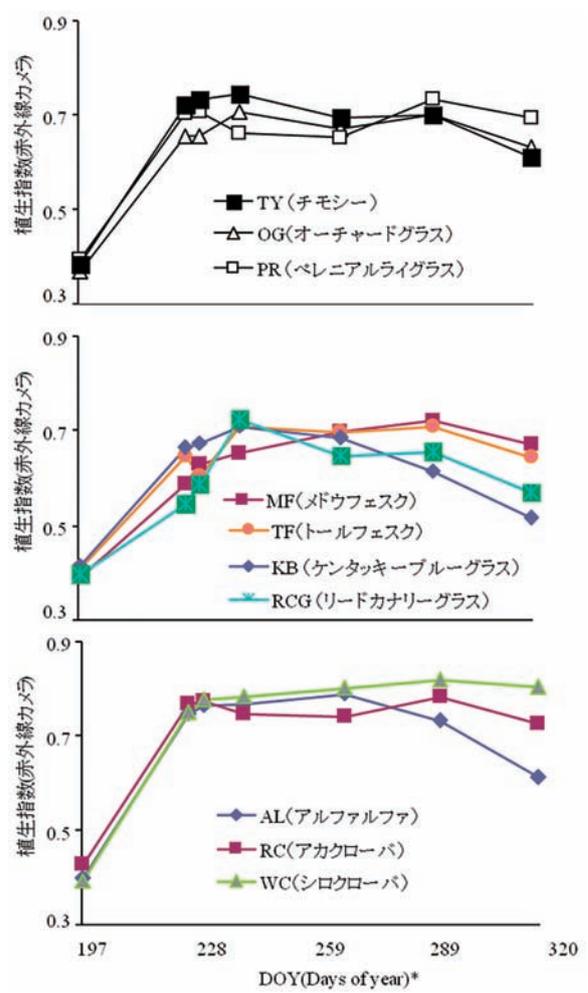


図4 赤外線カメラ (ADC3) から求めた植生指数 (NDVI) の季節変化 *ユリウス暦(1月1日からの日数)

3. 結果

(1) 植生指数の季節変化

図3, 4にフィールドスペック (FSHH) およびフィールドスペック (FSHH) から求めた植生指数 (NDVI) の季節変化を示した。植生指数の最大期は、OGとALが8月18日(ユリウス暦230日)、KB、RCG、TF、TY、RCが8月29日(241日)、MF、PR、WCが10月22日(295日)であった。すべての草種において最大期がある程度維持される期間があり、その後減少の傾向を示した。多くの草種が8月中旬から下旬にかけて植生指数の最大期を迎えていることから、この時期は光合成が最も盛んになる季節の一つであると推察できた。図5に植生指数の季節変化をイネ科およびマメ科牧草の間で比較した。マメ科草種平均の植生指数は、生育期間を通じてイネ科草種の平均に比べて、高かった。

図6に、イネ科およびマメ科草種の代表として

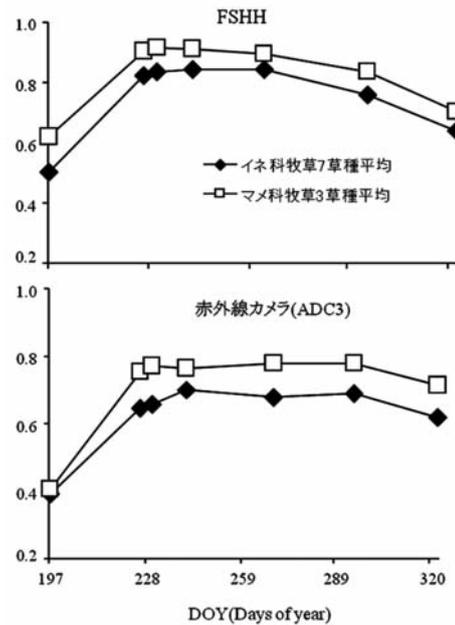


図5 イネ科およびマメ科牧草平均の植生指数 (NDVI) における季節変化 *ユリウス暦(1月1日からの日数)

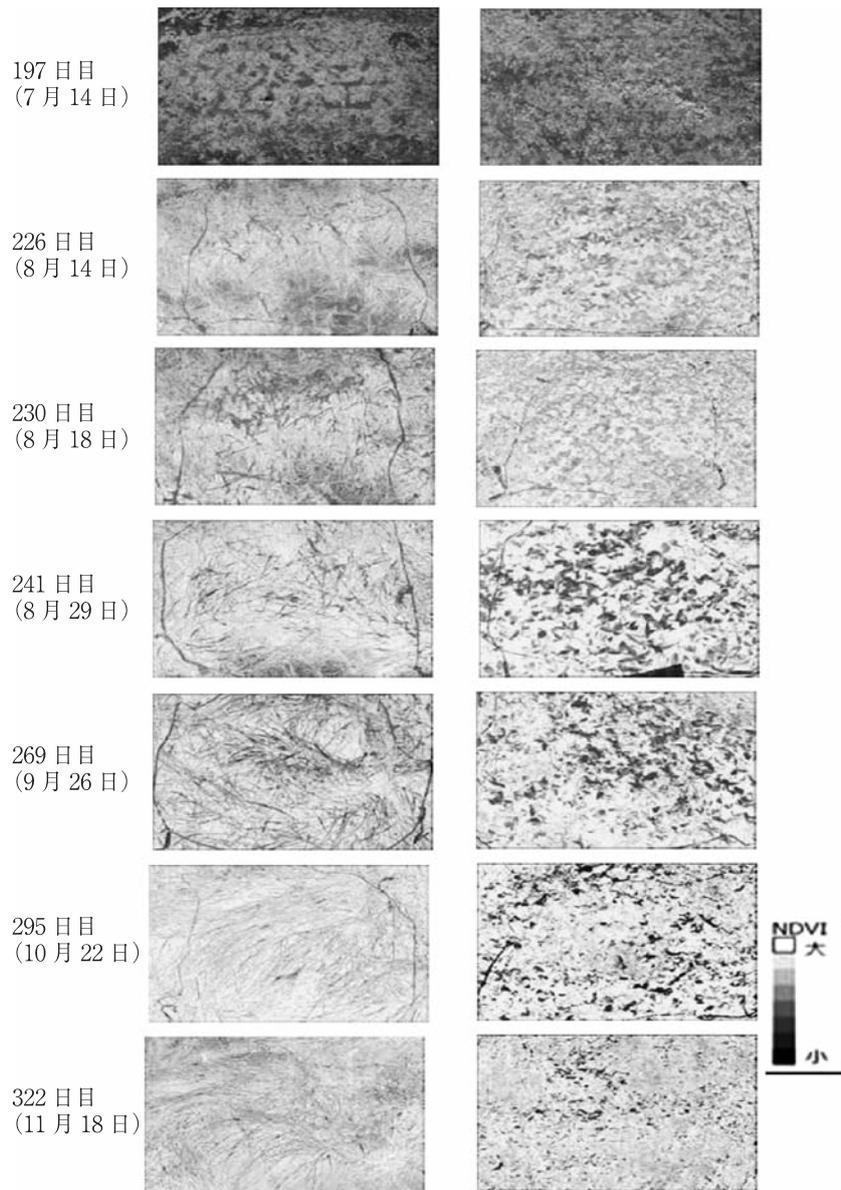


図6 赤外線カメラ (ADC3) から求めた植生指数 (NDVI) 画像の季節変化

TF と RC における, ADC3 で撮影した画像を植生指数を示す画像に変換し, 値に合わせて色分した植生指数画像の季節的变化を示した。また, その平均植生指数の季節变化を図7に表した。植生指数が最高に達するのは, RCが8月18日(230日)にTFが8月29日(241日)であった。

(2) 植生指数とその関連要因との関係性

図8にスペクトルデータおよび赤外線カメラ画像から求めた植生指数の関係を示した。両者の間には, イネ科とマメ科牧草全体それぞれに, 1%水準で有意な正の相関関係がみとめられた($r=0.796^{***}$, $r=0.780^{***}$)。

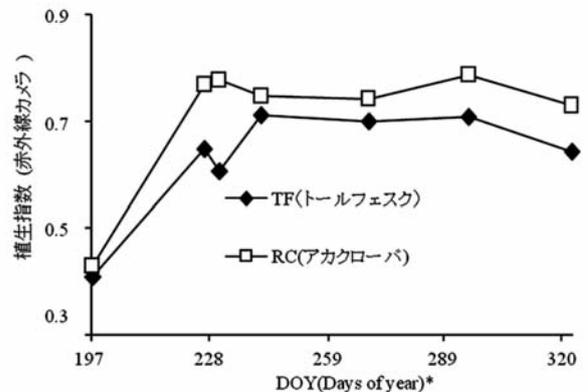


図7 イネ科およびマメ科代表草種における赤外線カメラ (ADC3) から求めた植生指数 (NDVI) の季節変化
*ユリウス暦 (1月1日からの日数)

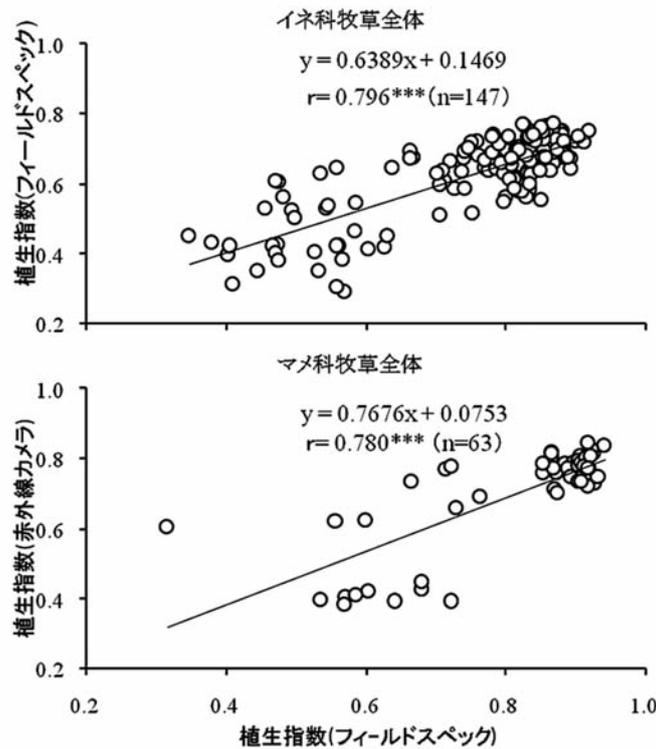


図 8 フィールドスペック (FSHH) と赤外線カメラ (ADC3) から求めた植生指数 (NDVI) の関係

図 9 に植生指数 (NDVI) と最高気温の推移を示した。最高気温に着目したのは、計測時が昼間で、最高気温を示す時間帯に近かったためである。スペクトルデータから求めた植生指数においては、イネ科およびマメ科牧草共通して、気温に伴い植生指数も増加し、逆に気温が下がるにつれて植生指数が低下した。これに対して赤外線カメラの撮影画像から求めた植生指数は、気温に伴う植生指数の増加はみられたものの、気温の下降に伴う植生指数の低下は明確でなかった。

図 10 にスペクトルデータ計測時の平均気温、計測前日までの 5、10、15 日間の平均最高気温に分けて、植生指数と最高気温との関係を示した。なお、295 日目以降の低温に経過したため、そのデータを除いた。イネ科およびマメ科牧草共通して、計測時には相関関係がみられなかったが、計測前 5、10、15 日間のそれぞれにおいて、1%水準で有意な正の相関関係がみとめられた。

図 11 にスペクトルデータ計測時の平均気温、計測前日までの 5、10、15 日間の平均最高気温に分けて、植生指数と降水量との関係を示した。295 日目以降のデータは、最高気温との関連性を比較するために同様に除いた。イネ科およびマメ科牧草とも計測前 5、10 日間においては、両者の間に有意な相関関係はみとめられなかったが、計測前 15 日間においては

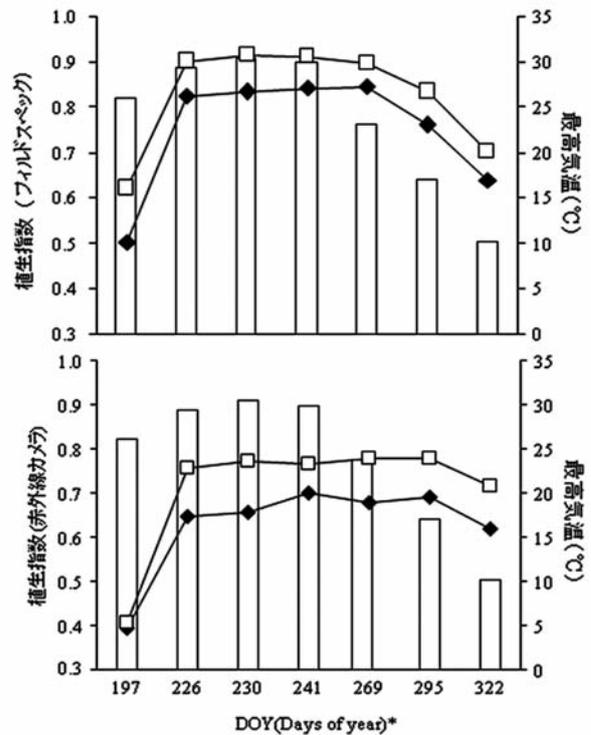


図 9 植生指数 (NDVI) と最高気温の推移
 □ 最高気温, ◆: イネ科 7 草種平均, □: マメ科 3 草種平均
 *ユリウス暦 (1月1日からの日数)

5%水準で有意な正の相関関係がみられた ($r=0.430^*$, $r=0.566^*$)

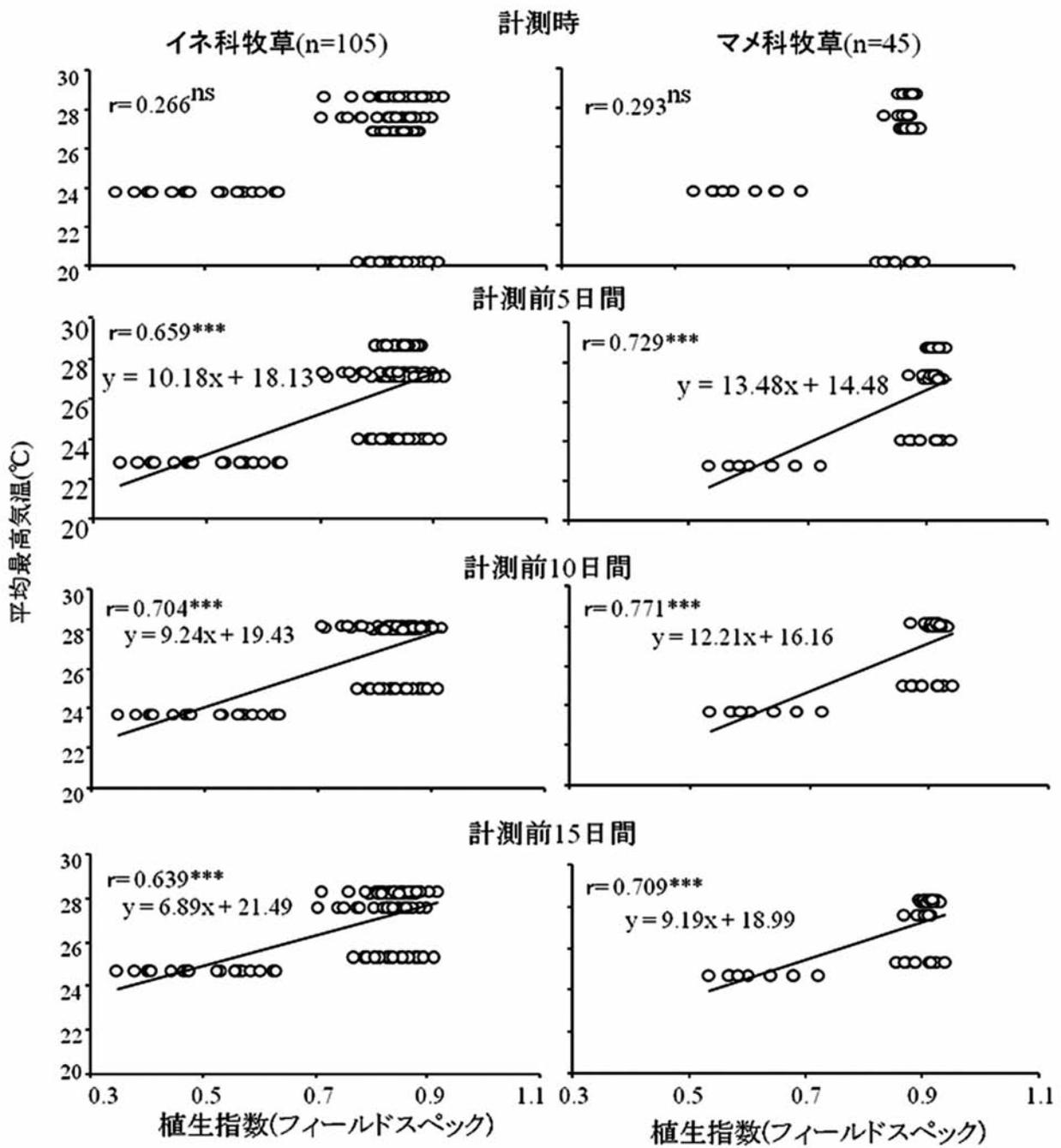


図10 植生指数 (NDVI) と期間別の平均最高気温との関係

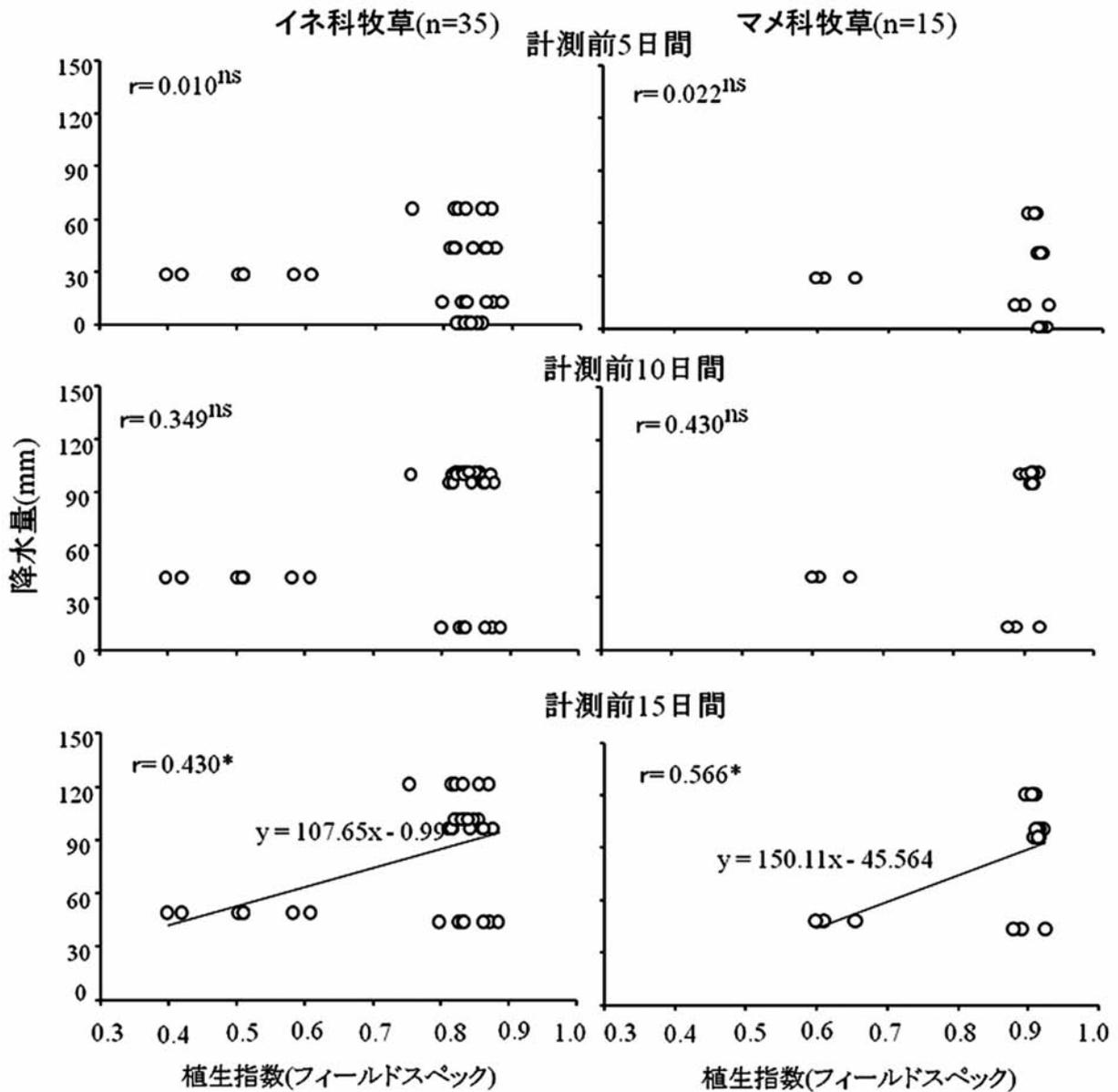


図 11 植生指数 (NDVI) と期間別の降水量との関係

(3) 土壌水分と植生指数の関係、および牧草の蒸発散量の時間的変化

図 12, 13 それぞれに、植生指数と土壌水分含量の季節変化、両者の関係について示した。イネ科、マメ科牧草共通して、スペクトルデータおよび赤外線カメラから求めた植生指数両方において、土壌水分に伴う植生指数の変化はみとめられなかった。したがって、両者の間の相関係数は両草種においてともに有意ではなかった。

図 14 に OG, PR, TF, RC, WC における、2010 年 10 月 9 日の午前 5:30 から午後 16:30 までの 1 時間毎の蒸発散量の変化を示した。TF, WC2 種は、6:30 頃から光合成を始め、7:30 に小休息が見ら

れ、12:30 までは時間が経つにつれ蒸散量の増加傾向がみられ、12:30 に蒸発散量が最大になり、その後、減少した。OG, RC2 種は時間経過に伴う蒸散量に大きな増加はみられなかった。

4. 考 察

植生指数とその関連要因との関係性について検討すると、スペクトルデータと赤外線カメラ画像から求めた植生指数の間に 1%水準で有意な正の相関関係がみとめられたことから、赤外線カメラによる牧草の撮影は、生育状況の把握に有効であるといえる。また、2010 年度の気象要因との関係を見ると、気温においては計測前 5~15 日の平均最高気温との間

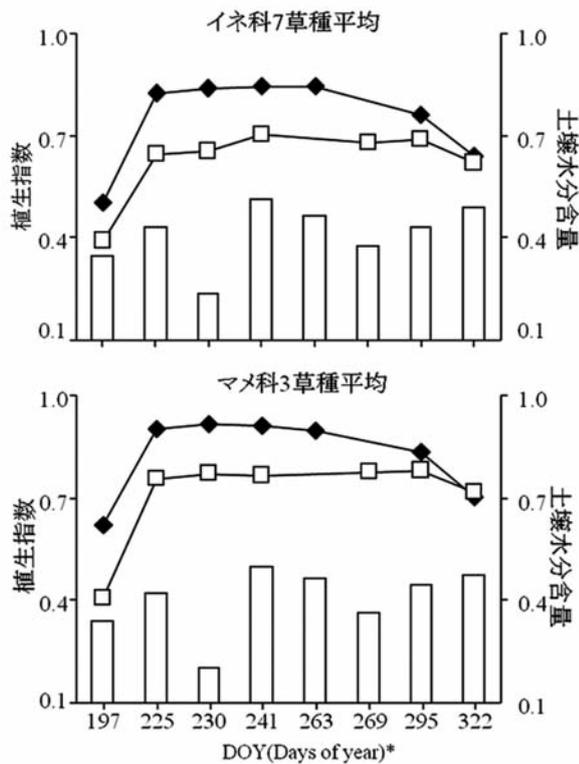


図12 植生指数 (NDVI) と土壌水分の季節変化
 □ 土壌水分、◆ フィールドスペック、■ 赤外線カメラ
 *ユリウス暦 (1月1日からの日数)

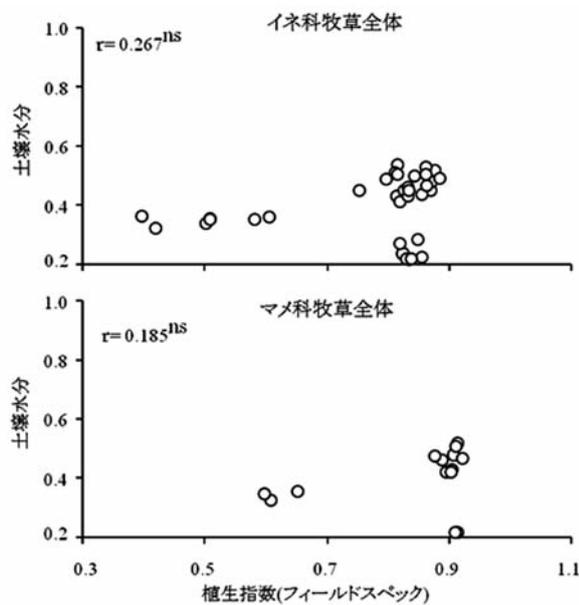


図13 植生指数 (NDVI) と土壌水分の関係

には有意な正の相関関係が認められたのに対して、降水量および土壌水分含量との間の関係性は非常に低かった。したがって、北海道中央部における新播牧草の7、8月の生長は、降水量や、土壌水分などの水分条件よりも数日間の気温に依存するといえ

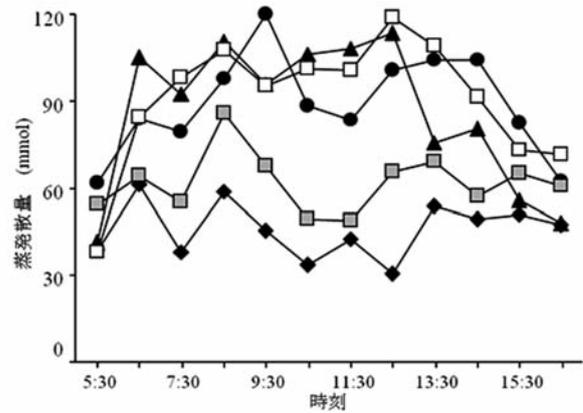


図14 牧草の1時間毎の蒸発散量の変化 (2010年10月9日)
 ◆ OG (オーチャードグラス), ● PR (ペレニアルライグラス),
 ▲ TF (トールフェスク), ■ WC (シロクロバ)
 □ RC (アカクロバ)

る。特に過去10日間の平均最高気温との相関が最も高く、北海道の牧草の生長は10日間の気温に依存すると推察された。

2010年度は7月の降雨量が例年に比べはるかに高かったことから、牧草の生長と気温との関連性が高かったが、夏季の降雨量には年次間差異が大きいため、複数年の調査が必要であろう。今後、温暖化により北海道の気温が上昇した場合には、牧草の生産力と夏季の最高気温との関係性は、今より変化し、生産力の制限要因になるのは気温よりも日射量となる可能性がある。佐々木ら (2003) によれば、『地球温暖化が牧草の地帯区分と生産量に及ぼす影響』の考察において同様のことを指摘している。また、気温の過剰な上昇により降水量が大幅に変動した場合、牧草が夏枯れ被害の増大が予測される。

また、イネ科牧草とマメ科牧草における植生指数を比較すると、マメ科牧草の植生指数は、イネ科よりも高く、計測前10、15日間の降水量との関連性がイネ科牧草に比べて強かった。北海道中央部における新播時のマメ科の牧草の生長はイネ科に比べて気温、降水量に影響されると推察できる。

また、蒸発量についてみると、草種によって時間的推移にばらつきが大きかったのは測定日の平均気温が14℃、最高気温が18℃と低かったことに由来するであろう。

牧草の生育は播種年次と2年目以降では被度、収量、刈取管理を大きく異にすることから、播種2年目以降の継続的なスペクトルデータの計測が必要であろう。また、牧草の生長は年次間差異が大きいことから、気象要因の影響を取り除いた、生育ステージとスペクトルの関係性について検討していくこと

は非常に重要であると考えられる。このためには地域、年次を越えたデータの取得が必須であろう。

謝 辞

本研究は 2009 年度酪農学園大学・酪農学園大学短期大学共同研究助成を受けたものである。また、本研究の調査に携わって頂きました、阿古達木様、環境リモートセンシング研究室の院生、学部生の皆様、飼料作物学研究室の皆様に深く感謝する。

引用文献

- IPCC (2007) 『Fourth Assessment Report: Climate Change』
- 小阪進一, 野英二 (2001) 『江別市近郊酪農場における草地の状態診断』[J. Rakuno Gakuen Univ., 26 (1): 45~49 (2001)]
- 牧野司 (2006) 『草地型酪農地帯における衛星リモートセンシングおよび GIS 利用技術』[農業リモートセンシング・ハンドブック収録 システム農学会発行: II-27~II-29 (2007)]
- 中澤明寛, 三谷琢司, 沼田陽一, 星野弘方, 義平大樹, 河合雅己 (2010) 『航空機搭載ハイパースペクトルによる採草地牧草の収量推定と草種判別』[日本写真測量学会 東京大学生産技術研究所 (2010)]
- 佐々木寛幸, 神山和則, 須山哲男, 福山正隆 (2002) 『牧草の地帯区分に及ぼす地球温暖化の影響 1. 寒地型牧草の栽培適地と生産量の変動予測』[Grassland Science 49 (1): 23-27 (2003)]
- 佐々木寛幸, 神山和則, 須山哲男, 福山正隆 (2003) 『地球温暖化が牧草の地帯区分と生産量に及ぼす影響』[畜産草地研究所研究報告 第 4 号 (2003)]

要 約

北海道中央部における牧草成長が、気温と降水のどちらにより強く依存するのかを検討した。酪農学園大学内の実験圃場に、イネ科 7 草種、マメ科 3 草種のスペクトルデータの取得、赤外線カメラによる撮影、土壌水分の計測、蒸発散量の計測を行った。スペクトルデータ、撮影画像から植生指数を求めた結果、8 月中旬から下旬にかけて、植生指数が最大になった。このことから、北海道の牧草の光合成活性のピークは 8 月中旬であると考察した。また、マメ科の牧草は、イネ科より、植生指数が高くなることも確認できた。求めた植生指数と気温、降水量、土壌水分それぞれの相関を求めた。その結果、気温では、マメ科、イネ科共に過去数日間の平均最高気温との間に $R^2=0.2$ 以上の相関が見られた。しかし、降水量、土壌水分では、ほとんど相関が見られなかった。このことから、北海道の牧草は、気温に依存すると考察した。また、マメ科の牧草は、イネ科より相関が高かったことから、マメ科牧草は、イネ科より気温、降水量への依存が強いと考えた。牧草の状発散量を計測したところ、トールフェスク、シロクロバの 2 種は、12:30 までは時間が経つにつれ蒸発散量の増加傾向がみられた。しかし、オーチャードグラス、アカクロバの 2 種は、蒸発散量の増加傾向がみられなかった。スペクトルデータと赤外線カメラ撮影画像から求めた植生指数の相関を求めたところ、イネ科、マメ科共に $R^2=0.4$ 以上の相関が見られた。このことから、赤外線カメラによる診断は有効であると考えた。今後、同様の調査を行う場合は、生育ステージの記録、写真撮影を行う必要があると考えた。

Abstract

This study examined whether growth of the grass of Hokkaido depended on temperature and which of the rainfall. We sowed a seed of the grass in the experimental field of the Rakuno Gakuen University yard and acquisition of spectrum data of the grass, photography of the infrared camera, measurement of the soil water, measurement of the quantity of evapotranspiration. As a result of having found a vegetation index from spectrum data and a photography image, from the middle of August to the end, a vegetation index became greatest. The grass of the Leguminosae was able to confirm that a vegetation index rose than Gramineae. I demanded a correlation of vegetation index with temperature, Precipitation and Soil water. As a result, with the temperature, correlation more than $R^2=0.2$ was seen in Leguminosae and Gramineae between average best temperature of the past several days. However, with precipitation, the soil water, correlation was hardly seen. From this, I considered it when the grass of Hokkaido depended on temperature. In addition, correlation of the grass of the Leguminosae was higher than Gramineae. From this, the Leguminosae grass thought that temperature, dependence to the precipitation were stronger than

Gramineae. As for *Festuca arundinacea* and *Trifolium repens*, a tendency to increase of the quantity of evapotranspiration was looked at 12:30 when I measured quantity of-shaped emission of the grass. However, as for *Dactylis glomerata* and *Trifolium pratense*, a tendency to increase of the quantity of evapotranspiration was not looked at. $R^2=0.4$ correlation more than it was seen in Gramineae, legumes when I demanded the correlation of the vegetation index of spectrum data and the vegetation index of the infrared camera. From this, I thought that the diagnosis with the infrared camera was effective. I thought that it was necessary to perform the record of the stage of growth, photography in future when I conducted a similar investigation.