

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 7 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580379

研究課題名(和文) 近接センシング技術を利用した放牧地一次生産力の時空間変動解析

研究課題名(英文) Analysis of the spatio-temporal variation in the plant productivity of grazed pastures using field hyperspectral measurements

研究代表者

坂上 清一 (SAKANOU, SEIICHI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター・研究支援センター・業務第2科長

研究者番号：10414757

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：放牧条件下において地表面レベルの近接センシングを行い、牧草量とともに一次生産力をモニタリングすることで、放牧地における一次生産力の時空間変動を解析した。植生の分光放射率と偏最小二乗回帰モデルとから牧草の緑部現存量を推定することが可能であり、牧草量と一次生産力の時間的・空間的モニタリングに有効であった。ロジスティック成長モデルを仮定して、測定点ごとに一次生産力を算定することができた。牧草量と生産力に関して、その平均値は初夏に最大となり、初秋にはかなりの減少となった。また、それらの分布は、季節が進むにつれて空間的に均質化することが定量的に示された。

研究成果の概要(英文)：To analyze the spatiotemporal variation in the plant productivity of grazed pasture, a ground-based hyperspectral measurement with geostatistical analysis was conducted. Above-ground herbage biomass in an experimental pasture can be estimated from the hyperspectral measurement (350-1050nm) and the partial least squares regression model. Assumed that herbage biomass grows according to the Verhulst's logistic model, the plant productivity was estimated in every measurement point in the pasture. The results indicated that the herbage biomass and plant productivity reached their maximum values in early summer, and decreased as grazing season progressed. The spacial distributions of herbage biomass and plant productivity became more homogeneous in autumn than in summer.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：畜産学・草地学

キーワード：牧草量 分光放射 地理統計 クリギング法 不均質性 動態モデル

1. 研究開始当初の背景

農業実験のなかで、放牧地の生産力の正確な評価は、もっとも困難なものの一つである。他の作物と異なって、放牧地の草の生産量は、単一の時間に測定されることは稀であり、収穫は牧草が成長を続けている限りの長時間にわたる連続的過程である。さらに、放牧家畜の選択採食や排糞に起因する不食部の形成は時間的・空間的に牧草現存量に顕著な偏りを引き起こす。労力と時間のかかる刈取り・乾燥・秤量を基本とする積み上げ法では十分なサンプル数を得ることが難しく、生産力はおろか現存量さえ信頼に足る推定値を得ることが困難である。

静電容量プローブ、ライジングプレート、衛星画像、携帯型分光放射計、等の非破壊的測定手法は、広い放牧地において不均質な牧草量分布を精密に測定するために有効なアプローチである。近年、携帯型分光放射計を利用し、草地内の牧草量や飼料成分、生存部と枯死部の区別を非破壊的に把握できる手法が開発されつつある。本手法を応用すれば、牧草量だけでなく一次生産力の時空間変動も実測可能である。生物群集の変動ないし動態は現存量、生産力および損失率によって連続的に表現され、実際の測定もこの原理のもとで行われる。現時点で、放牧地における牧草量の時空間変動に関しては、現存量のみが非破壊的に詳細な測定がなされているにすぎない。放牧地の不均一性の特徴把握と解析のためには、牧草量とともに一次生産力と損失率、さらに草質の時空間変動の詳細な測定が有効である。

2. 研究の目的

本研究では、放牧地における牧草現存量を非破壊的かつ簡易に推定するために、携帯型分光放射計を利用する。放牧期間中の牧草量とともに一次生産力をモニタリングし、得られた時空間変動データから次の三点を明らかにする。

- (1) 牧草量と一次生産力の時空間変動の特徴を地理統計学的に解明する。
- (2) 一次生産力の季節依存性および草量・草質依存性を定量的に明らかにする。
- (3) 牧草量の時空間変動の動態モデルを作成し、実測データによる検証を試みる。

3. 研究の方法

試験地は北海道農業研究センター内の試験用圃場約3haである。黒毛和種繁殖牛4-6頭を5月上旬-11月上旬まで昼夜連続放牧した。圃場内に定置方形枠を設置し、その内部の牧草量と一次生産力を2-3週間間隔で推定することが、調査の主体である。

局所的な牧草量を非破壊的に推定するため、圃場内において数十のサンプリング地

点を選択し、植生の可視・近赤外領域(350-1050nm)の分光放射率を測定した。次いで同地点 30cm×30cm 内部の地上部植生を刈取り、乾燥重量を求めた。分光放射率と牧草量との間に偏最小二乗(Partial Least Square, PLS)回帰モデルを仮定した。

牧草量の分布情報に適合する調査用格子サイズを決定した。圃場内に40m×40mの方形区を設置し、内部を1m×1mの格子に区切り、格子頂点の牧草量を推定した。1-数十mの格子それぞれの推定牧草量から地理統計学的に適切なサイズを求めた。

牧草量分布の消長を追跡した。圃場内に50m×50mの定置方形区を3点設定し、調査用格子サイズに区切り、格子頂点における牧草量を推定した。得られたデータから、クリギング法によって牧草量分布を推定した。調査間隔は2-3週間とした。

一次生産力を季節ごとに推定した。複数の測定用ラインを設置し、放牧牛による採食を排除するため、ラインの周囲を電牧線で囲った。設置直後に1m間隔でライン上の牧草量を推定した。禁牧状態で1-3週間後に同様の推定を行い、その差分から一次生産力を求めた。

一次生産力分布の消長を推定した。上記の定置方形区における牧草量分布それぞれに、対応する一次生産力を割り当てた。次いで、クリギング法によって一次生産力の分布を推定した。推定の時間間隔は牧草量分布の消長と同様、2-3週間であった。

4. 研究成果

試験圃場内草地植生の緑部現存量 (Green Biomass, GBM) の実測値 50-600 g/m² の範囲に対して分光放射率を測定後、PLS回帰モデルを適用し、GBMの推定値を得た。この実測値範囲は、放牧地における牧草量の範囲をほぼカバーする数値である。実測値と推定値との間に正の相関を仮定することができ、相応の推定精度を得た(図1)。植生の分光放射率から牧草の緑部現存量を推定することが可能であり、牧草量の時間的空間的モニタリングに有効であった。

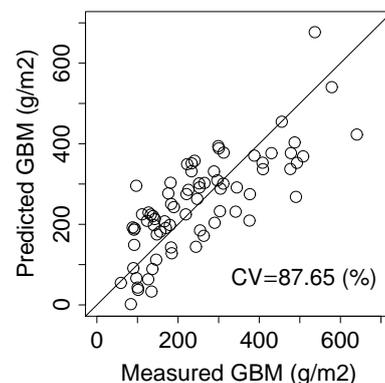


図1. 牧草の緑部現存量の実測値と PLS 回帰モデルによる推定値との関係

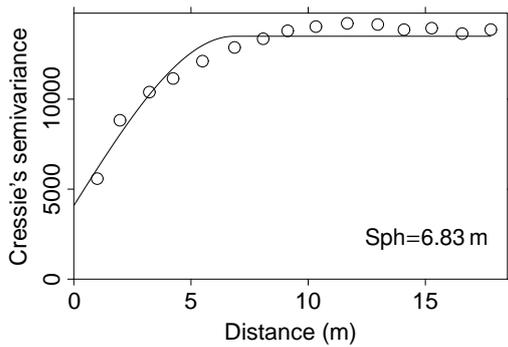


図2. 試験圃場における牧草量分布調査用の格子サイズと semivariance との関係(7月下旬の例)

試験圃場における牧草量の空間分布を推定する際、実測値サンプルが必要であるが、実測のための適切な格子サイズをバリオグラムモデルで解析した。モデル解析用の牧草量の測定は初夏(5月下旬)、真夏(7月下旬、図2)、初秋(9月下旬)の3回繰り返した。距離間隔と semivariance との関係から適切な距離間隔(Sph)は初夏で3.13 m、真夏で6.83 m、初秋で2.96 mと推定された。これらの値の平均値4.31 mに基づき、牧草量の空間分布測定に利用する調査格子サイズを4 mに設定した。

一次生産力を算定するため、まず、ロジスティック成長式の解方程式を相対成長率 r について整理し、禁牧期間 $t_2 - t_1$ における牧草量 N_{t_2} と N_{t_1} の推定値を代入した。すなわち、相対成長率 r

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{(K - N_{t_1})N_{t_2}}{(K - N_{t_2})N_{t_1}}$$

を求め、次いで、一次生産力の算定に利用した。最大牧草量 K については、未利用の隣接放牧地において実測することで、その値 806.6 g/m^2 を得た。早春から晩秋まで計13回の算定を行った。相対成長率の季節変化に関しては、一般的に、春季の高成長、夏季の成長停滞、秋季の低成長を示した。また、相対成長率の季節別平均値の最小値は -0.0692 g/g/d 、最大値は 0.263 g/g/d であった。これら値に牧草量と最大牧草量とを勘案することで一次生産力とした。

試験圃場における定置方形区内の牧草量分布を推定することができた。調査用格子の頂点ごとに推定された牧草量から、クリギング法によって頂点間の牧草量を算出した(図3、季節ごとに計8回の測定を行ったが、3回のみ表示する)。平均牧草量に関して、初夏に最大量となり、初秋にはかなりの減少となった。初夏においては約 $300 - 500 \text{ g/m}^2$ の部分が多く、真夏には約 $100 - 300 \text{ g/m}^2$ の部分が優勢となるとともに、量的偏りも多くなる。秋においては、約 100 g/m^2 の部分がほとんどで、量的にも均質化することが明らかとなった。

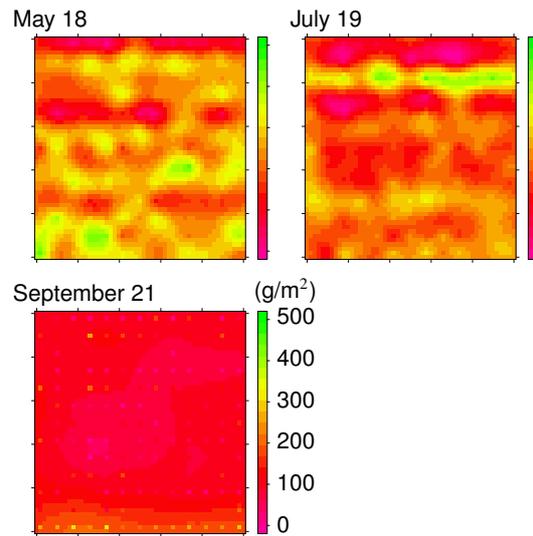


図3. 試験圃場における牧草量分布とその季節変化

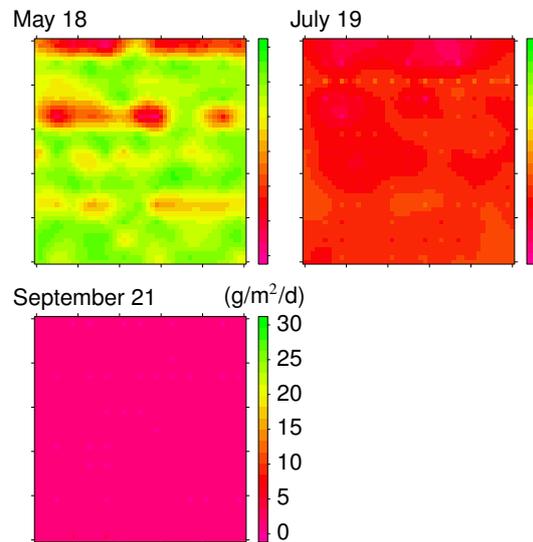


図4. 試験圃場における一次生産力分布とその季節変化

季節ごとの牧草量分布へ対応する季節の相対成長率を適用することで、試験圃場における定置方形区内の一次生産力分布とその季節変化もまた推定することができた(図4)。なお、一次生産力としてロジスティック成長式

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right)$$

を使用した。一次生産力に関しても、初夏に最大量となり、初秋にはかなりの減少となった。初夏においては約 $25 \text{ g/m}^2/\text{d}$ の部分が多く、真夏には約 $10 \text{ g/m}^2/\text{d}$ の部分が優勢となるとともに、量的偏りは減少する。秋においては、約 $0 \text{ g/m}^2/\text{d}$ の部分がほとんどとなり、量的にも均質化することが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① Kawamura K., Watanebe N., Sakanoue S., Lee H.-J., Lim J., Yoshitoshi R., Genetic algorithm-based partial least squares regression for estimating legume content in a grass-legume mixture using field hyperspectral measurements. *Grassland Science* 59, 166–172, 2013, 査読有.
DOI: 10.1111/grs.12026
- ② 渡辺 也恭, 坂上 清一, 川村 健介, 吉利 怜奈, 加速度計測に基づく活動量計を用いた放牧牛の採食行動の識別. *日本草地学会誌* 59, 226–230, 2013, 査読有.
<http://grass.ac.affrc.go.jp/contents/59-3>
- ③ Sakanoue S., Integration of logistic and kinetics equations of population growth. *Ecological Modelling* 261–262, 93–97, 2013, 査読有.
DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2013.04.007
- ④ 板野 志郎, 坂上 清一, 中神 弘詞, 堤 道生, ススキ優占群落地上部の炭素と窒素の構成に及ぼす火入れと採草の影響. *日本草地学会誌* 59, 226–230, 2013, 査読有.
<http://grass.ac.affrc.go.jp/contents/59-1>
- ⑤ Yoshitoshi R., Watanabe N., Kawamura K., Sakanoue S., Mizoguchi R., Lee H.-J., Kurokawa Y., Distinguishing cattle foraging activities using an accelerometry-based activity monitor. *Rangeland Ecology and Management* 66, 382–386, 2013, 査読有.
10.2111/REM-D-11-00027.1
- ⑥ 八木 隆徳, 坂上 清一, 渡辺 也恭, 高橋 俊, 小路 敦, 北海道におけるススキ (*Miscanthus sinensis*) 型草地の植生遷移と生産力の推移. *北海道農業研究センター研究報告* 199, 13–23, 2013, 査読有.
https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/harc/report/046146.html
- ⑦ Lee H.-J., Kawamura K., Watanebe N., Sakanoue S., Sakuno Y., Itano S., Nakagoshi N., Estimating the spatial distribution of green herbage biomass and quality by geostatistical analysis with field hyperspectral measurements. *Grassland Science* 57, 142–149, 2011, 査読有.
DOI: 10.1111/j.1744-697X.2011.00221.x
- ⑧ Kawamura K., Watanabe N., Sakanoue S., Lee H.-J., Inou, Y., Waveband selection using a phased regression with a bootstrap procedure for estimating legume content in a mixed sown pasture. *Grassland Science* 57, 81–93, 2011, 査読有.
DOI: 10.1111/j.1744-697X.2011.00212.x

[学会発表] (計 16 件)

- ① 渡辺 也恭, 坂上 清一, 川村 健介, 吉利 怜奈, 牛の背中と尾に装着した加速度計データ

の利用によるふん尿排泄行動の把握.

2014 年度日本草地学会宮崎大会, 2014 年 3 月 30 日–4 月 2 日, 宮崎県宮崎市.

- ② 吉利 怜奈, 渡辺 也恭, 川村 健介, 林志炫, 坂上 清一, 安田 泰輔, 大規模草地における精密放牧システムの構築 (17) 傾斜放牧地における牛の排糞場所の予測. 2014 年度日本草地学会宮崎大会, 2014 年 3 月 30 日–4 月 2 日, 宮崎県宮崎市.
- ③ Yoshitoshi R., Watanabe N., Kawamura K., Sakanoue S., Lim J., Yasuda T., Bayesian modeling for estimating cattle's dung position in pasture. The 22nd International Grasslands Congress, September 15–19, 2013, Sydney, Australia.
- ④ 渡辺 也恭, 坂上 清一, 川村 健介, 吉利 怜奈, GPS 首輪と牛の尾に装着した加速度計データの利用による放牧地内ふん排泄行動の把握. 日本家畜管理学会 2013 年度春季研究発表会, 2013 年 3 月 29 日, 広島県広島市安田女子大学.
- ⑤ 渡辺 也恭, 八木 隆徳, 上田 靖子, 朝隈 貞樹, 安藤 哲, 坂上 清一, 秋山 典昭, サイレージ補助飼料無しの放牧飼養が乳牛の乳量・乳成分に及ぼす影響. 2013 年度日本草地学会山形大会, 2013 年 3 月 24–26 日, 山形県山形市山形大学.
- ⑥ 渡辺 也恭, 八木 隆徳, 上田 靖子, 朝隈 貞樹, 安藤 哲, 坂上 清一, 秋山 典昭, 放牧牛の日内体重変動を利用した放牧草地と牛の状態診断. 北海道畜産草地学会第 1 回大会, 2012 年 12 月 15–16 日, 北海道札幌市北海道大学.
- ⑦ Kawamura K., Watanabe N., Sakanoue S., Lim J., Yoshitoshi R., Odagawa S., Herbage biomass and quality status assessment in a mixed sown pasture from airborne based hyperspectral imaging. The 33rd Asian Conference on Remote Sensing, November 26–30, 2012, Pattaya, Thailand.
- ⑧ Yoshitoshi R., Watanabe N., Kawamura K., Sakanoue S., Lim J., Yasuda T., A methodology for determining cattle's dung position in grazed hill pasture. The 33rd Asian Conference on Remote Sensing, November 26–30, 2012, Pattaya, Thailand.
- ⑨ 川村 健介, 渡辺 也恭, 坂上 清一, 草資源と家畜行動から見た放牧管理. システム農学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 11 月 2–3 日, 長野県南箕輪村信州大学.
- ⑩ 渡辺 也恭, 坂上 清一, 川村 健介, 吉利 怜奈, GPS と加速度センサー装着牛による草地評価—利用率の低い傾斜草地上部への施肥による牛の誘導. 2012 年度日本草地学会北海道大会, 2012 年 8 月 27–29 日, 北海道江別市酪農学園大学.
- ⑪ 吉利 怜奈, 渡辺 也恭, 川村 健介, Lim Jihyun, 坂上 清一, 安田 泰輔, 大規模草地における精密放牧システムの構築

- (16) 傾斜放牧地における牛の排糞場所予測方法の比較. 2012年度日本草地学会北海道大会, 2012年8月27-29日, 北海道江別市酪農学園大学.
- ⑫ 川村 健介, Lim Jihyun, 吉利 怜奈, 黒川 勇三, 弓場 憲生, 渡辺 也恭, 坂上 清一, ラジコン飛行機空撮画像を利用した放牧地における植物群落高の空間的な分布の観測. 2012年度日本草地学会北海道大会, 2012年8月27-29日, 北海道江別市酪農学園大学.
- ⑬ Watanabe N., Sakanoue S., Kawamura K., Utilization of an accelerometer for animal behavior research in a grazing system. The 4th Japan-China-Korea Grassland Conference in Aichi, Japan, March 30-April 1, 2012, Tokoname, Aichi.
- ⑭ Lee H.-J., Kawamura K., Watanabe N., Sakanoue S., Sakuno Y., Nakagoshi N., Estimating green herbage biomass using ALOS/AVNIR-2 image in a mixed-sown pasture. The 4th Japan-China-Korea Grassland Conference in Aichi, Japan, March 30-April 1, 2012, Tokoname, Aichi.
- ⑮ Kawamura K., Watanabe N., Sakanoue S., Lee H.-J., Lim J., Yoshitoshi R., Estimation of legume content in grass-legume mixtures. The 32rd Asian Conference on Remote Sensing, October 3-7, 2011, Taipei, Taiwan.
- ⑯ Yoshitoshi R., Watanabe N., Kawamura K., Sakanoue S., Lee H.-J., Kurokawa Y., Monitoring grazing behavior of cattle with an accelerometry-based activity monitor and GPS. The 32rd Asian Conference on Remote Sensing, October 3-7, 2011, Taipei, Taiwan.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂上 清一 (SAKANOUE, Seiichi)
独立行政法人農業・食品産業技術総合
研究機構・北海道農業研究センター・研
究支援センター・業務第2科長
研究者番号： 10414757