

「地球変動のメカニズム」
平成9年度採択研究代表者

本多 嘉明

(千葉大学環境リモートセンシング研究センター 助教授)

「衛星観測による植物生産量推定手法の開発」

1. 研究実施の概要

本研究の目的は、衛星による植物生産量推定モデルの開発とモデルの高精度化を可能にすることにある。これにより地球温暖化防止のための植物による二酸化炭素固定量を正確に見積もることや食糧生産を把握することができる。研究の初段階では平坦・均質・広大な草原サイトでの植物生産量の実測手法を開発し、衛星観測データと直接比較することができた。これにより衛星データによる植物生産量推定結果を実証的に検証することが可能になり平成10年度に続いて11年度も実証的な検証を行った。

ところが、平成11年度は、表1に示すように平年であった平成10年度と異なり干ばつ年であった。平成10年度と平成11年度を比較すると、最大バイオマス量で30.93[g/m²]、草丈で1.67[cm]、植被率で15.33%、植生指標で0.126、平成11年度の方が低い値を示しており植生の成長が阻害されていることが分かる。これらは平成11年度にも平成10年度とほぼ同様のモンゴル観測を実施したことから分った。

表1 平成10・11年度のモンゴル草原比較

| | 平成10年度 | 平成11年度 |
|------------|---------------------------|---------------------------|
| バイオマス(最大値) | 90.57 (g/m ²) | 59.64 (g/m ²) |
| 草丈 | 7.3996(cm) | 5.7333(cm) |
| 植生被覆率 | 27.81(%) | 12.48(%) |
| 植生指標 | 0.3045 | 0.1785 |

平成11年度のモンゴル観測は、植物生産量推定のモデル構築および衛星データ解析に必要な基礎的な情報を入手するとともに、現地観測手法の確定を目的とした。モンゴル草原観測サイト運用計画に基づき、1)車両観測、2)リモコンヘリ観測、3)刈り取り調査、4)3Dレーザースキャナー観測、5)BRDF観測、6)大気観測、7)気象観測、8)土壌水分観測、9)土性観測を約1ヶ月間実施した。平

成11年度が干ばつ年であったために、平成10年度のなどの平年値と観測値の違いがあり今後の植物生産量推定モデル作成に役立つと考える。

一方で、昨年度までは既存の衛星データを用いてモンゴル草原の植物生産量を推定した結果は15%程度の誤差であったが、4万平方キロ程度の広さでは1%未満の誤差まで高精度な推定が可能となった。また、数十万平方キロ程度の広さで10%程度の誤差と今までより良い結果を得た。昨年末に打ち上げられた米国NASAの衛星プロジェクトが我々のモンゴルサイトのデータを衛星の検証データとして利用したいとの申し入れがあり、我々のサイトの衛星データが集中的に取得されることになった。

2. 研究実施内容

(1) 目的

平成11年度の本研究の目標は大きく2つに分けることができる。

- 1) 平坦・均質・広大な草原サイトでの植物生産量の実測手法を開発し、衛星データと直接比較することを可能にする。特にRCヘリコプターによる観測、3Dレーザースキャナーによる観測の手法開発を行った。
- 2) 衛星データによる植物生産量推定モデルの開発、特に数万平方キロレベルから数十万平方キロレベルの推定手法の高精度化を行った。

(2) 成果

(2.1) 平成11年度モンゴル草原観測

1) 車両移動多点観測

平成11年度のシステムは7ch光路切り替え器を備えた分光放射計を用いて車両の両サイドにおいて地表面、白板の分光特性を一度に測定できるように改良されている。測定器自身の影の影響を受けることなく分光計間の特性による誤差が発生しないため、前年度より精度良く4平方キロの衛星データと直接分光情報の比較し得るデータを取得することが出来た。

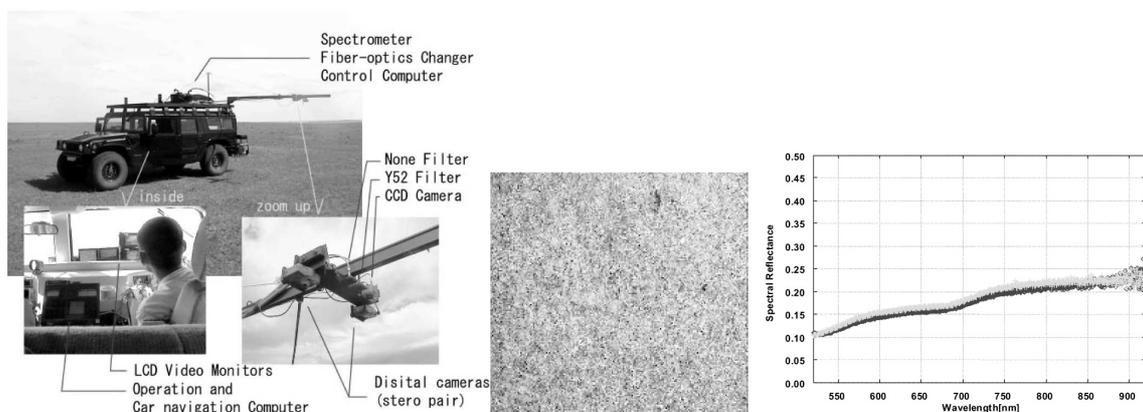


図1 車両移動多点観測システム（左）と取得されたデータ（中央、右）

2) BRDF観測

BRDF観測においてはリモートコントロールヘリコプター（以下RCヘリ）を利用した方法と車載タワー（観測高度が5mに固定）を用いた方法による計測を行った。RCヘリを利用した方法では、高度変化により最小面積を割り出し、モンゴル草原にて計34点のRCヘリによるBRDF観測を計12回行った。図2は結果の一例を示したものである。

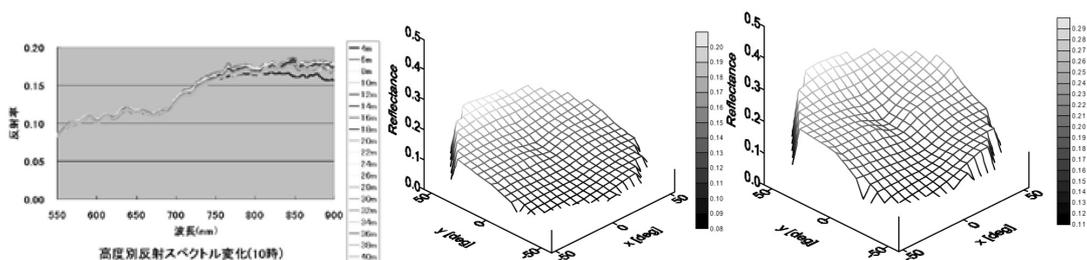


図2 RCヘリで取得された高度別反射率（左）と二方向性反射率（中央:red；右:NIR）

また同様に平成10年度に開発した車載型二方向性反射観測装置（以下車載型タワー；図3）を用いて、草原における二方向性反射特性を短時間で計測する事を行った。同時に草丈を計測し、二方向性反射特性を利用したバイオマス推定モデルを考案した。更に上記のRCヘリを用いた二方向性反射観測との比較を可能にし、その整合性も確認された。

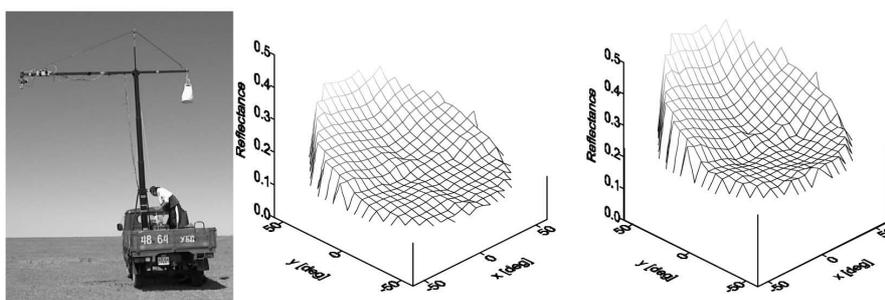


図3 車載型タワー（左）と取得された二方向性反射率（中央:RED；右:NIR）

3) RCヘリ観測による地表面状態観測

観測サイトの2地点のピンポイントホバーリングから作成された2枚のモザイク画像を用いてDEMを作成する手法を開発した。本手法により従来の作成手法に比べて約1/24の処理時間で約9倍の面積のDEMを作成することに成功した(図4)。本手法は観測対象地域付近の地形状態を敏速把握しより効率的な観測計画を可能とするものである。

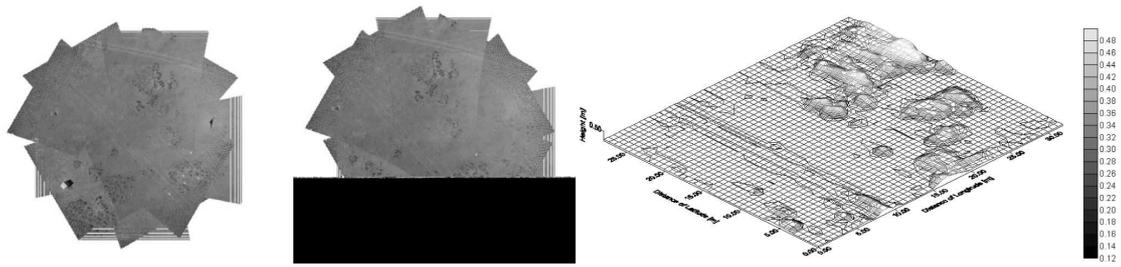


図4 取得されたモザイク画像(左,中央)と作成されたDEM(右)

4) 刈り取り調査

平成10年度と同様にバイオマスと分光、画像、草丈、種などとの基礎的な情報を多数取得した。前年度と比較して植生被覆率とバイオマスとの関係は枯れ葉などの要因により干ばつ年と平年では、植生被覆率とバイオマスの関係式は変化してくる可能性があることが分かった(図5)。

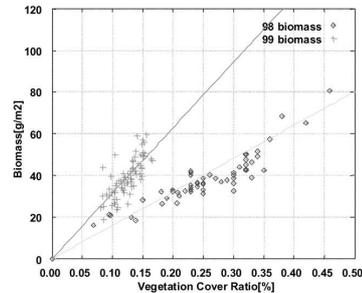


図5 刈り取り観測の概観(左)と取得された植生被覆率とバイオマスの関係

5) 3Dレーザースキャナー観測

平成10年度に開発したレーザープロファイラーによる植生3次元モデル観測装置を用いてモンゴル草原におけるバイオマス推定の検討を行った。その結果、推定結果と実測値に良好な相関があることがわかった。取得される点データ数を多くすることにより推定精度が向上することも明らかとなった(図6)。

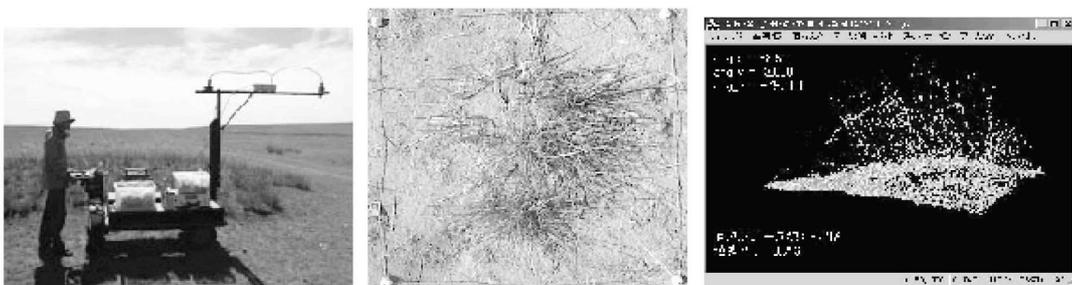


図6 植生3次元モデル観測の概観(左)と取得されたデータ(中央,右)

(2.2) 数万平方キロでのバイオマス推定

上記の刈り取り観測、車輛移動多点観測によって得られる分光データ- 植生被覆率- バイオマスモデルをモンゴルウランバートル受信の衛星データ、NOAA AVHRR LACデータに適用した。その結果、観測中心サイトであるモンゴル・マンダルゴビの周辺においては1%未満の誤差で推定できることが明らかとなった(図7)。

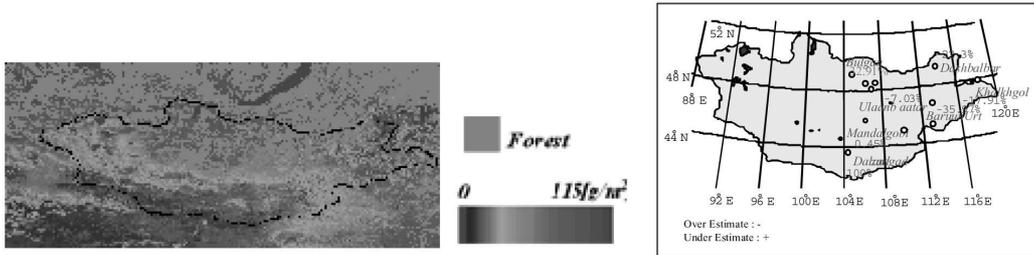


図7 衛星データによる広域推定バイオスマップ(左)と推定誤差(右)

(2.3) 数十万平方キロでのバイオマス推定

上記の数万平方キロでのバイオマス推定と同様に、モンゴル草原の平坦かつ植生の均一な地域15か所に配置されている気象観測所の現地観測データを用いてコンポジット期間ごとの広域バイオスマップの精度評価を行った。その結果、観測サイト周辺の誤差率は数%、周辺でも10%程度の誤差で推定可能である事が明らかとなった(図8)。

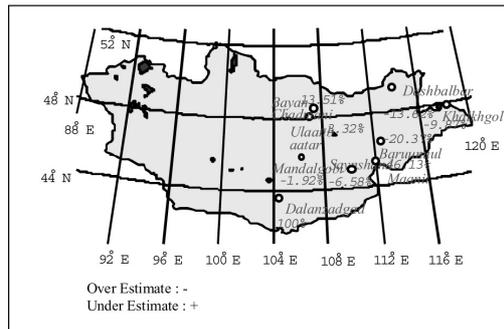


図8 気象観測所の現地観測データを用いた場合のバイオマス推定誤差

(3) 新しく開発した観測手法

(3.1) RCヘリコプターによるBRDF観測



図9 RCヘリコプターによるBRDF観測の概観(左,中央)と観測計画図(右)

既存のBRDF観測手法では、対象までの距離が短く対象面積が小さい場合や、対象が非常に均一と見なせる場合にタワーを用いた観測システムによって計測する場合は殆どであった。現地観測においてBRDF測定を理想的に行うには、対象物から等距離にある半球面上から同一時刻に観測を行う必要がある。そこで平成10年度に開発したリモートコントロールヘリコプターをもちいて高度変化による最小代表面積の算出を行い、モンゴル草原において理

(3.2) RCヘリコプターによるモザイク観測

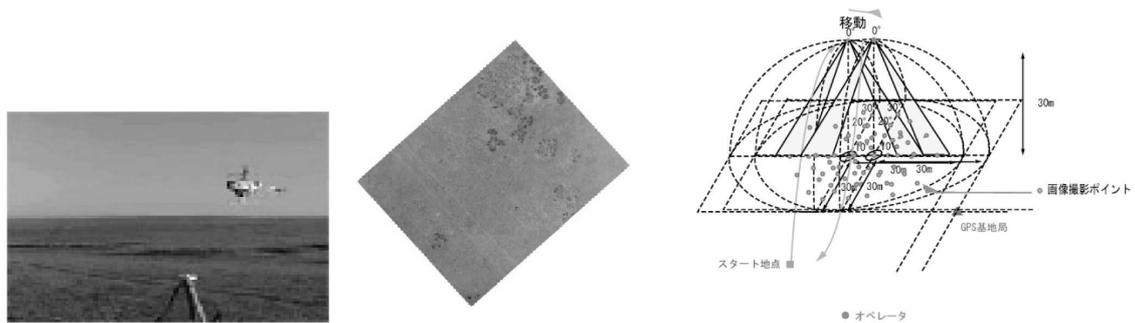


図10 RCヘリコプターによるモザイク観測の概観(左,中央)と観測計画図(右)

現地観測を行う上で、観測サイトの地表面形状を敏速に把握することは観測計画を立案する上でも重要である。本手法はピンポイント定点ホバーリング(図10)を近接した2箇所(A地点、B地点)で行い、開発したシステムのカメラ雲台を水平方向に $\pm 180^\circ$ 、垂直方向に $\pm 60^\circ$ 自由に回転させ放射状に各方向に対して地表面の画像を取得した。一度の観測フライトによってA地

点、B地点の各ポイントでそれぞれ42枚の画像が得られる。これらの画像をA点、B点、それぞれについてモザイク画像を作成し、立体視することでDEMを作成する。このDEMは従来手法である各地点におけるDEMの接合したものよりも広範囲な地形状態の把握が短時間で把握可能になる。

(3.3) 3Dレーザースキャナーによるバイオマス観測

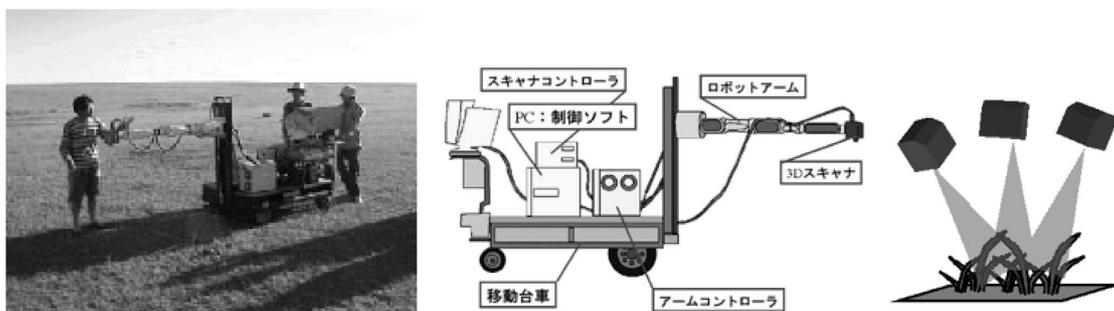


図11 3Dレーザースキャナーによるバイオマス観測の概観図

平成10年度においてレーザープロファイラーによる植生3次元モデルの観測装置を開発した。この観測装置はロボットアームを用いることによって正確な複数方向からの3Dスキャナの計測を実現しているため死角の少ないデータを取得することが出来る(図11)。また3Dスキャナから高さデータとレーザー反射輝度値が得られるので最適なボクセルサイズを求めることによりバイオマスの推定を行うことができる。実際にモンゴル草原で取得したデータや国内実験のデータから本観測手法の有効性が確認できた。更に計測方向数の増加、レーザー強度の強化、他波長帯レーザーの使用により、複数種類の植物が混在する環境においても、均一にデータの取得が行えると考えられる。

3. 主な研究成果の発表(論文発表)

栗田圭人・山本浩万・梶原康司・橋本俊昭・本多嘉明:現地観測データを用いた広域草地バイオマス推定の検証方法に関する研究, 日本写真測量学会, 写真測量学会平成11年度年次学術講演会発表論文集, p.15-18, 1999.

森山雅雄・近田朝子・梶原康司・本多嘉明:大気効果を考慮したNDVI(その2), 日本写真測量学会, 写真測量学会平成11年度年次学術講演会発表論文集, p.513-516, 1999.

橋本俊昭:NOAA衛星の時計誤差補正, 日本写真測量学会, 写真測量学会平成11年度秋季学術講演会論文集, p.17-p.20, 1999.

大石祐信・梶原康司・本多嘉明:植物の3次元構造データを利用したバイオマス測

定, 日本写真測量学会, 写真測量学会平成11年度秋季学術講演会論文集, p.77-80, 1999.

近田朝子・筒井正直・梶原康司・本多嘉明: 現地観測によるBRDFモデルを用いた草丈推定アルゴリズムの検討, 写真測量学会平成11年度秋季学術講演会論文集, p.81-84, 1999.

筒井正直・飯塚一貴・梶原康司・本多嘉明: RCヘリコプターを用いた現地観測システムの開発, 写真測量学会平成11年度秋季学術講演会論文集, p.117-120, 1999.

Hironobu OISHI, Koji KAJIWARA and Yoshiaki HONDA: Estimation of Biomass Using Three Dimensional Scanning System, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXII-5B3W12, p.169-172, 1999.

Masanao TSUTSUI, Kazutaka IIZUKA, Koji KAJIWARA and Yoshiaki HONDA: Development of Ground Truth Measurement System Using RC Helicopter, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXII-5B3W12, p.75-78, 1999.

Asako Konda, D.Hongo, H. Ichikawa, K. Kajiwara, M.Moriyama and Y.Honda: Estimation of Grass Canopy Height using Its BRDF Property, Proceedings of the 20th ASIAN CONFERENCE on REMOTE SENSING, p.839-842, 1999.

Masayuki Matsuoka, K. Kajiwara, T. Hashimoto and Y.Honda: New Composite Method for NOAA/AVHRR GAC Global Data Set, Proceedings of the 20th ASIAN CONFERENCE on REMOTE SENSING, p.865-870, 1999.

Hironobu OISHI, Yoshiaki HONDA, Koji KAJIWARA: Estimation of Biomass Using Three Dimensional Scanning System, Proceedings of the 20th ASIAN CONFERENCE on REMOTE SENSING, p.821-834, 1999.

Toshiaki Hashimoto: Correction of OCTS Sensor Alignment, Proceedings of the 20th ASIAN CONFERENCE on REMOTE SENSING, p.807-811, 1999.

Masanao Tsutsui, Yoshiaki HONDA, Koji KAJIWARA: Ground Truth Measurement System using RC Helicopter, Proceedings of the 20th ASIAN CONFERENCE on REMOTE SENSING, p.369-374, 1999.